

UUSIUTUVIEN LUONNONVAROJEN KEMIAN  
TUTKIMUSPOHJAINEN MAISTERIOHJELMA

Tiina Kiviluoto

Pro gradu -tutkielma  
19.11.2007

Kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto  
Kemian koulutusohjelma  
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta  
Helsingin yliopisto

Ohjaajat: Maija Aksela ja Ilkka Kilpeläinen

HELSINGIN YLIOPISTO - HELSINGFORS UNIVERSITET – UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta – Fakultet – Faculty		Laitos – Institution – Department	
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Kemian laitos	
Tekijä – Författare – Author			
Tiina Kiviluoto (o.s. Kero)			
Työn nimi – Arbetets titel – Title			
Uusiutuvien luonnonvarojen kemian tutkimuspohjainen maisteriohjelma			
Oppiaine – Läroämne – Subject			
Kemia (kemian opettajan suuntautumisvaihtoehto)			
Työn laji – Arbetets art – Level		Aika – Datum – Month and year	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages
Pro gradu -tutkielma		11/2007	97
Tiivistelmä – Referat – Abstract			
<p>Uusiutuvien luonnonvarojen tutkiminen ja niiden monipuolinen teollinen hyödyntäminen on yksi kemian alan painopistealueista lähitulevaisuudessa. Tällä hetkellä luonnon molekyyleistä käytetään erityisesti selluloosaa ja erilaisia rasvahappoja. Ne ovat raaka-aineita esimerkiksi paperin valmistuksessa, biopolttoaineena, biohajoavina muoveina ja erilaisina pinnoite- ja täyteaineina. Monien molekyylien, esimerkiksi ligniinin ja hemiselluloosan, tutkimusta ja käyttöä tulee vielä kehittää.</p> <p>Uusiutuvien luonnonvarojen ala tarvitsee uudenlaista kemistien peruskoulutusta. Kemian laitoksen tutkimuksen tavoiteohjelmassa 2007–2009 uusiutuvien luonnonvarojen tutkimus on nimetty yhdeksi painopistealueeksi. Tavoite tulee toteutua myös laitoksen opetuksessa. Opetuksen tulee perustua tieteelliseen tutkimukseen ja sen järjestämisessä tulee hyödyntää uusinta tietoa sekä oppimisesta että opetuksesta.</p> <p>Tässä tutkimuksessa kehitettiin ehdotus uuden maisteriohjelman rakenteeksi. Tutkimus oli kaksivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa tehtiin tarveanalyysi, jossa selvitettiin, millaista yliopisto-opetusta uusiutuvista luonnonvaroista on saatavilla kotimaassa ja kansainvälisesti. Toisessa vaiheessa kehitettiin maisteriohjelmalle opintosuunnitelma tarveanalyysin ja tutkielman teoreettisen viitekehyksen pohjalta.</p> <p><i>Uusiutuvien luonnonvarojen kemian maisteriohjelma</i> on tutkimukseen perustuva, poikkitieteellinen opintokokonaisuus, jossa korostetaan uusimpaan tutkimustietoon liittyvää opetusta sekä monipuolisen kansallisen ja kansainvälisen yhteistyön merkitystä. Maisteriohjelman opintosuunnitelmaan on kehitetty tarveanalyysin pohjalta uusia kursseja Helsingin yliopiston olemassa olevien kurssien lisäksi. Suunnitelmaan on kirjattu ehdotuksia kurssien tavoitteiksi, sisällöksi, toteutukseksi sekä arviointimenetelmiksi. Koulutusohjelmassa painotetaan opiskelijälähtöistä opetusta ja elinikäistä oppimista Helsingin yliopiston strategian mukaisesti.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
Kemian opetus, uusiutuvat luonnonvarat, yliopistopedagogiikka, kehittämistutkimus, maisteriohjelma			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Kemian laitos			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			
Ohjaajat: Maija Aksela ja Ilkka Kilpeläinen			

# Sisällys

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 UUSIUTUVAT LUONNONVARAT .....</b>	<b>3</b>
2.1 Kasvikunnan molekyylit .....	5
2.1.1 Kasvikunnan kemiallinen koostumus .....	10
2.2 Eläinkunnan molekyylit .....	12
2.3 Uusiutuvien luonnonvarojen teollinen hyödyntäminen .....	17
2.3.1 Puun molekyyliden hyödyntäminen .....	18
2.3.2 Lipidien hyödyntäminen .....	23
2.3.3 Proteiinien hyödyntäminen.....	26
<b>3 TUTKIMUSPOHJAINEN YLIOPISTO-OPETUS JA SEN KEHITTÄMINEN....</b>	<b>28</b>
3.1 Laadukas tutkimuspohjainen yliopisto-opetus .....	28
3.1.1 Yliopistopedagogiikka ja kemian oppiminen .....	32
3.2 Yliopisto-opetuksen kehittäminen .....	35
3.2.1 Opetuksen suunnittelu .....	38
3.2.2 Opetuksen arviointi .....	40
3.3 Opetuksen kehittäminen Helsingin yliopiston kemian laitoksella .....	41
3.4 Kontekstuaalinen oppiminen.....	43
<b>4 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN .....</b>	<b>46</b>
4.1 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset.....	46
4.2 Tutkimuksen toteutus.....	46
4.2.1 Tarveanalyysi.....	46
4.2.2 Kehittämisosuus.....	49

<b>5 TUTKIMUSTULOKSET</b> .....	<b>50</b>
5.1 Uusiutuvien luonnonvarojen kemian yliopistokurssit .....	50
5.2 Uusiutuvien luonnonvarojen kemian opetuskokonaisuuden kehittäminen.....	55
5.2.1 Yleistä maisteriohjelman rakenteesta.....	55
5.2.2 Maisteriohjelman tavoitteet.....	56
5.2.3 Maisteriohjelman rakenne .....	57
5.2.4 Maisteriohjelman kurssien kuvaukset.....	59
5.2.5 Maisteriohjelman toteutus .....	64
<b>6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTAA</b> .....	<b>66</b>
<b>LÄHTEET</b> .....	<b>68</b>
<b>LIITTEET</b>	

# 1 Johdanto

Uusiutuvien luonnonvarojen kemian ymmärtäminen ja molekyylien teollinen hyödyntäminen ovat esimerkkejä lähitulevaisuuden suurista haasteista. Kemianteollisuuden tulevaisuuslinjaus 2021 nostaa tulevaisuuden painopistealueiksi uusiutuviin raaka-aineisiin perustuvan tuotannon. (Tulevaisuuslinjaus, 2007) Osaavaa työvoimaa tarvitaan bio- ja nanokemian lisäksi ympäristöteknologiaan sekä uusiutuvaa energiaa ja polttoainetta kehittäville kemian aloille. Luonnon molekyylien ymmärtäminen ja uusien innovaatioiden kehittäminen vaativat myös uudenlaista koulutusta (mm. Metsäklusteri, 2006). Uusiutuvien luonnonvarojen kemiaan keskittyvää koulutusta on Suomessa tarjolla Jyväskylän yliopistossa Uusiutuvan energian maisteriohjelmassa (Jyväskylän yliopisto, 2007). Helsingin yliopistossa uusiutuvien luonnonvarojen kemia on nostettu kemian laitoksen tutkimuksen tavoiteohjelmassa uudeksi tutkimusalueeksi. (Tavoiteohjelma, 2006) Uusiutuvien luonnonvarojen kemiaa halutaan vahvistaa lähitulevaisuudessa myös laitoksen opetuksessa.

Tutkimuspohjainen opetus on keskeinen tavoite Helsingin yliopistossa (Strategia, 2006). Opetuksen tulee perustua tieteelliseen tutkimukseen ja sen järjestämisessä hyödynnetään opetusta ja oppimista koskevaa uusinta tutkimustietoa. Opintojen päämääränä tulee olla opiskelijälähtöinen, syvälinen oppiminen, joka luo pohjan elinikäiselle uuden oppimiselle.

Tässä tutkimuksessa uusiutuvien luonnonvarojen kemiaan kehitetään uusi maisteriohjelma Helsingin yliopiston kemian laitokselle. Maisteriohjelmaa suunnitellaan kehittämistutkimuksena (Edelson, 2002; Aksela, 2006), jossa on kaksi vaihetta. Ensin tehdään tarveanalyysi, jossa selvitetään, millaista yliopisto-opetusta on olemassa uusiutuviin luonnonvaroihin liittyen sekä Suomessa että ulkomailla. Tutkimuksen toisessa vaiheessa tarveanalyysin sekä aikaisemman tutkimustiedon pohjalta kehitetään opinto-suunnitelma uuden maisteriohjelman rakenteeksi.

Kehittämistutkimuksen teoreettisena viitekehyksenä on uusiutuvien luonnonvarojen keskeisen kemian lisäksi yliopistopedagoginen tutkimus ja kontekstuaalinen oppiminen. Uusiutuvien luonnonvarojen molekyyleistä on esitelty ne, joiden teollinen hyödyntäminen

on kannattavaa. Molekyylien käytöstä on lisäksi esitelty joitain sovelluksia ja teollisia prosesseja.

Uusiutuvien luonnonvarojen kemian maisteriohjelma on tutkimukseen perustuva poikkitieteellinen opintokokonaisuus, jossa hyödynnetään sekä kansallista että kansainvälistä alan huippuosaamista. Yhteistyötä tehdään eri elinkeinoelämän edustajien lisäksi muun muassa eri yliopistojen välillä sekä kansainvälisesti. Maisteriohjelman koulutuksessa painottuvat opetukselle asetetut tavoitteet sekä mielekkäät kurssisisällöt (Skogster, 2006; Nevgi & Lindblom-Ylänne, 2002b). Uusiutuvien luonnonvarojen kemian maisteriohjelman tavoitteena on kouluttaa alan asiantuntijoita, jotka kykenevät tiedon hakemiseen, tiedon kriittiseen arvioimiseen ja lopulta myös uuden tiedon tuottamiseen.

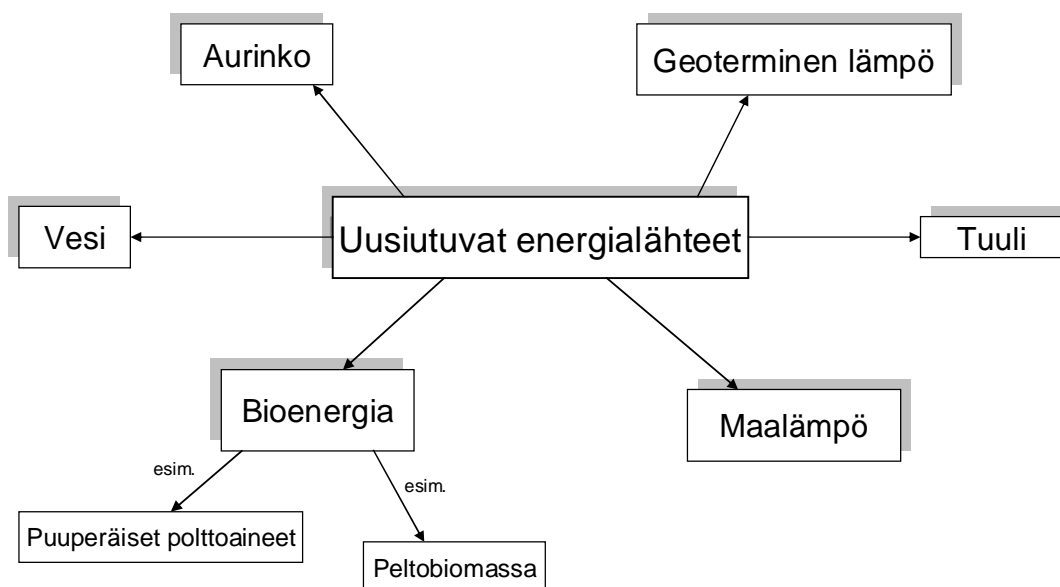
Tutkimuksessa on kuusi lukua, joissa selvitetään tutkimuksen taustateoriaa ja tutkimuksen suorittamista. Luvussa kaksi käsitellään tutkimuksen kannalta keskeisiä kemian käsitteitä liittyen uusiutuvien luonnonvarojen kemiaan. Siinä kerrotaan esimerkiksi selluloosasta ja sen johdannaisista sekä esitellään prosesseja, joiden avulla selluloosaa voidaan hyödyntää.

Luvussa kolme keskitytään yliopisto-opetukseen ja kemian oppimiseen. Siinä kuvataan, mitä on tutkimuspohjainen opetus ja miten kemian opetusta ja oppimista voidaan kehittää tutkimustietoon pohjautuen. Luvussa tarkastellaan myös Helsingin yliopiston strategiaa ja kemian laitoksen toimintakäsikirjaa, jotka ohjaavat toimintaa kemian laitoksella.

Luvuissa neljä ja viisi asetetaan tutkimuskysymykset ja vastataan niihin. Luku kuusi tiivistää tutkimuksen tulokset teoreettisessa viitekehyksessä ja esittää tutkimuksen johtopäätökset. Liitteenä on tarveanalyysin tulokset.

## 2 Uusiutuvat luonnonvarat

Uusiutuvat luonnonvarat on laaja käsite, jolla tarkoitetaan mitä tahansa luonnonvaraa, joka kuluu hitaammin kuin sitä muodostuu uudelleen. Uusiutuvia luonnonvaroja ovat esimerkiksi puhdas vesi ja puu. Uusiutuvalla energialähteellä tarkoitetaan pääasiassa auringosta saatavaa lämpösäteilyä sovelluksineen (ks. kuva 2.1.). Uusiutuvia energialähteitä ovat myös tuuli- ja vesivoima, bioenergia sekä geoterminen lämpö ja maalämpö. Kaikilla näillä energialähteillä on merkitystä Suomen mittakaavassa. Uusiutuvaa energiaa saadaan edellisten lisäksi myös aalloista ja vuoroveden liikkeistä, mutta näitä ei Suomessa voida hyödyntää. Tässä tutkimuksessa keskitytään tarkastelemaan bioenergiaa ja biopohjaisia materiaaleja. Bioenergiaan luetaan kuuluvaksi erilaiset puuperäiset polttoaineet, peltobiomassa, biokaasu ja erilaiset kierrätyspolttoaineiden biohajoavat osat.



Kuva 2.1. Yksinkertainen käsitekartta uusiutuvasta energiasta.

Eräs lähitulevaisuuden suuri haaste on öljystä ja siihen verrattavien uusiutumattomien luonnonvarojen käytöstä luopuminen tai ainakin niiden merkittävä vähentäminen. Fossiilisten luonnonvarojen väheneminen ja kallistuminen sekä niiden käytöstä aiheutuva ympäristön kuormitus asettavat suuria odotuksia uusiutuvien luonnonmateriaalien hyödyntämiselle sekä energian tuottamisessa että teollisuuden raaka-aineinakin. On

luotava uusia korvaavia menetelmiä, jotka ovat sekä hinnaltaan että laadultaan kilpailukykyisiä. Kasvikunnan tarjoamat uusiutuvat materiaalit ovat tällä hetkellä yksi tutkituimmista vaihtoehdoista, sillä niiden saatavuus on helppoa ja ne ovat suhteellisen edullisia. (Tavoiteohjelma, 2006; Lucia *et al.*, 2006) Myös erilaisten rasvahappojen hyödyntäminen on teollisesti kannattavaa, sillä niitä esiintyy eläin- ja kasvikunnassa runsaasti. Rasvahappoja hyödynnetään niiden kemiallisesti puhtaan alifaattisen rakenteen vuoksi esimerkiksi biopolttoaineena. Ravintoaineina tutuiksi tulleet yhdisteet, hiilihydraatit, proteiinit ja lipidit, saavat näin uudenlaisia merkityksiä teollisina raaka-aineina. Biopolttoaineen tuotannon lisäksi niillä on runsaasti potentiaalisia sovellusalueita esimerkiksi elintarvike-, pakkaus- ja kemianteollisuudessa. (Tavoiteohjelma, 2006; Metzger & Bornscheuer, 2006)

Uusiutuvien luonnonvarojen kemiaa on syytä tarkastella molekyylitasolta lähtien. Molekyylin rakenteen ymmärtäminen on perusedellytys, jonka perusteella voidaan kehittää uudenlaisia innovaatioita. Molekyylejä hyödynnetään tällä hetkellä sekä sellaisenaan että erilaisina johdannaisina. Esimerkiksi selluloosaa ja ligniiniä hyödynnetään teollisesti biomassana. (Lucia *et al.*, 2006) Biomassalla tarkoitetaan kaikkia niitä orgaanisia aineita, joihin on sitoutunut fotosynteesissä auringon energiaa. Joskus biomassasta käytetään termiä "*phytomass*", fyylimassa, jolla viitataan siihen, että kyseessä on lehtivihreälliset kasvit, jotka kykenevät itse yhteyttämään. (mm. Clark, 2007) Tällä hetkellä biomassana hyödynnetään muun muassa puuta, vilja- ja vesikasveja, olkia, ruohoa, eläinten lantaa, kotitalousjätettä sekä teollisuuden jätelientä (Barone & Schmidt, 2006).

Uusiutuvien luonnonvarojen molekyylit voidaan jakaa karkeasti kasvikunnan ja eläinkunnan molekyyleihin. Jaottelua käsitellään tarkemmin seuraavissa luvuissa 2.1 ja 2.2. Tarkastelun kohteeksi on valittu molekyylit, joilla on teollista merkitystä. Molekyyleistä esitellään niiden kemiallista rakennetta ja ominaisuuksia sekä kerrotaan niiden käyttökohteista.



## 2.1 Kasvikunnan molekyylit

Kasvikunnan molekyylit ovat yhdisteitä, joita saadaan kasviperäisistä lähteistä, kuten puista ja ruohovartisista kasveista. Tällaisia yhdisteitä ovat erilaiset hiilihydraatit, ligniini ja monet rasvahapot. Tähän asti kasveja on jalostettu pääasiallisesti ruoan tuotantoon. Tulevaisuudessa kasveja tulisi jalostaa myös biomassan tuotantoon.

Suomessa biomassan hyödyntämistä tutkitaan useissa eri projekteissa (mm. Wood Wisdom). Puu on edelleen yksi keskeisimmistä raaka-aineista. Uusien bioteknologisten sovellusten avulla sitä ja muita raaka-aineita prosessoidaan yhä pienempiin muotoihin ainesosiksi, joita voidaan hyödyntää uusien tuotteiden valmistuksessa (Clark, 2007). Suomeen on myös perustettu yritys, Metsäklusteri Oy, jonka tarkoitus on pitää yllä Suomen kilpailukykyä uusiutuvilla metsäteollisuuden markkinoilla (Metsäklusteri, 2006). Metsäklusteri Oy on 30.3.2007 perustettu huippuosaamisen keskittymä, jossa on edustajia metsä-, kemian- ja teknologiateollisuuden alalta sekä viestintä- ja pakkaussektorin yrityksistä ja metsänomistajista. Yhdessä metsätalouden asiantuntijoiden kanssa klusteri on määritellyt tutkimustoimintansa tulevat painopisteet suomalaisen osaamisen ja kilpailukykyyn vahvistamiseksi. Painopistealueita on seitsemän: 1) Älykkyyttä puu- ja kuitutuotteisiin, 2) Puusta ja sen ainesosista valmistetut materiaalit, 3) Puuta monipuolisesti hyödyntävä biojalostamo, 4) Metsien kestävä käyttö, 5) Puubiomassalle lisäarvoa, 6) Älykkäät ja resursseja säästävät tuotantoteknologiat ja 7) Tulevaisuuden asiakasratkaisut.

Metsäklusteri Oy pyrkii luomaan Suomeen uudenlaisia innovaatioita, joita ovat esimerkiksi puu- ja kuitutuotteiden kohdalla erilaiset sovellukset ja käyttötarkoitukset puun uuteaineille, hiilihydraateille, ligniinille ja muille puun yhdisteille. Tutkimuskohteita ovat myös komposiittimateriaalit ja erilaiset pinnoitus- ja suojausmenetelmät. Haasteena puun hyödyntämisessä on myös biojalostamon tuotteiden muokkaus eteenpäin materiaaleiksi, kemikaaleiksi ja energiaksi. (Metsäklusteri, 2006)

### *Hiilihydraatit*

Hiilihydraatit ovat yksi keskeisimpiä luonnon orgaanisista molekyyliyhdisteistä. Ne syntyvät hiilidioksidista ja vedestä endotermisessä reaktiossa, jossa tarvitaan auringon valoa ja klorofylliä eli lehtivihreää. Fotosynteesireaktiossa lehtivihreälliset kasvit tuottavat hiilidioksidista ja vedestä auringon valon avulla sokeria eli glukoosia ja happea (reaktio 1).



Hiilihydraatteja esiintyy sekä kasvi- että eläinkunnassa runsaasti. Kasveissa niiden osuus kasvimassan kuivapainosta saattaa olla jopa 80 %. Yleisimmät kasvikunnan hiilihydraattiyhdisteet ovat selluloosa, hemiselluloosa, tärkkelys, pektiinit sekä sokerit sakkaroosi ja glukoosi (mm. Streitwieser, 1998).

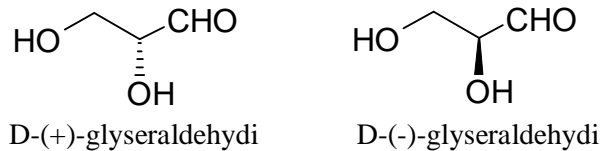
Hiilihydraatit voidaan jakaa toimintansa perusteella kuuteen ryhmään:

- monosakkaridit: yksinkertaisia sokereita, esimerkiksi glukoosi ja galaktoosi
- disakkaridit: kaksi monosakkaridia liittynyt toisiinsa glykosidisella sidoksilla, esimerkiksi maltoosi ja laktoosi
- trisakkaridit: kolmen monosakkaridin yhteenliittymä, esimerkiksi raffinoosi
- oligosakkaridit: monosakkaridiyksiköitä n. 2-10
- polysakkaridit: monosakkaridiyksiköitä yli 10, esimerkiksi selluloosa
- polyuronidit: polysakkarideja, joilla on lisäksi uronihappotähteitä.

Monosakkaridit ovat yksinkertaisimpia sokereita, polyhydroksialdehydejä ja -ketoneja. Ne voidaan jaotella hiiliketjun hiilten lukumäärän mukaan ja sen mukaan, onko yhdisteen karbonyyliryhmä aldehydi vai ketoni. Esimerkiksi aldotriooosi eli glyseraldehydi muodostuu kolmen hiilen ketjusta, ja siinä on aldehydiryhmä –CHO. Ketoryhmän monosakkarideja ovat esimerkiksi fruktoosi ja riboosi. Sokerit esiintyvät yleensä 5- tai 6-renkaisina yhdisteinä. Esimerkki kuusihiilisestä sokerista on glukoosimolekyyli, tärkkelyksen ja selluloosan rakenneyksikkö. (mm. Sjöström, 1989)

Monosakkaridit ovat vesiliukoisia ja niiden vesiliuokset ovat optisesti aktiivisia. Optisten isomeerien lukumäärä saadaan yhtälöstä  $2^n$ , jossa  $n$  on asymmetristen hiilten lukumäärä. Aldoheksosoosilla, jolla on neljä asymmetristä hiiltä, optisten isomeerien lukumäärä on 16.

Sekä (+)- että (-) -enantiomeeriä on kumpaakin yhtä paljon. Optisia muotoja esiintyy esimerkiksi hemiselluloosissa, joissa rakenneyksiköinä on D-ksyloosi, D-glukoosi, D-mannoosi ja L-arabinoosi. Glyseraldelydillä on yksi stereokeskus ja kaksi enantiomeeriä (ks. kuva 2.2.). Glyseraldehydin D-muoto on yleisempi luonnossa.

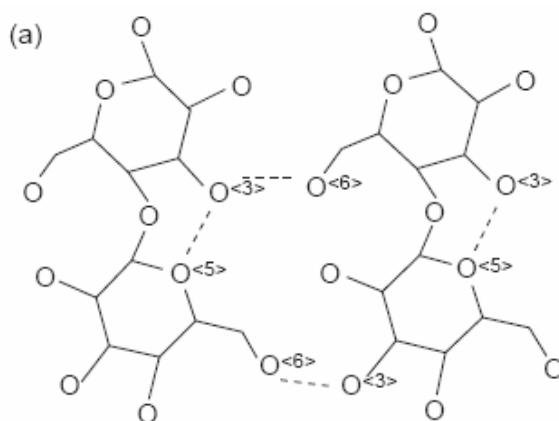


Kuva 2.2. Glyseraldehydin optiset muodot.

Hiilihydraateilla esiintyy myös konformaatiomuotoja, joissa hiilten väliset sidokset kiertyvät toisiinsa nähden ja yhdisteen rakenne muuttuu. Yhdisteen rakenne määräytyy yleensä sen energiaminimin mukaisesti. Esimerkiksi sykloheksaanilla tuolimuohto on stabiilimpi rakenne. Tuolimuohtoa esiintyy muun muassa selluloosamolekyylissä. (mm. Streitwieser, 1998)

### Selluloosa

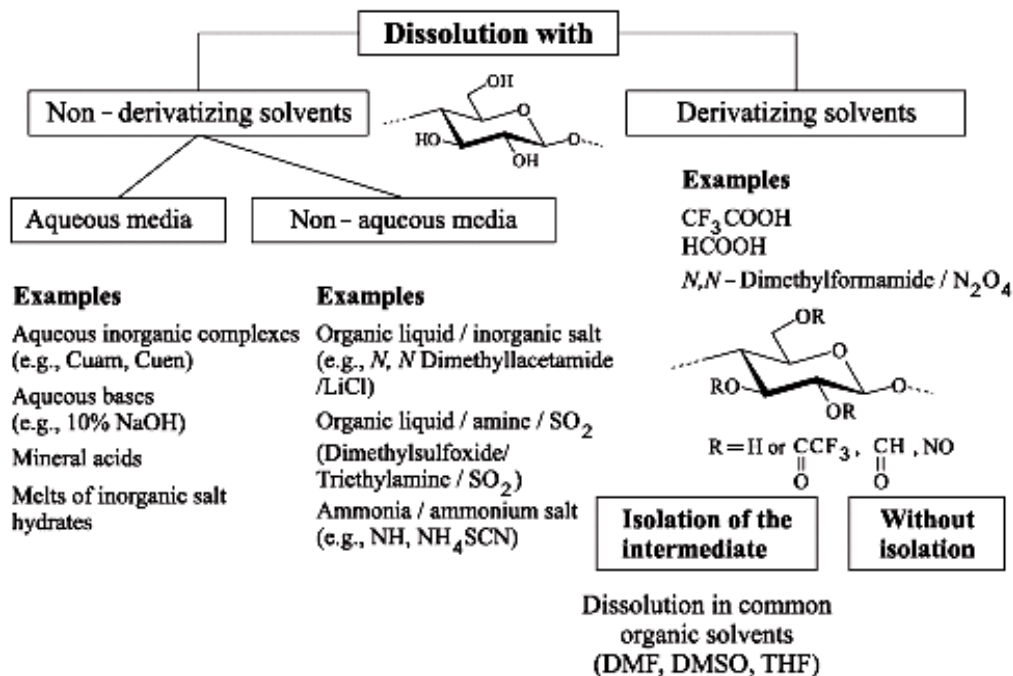
Selluloosa on maailman yleisin luonnossa esiintyvä polymeeri. Rakenteeltaan se on polysakkaridi, joka koostuu glukoosimolekyyleistä ( $C_6H_{12}O_6$ ). Selluloosassa glukoosimolekyylit ovat liittyneet lineaarisesti yhteen  $\beta$ -glukodisesti 1 $\rightarrow$ 4-sidoksilla (mm. Isotalo, 1990). Molekyylillä on vahvoja molekyylin sisäisiä ja molekyylien välisiä vetysidoksia (ks. kuva 2.3.).



Kuva 2.3. Selluloosamolekyyliden väliset vetysidokset. (O'Sullivan, 1997)

Selluloosakuitu rakentuu fibrilleistä, joissa joukko yhdensuuntaisia molekyyliketjuja on kiinnittynyt toisiinsa vetysidoksin. Selluloosamolekyylit muodostavat fibrilleissä järjestäytyneitä eli kiteisiä alueita sekä järjestäytymättömiä eli amorfisia alueita. Alkeisfibrillissä selluloosamolekyylit ovat asettuneet samansuuntaisesti kiinnittyen toisiinsa vetysidoksin. Alkeisfibrilli on siten selluloosan pienin rakenneyksikkö. Niistä muodostuu isompia kimppuja eli mikrofibrillejä ja lopulta varsinaisia (makro)fibrillejä. (mm. Wikberg, 2004; Klemm *et al.*, 2005 )

Selluloosan rakenteesta johtuen sen ominaisuuksiin kuuluu huono liukoisuus veteen ja orgaanisiin liuottimiin (mm. Klemm *et al.*, 2005). Selluloosan liuottamisella on keskeinen merkitys esimerkiksi selluloosan karakterisoinnissa ja muotoilussa. (Heinze & Koschella, 2005) Selluloosaa hyödynnetään teollisesti selluloosaksantaattina viskoosiprosessissa (luku 2.4.1.) sekä kuprammoniumhydroksina (*Cuam*) tai kuproetyleenidiaminina (*Cuen*), joissa selluloosaa on liuotettu epäorgaanisen anionin ja orgaanisen kationin muodostamaan yhdisteeseen eli ioniseen liuottimeen. Selluloosaa voidaan liuottaa sekä sellaisenaan että selluloosajohdannaisina. (vrt. kuva 2.4.). (Heinze & Koschella, 2005)

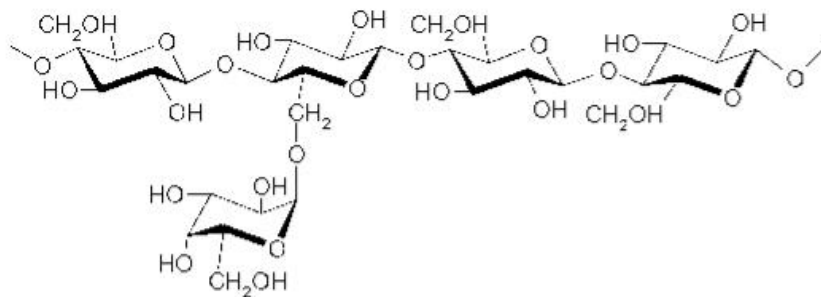


Kuva 2.4. Selluloosan liuottimien luokittelu Heinzen ja Koschellan (2005) mukaan.

Puun liukoisuutta ionisiin liuottimiin, esimerkiksi imidazolium-pohjaisiin yhdisteisiin, ovat tutkineet Kilpeläinen *et al.* (2007). 1-butyyl-3-metyyli-imidazoliumkloridi ja 1-allyyli-3-metyyli-imidazoliumkloridi ovat ionisia liuottimia, jotka tutkimusten mukaan liuottavat esimerkiksi kuusipuuta. Haasteena on edelleen liuottimien kehittäminen, sillä tutkimuksessa käytetyt liuottimet liuottivat puuhaketta vain osin. (Kilpeläinen *et al.*, 2007) Liuotetun puun hyödyntäminen uusissa toisen sukupolven kemikaaleissa on yksi tulevaisuuden tutkimuskohteista (mm. Clark, 2007).

