

Susanna Vanhamäki & Irma Mäkelä (toim.)

# Cleantech insinöörikoulutuksessa

Lahden ammattikorkeakoulun julkaisu, sarja C Artikkelikokoelmat, raportit ja muut ajankohtaiset julkaisut, osa 131



**LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
*Lahti University of Applied Sciences*

Susanna Vanhamäki & Irma Mäkelä (toim.)

# **Cleantech insinöörikoulutuksessa**

### **Lahden ammattikorkeakoulun julkaisusarjat**

A Tutkimuksia

B Oppimateriaalia

C Artikkelikokoelmat, raportit ja muut ajankohtaiset julkaisut

### **Lahden ammattikorkeakoulun julkaisu**

Sarja C Artikkelikokoelmat, raportit ja muut ajankohtaiset julkaisut, osa 131

Vastaava toimittaja: Ilkka Väänänen

Taitto: Minna Mujunen

ISSN 1457-8328

ISBN 978-951-827-177-5

Paino: Juvenes Print - Suomen Yliopistopaino Oy, 2013



# Sisällys

<b>Esipuhe</b> .....	<b>6</b>
<b>Kirjoittajat</b> .....	<b>8</b>
Irma Mäkelä <b>TIIVISTELMÄ</b> .....	<b>9</b>
Silja Kostia & Irma Mäkelä <b>CLEANTECH-INSINÖÖRIT -PROJEKTIN LÄHTÖKOHTA JA TAVOITTEET</b> .....	<b>10</b>
Teijo Lahtinen & Olli Kaikkonen <b>CLEANTECHIÄ INSINÖÖRIKOULUTUKSEEN</b> .....	<b>20</b>
Pirkko Järvelä & Lea Heikinheimo <b>MATERIAALITEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMAUUDISTUS</b> .....	<b>28</b>
Reijo Heikkinen <b>PUUMATERIAALIEN KÄYTTÖ KESTOMUOVIN RINNAKKAISRUISKUVALUSSA</b> .....	<b>36</b>
Reijo Heikkinen <b>ELEKTRONIIKAN MUOVIROMU UUSIOMATERIAALINA</b> .....	<b>47</b>
Silja Kostia, Eeva Aarvevaara, Sakari Halmemies & Essi Malinen <b>CURRICULUM DEVELOPMENT IN THE DEGREE PROGRAM OF ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY</b> .....	<b>54</b>
Marianne Matilainen, Antti Holopainen, Jesse Karhunen, Niko Kuisma, Jaakko Moilanen, Erno Paju, Samuli Peltola, Johannes Tapio & Aleks Waldén <b>ENERGY EFFICIENT SOLUTIONS FOR MOBILE NETWORKS</b> .....	<b>64</b>
Marianne Matilainen, Janne Kangas, Jarmo Kosonen, Tommi Lätti, Tuomo Meckelburg, Jani Miettinen, Mika Penna & Anne Salminen <b>IMPROVING MOBILE DEVICE ENERGY CONSUMPTION</b> .....	<b>84</b>
Matti Welin <b>AGILE SOFTWARE DEVELOPMENT</b> .....	<b>101</b>
Matti Welin <b>USER STORIES IN SOFTWARE DEVELOPMENT</b> .....	<b>108</b>
Matti Welin <b>SOFTWARE DEVELOPMENT USING KANBAN</b> .....	<b>118</b>
<b>Liitteet</b> .....	<b>132</b>

# Esipuhe

## Koulutus tukemaan Suomen cleantech-liiketoiminnan kilpailukykyä

Energia- ja ympäristöteknologiaan perustuva cleantech on yksi maailman nopeimmin kasvavista liiketoimintasektoreista. Cleantech-teknologioiden määritelmä on erittäin laaja. Cleantechilla, eli puhtailla teknologioilla, tarkoitetaan teknologioita, jotka edistävät luonnonvarojen kestävästä käytöstä sekä materiaali- ja energiatehokkuutta ja pienentävät haitallisia ympäristövaikutuksia.

Cleantechin globaalit markkinat ovat 1600 miljardia euroa vuosittain ja kasvu on yli 7 % vuodessa. Vuoteen 2020 mennessä markkinoiden ennustetaan kasvavan yli 3000 miljardin euron. Cleantechin kasvu perustuu globaaleihin megatrendeihin, joita ovat mm. väestönkasvu, kaupunkistuminen, teollistuminen, luonnonvarojen rajallisuus ja ympäristön pilaantuneisuus. Samalla taloustilanne haastaa akuutisti koko maailmaa. Globaaliin kasvuun tarvitaan uusia eväitä, ja niihin on yhdistettävä ympäristön hyvinvointi. Tähän kokonaisuuteen cleantech-liiketoiminta soveltuu mitä parhaiten.

Globaalisti nopeimmin kasvavia cleantech-alueita ovat energiatehokkuus, veden käsittely, puhtaan energian tuotanto, materiaalitehokkuus ja älykäs liikkuminen. Materiaali- ja energiatehokkuus ovat tärkeitä elinkeinoelämän tuottavuuden parantamiseksi ja niukkojen resurssien käyttämiseksi optimaalisella tavalla.

Suomi tunnetaan yhtenä maailman johtavista cleantech-maista ja Suomen hallitus on hyvin sitoutunut cleantech-liiketoiminnan kehittämiseen. Pääministeri Jyrki Kataisen hallituksen ohjelmassa cleantech on linjattu tulevaisuuden Suomen elinkeinopolitiikan painopistealueeksi ja hallituksen tavoitteena on nostaa Suomi cleantechin kärkimaaksi maailmassa. Hallitusohjelmassa myös linjattiin cleantechin strategisen ohjelman perustamisesta, ja ohjelma käynnistettiin vuonna 2012. Suomessa on tällä hetkellä yli 2000 cleantech-liiketoimintaa harjoittavaa yritystä ja näiden yhteenlaskettu liikevaihto on yli 20 miljardia euroa. Kasvu vuonna 2011 oli 10,6 %. Tavoitteena on luoda Suomeen vuoteen 2020 mennessä 40 000 uutta puhtaan teknologian työpaikkaa ja kaksinkertaistaa cleantechin liikevaihto nykyisestään noin 50 miljardiin euroon.

Suomen cleantech-osaaminen on tunnustettu myös kansainvälisesti. Esimerkiksi viimeisimmässä keväällä 2012 julkistetussa erittäin arvostetussa WWF:n ja Global Cleantech Groupin vertailussa: Global Cleantech Innovation Index'ssä, Suomi sijoittui neljänneksi Tanskan, Israelin ja Ruotsin jälkeen. Erityisesti Suomen cleantechiin liittyvä t&k-toiminta ja osaaminen arviointiin globaalisti vahvimmaksi, kun taas innovaatioiden kaupallistaminen ja markkinoille meno todettiin jälleen kerran heikoudeksi.

Cleantechin strateginen ohjelma on vahvasti tarttunut toimeen edellä mainittujen heikkouksien kääntämiseksi Suomen vahvuudeksi. Pyrimme edistämään uusien investointien kaupallistamisen rahoitusympäristöä, yritysten kannustavaa säädosympäristöä rajoittavan sijasta sekä edistämään Suomelle tärkeiden toimialojen, kuten kestävästä kaivannaisteollisuudesta ja puhtaasta energiantuotannon toimintaympäristöstä kokonaisuutena. Yksi tärkeä teema osana toimintaympäristöä on, että meidän tulee kyetä houkuttelemaan maan parhaat kyvyt työskentelemään cleantechin parissa. Suomi tarvitsee innovatiivisia ja kunnianhimoisia ihmisiä opiskelemaan ja työskentelemään alalla.

Cleantechissa on kyse kilpailukykytekijästä, joka ylittää horisontaalisesti perinteiset toimiala- ja koulutusohjelmarajat. Tästä johtuen cleantech tulee huomioida eri alojen ja koulutusohjelmien opetuksessa. Cleantechin ulkoistaminen koskemaan ainoastaan ympäristö- ja energiateknologiaan liittyvää opetusta ja tutkimusta ei ole Suomen osaamisen kehittämisen kannalta oikea ratkaisu. Tässä Lahden ammattikorkeakoulu ja Cleantech-insinöörit -projekti on tehnyt uraauurtavan arvokasta työtä. Hankkeen avulla cleantech-näkökulmaa on kyetty viemään eri alojen ammattikorkeakoulutuksen osaksi konkreettisia case-esimerkkejä hyödyntäen.

Cleantech-liiketoiminta on voimakkaassa kasvussa. Jokaisen yrityksen on kuitenkin itse voitettava paikkansa markkinoilla kaupallistamalla tuotteensa ja teknologiansa. Viime kädessä kysymys on usein myynnin ja markkinoinnin osaamisesta sekä näitä tukevasta viestinnästä, eikä pelkkä loistava insinööriosaaminen riitä. Tästä syystä haastankin kaikki nykyiset ja tulevat insinöörit ajattelemaan yhä enemmän yli perinteisten toimi- ja koulutusohjelmarajojen, erityisesti kaupallisen ja viestinnällisen osaamisen arvon ja merkityksen tunnustaen. Pelkkä oman alan syvälinen osaaminen ei riitä merkittäviin tekoihin, vaan tarvitaan yhteistyötä ja monialaista osaamista. Cleantech-teema toimii toivottavasti jatkossakin hyvänä liimana kehitettäessä sekä yksittäisten opiskelijoiden monipuolisia taitoja että horisontaalista yhteistyötä LAMK:n eri koulutusohjelmien ja eri organisaatioiden välillä.

*Juha Korteniemi*

neuvotteleva virkamies,  
Cleantechin strateginen ohjelma,  
Työ- ja elinkeinoministeriö

## Kirjoittajat

*Aarveaara Eeva*, yliopettaja, Lahden ammattikorkeakoulu, tekniikan ala, ympäristötekniikan koulutusohjelma, yhdyskuntasuunnittelu

*Halmemies Sakari*, yliopettaja, Lahden ammattikorkeakoulu, tekniikan ala, ympäristötekniikan koulutusohjelma, ympäristötekniologia

*Heikinheimo Lea*, yliopettaja, Lahden ammattikorkeakoulu, tekniikan ala, materiaalitekniikan koulutusohjelma, tekstiili- ja vaateustekniikka

*Heikkinen Reijo*, lehtori, Lahden ammattikorkeakoulu, tekniikan ala, materiaalitekniikan koulutusohjelma, muovilaboratorio

*Järvelä Pirkko*, yliopettaja, Lahden ammattikorkeakoulu, tekniikan ala, materiaalitekniikan koulutusohjelma, muovitekniikka

*Kaikkonen Olli*, koulutusvastaava, Lahden ammattikorkeakoulu, tekniikan ala

*Korteniemi Juhon*, neuvotteleva virkamies, Cleantechin strateginen ohjelma, työ- ja elinkeinoministeriö

*Kostia Silja*, koulutuspäällikkö, Lahden ammattikorkeakoulu, tekniikan ja muotoilun ala

*Lahtinen Teijo*, lehtori, Lahden ammattikorkeakoulu, tekniikan ala, kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, mekatroniikka

*Malinen Essi*, koulutussuunnittelija, Lahden ammattikorkeakoulu, tekniikan ala, ympäristötekniikan koulutusohjelma

*Matilainen Marianne*, lehtori, Lahden ammattikorkeakoulu, tekniikan ala, tietotekniikan koulutusohjelma, tietoliikennetekniikka. Artikkelit kirjoitettu yhdessä tietotekniikan opiskelijoiden kanssa.

*Mäkelä Irma*, projektipäällikkö, Lahden ammattikorkeakoulu, tekniikan ala

*Welin Matti*, yliopettaja, Lahden ammattikorkeakoulu, tekniikan ala, tietotekniikan koulutusohjelma, ohjelmistotekniikka

Irma Mäkelä

## TIIVISTELMÄ

Cleantech-insinöörit -projekti on Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan alan hallinnoima ja Hämeen ELY-keskuksen osarahoittama Euroopan Sosiaalirahaston hanke, jonka tavoitteena on parantaa Päijät-Hämeen cleantech-osaamista sekä insinöörikoulutuksen työelämävastaavuutta. Projektin tavoitteena on tuottaa uudenlainen koulutuksen toimintamalli, joka luo aitoja edellytyksiä cleantech-innovaatioiden syntymiselle sekä uusille tuotteille ja palveluille ympäristöliiketoiminnan alueella. Uuden yhteistyö- ja toimintamallin kehittäminen tekniikan alan koulutukseen perustuu yhteistyöhön yrityselämän ja muiden toimijoiden kanssa. Yhteistyötä on toteutettu erilaisissa opiskelija- ja T&K-projekteissa, opinnäytetöissä, koulutuksissa, työpaikoissa, seminaareissa, opintomatkoilla ja benchmarkkaamalla erilaisia käytäntöjä koti- ja ulkomailla. Uusi yhteistyö- ja toimintamalli käsittää lisäksi CDIO-/PBL-pedagogiikkaan (CDIO = Conceive – Design – Implement – Operate- / PBL = Problem Based Learning) perustuvan oppimismallin tuomisen tekniikan alan koulutukseen perinteisten insinööritietojen ja -taitojen ohella sekä cleantech-osaamisen sisällyttämisen opintosuunnitelmiin. Myös työelämältä saadut tiedot työelämäosaamisen osaamis- ja muista tarpeista sisällytetään opintosuunnitelmiin.

Lahden ammattikorkeakoulu haluaa osaltaan sekä kehittää insinöörikoulutusta vastaamaan alueen cleantech-yritysten osaamistarpeita että osallistua alueen yritysten tuotteiden, palvelujen ja prosessien kehittämiseen. Cleantech-insinöörit -projektin tarkoituksena on tunnistaa puhtaan teknologian suunnittelemisessa ja hyödyntämisessä tarvittavia tietoja ja taitoja ja integroida ne insinöörien koulutukseen. Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan alalla on viisi koulutusohjelmaa, joista jokaisen cleantech-tarpeita on projektissa tarkasteltu. Lisäksi projektissa selvitettiin olemassa olevan tiedon avulla cleantech-sektorin tarpeita. Cleantech-osaamisen koulutustarvekartoitus tehtiin syksyllä 2011, josta tarkempi koulutussuunnitelma cleantech-osaamisen parantamiseksi Päijät-Hämeessä valmistui joulukuussa 2011. Kartoituksen ja yritysten haastattelujen pohjalta projektissa toteutettiin cleantech-osaamisen parantamiseksi koulutuksia vuosina 2012–2013. Koulutukset pureutuivat ajankohtaisiin teemoihin, kuten vihreään ICT:hen, energia- ja materiaalitehokkuuteen, kestäviin hankintoihin sekä ajankohtaisiin lainsäädännön vaatimuksiin.

Tässä artikkelikokoelmassa kerrotaan Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan alan koulutusohjelmien toimenpiteistä, joilla alueen ja insinöörikoulutuksen cleantech-osaamista ja työelämävastaavuutta on parannettu. Raportin suomenkielisessä osassa on tarkasteltu cleantech-liiketoiminnan globaaleja markkinoita ja tulevaisuuden näkymiä sekä Suomen ja Lahden seudun cleantech-osaamista ja osaamistarpeita. Materiaalitekniikan koulutusohjelman artikkeleissa on käsitelty opintosuunnitelman muutostyötä, joka käsittää myös cleantech-näkökulman ja CDIO- / PBL-pedagogiikan sisällyttämisen opintosuunnitelmaan. Mekatroniikan koulutusohjelman artikkelissa on käsitelty CDIO- / PBL-pedagogiikan lähestymistapaa ja toteutumista kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmassa. Raportin englanninkielinen osuus käsittelee ympäristöteknologian koulutusohjelman opintosuunnitelman muutosta, joka sisältää myös englanninkielisen ylemmän ammattikorkeakoulututkimuksen. Lisäksi englanninkieliset artikkelit käsittelevät tietotekniikan koulutusohjelman cleantech-näkökulmaa Green ICT -moduuleissa.

**Avainsanat:** cleantech, cleantech-osaaminen, Green ICT, CDIO, PBL, insinöörikoulutus



Silja Kostia & Irma Mäkelä

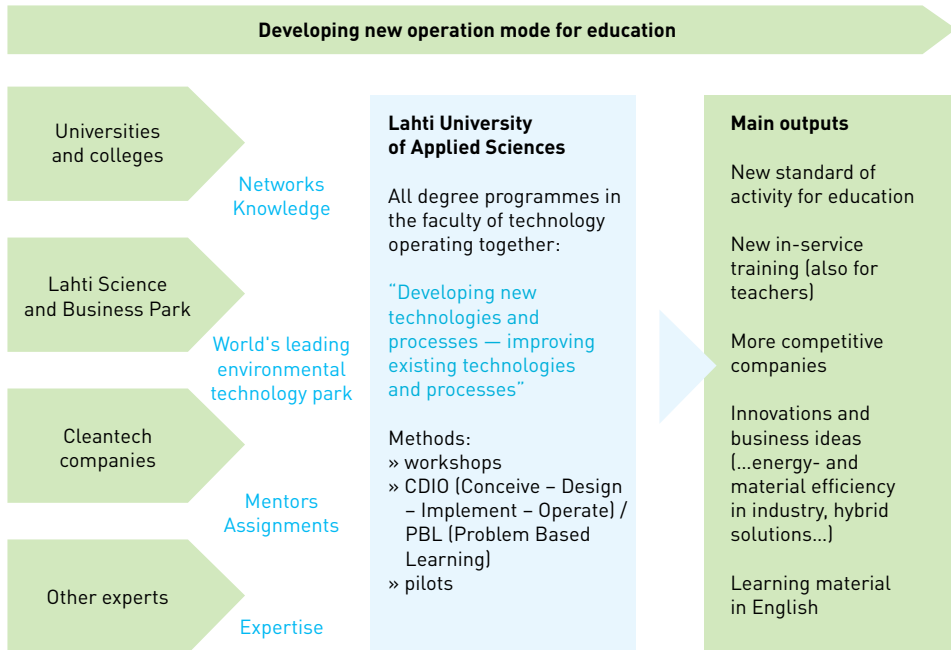
## CLEANTECH-INSINÖÖRIT -PROJEKTIN LÄHTÖKOHTA JA TAVOITTEET

Globaaleihin haasteisiin eli ilmastonmuutokseen, kaupungistumiseen ja luonnonvarojen ehtymiseen vastaaminen vaatii uudenlaisia toimintatapoja, tehokkaampaa luonnonvarojen hyödyntämistä ja energiatehokkuuden lisäämistä. Cleantech (puhtaat teknologiat) tarkoittaa kaikkia tuotteita, palveluja, prosesseja ja järjestelmiä, joiden käytöstä on vähemmän haittaa ympäristölle kuin niiden vaihtoehdoista. Puhtaat teknologiat tuovat käyttäjälle lisäarvoa ja samalla vähentävät haitallisia ympäristövaikutuksia joko suoraan tai arvoketjun kautta.

Cleantech-yrityksistä toivotaan Suomen vientivetureita ulos Euroopan talouskurimuksesta. Tavoitteena on nostaa alan liikevaihto 20 miljardista eurosta 50 miljardiin euroon vuoteen 2020 mennessä. Puhdistavasta teknologiasta on siirrytty prosessien ja resurssien käytön tehokkuuden kautta cleantechin ”kolmanteen aaltoon”, jossa säästäviä toimintatapoja sovelletaan läpileikkäavasti koko yhteiskuntaan. Jotta suomalaiset yritykset pärjäävät, tarvitaan käyttäjien tarpeiden tunnistamista kansainvälisillä markkinoilla sekä kohdemarkkinoille sopivaa liiketoimintamallia, pelkkä tehokas tuotekehitys ei enää riitä. (Harjula 2013.)

Lahti on profiloitunut cleantech-osaamiseen ja on merkittävä ympäristöalan tutkimuksen, koulutuksen ja yritystoiminnan keskittymä. Lahden Seudun Kehitys Oy (LADEC), entinen Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy (LTYYP) koordinoi Suomen kansallista Cleantech-klusteria, johon kuuluvat Lahden lisäksi Kuopion, Oulun ja Uudenmaan osaamiskeskukset. Lahti Cleantech Parkissa toimivat myös monet yritykset sekä Helsingin yliopisto, Aalto-yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto ja Lahden ammattikorkeakoulu, jotka yhdessä muodostavat cleantech-alan asiantuntijaverkoston. Cleantech-osaaminen on Lahden seudulla keskittynyt uusiutuvaan energiaan, jäte- ja kierrätysteknologiaan, veteen ja pilaantuneiden maaperien puhdistukseen sekä näiden alueiden suunnitteluun ja konsultointiin. (Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy 2013a.)

Lahden ammattikorkeakoulu halusi osaltaan sekä kehittää tekniikan alan koulutusta vastaamaan alueen cleantech-yritysten osaamistarpeita että osallistua alueen yritysten tuotteiden, palvelujen ja prosessien kehittämiseen. Tästä sai alkunsa Cleantech-insinöörit -projekti keväällä 2010. Projektin tarkoituksena oli tunnistaa puhtaan teknologian suunnittelemisessa ja hyödyntämisessä tarvittavia tietoja ja taitoja ja integroida ne insinöörien koulutukseen. Käytännönläheinen, yritysten tarpeista lähtevä tuotekehitys ja innovaatioiden tekeminen vaativat tuekseen uudentyypisen koulutuksen toimintamallin, joka luo edellytyksiä innovaatioiden syntymiselle ja niiden jatkojalostamiselle uusiksi palveluiksi, tuotteiksi ja ympäristöliiketoiminnaksi (kuva 1). Cleantech-insinöörit -projekti alkoi keväällä 2010 ja päättyi kesällä 2013. Sitä rahoittivat Euroopan sosiaalirahasto, Hämeen ELY- keskus, Lahden ammattikorkeakoulu ja yritykset. (Lahden ammattikorkeakoulu 2013.)



**Kuva 1.** Kaaviokuva Cleantech-insinöörit -projektista.

Cleantech-insinöörit -projektissa järjestettiin yhdessä yritysten kanssa erilaisia tapahtumia, seminaareja ja työpajoja, joiden tarkoituksena oli sekä kertoa omasta osaamisesta että kerätä ideoita ja aihioita koulutuksen kehittämiseen ja opiskelijaprojekteihin. Projektissa kartoitettiin koulutustarpeita ja toteutettiin lisä- ja täydennyskoulutuksia yritysten henkilöstölle ja opetushenkilöstölle. Projektin järjestämiin koulutuksiin, seminaareihin, työpajoihin ja muihin tapahtumiin on osallistunut tähän mennessä noin 540 osallistujaa. Liitteessä 1 on esitetty projektin koulutuksiin, seminaareihin, työpajoihin ja muihin toimenpiteisiin osallistuneet yritykset ja muut toimijat. Seminaarien ja koulutusten asiantuntijat, joita on tähän mennessä ollut 60, on esitetty liitteessä 2. Koulutusten, seminaarien, työpajojen ja muiden tapahtumien osallistujamäärät sekä niihin osallistuneiden yritysten ja muiden organisaatioiden määrät on esitetty liitteessä 3.

Hankerahoitus mahdollisti myös osallistumisen erilaisiin opintomatkoihin, seminaareihin ja konferensseihin kotimaassa ja ulkomailla sekä vierailut kansainvälisiin partnerikouluihin (Lahden ammattikorkeakoulu 2013).