### *Hemiselluloosa*

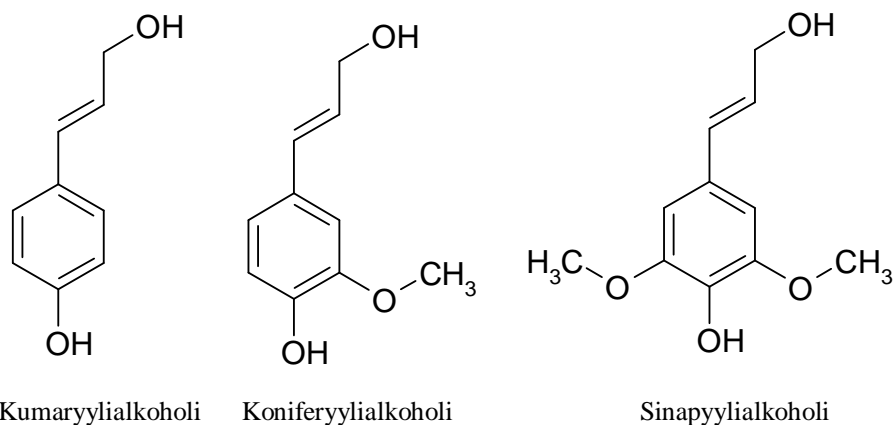
Hemiselluloosiksi kutsutaan yhdistejoukkoa, jotka koostuvat useista eri hiilihydraateista. Hemiselluloosia ovat havupuissa esiintyvä galaktoglukomannaani (ks. kuva 2.5.), arabinogalaktaani, lehtikuusen arabinoglukuroniksyylaani sekä lehtipuiden glukuroniksyylaani ja glukomannaani. (Tenkanen, 2004) Hemiselluloosan rakenne vaihtelee sekä puutyypin että puun osan mukaan. Suurin hemiselluloosapitoisuus on sekundaarisessa soluseinässä, jossa sitä on noin 30 % puun kuivamassasta (Morrell & Gartner, 1998). Hemiselluloosan rakenneyksiköt voivat olla pentooseja, heksooseja ja uronihappoja, jotka ovat usein asetyloituneita tai metyloituneita (mm. Isotalo, 1990; Tenkanen, 2004).



Kuva 2.5. Galaktoglukomannaanin kemiallinen rakenne (Wikberg, 2004).

### *Ligniini*

Ligniiniä muodostuu kolmen *p*-hydroksikanelialkoholin entsymaattisen dehydrautumisen kautta. Sen rakenne on monimutkainen, sillä sen monomeerit kytkeytyvät toisiinsa lukuisin eri tavoin, jolloin koko molekyylin rakenne haaroittuu. (mm. Argyropoulos & Menachem, 1997) Ligniini poikkeaa siten muista luonnonpolymeereistä eli selluloosasta, DNA:sta ja tärkkelyksestä, jotka koostuvat toistuvista rakenneyksiköistä. Ligniinillä rakenneyksiköitä eli monolignoleja on useita (ks. kuva 2.6.). Ligniinin prekursorit ovat *p*-kumaryylialkoholi, koniferyylialkoholi ja sinapyylialkoholi. (mm. Mohanty *et al.* 2002)



Kuva 2.6. Ligniinin prekursorit.

Lehtipuut rakentuvat pääosin kumaryylialkoholista, kun taas havupuissa on koniferyylialkoholia ja sinapyylialkoholia. (Lewis & Yamamoto, 1990) Ligniiniä esiintyy myös ruohovartisissa kasveissa, joissa se esiintyy suurilta osin esteröityneenä kumaraarihappona. Ligniiniä ei ole primitiivisissä kasveissa, joilta puuttuu johtojänne. Tällaisia kasveja ovat esimerkiksi levät ja sienet (Argyropoulos & Menachem, 1997)

### 2.1.1 Kasvikunnan kemiallinen koostumus

Hiilihydraattien ja muiden makromolekyylien osuus kasveissa vaihtelee kasvin rakenteen ja ominaisuuksien mukaan. Puut jaetaan lehtipuihin (*hardwood*) ja havupuihin (*softwood*). Näiden kemiallinen koostumus on erilainen: lehtipuulajeissa on enemmän selluloosaa ja vähemmän hemiselluloosaa kuin havupuissa (Morrell & Gartner, 1998). Puu- ja ruohovartisen kasvien suurin kemiallinen eroavaisuus taas on se, että puuvartisissa kasveissa on suhteessa paljon ligniiniä (mm. Argyropoulos & Menachem, 1997). Myös ligniini rakenne eri kasveissa vaihtelee.

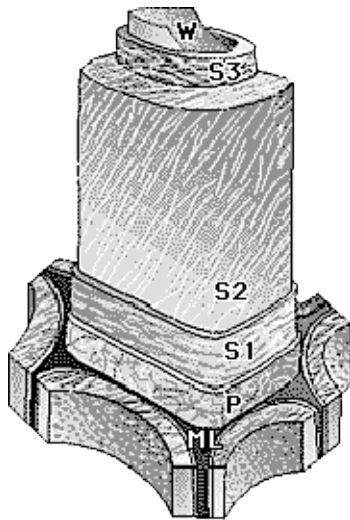
Puun kuivamassasta yli 90 % koostuu niin sanotusta lignoselluloosasta eli selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä. Lignoselluloosan polymeerikoostumus vaihtelee lajista toiseen. Ligniinin osuus on havupuissa suurempi kuin lehtipuissa, joiden selluloosa- ja hemiselluloosapitoisuus taas on hieman korkeampi. Suomen yleisimpien puulajien, kuusen, männyn ja koivun suurin yksittäinen rakenneosa on selluloosa (ks. taulukko 2.1.).

Taulukko 2.1. Puulajien keskimääräinen koostumus (Isotalo, 1990)

Laji	Selluloosa (%)	Hemiselluloosa (%)	Ligniini (%)	Uute (%)	Tuhka (%)
Kuusi	42	26,5	29	2	0,5
Mänty	41	24,5	29	5	0,5
Koivu	38,5	38	20	3	0,5

Kuten taulukosta 2.1. havaitaan, havupuissa ja lehtipuissa on jonkin verran rakenteellisia eroavaisuuksia. Ligniinin osuus on suurempi havupuilla, kun taas lehtipuissa hemiselluloosan osuus on lähes yhtä suuri kuin selluloosan. Tuhkaa on puissa suunnilleen saman verran, mutta uutteen määrä vaihtelee. Puun uuteaineisiin luetaan muun muassa hartsit, alkoholit, fenolit, rasvat ja pektiini. Käytännössä uuteaineista käytetään usein yleisnimeä pihka. Myös pihkalla on erilainen koostumus riippuen puulajista: havupuiden pihka koostuu terpeeneistä ja hartsihapoista, kun taas lehtipuiden pihka rasvoista, vahoista ja steroleista. (Isotalo, 1990)

Puun makromolekyylit, selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini sitoutuvat toisiinsa vety- ja kovalenttisin sidoksin muodostaen kasvisolujen soluseinän (ks. kuva 2.7.). Puun soluseinä koostuu useista kerroksista, joiden lignoselluloosakoostumus on erilainen. Uloinna on ligniinipitoinen välilamelli (ML), joka liittyy kasvisolut toisiinsa. Sen rakenne on samankaltainen kuin primaarisen soluseinän (P), ja se luetaan usein kuuluvaksi siihen. Primaarisen soluseinän ja välilamellin ligniinipitoisuus vaihtelee 50–90 % välillä, joten se on puun ligniinipitoisin kerros. (Morrell & Gartner, 1998). Primaariseinänsä hemiselluloosapitoisuus on suurempi kuin selluloosapitoisuus. (Fagerstedt *et al.*, 2004) Sekundaarisessa solukerroksessa selluloosaa on enemmän, ja kovissa puissa pitoisuus saattaa olla jopa 55 %. (Morrell & Gartner, 1998) Sekundaarinen soluseinä jakautuu kolmeen kerrokseen: S<sub>1</sub> on ensimmäisenä primaarisen seinän alla ja S<sub>3</sub> sijaitsee solukalvon lähellä. Niiden väliin jää S<sub>2</sub> -kerros, jonka selluloosapitoisuus on korkein (Klemm *et al.*, 2005).



Kuva 2.7. Puun soluseinän kerrokset (mm. Argyropoulos & Menachem, 1997)

ML= välilamelli, P= primaariseinä, S= sekundaarinen soluseinä, jossa on kolme toisistaan erotettavaa kerrosta. W kuvaa puun kuollutta osaa.

## 2.2 Eläinkunnan molekyylit

Eläinkunnan molekyyleistä voidaan teollisesti hyödyntää erilaisia rasvahappoja, proteiineja sekä joitain hiilihydraatteja, muun muassa kitosaania. Proteiinilähteinä hyödynnetään kanojen sulkien keratiinia (Barone & Schmidt, 2006) ja rasvahappoja voidaan eristää turskan maksasta (Holm, 2007). Lipidejä saadaan myös kasvipärisistä lähteistä, kuten maissista, oliiviöljystä ja rypsiästä.

### *Lipidit*

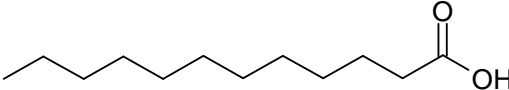
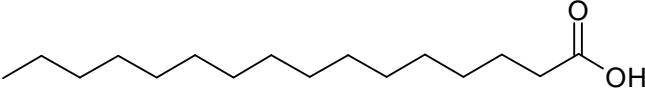
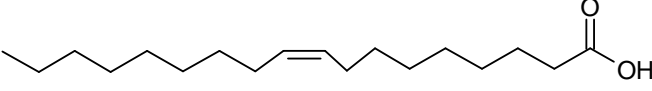
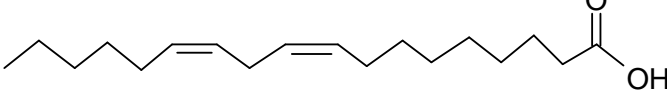
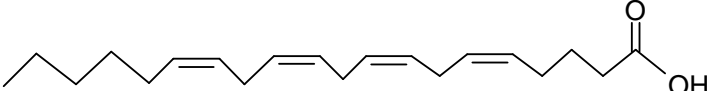
Eläinkunnan lipidejä hyödynnetään vapaina rasvahappoina esimerkiksi biodieselin tuotannossa, jossa rasvahapot vaihtoesteröidään yleensä glyseroliksi ja metyyliesteriksi. Elimistössä rasvahapot esiintyvät rasvoina eli triasyyliglyseroleina. Niistä saadaan rasvahappoja hydrolysoimalla, sillä ne rakentuvat kolmesta esterisidokin glyseroliin kiinnittyneestä rasvahaposta.

Triglyserolit voidaan jakaa rasvoihin ja öljyihin. Rasvat, joita saadaan pääosin eläinkunnasta, esimerkiksi lihasta, voista ja juustosta, ovat huoneenlämmössä kiinteitä. Öljy on huoneenlämmössä nestemäinen ja se on usein alkujaan kasvisperäinen triasyyliglyseroli.



Triasyyliglyserolit ovat rasvahappoja. Rasvahapot ovat yksinkertaisimpia lipidejä, jotka rakentuvat pitkästä hiilivetyketjusta ja sen päässä olevasta karboksyyli-ryhmästä. Hiilivetyketjun pituus vaihtelee ja ketjussa voi lisäksi olla kaksoissidoksia yhdessä tai useammassa kohtaa. Kaksoissidokset tekevät rasvahaposta tyydyttymättömän. Tyydyttymättömiä rasvahappoja ovat sekä mono- eli kertatyydyttymättömät rasvahapot että monityydyttymättömät rasvahapot. Suurin osa kasvien rasvahapoista on tyydyttymättömiä, toisin kuin eläinrasvat, jotka usein ovat tyydyttyneitä. Oliiviöljy on esimerkki monityydyttymättömästä ja pellavansiemenöljy monityydyttymättömästä rasvasta (ks. taulukko 2.2.).

Taulukko 2.2. Esimerkkejä luonnon rasvahapoista (Timberlake, 2002, 579).

Nimi	Hiilten lkm	Rakenne	Lähde
Lauriini-happo	12		Kookos
Steariini-happo	16		Eläinrasvat
Oleiini-happo	18		Oliivi, maissi
Linoleiini-happo	18		Maissi
Arakidoni-happo	20		Prostaglandiinit

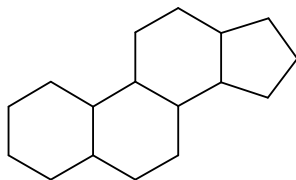
Luonnossa esiintyvät rasvahapot ovat lähes poikkeuksetta konfiguraatioltaan *cis*-muotoa. (Holm, 2007) Kaksoissidokset, jos niitä on enemmän kuin yksi, ovat yleensä kolmen hiilen päässä toisistaan (vrt. taulukko 2.2.). Rasvahappoja saadaan kookoksen, maissin ja oliivin lisäksi myös eläinperäisistä lähteistä, kuten kalaöljystä ja kalanmaksaöljystä. Kalaöljyä saadaan rasvaisten kalojen lihasta ja kalanmaksaöljyä turskan maksasta. Molemmat öljyt sisältävät pitkäketjuisia monityydyttämättömiä rasvahappoja, erityisesti eikosapentaeni-, dokosapentaeni- ja dokosaheksaenihappoa.

Rasvahappoja ovat triasyyliglyserolien lisäksi erilaiset vahat, fosfolipidit, sfingolipidit ja prostaglandiinit. Vahat muodostuvat rasvahaposta ja pitkäketjuisesta alkoholista, jotka sitoutuvat toisiinsa esterisidoksella. (mm. Timberlake, 2002) Luonnossa esiintyviä vahoja ovat mehiläisvaha ja lanoliini. Niitä muodostuu kasvien ja eläinten pintakerroksissa, josta ne erittyvät eläinten iholle ja kasvien pinnalle estämään veden haihtumista, suojaamaan pintaa kastumiselta, veden kuluttavalta vaikutukselta ja lämpötilan vaihteluilta. (Holm, 2007)

Rasvahappoja sisältävät hormonin kaltaiset prostaglandiinit muodostuvat arakidonihaposta. Fosfolipidissä on glyseroliin kiinnittynyt rasvahappojen lisäksi fosforihappo. (Timberlake, 2002) Fosfolipidejä on runsaasti eläinten aivo- ja hermokudoksessa (Holm, 2007) Sfingolipideissä sfingosini -niminen pitkäketjuinen aminoalkoholi on korvannut glyserolin (Timberlake, 2002).

Kaikki lipidit eli edellä mainitut rasvahapot sekä steroidit ovat veteen liukenemattomia yhdisteitä. Ne liukenevat poolisiin liuottimiin vain vähän, mutta hyvin poolittomiin liuottimiin. Liukoisuus johtuu niiden alifaattisesta hiilivetyketjusta, jossa hiiliketjupää on hydrofobinen. (mm. Denniston *et al.*, 2004)

Steroideissa ei ole lainkaan rasvahappoja. Tällaisia lipidejä ovat kolesteroli, sappisuola ja steroidihormonit. Steroidien ydin rakentuu neljästä renkaasta, johon lisätään muita atomeja tai funktionaalisia ryhmiä (ks. kuva 2.8.) (mm. Timberlake, 2002). Steroideja saadaan esimerkiksi puusta, ja selluteollisuuden sivutuotteena syntyneet steroidit hyödynnetään esimerkiksi lääke-, elintarvike ja kosmetiikkateollisuudessa (Hase *et al.*, 1998)



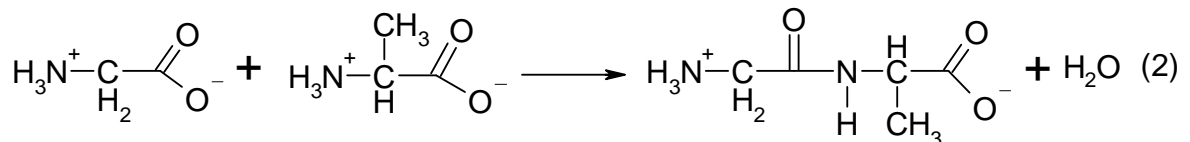
Steroidiydin

Kuva 2.8. Steroidien rakenne.

## Proteiinit

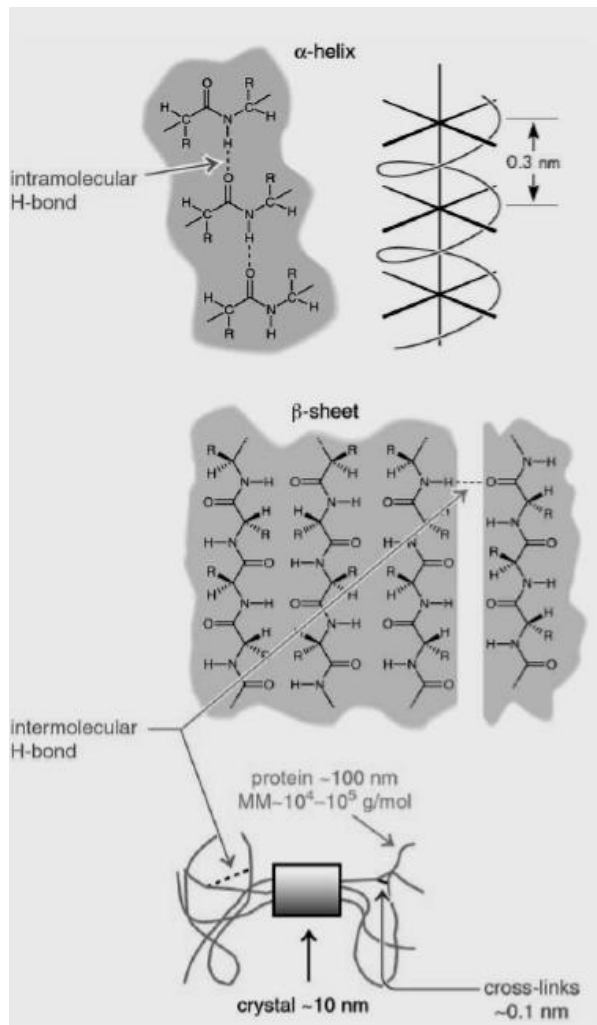
Proteiinit ovat elämälle välttämättömiä tyypittöisiä yhdisteitä. Luonnossa esiintyviä ja teollisesti hyödynnettäviä proteiineja saadaan esimerkiksi eläinten jätteistä. Proteiinipitoisia aineita ovat muun muassa kanojen sulkien ja eläinten sarvien keratiini, lehmän heraproteiini ja maissista saatava *zein* -proteiini. Teollisesti merkittävää on myös kollageenin hyödyntäminen gelatiinina. (Barone & Schmidt, 2006)

Proteiinit rakentuvat aminohapoista, jotka liittyvät toisiinsa peptidisidoksin muodostaen jopa tuhansien yksiköiden polypeptidejä. Polypeptidien muodostuminen on eliminaatioreaktio, jossa lohkeaa vettä (reaktio 2). Esimerkiksi aminohapot glysiini ja alaniini reagoivat seuraavasti muodostaen glysiinalaniinin:



Aminohappoja on kymmeniä erilaisia, mutta proteiinit rakentuvat pääosin 20 erilaisesta aminohaposta, joita ovat glysiini, alaniini, valiini, leusiini, isoleusiini, metioniini, proliini, fenyylialaniini, tryptofaani, seriini, treoniini, kysteiini, tyrosiini, asparagiini, glutamiini, asparagiinihappo, glutamiinihappo, lysyiini, arginiini ja histidiini. (mm. Denniston *et al.*, 2004) Aminohapot ovat amfoteerisiä eli niillä on sekä emäksinen aminoryhmä (-NH<sub>2</sub>) että hapan happoryhmä (-COOH). Ne voivat toimia joko happona tai emäksenä. Aminohapot ovat lisäksi optisesti aktiivisia, eli niillä on sekä D- että L-muoto. Kaikki elimistön aminohapot ja myös proteiinien rakenneosat ovat L-muotoa lukuun ottamatta yksinkertaisinta aminohappoa, glysiiniä. (mm. Timberlake, 2002)

Proteiineissa on tyypillisesti noin 50–8000 aminohappoa ketjuuntunut peptidisidoksin (mm. Streitwieser, 1998). Tätä aminohappojärjestystä kutsutaan proteiinin primaarirakenteeksi. Sekundaari-rakenne muodostuu aminohappoketjujen liittyessä toisiinsa vetysidoksin tai rikkisilloin. Yleisimmät rakenteet ovat α-heliksi, β-laskos sekä kollageenilla esiintyvä triplaheliksi. Korkkiruuvimainen α-heliksi muodostuu peptidisidoksen N-H -sidoksen ja seuraavan käännöksen C=O -sidoksen väliin, kun taas β-laskoksen vetysidokset muodostuvat peptidiketjujen välille (ks. kuva 2.9.).

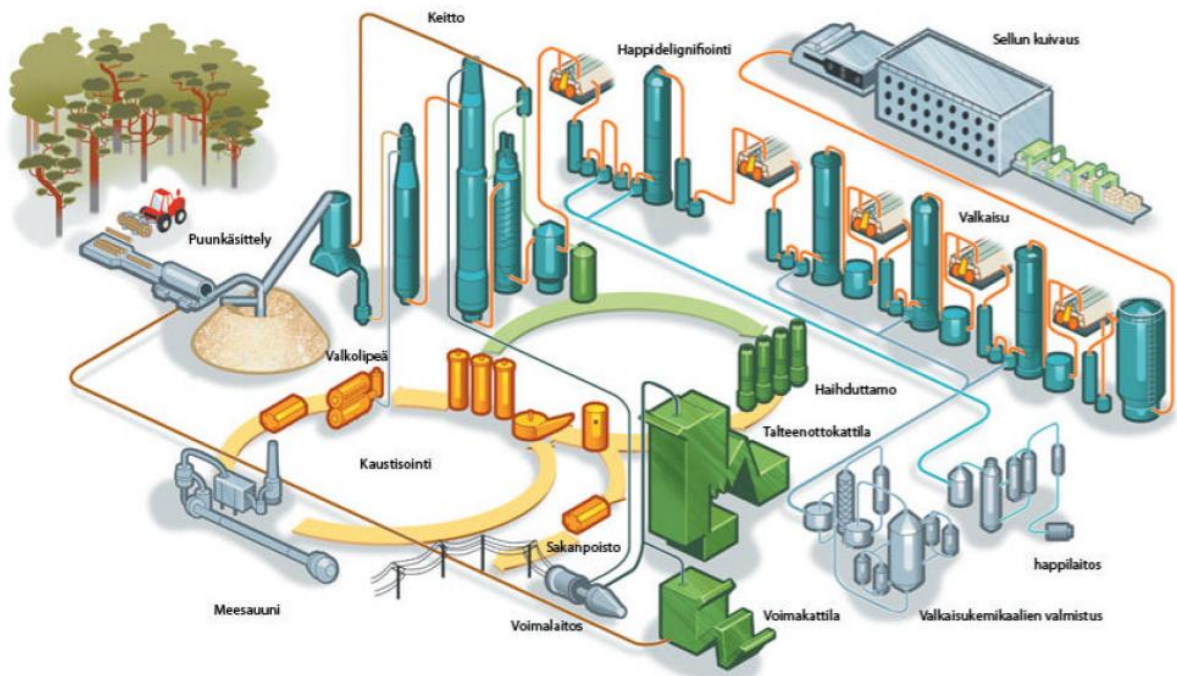


Kuva 2.9. Proteiinin sekundaarirakenne (Barone & Schmidt, 2006).

Proteiinin tertiaalirakenne saadaan, kun tarkastellaan yksittäisen proteiinin kolmiulotteista rakennetta, jossa vaikuttavat hydrofobiset ja hydrofiiliset vuorovaikutukset, suolasillat sekä vety- ja rikkisidokset. Kvartenaarirakenne on kahden tai useamman proteiinin muodostama biologisesti aktiivinen proteiini. Siinä huomioidaan proteiinin kaikki monomeerit eli polypeptidiketjut. Esimerkiksi veren hapen kuljettajamolekyylä, hemoglobiini, on neljän polypeptidiketjun muodostama tetrameeri, jossa on kaksi  $\alpha$ - ja kaksi  $\beta$ -ketjua. Jokaisessa hemoglobiiniproteiinissa on hemiryhmä, joka sitoo happimolekyylin. (mm. Timberlake, 2002)

## 2.3 Uusiutuvien luonnonvarojen teollinen hyödyntäminen

Tällä hetkellä yleisin tapa hyödyntää luonnon molekyyliä on ruoan valmistus. Teollisesti merkittävin prosessi on paperinvalmistus. Siinä puun selluloosa hyödynnetään selluna (ks. kuva 2.10.). Paperinvalmistukseen käytettävää sellua valmistetaan pääasiassa kahdella tavalla: sulfaatti- ja sulfiittimenetelmällä. (mm. Isotalo, 1990) Menetelmät perustuvat puuraaka-aineen keittämiseen, jossa ligniini ja muut puun side- ja liima-aineet erotetaan. Sellun valmistuksessa hyödynnetään sekä havu- että lehtipuita.



Kuva 2.10. Sellun valmistus kaavakuvana. (Metso Oyj, 2006)

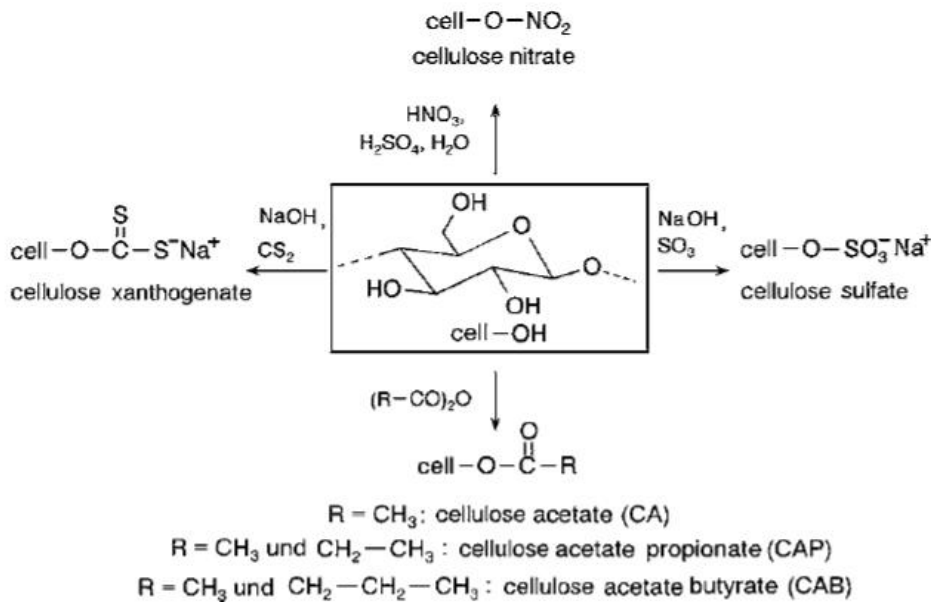
Selluteollisuus tuottaa monia rinnakkaistuotteita, kuten tärpättiä, mäntyöljyä ja sitosterolia. Suomessa havupuuta käyttävien sulfaattisellutehtaiden rinnakkaistuotteena syntynyttä sulfaattitärpättiä tislataan Oulussa. Tärpätin valmistuksessa hyödynnetään puun sisältämiä terpeenejä, esimerkiksi  $\alpha$ -pineeniä,  $\beta$ -pineeniä ja  $\Delta^3$ -kareenia. Mäntyöljyssä käytetään puun rasva- ja hartsihappoja lähtöaineina ja sitosteroleissa raaka-aineena ovat puun steroidit. (Hase *et al.*, 1998)

### 2.3.1 Puun molekyylien hyödyntäminen

#### *Selluloosa*

Ensimmäinen ihmisten valmistama muovi, selluloidi, valmistettiin nitroselluloosasta ja kamforista. Sen käyttötarkoituksena oli tuolloin norsunluun ja posliinien korvaaminen erilaisissa käyttötuotteissa, ruoka-astioissa ja hygieniatuotteissa. Selluloidista valmistetaan edelleen muun muassa pöytätennispalloja. (mm. Klemm *et al.*, 2005)

Nykyisin selluloosaa hyödynnetään tekstiili- ja paperiteollisuuden lisäksi synteettisten selluloosaesterien ja -etterien raaka-aineena. Selluloosasta voidaan valmistaa erilaisia sulfaatteja, estereitä ja eettereitä (ks. kuva 2.11.).

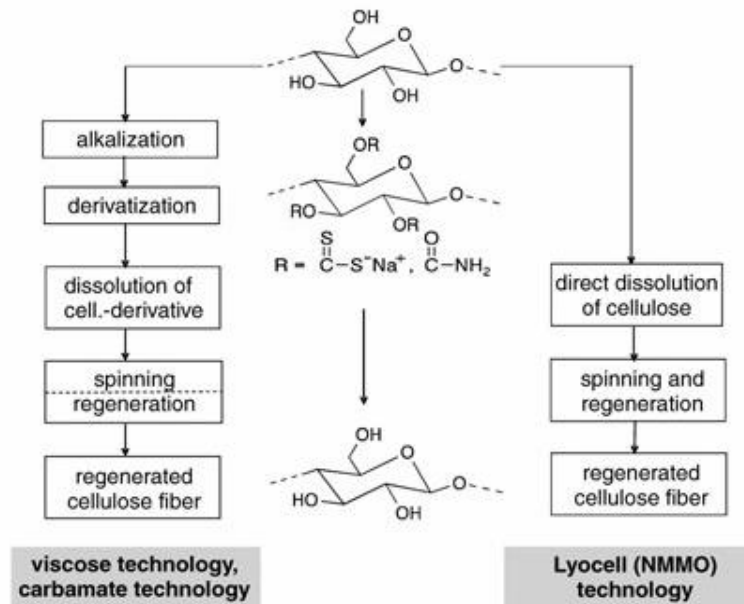


Kuva 2.11. Kaavakuva selluloosan hyödyntämisestä (Klemm *et al.* 2005).

Selluloosanitraatista (ylhäällä) valmistetaan selluloidia, selluloosaksantaatti (vasemmalla) on viskoositeollisuuden pääraaka-aine, selluloosaesterit (alhaalla) ovat biohajoavien polymeerien raaka-aineita ja selluloosasulfaattia (oikealla) hyödynnetään geelin muodostuksessa ja filmeissä.

Selluloosaa hyödynnetään myös uusiutuvien polymeerien raaka- ja lisäaineena. Hydrofiiliset selluloosakuidut ovat yhteensopivia lähes kaikkien luonnonpolymeerien kanssa. Selluloosakuituja on esimerkiksi käytetty parantamaan hydrofobisen polylaktidihapon eli PLA:n vetolujuutta ja muita ominaisuuksia. (Yu *et al.*, 2007)

Selluloosan teollinen hyödyntäminen keskittyy erilaisten prosessien hyödyntämiseen, joissa selluloosaa tai sen johdannaisia voidaan hyödyntää liuoksena tai heterogeenisena seoksena. (Klemm *et al.* 2005) Tällaisia prosesseja ovat viskoosiprosessi, karbamaattiteknologia ja Lyocellin prosessi (vrt. kuva 2.12.).

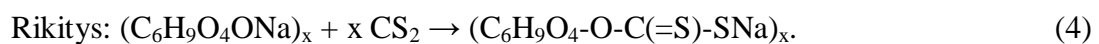
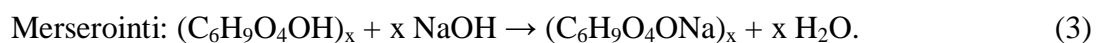


Kuva 2.12. Selluloosaprosessien pääperiaatteet. (Klemm *et al.*, 2005).

Vasemmalla selluloosan johdannaismetodit (viskoosiprosessi ja karbamaattiteknologia), jossa selluloosaa voidaan hyödyntää vasta liuotuksen tai aktivoinnin jälkeen ja oikealla suora metodi, Lyocellin prosessi, jossa selluloosaa ei erikseen tarvitse aktivoida tai muokata.

### Viskoosiprosessi

Selluloosaa voidaan hyödyntää monien erilaisten prosessien kautta. Viskoosiprosessi oli ensimmäinen laajassa teollisessa mittakaavassa hyödynnetty reaktio synteettisten kuitujen tuottamiseen. Prosessissa selluloosa merseroidaan eli käsitellään alkalisella liuoksella (natriumhydroksidilla), ja sen jälkeen hiilidisulfidilla ( $\text{CS}_2$ ), jolloin saadaan selluloosaksantaattia ( $\text{C}_6\text{H}_9\text{O}_4\text{-O-C(=S)-SNa}_x$ ) (reaktiot 3 ja 4). (Hase *et al.*, 1998)



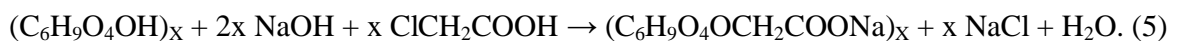
Selluloosaksantaatti liuotetaan natriumhydroksidiliuokseen, jolloin syntyy paksu liuos, jota kutsutaan viskoosiksi. Näin muodostunut viskoosi voidaan lopulta "kehrätä" liuoksesta. (Hase *et al.*, 1998)

Viskoosimenetelmällä valmistetaan tekstiilikuituja ja raonia. Sitä käytetään edelleen esimerkiksi sellofaanifilmien valmistuksessa. Menetelmän ongelmana on sen kuormittavuus, sillä viskoosiprosessissa voidaan hyödyntää vain puhtaita lähtöaineita. Lisäksi rikkihiilen käyttö aiheuttaa suuria päästöjä. (Klemm *et al.*, 2005)

### *Karbamaattiteknologia*

Karboksimetyyliselluloosa eli CMC on kemialliselta koostumukseltaan selluloosan ja glykolihamon natriumsuolan muodostama eetteri. Sitä hyödynnetään eri teollisuuden aloilla, sillä se stabiloi erilaisia dispersioita, pidättää vettä sekä toimii kalvojen muodostajana. CMC:tä käytetään esimerkiksi paperi-, pesuaine-, tekstiili- ja elintarviketeollisuudessa. (Hase *et al.*, 1998) Karbamaattiteknologiassa selluloosaa käsitellään urealla, jolloin muodostunut selluloosakarbamaatti on liukoinen esimerkiksi natriumhydroksidiliuokseen (vrt. luku 2.1.). (Klemm *et al.*, 2005)

Eetteri muodostuu, kun selluloosa reagoi monokloorietikkahapon kanssa (reaktio 5) (Hase *et al.*, 1998).



Karbamaattiteknologian etuna viskoosiprosessiin nähden on urean käyttäminen hiillidisulfidin sijaan, jolloin ympäristön kuormitus vähenee. (Klemm *et al.*, 2005)

Samankaltainen prosessi on myös selluloosan entsyymaattiseen käsittelyyn perustuvassa *Celcol*-prosessissa. Siinä selluloosa käsitellään entsyymaattisesti ennen reaktiota alkalisen liuoksen kanssa. Entsyymaattista selluloosatekniikka on kehitetty Tampereen teknillisellä yliopistolla. (Palovuori, 2004)



### *Lyocellin prosessi*

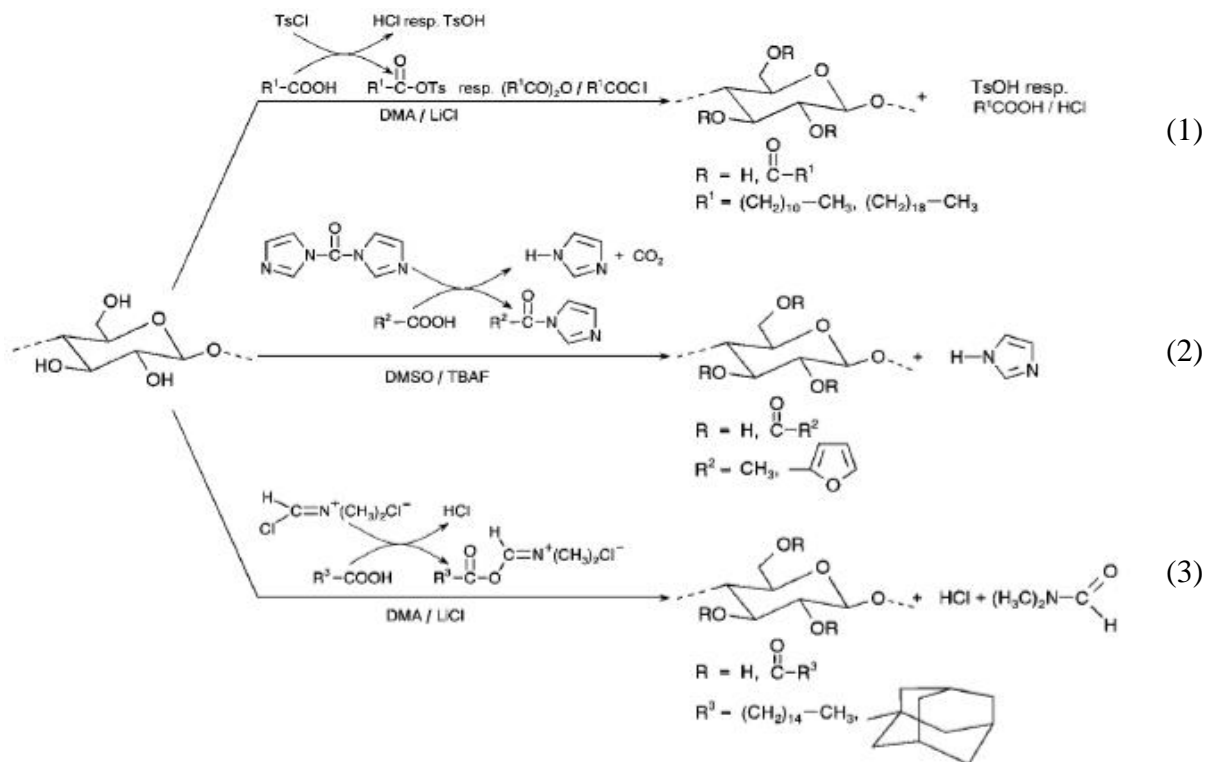
Lyocell -prosessi on vaihtoehtoinen tapa valmistaa viskoosia. Siinä selluloosa liuotetaan vedellä ja *N*-metyylimorfoliini-*N*-oksidilla (NMMO-monohydraatilla). Prosessin etuina viskoosiprosessiin nähden voidaan pitää liuottimen ympäristöystävällisyyttä, sillä viskoosiprosessissa rikkihiilipäästöt ovat suuria ja ympäristöä saastuttavia. Lyocellin prosessissa liuottimena toimiva NMMO on kierrätettävissä jopa 99,5 prosenttisesti (Rosenau *et al.*, 2003).

Lyocellin prosessissa lähtöaineen selluloosapitoisuus voi olla matalampi kuin viskoosiprosessissa. (Klemm *et al.*, 2005) Prosessin haasteena ovat sivureaktiot, sillä niissä syntyy esimerkiksi morfoliiniä ja HCHO:ta eli formaldehydiä. Nämä sivureaktiot tulisi tulevaisuudessa pystyä stabiloimaan (Rosenau *et al.*, 2003). Lyocellin prosessin avulla voidaan valmistaa monia selluloosan johdannaisia, esimerkiksi sähköä johtavia ja piezoelektrisiä kuituja sekä helmiselluloosaa erilaisiin koteloihin. (Klemm *et al.*, 2005)

### *Selluloosaesterit*

Selluloosaesterit, esimerkiksi selluloosa-asetaatti (CA,  $Cell-O-C(=O)CH_3$ ) ja selluloosa-asetaatipropionaatti (CAP,  $Cell-O-C(=O)CH_2CH_3$ ) ovat esimerkki biohajoavista polymeereistä. Niitä käytetään pinnoitteissa ja laminaateissa täyteaineina ja sitoijina. Selluloosa-asetaatipropionaattia (CAP) käytetään esimerkiksi hammasharjojen varsiosissa (Mohanty *et al.*, 2002).

Selluloosaestereitä valmistetaan useiden eri reaktioiden kautta, joissa selluloosan vapaita happoryhmiä aktivoidaan esimerkiksi tosyylidikloridilla tai iminiumkloridilla (ks. kuva 2.13.). (Klemm *et al.*, 2005)



Kuva 2.13. Selluloosaesterin valmistus.

Selluloosan vapaat happoryhmät aktivoidaan DMA/LiCl- tai DMSO/TBAF -olosuhteissa (1) tosyylikloridin, (2) N,N'-karbonyldiimidatsolin tai (3) iminiumkloridin läsnä ollessa, jolloin lopputuotteena saadaan esteri.

### Ligniini

Ligniini on kasvin komponenteista selkeästi vähiten hyödynnetty, vaikka se on luonnon polymeereistä toiseksi yleisin heti selluloosan jälkeen. Ligniini sitoo puun selluloosan ja hemiselluloosan ja vastaa siten myös kasvin mekaanisesta kestävydestä. Paperiteollisuudessa ligniini hydrolysoidaan erilleen puumassasta, jolloin selluloosakuidut saadaan erilleen. Näin syntynyt ligniini hyödynnetään pääosin nestemäisenä polttoaineena. (Clark, 2007)

Ligniinin teollisessa hyödyntämisessä on edelleen paljon kehitettävää, vaikka siitä valmistetaan esimerkiksi vanilliinia, etanolia, ksylitolia ja dimetyylisulfoksidia (DMSO). Ligniini johdannaisia käytetään myös kipsilevyissä, väri- ja torjunta-aineiden hajotuksessa sekä kumin lisäaineena. (Northey, 1991) Ligniinin sovelluksia ja käyttöalueita tulee kehittää myös Suomessa (Metsäklusteri, 2006).

### *Hemiselluloosa*

Puun kolmas komponentti, hemiselluloosa, on ligniinin tavoin varsin vähän hyödynnetty yhdiste. Ainoastaan muutamissa teollisissa prosesseissa, esimerkiksi leivässä ja paperimassassa, hemiselluloosa hyödynnetään tuotteen oleellisena osana. Monissa prosesseissa hemiselluloosat poistetaan tai poltetaan tai sitten ne käytetään edelleen rehun raaka-aineena. (Tenkanen, 2004)

Hemiselluloosa vastaa osaltaan puun soluseinän joustavuudesta, sillä se on soluseinän vettä imevä eli hydrofiilinen komponentti. Se liukenee alkalisiin liuottimiin, ja monomeerisiä rakenneyksiköitä hyödynnetään esimerkiksi ksylitolin valmistuksessa. Monosakkaridit voidaan myös muuntaa hiivafermentoinnin avulla etanoliksi tai mikrobien avulla vaikkapa maitohapoksi ja siitä edelleen biohajoavien muovien rakenneosaksi. Hemiselluloosan uusista käyttömahdollisuuksista Tenkanen (2004) nimeää biohajoavat kalvot, paperin valmistuksen sekä paksunnosaineet ja hydrogeelit.

### **2.3.2 Lipidien hyödyntäminen**

Öljyt ja rasvat ovat merkittävä raaka-ainelähde kemianteollisuudelle, sillä niiden sisältämät puhtaat rasvahapot sopivat lähtöaineiksi sellaisenaan. Kaksoissidoksia sisältävät rasvahapot, kuten oleiini- eli öljyhappo, linolihappo ja linoleiinihappo ovat kemiallisesti helposti muokattavissa ja siten teollisesti merkittävimpiä. Näitä rasvahappoja saadaan auringonkukista, soijapavusta ja linsseistä. Myös muita rasvahappoja hyödynnetään jo teollisesti. Tällaisia ovat esimerkiksi rasvahapot, joita saadaan kehätarhakukasta (*Calendula officinalis*) ja korianterista (*Coriandrum sativum*). Varsinaisia lipideistä saatavia "öljykemikaaleja" (oleochemicals) ovat vapaat rasvahapot, metyyliesterit, glyseroli sekä rasva-alkoholit ja rasva-aminot. (Metzger & Bornscheuer, 2006)

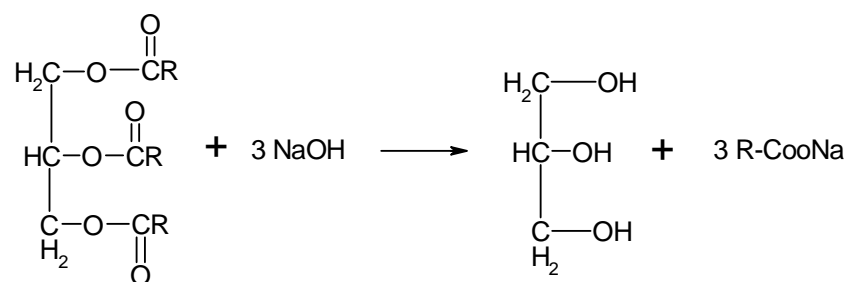
Vapaita rasvahappoja saadaan triglyserolien eli rasvan hydrolyysissä, joko entsymaattisesti tai olosuhteissa, joissa lämpötila on 250 °C ja paine 20–60 baaria. Rasvahapon estereitä tuotetaan transesterifikaatioreaktiolla eli vaihtoesteröinnillä. Esteröinnissä käytetään joko metanolia metyyliestereiden tuotantoon tai etanolia etyyliesteriden tuottamiseen. Metanoli on yleisimmin käytetty, sillä se on raaka-aineena edullisempää. Rasvahappojen ja rasva-

estereiden tuotanto tuottaa sivutuotteena lisäksi glyserolia, jonka teollista hyödyntämistä pyritään parantamaan. Glyserolia hyödynnetään tällä hetkellä esimerkiksi rehussa, elintarvike- ja lääketieteellisyydessä sekä teollisuuden maaleissa ja muoveissa. Ongelmana on glyserolin liikatuotanto, sillä sitä ei kyetä täysin hyödyntämään. Glyserolin sulamispiste on matala (alle 20 °C), ja se on hygroskooppinen eli vettä sitova aine. (Metzger & Bornscheuer, 2006)

Lipideistä valmistetaan myös erilaisia anionisia pinnoitteita, jotka ovat sekä ympäristöystävällisiä että hinta-laatu -suhteeltaan edullisia. Tällainen uusi pinnoite on esimerkiksi kookosmonoglyseriinisulfaatti (CMGS), jota voidaan valmistaa vaihtoesteröinnillä kookosöljystä ja glyserolista. Reaktio on kaksivaiheinen: ensin tapahtuu vaihtoesteröinti ja toisessa vaiheessa syntyneen glyseriinin annetaan reagoida rikkiatrioksidin kanssa, jolloin syntyy haluttua sulfaattia. CMG-sulfaattia hyödynnetään kosmetiikkateollisuudessa pinnoitteena. (Hill, 2000)

Öljykemikaaleja hyödynnetään eniten saippuan valmistuksessa ja biodieselin tuotannossa. Niistä valmistetaan myös entsymaattisten tai mikrobisten muutoksien jälkeen tuotteita, joita käytetään muun muassa kosmetiikkateollisuudessa, liukastusaineina ja pinnoitteina. Alan uusia sovelluksia ovat öljykemikaalien johdannaiset, dihapot,  $\omega$ -hydroksirasvahapot ja  $\omega$ -tyydyttymättömät rasvahapot, joita hyödynnetään polyesterien ja polyamidien tuotannossa. (Metzger & Bornscheuer, 2006)

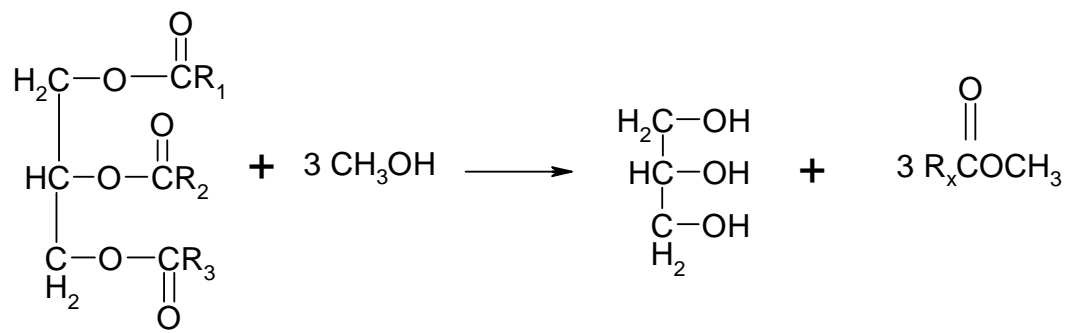
Saippuan valmistus on yksi vanhimpia tunnettuja menetelmiä orgaanisessa kemiassa. (ks. reaktio 2.1.) Siinä rasva eli triglyseroli hajotetaan vapaiksi rasvahapoiksi ja glyseroliksi yleensä keittomenetelmällä. Vapaat rasvahapot reagoivat edelleen emäksen, yleensä natriumhydroksidin kanssa ja reaktiossa muodostuu saippuaa. Saippua on siis rasvahapon natriumsuola.



Reaktio 2.1. Saippuan valmistus.

Toinen lipidien teollisesti merkittävä sovellus on biodieselin valmistaminen. Biodieseliä valmistetaan perinteisesti transesterifikaatiomenetelmällä eli vaihtoesteröinnillä, jossa kasvisöljystä ja alkoholista saadaan rasvahapon alkyyliesteriä eli biodieseliä ja glyserolia (ks. reaktio 2.2.) (mm. Aksela & Aksela, 1995).

Vaihtoesteröinti voi tapahtua myös huoneenlämpötilassa ja normaalipaineessa entsyymaattisesti. Entsyyminä käytetään tällöin esimerkiksi lipaasia. Yleensä vaihtoesteröinnissä alkoholina on metanoli tai etanoli ja katalyyttinä käytetään joko alkalia tai happoa. Alkalikatalysoitu reaktio on noin 400 kertaa nopeampi kuin happokatalysoitu reaktio, mutta se vaatii puhtaammat lähtöaineet. (mm. Al-Zuhair, 2007)



Reaktio 2.2. Vaihtoesteröintireaktio.

Biodieselin valmistus voidaan jakaa ensimmäisen ja toisen sukupolven biodieseliin. Ensimmäisen sukupolven biodieseleihin kuuluu esimerkiksi metyyliesteri FAME, jossa käytetään rasvahappojen lisäksi fossiilista metanolia (Neste Oil, 2007).

Ensimmäisen polven biodieseliä on valmistettu esimerkiksi tupakansiemänöljystä (*Nicotiana tabacum*), joka sisältää suuren määrän yksinkertaisia rasvahappojen alkyylistereiteitä (FAME). Tupakansiemänöljyä saadaan sivutuotteena tupakantuotannossa, joten se on halpa ja hyödyllinen uusiutuva luonnonvara. Veljković *et al.* osoittavat, että tupakansiemänöljystä voidaan valmistaa biodieseliä kaksivaiheisen prosessin kautta. Lopputuotteena tutkijat ovat saaneet biodieseliä, joka on laadultaan sekä Yhdysvaltojen että Euroopan standardit täyttävää. (Veljković *et al.* 2006)

Toisen sukupolven biodieseleissä hyödynnetään ainoastaan uusiutuvia raaka-aineita. Esimerkki toisen sukupolven biodieselistä on Neste Oil Oyj:n NExBTL-diesel, jonka

raaka-aineena käytetään joustavasti kasvi- ja eläinperäisiä rasvoja. Se on puhdas hiilivety, jonka tuoteominaisuudet ovat verrattavissa fossiiliseen dieselin ominaisuuksiin. (Neste Oil, 2007) Neste Oil Oyj on myös mukana kehittämässä kolmannen sukupolven polttoainetta, jossa hyödynnetään biomassaa ja BTL-tekniikka. BTL-tekniikassa (*biomass to liquids*) polttoainetta valmistetaan *Fischer-Tropsch* -menetelmällä siten, että synteetikaasun muodostuksessa raaka-aineena käytetään biomassaa. Biomassa voi olla esimerkiksi puuainesta, maatalousjätettä, yhdyskuntajätettä, jätemaata tai kasveja. (Virtanen, 2005)

### 2.3.3 Proteiinien hyödyntäminen

Proteiineja esiintyy sekä kasveissa että eläimissä. Suurin osa teollisesti hyödynnettävistä proteiineista on eläinperäisiä. Teollisesti hyödynnettäviä proteiineja ovat esimerkiksi kanojen sulkien keratiini sekä lehmän hera- ja laktalbumiini-proteiinit. Proteiineista saatavia tuotteita ovat kollageeni, jota käytetään muun muassa elintarvikkeissa gelatiinina eli liivateena sekä keratiini, jota hyödynnetään hiustenhoitotuotteissa. (Barone & Schmidt, 2006) Proteiinien hyödyntäminen uusiutuvana luonnonvarana on melko vähäistä, sillä yksittäisten proteiinien määrä on suhteellisen pieni verrattuna esimerkiksi selluloosaan.

Proteiinien teollisen käytön mahdollistavat niiden kemialliset ominaisuudet. Proteiinit ovat helposti liukenevia, sillä niiden primaarirakenteessa on hydrofiilisiä aminohappoja. Helpoin tapa proteiinien hyödyntämisessä on liuottaa se ensin sopivaan liuottimeen, sen jälkeen uudelleen muokata sitä ja siten saada aikaiseksi uudenlainen lopputuote. Esimerkki proteiinin hyödyntämisestä on maissin proteiineista saatavat kalvot, joiden valmistuksessa hyödynnetään proteiinien liukoisuutta. Tätä maissin *zein*-proteiinia pidetään tulevaisuuden biohajoavana pakkausmateriaalina. Sitä voidaan hyödyntää myös lääketieteessä kudosten kalvomateriaalina. (Barone & Schmidt, 2006)

Proteiineja voidaan liuottaa erilaisiin liuottimiin, kuten asetoniin tai etanoliin (Barone & Schmidt, 2006). Lopputuotteen rakenne on erilainen riippuen käytetystä liuottimesta ja lämpötilasta, jossa proteiineja käsitellään. Tärkeintä proteiinien liuotuksessa on pH: esimerkiksi keratiini liukenee parhaiten hieman emäksisessä liuoksessa kun taas hiilihydraattipohjaiset materiaalit vaativat hydrofiilisinä materiaaleina happamampia

olosuhteita. Proteiineja voidaan hyödyntää myös lämpökäsittelyn tai hapettumis-pelkistymisreaktioiden kautta. Lämpökäsitellyistä proteiineista voidaan valmistaa muoveja, kun niiden vesimolekyylit korvataan glyserolilla tai sorbitolilla. Redox-reaktioissa proteiinien rikkisillat rikotaan, jolloin esimerkiksi kysteiinistä voidaan valmistaa kalvoja natriumsulfiitin toimiessa reagenttina.

Barone ja Schmidt (2006) ennustavat, että proteiinien hyödyntäminen kasvaa erilaisten bioteknologisten sovellusten ja kudossuunnittelun myötä. Proteiinit toimivat materiaalilähteenä uusiutuville polymeereille, joista voi edelleen valmistaa kuituja, kalvoja, muovattuja tuotteita ja biomateriaaleja.

Edellä esitetyt molekyylit sovelluksineen ja prosesseineen tulevat olemaan keskeinen sisältö uudessa kemian laitoksen maisteriohjelmassa. Uusiutuvien luonnonvarojen kemian maisteriohjelmassa kursseja on lisäksi jaoteltu vastaavalla tavalla kasvi- ja eläinperäisistä lähteistä saataviin molekyyleihin.

## 3 Tutkimuspohjainen yliopisto-opetus ja sen kehittäminen

### 3.1 Laadukas tutkimuspohjainen yliopisto-opetus

Uusiutuvien luonnonvarojen kemian maisteriohjelman suunnittelussa on tärkeä huomioida, että yliopisto-opetuksen tulee pohjautua uusimpaan tutkimustietoon sekä kemiasta että sen opetukseen ja oppimiseen liittyen. Tutkimukseen perustuva opetus on Helsingin yliopiston strategian 2007–2009 mukaan yksi yliopiston tehtävistä (Strategia, 2006). Yleisesti Helsingin yliopistolla on kolme keskeistä päätehtävää: tutkimus, opetus ja yhteiskunnallinen vuorovaikutus. Tieteellisen tutkimuksen katsotaan olevan yliopiston toiminnan perusta, sillä yliopiston opetus ja tutkijakoulutus perustuvat siihen. Tutkimuspohjaisen opetuksen määritelmä sisältyy jo yliopistolakiin, jonka 4 § mukaan: *"Yliopistojen tehtävänä on edistää vapaata tutkimusta sekä tieteellistä että taiteellista sivistystä, antaa tutkimukseen perustuvaa ylintä opetusta sekä kasvattaa opiskelijoita palvelemaan isänmaata ja ihmiskuntaa."* (Yliopistolaki, 4 §)

Helsingin yliopiston tutkimuspohjainen yliopisto-opetus voidaan jakaa kolmeen osaluokkaan: a) tutkimukseen johdettava opetus (*research-led teaching*), jossa opiskelijoille välitetään tuoreinta tutkimustietoa, b) tutkimukseen perehtyvä opetus (*research-oriented teaching*), jossa painopisteinä ovat tutkimusprosessi, tiedon rakennuksen prosessi ja oppimisprosessi ja c) tutkimukseen perustuva opetus (*research-based teaching*), jossa opiskelijat toimivat aktiivisesti tutkijoina. (Lindblom-Ylänne, 2006) Tutkimuspohjainen opetus rakentuu uusimman tiedon saatavuuteen, sillä opetus perustuu tieteelliseen tutkimukseen ja opetuksen järjestämisessä hyödynnetään opetusta koskevaa tutkimusaineistoa. Kemian osalta tutkimus voi olla mukana opetuksessa ainakin kolmella tavalla Akselan (2006) mukaan: 1) opetuksen tavoitteiden, sisällön, opetusjärjestelyiden ja arvioinnin suunnittelussa ja toteutuksessa huomioidaan uusin saatavilla oleva tutkimustieto sekä kemiasta että sen opetuksesta, 2) opiskelijat perehdytetään opetuksessa tutkimustyöhön ja sen mahdollisuuksiin opintojen alkuvaiheesta lähtien ja 3) opiskelijoiden kemian opiskelua, opetusta ja oppimista tutkitaan kemian kursseilla opetuksen kehittämiseksi. Kemian opetuksen kannalta keskeinen kysymys on, miten eri tavoin voidaan tukea kemian keskeisten käsitteiden ja ilmiöiden syvällistä ymmärtämistä sekä opiskelijoiden kasvua kemian asiantuntijoiksi. (Aksela, 2006)



Helsingin yliopiston kemian laitoksen toimintaa ohjaavat yliopiston strategian lisäksi tiedekunnan ja laitoksen toimintakäsikirjat. Kemian laitoksen tavoitteena on niissä laajan, monitieteellisen ja korkeatasoisen luonnontieteellisen perustutkimuksen tekeminen sekä teknologian ja luonnontieteellisen osaamisen kansallisen kehittämisen tukeminen. Tavoitteiden toteuttaminen edellyttää tutkimuspohjaista opetusta eli jatkuvaa tutkimuksen ja opetuksen sekä niiden välisen yhteyden kehittämistä. (Toimintakäsikirja, 2007)

Kemian laitoksen toimintakäsikirja huomioi tutkimuksen muuttuvat tarpeet ja ennustaa laaja-alaisten poikkitieteellisten konsortioiden perustamista jo lähivuosina. (Toimintakäsikirja, 2007) Uusiutuvien luonnonvarojen hyödyntämisen on yksi esimerkki poikkitieteellisestä tutkimusalueesta, sillä niiden ja niistä saatavien materiaalien hyväksikäytön tutkimuksessa yhdistyy kemian, fysiikan, biotieteiden, farmasian sekä tietotekniikan eri osa-alueita (Tavoiteohjelma, 2006). Tutkimuspohjaisen opetuksen soveltaminen erityisesti tällaisilla aloilla on välttämätöntä, sillä ala kehittyy jatkuvasti. Tutkimustiedon käyttö ja sen hakeminen tulisi aloittaa heti koulutusohjelman alussa, jolloin opiskelijan valmiudet uusimman tiedon hankintaan ja kriittiseen arviointiin paranevat. Opetuksen ja opintojen kehittämissuunnitelman 2007–2009 mukaan yliopisto-opintojen aikana opiskelijan tulisi myös harjaantua uuden tieteellisen tiedon tuottamiseen ja siitä viestimiseen. Yliopistossa suoritettavien tutkintojen sekä muiden harjoitettavien opintojen tavoitteena on oman alan syvälinen hallinta ja osaaminen. Perustana tälle asiantuntijuudelle on tieteellinen tutkimus. (Kehittämissuunnitelma, 2006)

Helsingin yliopiston laadukkaaseen tutkintoon kuuluu viisi osa-alueita, joiden yhdistäminen johtaa oman alan asiantuntijuuteen (ks. kuva 3.1). Osa-alueet koostuvat erilaisista tieto- ja taitotavoitteista, joihin kuuluvat esimerkiksi oppimistyylien tuntemus, kyky ja rohkeus oivaltaa oman tieteenalansa ja yhteiskunnan kannalta keskeisiä kysymyksiä ja tutkimusongelmia, muutosvalmius, vuorovaikutustaidot ja oman oppimisen arvioinnin taito. Yliopiston koulutus suunnitellaan ja opetus järjestetään siten, että siinä vastataan myös yhteiskunnan ja työelämän muutoksista nouseviin haasteisiin. (Kehittämissuunnitelma, 2006) Yliopiston opetusfilosofian mukaisesti yliopisto-opetuksessa käytetään tarkoituksenmukaisia ja yliopistopedagogiseen tutkimukseen perustuvia opetusmenetelmiä (Strategia, 2006).



Kuva 3.1. Laadukkaan tieteellisen tutkinnon osa-alueet (Kehittämisohjelma, 2006)

Yliopisto-opetuksen laatuun on myös olennaista kiinnittää huomiota. (Lehtinen & Lehtonen, 1996) Joskus opiskelijat nähdään vain osana systeemiä, jossa on alku ja loppu, mutta ei välivaiheita tai oppimista. Opiskelijat menevät yliopistoon "panoksina" ja lähtevät sieltä muutaman vuoden päästä "tuotoksina". Korkeakoulutuksen tarkoituksena on tuolloin 1) tuottaa korkealaatuista työvoimaa, 2) valmistaa tutkimuksen tekoon, 3) tuottaa tehokasta opetusta ja 4) mahdollistaa sosiaalinen liikkuvuus. (Lehtinen & Lehtonen, 1996) Oppimista ja opetusta tulisi arvioida säännöllisesti, jolloin opettaja voi kehittää omaa opetustaan. (Skogster, 2006) Säännöllinen laadun arviointi on myös Helsingin yliopiston strategian (2006) mukaista.

Oppimisen laatua pyritään kehittämään selkeillä opetussuunnitelmaan kirjatulla oppimistavoitteilla. Opiskelijoiden tulee saada ymmärrettävää, luotettavaa ja perusteltua tietoa siitä, mitä heiltä vaaditaan ja odotetaan opintojen etenemisen ja oppimisen arvioinnin näkökulmasta. Myös oppimistavoitteiden ja arviointiperusteiden on oltava selkeästi ja näkyvästi esillä ja kaikkien opiskelijoiden saatavilla. (Kehittämisohjelma, 2006)

Uusiutuvien luonnonvarojen kemian maisteriohjelmassa huomio tulisi kiinnittää opintojen ja opetuksen laatuun sekä opintojen sujuvuuteen. Turun kauppakorkeakoulun tutkija Patrik Skogster (2006) on koonnut maisteriohjelmien laadun mittariksi 14 konkreettista menestystekijää, joista hyvä maisteriohjelma koostuu (ks. kuva 3.2.).

### Hyvän maisteriohjelman laadun mittarit

1. *Hyvä opintojen ohjaus.* Ilman hyvää opinto-ohjausta opiskelija ei välttämättä kykene suorittamaan maisteriohjelmaa tavoiteajassa tai hän ei pysty valikoimaan ohjelmaan soveltuvia valinnaisia opintoja.
2. *Hyvin koordinoitu ja hyvin suunniteltu ohjelma sekä monipuolinen kurssitarjonta.* Opetuskokonaisuuden rakenteella on merkitystä, jos halutaan tarjota opiskelijoille mahdollisimman hyvä kokonaisuus, josta on poistettu päällekkäisyydet ja jossa koko opintojen ajan on hahmotettavissa "punainen lanka".
3. *Yksittäisten kurssien tulee olla laadukkaita.* Kurssien on muodostettava toimiva kokonaisuus, mutta myös yksittäiset kurssit tulee olla huolella suunniteltuja.
4. *Opettajien tulee olla päteviä.* Laadukkaan opetuksen kriteereihin kuuluu opettajan pätevyys. Pätevyys tarkoittaa sekä muodollista, substanssi- että pedagogista pätevyyttä.
5. *Opintojen tulee edetä riittävän nopeasti.* Perusopiskelijoiden tulee suorittaa tietty määrä kursseja vuodessa, jotta tutkintoon vaadittava opintopistemäärä kertyisi sopivassa ajassa.
6. *Tutkinto tulisi voida suorittaa kohtuullisessa ajassa.* Tutkinnon läpimenoaika on sidottu edelliseen, mutta tutkintojen kuormittavuuteen tulee kiinnittää huomiota myös opintojen ohjauksessa. Tutkimusten mukaan kuormittavimpia työmuotoja ovat sellaiset, joissa opiskelija joutuu älyllisesti ponnistelemaan ja keskittämään tarkkaavaisuuttaan. Tällaisia ovat esimerkiksi oppimispäiväkirjat, tieteellistä ajattelua ja kirjoittamista vaativat tehtävät sekä kirjallisuuskatsaukset.
7. *Tutkinnon suorittanut työllistyy nopeasti.* Työn tulisi lisäksi vastata koulutusta.
8. *Laitoksella tulisi tehdä jatkuvaa laadun kehitystyötä.* Laadukas opetus ja oppiminen velvoittavat laitokset jatkuvaan kehitystyöhön. Apuna laadun kehityksessä voidaan käyttää opiskelijapalautteen lisäksi esimerkiksi elinkeinoelämän asettamia tavoitteita.
9. *Koulutusohjelman tiedot ja taidot vastaavat työelämän tarpeita.* Yritykset palkkaavat nuoria, mikäli näillä on riittävät tiedot ja taidot heidän vaatimuksiinsa nähden. Työelämän toiveet onkin syytä huomioida jo opintojen suunnitteluvaiheessa.