### Osaamistarpeiden tunnistaminen insinöörikoulutuksessa

Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan alalta valmistuu insinöörejä ympäristötekniikan, tieto- ja mediatekniikan, mekatroniikan ja materiaalitekniikan koulutusohjelmista. Projektin aluksi toukokuussa 2010 määriteltiin cleantech jokaisen koulutusohjelman osalta työpajassa,

johon osallistui tekniikan alan opettajia ja projektipäälliköitä. Energian kulutus ja energia- ja materiaalitehokkuus nousivat odotetusti yhteisiksi teemoiksi, samoin logistiikka, elinkaariasiat ja suljetun kierron periaate. Tietotekniikassa tunnistettiin mahdollisuus suunnittelulla vaikuttaa energian kulutukseen kun sähkö on päällä vain silloin kun palvelua käytetään. Välillisesti ICT:n avulla voidaan estää turhaa liikkumista esimerkiksi käyttämällä videoneuvottelutyökaluja ja toisaalta vaikuttaa kuluttajien käyttäytymiseen tarjoamalla helppokäyttöisiä työkaluja esimerkiksi veden ja energiankulutuksen seuraamiseen. Materiaalitekniikassa nostettiin esiin ”Best Available Technology” -periaate sekä muun muassa testausmahdollisuudet, laadunhallinta ja mahdollisuus käyttää bioteknologiaan perustuvia ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja. Mekatroniikkaryhmä listasi yhteisten teemojen lisäksi cleantech-fokuksiksi muun muassa jälkimarkkinoinnin ja käyttötottumuksen muuttamisen koulutuksella. Ympäristöteknologiassa esiin nousi energian tuotantoon liittyvät ympäristökäsitteet, hiilijalanjälkiasiat ja neuvontatyö. (Kostia, Malinen & Matilainen 2011, 24–27.)

### **Cleantech-aiheisia opinnäytetöitä ja opiskelijaprojekteja**

Hyvä pohja Cleantech-insinöörit -projektille oli toimivat yritys-suhteet tekniikan alan opettajien ja alueen yritysten välillä, sillä kehittäminen perustuu yhteistyöhön yritys-elämän ja muiden sidosryhmien kanssa. Lahden ammattikorkeakoulu on valinnut pedagogiseksi strategiaksi integroivan pedagogiikan, jossa tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminta (TKI) ja opetus yhdistyvät. Tämä tarkoittaa projektimuotoista oppimista, mikä tekniikassa tarkoittaa esimerkiksi PBL (Problem Based Learning) -oppimista. Lahden ammattikorkeakoulu on kuullut vuodesta 2010 CDIO (Conceive–Design–Implement–Operate) -verkostoon, jonka tavoitteena on niin ikään edistää insinöörien oppimista yritysprojektien ja oikeiden asiakastoimeksiantojen avulla. Opinnäytetyöt ja projektityöt ovat sekä tärkeä osa tekniikan alan TKI-työtä että mahdollisuus kehittää ja pitää ajan tasalla opintosuunnitelmaa. Opinnäytetöiden aiheet kertovat siitä, millaisia asioita yrityksissä halutaan kehittää ja millaisia tietoja ja taitoja tarvitaan.

Tekniikan alalla valmistuu noin 150–170 opinnäytetyötä vuodessa. Lähes kaikki niistä tehdään hankkeistettuna, mikä tarkoittaa toimeksiantoa joko yritykseltä, yhteisöltä tai ulkoisesti rahoitettua projektilta. Projektin aikana kartoitettiin kuinka monta valmistuneista ja tekeillä olevista töistä oli cleantech-aiheisia. Syksystä 2010 loppuvuoteen 2012 mennessä tekniikan alan eri koulutusohjelmissa on valmistunut tai ollut työn alla noin 100 cleantech-aiheista opinnäytetyötä. Materiaalitekniikan opinnäytetyöt ovat liittyneet esimerkiksi vaatteiden ja tekstiilien elinkaariarviointeihin, kierrätettävyyteen tai ympäristövaikutuksiin, muovijätteiden ja -pullojen kierrätykseen tai uusiokäyttöön sekä puuteollisuuden prosessien kehittämiseen, puujätteen ja hukkan määrän optimointiin tai ympäristöystävälliseen tuotantoon. Kone- ja tuotantotekniikassa on puolestaan paneuduttu esimerkiksi tuotantoprosessien materiaali- ja energiatehokkuuden parantamiseen. Tietotekniikan koulutusohjelman opinnäytetyöt ovat esimerkiksi kehittäneet yritysten etähallintajärjestelmiä vähentäen tarvittavaa matkustamista asennuksia varten, parantaneet tekniikan alan tietotekniikan opiskelijoiden mahdollisuutta tehdä laboratorioharjoituksia kotoa käsin VPN-yhdyskäytävän avulla tai vähentäneet yritysten palvelinjärjestelmien sähkönkulutusta virtualisointijärjestelmillä. Ympäristöteknologian koulutusohjelmassa opinnäytetöitä on tehty laajalla rintamalla seuraavilla osa-alueilla: energia- ja energiatehokkuus (4 kpl), ilman-suojelu ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen (5 kpl), jätehuolto ja materiaalikierrot (14

kpl), jäteveden käsittely ja vesihuolto (12 kpl), ympäristöjohtaminen (10 kpl) sekä ympäristötutkimus- ja kunnostus (7 kpl).

Cleantech-aiheisia opiskelijaprojekteja tehtiin useita, joista muutamana esimerkkinä mekatroaniikan koulutusohjelman Oilon Home Oy:n opiskelijaprojekti: ”Maalämpöpumppujen automaattisen lopputestausjärjestelmän suunnittelu ja toteutus” (Kostia et al. 2011, 24–27) sekä Uusiutuvan energian tutkimuskeskus Energonin lämpöpumppulaboration ohjaustekniikan ja tiedonkeruun uusiminen. Projektin aikana toteutettiin kaksi ”sohvaprojektia” liittyen materiaaalitehokkuuteen ja kierrätettävyyteen, joista toinen tekstiili- ja vaatetustekniikan ja ympäristöteknologian opiskelijoiden (Kujala 2011) ja toinen materiaaalitekniikan opiskelijoiden toteuttama (Heikinheimo, Järvelä & Tarvainen 2012, 51–54). Lisäksi materiaaalitekniikan koulutusohjelma oli mukana Suomi–Vietnam-seuran T&K-projektissa, jossa tuotteita valmistettiin kierrätysmateriaaleista Vietnamin ja T&K-projektiin liittyvää ”Muovipullosta paidaksi” selvitystä.

### Koulutustarvekartoitus ja koulutukset

Cleantech-osaamisen koulutustarvekartoitus tehtiin syksyllä 2011 (Malinen, Mäkelä, Kostia & Saikkonen 2008), ja koulutussuunnitelma cleantech-osaamisen parantamiseksi Päijät-Hämeessä valmistui joulukuussa 2011. Kartoituksen ensimmäisessä vaiheessa lähtötietoina käytettiin asiantuntijahaastatteluja, yrityskyselyä, kirjallisuuskatsausta ja Bionova Oy:n asiantuntemusta. Haastatteluun vastasi kahdeksan päijäthämäläistä ympäristöalan yritystä. Asiantuntijahaastatteluun vastasi Tietoliikenteen ja tietotekniikan keskusliitto FiCom ry ja Teknologiateollisuusliitto ry. Koulutussuunnitelmaa varten haastateltiin lisäksi kuutta metallialan yritystä Lahden seudulta. Kartoituksen ja näiden haastattelujen pohjalta projektissa toteutettiin cleantech-osaamisen parantamiseksi koulutuksia vuosina 2012–2013 (Lahden ammattikorkeakoulu 2013). Koulutusten teemoina olivat:

- Vihreä ICT -teemapäivä kaksiosaisena: Green ICT Roadmap -workshop ja verkkokokouksilla kustannustehokkuutta seminaari (13.3.12 Fellmanniassa)
- Lämpöpumppujen hyödyntäminen teollisuudessa -koulutus (10.5.12 Energonissa)
- Energiatehokas alueidenkäyttö ja kaavoitus -koulutus (24.5.12 Fellmanniassa)
- Parempaa tulosta rakennusteollisuudessa koulutus (18.10.12 LAMK:n tekniikan alan auditoriossa)
- ”Kestävät hankinnat” -koulutus (20.11.12 Hiihtomuseolla)
- Uudistuva ympäristölainsäädäntö -koulutus (12.3.13 LAMK:n tekniikan alan auditoriossa)

Koulutusten, seminaarien ja työpajojen asiantuntijat sekä osallistuneet yritykset ja muut organisaatiot sekä niiden osallistujamäärät on esitetty liitteissä 2–3. Koulutuksiin osallistuneet ovat pitäneet koulutuksia ajankohtaisina, hyödyllisinä ja hyvinä, ja palaute niistä on ollut positiivista. Asiantuntijat ovat pääosin saaneet arvosanoja 4 molemmin puolin (asteikko 1–5, 5 = erinomainen). Myös koulutusten pitopaikoista ja järjestelyistä on saatu hyvää palautetta.

## Green ICT

Yksi Cleantech-insinöörit -projektin aikana eteenpäin viedyistä teemoista oli Green ICT. Teemasta järjestettiin kaksi seminaaria ja kaksi työpajaa. Vihreän ICT:n seminaareja, kuten muitakin cleantech-osaamisen koulutuksia oli mahdollisuus seurata myös Acrobat Adobe Connect Pro:n (ACP) välityksellä. Toukokuussa 2011 järjestettiin ensimmäinen vihreän ICT:n seminaari, jossa aiheina olivat muun muassa mahdollisimman vähän energiaa kuluttavat palvelinkeskkukset, ekotehokas tietoyhteiskunta, ja vihreämmät kokoukset (kuva 2). Seminaariin osallistui 70 nuoris- ja aikuisopiskelijaa tietotekniikan ja mediatekniikan koulutusohjelmista, puhujia ja yritysten edustajia oli 14 ja LAMKin omaa henkilökuntaa 17. Palaute seminaariin osallistuneilta oli erittäin positiivinen. (Kostia et al. 2011, 24–27.)



KUVA: JANI HEIN

**Kuva 2.** Vihreän ICT:n seminaari kokosi yli 100 kuulijaa Sibeliustaloon keväällä 2011.

Maaliskuun 2012 Vihreä ICT -teemapäivä toteutettiin kaksiosaisena. Green ICT Roadmap-workshopin teemoja olivat muun muassa kestävätkä hankinnat, jätteiden / osien kierrätettävyyden, energiatehokkuuden lisääminen ja älykkäät ja innovatiiviset ratkaisut. Workshopissa etsittiin vastauksia päivän teemoihin seuraavien kysymysten avulla: keitä tarvitaan, mitä tavoitellaan, millä käytännön toimenpiteillä asetettuihin tavoitteisiin päästään, miten ja kenelle ko. workshopin tuloksista tulisi tiedottaa. Seminaarin aiheena oli verkkokokouksilla kustannustehokkuuden lisääminen verkkokokousten avulla. Osallistujia workshopissa oli 33 ja seminaarissa 79. (Lahden ammattikorkeakoulu 2013.)

Helmikuussa 2013 järjestettiin yhdessä FUAS-korkeakoulujen (HAMK, LAMK, Laurea) kanssa toinen Green ICT-workshop, jonka tarkoituksena oli tunnistaa ideoita ja jalostaa niitä yhdessä eteenpäin vietäviksi TKI-hakemuksiksi tai innovatiivisiksi koulutusideoiksi. Workshopiin osallistui 12 alan asiantuntijaa ja projektihenkilöä. Workshopissa käsiteltiin mm. ICT-jätteitä, myrkkäjä ja kierrätystä, resurssitehokkaita datakeskuksia, älykkäitä sähköverkkoja, sovelluksia ja verkkoratkaisuja sekä parhaiden käytäntöjen viemistä muille aloille. Workshopin tuloksena vähintäänkin yhtä tietotekniikan ja ympäristötekniikan koulutusohjelmien yhteiskurssia tai koulutuspakettia liittyen jätteiden kierrätykseen ja/tai energiatehokkuuteen lähdetään viemään eteenpäin yhteistyössä FUAS-ammattikorkeakoulujen kanssa.

## **Viestintää ja tiedonvaihtoa kansallisesti ja kansainvälisesti**

Cleantech käsitteenä ja toimintana on vielä uusi sekä Suomessa että maailmalla ja projektin tarkoitus olikin sekä viestiä tehokkaasti omasta toiminnasta että etsiä vaikutteita muualta. Ammattikorkeakoulujen tekniikan alojen harjoittelusinoörien ja opinto-ohjaajien syyspäivien yhteydessä Cleantech-insinöörit -projekti järjesti tapahtumaan osallistuville ”Cleantech-päivän”, jonka aikana esiteltiin Lahden puhtaan teknologian osaamista (Lahden ammattikorkeakoulu 2013). Päivän aluksi tutustuttiin syksyllä 2011 avattuun uuden ajan oppimiskeskus Fellmanniaan, joka mahdollistaa monipuolisen opetustekniikan käytön ja jonka suunnittelussa on pyritty oppimista tukeviin tilaratkaisuihin (Fellmannia 2013). Oppimiskeskuksesta Cleantech-päivän osallistujat kuljetettiin keväällä 2010 valmistuneeseen uusiutuvan energian tutkimuskeskukseen Energiiniin, jossa on mahdollista tehdä uusiutuvan energian ja energiatehokkuuden tutkimusta sekä pilotoida uutta teknologiaa (Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy 2013b). Oilon Oy:n Veijo Sääksjärvi esitteli tutkimuskeskuksen toimintaa ja tiloja laitteineen, joihin sisältyivät muun muassa katolla sijaitsevat aurinkokeräimet ja lämpöpumppulaboratorio (kuva 3). Cleantech-päivän yritysvierailukohteina olivat kaarihitsauslaittevalmistaja Kemppe Oy sekä ALLU Finland Oy, joka suunnittelee, valmistaa ja markkinoi tuotteita ympäristönhoitoon, kierrätysmenetelmien tehostamiseen ja materiaalien käsittelyyn. Vierailujen aikana osallistujille esiteltiin yritysten toimintaa, tuotteita ja tiloja sekä opiskelijoiden ja valmistuneiden mahdollisuuksista työllistyä yrityksissä. Kemppe Oy, Oilon Oy ja Energon olivat edustettuina Cleantech-insinöörit -projektin ohjausryhmässä (liite 4).



KUVA: ESSI MALINEN

**Kuva 3.** Tekniikan alan harjoitteluinsinöörit ja opinto-ohjaajat tutustumassa Energonin katolla oleviin aurinkokeräimiin Veijo Sääksjärven opastamana.

Energy Tour -Kestävän energian kierros Päijät-Hämeessä toteutuksessa olivat mukana myös Lahden ammattikorkeakoulun PEA- (Public Energy Alternatives) ja EcoMill ympäristötehokkuuspaja -projektit. Energy Tourilla tutustuttiin energiatehokkuuteen ja uusiutuvan energian käyttökohteisiin Lahdessa, Nastolassa ja Asikkalassa. Kierrokselle osallistui 52 henkilöä, tapahtumaa pidettiin hyvänä ja hyödyllisenä (Mantere 2012). Lisäksi projektilla oli oma ständi ympäristötekniikan messuilla Helsingissä syksyllä 2010 ja CleantechExpo-tapahtumassa Lahden Messukeskuksessa syksyllä 2011. Projekti osallistui myös T&K-treffeille Lahden Messukeskuksessa syksyllä 2012. (Lahden ammattikorkeakoulu 2013.)

Cleantech-insinöörit -projektin aikana tehtiin messu- ja tutustumismatkoja sekä seminaarimatkoja jotka rahoitettiin joko kokonaan tai osittain projektista (Lahden ammattikorkeakoulu 2013). Näistä esimerkkeinä CDIO-konferenssimatkat Kööpenhaminaan 2011 (Kostia, Hurskainen & Mäkelä 2011) ja Linnaeus EcoTech 2012 -konferenssiin (Linnaeus University 2012), joka järjestettiin Ruotsin Kalmarissa syksyllä 2012. Molemmissa konferensseissa esiteltiin projektia (kuva 4). Messumatkoista mainittakoon esimerkiksi tietotekniikan koulutusohjelman Green ICT:n Eletronica 2010 -messumatka Muncheniin syksyllä 2010 ja materiaalitekniikan koulutusohjelman messumatka TechTextil-messuille Frankfurtiin sekä vierailu Reutlingen University of Applied Science -korkeakouluun keväällä 2011 (Lahden ammattikorkeakoulu 2013).



KUVA: SILJA KOSTIA

**Kuva 4.** Olli Kaikkonen ja Teijo Lahtinen esittelemässä kesällä 2011 Kööpenhaminassa CDIO-konferenssissa mekatroniikan koulutusohjelman opiskelijaprojekteja.

Kalifornia on yksi maailman johtavia cleantech-kehittäjiä ja projektin osittaisrahoitus mahdollisti tutustumisen Los Angelesin, San Franciscon ja San Diegon cleantech-koulutukseen, -tutkimukseen ja -liiketoimintaan keväällä ja kesällä 2011. (Veijalainen 2011, 13; Kostia et al. 2011, 24)

Tekniikan kansainvälisessä koulutuksessa hyödynnettiin ACP:ta, esimerkiksi materiaalitekniikan 3D-mallinnuksen webinaarissa helmikuussa 2012 Fellmanniassa, jolloin oltiin yhteydessä amerikkalaiseen OptiTex LTD -yritykseen sekä maaliskuussa 2012 International Intensive Week Belgian Leuvenin yhteydessä, jolloin järjestettiin belgialaisten ja suomalaisten tietotekniikan opiskelijoiden kesken Green ICT -workshop.

### Projektin jälkeekin haasteet jatkuvat

Lahden ammattikorkeakoulu on valinnut omissa strategiassaan ympäristön yhdeksi kolmesta painoalasta ja on sitoutunut omalta osaltaan vahvistamaan sen asemaa ammattikorkeakoulussa. Strategian aktiivinen implementointi on alkanut vuoden 2013 alussa. FUAS-liittouma, jonka LAMK muodostaa yhdessä Laurea ja Hämeen ammattikorkeakoulujen kanssa on puolestaan nimenmynyt yhdeksi painoalaksi ympäristön ja energiatehokkuuden, ja LAMK on vetovastuussa sen kehittämisestä ja vahvistamisesta.



Ammattikorkeakoulukentässä on meneillään sekä koulutusvastuu-uudistus että rahoitusperusteiden uudistaminen. Jokainen ammattikorkeakoulu joutuu hakemaan omaa toimilupaansa. Uudistuksen tavoitteena on varmistaa, että ammattikorkeakoulut ovat tulevaisuudessa kansainvälisesti arvostettuja, itsenäisiä ja vastuullisia osaajien kouluttajia, alueellisen kilpailukyvyyn rakentajia, työelämän uudistajia ja innovaatioiden kehittäjiä. Tässä kilpailussa vetovoimaisuus sekä toiminnan laatu ja tehokkuus ovat avainasemassa. Ympäristö ja puhtaat teknologiat (materiaali- ja energiätehokkuus) tulevat olemaan merkittävässä osassa pääaineiden kehittämisessä ja Lahden insinöörikoulutuksen profiloitumisessa sekä kansallisesti että kansainvälisesti.

Haasteita riittää siis tulevaisuudessakin, mutta Cleantech-insinöörit -projektissa toteutetuilla toimenpiteillä on jo päästy hyvään alkuun Lahden insinöörikoulutuksessa. Jo tehtyjen muutosten ja toiminnan kehittämisen yhteydessä on ollut hyvä tarkastella myös cleantech-näkökulmaa. Puutekniikasta, muovitekniikasta ja tekstiili- ja vaateustekniikasta on muodostettu materiaalitekniikan koulutusohjelma. Vihreä tietotekniikka – Green ICT on valittu tietotekniikan koulutusohjelman fokukseksi. Ympäristötekniikan koulutusohjelman opintosuunnitelma on uudistettu osaamisperustaiseksi uusina pääaineina yhdyskuntasuunnittelu, ympäristönsuojelutekniikka ja energia-asiat. Syksyllä 2012 LAMK:ssa käynnistyi myös ensimmäistä kertaa ylemmän ammattikorkeakoulututkintoon johtava koulutus. ”Sustainable urban planning and climate change” -masterohjelma, jossa opetusta järjestetään yhdessä kahden kansainvälisen partnerikoulun kanssa. Tässä julkaisussa projektin toteutukseen osallistuneet kertovat toimenpiteistä, joita on tehty insinöörikoulutuksen cleantech-osaamisen ja työelämävastaavuuden parantamiseksi. Lahden ammattikorkeakoulussa insinöörikoulutuksen uudistaminen on siis hyvässä vauhdissa.

## Lähteet

CDIO conference. 2011. CDIO conference 2011 [viitattu 7.3.2013].

Saatavissa: <http://www.cdio2011.dtu.dk/>

Harjula, N. 2013. Cleantechin kolmas aalto. Etelä-Suomen Sanomat 4.3.2013.

Heikinheimo, L., Järvelä, P. & Tarvainen, I. 2012. Materiaalitekniikan sohvaprojekti [viitattu 7.3.2013]. Saatavissa: [http://www.insinooritsatavuotta.fi/site/wp-content/uploads/Foorumi2012\\_artikkelikirja\\_2409.pdf](http://www.insinooritsatavuotta.fi/site/wp-content/uploads/Foorumi2012_artikkelikirja_2409.pdf)

Insinöörikoulutuksen foorumi. 2012. Insinöörikoulutusta 100 vuotta [viitattu 7.3.2013].

Saatavissa: <http://www.insinooritsatavuotta.fi/site/foorumi-2012/>

Kostia, S., Hurskainen, L. & Mäkelä, I. 2011. Curriculum development for clean technology [viitattu 7.3.2013]. Saatavissa: [http://www.cdio2011.dtu.dk/Papers\\_and\\_talks/Titles.aspx](http://www.cdio2011.dtu.dk/Papers_and_talks/Titles.aspx)

Kostia, S., Malinen, E. & Matilainen, M. 2011. Cleantech-osaamista ja osaamistarpeita Lahdessa ja maailmalla. Tekniikan ammattikorkeakouluopettajien järjestölehti, Toolilainen 4/2011, 24-27. [viitattu 7.3.2013]. Saatavissa: [http://www.tool.fi/pls/portal/docs/PAGE/OAO\\_JASENJARJESTOT/OAO/TOOL/03LEHTI/TOOL\\_4\\_11.INDD\\_0.PDF](http://www.tool.fi/pls/portal/docs/PAGE/OAO_JASENJARJESTOT/OAO/TOOL/03LEHTI/TOOL_4_11.INDD_0.PDF)

- Kujala, H. 2012. Sohvatehtaan ylpeys. Pirkka 3/2011, 22-23. [viitattu 7.3.2013].  
Saatavissa: <http://www.digipaper.fi/pirkka/59819/index.php?pgnumb=20>
- Lahden ammattikorkeakoulu. 2013. Cleantech-insinöörit -projekti [viitattu 7.3.2013].  
Saatavissa: <http://www.lamk.fi/cleantech/Sivut/default.aspx>
- Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy. 2013a. [viitattu 7.3.2013]. Saatavissa: <http://www.lahtisbp.fi>
- Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy. 2013b. Tutkimuskeskus Energon [viitattu 7.3.2013].  
Saatavissa: <http://www.lahtisbp.fi/index.php?mid=1001>
- Linnaeus University. 2012. EcoTech-2012 conference [viitattu 7.3.2013]. Saatavissa: <http://lnu.se/schools/school-of-natural-sciences-/conferences/linnaeus-eco-tech-2012?l=en>
- Malinen, E., Mäkelä, I., Kostia, S. & Saikkonen, S. 2008. Ympäristöalan osaamistarpeet Päijät-Hämeessä. Lahden ammattikorkeakoulun julkaisu, Sarja C Artikkelikokoelmat, raportit ja muut ajankohtaiset julkaisut, osa 38. Tampere: Juvenes Print.
- Mantere, H. 2012. Kestävä energia kiinnostaa kuluttajia. Etelä-Suomen Sanomat 20.6.2012.
- Veijalainen, T. 2011. Opinto-ohjausta ja motivointia Kalifornian tapaan. Tekniikan ammattikorkeakouluopettajien järjestölehti, Toolilainen 4/2011, 13-15. [viitattu 7.3.2013]. Saatavissa: [http://www.tool.fi/pls/portal/docs/PAGE/OAO\\_JASENJARJESTOT/OAO/TOOL/03LEHTI/TOOL\\_4\\_11.INDD\\_0.PDF](http://www.tool.fi/pls/portal/docs/PAGE/OAO_JASENJARJESTOT/OAO/TOOL/03LEHTI/TOOL_4_11.INDD_0.PDF)

Teijo Lahtinen & Olli Kaikkonen

## CLEANTECHIÄ INSINÖÖRIKOULUTUKSEEN

### Tiivistelmä

Artikkelissa selvitetään Cleantech-insinöörit -projektin yhteydessä kehitettyä uutta insinöörikoulutuksen yhteistyö- ja toimintamallia ja sen kehitystyötä. Cleantech-insinöörit -projektin tavoitteena on tuottaa uudenlainen koulutuksen toimintamalli, joka luo aitoja edellytyksiä cleantech-innovaatioiden syntymiselle sekä uusille tuotteille ja palveluille ympäristöliiketoiminnan alueella. Uuden yhteistyö- ja toimintamallin kehittäminen tekniikan alan koulutukseen perustuu yhteistyöhön yrityselämän ja muiden toimijoiden kanssa. Myös työelämästä saadut tiedot työelämäosaamisen osaamis- ja muista tarpeista sisällytetään opintosuunnitelmiin.