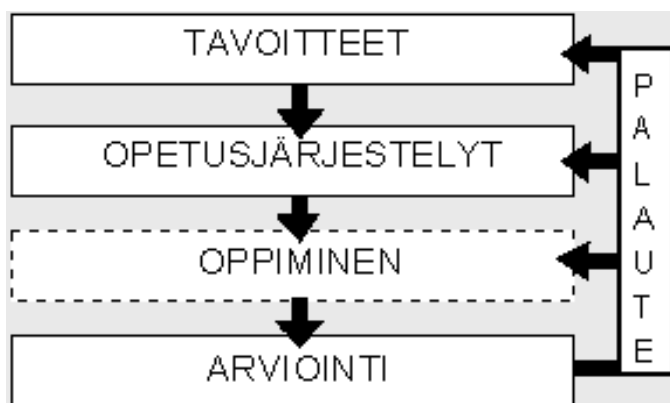
10. *Maisteriohjelman hyvä imago.* Ohjelman imagon on oltava hyvä sekä opiskelijoiden että kaikkien sidosryhmien kesken. Maisteriohjelman kilpailukyvyyn on oltava hyvä verrattuna muiden yliopistojen vastaaviin kokonaisuuksiin.
11. *Opettajalla tulee olla mahdollisuudet tarjota laadukasta opetusta.* Opettajan mahdollisuuksiin kuuluvat hyvät opetusvälineet ja -tilat, suunnitelmallinen opetus, yhteistyö muiden opettajien välillä sekä kyky kehittää omaa opetustaan.
12. *Opettajien tulee olla motivoituneita työhönsä.* Opetus ei voi olla laadukasta, mikäli opettaja ei itse ole motivoitunut työhönsä. Opettajan on vaikea olla motivoitunut työhönsä, mikäli hän ei saa tukea esimieheltään tai kollegoiltaan tai jos palkkaus ei ole kunnossa.
13. *Maisteriohjelmalla on hyvä, positiivinen ilmapiiri.* Sekä opettajilla että opiskelijoilla tulee olla positiivinen asenne opetusta kohtaan, jolloin ilmapiiri kannustaa kehittämään opetusta.
14. *Opiskelijoiden tulee olla motivoituneita oppimaan.* Viimeinen kohta on lähestulkoon ilmeinen, mutta koska maisteriohjelmiin hakeudutaan usein esimerkiksi valintakokeen kautta, on motivaatio opiskeluun korkea. On tärkeä osata ylläpitää motivaatiota ja samalla huomioida keltasta pudonneet opiskelijat eli ne, joilla opintopisteitä ei enää kerry entiseen malliin.

Kuva 3.2. Maisteriohjelman laadun 14 mittaria (Skogster, 2006)

### 3.1.1 Yliopistopedagogiikka ja kemian oppiminen

Tutkimuspohjaisessa opetuksessa yliopiston opettajat tutkivat oman aineensa lisäksi myös sen opettamista. Yliopiston henkilökunnan tulisi sekä tutkia että opettaa omaa ainettaan. Tällainen tutkimuspohjainen opetus kehittää osaltaan yliopistopedagogiikkaa. Nevgi ja Lindblom-Ylänne (2002a) ovat määritelleet yliopistopedagogiikka-sanana seuraavasti: "*Yliopistopedagogiikka tarkoittaa yliopiston opiskelijoiden ohjaamista ja kasvattamista täysivaltaisiksi oman tieteenalansa asiantuntijoiksi ja tutkijoiksi. Tämän ohjauksen ja kasvatuksen tulee toteutua kaikissa yliopiston eri opetusmuodoissa: luennoilla, seminaareissa, ryhmätehtävissä, harjoitustöissä sekä proseminaari- ja pro gradu -tutkielmien ja väitöskirjojen ohjauksessa.*" Yliopistopedagogiikan tutkimuskohteena on yliopistossa tapahtuva opetus-, opiskelu- ja oppimisprosessin kokonaisuus, jonka osat alueita ovat opetuksen suunnittelu, toteutus ja arviointi.

Yliopistopedagogiikassa vaikuttavaa opetus - oppimisprosessia voidaan tarkastella itseohjautuvana prosessina, joka pyrkii oppimistavoitteiden suuntaan. Opetuksen perusmalli kuvaa opetus-oppimisprosessia, mutta on syytä huomioida, että käsitteellä "oppiminen" tarkoitetaan tässä yhteydessä *opiskelua*. Oppiminen ja opiskelu ovat käsitteinä erilaiset, sillä opiskelulla tarkoitetaan niitä toimintoja, joissa on mukana tavoite. Oppimisessa ei ole aina tavoitteita, vaan sitä voi tapahtua myös "luokan ulkopuolella". (mm. Uusikylä & Atjonen, 2005)



Kuva 3.3. Opetuksen perusmalli (Lavonen & Meisalo, 2006)

Uusiutuvien luonnonvarojen maisteriohjelmassa on tärkeä määrittää tavoitteet. Opetukselle asetetut tavoitteet ohjaavat vuorovaikutteista opetus-opiskeluprosessia vaikuttamalla käytettävään oppimateriaaliin, oppimisvälineisiin ja opetuksessa käytettävien työtapojen valintaan. Palaute auttaa opettajaa ohjaamaan opetustaan, ja sitä tarvitaan opetus-oppimisprosessin eri vaiheissa. Palaute voi olla esimerkiksi itsearviointia tai opiskelijoilta kerättyä palautetta. Lopulta arviointi välittää saavutettujen tulosten ja asetettujen tavoitteiden välisen erotuksen prosessin ohjaussignaaliksi. Opettaja käyttää saamaansa palautetta opetuksen ohjailuun. Opetus-oppimisprosessin tavoitteena on, että opiskelija oppisi myös itse arvioimaan omaa edistymistään.

Kemian oppiminen on usein haasteellista. Kemian opiskelijoiden kemian ymmärtämistä on tutkittu laajasti myös yliopistotasolla (mm. Gilbert *et al.*, 2002). Tutkimustietoa voidaan hyödyntää esimerkiksi opetuksen suuntaamisessa opiskelijalle sopivalle tasolle.

Kemian opetuksessa oppimistavoitteena on sekä kemian tiedon että menetelmän tuntemuksen sisäistäminen. Kemian oppimista on tarkasteltava sen eri tasoilta, koska

keskeisenä tavoitteena voidaan pitää kemian keskeisten käsitteiden ja ilmiöiden syvällistä ymmärtämistä. Kemian opetuksen katsotaan jakautuvan kolmelle tasolle Gabelin (1999) mukaan: makroskooppiselle, mikroskooppiselle ja symboliselle tasolle. Makrotason ilmiöihin kuuluvat kemiallisten ilmiöiden tarkastelu aistein ja havainnoin. Luonnonvarojen kemian yhteydessä tämä tarkoittaa esimerkiksi tuoksuja ja olomuodon tai värin muutoksia sekä kokeellista tutkimusta. Mikrotason tieto on edellistä selventävää tietoa, sillä mikrotasolla asioita tarkastellaan atomi- tai molekyylytasolla. Lopulta symbolinen taso kuvaa kemiallisia merkkejä, reaktioyhtälöitä ja kaavoita. Symbolisella tasolla voidaan esimerkiksi kuvata viskoosiprosessia (vrt. luku 2.3.1.). Symbolinen taso on opiskelijoille kaikista abstraktein. Kemian tasojen yhdistäminen ja ymmärtäminen sekä tasojen välillä luonteva liikkuminen ovat edellytyksenä kemiallisen tiedon ymmärtämiselle. (mm. Gabel, 1999) Syvässä kemian ymmärtämisessä tarvitaan korkeamman tason ajattelutaitojen, kuten tiedon soveltamisen, analysoinnin ja arvioinnin käyttöä. Syvässä ymmärtämisessä kyetään myös uuden kemian tiedon luomiseen (Aksela, 2005).

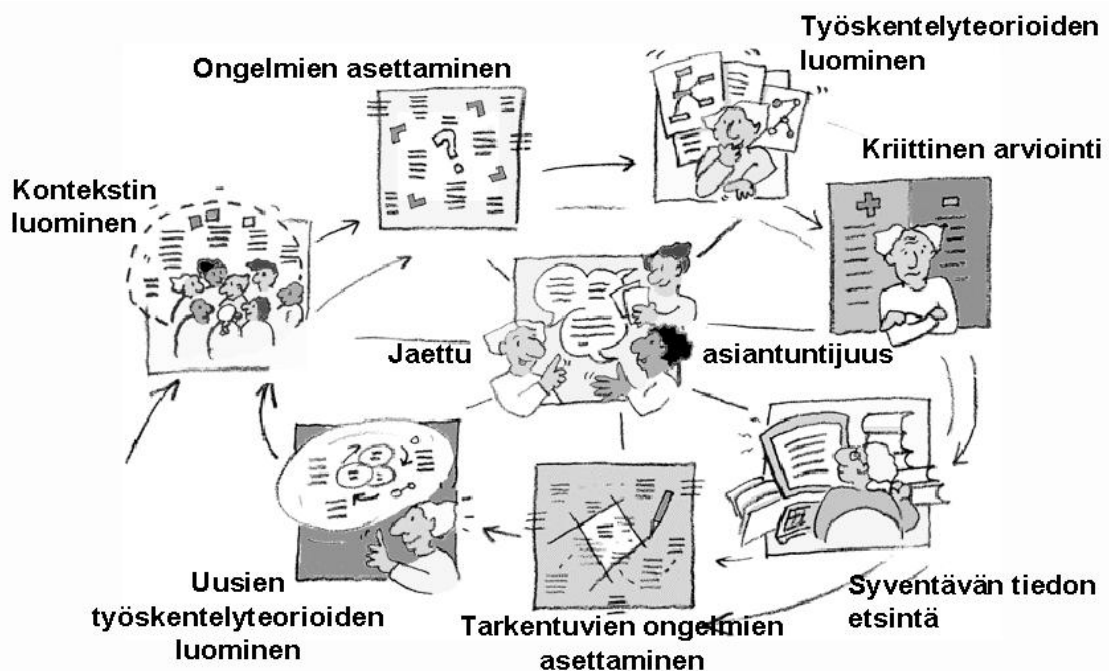
Kemian oppimisen laatuun vaikuttaa opiskelijoiden oppimistyyli. Oppimistyyli voidaan jakaa karkeasti pinta- ja syväoppimiseen (Lavonen & Meisalo, 2006). Syväpohjainen oppiminen on merkityspohjaista oppimista, jossa uudet asiat rakentuvat aiemmin opitun varaan. Tietoa käsitellään ja se liitetään ennemmin opitun tiedon yhteyteen tietorakenteeksi. Mikäli opiskelussa huomioidaan vain käsitteitä ilman niiden välisiä suhteita, opiskellaan ja prosessoidaan informaatiota, esimerkiksi tekstiä tai taulukkoa, pinnallisesti. Tällöin tarkoituksena saattaa olla vain asian mieleen painaminen esimerkiksi koetta varten. Pintaoppiminen ei johda opetettavan asian prosessointiin, joten asia unohtuu nopeasti mielestä. Ihmiset ovat luonnostaan merkitysorientoituneita. Biggs (2003) korostaa, että muistamista ei voida pitää pintaoppimisena, mikäli siinä on vähänkin jotain sellaista, mikä edellyttää ymmärtämistä. Esimerkiksi luentomuistiinpanojen kopioiminen ja niihin viittaaminen omin sanoin on jo syväoppimista; opiskelijan on täytynyt prosessoida kuulemaansa tai kirjoittamaansa, mikäli hän osaa kertoa niistä omin sanoin. Syväoppimisessa on keskeistä juuri opetettavan asian mielekkyys, jolloin opiskelija itse tuntee opiskeltavan asian tärkeänä. Opiskelija keskittyy vaistomaisesti opetettavan asian pääasioihin, teemoihin, periaatteisiin tai onnistuneisiin sovelluksiin, kun hän on kiinnostunut aiheesta. (Biggs, 2003)

Yliopisto-opinnoissa päämääränä on opiskelijalähtöinen, syvälinen oppiminen, joka luo pohjan elinikäiselle uuden oppimiselle. Helsingin yliopiston opetuksen ja opintojen kehittämisohjelma 2007–2009 linjaa elinikäisen oppimisen, oman asiantuntijuuden ja viestintätaitojen kehittämisen ainekset osaksi tutkintorakenteita. Tutkinnon suoritettuaan akateemiset kansalaiset, kuten kemistit, voivat edetä urallaan, omaksua uusia tietoja ja näkökulmia sekä kehittyä oman tieteenalansa edustajina työelämän ongelmanratkaisussa. Kehittämisohjelma listaa elinikäisen oppimisen mahdollisuuksiksi myös avoimen yliopisto-opetuksen ja täydennyskoulutuksen. (Kehittämisohjelma, 2006)

### 3.2 Yliopisto-opetuksen kehittäminen

Uusiutuvien luonnonvarojen maisterikokonaisuuden kehittäminen Helsingin yliopiston kemian laitokselle on yliopisto-opetuksen kehittämistä. Yliopisto-opetuksen kehittämiseen kuuluu osa-alueina: 1) ohjaus ja arviointi 2) tutkimuksen tekemisen ja siihen liittyvän kirjoittamaan oppiminen sekä 3) opettajana kehittyminen (mm. Poikela & Öystilä, 2003; Lindblom-Ylänne & Nevgi, 2002).

Uusiutuvien luonnonvarojen kemian opiskelussa keskeistä on tutkiva oppiminen. Tutkiva oppiminen kemiassa ei tarkoita ainoastaan kokeellisten töiden oppimista, vaan laajemmin kemian käsitteiden syvällistä ymmärtämistä. Hakkarainen, Lonka ja Lipponen (1999) erottavat termit tutkiva oppiminen ja tekemällä oppiminen selvästi toisistaan. Tekemällä oppiminen kuvaa heidän mukaansa toimintaa, mekaanista toistoa, joka ei vaadi asian ymmärrystä. Tutkivassa oppimisessa oppimisprosessia tarkastellaan oppimisen ja tiedonrakentelun välisenä vuorovaikutussuhteena. Tutkivan oppimisen keskeiset osatekijät ovat kontekstin luominen ja opetuksen ankkurointi, ongelmien asettaminen, opiskelijoiden omien työskentelyteorioiden luominen, kriittinen arviointi ja uuden syventävän tiedon hankkiminen, joka luo pohjan uusien ongelmien ja työskentelyteorioiden luomiselle (ks. kuva 3.4.). Tutkivan oppimisen tarkoituksena on ohjata opiskelijoita esimerkiksi kemian asiantuntijuuden jakamiseen järjestämällä oppimisyhteisön toiminta siten, että opiskelijat voivat yhdessä työskennellä käsitteellisten luomusten luomiseksi, kehittämiseksi ja testaamiseksi. (Hakkarainen, Lonka & Lipponen, 1999) Tutkivan oppimisen osatekijät pätevät myös kemian opetuksessa.



Kuva 3.4. Tutkivan oppimisen osa-alueet. (Hakkarainen, Lonka & Lipponen, 1999)

Tutkivaa ja tutkimukseen perustuvaa oppimista on hyödynnetty esimerkiksi Tampereen yliopiston äidinkielen opintojen menetelmätaitojen kehittämisessä. (Lehtinen, 2003) Tampereella kehitetyn opintokokonaisuuden rakennetta selkeytettiin tutkinnon uudistuksen yhteydessä alan tutkimukseen pohjautuen. Opintokokonaisuuden rakenteesta tuli uudessa tutkintojärjestelmässä yhtenäisempi ja nykyaikainen. Myös opiskelijoiden ohjausta kehitettiin ja arviointi- ja opetuskokeiluja monipuolistettiin.

Tampereen yliopiston opintokokonaisuuden uudistaminen perustui alun perin kurssiarviointiin ja huomioihin, joita opetushenkilökunta oli vuosien aikana tehnyt. Opetuksen kehittämistyöryhmä tarkasteli opintokokonaisuutta myös kurssien suoritusjärjestyksen mukaan. Silloin havaittiin, että irralliseksi koetut kurssit jäivät monilta opiskelijoilta tekemättä tai ne suoritettiin viimeisenä ihan valmistumisen kynnyksellä. Työryhmä totesi, että kurssien tulisi olla yhteydessä toisiinsa ja opetussuunnitelmassa tulee näkyä ”punainen lanka”, joka ohjaa koko kokonaisuutta. Tampereella havaittiin myös, että luento- ja tehtäväosuudet eivät saa olla irrallisia toisistaan. Sama pätee myös kemian



opetuksessa: erikseen järjestetty laboratorio-opetus ei tue motivoivan, syväoppimiseen suuntautuvan opetuksen tunnusmerkkejä (mm. Toohey, 2003).

Mark Wilsonin ja Kathleen Scalisen (2006) yliopisto-opetuksen tutkimuksen mukaan arvioinnilla voidaan kehittää tai ehkäistä oppimista. Arvioinnin tarkoitus on yleensä kannustaa opiskelijaa, mutta mikäli palaute on vääränlaista tai se ei ole asiallista, saattaa arviointi ehkäistä oppimista. Tutkijat ovat ottaneet käyttöön uudenlaisen arvioinnin, BEAR-arvioinnin, jossa palautetta voidaan antaa opiskelijoille muulloinkin kuin kurssin päättökokeen yhteydessä. BEAR-arviointia voidaan hyödyntää, vaikka kyseessä olisi suuri opiskelijaryhmä. Arvioinnin käyttöönotolla toivotaan opiskelijoiden oppivan ja opiskelevan koko kurssin ajan eikä vain iltana ennen loppukoetta. Arviointi rohkaisee mielekkääseen oppimiseen. (Wilson & Scalise, 2006)

Uusiutuvien luonnonvarojen kemian maisteriohjelman opinto-ohjaus ja kurssiassistenttien koulutus tulee olla laadukasta, jolloin vältetään Wilsonin ja Scalisen (2006) kuvaamat "aloittelija-asiantuntija" -oppimisongelmat. Näitä ongelmia saattaa syntyä, mikäli kurssin apuopettajina toimivat esimerkiksi jatko-opiskelijat, joilla ei ole kuvaa siitä, mitä opiskelijat osaavat. Tutkimuksessa huomattiin, että opiskelijoiden ja opettaja-assistenttien ajatusmaailmat voivat olla kaukana toisistaan. Kurssin apuopettajina toimivat alan asiantuntijat luulevat opiskelijoiden, alan aloittelijoiden, ymmärtävän asiaa paljon enemmän kuin mitä he todellisuudessa osaavat. Ongelmat saattavat kärjistyä esimerkiksi laskuharjoitusten mallivastauksissa, mikäli ne ovat liian vaikeaselkoisia opiskelijoille. (Wilson & Scalise, 2006).

Hyvän kemian opettajan tulee olla myös kemian opettamisen, opiskelun ja oppimisen asiantuntija (Aksela, 2007). Opettajan tulee hallita opetettava aineensa, hänellä tulee olla pedagoginen kokonaisnäkemys ja oman alansa ainedidaktiikan hyvä tuntemus. Opettaja tulee myös osata kehittää ja tutkia omaa työtään. Hänen tulee opetuksessaan ottaa huomioon muuttuvan toimintaympäristön haasteet, kuten tieto- ja viestintätekniiikan hyödyntäminen. Tutkimuspohjainen opetus tukee kasvua tutkivaksi opettajaksi.

### 3.2.1 Opetuksen suunnittelu

Opetussuunnitelma-ajattelu on keskeistä kaiken opetuksen suunnittelussa ja toteutuksessa. Suunnitteluvaiheessa opetukselle määritetään tavoitteet, sisällöt, opetusmenetelmät ja arviointimenetelmät. Opetussuunnitelma on yhteiskunnan tuote, sillä siinä erottuvat ajalle ominaiset tavoitteet ja kasvatusnäkemykset sekä kulttuuriset, taloudelliset ja poliittiset seikat. Opetussuunnitelma voi olla *Lehrplan*- tai *Curriculum* -tyyppinen asiakirja. (Lehtinen & Lehtonen, 1996) *Lehrplan*-mallissa opetussuunnitelma esitetään oppiaineittain tavoitteita ja sisältöjä määrittäen, kun taas *curriculum*-asiakirjassa otetaan huomioon yksilön oppimiskokemukset. Nykyisin opetuksessa vallitsee jälkimmäinen, yksilöä korostava malli, jossa yhteiskunnan merkitys on nostettu erikseen esiin. Perusopetuksessa ja lukio-opetuksessa tällaisia ainerajat ylittäviä kokonaisuuksia kutsutaan aihekokonaisuuksiksi. Yliopistoissa yhteiskunnallinen vuorovaikutus on kolmantena tehtävänä. (POPS 2004; LOPS, 2003; Strategia 2006)

Opetussuunnitelman määritelmänä on pidetty Lehtisen ja Lehtosen (1996) mukaan opetuksen tavoitteiden, sisältöjen ja opetusmenetelmien ennakkosuunnittelua, joilla pyritään toteuttamaan oppilaitokselle suunnatut *oppimistavoitteet*. Nykyisin vallitsevan sosiokonstruktivistisen oppimiskäsityksen myötä myös opetussuunnitelman määritelmä on muuttunut. Opetussuunnitelmasta saatetaan puhua "oppimisympäristönä" tai "oppimis-opetus -tapahtumana". Keskeistä on kuitenkin edelleen se, että opetuksella pyritään saavuttamaan sille asetetut tavoitteet. (Lehtinen & Lehtonen, 1996)

Myös Lindblom-Ylänteen ja Nevgin (2002) yliopisto-opetuksen käsikirjassa yliopisto-opetuksen kehittäminen lähtee liikkeelle tavoitteen asettelusta. Vasta määritettyjen tavoitteiden mukaan opetusta voidaan suunnitella. Opetuksen suunnittelun tulee tähdätä linjakkaaseen opetukseen (*constructive alignment*), joka John Biggsin (2003) mukaan voidaan jakaa neljään vaiheeseen:

- § Oppimistavoitteiden täsmällinen määrittely. Opettajan tulee pohtia, mitä haluaa opiskelijoidensa oppivan ja millaiset tavoitteet hän omalle toiminnalleen asettaa. Oppimistavoitteiden tulee olla selkeät ja konkreettiset. Mitä abstraktimmat tavoitteet opettaja on laatinut, sitä vaikeampi opiskelijan on niitä tavoittaa.

- § Opetettavan aineksen ja sisällön valinta. Keskeinen oppiaines tulisi olla selvillä myös opettajalla itsellään. Opetettavan aineksen ja sisällön valinnassa on hyvä käyttää apuna kurssin ydinainesanalyysiä, joka esimerkiksi Helsingin yliopiston kemian laitoksella on tehty tutkinnonuudistuksen yhteydessä kaikille kursseille.
- § Oppimisen arviointikeinojen valinta. Kun opettaja on asettanut oppimistavoitteet ja valinnut opetettavan sisällön, hänen tulee miettiä, millä keinoin hän voi tukea opiskelijoittensa laadukasta oppimista. Arviointimenetelmien tulee olla yhdenmukaisia oppimistavoitteisiin nähden.
- § Opetusmenetelmien valinta. Opettajan tulee pohtia, millaisilla menetelmillä hän voi mahdollistaa opiskelijoidensa oppimisen ja miten opetusmenetelmät ovat linjassa oppimistavoitteiden kanssa. (Biggs, 2003; Nevgi & Lindblom-Ylänne, 2002b)

Opetuksen suunnittelussa näiden neljän kohdan tulee olla samassa linjassa toisiinsa nähden eli niiden tulee sekä tukea toisiaan että vaikuttaa samansuuntaisesti. Opettajan tulee huomioida, että opiskelijoiden arvioinnin suunnittelu on osa opetussuunnitelmaa, joka etenee joustavasti oppimisen tavoitteiden ja opittavan aineksen sisällön määrittelyn ja osaamisen kriteerien määrittelyn kautta arviointikäytäntöjen ja opetusmenetelmien valintaan. (Nevgi & Lindblom-Ylänne, 2002b)

Opetuksen suunnittelusta on keskistä myös yksittäisten kurssien sisältö ja rakenteet. Yliopisto-opetuksen kurssien suunnittelussa voidaan lähtökohdaksi ottaa jo edellä mainittu syväoppiminen. Keskeiset tavoitteet voidaan kirjata Tooheyn (2003) mukaan: 1) *Motivoiva asiayhteys*: uusiutuvien luonnonvarojen ohjelmassa opiskelijoiden motivaatioita voi tukea ympäristöarvoista tai taloudellisista merkityksistä puhuminen. Motivaatio ei synny yksistään opettajan persoonasta, vaan oppimiselle tulee jo kurssien suunnitteluvaiheessa luoda sellaiset asiayhteydet, jotka kannustavat opiskelijaa oppimaan. Myös kurssin ilmapiiri vaikuttaa opiskelumotivaatioon. 2) *Opiskelijoiden aktiivisuus*: erilaiset oppimis- ja arviointitehtävät kannustavat opiskelijaa oppimaan. Opiskelijoiden mielenkiintoa pitää yllä aktiviteettien määrää. Uusiutuvien luonnonvarojen kemiassa aktivoivia tehtäviä ovat esimerkiksi erilaiset laboratoriotehtävät, keskustelut uusista tieteellisistä artikkeleista ja uusien sovellusten toiminnan arvioinnit (mm. Bennett & Holman, 2002). Aktiivisuutta voidaan lisätä järjestämällä mahdollisimman paljon pienryhmäopetusta tai yhdistämällä

luentokurssit ja laboratorio-osuudet. 3) *Vuorovaikutus muiden kanssa*: toiminnalliset tehtävät, jotka vaativat vuorovaikutusta muiden kanssa kehittävät yhteistyötaitoja. Ne myös vaativat opiskelijoita tarkastelemaan omia perustelujaan, kun he joutuvat ryhmissä esittelemään näkemyksiään opetettavasta aiheesta omin sanoin. 4) *Hyvin rakentunut tieto*: Opiskelijan on tärkeä osata liittää uusi tieto osaksi aiempia tietorakenteitaan. Opetuksen suunnittelussa on tärkeä pohtia, kuinka opiskelijat voivat yhdistää akateemisen tiedon arkikäsitteiksiinsä. (Toohey, 1999)

### 3.2.2 Opetuksen arviointi

Uusiutuvien luonnonvarojen maisteriohjelman opetuksessa tulee alusta lähtien huomioida monipuolinen arviointi. Opetuksen arvioinnilla on keskeinen merkitys, kun opiskelijaa halutaan ohjata laadukkaasti. Laadukkaan oppimisen arvioinnin keskeisin periaate on Lindblom-Ylänteen ja Nevgin (2002) mukaan Biggsin esittämä *linjakkuus*. Arvioinnissa linjakkuudella viitataan siihen, että kaikkien opetukseen liittyvien osatekijöiden tulee edistää opiskelijoiden kognitiivisesti korkeatasoiseen ja syvälliseen ymmärrykseen tähtäävää oppimista ja osaamista. (Lindblom-Ylänteen & Nevgi, 2002) Arvioinnin linjakkuudessa on kolme toisistaan erotettavissa olevaa tasoa, joita kehittämällä korkeakouluopetuksen opetusta ja arviointia voidaan tutkia. Arvioinnin tasot ovat Cowanin *et al.* (2004) mukaan 1) henkilökunta, 2) laitos sekä 3) opetussuunnitelma. Laitoksen henkilökunta on avainasemassa, kun uusia arviointikäytäntöjä kehitetään, sillä ilman heidän panostaan uudistukset eivät voi onnistua. Korkeakouluopetuksen kehitystyön tulee kuitenkin tapahtua kaikki linjakkaan kehityksen tasot huomioiden. (Cowan *et al.*, 2004)

Arviointikäytännöt ohjaavat voimakkaasti opiskelua. Se, miten opiskelijat *luulevat*, että heitä tullaan arvioimaan, vaikuttaa siihen, mitä ja miten he opiskelevat. Opiskeluun ei vaikuta se, mitä opettaja sanoo pitävänsä tärkeänä eikä se, mitä opinto-oppaassa lukee. Tämän vuoksi arviointikäytännöistä käytetään joskus nimeä piilokoulutusohjelma. (Lindblom-Ylänteen & Nevgi, 2002)

Opiskelijan arvioinnilla on kaksi keskeistä tehtävää: kehityksellinen ja arvioiva tehtävä. Kehityksellinen tavoite tähtää oppimisen edistämiseen ja arvioiva tehtävä painottaa

opiskelijoiden yhdenmukaista ja oikeudenmukaista kohtelua. Arviointitehtäviä toteutetaan erilaisilla arviointimenetelmillä, summatiivisella ja formatiivisella arvioinnilla. Formatiiivisessa arvioinnissa pyritään selvittämään, mitä opiskelija osaa. Arvioinnissa kiinnitetään huomio myös niihin puutteisiin ja aukkopaikkoihin, joita opiskelussa on. Tavoitteena on auttaa opiskelijaa kasvamaan oppijana ja ihmisenä ja antaa opettajalle tietoa siitä, miten hänen tulisi opettaa ja ohjata opiskelijoitaan. Formatiiivinen arviointi on oppimista edistävää ja sitä tulisi tapahtua koko ajan esimerkiksi erilaisten oppimispäiväkirjojen tai aktivoivien tehtävien kautta. Summatiivisella arvioinnilla taas tarkoitetaan niitä arviointeja, joissa huomio keskittyy oppimisen lopputuloksen arviointiin. Tällaisia ovat esimerkiksi päätekuulustelut ja kurssikokeet. Arvioinnin tarkoitus on selvittää, onko opiskelija omaksunut riittävät tiedot ja taidot esimerkiksi kurssin läpäistäkseen. (Lindblom-Ylänne & Nevgi, 2002)

### 3.3 Opetuksen kehittäminen Helsingin yliopiston kemian laitoksella

Kemian laitoksen koulutustavoitteet jakautuvat kaksiportaisen tutkintojärjestelmän mukaisesti kandidaattivaiheen ja maisterivaiheen tavoitteisiin. Kandidaattitutkinnon tavoitteeksi on asetettu erityisesti maisterikoulutukseen tarvittavien valmiuksien hankkiminen. Maisterivaiheessa hankitaan tieteenalan perustuntemus, erikoistutaan jollekin kemian osa-alueelle ja saadaan valmius itsenäisiin kemistin tehtäviin niin kotimaassa kuin ulkomaillakin. Laitoksen tavoitteena on myös kouluttaa taitavia kemian opetuksen asiantuntijoita eri kouluasteille. (Toimintakäsikirja, 2007)

Helsingin yliopiston kemian laitoksella on tehty tutkimusta opetuksen kehittämiseksi (Aksela, 2006). Esimerkiksi ensimmäisen vuoden kemian opiskelijoiden kemiakuvaa ja asenteita on tutkittu ja tutkimuksen tuloksia on hyödynnetty kemian laitoksen opetuksen kehittämisessä (Nieminen & Aksela, 2004).

Laitoksella koulutuksen arviointi jakautuu oppimisen arviointiin, opiskelijapalautteeseen ja sisäiseen ja ulkoiseen arviointiin. Oppimisen arvioinnissa yleisin suoritustapa on kirjallinen kuulustelu tai pienryhmässä suoritettavat laskuharjoitustehtävät. Laboratoriokursseilla arvioidaan käytännön suoritus, raportointitaidot sekä teorian tuntemus. Kemian laitoksen

kurseista kerätään opiskelijapalautetta, joista opetuksen kehittämistyöryhmä tekee yhteenvedon. Yhteenvedo käsitellään erillisessä palautepäivässä, joissa on läsnä sekä kemian laitoksen opetushenkilökunta että opiskelijat. Yhteisesti käsitelty palaute ohjaa opettajia vertailemaan menetelmiään ja auttaa hyvien käytäntöjen levittämisessä ja toisaalta mahdollisten ongelmakohtien esille tuomisessa. (Toimintakäsikirja, 2007) Kemian opetuksen kurseista on lisäksi tehty erillinen tutkimus, jossa kartoitetaan kemian opettajille suunnattujen kurssien tutkimusperusteista opetusta (Aksela, 2007).

Laitostasolla opetusta pyritään kehittämään Bolognan sopimuksen mukaisesti tutkinto-vaatimuksia ja opetusmuotoja kehittämällä, jolloin huomio kiinnitetään erityisesti kurssien sisältöihin ja työmäärään. Kurssien kuormittavuudella on keskeinen merkitys myös arvioidessa laadukasta maisteriohjelmaa (vrt. Skogster, 2006) Kurseista myönnetty opinto-pistemäärät tarkastetaan kemian laitoksella aika ajoin, ja tavoitteena on hyväksyä yhä yksilöllisempiä opintosuunnitelmia. Uusiutuvien luonnonvarojen kemian kohdalla yksilölliset opintosuunnitelmat ovat välttämättömiä, sillä maisteriohjelmasta valmistunut voi suuntautua monelle erilaiselle alalle. Lisäksi maisteriohjelmaan hyväksyttävien opiskelijoiden määrä on rajallinen, jolloin henkilökohtaisen opinto-ohjauksen (HOPS) määrä säilyy inhimillisenä.

Kemian laitoksen toimintasuunnitelma kirjaa, että opetuksen kehittämisen osalta tuloksiin päästään hyödyntämällä uuden opetusteknologian mahdollisuuksia ja parantamalla opetuslaboratorioiden teknistä varustelua. Kehittämistyössä otetaan lisäksi huomioon opetuksen ja tutkimuksen arvioinneissa saadut palautteet. Tavoitteena on kouluttaa uudistuvien työmarkkinoiden vaatimusten edellyttämiä korkeatasoisia ja joustavia tutkintoja. Koulutuksen kehittämiseen osallistuvat johtoryhmä, opetuksen kehittämistyöryhmä sekä eri oppiaineiden professorit ja muut opettajat. Opiskelijat osallistuvat koulutuksen kehittämiseen laitoksen johtoryhmässä ja opetuksen kehittämistyöryhmässä. (Toimintakäsikirja, 2007)

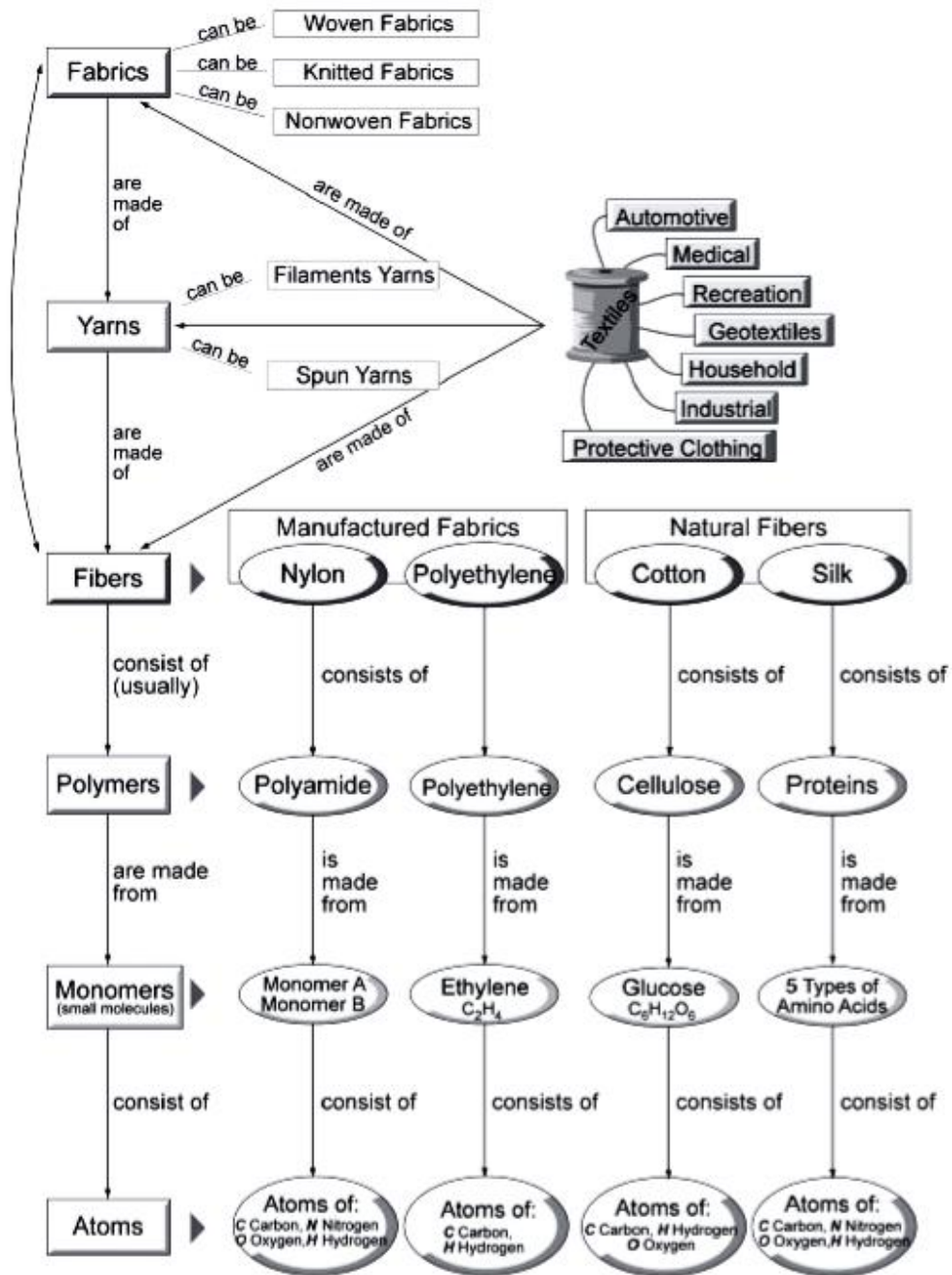
### 3.4 Kontekstuaalinen oppiminen

Uusiutuvien luonnonvarojen kemian opiskelu on kontekstuaalista oppimista. Kontekstuaalinen oppiminen tarkoittaa yleensä oppimistapahtumaa, jossa opetuksen lähtökohtana ovat tieteen sovellukset ja arkipäivän ilmiöt. Siitä käytetään usein myös nimeä STS -oppiminen (*Science-Technology-Society -learning*). Kontekstuaalisen opetuksen tarkoitus on kuvata sellaisia seikkoja ja olosuhteita, jotka antavat merkityksen sanoille, ilmaisuille ja lauseille. Opetuksessa konteksti eli asiayhteys pyritään valitsemaan siten, että se kiinnostaisi opiskelijoita ja osoittaisi käsiteltävän asian merkityksen ja hyödyllisyyden heidän jokapäiväisessä elämässään. (mm. Gilbert, 2006) Uusiutuvien luonnonvarojen opetuksessa kontekstina voi olla vaikkapa samojen yhdisteiden käyttö ravintoaineina, uusiutuvien luonnonvarojen hyödyntäminen fossiilisten polttoaineiden sijaan tai ympäristönäkökulmat, jossa kasvit sitovat ilmakehän hiilidioksidia kasvaessaan. Uusiutuvista luonnonvaroista voidaan puhua myös taloudellisessa kontekstissa, sillä niiden hyödyntäminen on edullista ja saatavuus helppoa. Kontekstuaaliseen oppimiseen liittyvät keskeisesti käsitteet mielekäs oppiminen, motivaatio ja kiinnostus.

Kontekstuaalisen oppimisen haasteita kemian opetuksessa ja opetussuunnitelmassa ovat tutkineet John Gilbert (2006) sekä Albert Pilot ja Astrid Bulte (2006). Heidän mukaansa kemian opetuksen ongelmana on usein opetussuunnitelman ylikuormittaminen ja irrallisten esimerkkien liiallinen käyttö. Opiskelijat eivät aina ymmärrä tai osaa soveltaa oppimaansa perustietoa, mikäli se jää irralliseksi "ulkoluvuksi". Opiskelijat eivät myöskään aina ymmärrä, *miksi* heidän tulisi jokin asia oppia. Kontekstuaalisen lähestymistavan hyviä puolia ovat opiskelijoiden "miksi?" -kysymykseen vastaaminen sekä se, että oikeanlaisen kontekstin eli asiayhteyden löydettyään opiskelijat itse kiinnostuvat opetettavasta asiasta. (Gilbert, 2006; Pilot & Bulte, 2006) Tällaista lähestymistapaa voidaan soveltaa uusiutuvien luonnonvarojen kemian opetuksessa esimerkiksi erilaisten aktivoivien laboratoriotöiden, erilaisten työtapojen tai -pajojen kautta. Luentojen ohessa käytävät keskustelut, harjoitustyöt ja luova kirjoittaminen ovat kaikki esimerkkejä aktivoivista työtavoista. Kontekstuaalista lähestymistapaa on myös sovellettu erilaisissa yliopistokursseissa, kuten yhdysvaltalaisissa kursseissa *Chemistry in Context* ja *ChemConnections*. (Bennett & Holman, 2002)

Uusiutuvien luonnonvarojen kemian opetuksessa on hyödynnetty kontekstuaalista lähestymistapaa esimerkiksi polymeerikemian opetuksen yhteydessä. Margel *et al.* (2006) ovat kehittäneet polymeerikemian jakson, jossa materiaalikemiaa opetetaan tuttujen arkipäiväisten sovellusten avulla. Kurssin tavoitteena oli auttaa opiskelijoita ymmärtämään materiaalien mikro- ja makrotason ominaisuuksia, jotka kemian oppimisessa ovat keskeisiä (vrt. mm. Gabel, 1999). "About fibres" -kurssilla materiaalikemiaa käsiteltiin tekstiilien, kankaiden, lankojen ja kuitujen näkökulmasta. Kurssilla lähdettiin liikenteeseen makrotasolta ja lopulta päädyttiin atomeihin, molekyyliin ja polymeereihin. Apuna kurssilla käytettiin käsittekarttaa, jossa käsiteltävät asiat järjestäytyivät hierarkkisesti sitä mukaan kuin niitä käsiteltiin (kuva 3.5). Kurssin opetuksen työtavat ovat monipuolisia ja kurssilla tehtiin lisäksi pienimuotoinen projektityö, jossa sovellettiin ongelmalähtöistä oppimista. Kontekstuaalisen lähestymistavan käyttö kurssilla oli auttanut opiskelijoita ymmärtämään sekä materiaalikemian perusteita että niiden sovelluksia. Opiskelijat olivat myös osoittaneet kiinnostusta opetettavaa asiaa kohtaan, sillä he olivat kokeneet opetuksen aiheet kiinnostavina, tärkeinä ja helppoina. (Margel *et al.* 2006)





Kuva 3.5. Käsitettä kankaan rakentumisesta makro- ja mikrotasolla (Margel *et al.* 2006)

## 4 Tutkimuksen suorittaminen

### 4.1 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen päätavoitteena on kehittää ehdotus maisteriohjelman opintosuunnitelmaksi Helsingin yliopiston kemian laitokselle.

Tutkimuksessa on haettu vastauksia seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Miten uusiutuvien luonnonvarojen kemia näkyy yliopisto-opetuksessa Yhdysvalloissa?
2. Miten uusi luonnonvarojen kemian maisteriohjelma rakentuu tutkimuspohjaisesti?

Tutkimuskysymyksiin vastataan luvuissa 5.1 ja 5.2.

### 4.2 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus on kehittämistutkimus. (Edelson, 2002) Kehittämistutkimuksen avulla kemian opetuksen teorioita voidaan kehittää tai arvioida uudelleen. Sen avulla tuotettu tieto on usein käytännönläheistä, ja tässä tutkimuksessa kehitetään ehdotus maisteriohjelman opintosuunnitelmaksi. Tutkimus on kaksivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa tehtiin tarvekartoitus eli selvitettiin, miten uusiutuvien luonnonvarojen kemia näkyy Suomen ja Yhdysvaltojen yliopisto-opetuksessa nykyhetkellä. Sen jälkeen tarvekartoituksen tulosten ja teoreettisen viitekehyksen pohjalta kehitettiin ehdotus uuden maisteriohjelman opintosuunnitelmaksi Helsingin yliopiston kemian laitokselle.

#### 4.2.1 Tarveanalyysi

Tutkimuksen ensimmäiseen tutkimuskysymykseen haettiin vastausta tutkimalla Yhdysvaltalaisten yliopistojen Internet-sivustoja keväällä 2007. Tutkimuksessa keskityttiin analysoimaan tarkemmin Yhdysvaltoja, sillä siellä opetussuunnitelmat olivat saatavilla Internetistä ja niiden sisältö oli kielellisesti ymmärrettävissä. Aineistossa käytiin läpi yliopistot, joissa on enemmän kuin 20 000 opiskelijaa ja joissa oli opetusta uusiutuviin

luonnonvaroihin liittyen. Yliopistoja oli kymmeniä, joista valittiin lopulliseen tutkimukseen sattumanvaraisesti 20 yliopistoa.

Yliopistojen ulkoisilta Internet-sivuilta etsittiin koulutusohjelmat tai maisteriohjelmat, joka vastaisivat mahdollisimman hyvin Suomeen aiottua kokonaisuutta. Sen jälkeen tarkasteltiin tarkemmin ko. ohjelmien kurssitarjontaa.

Tutkittavat yliopistot ovat:

1. California State University
2. Iowa University
3. Louisiana State University
4. Mississippi State University
5. North Carolina State University
6. Oklahoma State University
7. Purdue University
8. San Jose State University
9. Temple University
10. Texas Tech University
11. University of California
12. University of Colorado at Boulder
13. University of Florida
14. University of Kentucky
15. University of Massachusetts-Amherst
16. University of Michigan
17. University of Missouri
18. University of Virginia
19. University of Washington
20. Virginia Polytechnic Institute and State University.

Tiedekunnista tarkasteltavina olivat kemian ja biokemian laitosten (*Department of Chemistry and Biochemistry*) lisäksi suoraan uusiutuviin luonnonvaroihin viittaavat laitokset, kuten Luonnonvarojen opisto (*College of Natural Resources*), Puutieteen ja – teknologian laitos (*Department of Wood Science and Technology*) ja Maa- ja metsätalous – opisto (*College of Agricultural Sciences and Natural Resources*). Elintarviketieteen

laitosten ravitsemustieteeseen viittaavat koulutusohjelmat on suljettu tutkimuksessa pois. Näiden laitosten opinto-ohjelmassa esiintyvät luonnonvarojen kurssit viittaavat enemmän niiden hyödyntämiseen elintarvikealalla, joka on tutkimuksen kannalta epäoleellista.

Tutkimus rajattiin siten, että tutkimusmateriaalina ovat kaikki sellaiset kurssit, jotka liittyvät jollain lailla uusiutuvien luonnonvarojen kemiaan (liite 1). Tämän jälkeen kurseista on tarkemmin käsitelty niitä, joiden sisällöt viittaavat uusiutuvien luonnonvarojen hyödyntämiseen tai hyödyntämisessä käytettäviin menetelmiin. Tällaiset kurssit on taulukoitu luvussa 5.1.

Tutkimusmenetelmänä tarveanalyysissä käytettiin sisällönanalyysii. (Eskola & Suoranta, 2001; Tuomi & Sarajärvi, 2002) Tässä tutkimuksessa aineistoa on analysoitu aineistosta nousevien kurssien mukaan, joten tutkimus on aineistolähtöinen sisällönanalyysi (Eskola & Suoranta, 2001). Aineistolähtöisessä analyysissä tutkimusaineistosta pyritään luomaan teoreettinen kokonaisuus. Avainajatuksena on, että analyysiyksiköt eivät ole harkittuja tai etukäteen sovittuja. Aikaisemmilla havainnoilla, tiedoilla tai teorioilla ei tulisi olla mitään tekemistä analyysin toteuttamisen tai lopputuloksen kanssa, koska kyseessä on aineistolähtöinen analyysi. Analyysin ongelmat kiteytyvät teoreettisesti edelliseen lauseeseen sillä muun muassa tutkimusmenetelmä, tutkimuskäsitteet ja tutkimusasetelma ovat tutkijan itsensä määrittämiä. Miles ja Huberman kuvaavat aineistolähtöisen laadullisen aineiston analyysii karkeasti kolmivaiheiseksi prosessiksi, jossa 1) aineisto redusoidaan eli pelkistetään, 2) aineisto klusteroidaan eli ryhmitellään ja lopuksi 3) luodaan teoreettiset käsitteet eli abstrahoidaan aineisto. Sisällönanalyysi perustuu tulkintaan ja päättelyyn, jossa edetään empiirisestä aineistosta kohti käsitteellisempää näkemystä tutkittavasta ilmiöstä. (Tuomi & Sarajärvi, 2001)

Aineiston rajauksessa otettiin huomioon tutkimuksen laaja-alaisuus. Uusiutuvien luonnonvarojen kemiassa korostuu tiedon poikkitieteellisyys, sillä niiden ja niistä saatavien materiaalien hyväksikäytön tutkimuksessa yhdistyy kemian, fysiikan, biotieteiden, farmasian sekä tietotekniikan eri osa-alueita. Yksittäisiä kurseja aihepiiriin liittyen löytyy lähes jokaisesta yliopistosta tai korkeakoulusta. Aineistossa päädyttiin tarkastelemaan tiettyjen tiedekuntien, laitosten tai koulutusohjelmien Internetsivuja.

Tutkimuksen luotettavuus perustuu tulkintojen ja johtopäätösten validiteettiin, jossa tulee ottaa huomioon niin tulosten aitous kuin relevanssikin. Luotettavuustarkasteluissa tulee huomioida myös rajallinen otos ja se, että tutkimusvälineenä käytettiin Internetiä. Tulkintojen ja käännösten aitoutta pyritään varmistamaan käyttämällä mahdollisimman tarkkoja ja suoria käännöksiä. Tutkimusaineiston kurssikuvaukset on lisäksi liitetty alkuperäiskielellään tutkimukseen (liite 1).

Tutkimuksen luotettavuus eli reliabiliteetti kertoo tutkimustulosten toistettavuudesta. Tutkimusvälineen ja tutkimusmenetelmän vuoksi tämän tutkimuksen reliabiliteetti on alhainen. Tutkimuksen pätevyys eli validiteetti sen sijaan mittaa tutkimusmenetelmän tai tutkimuksessa käytetyn mittarin kykyä mitata sitä, mitä on tarkoitus mitata. Tässä tutkimuksessa tutkittavan aineiston kurssit ryhmiteltiin niiden sisällön mukaan teemoihin. Teemat eivät olleet täysin yksiselitteisiä, sillä esimerkiksi puukemian kursseissa saatetaan käsitellä hiilihydraattien kemian lisäksi myös esimerkiksi terpeenejä. Tutkimuksen reliabiliteettia ja validiteettia vähentää lisäksi tutkija itse, sillä yksin toteutettuna tällainen tutkimus on varsin subjektiivinen.

Validiteetti jaetaan käsitteenä vielä sisäisen ja ulkoisen validiteetin tarkasteluun. Ulkoinen validiteetti kertoo mittauskohteen edustavuudesta. (Erätuuli *et al.*, 1994) Tässä tutkimuksessa mittauskohteena ovat Yhdysvaltojen yliopistot, jotka eivät välttämättä ole edustava otos kaikista maailman yliopistoista.

#### **4.2.2 Kehittämisosuus**

Tutkimuksen toisessa osassa kehitettiin ehdotus maisteriohjelman opintosuunnitelmaksi hyödyntäen tarveanalyysin tuloksia ja tutkimuksen teoreettista viitekehystä. Kehittämisosuus tehtiin kesällä ja syksyllä 2007. Tutkimuksen kehittämisosuudessa on otettu huomioon Helsingin yliopiston kemian laitoksen henkilökunnan ehdotukset.

Maisteriohjelman opintosuunnitelmaan on kehitetty uusia kursseja sekä hyödynnetty jo olemassa olevia Helsingin yliopiston kursseja. Opinto-oppaista tarkasteltiin matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan lisäksi myös biotieteellisen ja maatalous- metsätieteellisen tiedekunnan opinto-oppaat (Opinto-oppaat a-c).

## 5 Tutkimustulokset

### 5.1 Uusiutuvien luonnonvarojen kemian yliopistokurssit

Tutkimuksessa kartoitettujen Yhdysvaltalaisten yliopistojen Internetsivuilta ei löytynyt uusiutuvien luonnonvarojen kemian maisteriohjelmia tai vastaavaa opintokokonaisuutta. Uusiutuvien luonnonvarojen kemian opetukseen liittyvät kurssit olivat yleensä biokemian ja kemian laitosten yleisiä biokemian kursseja tai puun kemiaan liittyviä yksittäisiä opintojaksoja. Tutkimusaineisto koostui 20 yliopistosta, joiden kurssikuvauksista on poimittu kaikki uusiutuvien luonnonvarojen kemiaan, niiden soveltamiseen tai hyödyntämiseen sekä analysointiin liittyvät kurssit. Kurssikuvaukset on esitetty alkuperäiskielellä liitteessä 1.

Suurin osa tutkimukseen soveltuvista kursseista löytyi kemian ja biokemian laitoksista sekä puutieteen laitoksilta. Ympäristönsuojelutieteissä (*natural resources*), metsätieteissä (*forestry*) ja ympäristöinsinöörin koulutusohjelmassa (*environmental engineering*) ei tutkimusalaan liittyviä kursseja ollut. Terminä "uudistuvat luonnonvarat" eli "*renewable resource*" ja "*natural resource*" viittasi Yhdysvaltalaisissa yliopistoissa enemmänkin ympäristönsuojeluun. Yhdysvalloissa ympäristönsuojelu ja maaperätiede ovat yleisiä koulutusohjelmia yliopistoissa. Näissä yhteyksissä *uudistuvat luonnonvarat* -käsite tarkoitti luonnon monimuotoisuutta, sen suojelemista sekä esimerkiksi maaperän evoluution tutkimista kemiallisin, fysikaalisin ja biologisin keinoin.

Tutkimuksen tuloksissa on käsitelty tarkemmin kursseja, joiden kaltaisia oppijaksoja voitaisiin tarjota myös Helsingin yliopiston uudessa maisteriohjelmassa. Kursseista on pyritty poimimaan ne, jotka liittyvät luonnonvarojen kemiaan tai niiden hyödyntämiseen. Biokemian laitoksen kursseista on tutkimuksessa jätetty pois suurin osa yleisistä biokemian kursseista, joissa molekyyliä käsitellään erilaisessa kontekstissa. Joitain biokemian kursseja on otettu mukaan, erityisesti, mikäli ne liittyivät tiettyyn aihealueeseen (proteiinit, lipidit tai hiilihydraatit). Uusiutuvien luonnonvarojen kemian opetukseen katsottiin liittyvän myös joidenkin yliopistojen puutieteen koulutusohjelmat (*Wood Science and Technology*), joissa puun kemiaa käsiteltiin molekylaarisella tasolla ja joissa puuta käsiteltiin myös puhtaana materiaalina.

Tutkimuksen tulokset on esitetty taulukoissa 5.1.–5.4. Jokaiseen taulukkoon on kirjattu kurssin nimi, kurssin sisältö vapaasti lyhenneltynä sekä yliopisto, jossa kurssi on toteutettu.

Taulukko 5.1. Biokemian yleiset kurssit

Kurssi	Sisältö	Yliopisto
Biomolekyylien kemia ja sovellukset	Orgaaniset funktionaaliset ryhmät ja biomolekyylit; toiminta ja muodostuminen mikro-organismeissa, kasveissa ja eläimissä. Näkökulmana bioteknologia, ympäristötieteet ja terveyteen liittyvät ongelmat.	Oklahoma State Univ.
Elävä maailma: molekyyylimittakaava	Biokemian ja bioteknologian johdantokurssi, jolla tutustutaan keskeisten molekyylien merkitykseen ja rakenteeseen. Biopolymeerien merkitys aineiden kiertokulussa ja jokapäiväisessä elämässä.	Univ. of Missouri
Kemia ja molekyyli-bioteknologia	Bioteknologian kemiallisen puolen esiintuminen maatalouden, ympäristön ja lääketieteen aloja hyödyntäen. Keskustelua ja uusimman tutkimustiedon tarkastelua.	Univ. of Kentucky
Luonnontuotteiden kemia	Alkaloidien, terpeenien, steroidien ja muiden kasvi- ja eläinperäisten luonnontuotteiden biosynteesi.	California State Univ.
Luonnontuotteiden kemia	Biogeneettinen luokitus, klassiset ja modernit lähestymistavat terpeeneihin, steroideihin ja alkaloideihin.	Temple Univ.
Orgaaninen biokemia	Keskeisten biokemiallisten rakenteiden ja reaktioiden orgaaninen kemia. Hiilihydraattien, lipidien, aminohappojen ja proteiinien kemiallinen määrittelmä.	Virginia Polytech. Institute and State Univ.
Polymeerien orgaaninen kemia	Polymeroitumistyyppien luokittelua orgaanisen kemian näkökulmasta. Synteettisten ja luonnonpolymeerien rakenne. Polymeerien reaktiot.	Univ. of Florida
Polymeerikemia	Johdatus makromolekyylien kemiaan, sis. mm. proteiinien synteesin, rakenteen, ominaisuudet ja sovellukset.	Texas Tech Univ.
Synteettiset metodit ja luonnonaineiden synteesi	Keskustelua synteettisestä orgaanisesta kemiasta keskittyen mm. luonnonaineiden synteeseihin. Seminaari.	Univ. of Colorado
Uusiutuvien luonnonvarojen energia ja tuotteet	Johdatus luonnonvarojen rakenteeseen, koostumukseen ja saatavuuteen. Materiaalien muokkaus kiinteiksi tuotteiksi, kemikaaleiksi tai energiaksi: kuidut (paperiteollisuus), polttoaineet erikoistuotteet (esim. lääketieteessä ja biopolymeerit). Laboratoriotyöskentelyä ja luentoja.	Univ. of Washington
Valittujen biologisten yhdisteiden orgaaninen kemia	Luonnonaineiden biosynteesi fotosynteesistä lopputuotteeksi. Aiheina mm. metabolia, entsyymisysteemit, rasvahapot, prostaglandiinit, terpeenit, steroidit, vitamiinit, hormonit, alkaloidit ja feromonit. Ihmisten sairauksien (esim. synnynnäisten metaboliasairauksien) perusteet.	Univ. of Virginia

Yleiset kurssit, jotka liittyivät uusiutuvien luonnonvarojen kemian opetukseen, olivat suurimmaksi osaksi johdantokursseja tai kursseja, joiden tarkoitus on motivoida oppilaita. Uusiutuvien luonnonvarojen hyödyntämistä opetettiin keskeisenä sisältönä vain yhdessä yliopistossa (University of Washington). Kurssi "*Uusiutuvien luonnonvarojen energia ja tuotteet*" toteutettiin yliopistossa yhdistelmäkurssina, jossa saman kurssin aikana opetettiin sekä teoriaa että käytännön laboratoriotekniikoita (vrt. mm. Toohey, 1999). Samanlaista lähestymistapaa voisi hyödyntää myös uudessa kemian laitoksen maisteriohjelmassa.

Tutkimuksen kursseja jaoteltiin yleisten kurssien lisäksi kasvipärisiin ja eläinperäisiin molekyyliin teoreettisen viitekehyksen mukaan (vrt. luvut 2.1. ja 2.2.). Kasvipärisiin molekyyliin keskittyvät kurssit (ks. taulukko 5.2.) käsittävät hiilihydraattien kemian lisäksi myös puun kemiaan liittyvät kurssit.

Taulukko 5.2. Kasvipäristen molekyylien kemiaan liittyvät kurssit

Kurssi	Sisältö	Yliopisto
Hiilihydraatit	Hiilihydraattien kemiaa, mm. stereokemia, reaktiot, derivatisointi ja analyysi. Hiilihydraattiyhdisteiden (esim. polysakkaridien, glykolipidien ja glykoproteiinien) biosynteesi ja toiminta.	Louisiana State Univ.
Kasvien biokemia	Kasvien kemiallinen rakenne ja molekyylien biosynteesi. Aiheena mm. fotosynteesi, lipidit, hiilihydraatit, isoprenoidit, fenyylipropanoidit ja alkaloidit.	Univ. of Kentucky
Ligniinin ja uuteaineiden kemia	Ligniinin ja puun uuteaineiden biosynteesi, rakenne ja reaktiivisuus keskittyen aiheisiin, jotka ovat tärkeitä selluteollisuudessa.	North Carolina State Univ.
Luonnontuotteiden kemia	Keskeiset tiedot luonnontuotteiden kemiasta -selluloosasta, hemiselluloosasta, ligniinistä ja uuteaineista. Lignoselluloosan kemiallinen rakenne ja ominaisuudet sekä jätteen muunto bioetanoliksi.	Univ. of Washington
Puu- ja paperikemia	Johdatus hiilihydraattien kemiaan keskittyen puun polysakkaridien rakenteeseen ja reaktiivisuuteen. Kemialliset reaktiot, joita tapahtuu puun valkaisuissa ja selluteollisuudessa.	North Carolina State Univ.
Puun kemia	Johdatus puun kemialliseen rakenteeseen, reaktioihin ja sen kemiallisten komponenttien (esim. selluloosa, hemiselluloosa, ligniini) käyttöön	Mississippi State Univ.
Puun kemia, tuotteet ja prosessointi	Puun komponenttien kemia, polysakkaridit, ligniini ja uuteaineet. Puun teollisen hyödyntämisen periaatteet, joissa mukana kemiantekniikka: sellu- ja paperiteollisuus, valkaisu sekä erilaiset puunjohdannaisten tuotteet.	Virginia Polytech. Institute and State Univ.



Puun kemiallinen muokkaus	Puun kemiallinen luonne, ja kemiallinen muokkaus sekä kemiantuotteet. Puun kemiallinen muokkaus energiaksi ja kemikaaleiksi.	Univ. of Massac. - Almhurst
Puun polysakkaridien kemia	Hemiselluloosan ja selluloosan kemia ja fysikaalinen kemia. Aiheina mm. stereokemia, liuot ominaisuudet, molekyyllipaino ja reaktiivisuus.	North Carolina State Univ.

Kasviperäisten molekyylien kurssien sisällöt keskittyvät yleisesti puun kemiaan tai hiilihydraattien kemiaan. Washingtonin yliopistossa on kurssi "*Luonnontuotteiden kemia*", jossa aihealueena on peruskemian lisäksi jätteen muokkaaminen bioetanoliksi. Massachussetissa kurssilla "*Puun kemiallinen muokkaus*" puusta muokataan energiaa ja kemikaaleja. Monet puun kemiaan liittyvistä kursseista on toteutettu North Carolina State -yliopistossa (NCSU). NCSU:n puukemian osasto tulee tekemään yhteistyötä Helsingin yliopiston kemian laitoksen kanssa myös uudessa maisteriohjelmassa. NCSU:n professori Dimitris Argyropoulos on nimitetty myös Helsingin yliopiston matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan puun ja muiden uusiutuvien luonnonvarojen kemian professorin osa-aikaiseen virkaan.

Lipidien ja proteiinien kemia kuuluu eläinperäisten molekyylien osioon (vrt. luku 2.2.; ks. taulukko 5.3.).