Toimintamallin kehittämiseksi LAMK:n tekniikan alalla pedagogiseksi strategiaksi valittiin CDIO-viitekehys (Conceive – Design – Implement – Operate = ”määrittellä – suunnitella – toteuttaa – ylläpitää”). CDIO-viitekehys on lähes sadan korkeakoulun maailmanlaajuinen tekniikan korkeakoulutuksen kehittämisen verkosto (mm. MIT, Harvard, Ecole Polytechnique Montreal, Karlsruhen tekninen yliopisto, Chalmers, KHT). Verkosto tarjoaa hedelmällisen vertaisareenan koulutuksen ammattilaisten vuoropuhelulle ja hyvien käytäntöjen jakamiselle globaalilla tasolla.

Käytännön toteutustyökaluiksi valittiin projekti- ja ongelmalähtöinen oppiminen, joita soveltamalla LAMK:n kone- ja tuotantotekniikan mekatroniikan opetussuunnitelmat päivitettiin vastaamaan paremmin Päijät-Hämeen mekatroniikkaklusterin yrityksiltä kerättyihin osaamistarpeisiin. Tuleviin opetussuunnitelmiin sisällytetään mekatroniikan ja ympäristötekniikan yhteinen cleantech-opintokokonaisuus (15 op), joka mahdollistaa mekatroniikan opiskelijoiden erikoistumisen cleantechiin. Yritystoiminnan näkökulmasta cleantech voidaan nähdä osana koko organisaation toiminnan kehittämistä tarjouskyselyistä After Sales -toimintaan. Tämä näkökulma on lahtelaisissa mekatroniikan alan yrityksissä hyvin yleinen: cleantech on osa yrityksen normaalia toiminnan ja tuotteiden kehittämistä. Cleantech nähdään myös kilpailuvalttina, koska asiakkaat ovat entistä ympäristötietoisempia. Lainsäädäntö ja ympäristösertifikaatit määrittävät toiminnan minimivaatimukset.

Hyvällä suunnittelulla, joka kattaa sekä toiminnan ohjauksen (esimerkiksi tuotantotekniset ratkaisut) että perinteisen tuotesuunnittelun, voidaan parantaa materiaali- ja energiatehokkuutta. Tuotesuunnittelussa simuloinnilla voidaan korvata osittain prototyyppien valmistamista. Komponenttivalinnoilla (esimerkiksi energiatehokkaat sähkömoottorit ja -käytöt) tuotteen käytön aikaista energian kulutusta voidaan pienentää. Uusilla logistisilla (esimerkiksi automaattiset korkeavarastot) ja tietoteknisillä ratkaisuilla (esimerkiksi koneiden etähuolto) voidaan vähentää sekä tavaran että ihmisten liikkumista.

**Avainsanat:** cleantech, CDIO, PBL, insinöörikoulutus, mekatroniikka

## Johdanto

Cleantech-insinöörit -projektin tavoitteena on tuottaa uudenlainen koulutuksen toimintamalli, joka luo aitoja edellytyksiä cleantech-innovaatioiden syntymiselle sekä uusille tuotteille ja palveluille ympäristöliiketoiminnan alueella. Uuden yhteistyö- ja toimintamallin kehittäminen tekniikan alan koulutukseen perustuu yhteistyöhön yrityselämän ja muiden toimijoiden kanssa. Myös työelämältä saadut tiedot työelämäosaamisen osaamis- ja muista tarpeista sisällytetään opintosuunnitelmiin.

Uusissa opetussuunnitelmissa tullaan ottamaan huomioon Lahden alueen yleiset strategiset painopistealueet kuten cleantech. LAMK:n tekniikan alalla mekatronikka ja ympäristötekniikka suunnittelevat tuleviin opetussuunnitelmiin yhteistä 15 opintopisteen cleantech-opintokokonaisuutta.

Toimintamallin kehittämiseksi LAMK:n tekniikan alalla pedagogiseksi strategiaksi on valittu CDIO-viitekehys (Conceive – Design – Implement – Operate = ”määrittellä – suunnitella – toteuttaa – ylläpitää”). CDIO-viitekehys on lähes sadan korkeakoulun maailmanlaajuinen tekniikan korkeakoulutuksen kehittämisen verkosto (mm. MIT, Harvard, Ecole Polytechnique Montreal, Karlsruhen tekninen yliopisto, Chalmers, KHT). Verkosto tarjoaa hedelmällisen vertaisareenan koulutuksen ammattilaisten vuoropuhelulle ja hyvien käytäntöjen jakamiselle globaalilla tasolla.

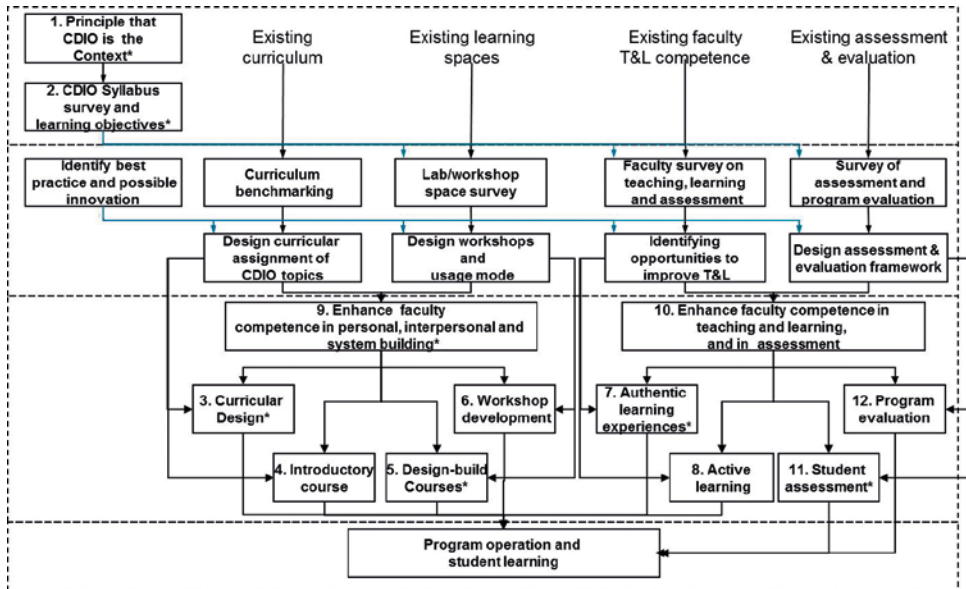
CDIO-viitekehys voidaan tiivistää kahteen dokumenttiin: CDIO-periaatteisiin (The 12 CDIO Standards) ja koulutuksen sisältöehdotukseen (CDIO Syllabus). CDIO-periaatteet tarjoaa systemaattisen mallin koulutusorganisaation (esimerkiksi LAMK:n tekniikan ala) toiminnan kehittämiseen. CDIO Syllabus listaa ehdotuksen insinöörikoulutuksen sisällöistä. Perinteisten insinööritietojen ja -taitojen lisäksi CDIO korostaa ongelman ratkaisutaitoja, systeemiajattelua, asennetta, etiikkaa, tiimityöskentelyä ja toimintaympäristön tuntemusta (Kontio 2012, 105 – 111).

### **CDIO (Conceive – Design – Implement – Operate = ”määrittellä – suunnitella – toteuttaa – ylläpitää”)**

Uuden yhteistyö- ja toimintamallin kehittämisstrategiaksi valitun CDIO:n tavoitteet vastaavat hyvin nykypäivän koulutuksen kehittämishaasteisiin ja kytkeytyvät monissa korkeakouluissa jo tehtyyn kehittämistyöhön. Olennaista on lisätä työelämälähtöisyyttä aktiivisia opetusmenetelmiä hyödyntämällä. Toisaalta keskeistä on myös tuotekehityskaaren ja ratkaisukeskeisen ajattelun kehittäminen toiminnallisesti heti opintojen alusta alkaen. CDIO tarjoaa laadullisen kehyksen, joka tarkoittaa myös kansainvälisen vertailtavuuden parantumista.

CDIO-viitekehysten keskeisin elementti on 12 koulutuksen tavoitetta kuvaavaa periaatetta, jotka tukevat koulutusohjelmien pitkäjänteistä kehittämistyötä (The 12 Standards). Periaatteet voidaan ryhmitellä viiteen kokonaisuuteen. Osa periaatteista korostaa ajattelutavan muutosta koulutuksen järjestämisessä ja osa keskittyy koulutukseen toteuttamiseen. Keskeisessä osassa on myös periaatteisiin sisään rakennettu itsearviointi, joka tukee jatkuvaa kehittämistä. (CDIO, 2010.)

Toinen CDIO:n keskeinen dokumentti on CDIO Syllabus. CDIO Syllabus on ehdotus insinöörikoulutuksen sisällöistä. CDIO Syllabus on kerroksittainen: se on jaettu kolmeen eri tasoon yksityiskohtien suhteen. Karkein taso on taso 1 eli pääotsikkotasoa ja yksityiskohtaisin taso on taso 3 (Crawley, Malmqvist, Lucas, Brodeur 2011).



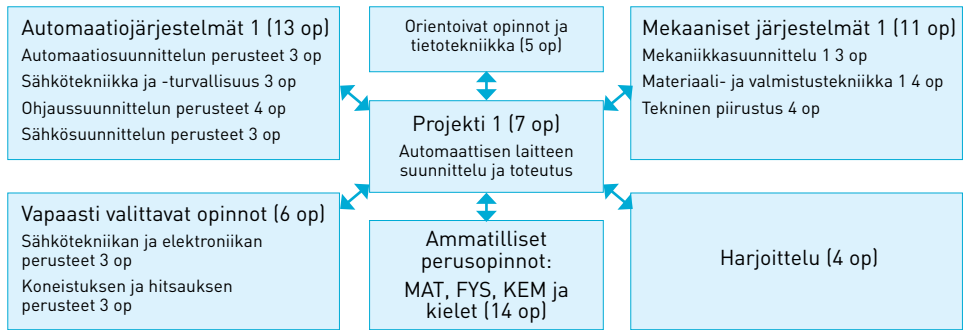
Kuva 1. CDIO Periaatteet (koulutusorganisaation toiminnan kehittämisen vaiheet ja periaatteet)

## Projektit ja ongelmalähtöinen oppiminen (PBL)

Uuden toimintamallin kehittämisessä CDIO on LAMK:n tekniikan alan kokonaisvaltainen strateginen valinta, jonka avulla voimme kansainvälistyä ja oppia toisilta (benchmarking). Projektit ja PBL ovat mallissa työkalun roolissa: näiden avulla toteutamme strategiset tavoitteemme (esimerkiksi Cleantech). Yritysyhteistyön ja projektien avulla opitaan suunnittelu- ja toteutustaitoja, tuotekehitystä, tiimityöskentelyä, projektien hallintaa ja johtamista. Projektit myös lisäävät opiskelijoiden motivaatiota: teoria saadaan käytäntöön. Ongelmalähtöisen oppimisen (Problem Based Learning = PBL) avulla opitaan ”oppimaan”: oppimistaitoja, ihmistuntemusta, tiimityöskentelyä ja arviointitaitoja (itse-, vertais- ja kehittämisarviointi).

Tällä hetkellä kaikissa LAMK:n tekniikan alan koulutusohjelmissa tehdään käytännön projekteja heti ensimmäisestä opiskeluvuodesta alkaen. Projektit liittyvät mm. koneiden ja laitteiden suunnitteluun ja toteutukseen, tuotesuunnitteluun ja -kehitykseen, tuotantoprosessien kehittämiseen, testaus- ja mittauspalveluun, ympäristöselvityksiin (esimerkiksi maaperätutkimukset) ja yhdyskuntasuunnitteluun sekä uusien materiaalien (puu-muovikomposiitit) kehittämiseen ja tutkimiseen.

Mekatroniikan opinnoissa projektit on integroitu opetussuunnitelmiin siten, että projektit määrittävät opintojaksojen sisällöt (kuva 2). Projektit puolestaan suunnitellaan niin, että ne edellyttävät laajaa oman alan osaamista ja teoretiedon soveltamista käytäntöön. Projektitoiminnan mallina on ollut mekatronikka-alan vientiyrityksen projektitoiminta. Projektit toteutetaan tiimeissä (3–8) opiskelijaa. Tiimit suunnittelevat, rakentavat ja dokumentoivat projektin laitteen tai koneen noudattaen teollisuuden standardeja (sähkö- ja koneturvallisuus, sähkö- ja mekaniikkapiirustukset).



**Kuva 2.** Projektit keskiössä

Kahden ensimmäisen vuoden projektit ovat laajuudeltaan 7 op. Ensimmäisen vuoden projektin työnimi on ”Automaattinen laite”: opiskelijaryhmien pitää suunnitella ja toteuttaa laite tiiminä. Toistaiseksi olemme tehneet mm. CD-levyjen tarroituskoneita, kuulien lajittelukoneita, juoma-automaatteja, vihivaunuja ja manipulaattoreita. Toisena vuonna toteutetaan automaattinen laitekoneisuus tai paikoitustoimintoja sisältävä laite (CNC).

Kahtena viimeisenä vuonna tehdään yritysprojekteja. Yritysprojektit tehdään yritysten toimeksiannosta ja niiden sisältö ja tavoitteet neuvotellaan yritysten kanssa. Vuoden aikana teemme noin 10 yritysprojektia, joiden aiheet vaihtelevat laitesuunnittelusta tuotannon kehitykseen.

Pyrimme laajentamaan projektitoimintaa suurempiin kokonaisuuksiin, joissa olisi useampia yrityksiä mukana. Esimerkkinä toimii sähkösuunnitteluprojekti, jossa oli mukana kuusi alan yritystä (Orfer, Raute, Esys, Indel Automation, Elenta ja Kymdata). Projektissa kerättiin ”yritysdataa” teollisuusautomaatioon liittyvästä sähkösuunnittelusta: kuinka sähkösuunnitelmat pitää yrity maailmassa tehdä. Tämän datan pohjalta laadittiin ”Aloittelevan sähkösuunnittelijan opas”, jota käytetään LAMK:ssa oppimateriaalina ja yrityksissä aloittavien insinöörien perehdyttämiseen.

Toinen esimerkkiprojekti on simulointiprojekti, jossa yritykset välittivät simulointiosaamistaan toisilleen ja LAMK:n tekniikan alalle. Projektissa olivat mukana Raute, Dieffenbacher, Orfer ja LAMK. Projektista saadun simulointiosaamisen avulla LAMK on käynnistänyt useita pienempiä jatkoprojekteja, joilla opiskelijoiden simulaatio-osaamista kehitetään vastaamaan paremmin yritysten tarpeita.

Projektit vastaavat erinomaisesti CDIO Syllabuksessa esitettyihin insinööriskoulutuksen sisältövaatimuksiin. Kuvassa 3 on esitetty CDIO Syllabuksen ja hyvin suunniteltujen projektien tuottaman osaamisen vastaavuus (tummalla merkillä vahva kytkentä ja vaalealla heikompi kytkentä). Kuvasta nähdään, että projekteilla voidaan kattaa suurin osa CDIO Syllabuksen osaamisvaatimuksista.

<p><b>1</b> <u>DISCIPLINARY KNOWLEDGE AND REASONING</u></p> <p>1.1 <u>KNOWLEDGE OF UNDERLYING MATHEMATICS AND SCIENCE</u></p> <p>1.2 <u>CORE FUNDAMENTAL KNOWLEDGE OF ENGINEERING</u> ✓</p> <p>1.3 <u>ADVANCED ENGINEERING FUNDAMENTAL KNOWLEDGE, METHODS AND TOOLS</u> ✓</p> <p><b>2</b> <u>PERSONAL AND PROFESSIONAL SKILLS AND ATTRIBUTES</u></p> <p>2.1 <u>ANALYTICAL REASONING AND PROBLEM SOLVING</u> ✓</p> <p>2.2 <u>EXPERIMENTATION, INVESTIGATION AND KNOWLEDGE DISCOVERY</u> ✓</p> <p>2.3 <u>SYSTEM THINKING</u> ✓</p> <p>2.4 <u>ATTITUDES, THOUGHT AND LEARNING</u> ✓</p> <p>2.5 <u>ETHICS, EQUITY AND OTHER RESPONSIBILITIES</u> ✓</p>	<p><b>3</b> <u>INTERPERSONAL SKILLS: TEAMWORK AND COMMUNICATION</u></p> <p>3.1 <u>TEAMWORK</u> ✓</p> <p>3.2 <u>COMMUNICATIONS</u> ✓</p> <p>3.3 <u>COMMUNICATIONS IN FOREIGN LANGUAGES</u> ✓</p> <p><b>4</b> <u>CONCEIVING, DESIGNING, IMPLEMENTING, AND OPERATING SYSTEMS IN THE ENTERPRISE, SOCIETAL AND ENVIRONMENTAL CONTEXT</u></p> <p>4.1 <u>EXTERNAL, SOCIETAL AND ENVIRONMENTAL CONTEXT</u> ✓</p> <p>4.2 <u>ENTERPRISE AND BUSINESS CONTEXT</u> ✓</p> <p>4.3 <u>CONCEIVING, SYSTEMS ENGINEERING AND MANAGEMENT</u> ✓</p> <p>4.4 <u>DESIGNING</u> ✓</p> <p>4.5 <u>IMPLEMENTING</u> ✓</p> <p>4.6 <u>OPERATING</u> ✓</p>
--	--

Kuva 3. CDIO Syllabus ja projektit

Ongelmaperustainen oppiminen (PBL) on pedagoginen vastaus lisääntyvän tietomäärän käsitteeseen rajatussa ajassa. Toisaalta PBL:llä tavoitellaan itsenäistä, läpi elämän jatkuvaa oppimista sekä teoreettisen ja käytännöllisen tiedon yhdistymistä osaamiseksi. Opetus etenee oppimistehtävien/ongelmanasettelun ja erilaisten opiskelijoiden tuottamien kysymysten avulla.

Tavoitteena ongelmaperustaisella oppimisella on kehittää opiskelijan ongelmanratkaisukykyä, yhteistoimintakykyä, kommunikaatiotaitoja, innovatiivisuutta sekä ihmisten ja tehtävien johtamista. PBL-opiskelu on tiedon jakamisen sijasta yhdistelmä itsenäistä opiskelua, uuden tiedon yhdessä työstämistä ja ryhmäkeskustelua. PBL:ssä opitaan pienryhmissä (6–9 opiskelijaa) käytännön- läheisiä oppimistehtäviä työstämällä. Oppimista tuetaan tarvittavin tietoisuudella. Oppimistehtävät käynnistetään ja puretaan viikoittaisissa ryhmäpalaverissa eli tutoriaaleissa.

Tutoriaaleissa työskentely vaiheistuu 7- tai 8-portaisen ongelmanratkaisusyklin ympärille. Aluksi selvitetään oppimistehtävää (mistä on kysymys?). Aivoriivessä tuotetaan spontaaneja ideoita post-it-lapuille mahdollisimman paljon. Tämän jälkeen ideat jaotellaan ryhmiin (luokittelu ja otsikointi) ja pohditaan mitä ongelmia/tehtäviä ryhmistä voidaan päätellä. Lopuksi ongelmien avulla ryhmä päättää omat oppimistavoitteensa.

Purkututoriaalissa opittua analysoidaan, arvioidaan ja verrataan lähtökohtaan. Suuren osan oppimisesta muodostaa opiskelijan itsenäinen työskentely: PBL korostaa opiskelijan vastuuta oppimisestaan. Tällä pyritään siihen että, opiskelijat oppivat arvioimaan ja kehittämään omaa ja ympäristönsä toimintaa: opitaan toimimaan tavoitteellisesti.

## Cleantech ja Päijät-Hämeen mekatroniikkaklusteri

Tilastokeskus (2012) määrittelee cleantech-käsitteen seuraavasti: ”Puhtaan tekniikan tuotannolla (englanniksi cleantech, lyhennys sanoista clean technology) tarkoitetaan kaikkia tuotteita, tekniikoita ja palveluita, jotka tuotantoprosessissaan tai käytössään aiheuttavat vaihtoehtojaan vähemmän haittaa ympäristölle tai kuluttavat vähemmän luonnonvaroja. Puhtaan tekniikan tuote on siis ympäristönäkökohdiltaan parempi kuin vastaava, saman käyttötarkoituksen omaava tuote. Vertailukohtana voidaan pitää keskimääräistä kansallista tasoa tämän tuotteen tuotannossa tai käytössä”. (Tilastokeskus, 2012.)

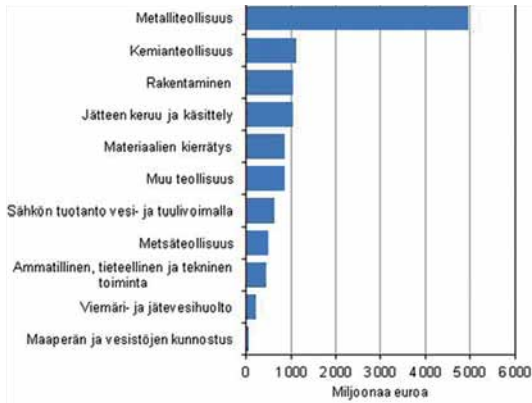
Yritystoiminnan näkökulmasta cleantech voidaan nähdä osana koko organisaation toiminnan kehittämistä tarjouskyselyistä After Sales -toimintaan. Tämä näkökulma on lahtelaisissa mekatroniikan alan yrityksissä hyvin yleinen: cleantech on osa yrityksen normaalia toiminnan ja tuotteiden kehittämistä. Cleantech nähdään myös kilpailuvalttina, koska asiakkaat ovat entistä ympäristötietoisempia. Lainsäädäntö ja ympäristösertifikaatit määrittävät toiminnan minimivaatimukset.

Hyvällä suunnittelulla, joka kattaa sekä toiminnan ohjauksen (esimerkiksi logistiset ratkaisut) että perinteisen tuotesuunnittelun, voidaan parantaa materiaali- ja energiatehokkuutta. Tuotesuunnittelussa simuloinnilla voidaan korvata osittain prototyypin valmistamista. Komponenttivalinnoilla (esimerkiksi energiatehokkaat sähkömoottorit ja -käytöt) tuotteen käytön aikaista energian kulutusta voidaan pienentää. Uusilla logistisilla (esimerkiksi automaattiset korkeavaraust) ja tietoteknisillä ratkaisuilla (esimerkiksi koneiden etähuolto) voidaan vähentää sekä tarvan että ihmisten liikkumista.

Lahden ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma on keskittynyt kouluttamaan mekatroniikkainsinöörejä alueen laajan mekatroniikkaklusterin palvelukseen. Mekatroniikkaklusterin perustan muodostavat kone-, metalli- ja elektroniikka-alan yritykset sidosryhmineen. Mekatroniikkaklusterissa yhdistetään perinteinen metalli- ja koneteollisuus moderniin ICT- ja elektroniikkaosaamiseen; valmistetaan ”älykästä rautaa”.