Taulukko 5.3. Eläinperäisten molekyylien kemiaan liittyvät kurssit

Kurssi	Sisältö	Yliopisto
Lipidit	Lipidien rakenne ja toiminta, tunnistusmenetelmät, biosynteesi.	Texas Tech Univ.
Lipidit ja membraanit	Analyttiset menetelmät lipidien identifiointiin ja lipidien biosynteesi.	Louisiana State Univ.
Proteiinien ja entsyymien rakenne ja toiminta	Proteiinien rakenne ja niiden biologiset toiminnot. Keskusteluaiheena mm. proteiinien koko, muoto, konformaatio, primaarirakenne ja katalyyttiset mekanismit.	Univ. of Kentucky
Proteiinien rakenne, toiminta ja mallinnus	Proteiinien toiminta ja rakenne. Aiheina mm. proteiinien eristys ja puhdistus, tekniikat rakenteen tutkimiseksi ja rakenteen ja ominaisuuksien välisen suhteen tutkiminen.	Virginia Polytech. Institute and State Univ.
Proteini-kemia	Proteiinin rakenteen ja biologisen toiminnan suhde	Temple Univ.
Proteiinit	Proteiinin kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet sekä rakenteen määrittäminen.	Texas Tech Univ.

Yhdysvaltalaisissa biokemian koulutusohjelmissa oli suhteessa paljon kursseja proteiinikemiasta (4; vrt. taulukko 5.3.). Proteiinien osuus luonnonvarojen kemiassa on huomattavasti pienempi, sillä ne eivät ole teollisesti niin merkittäviä kuin hiilihydraatit ja rasvahapot. Suurin osa eläinperäisten molekyylien kursseista on perusbiokemian kursseja.

Viimeiseen taulukkoon (ks. taulukko 5.4.) on koottu ne yliopistokurssit, joissa perehdytään erilaisiin analysointi- tai identifiointimenetelmiin tai joissa mallinnetaan tietokoneavusteisesti esimerkiksi proteiinien kolmiulotteista rakennetta.

Taulukko 5.4. Uusiutuvien luonnonvarojen kemian menetelmäkurssit

Kurssi	Sisältö	Yliopisto
Biologisen kemian laboratorio	Tutkimusalueina mm. spektroskopia, elektroforeesi ja kromatografia sekä makromolekyylien eristys- ja identifiointitekniikat. Laboratorio.	Univ. of Kentucky
Biologisen kemian laboratorio I	Biologisten materiaalien eristäminen ja puhdistus. Proteiinien, nukleiinihappojen, lipidien ja hiilihydraattien kemialliset ominaisuudet. Kemialliset ja fysikaaliset menetelmät proteiinien tunnistuksessa ja määrittämisessä. Laboratorio työskentelyä (4 h) ja luentoja (1 h).	Univ. of Virginia
Biopolymeerit liuoksessa - rakenne ja dynamiikka	Proteiinien, peptidien ja nukleiinihappojen rakenteen ennustaminen sekä tietokoneavusteinen simulaatio, mallinnus ja geometria. Seminaari.	Univ. of Colorado
Edistyneet menetelmät proteiinisekvensointiin ja analysointiin	Proteiinien sekvensointi, sekvenssianalyysi ja tekniikat massaspektroskopiasta proteiinitietokantojen käyttöön sekä rakenteen ennustamiseen	Univ. of Colorado
Edistynyt tietokoneavusteinen biokemia	Mm. proteiinien laskostuminen ja rakenne, menetelmät rakenteen määrittämiseksi, mallintamiseksi, ennustamiseksi, visualisoinniksi ja analysoinniksi, rakennetietokantojen sisällöt. Luento ja harjoituksia.	California State Univ.
Johdatus biokemian laboratorioon	Laboratoriotöitä, jotka liittyvät ruuan kemiaan ja ravitsemukseen, biomakromolekyyleihin, vitamiineihin ja hiilihydraattien, lipidien, proteiinien ja nukleiinihappojen rakenteeseen. Laboratorio.	San Jose State Univ.
Makromolekyylien biofysiikka	Biologisten molekyylien tutkimusten fysikaalisten sovellusten teoriaa ja sovelluksia, mm. UV-VIS, IR, NMR, röntgendiffraktio	Louisiana State Univ.
Makromolekyylit ja biofysiikka	Johdatus fysikaalisiin menetelmiin, joilla tutkitaan makromolekyylien hienorakennetta. Sironta ja spektroskooppiset menetelmät sovellettuna makromolekyylien tutkimiseen.	Univ. of Michigan

Proteiinibiokemia	Proteiinin eritysmenetelmät, kemiallinen/ fysikaalinen tunnistaminen ja mallinnus, toiminnallinen tunnistaminen (kinetiikka, sidokset, kemiallinen muokkaus)	California State Univ.
Yleinen biokemian laboratorio	Hiilihydraattien, nukleiinihappojen, lipidien ja proteiinien kemian ja metabolia: entsyymikemian tekniikoita ja tutkimusmetodeja. Laboratorio.	California State Univ.

Uusiutuvien luonnonvarojen kemiaan liittyviä menetelmäkursseja oli useassa yliopistossa. Suurin osa niistä keskittyi fysikaalisiin ja analyttisiin menetelmiin, joilla luonnon molekyyliä voidaan identifioida. Tällaisia kursseja olivat esimerkiksi Michiganin yliopiston "*Makromolekyylit ja biofysiikka*" -kurssi sekä Kentuckyn "*Biologisen kemian laboratorio*".

## 5.2 Uusiutuvien luonnonvarojen kemian opetuskokonaisuuden kehittäminen

### 5.2.1 Yleistä maisteriohjelman rakenteesta

Uusiutuvien luonnonvarojen maisterikokonaisuus on uudenlainen koulutusohjelma Helsingin yliopiston kemian laitoksella. Maisteriohjelmalla tarkoitetaan opetusministeriön asetuksen 2 §:n mukaan: "*Maisteriohjelmaksi nimitetään ylempään korkeakoulututkintoon johtavaa, alempaan korkeakoulututkintoon tai sitä tasoltaan vastaavaan koulutukseen pohjautuvaa koulutusta, joka järjestetään koulutusohjelmana, johon on erillinen valinta*". Määritelmä tulee yliopistolaista. Maisteriohjelmat ovat erillisen opetussuunnitelman mukaisia ja usein monitieteellisiä. Uusiutuvien luonnonvarojen kemian maisteriohjelman "*Masters degree programme in Renewable Resources Chemistry*" opetus järjestetään yhteistyössä biotieteellisen ja maa- ja metsätaloustieteellisen tiedekuntien sekä mahdollisesti TKK:n kanssa. Maisteriohjelman rakenne muodostuu 120 opintopisteestä (ects), jossa kaikille yhteisinä pakollisina opintoina ovat pro gradu -työ ja henkilökohtainen opinto-ohjaus eli HOPS-ohjaus.

## 5.2.2 Maisteriohjelman tavoitteet

Opintokokonaisuuden tarkoituksena on kouluttaa avarakatseisia, innovatiivisia asiantuntijoita, joilla on valmiudet soveltaa oppimaansa sekä tuottaa uutta tietoa ja tutkimusta uusiutuvien luonnonvarojen kemian alalle. Maisteriohjelma kouluttaa kemian asiantuntijoita, jotka kykenevät tiedon hakemiseen, tiedon kriittiseen arvioimiseen ja lopulta myös uuden tiedon tuottamiseen. Koulutusohjelma pyrkii huomioimaan elinkeinoelämän rakenteen muutokset ja huomio siten myös alan opiskelijoiden tulevan työnkuvan. (vrt. mm. Kehittämisohjelma, 2006) Maisteriohjelma käsittelee kemian tietoa sen kaikilla tasoilla (vrt. Gabel, 1999) ja antaa opiskelijoille siten mahdollisuuden mielekkääseen oppimiseen (vrt. Biggs, 2003).

Koulutusohjelmaa tulee arvioida ja kehittää jatkuvasti yhteistyössä opiskelijoiden, opetushenkilökunnan ja elinkeinoelämän, esimerkiksi Metsäklusterin edustajien kanssa. Koulutusohjelmalle olisi hyvä perustaa erillinen "suunnittelu- ja arviointiryhmä" (nk. ohjausryhmä), johon kuuluu asiantuntijoita kemian laitoksen tutkijoista, opiskelijoista sekä elinkeinoelämästä. Ohjelman vastuuprofessorin johdolla arvioidaan koulutusohjelmaa muun muassa opiskelijapalautteen avulla. (vrt. Aksela, 2007; Toimintakäsikirja, 2007)

Maisteriohjelmassa on tärkeää monipuolinen yhteistyö eri tahojen ja toimijoiden kanssa. Tällöin ohjelmasta saadaan monipuolinen ja alan parasta asiantuntemusta hyödyntävä. Yhteistyötä tulee tehdä ainakin kolmella tasolla: 1) *yliopiston sisällä*: Maisteriohjelmassa tulee hyödyntää uusin tutkimustieto. Yhteistyötä tulee tehdä sekä kemian laitoksen tutkijoiden kanssa että myös esimerkiksi maa- ja metsätaloustieteellisen tiedekunnan sekä teknillisen korkeakoulun (TKK) kanssa. 2) *Elinkeinoelämän kanssa*: Maisteriohjelmassa on tärkeää huomioida elinkeinoelämän haasteet ja mahdollisuudet. Uusiutuvien luonnonvarojen kemian maisteriohjelmassa yhteistyötä tulisi tehdä Metsäklusteri Oy:n toimijoiden sekä esimerkiksi VTT:n ja KCL:n kanssa (vrt. luku 2.1.). 3) *Kansainvälinen yhteistyö*: Maisteriohjelmassa tulee hyödyntää kemian laitoksen laajaa yhteistyöverkostoa (Toimintakäsikirja, 2007) sekä Suomen Akatemian ja Tekesin rahoittamaan FiDiPro-ohjelmaa (*Finland Distinguished Professor Programme*). FiDiPro-professoriksi puun ja muiden uusiutuvien luonnonvarojen kemiaan on nimitetty Dimitris S. Argyropoulos. (vrt. luku 5.1.)

Maisteriohjelman kursseilla on lisäksi kurssikohtaiset tavoitteet. Kurssien sisältöä ja tavoitteita on käsitelty luvussa 5.2.4.

### **5.2.3 Maisteriohjelman rakenne**

Maisteriohjelman rakenne koostuu sekä olemassa olevista Helsingin yliopiston kursseista että uusista ehdotetuista kursseista. Olemassa olevia kursseja on valittu kemian laitoksen, bio- ja ympäristötieteen laitoksen sekä soveltavan kemian ja mikrobiologian laitoksen kursseista. Kursseja on valittu ohjelmaan sen mukaan, miten niissä käsitellään aiheeseen liittyviä ilmiöitä ja keskeisiä käsitteitä. Maisteriohjelmaan on myös suunniteltu uusia kurssiehdotuksia, jotka johdattavat opiskelijat uusiutuvien luonnonvarojen kemiaan ja joissa kokonaisuudelle keskeisiä aihepiirejä, kuten hiilihydraattikemiaa, käsitellään tarkemmin. Uudet ehdotukset näkyvät maisteriohjelman rakenteessa kursivoituna (ks. kuva 5.1.).

Maisterikokonaisuuden opinnot on jaettu syventäviin opintoihin (85 op) ja muihin opintoihin (35 op). Syventävistä opinnoista vapaasti valittavia opintoja on 8 op. Muissa opinnoissa on määritelty pakolliseksi maisterivaiheen HOPS (henkilökohtainen opintosuunnitelma), ja loput 34 op ovat vapaasti valittavia (vrt. kuva 5.1.). Ohjelman rakenteessa on huomioitu yliopistolain asettamat vaatimukset, joissa määritetään esimerkiksi pro gradu -työn laajuus (40 op). Maisteriohjelman suunnittelussa on pyritty kiinnittämään huomiota kokonaisuuden johdonmukaisuuteen sekä yliopisto-opiskelulle välttämättömien taitojen, kuten tiedonhaun ja tieteellisen kirjoittamisen, ohjaukseen. Maisteriohjelman kurssikuvaukset uusine kurssiehdotuksineen on esitetty luvussa 5.2.4.

**Uusiutuvien luonnonvarojen kemian maisteriohjelma (120 op)**  
*Masters' degree programme in Renewable Resources Chemistry*

**SYVENTÄVÄT OPINNOT (85 OP)**

**Pakolliset opinnot (77 op)**

<i>Johdatus uusiutuvien luonnonvarojen kemiaan</i>	2 op
<i>Uusiutuvien luonnonvarojen kemia</i>	3 op
<i>Puu- ja selluteollisuuden kemia</i>	3 op
Puukemia	3 op
Bioaktiiviset orgaaniset yhdisteet	3 op
Orgaanisten synteessien suunnittelu	3 op
Polymeerien modernit analyysimenetelmät	5 op
<i>Seminaari: luonnonvarojen hyödyntäminen</i>	1 op
<i>Kirjallisuuskäytöstelu</i>	2 op
Pro gradu -tutkielma ja kypsyysnäyte (sis. tutkimusharjoittelun)	40 op
-----	
Biotieteiden perusteet I	7 op
Sienten ja uusiutuvien luonnonmateriaalien biotekniikka	5 op

Huom! Uudet kurssiehdotukset on merkitty opinto-ohjelmaan kursiivilla.

Huom! Äidinkielen ja tieto- ja viestintäteknikan opinnot (3 op) on sisällytetty maisteriohjelman pakollisiin opintoihin.

**Vaihtoehtoiset opinnot (8 op)\***

Esimerkiksi:

Orgaanisen kemian tieteellinen ja teollinen kommunikointi	3 op
Orgaaninen hienokemia	3 op
Biotekniikka I - Perustutkimuksesta sovellukseen	2 op
Polymeerikemian peruskurssi	5 op
Huom! Suositellaan opiskelijoille, joilla ei ole polymeerikemian perusteita suoritettuna.	

**MUUT OPINNOT (35 OP)**

Henkilökohtainen opintosuunnitelma (HOPS)	1 op
Vapaasti valittavia kursseja*	34 op

Kursseja voi valita esimerkiksi biokemiasta, mikrobiologiasta ja puun jalostuksesta. Yhteistyötahoina ovat esimerkiksi Viikin Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, TKK:n puunjalostustekniikka jne.

\*Opinnot on hyväksyttävä HOPS-ohjaajalla.

Kuva 5.1. Maisteriohjelman ehdotettu rakenne.

Uusiutuvien luonnonvarojen kemian maisteriohjelmassa on tärkeä olla johdantokurssi, joka virittää opiskelijat aiheeseen ja joka antaa realistisen kuvan nykypäivän alan työmarkkinoista ja elinkeinoelämän haasteista (Johdatus uusiutuvien luonnonvarojen kemiaan). Johdantokurssilla voisi olla lähtökohtana Missourin yliopiston kurssi "*Elävä maailma: molekyyylimittakaava*", jossa molekyyliä tarkastellaan osana jokapäiväistä elämää. Jokapäiväinen elämä ja mielenkiintoiset sovellukset luovat kontekstin, jolloin opiskelija kokee opiskelun mielekkääksi (vrt. mm. Biggs, 2003; Gilbert, 2006).

Opinnoissa tulee myös hyödyntää tietokoneavusteista kemiaa, jonka avulla esimerkiksi proteiinien rakenne tulisi opiskelijoille konkreettiseksi. Tietokoneavusteinen kemia voi liittyä esimerkiksi kurssin monipuolisiin aktiviteetteihin (Toohey, 1999). Myös erilaisia analyysimenetelmiä on hyvä opettaa uusiutuvien luonnonvarojen kemian opetuksen yhteydessä. Erilaisia analyysimenetelmiä voidaan opettaa opiskelijoille myös erilaisten artikkelireferaattien ja luentojen avulla, kuten Helsingin yliopiston polymeerikemian kurssilla "*Polymeerien modernit analyysimenetelmät*" tehdään. Kurssi kuuluu uuden maisteriohjelman opinto-ohjelmaan.

#### **5.2.4 Maisteriohjelman kurssien kuvaukset**

Maisteriohjelman kursseissa on hyödynnetty olemassa olevia Helsingin yliopiston kursseja. Tällaisten kurssien yhteydessä näkyy niiden kurssikoodi ja niiden kurssikuvaus on kopioitu opinto-oppaasta (vrt. taulukko 5.5.) Joidenkin kurssien tavoitteet puuttuvat vielä opinto-oppaasta, mutta kursseista on tehty ydinainesanalyysit tutkinnon uudistuksen yhteydessä. Niissä kurssin vetäjä on määritellyt kurssille tavoitteet, sisällön, toteutustavan ja käytettävät arviointimenetelmät. Muut kurssikuvaukset ovat ehdotuksia, jotka on kehitetty tätä opintokokonaisuutta varten.

## Taulukko 5.5. Maisteriohjelman kurssien ehdotetut kuvaukset

<p><i>Johdatus uusiutuvien luonnonvarojen kemiaan (2 op), useita luennoitsijoita</i></p> <p>Maisteriohjelman johdantokurssi, jonka tavoitteena on luoda yleiskäsitys uusiutuvien luonnonvarojen kemiasta ja sen mahdollisuuksista. Kurssilla tutustutaan aineiden kiertokulkuun sekä molekyylien sovelluksiin, joita on käytössä jokapäiväisessä elämässä. Kurssin tavoitteena on myös esitellä alan tarjoamia tulevaisuuden mahdollisuuksia.</p> <p>Uusiutuvien luonnonvarojen kemialla esitellään tuttujen kontekstien avulla. Kurssi toteutetaan tutustumalla yrityksiin ja ammatteihin, joissa uusiutuvien luonnonvarojen kemialla hyödynnetään.</p> <p>Kurssilla voi olla vierailijaluentoja teollisuudesta tai opintokäynti yritykseen.</p>
<p><i>Uusiutuvien luonnonvarojen kemia (3 op) Prof. Kilpeläinen</i></p> <p>Kurssin tavoitteena on uusiutuvien molekyylien rakenteen ymmärtäminen ja niiden teollinen hyödyntäminen.</p> <p>Kurssilla käsitellään molekyylien (ligniini, selluloosa, hemiselluloosa, terpeenit, pektiini jne.) lisäksi esimerkiksi puun liuottamista ja selluloosajohdannaisien rakennetta.</p> <p>Kurssiin kuuluu laboratoriotyöskentelyä 1/4. Kurssimateriaalina ovat tieteelliset artikkelit. Kurssiin kuuluu kirjallinen loppukuulustelu.</p>
<p><i>Puu- ja selluteollisuuden kemia (3 op) FiDiPro-professori D. Argyropoulos</i></p> <p>Kurssin tavoitteena on luoda kuva kasviperäisten molekyylien teollisesta hyödyntämisestä.</p> <p>Kurssin keskeisinä aihepiireinä ovat puun hiilihydraattien kemia, lignoselluloosan hyödyntäminen ja erottaminen, erilaiset teolliset prosessit (mm. viskoosiprosessi) ja kemialliset reaktiot sekä hiilihydraattien hyödyntäminen kemianteollisuudessa.</p> <p>Kurssi arvostellaan opintopäiväkirjan ja loppukuulustelun avulla.</p>
<p><i>Biopolttoaineet (3 op)</i></p> <p>Kurssin tavoitteena on perehdyttää opiskelijat lipidien kemian ja niiden mahdollisuuksiin uusiutuvina luonnonvaroina.</p> <p>Kurssilla käsitellään lipidien ja muiden eläinperäisten aineiden keskeistä kemialla sekä biopolttoaineiden valmistusta esimerkiksi teollisuusjätteistä. Kurssilla voidaan toteuttaa esimerkiksi rypsiöljyn vaihtoesteröinti -työ projektimaisesti (Aksela &amp; Aksela, 2005)</p> <p>Kurssiin kuuluu laboratoriotyöskentelyä 2 viikkotuntia ja luentoja 3 viikkotuntia. Kurssi arvostellaan kokeellisella työllä ja kirjallisella kuulustelulla.</p>



55513 Bioaktiiviset orgaaniset yhdisteet (3 op) Yliopistonlehtori Heinonen.

Kurssilla perehdytään esimerkkeihin bioaktiivisista orgaanisista yhdisteistä, niiden vaikutusmekanismeista ja biologisesti kiinnostavien kohdemolekyylien synteeseistä.

Kurssista ei järjestetä tenttiä, vaan opiskelijat valmistelevat annetusta aihepiiristä ja materiaalista seminaariesitelmät (1-2 x 30 min suomeksi tai halutessaan englanniksi). Esitelmä pohjustaa keskustelua ja tarkempaa tutustumista aiheeseen.

55570 Orgaanisten synteisien suunnittelu (3 op). Dos. Koskimies.

Kurssilla perehdytään orgaanisten synteisien suunnitteluun, erilaisiin orgaanisen kemian lähdeteoksiin ja hakukoneisiin. Oppimateriaalina alan kirjallisuus ja keskeisimmät hakuteokset.

Kurssilla ratkaistaan erilaisia ongelmia workshopien avulla, aiheina esim. suojaryhmien käyttö, katalyytit jne. Ei erillistä kuulustelua, vaan opiskelijaryhmä palauttaa kirjalliset työselostukset valittujen biologisesti merkittävien reaktioiden synteisien suunnittelusta.

55635 Polymeerien modernit analyysimenetelmät (5 op). Prof. S. L. Maunu.

Kurssi käsittelee tämän päivän ajankohtaisia polymeerianalytiikan menetelmiä ja se koostuu asiantuntijaluennoista ja verkkotyöskentelystä luentopäivien välillä.

Uusiutuvien luonnonvarojen kemian maisteriohjelman opiskelijat keskittyvät menetelmien lisäksi oman tieteenalansa sovelluksiin.

*Seminaari: Luonnonvarojen hyödyntäminen (1 op)*

Kurssin tavoite on ohjata opiskelijat hakemaan uusinta tutkimustietoa ja päivittämään tietotaitoaan. Kurssilla perehdytään alan uusimpaan tutkimustietoon ja keskustellaan niiden pohjalta uusiutuvien luonnonvarojen uusista mahdollisuuksista, ympäristöarvoista jne.

Kurssilla on läsnäolopakko ja kurssin hyväksyty suorittaminen vaatii aiheiden kommentoinnin ja omien mielipiteiden esittämisen verkkokeskusteluissa.

*Kirjallisuuskuulustelu (2 op)*

Maisterivaiheen kirjallisuuskuulustelu, jossa tentitään aiheeseen liittyviä valikoituja artikkeleita ja teoksia. Kuulustelu sisältää äidinkielen integroituja opintoja.

### 864062 Sienten ja uusiutuvien luonnonmateriaalien biotekniikka (5op)

Kurssin tavoitteena on perehdyttää opiskelija sienten taksonomiaan, fysiologiaan, ekologiaan ja biotekniseen käyttöön.

Kurssilla käsitellään sienet eliöryhmänä, sienten hajotustoiminta ja ekologinen merkitys, sienten biotekninen käyttö etenkin uusiutuvien luonnonmateriaalien muokkaajina, puun komponentteja hajottavat entsyymit kuten sellulaasit, hemisellulaasit, ligniiniä hajottavat entsyymit, syötävät sienet, puunjalostusteollisuuden sovellukset.

Oppimateriaalina ovat valikoidut tieteelliset artikkelit ja oppikirjat. Kurssiin kuuluu kotitentti, kirjallisia tehtäviä sekä suullinen esitys.

### 529001 Biotieteiden perusteet I (7 op)

Kurssin keskeiset aihealueet: Biokemia ja solubiologia, perinnöllisyystiede ja yleinen mikrobiologia.

Kirjallinen kuulustelu.

### *Pro gradu -tutkielma ja kypsyysnäyte (40 op) Prof. Kilpeläinen*

Pro gradu -tutkielmasta sovitaan erikseen vastuuprofessori Ilkka Kilpeläisen kanssa. Pro gradu-työ tehdään uusiutuvien luonnonvarojen kemiaan liittyen ja siihen liittyä erillinen tutkimusosa.

Tutkimusosa tehdään pääsääntöisesti Helsingin yliopiston kemian laitoksella. Se voidaan myös tehdä yhteistyössä eri yhteistyötahojen kanssa.

### 55659 Polymeerikemian peruskurssi (5 op) Prof. S. L. Maunu.

Kurssin tavoitteena on perehdyttää opiskelija sekä ymmärtämään polymeerien rakenteiden ja ominaisuuksien välistä riippuvuutta että tuntemaan eri polymerointimenetelmät.

Kurssilla käsitellään mm. polymeerien rakenne, moolimassa ja moolimassajakauma, eri polymerointimenetelmät, polymeerien fysikaaliset ominaisuudet ja keskeiset karakterisointimenetelmät sekä polymeerien käyttösovelluksia.

### 55514 Orgaaninen hienokemia (3 op) TkT Elias Suokas.

Kurssilla käsitellään orgaanisten hienokemikaalien teollisen valmistuksen kemiallista prosessikehitystä tuotekehityskemistin (synteetikon) näkökulmasta.

Kurssi koostuu luennoista, esimerkeistä, harjoitustöistä ja tenttiä vastaavasta seminaarityöstä.

### *Puun pienmolekyylit (3 op)*

Kurssin tavoite on perehdyttää opiskelija puun hienorakenteeseen.

Rakennetta tutkitaan esimerkiksi mikroskoopin, NMR:n jne. avulla. Kurssilla käsitellään erityisesti pektiinejä, terpeenejä ja alkaloideja ja niiden biosynteesiä.

Kurssiin kuuluu erillinen loppukuulustelu.

### 55632 Puukemia (3 op). Dos. Raimo Alén

Kurssilla käsitellään puun rakenne, puun ainesosien kemian, puun ainesosien eristäminen ja kemiallinen analyysi sekä biomassan hyödyntäminen.

Kirjallisuutta ja luentotenti.

### 85058 Biotekniikka I - Perustutkimuksesta sovellukseen (2op)

Kurssin tavoitteena on antaa opiskelijoille näkemys biotekniikan eri osa-alueiden tutkimuksesta sekä tutkimuksesta syntyneistä sovelluksista.

Luennoitsijat esittelevät omia tutkimusalojaan ja tutkimusaiheitaan sekä kertovat perustutkimuslöydöstensä hyödyntämisestä. Opiskelijat pohtivat luentojen aiheita laatimissaan oppimispäiväkirjoissa.

### 87145 Vitamiinit ja muut bioaktiiviset yhdisteet (5op)

Kurssin tavoitteena on vitamiinien ja muiden bioaktiivisten yhdisteiden kemian ja reaktio-mekanismien ymmärtäminen; aiheina mm. karotenoidien, flavonoidien ja fenolisten happojen, fytoestrogenien, puriinien sekä kasvisterolien kemialliset ja biokemialliset ominaisuudet, keskeiset toimintamekanismit (bioaktiivisuus) sekä analytiikka.

### 86481 Mikrobibiotekniikka (5op)

Kurssilla perehdytetään opiskelija mikrobeihin elävinä tehtaina ja mikrobien käyttöön biotekniikan sovelluksissa.

Aiheina mm. proteiinien, erityisesti entsyymien tuotto, bioaktiivisten metaboliittien ja orgaanisten yhdisteiden biotekninen tuotto mikrobeilla, mikrobien monimuotoisuus, ympäristöbiotekniikka, bioremediaatio.

Oppimateriaalina valikoidut tieteelliset artikkelit ja oppikirjat. Kurssi arvioidaan kotitentillä, kirjallisilla tehtävillä ja suullisella esityksellä.

## 5.2.5 Maisteriohjelman toteutus

Helsingin yliopiston kemian laitoksen uusiutuvien luonnonvarojen kemian koulutusohjelma on tarkoitettu maisterivaiheen opiskelijoille. Maisteriohjelmiin on erillinen haku. Maisteriohjelman lähtötasona voidaan pitää esimerkiksi kandidaatin tutkintoa orgaanisesta kemiasta tai polymeerikemiasta. Jokaisen opiskelijan kohdalla esivaatimukset on tarkastettava erikseen. Maisteriohjelmassa on tärkeää huomioida myös laadukas HOPS-ohjaus ja kurssien mielekäs valinta siten, että maisterikokonaisuus on hyödyllinen kokonaisuus (vrt. mm. Kehittämisojelma, 2006). Vapaasti valittavien kurssien tulisi liittyä aiheeseen, eikä esimerkiksi sivuainekokonaisuus tähtitieteestä ole välttämättä maisteriohjelman kannalta mielekäs.

Maisteriohjelman kurssit tulisi suorittaa noin kahdessa vuodessa, jolloin opiskelijalla olisi hyvä olla valmis "suoritusjärjestys", jonka avulla hän voi opintojaan suunnitella. Opinto-ohjelmalle on suunniteltu ohessa oleva ohjeellinen ajoitusmalli (ks. taulukko 5.6.).

Taulukko 5.6. Ohjeellinen opintojen ajoitusmalli.

<b>I Syksy (27 op)</b>	<b>I Kevät (27 op)</b>	<b>II Syksy (26 op)</b>	<b>II Kevät (40 op)</b>
HOPS, 1 op	Puu- ja selluteollisuuden kemia, 3 op	Sienten ja uusiutuvien luonnonmateriaalien biotekniikka, 5 op	Pro gradu - tutkielma ja kypsyysnäyte (sis. tutkimusosa), 40 op
Johdatus uusiutuvien luonnonvarojen kemiaan, 2 op	Puukemia, 3 op	Seminaari: luonnonvarojen hyödyntäminen, 1 op	
Uusiutuvien luonnonvarojen kemia, 3 op	Polymeerien modernit analyysimenetelmät, 5 op	Kirjallisuuskäytännöt, 2 op	
Biotieteiden perusteet I, 7 op	Bioaktiiviset orgaaniset yhdisteet, 3 op	Vapaasti valittavia opintoja, 18 op	
Orgaanisten synteesien suunnittelu, 3 op	Vaihtoehtoisia opintoja, esim. Orgaaninen hienokemia, 3 op		
Vaihtoehtoisia opintoja, esim. polymeerikemian peruskurssi, 5 op	Vapaasti valittavia opintoja, 10 op		
Vapaasti valittavia opintoja, 6 op			

Maisteriohjelman kurssien tavoitteet, keskeiset sisällöt ja toteutustapa on tärkeä kirjata selkeästi opinto-ohjelmaan (vrt. Kehittämisojelma, 2006). Kurssien tavoitteiden tulee olla linjassa kurssin arviointikäytäntöjen kanssa (vrt. Biggs, 2003; Lindblom-Ylänne & Nevgi, 2002) ja kurssien arviointikäytäntöjen tulee olla monipuolisia (mm. opintopäiväkirja, kirjallisuuskuulustelu, kotitentti, suulliset esitykset). Kaikki maisteriohjelman kurssit perustuvat alan uusimman tiedon hyödyntämiseen eli maisteriohjelman perusta on tutkimuksellinen oppiminen. Tutkimuspohjainen yliopisto-opetus on Helsingin yliopiston strategian (2006) mukaista.

Opinto-ohjelman huolellinen laatiminen edesauttaa maisteriohjelman laadun kehitystyötä, jossa kirjatulla tavoitteilla ja keskeisillä arviointikäytännöillä on suuri merkitys. Laadukkaan maisteriohjelman kriteereinä voidaan pitää myös yksittäisten kurssien ja opetuksen laadukkuutta (mm. Skogster, 2006). Yksittäisten kurssien suunnittelussa on tärkeä huomioida asiayhteydet, joissa asiaa opetetaan (mm. Gilbert, 2006) sekä erilaiset aktiviteetit ja vuorovaikutussuhteet. Esimerkiksi laboratorio-opetus tulee olla tiiviissä yhteydessä luentokurssin kanssa eikä erillisiä kursseja kannata järjestää (Toohey, 1999).

## 6 Johtopäätökset ja pohdintaa

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, miten uusiutuvien luonnonvarojen kemian opetus on järjestetty kansainvälisesti sekä kehittää ehdotus maisterikokonaisuuden opinto-ohjelmaksi Helsingin yliopiston kemian laitokselle. Tämä työ on ensimmäinen kemian pro gradu -tutkielma, jossa kehitetään maisteriohjelma yliopisto-opetukseen.

Tutkimuksen tarveanalyysissä kartoitetuissa yliopistoissa ei vastaavaa uusiutuvien luonnonvarojen hyödyntämiseen liittyvää opintokokonaisuutta löytynyt. Uusi maisteriohjelman opintosuunnitelma on kehitetty tutkimuksen viitekehykseen ja tarveanalyysin yksittäisiin kurssiselostuksiin pohjautuen. Vaikutteita opintosuunnitelmaan on haettu maatalous-metsätieteellisen ja biotieteellisen tiedekunnan MBIOT -maisteriohjelmasta, jossa voi erikoistua luonnonvarojen bioteknologiaan sekä Jyväskylän yliopiston Uusiutuva Energia -opintokokonaisuudesta.