Mekatroniikkaklusteri on liikevaihdolla, henkilöstömäärällä ja yritysten lukumäärällä mitattuna Lahden alueen merkittävin teollinen klusteri. Klusterissa on yrityksiä tällä hetkellä noin 700, liikevaihto noin 1,3 miljardia € ja henkilöstömäärä noin 7 100. Valtakunnallisella tasolla metalliteollisuuden osuus ympäristöliiketoiminnan liikevaihdosta on ylivoimaisesti suurin (kuva 4).





**Kuva 4.** Ympäristöliiketoiminnan liikevaihto vuonna 2011 aloittain (Tilastokeskus 2012)

Mekatroniikkaklusterin visiona on uusinta teknologiaa hyödyntävän ja korkeaan osaamiseen perustuvan mekatroniikkatoimialan kehittäminen ja vahvistaminen Lahden seudulla yhä verkostoituneemmaksi, kansainvälistyneemmäksi ja innovatiivisemmaksi. Lahden ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman tehtävänä ja tavoitteena on tukea tätä kehitystä.

Koulutusohjelman osaamistarpeiden määrittelyssä on hyödynnetty työelämäyhteyksiä opetus-suunnitelmien perustana. Osaamistarpeiden määrittelyssä ovat olleet mukana seuraavat sidosryhmät: mekatroniikan työelämäneuvottelukunta, Lahti Mechatronics Network (LMN) ja Päijät-Hämeen mekatroniikkaklusteri. Tämän lisäksi osaamistarpeista on keskusteltu yritysprojektien yhteydessä mm. seuraavien yritysten kanssa: Raute Oyj, Oilon Oy, Stala Oy, Orfer Oy, Kemppe Oy, Elmont Oy, ESYS Oy, Ferroplan Oy, Makron Oy, Sandvik Mining and Construction Oy, SEW Eurodrive Oy.

## Yhteenveto

Cleantech-insinöörit -projektissa kehitettiin uusi yhteistyö- ja toimintamalli lahtelaisen insinöörikoulutuksen ja yritys yhteistyön kehittämiseen. Malli perustuu kansainväliseen CDIO-viitekehykseen. Mallin toteutustyökaluina käytetään projekti- ja ongelmalähtöistä oppimista. Yritysprojektien avulla voidaan tehokkaasti siirtää cleantech-tieto-taitoa (esimerkiksi simulointi, suunnitteluosaaminen ja projektitoiminta) yritysten ja LAMK:n tekniikan alan välillä.

Toimintamallin pohjalta LAMK:n kone- ja tuotantotalouden koulutusohjelman mekatroniikan opetussuunnitelman osaamistavoitteet on päivitetty vastaamaan paremmin CDIO-viitekehyksen vaatimuksia ja yritysten tarpeita.

Tuleviin opetussuunnitelmiin suunnitellaan mekatroniikan ja ympäristötekniikan yhteinen 15 opintopisteen cleantech-opintokokonaisuus, joka mahdollistaa mekatroniikkainsinööriopiskelijan erikoistumisen cleantechiin. CDIO:n periaatteisiin kuuluvien itsearvioinnin ja toimintaympäristön jatkuvan seurannan ja kehittämisen avulla lahtelainen insinööriopiskelut voidaan pitää ajankohtaisena ja kiinnostavana nyt ja tulevaisuudessa.

## Lähteet

CDIO 2012. 12 CDIO Standards. [viitattu 22.2.2013].

Saatavissa: <http://www.cdio.org/implementing-cdio/standards/12-cdio-standards>

Crawley, E.F., Malmqvist, J., Lucas, W.A., Brodeur, D.R. 2011. The CDIO Syllabus v20.0, An Updated Statement of Goals for Engineering Education. Proceedings of the 7th International CDIO Conference, Technical University of Denmark, Copenhagen [viitattu 22.2.2013]. Saatavissa: [http://www.cdio.org/files/project/file/cdio\\_syllabus\\_v2.pdf](http://www.cdio.org/files/project/file/cdio_syllabus_v2.pdf)

Kontio, J. 2012. Mahdollisuuksia uudistumiseen – CDIO tekniikan koulutuksen kehittämisessä. Teoksessa Hietalahti, L. (toim.) Uuden sukupolven insinööriopiskelut. Insinööriopiskelutuksen Foorumi 2012, Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu, 105-111 [viitattu 22.2.2013]. Saatavissa: [http://www.insinooritsatavuotta.fi/site/wp-content/uploads/Foorumi2012\\_artikkelikirja\\_2409.pdf](http://www.insinooritsatavuotta.fi/site/wp-content/uploads/Foorumi2012_artikkelikirja_2409.pdf)

Tilastokeskus 2012. Ympäristöliiketoiminta 2011 [viitattu 22.2.2013].

Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/ylyt/2011/ylyt\\_2011\\_2012-12-07\\_fi.pdf](http://www.stat.fi/til/ylyt/2011/ylyt_2011_2012-12-07_fi.pdf)

Pirkko Järvelä & Lea Heikinheimo

## MATERIAALITEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMAUUDISTUS

### Tiivistelmä

Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan alalla aloitettiin uusi materiaalitekniikan koulutusohjelma syksyllä 2011. Koulutusohjelma pohjautuu entisiin puu-, muovi- ja tekstiili- ja vaateustekniikan koulutusohjelmiin, joiden tuottamaa osaamista haluttiin säilyttää Päijät-Hämeen alueella. Vanhoilla koulutusohjelmilla oli pienet aloituspaikkamäärät sekä alhaiset vetovoimat. Myös koulutuksen sisältöä haluttiin uudistaa mm. eri tahoilla tehtyjen kyselyjen tulosten perusteella. Materiaalitekniikan koulutusohjelman uusi opetussuunnitelma on modulaarinen mahdollistaen opiskelijoille yksilölliset opintopolut. Koulutus uudistuksessa on otettu huomioon erityisesti kestävä kehitys muun muassa toteuttamalla aiheeseen liittyviä opintojaksoja sekä moduuleita. Jo ensimmäisen vuoden syksyllä uudet opiskelijat tekevät ”Eko-sohva” -projektin, jossa yhdistyvät niin puu-, muovi- kuin tekstiilimateriaalit. Opiskelijat harjaantuvat projektin aikana myös tiimityöskentelyyn, oppimisen taitoihin, eettiseen osaamiseen sekä esiintymistaitoihin.

**Avainsanat:** materiaalitekniikka, puutekniikka, muovitekniikka, tekstiili- ja vaateustekniikka

### Tausta ja tavoitteet

Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan alalla käynnistyi syksyllä 2011 uusi materiaalitekniikan koulutusohjelma, jossa opiskelijalla on mahdollisuus opiskella puu-, muovi- sekä tekstiili- ja vaateustekniikkaa. Ajatus materiaalitekniikan koulutusohjelman perustamisesta syntyi aiemmin omina koulutusohjelminaan olleiden puu-, muovi- sekä tekstiili- ja vaateustekniikan koulutusohjelmien sisällä. Koulutusohjelmauudistuksessa haluttiin lähteä vastaamaan useisiin eri tahoilta tulleisiin haasteisiin: pienten koulutusohjelmien lakkauttamisen uhkaan, työelämän muuttuneisiin tarpeisiin, kestävä kehityksen painottumiseen opinnoissa, opiskelijapalautteeseen sekä Lahden ammattikorkeakoulun uudistuneisiin strategioihin. Uusi materiaalitekniikan koulutusohjelma mahdollistaa aiempaa yksilöllisemmän opintopolun modulaarisen opintosuunnitelman (OPS:n) ansiosta, jolloin opiskelijan on helpompi kouluttautua tiettyihin työelämän osaamista vaativiin tehtäviin.

Päijät-Hämeen alueella toimii lukuisa joukko mainittujen alojen yrityksiä ja puu-, muovi- sekä vaateusteollisuus ovat Lahden kaupungin elinkeinostrategian mukaan edelleen vahvoja toimialoja. Alan koulutuksen hakijamäärissä ja läpäisyyssä on kuitenkin toivomisen varaa. Alhaisiin hakijamääriin on saattanut vaikuttaa myös koulutusaloja vastaavissa yrityksissä tapahtuneet muutokset, kuten eräiden yritysten merkittävät työvoimavähennykset 2000-luvun puolivälin jälkeen. Taulukossa 1 on esitetty ensisijaisten hakijoiden määrät puu-, muovi- sekä tekstiili- ja vaateustekniikassa vuosina 2005–2010 sekä Materiaalitekniikan koulutusohjelman ensisijaisten hakijoiden määrät vuosina 2011–2012. Samaan taulukkoon on kirjattu näkyviin LAMK:n tekniikan alan ensisijaiset hakijamäärät tekniikan alan trendin havaitsemiseksi. Vaikka ensisijaisia hakijoita on ollut vähemmän kuin aloituspaikkoja, koulutuksen aloituspaikat on saatu täytetyiksi elokuussa järjestettyjen täydennyshakujen ansiosta.

**Taulukko 1.** Puutekniikan (PUU), muovitekniikan (MUO) sekä tekstiili- ja vaateustekniikan (VAT) koulutusohjelmien vuosina 2005 – 2010, sekä materiaalitekniikan (MAT) koulutusohjelman vuosien 2011 – 2012 ensisijaiset hakijamäärät.

Koulutusohjelma	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005
MAT	51	68						
MUO			19	12	12	21	18	29
PUU			41	45	48	55	35	64
VAT			22	30	18	22	29	21
LAMK/TL	402	390	492	465	344	416	432	444

### Koulutusohjelman kehittämistyön toteutus

Materiaalitekniikan koulutusohjelmaan sisällytettiin puu-, muovi sekä tekstiili- ja vaateustekniikka omina suuntautumisvaihtoehtoinaan. Tällöin opiskelijat valitsevat suuntautumisvaihtoehtonsa ensimmäisen lukukauden jälkeen ennen joulua. Materiaalitekniikan koulutusohjelman aloituspaikkoja karsittiin aikaisemmasta yhteenlasketusta 70 aloituspaikasta 60 aloituspaikkaan. Tällä tavoin otettiin pieni askel valtakunnalliseen tekniikan alan ammattikorkeakoulujen aloituspaikkojen vähentämiseen.

Materiaalitekniikan koulutusohjelman valmistelussa haluttiin olla hyvissä ajoin liikkeellä ennen todennäköistä tulevaa suurempaa ammattikorkeakoulujen koulutusohjelmarakenteen muutosta. Myös insinöörien osaamistarpeet ovat viime aikoina muuttuneet ja muutos jatkuu. Insinööreiltä edellytetään tiettyjen perusasioiden osaamista ja soveltamista. Tällaisia perusasioita ovat riittävän laajat matematiikan, kemian, fysiikan ja vieraiden kielten opinnot. Materiaalitekniikan koulutusohjelman kaikkien suuntautumisvaihtoehtojen tulee noudattaa FEANI:n asettamia vaatimuksia (European Federation of National Engineering Associations 2004). Arene ry on kirjannut tutkintojen yhteiset kompetenssit: oppimisen taidot, eettinen osaaminen, työyhteisöosaaminen, kansainvälistymisosaaminen sekä innovaatio-osaaminen. (Auvinen, Heikkilä, Ilola, Kallioinen, Luopajarvi, Raji, Roslöf 2010) Nämä seikat puolsivat uuden näkökulman ottamista opintosuunnitelmien (OPS) suunnitteluun ja koulutussisältöihin ja niiden käytännön toteuttamiseen.

Jo ennen materiaalitekniikan koulutusohjelman valmistelua silloisilla koulutusohjelmilla oli osaamisperustainen opintosuunnitelma, joka noudatti projektioppimista. LAMK:n tekniikan ala kuuluu kansainväliseen insinööriopiskelijoiden CDIO-kehittämisyhteistyöjärjestöön, jonka perusta on vahvasti projektimuotoisessa ja käytännönläheisessä toiminnassa. CDIO:n yhtenä periaatteena on, että opintojen alkuvaiheessa opiskelijat johdatellaan insinööriopintoihin ja he pääsevät käytännönläheisen projektin tai ongelman kautta tutustumaan opiskeltavaan alaan.

Koulutusohjelman suunnittelussa haluttiin ottaa huomioon alueen työelämän kehittämisen painopisteet ja tarve. Elinkeinoelämän mielipiteen kuulemiseksi ja huomioon ottamiseksi kaikissa nyt yhdistetyissä koulutusohjelmissa tehtiin kyselytutkimus osaamistarpeiden kehittämiseksi. Puu- ja muovitekniikan koulutusohjelmissa hyödynnettiin kyselypohjaa, mikä oli suunnattu yri-

tysten johdolle, yhteistyökumppaneille, muutaman vuoden työssä olleille insinööreille (alumnit) ja vielä koulussa oleville opiskelijoille. Tekstiili- ja vaateustekniikan kysely tehtiin koulutusohjelmasta aikaisemmin valmistuneille opiskelijoille. Kyselyn tuloksista etsittiin yhteisiä painopistealueita, jotka otettiin huomioon opintosuunnitelmien sisältöjä rakennettaessa. Lisäksi koulutusohjelmamuutosta käsiteltiin suuntautumisvaihtoehtojen omissa työelämän neuvottelukunnissa.

Koulutusohjelman sisältöä kehitettiin ja kehitetään edelleen työelämän osaamis- ja kehittämis- tarpeiden pohjalta yritysten kanssa yhteistyössä. Opetussuunnitelmatyöhön perustettiin substanssipohjaisten tiimien lisäksi ohjausryhmä, joka koostui alueen teollisuuden edustajista, yliopistoedustajasta, koulutusohjelmien vastuu- ja yliopettajista, pedagogisesta asiantuntijasta sekä koulutuspäälliköstä.

## Koulutusohjelman kehittämistyön tulokset sekä johtopäätökset

Tekstiili- ja vaateustekniikan kysely suoritettiin vuonna 2009 opinnäytetyönä (Lukkarinen 2009) ja siinä selvitettiin Lahden ammattikorkeakoulun Tekstiili- ja vaateustekniikan koulutusohjelmasta valmistuneilta insinööreiltä heidän työnkuvaansa ja alan tulevaisuuden haasteita. Kysely lähetettiin 53 valmistuneelle, joista 38 vastasi kyselyyn. Opiskelua koskevista kyselyistä kävi ilmi, että kielitaito, tuotesuunnittelu, tekstiilitietous ja materiaalien testaus arvioitiin useimmiten erittäin hyödyllisiksi opintokokonaisuuksiksi. Yli puolet vastaajista (58 %) piti kielitaitoa ja tekstiilitietoutta ja materiaalien testausta erittäin hyödyllisinä. 23 % vastaajista arvioi markkinointia ja yrittäjyysosaamista erittäin hyödyllisiksi.

Taulukossa 2 näkyy eri osaamisalueiden tärkeysjärjestys puutekniikan insinöörin työssä eri vastaajaryhmien keskuudessa. Luku 1 tarkoittaa, että kyseinen osaaminen on arvioitu tärkeimmäksi ja luku 13, että kyseinen osaaminen on arvioitu vähiten tärkeäksi.

**Taulukko 2.** Osaamisalueiden merkitys tärkeysjärjestyksessä puutekniikan insinöörin työtehtävissä.

Osaamisalue	Nykyiset opiskelijat	Entiset opiskelijat	Yhteistyökumppanit	Yrittäjät
Projektitoiminta	2	5	8	6
Ihmissuhdetaidot	1	1	1	1
Vieraat kielet	5	11	5	9
Asioiden johtaminen	7	2	4	7
Ihmisten johtaminen	8	4	2	4
Esiintymis- ja neuvottelutaidot	3	3	6	5
Puutekniikkaan liittyvä osaaminen	4	6	3	2
Muihin materiaaleihin liittyvä osaaminen	13	7	12	10
Kansainvälisyys, kulttuuri	11	10	11	12
Myynti ja markkinointi	9	12	9	3
Taloushallinto ja yritysstrategia	12	13	10	8
Ympäristö ja kestävä kehitys	10	9	7	11
Suunnitteluosaaminen (CAD)	6	8	-	-

Puutekniikassa tehdyn kyselyn vastauksista voidaan todeta, että kaikki vastaajaryhmät kokevat ihmissuhdetaidot kaikkein tärkeimmäksi. Nykyiset opiskelijat arvioivat tarvitsevansa osaamista projektitoimintaan, esiintymis- ja neuvottelutaitoihin, puutekniikkaan liittyvään osaamiseen sekä vieraiden kielten hallintaan. Puutekniikasta valmistuneet ja nyt työelämässä olevat insinöörit kokevat asioiden ja ihmisten johtamisen tärkeiksi. Projektitoiminta on edelleen tärkeysjärjestyksen alkuosassa, mutta puutekniikkaan liittyvää osaamista ei enää koeta yhtä tärkeäksi kuin vielä koulussa olevat insinööriopiskelijat. Yhteistyökumppanit kokevat ihmisten johtamisen ja puutekniikkaan liittyvän osaamisen tärkeiksi. Yrittäjillä luonnollisesti myynti ja markkinointi sekä puutekniikkaan liittyvä osaaminen ovat tärkeitä ihmissuhdetaitojen lisäksi. Myös ihmisten johtaminen ja esiintymis- ja neuvottelutaidot ovat listan kärkipäässä.

Taulukossa 3 on esitetty muovitekniikan insinöörin työssään tarvitsemien osaamisalueiden tärkeysjärjestys eri vastaajaryhmien kesken. Luku 1 tarkoittaa, että kyseinen osaaminen on arvioitu tärkeimmäksi ja luku 18, että kyseinen osaaminen on arvioitu vähiten tärkeäksi. Mukaan on otettu vastaajien kaksi ensimmäiseksi valitsemaa kohtaa eli ”jatkuvasti” ja ”usein”. Otokset olivat seuraavat: (1) kolme tai alle kolme vuotta valmistumisesta 15 vastaajaa; (2) yli kolme vuotta valmistumisesta 35 vastaajaa ja (3) yhteistyökumppanit 10 vastaajaa.

**Taulukko 3.** Osaamisalueiden merkitys tärkeysjärjestyksessä muovitekniikan insinöörin työtehtävissä. Mukaan on otettu kyselyn vastaukset ”jatkuvasti” ja ”usein”.

Osaamisalue	Valmistuneet 3 v tai alle	Valmistuneet yli 3 v	Yhteistyö- kumppanit
Projektitoiminta	4	7	6
Ihmissuhdetaidot	1	2	1
Vieraat kielet	4	3	1
Asioiden johtaminen	8	3	6
Ihmisten johtaminen	14	10	1
Esiintymis- ja neuvottelutaidot	6	6	1
Muovitekniikkaan liittyvä osaaminen	9	10	1
Muihin materiaaleihin liittyvä osaaminen	13	14	12
Kansainvälisyys, kulttuuri	16	3	17
Myynti ja markkinointi	16	11	12
Taloushallinto ja yritysstrategia	18	13	18
Ympäristö ja kestävä kehitys	9	16	12
Suunnitteluosaaminen (CAD)	15	18	12
ICT-valmiudet	1	1	6
Kirjoittaminen, viestintä	3	7	9
Raportointi	6	9	9
Työsuhdeasiat	9	12	16
Työturvallisuus	9	16	9

Kyselyn tuloksista voidaan nähdä, että korkeintaan kolme vuotta työelämässä olleiden insinöörien tärkeimmiksi kokemat osaamisalueet ovat ihmissuhdetaidot, ICT-valmiudet, kirjoittaminen ja viestintä, projektitoiminta ja vieraat kielet. Yli kolme vuotta työelämässä olleiden tärkeimmiksi koetut osaamisalueet kahden ensin mainitun kohdalla ovat samat kuin edellisellä ryhmällä, mutta tärkeiksi koetaan myös asioiden johtaminen ja kansainvälisyys vieraiden kielten osaamisen lisäksi. Yhteistyökumppaneiden näkemykset ovat samansuuntaisia, mutta he kokevat aiemmin mainittujen lisäksi tärkeiksi myös ihmisten johtamisen, esiintymis- ja neuvottelutaitojen osaamisen sekä muovitekniikkaan liittyvän osaamisen.

Kyselytutkimuksessa kysyttiin lisäksi näkemyksiä mm. nykyisen koulutuksen valmiuksien antamisesta, puutteista, harjoittelun merkityksestä ja tulevaisuudessa tarvittavista osaamisalueista sekä uuden materiaalitekniikan koulutusohjelman mielekkyydestä. Vastauksia saatiin runsaasti ja seuraavassa on otteita yleisesti muovipuolelta esille tulleista vastauksista. (1) Nykyisen koulutuksen antamat valmiudet: hyvät perusvalmiudet menestyä työelämässä, hyvä materiaali- ja laatu-tietämys, perusinsinöörin taidot, valmiudet erilaisiin insinöörin tehtäviin. (2) Nykyisen koulutuksen puutteita: kokonaisuuden hahmottaminen työelämässä, liian vähän esimieskoulutusta, kielitaito, ihmissuhdetaidot, ryhmätyötaidot, käytännön harjoittelun vähäisyys. (3) Työharjoittelun merkitys: erittäin tärkeä, elintärkeä, tärkeä kosketuspinta oikeisiin töihin. (4) Tulevaisuudessa tarvittavaa osaamista: laaja-alaisuus, ihmissuhdetaidot, esimiestäidot, uudet materiaalit ja tekniikat, kansainvälisyys, enemmän suunnittelua kuin tuotantoa. (5) Materiaalitekniikan koulutusohjelma: hyvä kehityssuunta, laajempialaisuus on hyväksi, kokeilun arvoinen juttu, laajemat mahdollisuudet työnsaantiin, toivottavasti ei mene taaksepäin, vaarana muovin jääminen muiden materiaalien jalkoihin. Materiaalitekniikan koulutusohjelman OPS:ia suunniteltaessa on mahdollisuuksien mukaan otettu huomioon esitettyjä näkemyksiä.

Selvitystyön tuloksia verrattiin myös Uusi Insinööriliitto UIL ry:n tekemään vuosittaiseen kyselytutkimukseen, jonka mukaan vuonna 2009 valmistuneet insinöörit kokivat koulutuksen antavan parhaat työelämävalmiudet ryhmätyöskentelyyn, viestintään äidinkielellä sekä it-osaamiseen. Vastajat arvioivat nämä valmiudet myös tärkeimmiksi työelämässä. Toisaalta insinöörikoulutuksen antamien työelämävalmiuksien suurimmiksi puutteiksi arvioitiin markkinointiosaamisen, esimiesvalmiuksien, neuvottelutaidon sekä talouden yleisen tuntemuksen vajavaisuus. Nämä työelämävalmiudet koettiin tässä selvityksessä myös vähiten tärkeiksi työelämässä. (Anttila, 2011.) Materiaalitekniikan koulutusohjelman suunnittelun yhteydessä tehdyt kyselyt ovat samansuuntaisia näiden tuulosten kanssa, joskin kysymysten asetellut hieman poikkeavat toisistaan.

Materiaalitekniikan koulutusohjelma mahdollistaa yksilöllisemmän opintopolun modulaarisen OPS:n ansiosta, jolloin opiskelijan on helpompi kouluttautua tiettyihin työelämän teknistä osaamista vaativiin tehtäviin. Tämä toteutuu erityisesti neljännen vuosikurssin syventävien opintojen vaihtoehtoisissa moduuleissa. Näitä moduulikokonaisuuksia suunnitellaan ja toteutetaan yhdessä muiden koulutusohjelmien ja alojen kanssa. Materiaalitekniikan koulutusohjelman rakenne muotoutui kehitystyön tuloksena seuraavanlaiseksi (taulukko 4).