Maisteriohjelman kehitystyössä on kiinnitetty huomiota opetuksen tutkimuspohjaisuuteen, laadukkuuteen ja mielekkäisiin asiayhteyksiin. Tämä havaitaan myös kurssikuvauksista, sillä maisteriohjelman kurssit ovat monipuolisia, poikkitieteellisiä ja niissä käytettävät työtavat vaihtelevat. Tutkimusten mukaan kontekstin lisääminen kemian opetukseen on opiskelijaa motivoivaa, ja uusiutuvien luonnonvarojen kemian opiskelussa kontekstina on kaikki ne tuotteet, joita molekyyleistä saadaan, esimerkiksi biopoltoaineet (mm. Gilbert, 2006; Pilot & Bulte, 2006).

Maisteriohjelmalle on kirjattu tavoitteet (luku 5.2.2.) ja yksittäisten kurssien rakenteessa on pohdittu kurssin keskeisiä tavoitteita, sisältöjä, työtapoja ja arviointimenetelmiä. Myös kurssitavoitteiden linjakkuutta arviointimenetelmiin nähden on mietitty. (Biggs, 2003) Kurssisisällöissä näkyy keskeiset uusiutuvat luonnonvarat sovelluksineen. Keskeistä kemiaa käsitellään yhtä aikaa sekä luennoilla että laboratoriossa (mm. kurssiehdotus *Biopoltoaineet*), jolloin opiskelijoiden motivaatio aiheeseen säilyy (vrt. Toohey, 1999). Uusiutuvien luonnonvarojen molekyyleistä käsitellään erityisesti selluloosaa ja ligniiniä sekä rasvahappoja johdannaisineen. Kurssien suunnittelussa on myös osin noudatettu jaottelua kasvi- ja eläinperäisiin molekyyleihin (vrt. luvut 2.1. ja 2.2.).

Maisteriohjelman tulee olla sekä opetukseltaan että rakenteeltaan laadukas. Laadukkaan maisteriohjelman takaa jatkuva kehittämistyö (mm. Skogster, 2006) ja palautteen arviointi (Lavonen & Meisalo, 2006). Opetuksen tulee olla selkeää ja korkeatasoista. Opiskelijat voidaan motivoida oppimaan esimerkiksi erilaisten aktiviteettien avulla (Toohey, 1999; Bennett & Holman, 2002). Maisteriohjelmia tulee kehittää edelleen esimerkiksi uuden suunnittelu- ja arviointiryhmän avulla (vrt. Aksela, 2007).

Tämä tutkimus rajoittui maisteriohjelman kehittämiseen, mutta myöhemmin aihetta olisi mielenkiintoista tutkia esimerkiksi opiskelijapalautteen avulla: kokevatko opiskelijat ohjelman hyväksi kokonaisuudeksi ja millaisia kehitysehdotuksia heillä on. Miten opiskelijat kokevat kurssien tarkoituksenmukaisuuden tai ydinaineuksen?

Mielenkiintoista olisi myös tutkia, miten opiskelijat kokevat kontekstin yhdistämisen kemian yliopisto-opetukseen. Pitävätkö opiskelijat luonnonvarojen kontekstiin tuotua orgaanisen kemian tai biokemian opiskelua mielekkäämpänä kuin esimerkiksi orgaanisen kemian perusteiden opiskelun ilman kontekstia? Entä mikä merkitys on opintojen ohjauksella ja henkilökohtaisen opintosuunnitelman (HOPS) laatimisella?

Uusiutuvien luonnonvarojen kemia on maisteriohjelma, joka yhdistää kemian opetukseen uudenlaisen, modernin kontekstin. Se on lisäksi poikkitieteellinen kokonaisuus, joka yhdistää monen eri perustieteen opit. Maisteriohjelma on vastaus nyky-yhteiskunnan haasteille, joita ovat öljyvarojen vähenemisen lisäksi ympäristön saastuminen ja luonnon monimuotoisuuden suojeleminen. Uusiutuvien luonnonvarojen hyödyntäminen ei ole paitsi edullista ja helposti hyödynnettävissä, vaan lisäksi ympäristöystävällistä ja hiilidioksidineutraalia. (Lucia *et al.*, 2006) Tutkimusta uusiutuvien luonnonvarojen alalla on jatkettava, ja yksi avaintekijä laadulliseen tutkimukseen on kouluttaa alalle laadukkaita tutkijoita, oman alansa asiantuntijoita. Tutkimuksessa kehitetty maisteriohjelma vastaa muun muassa Kemianteollisuuden ja Metsäklusterin asettamiin haasteisiin.

## Lähteet

- Aksela, M. 2005. Supporting meaningful chemistry learning and higher-order thinking through computer-assisted inquiry: A design research approach. Väitöskirja. Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
- Aksela, M. 2006. Laadukkaalla yliopisto-opetuksella kemian asiantuntijoita. Peda-forum, yliopistopedagoginen tiedotuslehti 2/06, vk. 13, 8-11.
- Aksela, M. 2007. Tutkimusperustainen opettajankoulutus. Ainedidaktinen symposium 9.2.2007. Turun yliopiston kasvatustieteiden tiedekunnan julkaisuja.
- Aksela, M. & Aksela, R. 1995. Projektimaisten työohjeiden käyttö kemian opetuksessa. Kemia-Kemi. Vol. 22 (2), 123-126.
- Al-Zuhair, S. 2007. Production of Biodiesel: possibilities and challenges. Biofuels, Bioproducts & Biorefining 2007. Vol 1. (1), 57-66.
- Argyropoulos, D. & Menachem, S. 1997. Lignin. Advances in Biochemical Engineering/ Biotechnology. Vol. 57, 127-158.
- Barone, J. & Schmidt, F. 2006. Nonfood applications of proteinaceous renewable materials. Journal of Chemical Education 2006. Vol. 83 (7), 1003-1009.
- Bennett, J. & Holman, J. 2002. Context-Based Approaches to the Teaching of Chemistry: What are they and what are their effects? Teoksessa: Chemical Education: Towards Research-based Practice. Gilbert, J., De Jong, O., Justi, R., Treagust, D. & Van Driel, J. (toim.) Kluwer Academic Publishers.
- Biggs, J. 2003. Teaching for Quality Learning at University. 2<sup>nd</sup> Edition. The Society for Research into Higher Education & Open University Press.
- Clark, J. 2007. Green Chemistry for the Second Generation Biorefinery - Sustainable Chemical Manufacturing based on Biomass. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. Vol. 82 (7), 603-609.
- Cowan, J., George, J. & Pinheiro-Torres, A. 2004. Alignment of Developments in Higher Education. Higher Education. Vol 48 (4), 439-459.
- Denniston, K., Topping, J. & Caret, R. 2004. General, Organic and Biochemistry. 4<sup>th</sup> edition. New York: The McGraw-Hill Companies.
- Edelson, D. 2002. Design Research: What We Learn When We Engage in Design. The Journal of the Learning Sciences. Vol. 11 (1), 105-121.
- Eräutuuli, M., Leino, J. Yli-Luoma, P. 1994. Kvantitatiiviset analyysimenetelmät ihmistieteissä. Helsinki: Kirjayhtymä.



- Eskola, J. & Suoranta, J. 2000. Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Tampere: Vastapaino.
- Fagerstedt, K., Pellinen, K., Saranpää, P. & Timonen, T. 2004. Mikä puu - mistä puusta. Helsinki: Yliopistopaino Oy.
- Gabel, D. 1999. Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A look to the Future. *Journal of Chemical Education* 1999. Vol. 76 (4), 548-554.
- Gilbert, J., De Jong, O., Justi, R., Treagust, D. & Van Driel, J. (toim.). 2002. Chemical education: Towards research-based practice. Kluwer Academic Publishers.
- Gilbert, J. 2006. On the Nature of "Context" in Chemical Education. *International Journal of Science Education* 2006. Vol 28 (9), 957-976.
- Hakkarainen, K., Lonka, K. & Lipponen, L. 1999. Tutkiva oppiminen. Helsinki: WSOY.
- Hase, A., Koppinen, S., Riistama, K. & Vuori, M. 1998. Suomen kemianteollisuus. Tampere: Chemas Oy.
- Heinze, T. & Koschella, A. 2005. Solvents applied in the field of cellulose chemistry - a mini review. *Polímeros*. Vol. 15 (2), 84-90.
- Hill, K. 2000. Fats and oils as oleochemical raw materials. *Pure and Applied Chemistry*. Vol. 72 (7), 1255-1264.
- Holm, Y. 2007. Farmagognosia. Helsingin yliopiston farmasian tiedekunta.  
<http://kampela.it.helsinki.fi/apumatti/lcms.php?am=713-713-1&page=1273>  
(11.11.2007)
- Isotalo, K. 1990. Puu- ja sellukemia. Helsinki: VAPK-kustannus.
- Jyväskylän yliopisto. 2007. Uusiutuvan energian maisteriohjelma.  
<http://www.jyu.fi/science/laitokset/kemia/muut%20yksikot/ue> (11.11.2007)
- Kehittämishjelma, 2006. Opetuksen ja opintojen kehittämishjelma 2007-2009. Helsingin yliopisto. Hyväksytty konsistorissa 15.3.2006. Helsinki: Yliopistopaino.
- Kilpeläinen, I., Xie, H., King, Al., Granström, M., Heikkinen, S. & Argyropoulos, D. 2007. Dissolution of Wood in Ionic Liquids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 55 (22), 9142-9148.
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H-P. & Bohn, A. 2005. Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material. *Angewandte Chemie International Edition*, Vol. 44 (22), 3358 - 3393.
- Lavonen, J. & Meisalo, V. 2006. Opetuksen tavoitteet ja työtavat. Helsingin yliopiston soveltavan kasvatustieteen laitos.  
<http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/tyotavat/> (8.9.2007)

- Lehtinen, E. 2003. Tekemällä ja tutkimalla oppiminen. Teoksessa Poikela & Öystilä (toim.): Yliopistopedagogiikkaa kehittämässä - kokeiluja ja kokemuksia. Tampere: Tampere University Press.
- Lehtinen, K. & Lehtonen, M. 1996. Matemaattisten aineiden oppimis-opetustapahtumat: MALU -projektin arviointitutkimus. Avoimen yliopiston tutkimuksia 3. Jyväskylä: Jyväskylän yliopiston täydennyskoulutuskeskus.
- Lewis, N. & Yamamoto, E. 1990. Lignin: Occurrence, Biogenesis and Biodegradation. Annual review of plant physiology and plant molecular biology 1990. Vol. 41, 455-496.
- Lindblom-Yläne, 2006. Tutkimuspohjainen opetus ja opetuksen kehittäminen. <http://www.helsinki.fi/pedaforum2006/materiaali/Luennot%20nettisivuille/LindblomYlane.ppt> (29.8.2007)
- Lindblom-Yläne, S. & Nevgi, A. 2002. Oppimisen arviointi - laadukkaan opetuksen perusta. Teoksessa Yliopisto- ja korkeakoulupedagogiikan käsikirja. Lindblom-Yläne, S. & Nevgi, A. (toim.) Helsinki: WSOY.
- LOPS, 2003. Lukion opetussuunnitelman perusteet. Opetushallitus. Vammala: Vammalan kirjapaino Oy.
- Lucia, L., Argyropoulos, D., Adamopoulos, L. & Gaspar, A. 2006. Chemicals and Energy from biomass. Canadian Journal of Chemistry. Vol. 84 (7), 960-970.
- Margel, H., Bat-Sheva, E. & Scherz, S. 2006. From textiles to molecules - Teaching about fibres to integrate students' macro-microscale knowledge of materials. Journal of Chemical Education 2006. Vol. 83 (10), 1552-1556.
- MBIOT, Biotekniikan maisteriohjelma. 2007. Helsingin yliopisto. <http://www.mm.helsinki.fi/biotekniikka/maisteriohjelma/maisteriohjelma.htm> (8.9.2007)
- Metso Oyj, 2006. Sellun valmistus. [http://www.metso.com/corporation/info\\_eng.nsf/WebWID/WTB-060628-2256F-82ED9/\\$File/metso\\_chemicalpulpproduction\\_fin.pdf](http://www.metso.com/corporation/info_eng.nsf/WebWID/WTB-060628-2256F-82ED9/$File/metso_chemicalpulpproduction_fin.pdf) (7.11.2007)
- Metsäklusteri, 2006. Suomen metsäklusteri ja sen asiakastoimialat. Maailman johtavana metsäklusterina vuoteen 2030. Suomen metsäklusterin tutkimusstrategia. [http://www.efpro.org/media/Metsklusteri\\_tutkimusraportti.pdf](http://www.efpro.org/media/Metsklusteri_tutkimusraportti.pdf) (18.9.2007)
- Metzger, J. & Bornscheuer, U. 2006. Lipids as renewable resources: current state of chemical and biotechnological conversion and diversification. Applied Microbiology and Biotechnology 2006. Vol 71 (1), 13-22.
- Mohanty, A., Misra, M. & Drzal, L. 2002. Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources: Opportunities and challenges in the green materials world. Journal of Polymers and the Environment 2002. Vol. 10 (1), 19-26.

- Morrell, J. & Gartner, B. 1998. Wood as a Material. Teoksessa Forest Products Biotechnology. Bruce A. & Palfreyman, J. (toim.) Lontoo: Taylor & Francis Ltd.
- Neste Oil Oyj, NExBTL -biodiesel.  
<http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,63,310,3718,3882> (16.11.2007)  
<http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,109,7515,7549,7550> (16.11.2007)
- Nevgi, A. & Lindblom-Ylänne, S. 2002a. Johdanto yliopistopedagogiikkaan. Teoksessa Yliopisto- ja korkeakoulupedagogiikan käsikirja. Lindblom-Ylänne, S. & Nevgi, A. (toim.) Helsinki: WSOY.
- Nevgi, A. & Lindblom-Ylänne, S. 2002b. Opetuksen suunnittelun työkalut. Teoksessa Yliopisto- ja korkeakoulupedagogiikan käsikirja. Lindblom-Ylänne, S. & Nevgi, A. (toim.) Helsinki: WSOY.
- Nieminen, M. & Aksela, M. 2004. Ensimmäisen vuoden kemian opiskelijoiden kemiakuva ja asenteet. Teoksessa Eurooppalainen ulottuvuus: ainedidaktinen symposiumi Helsingissä 6.2.2004. Ahonen, S. & Siikaniva, A. (toim.) Helsinki: Helsingin yliopiston soveltavan kasvatustieteen laitos.
- Northey, P. 1991. Low-Cost Uses of Lignin. Teoksessa Emerging technologies for materials and chemicals from biomass. Rowell, R., Schultz, T. & Narayan, R. (toim.) ACS Symposium Series 476. Washington: American Chemical Society.
- Opinto-opas a. Biotieteellisen tiedekunnan opinto-opas 2005–2008.  
[http://www.helsinki.fi/bio/opiskelu/opinto-opas\\_2005-2008.pdf](http://www.helsinki.fi/bio/opiskelu/opinto-opas_2005-2008.pdf) (18.9.2007)
- Opinto-opas b. Maatalous- metsätieteellisen tiedekunnan opinto-opas 2006–2008.  
<http://www.mm.helsinki.fi/opiskelu/opinto-opas/Opinto-opas2006-08linkitetty.pdf>  
 (18.9.2007)
- Opinto-opas c. Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan opinto-opas 2007–2008.  
<http://www.helsinki.fi/ml/opinto-opas/index.html> (18.9.2007)
- O'Sullivan, A. 1997. Cellulose: The Structure slowly unravels. Cellulose. Vol 4 (3), 173-207.
- Palovuori, E. 2004. Entsyymeillä kuituja selluloosasta ilman haisevia rikkihiilipäästöjä. Kemia-Kemi 2004. Vol. 31 (4), 30-31.
- Pilot, A. & Bulte, A. 2006. The Use of "Contexts" as a Challenge for the Chemistry Curriculum: Its Successes and the need for further development and understanding. International Journal of Science Education 2006. Vol. 28 (9), 1087-1112.
- Poikela & Öystilä (toim.): Yliopistopedagogiikkaa kehittämässä - kokeiluja ja kokemuksia. Tampere: Tampere University Press.
- POPS, 2004. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet. Opetushallitus. Vammala: Vammalan kirjapaino Oy.

- Rosenau, T., Elder, T., Potthast, A., Herbert, S. & Kosma, P. 2003. The Lyocell Process: Cellulose Solutions in *N*-Methylmorpholine-*N*-oxide (NMMO) - Degradation Processes and Stabilizers. *12th International Symposium on Wood and Pulping Chemistry, Madison, Wisconsin*. 305-308.
- Sjöström, E. 1989. Puukemia: teoreettiset perusteet ja sovellutukset. Espoo: Otakustantamo.
- Skogster, P. 2006. Maisteriohjelmien hopsien laatumittarin kehittäminen. Teoksessa *Laatunäkökulmia yliopisto-opiskelijan hopsiin*. Ansela, M., Haapaniemi, T. & Jäntti, J. (toim.). Kuopio: Kevama Oy.
- Strategia, 2006. Helsingin yliopiston strategia 2007-2009. Hyväksytty konsistorissa 18.1.2006. Helsinki: Yliopistopaino.
- Streitwieser, A., Heathcock, C.H. & Kosower, E.M. 1998. *Introduction to Organic Chemistry*. New Jersey: Prentice hall.
- Tavoiteohjelma, 2006. Helsingin yliopiston kemian laitoksen tutkimuksen tavoiteohjelma 2007–2009. Hyväksytty laitosjohtoryhmässä 27.11.2006.  
[http://www.helsinki.fi/kemia/hallinto/strategiat/tutkimuksen\\_tavoiteohjelma\\_2007-2009.pdf](http://www.helsinki.fi/kemia/hallinto/strategiat/tutkimuksen_tavoiteohjelma_2007-2009.pdf) (8.9.2007)
- Tenkanen, M. 2004. Hemiselluloosa on monien mahdollisuuksien luonnontuote. *Kemia-Kemi* 2004. Vol. 31 (4), 32-34.
- Timberlake, K. 2002. *General, Organic, & Biological Chemistry - Structures of Life*. San Francisco: The Benjamin/ Cummings Publishing Company, Inc.
- Toimintakäsikirja 2007. Kemian laitos. Hyväksytty johtoryhmän kokouksessa 29.10.2007.  
<http://www.helsinki.fi/kemia/intra/kemianlaitoksentoimintakasikirja.pdf> (6.9.2007)
- Toohey, S. 1999. *Designing Courses for Higher Education*. The Society for Research into Higher Education & Open University Press.
- Tulevaisuuslinjaus, 2007. Meristö, T. & Kettunen, J. *Kemianteollisuuden tulevaisuuslinjaus 2021. Uskalikot tekevät tulevaisuutta - radikaalivaihtoehtoja hymistelyn sijaan*. Helsinki.
- Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2004. *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Uusikylä, K. & Atjonen, P. 2005. *Didaktiikan perusteet*. Helsinki: WSOY.
- Veljković, V., Lakićević, S., Stamenković, O., Todorovi, Z. & Lazi, M. 2006. Biodiesel production from tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) seed oil with a high content of free fatty acids. *Fuel - The Science and Technology of Fuel and Energy* 2006. Vol 85. (17-18), 2671-2675.
- Wikberg, Hanne. 2004. *Advanced Solid State NMR Spectroscopic Techniques in the Study of Thermally Modified Wood*. Väitöskirja. Kemian laitos, Helsingin yliopisto.

- Wilson, M. & Scalise, K. 2006. Assessment to Improve Learning in Higher Education: The BEAR Assessment System. *Higher Education* (52), 635-663.
- Virtanen, S. 2005. Biodieselin valmistus Fischer-Tropsch -synteesillä.  
<http://www2.lut.fi/kete/teke/teke/kklemola/2005-biodiesel-FT.pdf> (11.11.2007)
- Wood Wisdom. [www.woodwisdom.fi](http://www.woodwisdom.fi) (5.9.2007)
- Yliopistolaki. 1997. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1997/19970645> (8.9.2007)
- Yu, L., Petinakis, S., Dean, K., Bilyk, A. & Dongyang, W. 2007. Green Polymeric Blends and Composites from Renewable Resources. *Macromolecular Symposia 2007*. Vol. 249-250. (1), 535-539.

# Liitteet

## LIITE 1: Yliopistojen kurssikuvaukset

1. California State University, Fullerton, Department of Chemistry and Biochemistry <http://chemistry.fullerton.edu/DeptWebsite/Chemcouweb.html> (30.8.2007)

Biotechnology: Agricultural and Environmental Biotechnology (1) Major applications of modern biotechnology will be explored in a lecture/discussion/presentation format that includes guest speakers from the industry. (3 hours lecture/discussion for 5 weeks).

Careers in Chemistry and Biochemistry (1) Prerequisites: Chemistry 120B. Career options in chemistry. Credit/no credit only. (1 hour lecture)

Advanced Computational Biochemistry (1) Principles of protein folding and structure, methods for determining protein structure, protein structure prediction and modelling, contents of structural databases, structure visualization, structure validation and analysis, structure-based drug design, rational mutagenesis, computational biochemistry tools. (2.5 hours lecture/activity for 5 weeks)

General Biochemistry Laboratory (2) The chemistry and metabolism of carbohydrates, nucleic acids, lipids and proteins; techniques of enzyme chemistry and isolation; research methods. (6 hours laboratory)

General Biochemistry (3,3) Survey of biochemistry; structural chemistry and function of biomolecules, bioenergetics and intermediary metabolism; replication and expression of the genetic material. (3 hours lecture)

Environmental Biochemistry (3) Effects of current agricultural, industrial and mechanical practices on the composition, metabolism and health of soil, plants, animals and man, from a biochemical perspective; mechanism of action and degradation of common agricultural chemicals and industrial pollutants. (3 hours lecture)

Advanced Instrumentation (3) Spectroscopic instrumentation components and systems. Includes laser spectroscopy, mass spectroscopy, chemical sensor, process control, surface science, and microscopy methods; vacuum technology, optics, electro-optics, and electronics components; design and repair of instrumentation.

Organic Synthesis (3) Theory and use of infrared spectroscopy, mass spectrometry, ultraviolet-visible spectroscopy and nuclear magnetic resonance spectroscopy as methods for the identification of organic compounds.

Chemistry of Natural Products (3) The biosynthesis of the alkaloids, terpenes, steroids and other natural products of plant and animal origin. (3 hours lecture)

Protein Biochemistry (3) Protein isolation strategies and techniques; chemical/physical characterization and modelling; functional characterization (kinetics, binding, chemical modification); molecular biology, including cloning, expression, sequencing and engineering.

Physical Biochemistry (3) Methods for measuring physical properties of proteins and nucleic acids. Thermodynamic and hydrodynamic aspects. (3 hours lecture)

## 2. Iowa University, Department of Biochemistry

<http://www.biochem.uiowa.edu/undergrad/Brochure%2010-25-06.pdf> (30.8.2007)

Orientation and Intro. to Biochem (0 s.h.) Description of the field of biochemistry and its application to other areas of basic sciences; discussion of biochemical studies, research and careers.

Biochemistry & Molecular Biology I (3 s.h.) Structure of nucleic acids, proteins, carbohydrates, lipids and their participation in cellular transport, catalysis, oxidative reactions.

Biochemistry and Molecular Biology II (3 s.h.) Course covers metabolism of lipids and nitrogen-containing compounds; regulation and integration of metabolism; information transfer in prokaryotes and eucaryotes; recombination DNA techniques; and chemistry and enzymology of replication, transcription, translation, cell transformation, and regulation of gene expression.

Experimental Biochemistry (4 s.h.) Quantitative and qualitative experiments on identification, fractionation, and characterization of constituents of biochemical systems; use of modern instruments and techniques for spectrophotometry, chromatography, electrophoresis, centrifugation and radioisotope studies; emphasis on experimental design and interpretation.

Biophysical Chemistry I (3 s.h.) Course covers quantitative analyses of biochemical systems; application of thermodynamics, equilibria, spectroscopy, X-ray crystallography to study of structure and function of macromolecules.

Biophysical Chemistry II (3 s.h.) Students consider equilibrium and kinetic measurements of proteins obtained using absorbance, fluorescence and dichroic spectrometry, electrophoresis, mass spectrometry, ultracentrifugation, and chromatography. Enzyme kinetics and catalysis are also topics.

3. Louisiana State University, College of Basic Sciences  
<http://www.biology.lsu.edu/undergrads/biocourse.html> (30.8.2007)

The Elements of Biochemistry (3) F,S Nature and physiological uses of natural substances of interest to education, agriculture, and home economics majors.

Fungal Biology (3) Description of fungal-human interactions, including ecosystem function, research models, medicine, agriculture, forestry, industry and culture.

Basic Biochemistry (4) F,S,Su Cellular macromolecules; production and utilization of energy by the cell; major metabolic pathways and their control; molecular biology.

General Biochemistry I (3) F Structure and function of proteins, nucleic acids, lipids and carbohydrates; enzymology; respiration.

General Biochemistry II (3) S Metabolic pathways; nucleic acid structure; flow of genetic information; regulation of gene expression; recombinant DNA.

Industrial Microbiology (4) *2 hrs. lecture; 4 hrs. lab.* Microbes used in industrial processes such as production of chemicals, antibiotics, and vitamins.

Biochemistry Laboratory (3) F,S *1 hr. lecture; 6 hrs. lab.* Techniques including chemistry of amino acids and proteins; purification, immunochemistry, kinetics of enzymes; protein biosynthesis; nucleic acid chemistry; properties and restriction mapping of plasmids and recombinant DNA; spectrophotometry, chromatography, electrophoresis, centrifugation, and radioisotope labelling.

Biophysics of Macromolecules (3) Theory and application of physical techniques to the study of biological macromolecules; spectroscopy (UV-VIS absorption and fluorescence, circular dichroism, IR, NMR, X-ray diffraction); helix-coil theory; theories of ligand binding.

Proteins (3) Conformations of fibrous and globular proteins; their interactions with small and large molecules.

Lipids and Membranes (3) Chemistry and biochemistry of lipids and membranes; analytical methods for lipids; biosynthesis of complex lipids; organization and function of biological membranes.

Complex Carbohydrates (3) Chemistry of carbohydrates including stereochemistry, reactions, derivatization, and analysis; biosynthesis and functions of complex carbohydrates; structure and function of complex carbohydrates including polysaccharides, glycoproteins, and glycolipids; immunology and receptorology.



4. Mississippi State University, Department of Forest Products/  
Biological Sciences

<http://www.msstate.edu/dept/registrar/bulletin/2006/2006Bulletin.pdf> (31.8.2007)

**Department of FOREST PRODUCTS**

Wood Anatomy. (3) Two hours lecture. Three hours laboratory. Anatomy of commercial timber species; elements of botanical microtechnique, fundamentals of microscopy, and fundamental properties: gross and minute structural characteristics of wood leading to identification.

Wood Chemistry. (3) Three hours lecture. Introduction to the distribution, chemical structure, reactions and uses of the chemical components of wood including cellulose, hemicellulose, lignin and extractives.

Adhesives and Finishes for Wood. (3) Two hours lecture. Three hours laboratory. Theory and technology of adhesion; adhesive types, application equipment; fundamentals of coating technology; wood finishes; finishing systems; evaluation of glued, finished products; market volumes.

Composite Wood Products. (3) Two hour lecture. Three hour laboratory. Study of physical and chemical parameters affecting reconstituted wood products; laboratory investigation of processing methods; industrial standards and quality control; markets

Mechanical Properties of Wood. (3) Two hour lecture. Three hour laboratory. Strength and elasticity of wood and wood composites; variation in properties as function of structure, moisture, temperature and time; derivation of working stresses; structural design.

**Department of BIOCHEMISTRY**

Protein Methods. (4) Two hours lecture. Four hours laboratory. A comprehensive course to teach the student the modern methods of protein biochemistry.

General Biochemistry. (3-3) Three hours lecture. Detailed studies of the structure and metabolism of carbohydrates, lipids, proteins, nucleic acids, enzymes, and coenzymes.

Biochemistry of Specialized Tissues. (3) A continuation of BCH 4613/6613 to include a study of specialized tissues, hormones, acid-base balance in animals and other physiological parameters of biochemistry.

Molecular Biology (3) Three hours lecture. A study of basic molecular process such as synthesis of DNA, RNA, and protein in both prokaryotic and eukaryotic cells.

Molecular Biology Methods. (4) Two hours lecture. Four hours laboratory. A comprehensive course to teach the student the modern methods of molecular biology.

Enzymes. (3) Three hours lecture. A study of enzymes; their purification, classification, kinetics and mechanisms.

## 5. North Carolina State University, Wood and Paper Science

[http://www2.acs.ncsu.edu/reg\\_records/crs\\_cat/WPS.html#WPS202](http://www2.acs.ncsu.edu/reg_records/crs_cat/WPS.html#WPS202) (30.8.2007)

Wood Anatomy and Properties 3 Formation, anatomy and properties of wood. Structural features of softwoods and hardwoods and the relationships among anatomy, physiology, physical and mechanical properties. Variability, naturally occurring defects, and wood deterioration are discussed and related to wood utilization. Techniques on hand lens and microscopic identification of wood.

Wood Fiber Analysis 2 The macro and micro structure of wood and the relationships of anatomical structures to the physical properties of wood and paper

Wet End and Polymer Chemistry 4 Prepares students to solve problems related to chemical usage on paper machines. Subjects include water chemistry, paper machine operations, fibers, fillers, alum, sizing agents, polyelectrolytes, colloidal interactions, strength agents, dyes, strategies to optimize retention, dewatering strategies, strategies to achieve more uniform paper, strategies to improve production rates, recycling aqueous coatings, and wet-end chemical process control.

Wood and Pulping Chemistry 3 Introduction to carbohydrate chemistry focusing on the structure and reactivity of wood polysaccharides, hemicelluloses and cellulose and on the chemical structure of lignins and wood extractives. Special emphasis on the chemical reaction of wood components occurring in pulping and bleaching processes.

Wood Composites 3 Manufacture, properties, and processing of wood-based composites. Commodity products - plywood, particleboard, waferboard, and oriented strandboard - as well as specialty composite products.

Wet-End and Colloidal Chemistry 3 The course objective is to prepare students to solve problems related to chemical usage on paper machines. Subjects include paper machine operations, fibers, fillers, chemistry of additives, colloids, control of paper's interactions with liquids, strength, dyes, strategies to optimize retention, dewatering strategies, strategies to achieve more uniform paper, strategies to improve production rates, and wet-end chemical process control.

Chemistry Of Wood Polysaccharides 3 Fundamental chemistry and physical chemistry of monosaccharides and polysaccharides with emphasis on hemicellulose and cellulose. Topics including construction and configuration, stereochemistry, solution properties, molecular weight determination and reactivity.

Chemistry Of Lignin and Extractives 3 The biosynthetic pathways, structure and reactivity of lignin and wood extractives with emphasis on topics important to pulping and conversion to useful by-products.

Wood Composites 3 Course designed to acquaint advanced undergraduate and graduate students with rapidly expanding field of wood composites. Presentation of production processes for particle board, plywood, hardboard, fiberboard, and other wood composites. Development of elastic theory for the stiffness, strength and buckling resistance of composites. Test procedures for determining mechanical properties and design procedures

for glued laminated members, panel products, and built-up members, including I- and box-beams, stressed-skin panels and sandwich panels, outlined.

Methods Of Research In Wood and Paper Science 1-3 Research procedures, problem outlines, presentation of results; consideration of selected studies by forest research organizations; sample plot techniques. Credits Arranged

#### DISTANCE-BASED COURSES

[http://www.cfr.ncsu.edu/wps/Dist\\_Ed\\_Student\\_Manual.pdf](http://www.cfr.ncsu.edu/wps/Dist_Ed_Student_Manual.pdf) (30.8.2007)

Principles & Applications of Biomaterials Science (3 cr.)

Brief introduction to structural, synthetic, and functionality aspects of biomaterials, followed by discussion of fundamental forces that govern their molecular organization. The formation of higher order structures will be described, *e.g.* self-assembly. Characterization techniques and structure-property relationships will be covered.