**Taulukko 4.** Materiaalitekniikan koulutusohjelmarakenne.

4. vuosi	Ammattiainetta tukeva sivuaine tai vapaasti valittava 15 op	Opinnäytetyö 15 op	Ammatilliset syventävät opinnot 15 op	
3. vuosi	Ammattiopinnot (PUU, MUO, VAT) 33 op	Yrittäjyys ja markkinointi 15 op	Harjoittelu 18 op	
2. vuosi	Materiaalitekniikan yhteiset insinööriperusopinnot 21 op	Ammattiopinnot (PUU, MUO, VAT) 27 op	Harjoittelu 12 op	
1. vuosi	Pakolliset yhteiset opinnot 10 op	Materiaalitekniikan yhteiset insinööriperusopinnot 32 op	Ammattiopinnot (PUU, MUO, VAT) 12 op	Vapaasti valittavat opinnot 15 op

Neljännän vuosikurssin ammatilliset syventävät opinnot, joiden tarkoituksena on syventää insinööriopiskelijan omia intentioita, rakentuvat noin 15 op moduuleista (taulukko 5). Kestävän kehityksen periaatteita sisältyy luonnollisena osana lähes kaikkiin opintojaksoihin, mutta neljäntenä vuonna on mahdollisuus syventyä aiheeseen vielä syvällisemmin.

**Taulukko 5.** Materiaalitekniikan koulutusohjelman neljännen vuosikurssin vaihtoehtoiset opintomoduulit.

Tuotekehitysosaaja ja suunnittelija 15 op	Kestävän kehityksen osaaja 15 op	Palveluliiketoimintaosaaja, yrittäjyys 15 op	Myynti- ja hankintaosaaja, KV-toiminta 15 op	Tuotanto-painotteinen osaaja 15 op
--	-------------------------------------	---	---	---------------------------------------

### **Kestävä kehitys opiskelijoiden ensimmäisen syksyn projektioppimisaiheena**

Heti syksyllä ensimmäisen vuoden opiskelijoille järjestettiin opintojakso projektioppimisesta, jossa yhdistyisivät kaikkien alojen (puu, muovi ja tekstiili) materiaaliosaamista (alaspesifit kompetenssit), kestävä kehitys että yhteisten kompetenssien harjaantuminen. Tärkeinä elementteinä pidettiin myös opiskelijoiden ryhmäyttämistä sekä motivointia oppimiseen. Projektioppimisen teemaksi valittiin sohva, sillä pehmustetuissa huonekaluissa käytetään kaikkia edellä mainittuja materiaaleja. Lisäksi Lahdessa toimii useita huonekalualan yrityksiä, joiden kanssa oli jo aiemmin toteutettu opinnäytetöitä sekä useita projekteja niin puu-, muovi kuin tekstiili- ja vaatetustekniikan koulutusohjelmissa.



Opintojakson laajuus oli 5 opintopistettä, joista yksi opintopiste (op) sisälsi projektioppimisen perusteita, yksi op kestävää kehitystä, erityisesti materiaalitehokkuuttaluentototeutuksena, ja loput kolme op itse projektityöskentelyä tiedonhankintoiheen, laboratoriotyöskentelyineen sekä raportointineen. Toteutuksessa käytettiin apuna Moodle-ympäristöä, jonne opettajat kokosivat aineistoa. Lisäksi käytössä oli Moodleen integroituna Kyvyt.fi ePortfolio -palvelu, jota opiskelijat hallinnoivat itse.

Opiskelijat jaettiin projektioppimisen luennoilla tehdyn Belbin-testin perusteella noin 8 hengen ryhmiin, jolloin ryhmiä muodostui 8 kappaletta. Kullekin ryhmälle nimettiin projektipäällikkö sekä oma ohjaava opettaja (4 opettajaa eri aloilta). Ryhmille annettiin toimeksiantona kehittää fiktiiviselle huonekaluyritykselle eko-sohva, jossa varsinkin kierrätettävyyteen olisi kiinnitetty huomiota. Toimeksiantoa ei haluttu kirjata kovin tarkasti, jotta opiskelijoille jäisi mahdollisuus rajata aihetta omien intressien pohjalta. Opiskelijoiden tuli kuitenkin selvittää sohvien materiaaleja ja rakennetta purkamalla itse hankkimansa jo kierrätykseen/kaatopaikalle menevä sohva koulun laboratoriossa. Opintojakson yhteydessä järjestettiin myös yritysvierailuja lahtelaisiin huonekalutehtaisiin sekä toteutettiin muita aihetta tukevia opintojaksoja kuten materiaaliopin perusteet.

Opiskelijat tuottivat ryhmäkohtaiset raportit projektista sekä esittivät tuotoksensa loppuseminaarissa muille ryhmille. Ryhmät arvioivat omaa toimintaansa raportissa, kirjoittivat vertaisarvioinnin muiden ryhmien esityksistä ja raporteista. Kukin opiskelija kirjoitti myös omakohtaisen itsearviointin omasta ja ryhmänsä toiminnasta, jolloin vapaamatkustajien toiminta kävi ilmi arvioijille.

Opintojaksolle oli resursoitu tunteja kahdelle eri opettajalle luennointiin (projektioppiminen sekä kestävä kehitys) kolmentoista lähitunnin verran (2 x 1op) sekä neljälle substanssialan opettajalle (2 muovi, 1 puu, 1 tekstiili) 14 tuntia kokonaistyöaika kullekin töiden ohjaamiseen ja arviointiin. Apuna projektissa toimi myös puutekniikan laboratorioinsinööri. Opintojakso arvioitiin yhdessä ohjaavien opettajien kanssa. Arviointikohteina käytettiin mm. tiedonhankintaa, tehtyjä testauksia, raportin sisältöä sekä esitystä. Lisäksi ryhmien tekemiä itse- ja vertaisarviointeja sekä kunkin opiskelijan omaa itsearviointia käytettiin apuna lopullista arvosanaa annettaessa.

Opiskelijat kokivat projektioppimisen pääosin mielekkääksi tavaksi oppia uusia asioita ja ryhmäytyä. Ohessa erään opiskelijan kommentti projektista:

”Ryhmämme koki oppivansa paljon uutta ekologisen sohvan, eikä vain sohvan, vaan myös yleisesti ekologisten tuotteiden suunnittelusta, materiaalivalinnoista, valmistuksesta, logistiikasta ja toimista, jotka nostavat tuotteen käyttöikä. Saimme mielenkiintoisia tuloksia laatimastamme sohvia koskevasta kyselystä ja pääsimme käytännönläheisiin työvaiheisiin purkaessamme sohva sekä tehdessämme sen materiaaleille erilaisia kokeita. Pidimme projektia mielekkäänä ja toivomme, että myös te, raportin lukijat, löydätte aikaansaannoksistamme jotakin, jota ette vielä tiede tai se herättää teissä mielenkiintoa ekologisesti valmistettuja tuotteita kohtaan.”

Projektin toteutusta ja aikaansaannoksia esiteltiin Päijät-Hämeessä ilmestyneessä Kotikontu-lehdessä keväällä 2012 sekä Tampereella Insinöörit 100 vuotta -seminaarissa syksyllä 2012. Jälkimmäisessä tilaisuudessa materiaalitekniikan sohvaprojektin opettajatiimi sai kunniamaininnan ja stipendin uudeltaisesta oppimistoteutuksesta. Palkitsijaraati korosti, että projektissa

insinöörinkouluttajat ovat luovalla ajattelulla ja toiminnalla ottaneet käyttöön toimintamalleja, joita voidaan helposti ja melko edullisestikin toteuttaa, muunnella ja skaalata suurtenkin opiskelijaryhmien opetuksen tarpeisiin. Toimintamallin toteutuksessa korostuu myös ammattikorkeakoulujen opettajien hyvä keskinäinen yhteistyö, joka opetuksen laadun ja vaikuttavuuden kannalta on aivan oleellista.

## Jatkotoimenpiteet projektioppimisessa

Uudessa materiaalitekniikan koulutusohjelmassa toteutetun sohvaprojektin tavoitteet saavutettiin ja pääsääntöisesti opiskelijoiden palaute projektista oli kiitettävää. Opiskelijat sitoutuivat hyvin projektiin ja ryhmäytyivät omien materiaalitekniikan opiskelijoiden kanssa sekä oppivat tuntemaan materiaalitekniikan opettajia ja laboratorioinsinöörejä. Tämän vaativan projektikurssin jälkeen on opiskelijoiden helppo jatkaa uusien projektikurssien parissa.

Ensimmäinen sohvaprojekti toteutui niin hyvin, että seuraavana syksynä päätettiin jatkaa saman konseptin mukaisesti, joskin saadun palautteen mukaisesti kehittämällä tiettyjä asioita aiempaan parempaan suuntaan.

## Lähteet

- Anttila, S. 2011. Vuonna 2009 valmistuneiden insinöörien sijoittumistutkimus. Uusi Insinööriliitto UIL ry [viitattu 20.2.2013]. Saatavissa: [http://www.uil.fi/portal/page?\\_pageid=157,24190&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.uil.fi/portal/page?_pageid=157,24190&_dad=portal&_schema=PORTAL)
- Auvinen, P., Heikkilä, J., Ilola, H., Kallioinen, O., Luopajarvi, T., Raji, K., Roslöf, J. 2010. Suositus tutkintojen kansallisen viitekehyksen (NQF) ja tutkintojen yhteisten kompetenssien soveltamisesta ammattikorkeakouluissa [viitattu 20.2.2013]. Saatavissa: [http://www.haaga-helia.fi/fi/aokk/taeydennyskoulutus/lindex\\_html/ARENEn\\_suositus.pdf](http://www.haaga-helia.fi/fi/aokk/taeydennyskoulutus/lindex_html/ARENEn_suositus.pdf)
- European Federation of National Engineering Associations 2004. FEANI INDEX [viitattu 20.2.2013]. Saatavissa: [http://www.feani.org/site/fileadmin/PDF\\_Documents/FEANI\\_Index/0504\\_20procedures\\_20index\\_20version\\_20new\\_20approved\\_20emc\\_20for\\_20web.pdf](http://www.feani.org/site/fileadmin/PDF_Documents/FEANI_Index/0504_20procedures_20index_20version_20new_20approved_20emc_20for_20web.pdf)
- Lukkarinen, S. 2009. Tekstiili- ja vaateustekniikan insinöörin työkuva ja haasteet tulevaisuudessa. Lahti: Lahden ammattikorkeakoulu, AMK-opinnäytetyö.

Reijo Heikkinen

## PUUMATERIAALIEN KÄYTTÖ KESTOMUOVIN RINNAKKAISRUISKUVALUSSA

### Tiivistelmä

Puuosia on perinteisesti liitetty toisiinsa ja muihin materiaaleihin liimaamalla, ruuvaamalla tai naulaamalla. Näillä liitoksella on yksi yhteinen ominaisuus. Ne ovat joustamattomia ja niillä jäljitellään alkuperäisen puun lujuutta ja muitakin ominaisuuksia. Mutta olisiko käyttöä sellaisilla liitoksilla, joissa on älyä? Mitä jos puuosien liitokset reagoisivat tarvittaessa ympäristön olosuhteisiin uudella tavalla? Liitos voisi olla erilailla joustava eri asennoissa. Se voisi olla itse itsensä kokoonpaneva rakenne, tai vaurion sattuessa itsekorjautuva muovin muisti-ilmiöön perustuva älyliitos. Liitos voisi toimia myös varokkeena. Kun lämpötila, aika, mekaaninen rasitus, säteily tai muu ulkoinen ärsyke tulee tarpeeksi suureksi, joko hetkellisesti tai kumulatiivisesti, tapahtuu liitoksessa hallittu muutos. Tässä tutkielmassa on pohdittu mahdollisia käyttötarkoituksia uudentyypisille muovin ja puun yhteisille rakenteille. Lisäksi kirjoituksessa on selostettu havaintoja jo suoritetuista kokeista, joissa on saatu valmistettua älykkäitä muovipuuliitoksia tavanomaisista materiaaleista tavanomaisilla tuotantolaitteilla. Koeajot ja kokeissa käytetyt välineet on tehty Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan alan laboratorioissa

**Avainsanat:** puu-muovikomposiitti, älykäs materiaali, rinnakkaisruiskuvalu

### Muovin ja puun ominaisuuksista

Puusta valmistettuja osia on liitetty toisiinsa liimojen avulla lujasti kautta aikojen. Eläinperäisiä liimoja lienee käytetty jo tuhansia vuosia. (Helsingin Yliopisto 2013) Liimaamalla saadaan yleensä vain jäykkiä ja joustamattomia liitoksia, joiden tarkoituksena on olla mahdollisimman lujia ja hyvin eri olosuhteita kestäviä. Liimasauma joudutaan tekemään tarkoituksella mahdollisimman ohueksi, jotta itse liiman mekaaniset ominaisuudet eivät vaikuttaisi saumaan negatiivisesti. Jos haluaisimme saada aikaiseksi liitoksen, jossa olisi jonkinlainen älykäs ominaisuus, ei liimaaminen välttämättä ole järkevä vaihtoehto.

Erilaisia muoveja ja elasteja on liitetty toisiinsa ja metalleihin jo niiden käyttöönotosta lähtien. Näissä liitoksissa on aina hyödynnetty erilaisten polymeerien ominaisuuksia oikeassa paikassa tarpeen mukaan. Muovien ja elastomeerien ominaisuudet vaihtelevat hyvin laajalla alueella. Esimerkiksi materiaalin jäykkyyttä kuvaava suure kimmokerroin voi vaihdella tyypillisesti välillä 1 MPa–100 GPa. Lisäksi lujuusominaisuudet voivat vaihdella välillä 0,1 MPa–150 MPa (Material Property Database 2013). Näiden ääriarvojen väliin mahtuvat jäykkyydeltään ja lujuudeltaan mm. marmeladi ja alumiini. Kun otetaan mukaan vielä lämmönkesto, joka on välillä 0 K–500 K, niin voidaan todeta, että millään muulla materiaaliryhmällä ei ole näin laajaa ominaisuuksien kirjoa, josta sopiva materiaali voidaan valita.

Kuten aikaisemmin todettiin, puuta voidaan helposti liimata ja saada aikaa hyviä ja lujia liitoksia. Nyt voidaan miettiä, saammeko aikaiseksi muovien eri ominaisuuksia hyödyntäen myös ominaisuuksiltaan räätälöityjä liitoksia tiettyä käyttötarkoitusta varten? Näiden menetelmien

kehittäminen on perusteltua kun halutaan saada puurakenteeseen ja etenkin saumaan älyä esimerkiksi seuraavilla tavoilla:

- Tietyllä tavalla joustava liitos (jäykkyys / jouston suunta)
- Varoke, joka murtuu tai sulaa tietyissä olosuhteissa
- Hyödynnetään muovien muisti-ilmiötä (itsekokoonpaneva tai -korjaava rakenne)
- Hyödynnetään sisäistä kitkaa tai kompleksista modulia (tärinään reagoiva rakenne)
- Hyödynnetään ns. sormituntumaa tai kitkaominaisuuksia

Joustava liitos saadaan aikaiseksi käyttämällä puukappaleiden välissä joustavaa elastista materiaalia. Liitos on myös palautuva, jos materiaali on täysin elastista. Liitoksen muotoilulla voidaan vaikuttaa jopa siihen, että liitos on jäykempi toiseen suuntaan taivutettaessa. Polymeerien ominaisuuksiin kuuluu tietyn asteinen visko-elastisuus, jossa viskoottinen ja elastinen komponentti voivat vaihdella merkittävässä määrin. Näitä materiaaleja käyttäen saadaan aikaiseksi myös liitoksia, joilla ei ole kovin voimakasta palauttavaa elastista ominaisuutta. Hyödyntämällä muovin kykyä virumiseen ja jännitysrelaksaatioon matalissakin lämpötiloissa, voidaan tehdä rakenteita, joilla on hallittu muodon- tai asennonmuutos halutussa aikaskaalassa.

Kuten aikaisemmin mainittiin, muovien lujuus voi vaihdella suuresti valittavan polymeerin ja lisäaineiden mukaan. Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää varokkeena. Kun kuormitus ylittää tietyn arvon, niin varta vasten suunniteltu liitos joko murtuu tai muokkaantuu plastisesti. Esimerkiksi tiettyjen polypropeenien jännitys-venymä-käyrä kuvassa 1 osoittaa, että muovi kestää suuren kuormituksen vähäisin muodonmuutoksin tiettyyn rajaan saakka. Tämän jälkeen materiaalissa tapahtuu muodonmuutosta melko pienellä jännityksellä taas tiettyyn rajaan asti, kunnes muovi kantaa entistäkin suuremman kuorman. Tämän ilmiön tarkoituksena tässä sovelluksessa on suojella muuta rakennetta vaurioilta. Myös polymeerin ja puun välistä adheesiota muuttamalla voidaan saada aikaan samanlainen vaikutus. Nyt tosin polymeeri ei vaurioidu, vaan sen ja puun välinen liitos aukeaa hallitusti.



**Kuva 1.** Polypropeenin myötäessä sen rakenne orioituu ja samalla lujittuu.

Muovien muisti-ilmiötä voidaan hyödyntää esimerkiksi ns. itsekokoonpaneivissa rakenteissa. Näissä rakenteissa liitos valmistetaan ensin lopulliseen asentoonsa, mutta sen jälkeen rakenne taitetaan kasaan. Muoveihin, joita näissä liitoksessa käytetään jää tietynlainen jännitystila joka tosin ei pääse palautumaan aktivaatioenergian puuttumisen takia. Kun myöhemmin rakennetta lämmitetään tietyn lämpötilan yläpuolella, vähenee palautumista vastustava tekijä, esim. kimmoero, hetkellisesti niin paljon, että palautumiseen tarjolla oleva ajava energia riittää suorittamaan rakenteen palauttamisen. Tätä voidaan soveltaa myös vaurioiden korjaamiseen palauttamisen avulla.

Muovien visko-elastista luonnetta voidaan hyödyntää myös värinää vaimentavalla rakenteella. Kun liitoksen kohdistuu värinästä aiheutuva jaksottaista muodonmuutosta, muuttuu osa energiasta häviöiden kautta lämmöksi. Tämä häviöenergian  $E$  määrä on laskettavissa seuraavilla kaavoilla:

$$E = \frac{1}{2} F'' S \quad \text{jos kyseessä on tykyttävä kuormitus}$$

$$E = F'' S \quad \text{jos kyseessä on vaihtokuormitus}$$

jossa  $F''$  on häviömoduli x suhteellinen muodonmuutos. (Thomas, 1993)

Kun energia  $E$  kerrotaan värähtelyn kulmanopeudella  $\omega$ , saadaan liitoksessa kehittyvä lämpöteho. Käytännössä lämpöä johtuu saumasta pois koko ajan sen lämmitessä. Lämmön poistumismekanismit ovat säteilemällä ja konvektion avulla. Lämpöä poistuu sitä enemmän mitä suurempi lämpötilaero sauman ja ympäristön välillä on, kunnes tasapainolämpötila  $T$  saavutetaan

$$E\omega = \alpha A\Delta T + \epsilon\sigma A\Delta T^4$$

Sauma voidaan saada hallitusti peittämään tiettyssä värinän aiheuttamassa rasituksessa valitsemalla materiaalin kompleksinen moduuli ja sulamispiste sopivasti.

Muovien ns. sormituntuma ja ulkonäkö vaihtelevat myös suuresti. Kovuus tai pehmeys tuo oman tuntumansa, kuin myös laajalla alueella vaihteleva kitkakerroin. Muovien värjäytyminen on mahdollista tuhansiin eri väriin.

## Käytännön kokeita

Lahden ammattikorkeakoulun muovilaboratoriossa on tehty kokeita erilaisten muovimateriaalien käyttämisestä puuosien liittämiseen. Näitä kokeita varten valmistettiin erilaisia muotteja, joissa voidaan yhdistää erilaisia puukappaleita millä muovilla tahansa, joka voidaan ajaa ruiskuvalukoneelle. Näissä koeajoissa havaittiin seuraavia ongelmia:

- Sula muovimassa pyrkii halkomaan puuta ja etenemään halkeamissa pitkiä matkoja
- Vanerissa massa painaa erilailla syyn suuntaan kuin syitä vastaan
- Puukappaleissa on tyypillisesti mittaeroja  $\pm 0,5$  mm, jolloin voi syntyä purseita

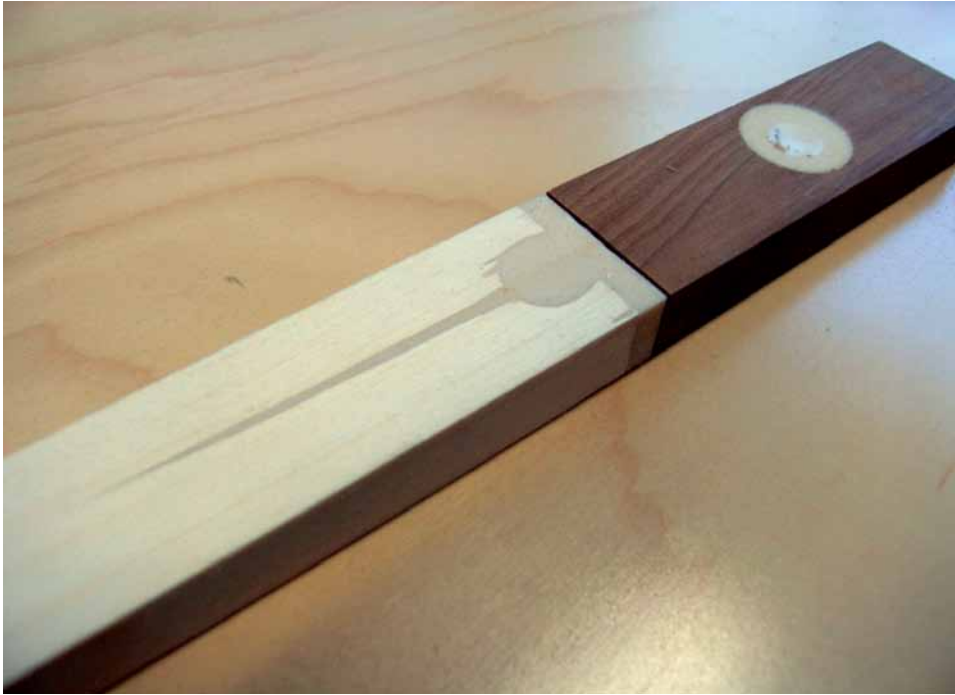
- Massa jäähtyy puun sisällä hitaasti
- Adheesio on heikko ilman kytkentäaineita
- Kytkentäaineiden käyttö on rajoitettua joillakin materiaaleilla
- Puun mittavaihtelut vaikeuttavat kappaleiden asettamista muottiin ja siellä paikallaan pysymistä
- Puun kosteusvaihtelut vaikuttavan mittoihin ja mekaanisiin ominaisuuksiin
- Menetelmä vaatii aina suljetun muotin käyttöä

Puun lujuusominaisuuksiin liittyen huomattiin, että kun ruiskutuspainetta oli suurempi kuin 20 MPa, alkoi puukappaleet murtua ja muovi pyrki etenemään puuta halkoen pitkiäkin matkoja. tähän vaikuttaa puun heikko lujuus sitä kohtisuorassa suunnassa. Tässä suunnassa lujuus on vain 10–20 osa lujuudesta, joka on syiden suuntaan. Myös leikkauslujuus tässä on n.10 % siitä, mitä se on syiden suuntaan (Puuinfo 2013).

Puun lujuus tosin kasvaa sen tiheyden kasvaessa ja siirryttäessä koviin puulajeihin, voidaan ruiskutuspainetta nostaa puun hajoamatta. Puu on hyvin anisotrooppinen materiaali. Verrattuna kokeissa yleisesti käytettyyn polypropeeniin sen vetolujuus syiden suuntaan on suunnilleen samaa luokkaa, mutta syitä vastaan lujuus on vain murto-osa.

Muovin jäähmettyminen puun kanssa kosketuksissa ollessaan on hyvin hidasta verrattuna perinteiseen ruiskuvaluun ja metallimuotteihin. Puun (esimerkkinä mänty) lämmönjohtavuus on syiden suuntaan n. 0,22 W/mK ja kohtisuoraan suuntaan vain 0,14 W/mK (Puuinfo 2013). Se on jopa vähemmän kuin muoveilla yleensä. Tämän takia jaksoaika muovin ja puun liittämiseksi ruiskuvalulla on suhteellisen pitkä verrattuna tavanomaisiin ruiskuvalukappaleisiin samassa koko luokassa.

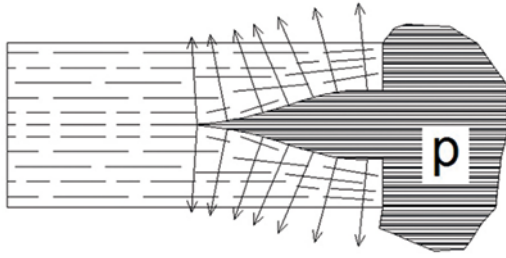
Kestomuovien prosessoinnissa vaadittavat paineet ovat suuria. Tavanomaisessa perinteisessä ruiskuvalussa käytetty ruiskutuspainetta voi olla jopa 400 MPa. Tosin on tunnettu tosiasia, että n. 20 MPa paine riittää täyttämään muotin kunnolla, mutta vaarana on puuosien rikkoontuminen (kuva 2).



KUVA: REIJO HEIKKINEN

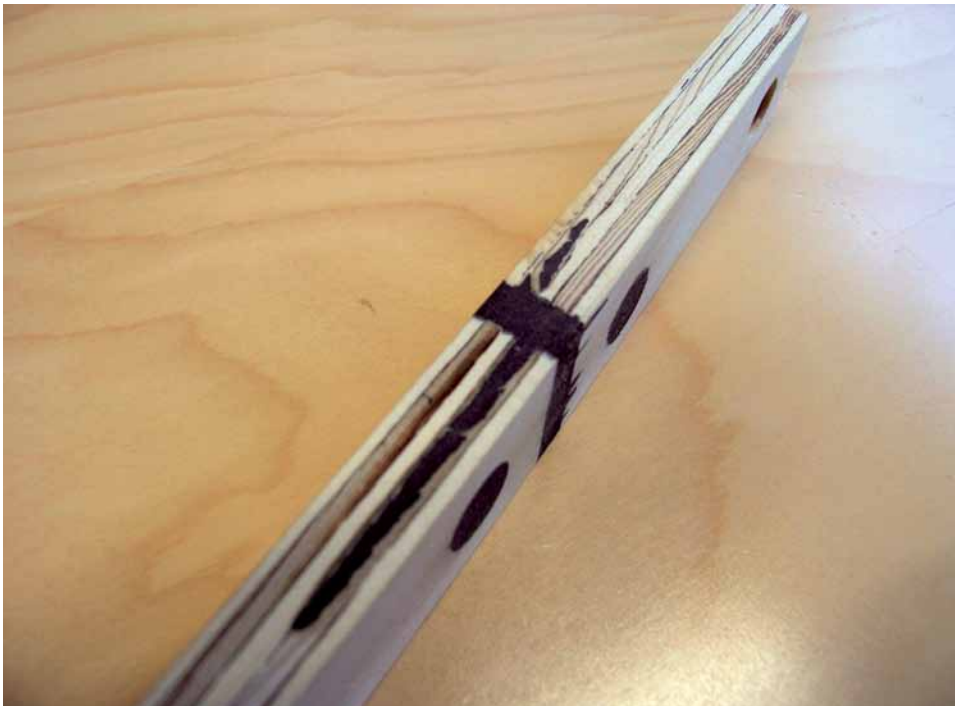
**Kuva 2.** käsittelemätön koivu on rikkoontunut muovin paineen noustessa yli 20 MPa:n.

Koeajoja tehtäessä huomattiin, että jos ruiskutuksen paine on alle 20 MPa, niin rikkoontuminen on epätodennäköistä. On myös huomattu, että paine sulkee puun rakenteen siten, että muovi ei pääse tunkeutumaan puun pintakerrokseen (Järvelä, Järvelä, Tervala 1996). Toisaalta jos painetta nostaa tämän raja yli, on adheesio parempi, mutta puu rikkoontuu suurella todennäköisyydellä. Juuri tässä paineessa kulkee raja, jossa muovi voi irrottaa puun syyt toisistaan ja puristaa puuta kasaan syitä kohtisuorassa suunnassa, kuten kuvasta 3 ilmenee. Tätä voidaan mallintaa vetokokeella, joka tapahtuu syitä vastaan kohtisuoraan. Tällä samalla tavalla mitataan puun halkeamislujutta (Puuinfo 2013). Testit ovat osoittaneet, että vanerilla ja massiivipuulla ei ole havaittavaa eroa rikkoontumisessa tällä prosessilla. Kuvassa 4 on esitetty kuinka vaneri rikkoontuu muovin paineen vaikutuksesta.



KUVA: REIJO HEIKKINEN

**Kuva 3.** Muovi pyrkii halkaisemaan puuta kiilan tavoin ja puristamaan sitä muotin seinämiä vasten. Tämä ilmiö tapahtuu 20 MPa:n paineesta alkaen.

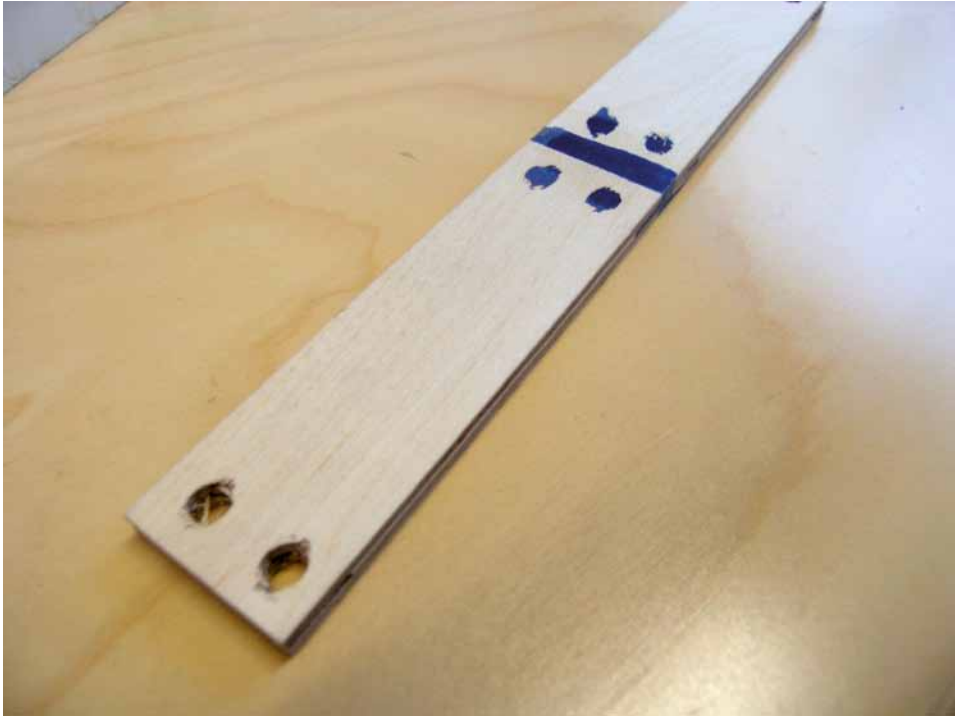


KUVA: REIJO HEIKKINEN

**Kuva 4.** Vanerin halkeaminen tapahtuu samassa ruiskutusaineessa kuin massiivipuun.

Käsiekstruusiossa saatava n. 5 MPa on liian vähän, jotta muotti täyttyisi kunnolla ja välttyttäisi onteloilta muovin sisällä. Lisäksi muovi ei virtaa ahtaisiin rakoihin, vaan muotti täyttyy vajaasti. Massiiviset työkalut ovat tarpeen, koska suuri viskositeetti vaatii kohtuullisen suuret paineet ja suuret paineet vastaavasti suuren sulkuvoiman (kuva 5). Näiden aikaansaaminen vaatii kalliit laitteet, jotka eivät ole kannettavissa tai muuten helposti liikuteltavissa.





KUVA: REIJO HEIKKINEN

**Kuva 5.** Puuhun on koneistettu riittäviä muotoja liitoksen muodostumista varten.

Muovien sulalämpötilat alkaen n. 170° C:sta eivät aiheuta puulle minkäänlaista vauriota johtuen muovin huonosta lämmönjohtokyvystä. Korkein tarvittava lämpötila riippuu käytettävän muovin sulamispisteestä. Suurin ongelma itse asiassa on se, että sula kestopuovi ei juuri kostuta puun pintaa ja siten imeydy puun huokosiin ollenkaan vaikka sen viskositeettia pystytään alentamaan hetkellisellä ylikuumentamisella. Tästä johtuen puun ja muovin välinen adheesio on huono. Adheesiota voidaan parantaa käyttämällä kytKentä-aineita kuten maleiinihapon andyridiä (MAH) tai silaaniyhdisteitä (Free Patents Online 2013a) Myös puupinnan liekitys lisää adheesiota. Ongelma on lähinnä siinä, että muovin ja puun välinen kosketuspinta jää pieneksi johtuen kestopuovien suuresta viskositeetista. Toisin sanoen muovin tunkeutumattomuus ja kostutuksen puute on varsinainen ongelma. Kostutuksen voi tosin tehdä etukäteen liuotetulla polymeerillä, jota imeytetään puuhun ennen ruiskuvalua tai ekstruusiota (Free Patents Online 2013b). Tarttuvuus on parhaita kuitenkin niillä muoveilla, joissa on jo jokin puukuitulujitus. Tämä johtuu siitä, että näissä muoveissa on myös jokin kytKentäaine käytössä. (Wood Plastic Composite Information 2013) Kuitenkin kaikkein luotettavin liitos syntyy, kun puuhun tehdään riittävästi muotoa, johon varsinainen kytKentä perustuu (kuva 5).

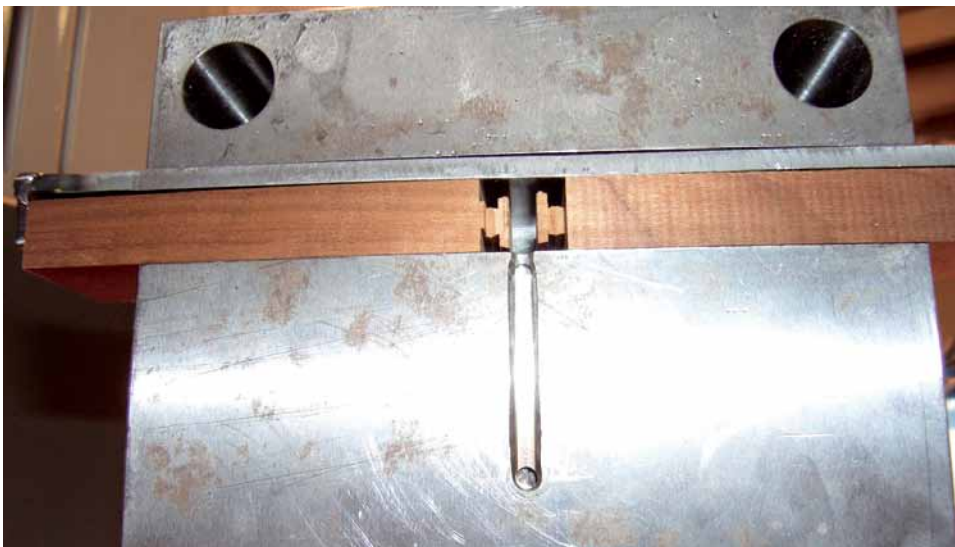
Parhaiten tarttuminen voidaan kuitenkin varmistaa erilaisia tapoja yhdistelemällä. Näitä ovat kytKentäaineiden käyttö, liekitys, matalan sulaviskositeetin omaava muovimateriaali sekä muotoon perustuva liitos ja esilämmitetyt puukappaleet. Yksi tapa on rikkoa puun pinta kuumalla

levyllä (Free Patents Online 2013c). On huomattava muovien prosessoinnin kannalta, että matalaviskositeettisten muovien ekstruusio saattaa olla hankalaa ekstruusioruuvien toiminnan kannalta. Hyvin matalaviskositeettiset materiaalit eivät toimi kovin hyvin takaisinvirtauksen vuoksi. Tämä tarkoittaa sitä, että ekstruderin suuttimen ja muotin aiheuttama vastapaine nousee niin suureksi, että ruuvien kuljetuskyky loppuu.

Muotosulkuinen liitos on varma, mutta sen tekeminen vaatii ylimääräistä työtä. Kappaleiden liitospinnat on koneistettava joko jyrsimällä, poraamalla tai sahaamalla sen muotoisiksi, että sulava muovi muodostaa sulkeutuvan rakenteen puuosan kanssa. Tämä toimenpide toisaalta mahdollistaa erikoisten liitosten toiminnan, kuten liitoksen, jossa jousto yhteen suuntaan on helpompaa kuin toiseen.

Muotoon perustuvan liitoksen toinen huono puoli valmistettavuuden lisäksi on se, että jos adheesio ei ole riittävä, tulee saumasta helposti irtonaisen näköinen. Tämän ilmiön näemme kuvasta 2. Tässä kappaleet pysyvät vielä tukevasti toisissaan kiinni liitoksen muodon ansiosta, mutta tumman lämpökäsittelyn puun ja muovin väli ei ole kiinnittynyt toisiinsa adheesioilla, vaan siihen on syntynyt rako rasituksen johdosta.

Normaalisti ekstruderit ja ruiskuvalukoneet ovat raskaita ja kiinteästi asennettuja, mutta myös samalla hyvin tehokkaita (kuva 6). Näillä koneilla voi tehdä useankin sauman samanaikaisesti, kuten kuvassa 7 on esitetty. Muoviliitoksen tekeminen ei välttämättä vaadi raskaiden ja kiinteästi asennettujen ruiskuvalukoneiden käyttöä, jos tehosta voidaan hieman tinkiä.



KUVA: REIJO HEIKKINEN

**Kuva 6.** Ruiskuvalumuotti, joka on suunniteltu puinserttejä varten. Ruiskuvalukoneeseen suunniteltuna se painaa tässä kokoluokassa n. 70 kg.

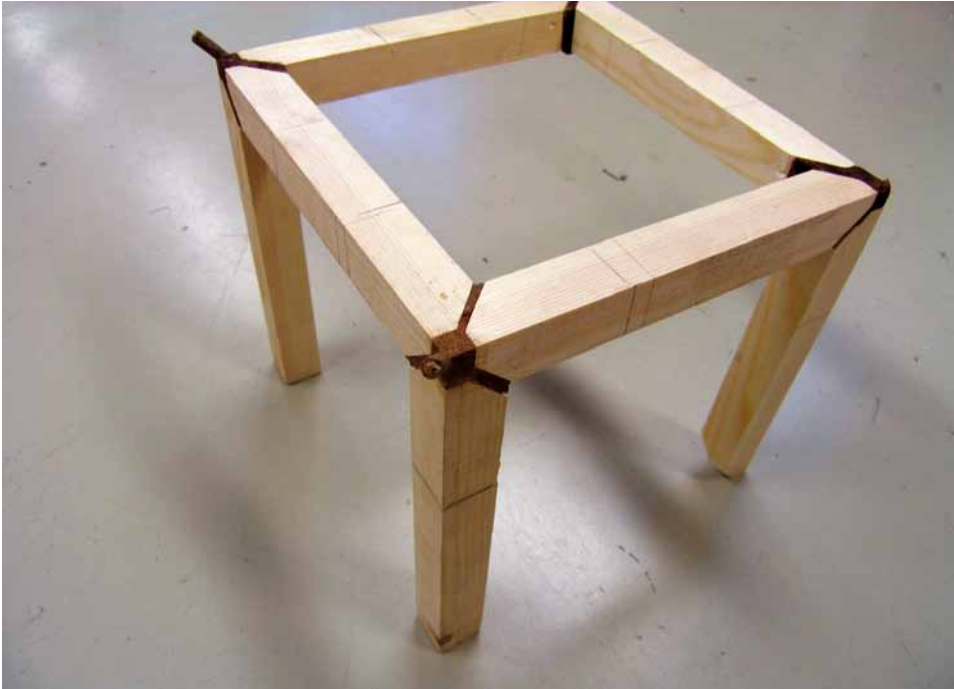


KUVA: REIJO HEIKKINEN

**Kuva 7.** Kerralla valmistettava rakenne voi olla monimutkainenkin, jos sula muovimateriaali saadaan johdettua jokaiseen saumaan hallitusti.

Käsi­käyt­­töiset ekstruusiolaitteet voisivat olla hyvinkin keveitä, etenkin kun ne suunnitellaan siten, että raskaita komponentteja ei tarvitsisi nostella. Tällöin raskaat moottorit ja alennusvaihteistot voisivat sijaita lattialla omassa vaunussa. Vain suhteellisen kevyt muovin ruiskutus­pää olisi helposti liikuteltava. Muotin ei tarvitsisi painaa kuin muutamia kiloja toimiakseen luotettavasti ja tiiviisti. Tähän asti testejä on tehty normaalilla hitsaukseen tarkoitetulla käsi­käyt­­töisellä ekstruuderilla menestyksekkäästi. Tosin tämäkin on raskas kannatella ja työläs sekä hidas käyttää. Uuden sukupolven laitteiden ja materiaaleille tapahtuvan kehitystyön myötä tästä menetelmästä on mahdollista kehittyä uusi mielenkiintoinen mahdollisuus uudenlaisten rakenteiden valmistamiseksi. Uudessa menetelmässä valmistetaan yksinkertainen kevytmetallimuotti, joka sopii kulloinkin käytettävien puuosien ympärille.

Tätä systeemiä on jo kokeiltu laboratoriomittakaavassa ja sitä varten valmistetuilla prototyypeillä. Kuvassa 8 on esitetty puurakenne, jossa kolme puusauvaa muodostaa aina yhden liitoksen. Tämä liitosmuoto valittiin kokeisiin sen takia, että sillä voidaan saada aikaa erilaisia geometrisiä rakenteita samoilla muotteilla ja työkaluilla. Tähän samaan muottiin voidaan myös prosessoida erilaisia materiaaleja. Eri materiaalit syötetään laitteeseen langan muodossa. Liitoksissa tarvittava lisäainelankaa voidaan valmistaa helposti laboratorioekstruuderilla



KUVA: REIJO HEIKKINEN

**Kuva 8.** Käsiekstruusiohitsauskoneella valmistettu rakenne. Saumojen ominaisuudet ovat räätälöitävissä tarpeen mukaan.

Kuvan 8 mukainen rakenne on valmistettu myös elastisista saumoista kolmen 30 mm x 30 mm puusauvan risteyskohtiin. Erilaisilla materiaalivalinnoilla liitos toimii joko tärinän vaimentimena, muistina tai varokkeena.

### Yhteenveto

Nykyisellään muoviliitos tuskin syrjäyttää puun liittämistä liimaamalla, mutta jos liitokselta vaaditaan jotain erikoista ominaisuutta, niin silloin muovi-puu-liitos voi olla varteen otettava vaihtoehto, jonka soveltuvuus tulee tutkia tapauskohtaisesti. Menetelmän yhtenä vaikeutena on oman muotin tekeminen jokaiselle liitostyypille ja mitalle. Asia voi ratketa sillä, että kehitetään tietyntylaiset vakioliitokset ja tehdään muoteista moduulirakenteisia, jolloin muutamista perusosista voidaan saada aikaiseksi kaikki tarvittavat muotit erilaisten liitoksien valmistamiseksi. Menetelmä soveltuu hyvin puusepänteollisuuteen, kuin myös teknisempiin sovelluksiin.

## Lähteet

- Free Patents Online. 2013a. Process for impregnating wood with plastic material [viitattu 8.2.2013]. Saatavissa: <http://www.freepatentsonline.com/EP0532444A1.html>
- Free Patents Online. 2013b. Moisture sealant wood adhesive [viitattu 4.2.2013]. Saatavissa: <http://www.freepatentsonline.com/EP2055753A1.html>
- Free Patents Online. 2013c. Fabrication of plastic and wood veneer composite [viitattu 8.2.2013]. Saatavissa: <http://www.freepatentsonline.com/5423933.html>
- Järvelä P, Järvelä P, Tervala O. 1996. Puulevyjen kestopuovipinnoitteet. Muovien modifointi ja ominaisuudet. VTT.
- Helsingin yliopisto. 2013. Liimaamisen historiaa [viitattu 10.2.2013]. Saatavissa: <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/liimat/historia.htm>
- Material Property Database. 2013. MatWeb, Your Source for Materials Information [viitattu 12.2.2013]. Saatavissa: <http://www.matweb.com/search/MaterialGroupSearch.aspx>
- Puuinfo. 2013. Puun lujuusteknisiä ominaisuuksia [viitattu 10.2.2013]. <http://www.puuinfo.fi/puun-lujuusteknisia-ominaisuuksia>
- Thomas, E. L. 1993. Materials Science and Technology Vol. 12. VCH.
- Wood Plastic Composite Information. 2013. A Technology Review of Wood-Plastic Composites, Washington State University [viitattu 20.1.2013]. Saatavissa: [http://www.wpcinfo.org/techinfo/documents/wpc\\_overview.pdf](http://www.wpcinfo.org/techinfo/documents/wpc_overview.pdf)

Reijo Heikkinen

## ELEKTRONIIKAN MUOVIROMU UUSIOMATERIAALINA

### Tiivistelmä

Sähkö- ja elektroniikkaromun kierrätyksessä on suuri potentiaali käyttökelpoisen raaka-aineen hankintaan. Suomen ympäristökeskuksen mukaan esimerkiksi vuonna 2009 romua tuli käsiteltäväksi n. 50 000 tonnia. Tästä määrästä erilaisten muovien osuus on n. viidennes. Jos nämä muovit saataisi talteen sellaisessa kunnossa, että ne voitaisiin prosessoida uudelleen tuotteiksi, olisi tämä merkittävä raaka-ainelähde.

Tässä tutkimuksessa osoitetaan, että on mahdollista saada aikaan käyttökelpoisia muovimateriaaleja teollisuuden tarpeisiin SER-jätettä käsittelemällä. Saatua raaka-ainetta kulkisi rehellisesti kierrätysmateriaalin statuksella. Muualla kierrätetystä materiaalista emme voisi olla aivan varmoja etteikö sitä myytäisi uutena materiaalina, tai tulisiko sitä maahamme erilaisissa tuotteissa, joissa oletetaan käytettävän uusia materiaaleja. Kierrätetyn SER-muovin määrästä johtuen muovien erottelu ja jalostaminen tulisi tehdä keskitetysti, koska muovin hinta on kuitenkin alhainen. Massakellutus erilaisissa nesteissä voisi olla edullisin vaihtoehto erityyppisten muovien erottamiseksi riittävällä tarkkuudella toisistaan. On myös huomattu, että samantyyppisten muovien sekoittuminen ei välttämättä aiheuta materiaalin laadun heikkenemistä.

**Avainsanat:** SER-romu, kierrätysmuovi

### Elektroniikassa käytettyjen muovien ominaisuuksia

Elektroniikkatuotteissa käytetyillä muoveilla on monia yhteisiä hyviä ominaisuuksia. Niiden on oltava helposti prosessoitavissa kuorimaisiksi kappaleiksi. Kuorimaisiksi kappaleiksi ajetaan yleisesti amorfisua muoveja, joilla on pieni sulakutistuma. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kappaleista saadaan mitoiltaan hyvin tarkkoja. Niillä on myös hyvä lämpöstabiliteetti, eli lämpötilanmuutokset eivät juuri aiheuta niissä vääntyilyä tai mittamuutoksia. Hyvin usein tässä käytössä muoveilta vaaditaan myös palamattomuutta tai niiden on oltava itsestään sammuvia. Joskus materiaalille asetetaan jokin erityinen vaatimus, jota kierrätetyn materiaalin on vaikea täyttää. Moni kierrätetty muovi on ominaisuuksiltaan keskiarvo suuresta määrästä erilaisia muovilaatuja. Lukuun ottamatta tiettyjä tuotteita, kuten pulloja ym. pakkausmuoveja, joille on järjestetty omat kierrätyskanavat, monet muut muovit sekoittuvat keskenään kun niistä tulee jätettä.