### 6. Oklahoma State University, Biochemistry and Molecular Biology

[http://biochem4.okstate.edu/index.php?option=com\\_content&task=blogsection&id=9&Itemid=79](http://biochem4.okstate.edu/index.php?option=com_content&task=blogsection&id=9&Itemid=79)

Chemistry and Applications of Biomolecules. 3. A descriptive survey of organic functional groups and biomolecules. Mode of formation and function of these molecules in microorganisms, plants and animals as they relate to biotechnology, environmental sciences and health related issues.

Survey of Biochemistry. 3 An introduction to the chemistry of living systems. Chemical properties of the constituents of living organisms. Modes of formation, reactions and function of these compounds in microorganisms, plants and animals.

Biochemical Laboratory. 3 credits. Lab 6. Qualitative and quantitative examination of biochemical and molecular biological materials and reactions. Hands-on experience with contemporary aspects of biochemical and molecular biology techniques.

Biochemistry. An extension and expansion of 3653 emphasizing applications of biochemistry, molecular biology and genetic engineering to studies on protein structure and function, regulation of cell function, metabolism and disease processes.

Biophysical Chemistry. Classical and statistical thermodynamics, transport processes, electrochemistry, and kinetics, with emphasis on biological applications.

Metabolism. Reaction sequences and cycles in the enzymatic transformations of fats, proteins and carbohydrates; energy transfer, biosynthesis and integration in the metabolic pathways.

Protein Structure and Enzyme Function. Theory of and methods for studying the physical and chemical basis of protein structure and function; and the enzyme catalysis, including kinetics, chemical modification and model studies. Examples from current literature.

## 7. Purdue University, Department of Biochemistry

<http://www.biochem.purdue.edu/current.html> (30.8.2007)

General Biochemistry I Protein structure and function, introduction to nucleic acids and molecular biology, properties of enzymes, mechanism of enzyme action, basic concepts of metabolism, sugar and fatty acid metabolism, introduction to membranes and hormone action.

General Biochemistry II Amino acid metabolism, photosynthesis, biosynthesis of membrane lipids and steroids, biosynthesis of nucleotides, structure and function of nucleic acids, protein synthesis, and control of gene expression.

Advanced Biochemical Techniques Modern techniques for the isolation, purification, and characterization of biological macromolecules. Advanced techniques of protein and nucleic acid chemistry. Emphasis will be placed on recombinant DNA technology, including the isolation, cloning, and characterization of genes. Specific projects will be designed to meet individual student interests.

Structure, Function of Proteins A critical treatment of structure-function relationships of proteins. Protein purification, amino acid sequence analysis, chemical modifications of proteins, protein folding, active sites, and protein-protein interactions will be discussed. The ways in which the chemical properties of the individual amino acid side chains influence the structures, chemical properties, and enzymatic reactivities of proteins will be emphasized throughout the course

Protein Mass Spectrometry and Proteomics Topics will include mass spectrometric instrumentation, protein and peptide separation methods, methods for selective enrichment of modified proteins and peptides, identification of proteins and post-translational modifications, and quantification of proteins and modifications.

## 8. San Jose State University, Department of Chemistry

<http://info.sjsu.edu/cgi-bin/pdfserv?ftok=catalog> (30.8.2007)

Biochemistry. Chemistry of amino acids, carbohydrates, lipids and nucleotides. Studies of protein structure and function, protein isolation, enzyme kinetics and enzyme mechanisms.

Biochemistry Lab. Fundamental qualitative and quantitative techniques and methodology in modern biochemistry.

Biochemistry Lab. Advanced isolation techniques and enzyme methodolog

Introductory Biochemistry Lab. Lab work associated with chemistry of foods and nutrition, cellular metabolism, biomacromolecules, vitamins and the structure of carbohydrates, lipids, proteins and nucleic acids.

General Biochemistry. A survey course on structure/function of biological molecules such as amino acids, proteins including enzymes, lipids/membranes, carbohydrates, and nucleic. Course topics include intermediary metabolism, regulation, and molecular biology.

Advanced Biochemistry. Chemistry of the amino acids, peptides and proteins, the chemistry of enzyme action and introduction to the metabolism of amino acids and related compounds.

Natural Products. Topics from the structure proof, synthesis and biosynthesis of secondary metabolites.

Enzymology. Enzyme structure, function, classification, isolation and methodology, mechanisms, theory of catalysis, enzyme kinetics, pH effects, allosterism and regulation.

Biochemical Separation Methods. Theory and methodology of biochemical separations. Topics selected from adsorption, bioaffinity, gas, gel, hydrophobic, ion-exchange and partition chromatography as well as electromigration methods and centrifugation.

## 9. Temple University, College of Science and Technology

[http://www.temple.edu/gradcourses/cst/gsc\\_d01302.htm](http://www.temple.edu/gradcourses/cst/gsc_d01302.htm), Chemistry (30.8.2007)

[http://www.temple.edu/gradcourses/med/gsc\\_d01105.htm](http://www.temple.edu/gradcourses/med/gsc_d01105.htm), Biochemistry (30.8.2007)

### **Department of CHEMISTRY**

Biochemistry (3 s.h.) A survey of the biological macromolecules (proteins, nucleic acids, carbohydrates, and lipids) correlating their structures with their chemical properties and biological functions.

Biochemistry (3 s.h.) emphasizing the major metabolic pathways, their integration and regulation, as well as oxidative phosphorylation, other membrane associated processes, and protein biosynthesis.

Protein Chemistry (3 s.h.) Advanced course involving detailed relationships between protein structure and biological function.

The Chemistry of Natural Products (3-6 s.h.) Biogenetic classification, classical and modern synthetic approaches to polyketides, steroids, terpenes, and alkaloids.

### **Department of BIOCHEMISTRY**

Enzymes and Proteins (4 s.h.) Theory and practice of techniques used in the physical and chemical properties of proteins, including active site chemistry. Use of physical, steady-state, perturbation, and equilibrium techniques for the determination of the mechanism of action of enzyme catalysis.

Structure, Synthesis, and Degradation of Macromolecules (4 s.h.) Topics covered include: Structure and synthesis of DNA and RNA, recombination, DNA repair, regulation of gene expression, the genetic code, protein synthesis, techniques of molecular biology.

10. Texas Tech University, Department of Chemistry and Biochemistry  
<http://www.depts.ttu.edu/officialpublications/courses/CHEM.html> (30.8.2007)

Molecular Biochemistry (3:3:0). Molecular descriptions of biological materials and systems. A one-semester course covering molecular approaches to biochemistry and metabolism.

Biological Chemistry Laboratory (3:1:6). Techniques for the isolation, purification, and characterization of biomolecular species. (Writing Intensive)

Polymer Chemistry (3:3:0). An introduction to the chemistry of macromolecules, including the synthesis, structures, properties, and applications of polymers.

Physical Biochemistry (3:3:0). Applications of physical chemical techniques to proteins, nucleic acids, and membranes.

Biochemistry I (3:3:0). Properties of biological compounds. Chemical processes in living systems.

Proteins (3:3:0). Chemical and physical properties of proteins. Primary and conformational structure determination.

Physical Biochemistry (3:3:0) Biophysical methods and approaches to the study of structure-function relationships in biopolymers.

Lipids (3:3:0). Structure and function of lipids. Emphasis is placed on the methods of characterization, evolution, biosynthetic pathways, and biological roles of lipids.

Enzymes (3:3:0). Structure, mode of action, and kinetics of enzymes.

11. University of California, Merced, School of Natural Sciences

<http://naturalsciences.ucmerced.edu/2.asp?uc=1&lvl2=41&lvl3=41&lvl4=149&contentid=209#nsed> (30.8.2007)

Introduction to Molecular Biology: Science and Applications in Biotechnology [4] Introduction to the molecules and molecular processes underlying life. Overview of molecular biology, its applications in biotechnology and impact on society, industry, modern medicine and environment.

Molecular Machinery of Life [4] Introduction to the chemical processes underlying life, covering the structure and properties of biological macromolecules, metabolism, regulation and energy transduction.

Biochemistry I [4] Advanced course on proteins, enzymes, enzyme kinetics and carbohydrates metabolism in living organisms.

Advanced Biochemistry and Molecular Biology [4] A Mechanisms of amino acid, nucleic acid and lipid metabolism plus advanced mechanisms of gene expression, signal transduction and regulation of gene expression.

Biophysics [4] An introduction to the physical processes underlying biological phenomena. Topics to be covered include transport and diffusion, biochemical reaction kinetics and thermodynamics, molecular motors, cell motion and cellular electrophysiology.

Biophysics Laboratory [1] Laboratory experiments demonstrating and reinforcing topics covered in BIS 104.

Enzymology [4] Advanced course on enzyme mechanisms and regulation.

Enzymology Laboratory [1] Laboratory experiments demonstrating and reinforcing topics covered in BIS 105.

Organic Synthesis and Mechanism [3] Reactions, syntheses, purification and characterization of all of the major classes of organic compounds. Includes standard organic reaction mechanisms and bioorganic mechanism. A retrosynthetic approach to synthetic design is emphasized.

Biochemistry I [4] Advanced course on proteins, enzymes, enzyme kinetics and carbohydrates metabolism in living organisms.

Advanced Biochemistry and Molecular Biology [4] Mechanisms of amino acid, nucleic acid and lipid metabolism plus advanced mechanisms of gene expression, signal transduction and regulation of gene expression.

Biophysical Chemistry [3] Biochemical kinetics, solution thermodynamics of biochemical systems, multiple equilibria, hydrodynamics, energy levels, spectroscopy and bonding. Three-dimensional structure of proteins, forces that stabilize protein structures, protein folding, prediction of protein structure from sequence. Three-dimensional structure of DNA and RNA, sequence-specific recognition of DNA and RNA, RNA-catalyzed processes.

Nanoscale Materials Chemistry [3] An introduction to the properties of matter on size scales intermediate between atoms or molecules and bulk matter, with emphasis on metallic and semiconductor nanoparticles. Synthesis, characterization, physical and chemical properties and applications of these materials.

Applied and Biomolecular Spectroscopy [3] Application and interpretation of spectroscopic methods to problems in chemical structure and analysis with a particular emphasis on biomolecules. Topics include UV/visible absorption, fluorescence, infrared absorption, Raman scattering, nuclear magnetic resonance, electron spin resonance, circular dichroism, mass spectrometry, microspectroscopic and single-molecule techniques.

12. University of Colorado at Boulder, College of Arts and Sciences  
<http://www.colorado.edu/catalog/catalog07-08/index.pl?c=2-10-0> (30.8.2007)

Physical Chemistry with Biochemistry Applications 1. Lect. Introduces thermodynamics and kinetics, emphasizing macromolecule and biochemical applications. Includes thermodynamics, chemical and physical equilibria, solution chemistry, transport properties, multiple site binding phenomena, and the rates of chemical and biochemical reactions.

Physical Chemistry with Biochemistry Applications 2. Lect. Principles of physical chemistry (second semester) for students in the biological sciences. Topics include quantum mechanics, chemical bonds, principles of spectroscopy, statistical mechanics, and transport processes with application to biological systems.

Survey of Biochemistry. One-semester survey of the main themes of modern biochemistry: biomolecular structure/function, metabolism, biosynthesis, DNA from genome to proteome, and cellular signaling

General Biochemistry 1. Lect. Topics include structure, conformation, and properties of proteins, nucleic acids, carbohydrates, and membranes; enzyme mechanisms, kinetics, and regulation; intermediary metabolism; energetics and metabolic control; electron transport and oxidative phosphorylation.

General Biochemistry 2. Lect. Metabolism of carbohydrates, lipids, amino acids, and nucleic acids; photosynthesis; biosynthesis and function of macromolecules including DNA, RNA, and proteins; biochemistry of subcellular systems; and special topics.

Current Topics in Biochemical Research. Covers current topics in modern biochemical research through lectures, reading recent research articles, critical thinking, and class discussion. Topics include protein and nucleic acid structure and function, biomolecular interactions, enzyme function, and cellular signaling and regulation.

Biochemistry Laboratory. Two 5-hour periods per week. The first hour of each period is lecture, the remainder is laboratory. Introduction to modern biochemical techniques. Topics include enzymology, spectrophotometry, electrophoresis affinity chromatography, radioisotopes, recombinant DNA, and molecular cloning.

Bioorganic Chemistry in Biotechnology. Explores examples of antibodies, peptides, proteins, RNA, DNA, carbohydrates and lipids. The course uses the primary literature and requires student participation. Prereq., undergraduate or graduate biochemistry and two semesters of organic chemistry..

Methods of Molecular Biophysics. Lect. Discusses techniques used to determine structure, function, and dynamics of macromolecules, including optical spectroscopy, magnetic resonance, diffraction, and scanning microscopy.

Advances in Molecular Biophysics. Discuss recent literature concerning biophysical studies of macromolecular structure and mechanism, including DNA, RNA, proteins, and their interactions.



Advanced General Biochemistry 1. Lect. In-depth analysis of DNA structure and replication, RNA synthesis and processing, protein synthesis, enzyme function and mechanism, protein structure, protein dynamics, and physical chemistry of macromolecules. Intended as a comprehensive treatment of areas central to modern biochemistry for entering graduate students.

Scientific Ethics and Responsible Conduct in Research. Lect. Advanced discussion of topics in scientific ethics, including requirements for responsible conduct of research, case histories of fraud, research misconduct, ethical misconduct, and development of professional values and ethical standards.

Advanced General Biochemistry 2. Lect. Detailed consideration of contemporary topics in biochemistry, including protein structure (primary, secondary, tertiary, and quaternary), methods of structure determination and prediction, protein folding (kinetics, thermodynamics, denaturation, and renaturation), and protein dynamics (internal motions and methods of analysis).

Advanced Methods in Protein Sequencing and Analysis. Lect. Advanced discussion of current methods in protein sequencing, sequence analysis, and posttranslational modifications, emphasizing techniques of mass spectrometry, use of protein databases, sequence alignment and motifs, structure prediction, and modeling of signaling pathways..

Advanced Topics in Biochemistry. Detailed study of current literature relative to one main topic is undertaken each semester. Topics covered on a rotating basis include enzyme kinetics and mechanisms; lipids and lipoproteins; chemistry and enzymology of nucleic acids; biochemistry of nucleic acids in eukaryotic cells; and protein chemistry. Presentations include faculty lectures and student reports.

Seminar: Topics in Synthetic Methodology and Natural Product Synthesis. Discussion of contemporary synthetic organic chemistry with a focus on new methodology and total synthesis of natural products.

Seminar: Structures and Dynamics of Biopolymers in Solution. Discussion of experimental and theoretical approaches for probing structures and dynamics of proteins, peptides, and nucleic acids; and computations in molecular dynamics simulation, modeling, and geometry..

Seminar: Protein Dynamics and the Mechanism of Sensory Proteins. Discusses recent results and current literature in the areas of the mechanism of sensory proteins, internal motions of proteins, and protein folding.

Seminar: Protein Structure and Folding. Studies structure and folding of proteins and protein complexes using biophysical methods, including nuclear magnetic resonance (NMR), circular dichroism, and fluorescence spectroscopies.

### 13. University of Florida, Department of Chemistry

<http://www.registrar.ufl.edu/catalog/programs/courses/chem.html> (30.8.2007)

Organic Chemistry/Biochemistry 1 A rigorous, one semester overview of the structure, properties and reactions of organic compounds.

Organic Chemistry/Biochemistry 2 An introduction to the basic concepts of biochemistry and molecular biology from the structural and mechanistic perspective of organic chemistry.

Advanced Biochemistry and Chemical Biology Secondary metabolism and biosynthetic pathways, bioinorganic chemistry, protein folding and trafficking, cellular signaling, replication and translation from a chemist's perspective. Applications in bioanalytical chemistry and in molecular and cell biology.

The Organic Chemistry of Polymers Classification of polymerization types and mechanisms from a mechanistic/organic point of view. The structure of synthetic and natural polymers and polyelectrolytes. Reactions of polymers. Practical synthetic methods of polymer preparation.

Laboratory in Biochemistry and Molecular Biology. An introduction to experimental techniques used in biochemistry, especially those useful in DNA isolation and manipulation, protein purification and enzyme kinetic studies.

### 14. University of Kentucky

<http://www.uky.edu/Registrar/bulletinCurrent/courses/BCH.pdf>, Biochemistry (30.8.2007)

<http://www.uky.edu/Registrar/bulletinCurrent/courses/CHE.pdf>, Chemistry (30.8.2007)

Fundamentals of Biochemistry (3) Descriptive chemistry of amino acids and proteins, carbohydrates, lipids, and nucleic acids. Discussion of structure and function; metabolism and bioenergetics; and biological information flow. At the undergraduate level, understanding is demonstrated through hour examinations; at the graduate level, understanding is demonstrated through hour examinations and a brief paper. Lecture, three hours; one optional conference.

Experimental methods in Biochemistry (4) A laboratory course dealing with the instrumentation and procedures of biochemical research. Because many of the materials used are labile, the course is given in a block during a four-week period at the end of the spring semester. Five days per week during four-week intersession, or summer session.

Structural Biology. (3) An advanced course on the structure and function of proteins and nucleic acids. Topics include: the physical determinants of protein structure, classification of protein architecture, protein-nucleic acid and protein-protein interactions, sequence dependence of nucleic acid structure, ribozymes, dynamics and evolutionary relationships.

Biomolecules and metabolism. (3) An introductory graduate-level biochemistry course designed to provide a basic knowledge of molecular and biochemical principles necessary for advanced graduate study. Protein structure and function, enzyme catalysis, the

generation and storage of metabolic energy, amino acid, nucleotide, and lipid metabolism and biological membranes and transport will be covered.

Biomolecules and molecular biology. (3) An introductory graduate-level biochemistry course focused on the cellular mechanisms that underlie the regulated expression of genes, including transcription and translation, as well as basic mechanisms of DNA replication/repair and recombination. Genetic engineering and other experimental approaches critical to molecular biology research will be reviewed.

Plant Biochemistry. (3) The course will consider the chemical constituents of plants (with emphasis on biologically or nutritionally significant compounds unique to plants), their biosynthesis, contribution to key metabolic and defense processes and the regulation of their synthesis. Included will be discussions of photosynthesis, carbohydrates, lipids, isoprenoids and phenylpropanoids, nitrogen fixation, nitrogen and sulfur reduction and assimilation, alkaloids and additional secondary compounds, frontiers in plant biochemistry.

Biochemistry of lipids and membranes. (3) A lecture and seminar course devoted to intermediary metabolism of lipids and various biochemical aspects of the structure, assembly and functions of biological membrane systems.

Structure and function of proteins and enzymes (3) Primarily a lecture course devoted to the relationship of the structure of protein molecules to their biological roles. Proteins will be discussed in terms of their size, shape, conformation, primary structure, catalytic mechanism and regulatory properties

Biological Chemistry I. (3) An introduction to biological chemistry. Topics include amino acids and proteins; nucleic acids and nucleotides; enzyme structure, function and energetics; metabolism including glycolysis; the tricarboxylic acid cycle; electron transport and oxidative phosphorylation; glycogen metabolism; hormone action; and other aspects of modern biological chemistry.

Biological Chemistry II. (3) A further introduction to biological chemistry. Topics include lipid metabolism, biosynthesis and metabolism of nitrogen-containing compounds, storage and utilization of genetic information, immunochemistry, and other contemporary topics in biological chemistry

Chemistry and Molecular Biotechnology. (3) This course focuses on the chemical aspects of biotechnology development. Current topics in biotechnology are emphasized through extensive reading and classroom discussion of the most recent scientific literature. Biotechnology development in fields as diverse as agriculture, the environment, and medicine will be covered.

Biological Chemistry Laboratory (2) An introductory biological chemistry laboratory course. Areas of experimentation will include spectroscopic methods, electrophoresis, chromatography, and isolation and characterization of biological macromolecules.

15. University of Massachusetts-Amherst, Building materials and Wood Science [http://www.umass.edu/bmatwt/academics/graduate\\_courses.html](http://www.umass.edu/bmatwt/academics/graduate_courses.html) (31.8.2007)

Wood Moisture Relations. Lecture, lab. The fundamentals of wood-water relations and their effects on product processing, quality, and in-service performance; includes the study of modern techniques in the drying of wood. Field trips.

Wood Adhesives Technology. Lecture, lab. Adhesion phenomena and the properties of adhesives; principles of wood gluing, methods of testing glued products, evaluation of results; processes and means of control.

Chemical Modification of Wood. Lecture. The chemical nature of wood, chemical modification of wood; chemistry of products used with wood; potential contribution of wood to energy and chemical needs of society.

16. University of Michigan, College of Engineering  
<http://www.engin.umich.edu/prog/macro/handbook.pdf> (31.8.2007)

Introductory Biochemistry, 3-4 hrs.; I and II. An introductory biochemistry course covering enzymes and coenzymes; biological oxidations; biosynthesis and metabolism of carbohydrates, lipids, proteins, and nucleic acids; action of hormones; biological transport; and other selected topics. The fourth credit hour is a series of lectures/seminars one evening a week or on Saturday. Lecture.

Biochemistry I. 3 hrs. The first term of an intensive introductory graduate course that emphasizes the more chemical aspects of biochemistry, including consideration of amino acids and protein structure and properties; enzyme kinetics and thermodynamics; mechanisms of enzyme and coenzyme action; and carbohydrate metabolism, with emphasis on electron transport and oxidative phosphorylation. Lecture.

Biochemistry II. 3 hrs. The second term of an intensive introductory graduate course that emphasizes the more biological aspects of biochemistry, including consideration of amino acid and lipid metabolism; nucleic acid and protein synthesis; nucleotide and polysaccharide chemistry; immunochemistry of proteins and carbohydrates; cell membrane structure; transport phenomena; and regulatory mechanisms. Lecture.

Advanced Biochemistry I. 3-4 hrs. Selected topics in protein chemistry and enzymology. Emphasis on quantitative physical techniques to provide information about protein structure and catalytic mechanisms. Lecture.

Advanced Biochemistry II. 3 hrs. Selected topics in molecular and cellular biology, including membrane structure and function; in-depth treatment of physical and chemical properties of nucleic acids, mutagenesis, mutational analysis of protein structure and function, and gene expression in prokaryotes and eukaryotes. Lecture.

Dynamics of Biochemical Systems. 3 hrs.; Colloidal phenomena in biological systems, mechanisms of transport through membranes, physical chemical properties of biological materials, kinetics of growth processes, enzyme catalysis, natural control mechanisms, engineering applications of biochemical phenomena.

Physical Chemistry of Macromolecules. 3 hrs.. The theory and application of useful methods for studying natural and synthetic polymers will be stressed. The methods discussed include osmotic pressure, sedimentation equilibrium, Brownian motion, diffusion, sedimentation transport, intrinsic viscosity, scattering of light and x-rays, optical and resonance spectra, flow and electric birefringence, depolarization of fluorescence, circular dichroism and magneto optical rotatory dispersion, electrophoresis, titration curves, kinetics of polymerization, suitable distribution functions for expressing heterogeneity, rigidity and viscosity of gels. Experimental methods for the study of macromolecular materials in solution and in bulk state.

Organic Chemistry of Macromolecules. 3 hrs.; The preparation, reactions, and properties of high molecular weight polymeric materials of both natural and synthetic origin. Two lectures and reading.

Composite Materials. 3 hrs.; II. Behavior, processing and design of composite materials, specially fiber composites. Emphasis is on the basic chemical and physical processes currently employed and expected to guide the future development of the technology.

Macromolecular and Bio-Physics I. 3 hrs.; Introduction to physical techniques to study the ultrastructure of macromolecules and biomolecules: characterization of macromolecular structure; factors influencing conformational stability; an elementary study of structural techniques; scattering theory (x-ray diffraction, light scattering, etc.) and spectroscopic methods (infrared, Raman, UV, NMR, etc.) with application to macromolecules.

## 17. University of Missouri, College of Agriculture, Food and Natural Resources, Biochemistry

[http://registrar.missouri.edu/Catalog/extracts\\_07\\_08/CAFNR\\_0708B.pdf](http://registrar.missouri.edu/Catalog/extracts_07_08/CAFNR_0708B.pdf) (31.8.2007)

Introduction to Biochemistry (3). Fundamental concepts in biochemistry and molecular biology: structure function relationships, reactivity, thermodynamics, gene expression. Professional skills for biomedical careers.

The Living World: Molecular Scale (3). Survey of modern biochemistry and biotechnology. Structure and function of DNA, proteins lipids and carbohydrates. The role of biopolymers in life processes and everyday living is emphasized.

Biotechnology in Society (3). Biotechnology in a social context covers three areas: introduction to terminology and concepts, specific biotechnological applications to modern problems, and ethical questions.

General Biochemistry (3). Survey of biochemistry; static/dynamic aspects of carbohydrates, lipids, proteins, nucleic acid. Discussion of metabolic pathways, energy production, and metabolic regulatory mechanism.

Topics in Biochemistry (cr.arr.) Experimental courses; highly specialized topics taught infrequently or courses taught by visiting professors.

Biochemistry (3). First semester of comprehensive biochemistry course: metabolic pathways, amino acids/proteins, carbohydrates, lipids, nucleic acids, kinetics, energy requirements, metabolic regulation in living cells.

Biochemistry (3). Second semester of a comprehensive biochemistry course, including metabolism of carbohydrates, fatty acids, steroids, amino acid synthesis and metabolism, molecular genetics, hormones, photosynthesis and integrated metabolism.

Biochemistry Laboratory (4). Techniques course involving analytical experiments with carbohydrates, lipids, proteins, nucleic acids; use of instrumentation in biochemistry; purification and kinetics of enzymes.

#### **College of Arts and Science, Biological Science**

[http://registrar.missouri.edu/Catalog/extracts\\_07\\_08/A&S\\_0708B.pdf](http://registrar.missouri.edu/Catalog/extracts_07_08/A&S_0708B.pdf) (31.8.2007)

Analysis of Biological Macromolecules (3). Theory/application of techniques used for characterization of proteins, nucleic acids; topics: sedimentation velocity; equilibrium; sucrose density gradients; electrophoresis; spectrophotometry.

### **18. University of Virginia, Chemistry Department**

<http://people.virginia.edu/~jnd/ugclass1.htm> (31.8.2007)

Biological Chemistry I. Introduction to the components of biological macromolecules and the principles behind their observed structures. Examines the means by which enzymes catalyze transformations of other molecules, with emphasis on the chemical principles involved. A description of the key metabolic cycles and pathways, the enzymes which catalyze these reactions, and the ways in which these pathways are regulated. Three class hours.

Biological Chemistry II. Course covers three main areas: 1) structure and function of biological membranes, 2) complex biochemical systems and processes, including photosynthesis, oxidative phosphorylation, vision, neurotransmission, hormonal regulation, muscle contraction and microtubules, and 3) molecular biology, including DNA and RNA metabolism, protein synthesis, regulation of gene expression and recombinant DNA methodology. Three class hours.

Biological Chemistry Laboratory I. The isolation and purification of biological materials. Chemical properties of proteins, nucleic acids, carbohydrates, and lipids. Chemical and physical methods used in the characterization and quantitative determination of proteins. One class hour, four laboratory hours.

Biological Chemistry Laboratory II. Physical methods used in studying macromolecules. Experiments include spectroscopic, hydrodynamic, and kinetic methods. Enzyme kinetics and the statistical analysis of data. One class hour, four laboratory hours.

Organic Chemistry of Selected Biological Compounds Traces the biosynthesis of naturally occurring substances from their photosynthetic beginnings to their eventual end as complex natural products. Topics include the major metabolic pathways, important enzyme

systems, fatty acids, prostaglandins, terpenes, steroids, vitamins, hormones, alkaloids, pheromones, neuro-transmitters, drug development, vision and brain chemistry, insect-plant-herbivore interactions, and the basis of various human illnesses such as inborn errors of metabolism.

## 19. University of Washington

<http://www.washington.edu/students/crscat/paper.html> (30.8.2007)

Products and Energy from Renewable Resources (5) I&S/NW Introduction to the structure, composition, and availability of renewable resources. Conversion of these materials into solid products, energy, and useful chemicals. Particular attention to the production of fiber (paper/board), fuels (ethanol/aromatics), and specialty chemicals (biopolymers, medicines, etc.). Includes weekly laboratory session..

Natural Products Chemistry (3) NW *Bura* Covers the essential in natural products chemistry - celluloses, hemicelluloses, lignins, and extractives. Describes structure and chemistry of lignocellulosic biomass, as well as current work in the conversion of residues to bioethanol..

Pulping and Bleaching Processes (3) *Gustafson* Conversion of wood to mechanical and chemical pulps. Kraft, sulfite, and semi-chemical pulping processes. Chemical recovery systems. Bleaching of mechanical and chemical pulps.

Polymer Chemistry (3) *Allan* Fundamental review of synthetic and natural polymers, including kinetics of formation, molecular weight distributions, and solid-state and solution properties.

## 20. Virginia Polytechnic Institute and State University/

### Biochemistry department

<http://www.biochem.vt.edu/graduatecourses.php> (31.8.2007)

Protein Biochemistry (Fall) & Nucleic Acid Biochemistry (Spring). Principles of basic modern biochemical research techniques applicable to protein structure and chemistry; enzymology; nucleic acid biochemistry; gene expression and organization; microbial metabolism; coenzyme biosynthesis; structure and function of membranes and subcellular organelles

Computational Biochemistry and Bioinformatics. Applications of protein structure and function, protein characterization, enzyme kinetics, and analysis of metabolic control for students with a background in computer science, mathematics, statistics, or engineering.

Principles of Biochemistry. Comprehensive presentation of principles of protein structure, enzymology, bioenergetics, and metabolism. Relationships between regulatory mechanisms and molecular biology. Current literature on these topics provides emphasis on the relationship of primary scientific literature to biochemical knowledge.

Protein Structure, Function and Modelling. Structure and function of proteins. Topics include special techniques in protein purification and characterization, techniques for

studying protein structure, posttranslational modification of proteins and selected topics to study the structure-function relationship of proteins.

<http://www.undergradcatalog.registrar.vt.edu/0708/als/bchm.html#Anchor-Undergraduate-59125> (31.8.2007)

Introduction to Biochemistry. History and evolution of biochemistry; applications of biochemistry in agricultural and life science disciplines; topical research areas in biochemistry; educational requirements and career opportunities for biochemistry majors.

Concepts of Biochemistry. Short course in fundamentals of the chemistry of living systems. Introduction to major categories of biochemical substances, metabolic pathways, and principles of biochemical information transfer.

Organic Biochemistry. Organic chemistry of the fundamental structures and reactions encountered in biological chemistry. Chemical description of carbohydrates, amino acids, lipids, proteins and nucleic acids. Discussion of organic chemical reactions that describe the majority of reactions encountered in biological chemistry.

General Biochemistry. Metabolism and chemistry of carbohydrates, proteins, lipids, and nucleic acids with emphasis on interactions and comparative aspects of microbial, plant, and animal forms. For students in the biochemistry curriculum and other students interested in a foundation course.

Laboratory problems in Biochemistry and molecular biology. Presentation of major analytical techniques of importance to biochemistry and molecular biology, including spectrophotometry, electrophoresis, chromatography, and use of radioisotopes. Lab study of selected principles and methods used in biochemistry and molecular biology.

Spectroscopy of Biomolecules. Presentation of the applications of modern spectroscopic methods, including UV-visible, fluorescence, NMR, ESR, CD/ORD, and mass spectrometry, to biochemical analysis. Selected instruments and their uses will be demonstrated.

### **College of Natural Resources, Wood Science and Forest Products**

<http://www.undergradcatalog.registrar.vt.edu/0708/nr/wood.html> (31.8.2007)

Wood Structure and Properties. Macroscopic and microscopic structure and chemical composition of wood. Identification of commercially important woods. Impact of structure on physical and mechanical properties of wood. Principles of wood processing, including sawmilling, veneering, composite boards, paper. Description of the wood products industry including the products manufactured, the raw material requirements for each product, and the processing procedures.

Wood Chemistry, Products and Processes. Chemistry of structural wood components, polysaccharides, lignin, and extractives. Principles of industrial wood processes that involve chemical technology: pulping, bleaching and papermaking. Products derived from wood by chemical processes.



Wood Adhesion and Composites. Introductory polymer science and surface chemistry. Fundamentals of adhesion and fracture in adhesively bonded wood. Industrially significant adhesive systems used for bonding wood with emphasis on wood-based composites. Introduction to wood coatings, formulation, application and weather durability. Processing of wood-based composites, product design and performance; product testing and standards.