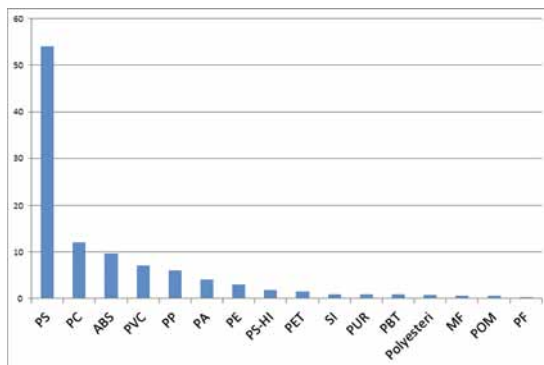
Tässä tutkimuksessa on käsitelty erityisesti kierrätetyn materiaalin ominaisuuksia ja uudelleenkäyttöä. Muovien kierrättämistä pidetään joskus hankalana, koska kierrätetyn muovin uskotaan olevan niin huonoa, että sille on vaikea keksiä samoja käyttökohteita kuin uudelle materiaalille (Kuningaskuluttaja 2007). Toisaalta ei haluta lähettää kierrätysmuovia Aasiaan, koska herää helposti epäily siitä, että kierrätetty muovi ajetaan ns. uutena materiaalina takaisin Eurooppaan. Suomen ympäristökeskuksen mukaan muoveja menee Aasiaan jatkokäsittelyyn (Ignatius, Myllymaa & Dahlbo 2009). Määrä on huomattava, suuruusluokaltaan noin 10 000 tonnia. SER-tuottajayhteisö Ry:n (2013) mukaan virallisissa keräyspisteissä vastaanotetut sähkö- ja elektroniikka romut eivät päädy käsittelyyn EU:n ulkopuolelle.

## Tutkimuksen kulku

Tutkimus perustuu Caballon ja Bordaksen (2008) tutkimusraporttiin. Lahdessa sijaitsevasta kierrätyskeskus Patinasta haettiin elektroniikkalaitteista purettua muovijätettä neljänä eri kertana viikon välein yhteensä n. 19 kg. Näytteiden haku jaettiin pitemmälle ajalle ja useaan kertaan sen takia, että tulos kuvastaisi enemmänkin pitkäaikaista keskiarvoa, kuin yhtenä kertana kierrätykseen tullutta erää. Muovit otettiin talteen siinä vaiheessa, kun ne olivat juuri purettu irti laitteista. Seuraavaksi muoviromu olisi mennyt paalauspuristimeen ja siitä edelleen ulkopuoliselle taholle jatkokäsittelyyn.

Muovikappaleet olivat varsin erikokoisia. Kokohaarukka oli millimetrin kokoisesta osasta aina tietokoneen monitorin tai kirjoittimen kuoriin. Sitä, mihin laiteryhmiin erilaiset osat kuuluivat, ei eritelty sen tarkemmin, mutta suuren osan muodostivat tietotekniikkaan liittyvät laitteet. Keittiölaitteet näyttivät muodostavan seuraavaksi suurimman ryhmän. Tämän tarkemmin asiaa ei tutkittu tällä kertaa. Pääasiana pidettiin yleensäkin tutkittavaksi saatua näyte-erää ja sen koostumusta eri muovilajeittain.

Tämän koko muovierän kappaleiden muovit tunnistettiin joko kierrätysmerkistä tai aistinvaraisesti polttokokeella. Tähän menetelmään päädyttiin suuren näytemäärän vuoksi. Kyseessä oli kuitenkin n. kahden tuhannen yksittäisen kappaleen tunnistaminen. Kun kappaleet oli tunnistettu ja jaettu omiin jakeisiinsa, saatiin eri jakeet punnittua. Muovien seassa oli hieman metalleja ja tunnistamattomia muoveja. Metallien massa ei sisälly muovien kokonaismäärään, myös tunnistamatta jääneet muovit jätettiin pois, koska niiden kokonaismäärä oli gramman luokkaa. Muovien kokonaismäärä tässä vaiheessa oli 18 960,90 g. Kuvassa 1 on esitetty tunnistettujen jakeiden suhteelliset osuudet. (Caballo & Bordas 2008)

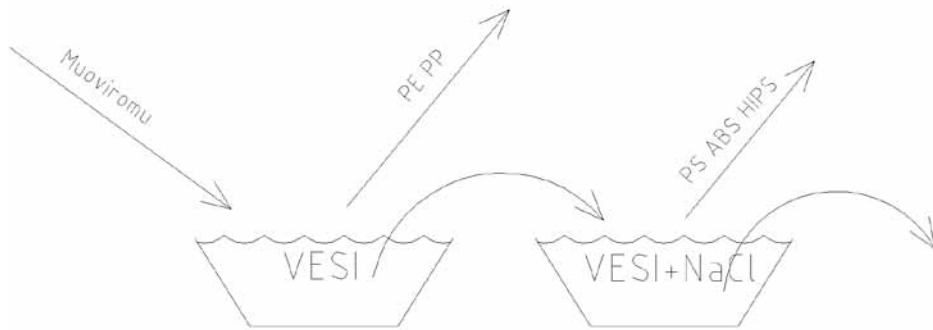


**Kuva 1.** SER-muoviromun erilaisten muovien suhteelliset osuudet Patinan näytteissä.

Erilaisia muoveja löydettiin 16 jaetta. Huomattiin, että kuusi yleisintä jaetta muodostivat 95 % koko määrästä. Nämä kuusi jaetta olivat polystyreeni PS, polykarbonaatti PC, akryylnitriili-

butadieenistyreeni ABS, polyvinyylidikloridi PVC, polypropeeni PP ja polyamidi PA. Kappaleet paloiteltiin murskaamista varten sopivimmiksi paloiksi ja rouhinnan jälkeen muovi oli sopivassa muodossa jatkotutkimuksia varten.

Osalle murskeesta tehtiin kellutustestejä kuvan 2 mukaan. Näissä testeissä huomattiin, että kaikkein kevyimmät jakeet jäivät kellumaan pelkän veden pinnalle. Kun näitä jakeita tutkittiin tarkemmin, niiden huomattiin olevan pelkästään polyolefiineja ja mahdollisia vaahtomuoveja. Vaahdotetut materiaalit voidaan tosin poistaa vaikka ilmapuhalluksella tasakokoisista kappaleista.



**Kuva 2.** Kellutusmenetelmä muovijakeiden erotukseen tiheyden perusteella.

Jos nämä kaksi yleisintä polyolefinijakeetta halutaan vielä erottaa toisistaan, vaatisi tämä ylimääräisen kellutuksen vettä hieman kevyemmässä nesteessä. Tämä neste olisi käytännössä jokin öljy tai vesi-alkoholiliuos, jonka tiheyden tulisi olla polyeteenin ja polypropeenin tiheyksien välissä. Näiden kahden tiheydet ovat valitettavan lähellä toisiaan, joten tämä erottelu ei ole kovin luotettava. Lisäksi kellutusneste olisi melko kallista.

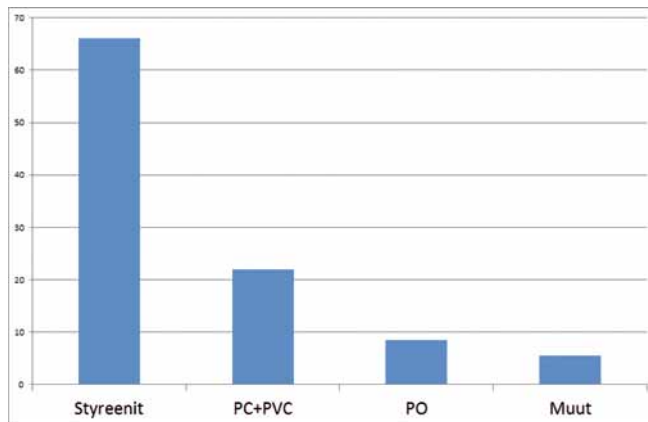
Polyolefiinit ovat melko yhtenäinen materiaalityyppi, jossa eri ominaisuudet saattavat mennä ristiin paljonkin eri muovi-tyyppien välillä. Lisäksi rakenteeltaan ja kemialliselta koostumukseltaan esimerkiksi polyeteeni ja polypropeeni ovat hyvin lähellä toisiaan joten näiden jakeiden sekaisin meno ei ole kovin vaarallista. Prosessointia varten kyseinen seos on karakterisoitava prosessointi- ja mekaanisten ominaisuuksien selvittämiseksi. Polyolefiinit soveltuvat erinomaisesti myös energiantuotantoon (Jätelaitosyhdistys 2013).

Kun kevyimmät polyolefinijakeet oli saatu poistettua, valmistettiin suolaliuos, jonka tiheys oli  $1,1 \text{ g/cm}^3$ . Tässä kellutusliuoksessa kellumaan jäi polystyreeni ja sitä lähellä olevat jakeet, jotka ovat pääasiassa polystyreenin erilaisia kopolymeerejä. Tästä kyseisessä näytteestä saatiin erotettua suolavedellä polystyreeni, styreeni-butadieeni kopolymeeri ja ABS-muovi.



Styreenijakeeseen käy sama toteamus kuin polyolefiinin tapauksessa. Erilaisten kopolymeerien erottaminen kelluttamalla on erittäin hankalaa. Toisaalta eri polystyreenin kopolymeerit näyttäisivät sekoittuvan toisiinsa erinomaisesti. Tätä sekoittuvuutta voidaan mallintaa vaikka Born-Green-Yvon-hilamallilla (Luettmer-Strathmann & Lipson 1998). Pääsääntönä voidaan sanoa, että samantyyppiset muovit sekoittuvat keskenään ja ominaisuudet ovat jonkinlainen keskiarvo yksittäisten komponenttien ominaisuuksista.

Kuvassa 3 on esitetty tässä kokeessa kellutusmenetelmällä aikaan saadut jakeet. Polystyreeni ja sen kopolymeerit ovat enemmistönä yli 65 % osuudella. Seuraavaksi suurin jae on se mitä tässä menetelmässä jää yli, eli pääosin polykarbonaatin ja PVC:n seos. Tämä jae sisältää myös muita muoveja, kuten jonkin verran polyamidia ja muita elektroniikassa vähemmän tarvittavia erikoismuoveja. Kuvassa 3 kohta Muut pitää sisällään kellutuksessa epäonnistuneet materiaalit, tai materiaalit, jotka käyttäytyivät oudosti. Kellutusliuoksiin oli lisätty 0,05 % natriumlauryylisulfaattia pintajännityksen pienentämiseksi ja ilmakuplien poiston helpottamiseksi.

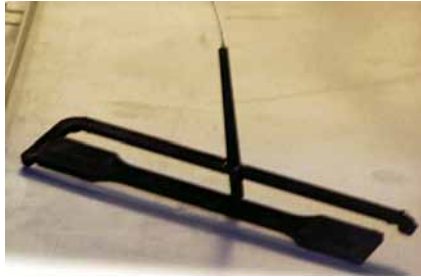


**Kuva 3.** Jakeet kellutusten jälkeen.

## Materiaalikokeet

Varsinaisia koekappaleita valmistettiin polystyreenijakeesta ja polykarbonaatti-PVC-jakeesta. Molempia jakeita kuivattiin uunissa 80 °C lämpötilassa 4 tuntia ennen koeksuojien ruiskuvalua. Kuivatusta rouheesta ajettiin välittömästi EN-ISO 527-1 mukaisia koekappaleita, joille tehtiin veto- ja iskukoe.

Polystyreenijakeen prosessointi onnistui ilman mitään ongelmia ja riittävä määrä koekappaleita saatiin valmistettua. Johtuen rouheen seassa olleesta mustasta materiaalista, kaikki koekappaleet värjäytyivät tumman ruskeiksi, kuten kuvasta 4 näkyy. Polyolefiinijae päätettiin jättää testaamatta, koska sen määrä oli tässä kokeessa niin vähäinen.



KUVA: RELJO HEIKKINEN

**Kuva 4.** Polystyreeninen koekappale.

Taulukossa 1 on esitetty kierrätysmateriaalista mitattuja vetomurtolujuus- ja iskukitkeysarvoja. Kun näitä arvoja verrataan taulukon 2 arvoihin, jossa on erilaisten styreenimuovien ominaisuuksia, voidaan todeta, että tästä koe-erästä valmistettu kierrätysmuovi olisi täysin vastaavaa lujuusominaisuuksiltaan, kuin esimerkiksi iskunkestävä polystyreeni.

**Taulukko1.** Kierrätysmuovin lujuusarvoja.

Iskulujuus IZOD loveamaton	25,5 kJ/m <sup>2</sup>
Keskihajonta iskukoekappaleilla	7,0 kJ/m <sup>2</sup>
Vetomurtolujuus EN-ISO527, 50mm/min	30,3 N/mm <sup>2</sup>
Keskihajonta vetokoekappaleilla	3,3 N/mm <sup>2</sup>

**Taulukko 2.** Uusien materiaalien esimerkkilujuuksia (Matweb 2013).

Iskulujuus IZOD	
PS	9 kJ/m <sup>2</sup>
PS-HI	34 kJ/m <sup>2</sup>
ABS	39 kJ/m <sup>2</sup>
Vetomurtolujuus EN-ISO527	50 mm/min
PS	51 N/mm <sup>2</sup>
PS-HI	26 N/mm <sup>2</sup>
ABS	38 N/mm <sup>2</sup>

Toiseksi suurinta materiaalityyppiä, eli polykarbonaattia yritettiin myös prosessoida ruiskuvalamalla. Tämä ei kuitenkaan onnistunut johtuen materiaalin sisältämästä PVC:stä ja mahdollisesti polyamidista. Koekappaleet olivat täynnä kaasun aiheuttamia rakkuloita. Kaasu on voinut mahdollisesti syntyä PVC:n hajoamisen takia vapautuneesta vetykloridikaasusta ja polyamidin sisältämästä vedestä (kuva 5).



KUVA: REIJO HEIKKINEN

**Kuva 5.** Polykarbonaattisauvaan muodostui niin paljon rakkuloita, että niitä ei kannattanut testata.

## Yhteenveto

Eroteltua polystyreeniä voisi käyttää hyvinkin erilaisten kuorimaisten kappaleiden raaka-aineeksi mekaanisten ominaisuuksien puolesta. Täytyy ottaa huomioon, että materiaali koostuu hyvin moninaista mutta huonosti tunnetuista polystyreenilaaduista ja sisältää sen vuoksi erilaisia riskejä. Tämän takia materiaalin karakterisointi tulee tehdä huolella. Myös prosessoinnin ja tuotteen käytön aikaiset kemialliset emissiot tulisi selvittää mahdollisten terveyshaittojen ja allergioiden välttämiseksi. Jos päästöjä ilmenee, voidaan materiaali ohjata energiantuottoon tai siitä valmistettua kappaleita tulee laittaa käyttöön ihmisten ja elintarvikkeiden ulottumattomiin. Ilman väriin perustuvaa lisäerottelua kovin vaaleita kappaleita ei voida valmistaa. Jakeen seassa oleva musta väri on yleensä niin voimakasta, että se värjää koko erän pieninäkin määrinä.

Varsinaisessa kellutuserotuksessa on monta hankaluutta. kappaleet kannattaa leikata kellutusta varten noin 50 mm:n kokoisiksi kappaleiksi. Tällöin kappaleiden muoto tulee riittävän yksinkertaiseksi, jotta ilmataskuja ei muodostu erilaisiin nurkkiin ja sopukoihin. Toisaalta kiinni tarttuneet pienet ilmakuplat eivät kasvata kappaleeseen kohdistuvaa nostetta liikaa. Veteen lisätty tensidi voi aiheuttaa vaahtoamista. Suolavesikellutuksen jälkeen kappaleet on huuhdeltava ja kuivattava ennen rouhimista, jotta välttäisi korroosiolta.

## Lähteet

- Caballo R. J. & Bordas A.F. 2008. Plastic recycling Project. Muovitekniikan projektityö. Lahden ammattikorkeakoulu.
- Ignatius S., Myllymaa T. & Dahlbo H. 2009. Sähkö- ja elektroniikkaromun käsittely Suomessa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 20/2009 [viitattu 3.3.2012]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=111979&lan=fi>
- Jätelaitosyhdistys. 2013. Energiajäte [viitattu 1.3.2013]. Saatavissa: [http://www.kierratys.info/laji\\_energiajate.php](http://www.kierratys.info/laji_energiajate.php)
- Kuningaskuluttaja. 2007. Muovia vaikea kierrättää 27.10.2007 [viitattu 1.3.2013]. Saatavissa: <http://kuningaskuluttaja.yle.fi/node/1928>
- Luettmer-Strathmann J. & Lipson J. E. G. 1998. Miscibility of Polyolefin Blends. *Macromolecules* 1999, 32, 1093-110. Department of Chemistry, Dartmouth College, Hanover, New Hampshire.
- Matweb. 2013. Material Property Data [viitattu 1.3.2013]. Saatavissa: <http://www.matweb.com/search/MaterialGroupSearch.aspx>
- SER-tuottajayhteisö ry 2013. Virallisiin kierrätyspisteisiin tuodut sähkölaitteet käsitellään ensisijaisesti Suomessa [viitattu 1.3.2013]. Saatavissa: <http://www.serty.fi/fi/news/67/22/Virallisiin-keraeypisteisiin-tuodut-saehkoelaitteet-kaesitellaeen-ensisijaisesti-Suomessa>

Silja Kostia, Eeva Aarrevaara, Sakari Halmemies & Essi Malinen

## CURRICULUM DEVELOPMENT IN THE DEGREE PROGRAM OF ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY

### Abstract

In this paper we describe the curriculum development process in the Degree Program of Environmental Technology in Lahti University of Applied Sciences (LUAS). Both Bachelor and Master degrees are included. Curricula of UASs have been developed to be competence – based emphasizing learning results described by learning outcomes. Integration of R&D and learning is a strategic choice of LUAS and the number of credits integrated with R&D projects is also followed by the Ministry of Culture and Education in Finland. This leads to pressure to develop the curricula to allow increased integration of R&D and learning. During the past decade major changes have been conducted in the degree program concerning the structure and organization of the studies.

**Keywords:** environmental technology, curriculum development, R&D projects, bachelor studies, master studies

### Introduction to the Degree Program in Environmental Technology

The degree program started at the Lahti University of Applied Sciences (LUAS) in 1996. Before that, two groups of “environmental constructors” were started, though not as part of engineering education. From 1996 until 2002, students could choose between two specialization options; Environmental Engineering and Environmental Planning. Both options had 20 places. For the Environmental Planning option, an additional entrance examination was required, consisting of several drawing assignments. Because of the test, the Environmental Planning option had a different enrolment code in the joint application system, and it was considered more or less an independent degree program both in terms of administration and in practice. Joint activities and courses were rare: in fact, there were none until 2007. In practice, the two specialization options were two separate degree programs, because students did not have any options to choose from during their studies. Environmental Biotechnology started in 2002, and 10 places were added to the degree program.

A curriculum reform was carried out in 2010–2011, and a new group of environmental technology students started in 2011. New majors offered are Environmental Engineering (with new content), Energy Consulting, and Urban and Rural Planning. The planning option no longer has an additional examination, nor a separate enrolment code. The new international Master’s Degree in Environmental Technology “Sustainable Urban Planning and Climate Change”, with 20 enrolment places, started in 2012.

LUAS is member of FUAS (the Federation of Universities of Applied Sciences) alliance together with Häme and Laurea universities of applied sciences. Altogether these three universities consist of 21 000 students. The Degree Program in Environmental Technology is strongly linked to focus areas of both LUAS and FUAS. The focus areas of LUAS are design, environment, and the

development of welfare services and the FUAS focus areas are ensuring welfare, technological competence, societal security and integrity and environment and energy efficiency. The curriculum reform and new international master's degree program will further strengthen the connection. Both R&D and education creates expertise, technology, planning and innovations, which will promote sustainable future.

The FUAS alliance conducted a curriculum review process in 2011–2012 and four degree programs from each of the three UASs were chosen for the process, resulting in a total of 12 evaluated curricula. The curriculum review focused on curricula and on R&D integration into learning. The evaluation included seven evaluation items: 1) the integration of learning outcomes of the degree program into the strategies of FUAS and the university of applied sciences, 2) tuition planning, 3) implementation of teaching, 4) support services (library services, student and guidance services), 5) the integration of R&D activities into the strategic focus areas of FUAS and UAS, 6) student-specific and student group-specific effectiveness of teaching and 7) societal impact and regional development. (Pratt, Roth & Auvinen 2012.) Self-evaluation was followed by assessment and a visit of three assessors; from Finland, the UK and the USA. Later a seminar was held for publishing the report. This paper is partly based on material prepared for the self-evaluation.

## Curriculum preparation and structure

The broad definition of “environment” is both a challenge and an opportunity in curriculum work. Environmental technology is based on several fields of engineering, such as civil engineering and chemical engineering, and on natural sciences such as geology, biology, chemistry and physics. A certain amount of basic knowledge and skills are needed (e.g. mathematics, physics), and the challenge is to make students see the connection between basic studies and professional skills.

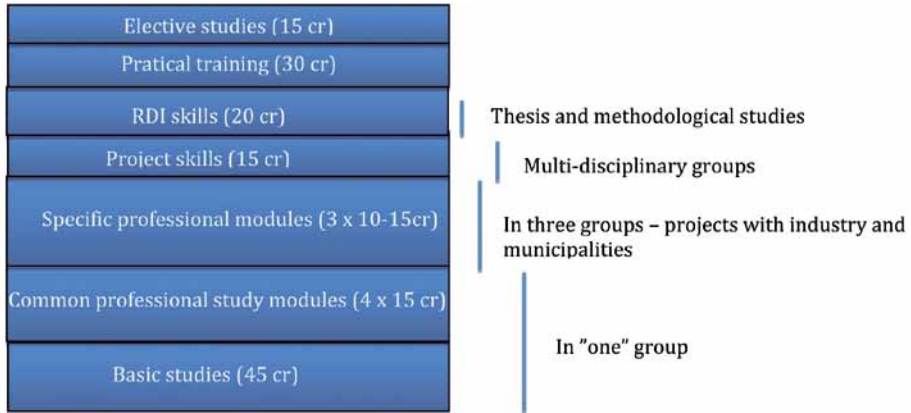
The generic learning outcomes of the curriculum are based on current legislation, the European Qualification Framework, and LUAS guidelines. The workplace relevance was the most challenging one, and the key question was how to define learning outcomes so that the most essential ones are included without oversubscribing.

The curriculum is based on the idea that students:

- understand the planning and development process
- are able to carry out planning and development assignments for a client, report and present them
- understand the differences between different options, and are able to make an informed choice
- are able to work and communicate in international and multi-disciplinary environments

The idea is that students are in one group for 1.5 years, followed by separation into three groups for 1.5 years, during which time students take major modules (in Environmental Engineering,

Energy Consulting, or Urban and Rural Planning) and complete work placements and / or international exchange programs. The fourth year is for the final project, multi-disciplinary projects, work placement and minor/elective studies. The multi-disciplinary projects include students from three majors to work on assignments and to learn project management skills and communication in diverse teams (figure 1).



**Figure 1.** Structure of the curriculum of Degree Program of Environmental Technology.

The new curriculum is based on the idea of integrating pedagogy, which incorporates R&D as part of education. The message from employers is that engineers need project management skills as well as team work and communication skills. Each year of study includes modules and courses which feature assignments from businesses, municipalities and R&D projects. In the first year, the projects are simple, with learning outcomes such as basic team work skills, presentation and reporting. Projects in the major modules in the second and third year are expected to be more challenging, including interaction with and / or presentations to stakeholders (figure 2). The fourth year projects are intended as multi-disciplinary projects. The final project is always an assignment from a business or municipality, or an R&D-project.



PHOTO: SILJA KOSTIA

**Figure 2.** Antti Kautto, who graduated from the program in 2011, is demonstrating sampling in the field for second year B.Eng. students.

### Involvement of different stakeholders in the curriculum process

One driving force of the curriculum reform was the structural development process of the Ministry of Education. Environmental technology education at Lahti and Häme UAS was reviewed by the environmental education group. Metropolia UAS has also previously been a member of the group. Häme UAS has a long tradition of landscape planning, while Lahti decided to focus on urban and rural planning. Similarly, Häme UAS had environmental biotechnology as a part of the Degree Program in Food Technology, while Lahti decided to focus more on energy. The content of environmental technology education programs provided by Mikkeli, Tampere and Vaasa UAS was known.

The first draft of the curriculum was based on the expertise and experience of the three principal lecturers of the degree program. The description, contents and learning outcomes of the modules were presented to the regional advisory board for environmental education, whose members include businesses and representatives of educational organizations. Feedback was collected from the members in small working groups. The next draft of the curriculum was written based on the feedback of the advisory board and other sources such as part-time teachers representing consultancy firms, entrepreneurs and municipalities, as well as environmental authorities. A group of teachers and other experts from the degree program and faculty provided comments on the next draft. The final draft was emailed to the advisory board and certain businesses for final comments.



The following is a list of other stakeholders which are not actively involved in the curriculum process; instead, they provide feedback and signals which are collected and incorporated in the curriculum.

- representatives from businesses, municipalities and regional environmental centers who supervise practical training and final projects, give assignments for student projects and participate in them
- part-time teachers
- alumni
- colleagues from other UAS
- partner universities and research institutes involved in R&D projects
- professional associations
- international partners

Different stakeholders provide different information. Some businesses can give information about practical skills, such as those related to computer programs or planning. Universities or major corporations can give opinions about future needs and challenges. The level and time perspective of feedback varies, but all contributions are valuable and useful in curriculum development. Although stakeholders actively participate in curriculum development, more systematic and continuous collection of feedback from all stakeholders including students, teachers, part-time teachers, businesses and municipalities is needed. Also student involvement could be better.

## **Bachelor Degree Program in Environmental Technology**

Before choosing their majors, according to the new curriculum, all students study the four generic environmental modules as follows:

*Environmental technology 1, 15 cr:* Professional growth, Land and water ecosystems, Inorganic and organic chemistry.

*Environmental technology 2, 15 cr:* Environmental legislation and administration, Waste, energy and water management, Community planning, CAD 1

*Environmental technology 3, 15 cr:* Environmental and quality systems, Life-cycle approach and material efficiency, Assessment of environmental impact, Sustainable development in an urban ecosystem – project, Image processing (Photoshop)

*Environmental technology 4, 15 cr:* Community development engineering and planning of networks, Environmental geo-technology and soil mechanics, Novapoint – design software, Use of geographic information systems, Surveying, mapping and real estate formation

This means that all students get good basics of the new majors, Environmental Engineering, Energy Consulting, and Urban and Rural Planning, before choosing one of them for their major after 1.5 years of study.

Now, in the beginning of February 2013, most of the four generic modules have been studied and choices for the majors have been made. In spite of problems caused by the large group size of over 50 students, and challenges with grouping them, education has worked rather well. The contents of the courses seem to hold their place.

## **Environmental Engineering and Energy Consulting**

These are majors of the new Bachelor Degree Program in Environmental Technology, and fit in very well with the concept of Clean Technology. As we know, the importance of environmental issues is emphasized further, the focus being especially on sustainable development, life cycle analysis, material and energy efficiency, as well as on renewable energy sources.

Although we have not got experiences from our majors yet, plans of how they will be integrated into projects or otherwise adapted to the needs of stakeholders during the forthcoming spring and autumn are presented here.

The major of Environmental Engineering gives priority to environmental monitoring, remediation and restoration of polluted environments, as well as utilising waste by recycling. It is vitally important to monitor the status of the environment, and that will take place both in the field and in the laboratory. Monitoring and sampling courses will be partially integrated with the compulsory activities of authorities involved in closing old landfills.

The goal of the so-called TANKKI-project, administered by LUAS, is to minimize the environmental risks caused by heating tanks in the Häme region. As a part of this project a number of oil-polluted sites will be remediated by using new innovative methods, such as electrokinetic remediation or in-situ chemical oxidation. (Lahti University of Applied Sciences 2013a.) The monitoring and remediation courses are integrated with the TANKKI-project, so that the students can work with a real case by using field monitors, collecting data and searching the literature for new cleaning technologies.

During the courses dealing with waste management and recycling our students work closely with local waste management companies. Many theses on this subject area have been executed in close cooperation with our partners.

As a part of water supply issues our students have the opportunity to visit local water and waste water treatment plants. Consultants are typically used as lecturers in our water supply courses, bringing working-life based problems and cases into what is being learned. Remediation of water courses has been integrated into real projects of lake restoration. Solutions for waste water treatment systems in scattered settlement areas are planned for real target cases.

The BIOLIKE-project has the aim of developing the utilization of biomass for bioenergy, in particular for biogas production. Our Degree Program in Environmental Technology has a task to organize workshops with local energy companies to find out new ways to carry our business with biomass. Our energy orientated students will give their own contribution to these innovating workshops.

In energy issues, one of our main partners is Clean Energy Center Energon, which is an innovative research center for renewable energies. Our energy courses concerning air pollutants and renewables will take place in the Energon facilities in cooperation with their experts. Lahti Region Environmental Services are involved in our air quality education as well. There are further plans in spring 2013 for innovative project participation in the energy field involving both local and international partners. A common theme in all these learning projects is to bring students into contact with the kinds of challenges they are likely to face later in real working life. They are both tested and motivated though deadline- and budget challenges, and with all the pressures associated with team work and customer demands.

Nowadays, our environmental courses are more problem- and working-life based than before, thanks to projects and the availability of active partners. As an example, as a part of Ecomill-project, a storm water management plan for a local construction company was implemented last autumn, and students were very motivated and eager to be able to work with real assignments. This kind of problem-based learning will be increased also in other professional courses as much as possible in the future.

### **Sustainable Urban Planning and Master Degree Program**

A new master program in Engineering was granted to LUAS in 2011 and the Master's Degree Program in Environmental Technology started in September 2012 with a group of 14 students. They are all required to possess at least three years' working experience in a suitable field and have either a Bachelor- or Master level degree. The program is called "Sustainable Urban Planning and Climate Change" and the language of tuition is English. (Lahti University of Applied Sciences 2013b.)

The Master program includes a thesis which is 30 ECTS credits; therefore twice as extensive as a Bachelor thesis. The goal of a Master thesis is to produce a working life based development study which the student can implement for his/her own employer and organization, or also as a part of a suitable R&D project run by the UAS. The degree program is participating in, and coordinating several R&D projects, some of which have offered possible topics to Master thesis works.

The philosophy of the Master program is to collect together a group of professionals with different backgrounds and provide them the opportunity to get an overview of global environmental issues concerning such topics as urban planning, climate change and environmental management. The student group itself works as a learning platform for sharing different opinions in group work and common discussions. Students have the chance to receive influences from different practices and utilize them in their working life or R&D project based thesis projects.

One example of an R&D project integrated into the Master program is the “Urban Laboratory” project, in cooperation with the University of Helsinki and Aalto University. One master student has started his Master thesis dealing with a plan to create a functioning computer environment to present new possibilities to utilize GIS information in planning and providing up-to-date environmental data to different user groups, such as planners, stakeholders and residents. Aalto university research group is providing the new GIS material which will be tested and used in the new environment. Helsinki university researchers concentrate on e.g. measurements of stormwater quality in a new residential area in Lahti before, during and after the building process. UAS Master students can apply their research results in their thesis work concerning stormwater management in urban areas. Also another thesis work will deal with the regulations given in town planning; the aim is to present reasonable regulations concerning stormwater management, green area indicators and other environmental aspects, which nowadays need more attention in planning.

The new program is also a means to strengthen international cooperation with the partner universities of Glasgow Caledonian University (UK) and the University of Salento (Italy). Lecturers from partner schools visit and contribute to the intensive weeks through which the contact education is realized. The same partners also work together with a European Commission Erasmus Lifelong Learning project RESCUE (Reform of Education in Sustainability & Climate in Urban Environments.), the goal of which is to jointly develop Master level studies in environmental science, management and planning (RESCUE-project 2013).

The international Master’s program will include one core and three thematic modules. The core module (Basics and general) comprises input from all consortium partners, while the thematic modules (science, management and planning) represent the focus areas of each partner. After the core module, students enroll in one of the thematic streams, and then join at least one course mate from another stream in their Master’s thesis work. (RESCUE-project 2013.)

A survey of 21 Master’s courses in the EU related to the field of the RESCUE concept was conducted in the project’s application process. Several programs were found to combine different aspects of environmental issues, like management and technology or environmental science and climate change (table 1). However, there was really no program combining science, management and planning in the way the RESCUE concept suggests. The project will contribute to the development of a new class of professionals, who are able to understand, coordinate and synthesize the different strands of urban pressures. (RESCUE 2012.)

**Table 1.** Matrix of the 16 surveyed Master’s courses most similar to the RESCUE concept.

Existing courses offering Master in:	Credits	Years	Country	Sust/Ecology	Engy/res/carb	Global Change	Ecol/Ecosys	Env gov/Mgm	Int dev/Cult	Tech/Engin	Env prob/prot	Urban Plng	Urban Climate	Legis/Policy	Geogr/GIS
Sustainable Development	120	2	NL	x	x	x	x	x	x						
Rsce Recov, Sust Eng	120	2	SE		x			x							
Environmental Studies	120	2	DE+					x		x					
Environmental Eng	120	2	PT					x			x				
Env Mgm & Clean Prod	120	2	EE								x				
Engy Eng, Sust Engy Sys	120	2	SE		x					x					
Env Sci, Policy & Mgm	120	2	SE+	x											
Envir Sciences	120	2	FI	x		x	x	x							
Envir Sciences	120	2	UK					x		x					
Urban Ecol Planning	?	?	NO	x			x		x			x			
Sust Urb Plng & Design	120	2	SE					x				x			
Sust Urban Design	?	2	SE									x			
Environmental Mgm	?	1	IT						x					x	x
Sust Urb Transitions	120	2	SE+	x		x	x	x			x	x			
Sust Urban Mgm	60	1	SE	x			x	x	x			x	x	x	
Clim & Envir Change	?	1	UK		x			x							x
RESCUE Master	90	1,5	FI+	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

## Summary

Over the past decade the structure of the studies in the program has faced major changes: totally different educational options have been integrated as a common program which provides the first one and a half year similar studies to the beginning student group. During the following years there is the opportunity to concentrate on one of the three subject areas, as well as on multidimensional R&D projects. Most professional studies are realized as projects with integrated pedagogy. In the future the challenge will lay on the demands to integrate so-called basic studies like mathematics and physics closely with professional studies. Although the level of R&D projects is already relatively high, it needs constant maintenance. The new Master’s degree program also creates opportunities for a wide scope of R&D projects in the future.

## Acknowledgements

The authors would like to thank lecturer Paul Carroll for the language revision.

## References

- Lahti University of Applied Sciences. 2013a. Tankki-hanke. Öljysäiliöiden ympäristöriskit hallintaan. [Retrieved 14 February 2013]. Available from: <http://www.lamk.fi/tankki/Sivut/default.aspx>.
- Lahti University of Applied Sciences. 2013b. Master's Degree Programme. Sustainable Urban Planning and Climate Change. [Retrieved 15 February 2013]. Available from: <http://www.lamk.fi/english/technology/studies/master-degree-programmes/Sivut/default.aspx>.
- Pratt, J., Roth, G. & Auvinen, P. 2012. Collaboration to achieve a strategic vision. Lahti University of Applied Sciences. Series C, part 117.
- RESCUE. 2012. Reform of Education in Sustainability & Climate in Urban Environments RESCUE. Detailed Description of the project. Lifelong Learning Programme Application Form. 2012.
- RESCUE-project. 2013. [Retrieved 15 February 2013]. Available from: <http://rescueproject.wordpress.com/>.

Marianne Matilainen, Antti Holopainen, Jesse Karhunen, Niko Kuisma, Jaakko Moilanen, Erno Paju, Samuli Peltola, Johannes Tapio & Aleksí Waldén

## ENERGY EFFICIENT SOLUTIONS FOR MOBILE NETWORKS

### Abstract

Awareness of the potential harmful effects to the environment by CO<sub>2</sub> emissions and the depletion of non-renewable energy sources have led to need for developing more energy-efficient telecommunications systems. Majority of power saving methods developed today limit improvements to individual components; new approaches for energy efficiency that also take system and network management into account are still at the research level. As the number of base stations increases, it becomes critical to manage their energy consumption. Solutions could be dynamic behavior and subscriber loading in base stations. We also explore multi-access nature of mobile devices and how it affects power management. Multi-access paging could be a solution to poor battery life management that is caused by end-to-end, always-on connectivity. Future mobile devices will most likely use more diverse interfaces, flow switching by MPTCP scheduler can be used to utilize the best properties of all interfaces. Two Wi-Fi based solutions can be used for energy efficient offloading of 3G networks: these solutions are HotZones and MixZones.

**Keywords:** energy efficiency, mobile networks, cleantech, base stations

### 1 Introduction

In Lahti University of Applied Sciences (LUAS) one of the ongoing projects is Cleantech Engineers project. Clean technology means all products, processes, systems and services, which harms environment less than their alternatives. To be able to design clean technology, new knowledge and skills are needed for next generation engineers. This article is part of the research in Cleantech Engineers project.

Aim of this article is to find the methods to reduce energy consumption in mobile networks. Mobile networks are currently designed for maximum throughput and spectral efficiency, and optimized to operate at full load. In real networks, however, there are significant variations in traffic load which leads into networks being rarely fully utilized. In this article we collect different solutions from research papers concerning energy consumption of mobile networks.

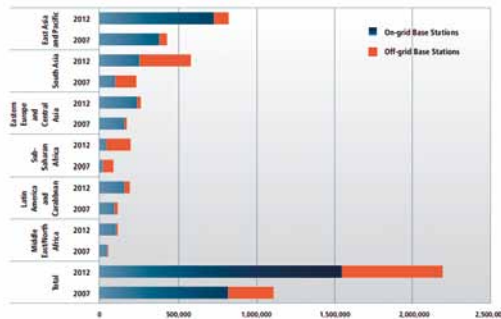
### 2 Mobile Networks in Energy Consumption

Market of cellular networks has grown immensely during the last decade (Hasan, Boostanimehr & Bhargava 2011). More than 4 billion subscribers around the world use their mobile phones on a daily basis (Correia, Zeller, Blume, Ferling, Jading Go'dor, Auer & Van der Perre 2010). With devices like smartphones, tablet computers and networking sites like Facebook, the data traffic of cellular networks has increased substantially in recent years (Hasan et al. 2011). This unprecedented growth in cellular industry has increased energy consumption of the mobile networks and therefore electric bills have become a significant cost factor in mobile communica-

tion industry; energy-efficient solutions are not only matter of being green, but also important economic issue (Hasan et al. 2011; Correia et al. 2010). In addition to financial aspect, mobile networks are responsible about 0.2% of total carbon emissions. This number is assumed to increase every year. (Hasan et al. 2011.) Awareness of the potential harmful effects to the environment by CO<sub>2</sub> emissions and the depletion of non-renewable energy sources have led to need for developing more energy-efficient telecommunication systems. (Oh, Krishnamachari, Liu. & Niu 2011; Dufková, Bjelica, Moon, Kencl, & Le Boudec 2010.)

Telecommunication networks use a significant amount of power and mobile networks are the biggest fraction consuming the energy. In recent studies, it is demonstrated that ICT is accountable for up to 10% of the energy consumption in the world and the telecommunication networks are consuming the biggest piece of it. Approximately 60 billion kWh is consumed alone by the mobile communication networks. (Global Action Plan 2012; Fettweis & Zimmermann 2008; Dufková et al. 2010.)

One base station consumes around 25MWh per year and currently there are more than 4 million base stations worldwide. In developing regions the number of base stations has almost doubled from 2007 to 2012 as illustrated in figure 1. It can cost around 3000\$ per year to operate a base station connected to electrical grid, an off-grid base station, typically run on diesel generator, may cost ten times more. (Hasan et al. 2011; GSMA 2010.)

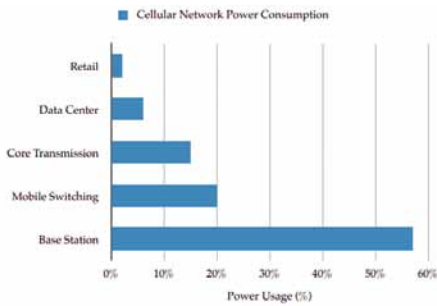


**Figure 1.** Growth in base stations in developing regions 2007 – 2012 (numbers of 2012 are estimates). (GSMA 2010.)

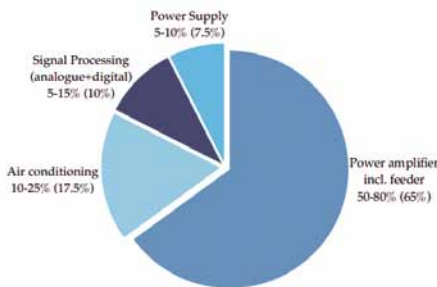
The rising energy costs and CO<sub>2</sub> emissions of mobile networks have led standardization and regulatory bodies such as 3GPP, ITU, ETSI and ATIS as well as network operators to address energy efficiency (Correia et al. 2010; 3rd Generation Partnership Project 2010; ITU-T Focus Group on Future Networks 2010). European Commission has started several projects to address this issue such as EARTH (Energy Aware Radio and neTwork tecHnologies). EARTH concentrates to make radio access networks more energy efficient. The project covers wide spread of activities such as future component research and development. Goal of the project is to find solutions and concepts to reduce energy consumption of mobile broadband systems by 50%. (Gruber, Blume, Ferling, Zeller, Imran & Srinati 2009.)



As seen in figure 2 the base station is the most power-hungry component in a typical cellular network (Han, Harrold, Armour, Krikidis, Videv, Grant, Haas, Thompson, Ku, Wang, Cheng-Xiang, Le, Tan Anh, Nakhai, Zhang, Jiayi & Hanzo 2011). 65% of the base stations power is consumed by power amplifier as seen in figure 3 (Correia et al. 2010). These figures give us great knowledge when researching possible avenues for reducing energy consumption in mobile networks (Hasan et al. 2011).



**Figure 2.** Power consumption of a typical cellular network. (Han et al. 2011.)



**Figure 3.** Power consumption distribution in radio base station. (Correia et al. 2010.)

Energy efficiency is a concern of operators, regulatory bodies and the society (Hasan et al. 2011). Several research issues and challenges have to be solved, but it is crucial to find and consider different technologies to make mobile networks more energy efficient to minimize the financial and environmental impact for network operators and the society (Correia et al. 2010).

### 3 Solutions to improve mobile networks energy efficiency

#### 3.1 Base station architecture

In the last couple of years the number of worldwide cellular base stations has increased dramatically. This means higher operating costs of networks, not to mention increased greenhouse gases and pollution (Hasan 2011). One base station can take up to 1400 watts of power and cost annually \$3,200 with CO2 emission of 11 tons (Deloitte 2010). 80% of the energy consump-

tion of an operator comes solely from radio network. As the number of base stations increases, it becomes critical to manage their energy consumption. (Hasan 2011.)

Radio, baseband and feeder are essential parts of the base station. Energy consumption-wise radio consumes more than 80% of base stations' energy requirements, of which power amplifier (PA) consumes about 50% (Amanna 2010). 80 to 90% of PAs energy is wasted to heat. In order to manage the quality of radio signals, modern base stations need PA linearity and high peak-to-average power ratios, therefore they are inefficient. Because high linearity is wanted, PAs have to operate below saturation (Correia et al. 2010). Low saturation means poor power efficiency, 30%–40% depending of technology used (Correia et al. 2010; Claussen, Ho & Pivitt 2008.)

PAs with special architectures seem to be the answer for low efficiency levels (Hasan et al. 2011). Digital pre-distorted Doherty-architectures and Aluminum Gallium nitride (GaN) based PAs can operate at 50% power efficiency levels (Hasan, et al. 2011). Doherty PAs provide additional linearization while GaN PAs can withstand higher temperatures and voltages, so they can provide higher power output. Switching to Switch-mode PAs from traditional analog RF-amplifiers can also bring improvements in efficiency. Switch-mode PAs tend to operate cooler and use less current. Switch-mode PA turns its output transistor on and off at an ultrasonic rate. No current is consumed when transistor is off and when on, no voltage is produced. (Hasan et al. 2011.) Overall component-efficiency of a switch-mode PA could be around 70% (Claussen et al. 2008).

Modulation also plays a role in PAs power efficiency (Hasan et al. 2011). For instance, if data is prioritized over voice with higher modulation schemes that require additional filtering, linearity of a PA improves (Amanna 2010). Linearity requirements can also be reduced with different linearization techniques such as Cartesian feedback, digital pre-distortion and feed-forward with different digital signaling processing methods (Louhi 2007).

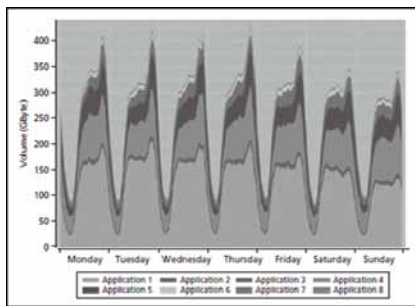
In remote locations of the world where electrical grids are not at hand or are capricious, cellular network operators rely on diesel powered generators to run base stations. Running base stations with generators is expensive; operating one generator cost around \$30 000 per year. In these remote locations generators could be replaced by sustainable biofuels, solar and wind energy. Adopting these new strategies could save substantial amount of money, since these stations are cheap to maintain. Also, CO<sub>2</sub> emissions are not generated. (Hasan et al. 2011.)

Cellular operators have been unwilling to invest base stations that operate on renewable energy because of their costly nature. Furthermore, lack of know-how and fear that they are not commercially viable are also concern. (Hasan et al. 2011.) However, GSMAs report shows that it is technically practicable and financially attractive solution to use green power technologies (GSMA 2010). At many sites, payback period is less than three years (GSMA 2010).

Nowadays connection between RF-transmitter and antenna is done by coaxial cable which loses around 3dB of the power (Claussen et al. 2008). Low power RF-cables should be used instead and distance between antenna and RF-transmitter should also be minimized to improve power efficiency (Claussen et al. 2008; Bassoo, Tom, Mustafa, Cijvat, Sjoland & Faulkner 2009.)

### 3.2 Solutions for more energy efficient cellular networks

Mobile networks are designed to provide reliable service coverage and QoS (Quality of Service). This leads to a situation where networks and cells are seldom under full load, because traffic demand varies strongly by location and is subject to changes to user behavior over hours and days. In figure 4 data traffic of a real mobile network over a week is shown. The traffic volume follows a regular pattern over the week, showing periods of low traffic during night hours and peaks during evening hours when people are at their leisure and are using mobile devices for phone calls and internet access. (Blume, Eckhardt, Klein, Kuehn & Wajda 2010.)



**Figure 4.** Weekly traffic volume of a real mobile network. (Blume et al. 2010.)

From the energy conserving point of view, low loads should be avoided. In the following, four methods of reducing idle and unused capacities – as well as dynamically adapting the networks to actual traffic load and service demands – are discussed. Two RRM-based (radio resource management) and two SON-based (self-organizing network) approaches are introduced. The first two are called short-term approaches and the latter two long-term approaches. (Blume et al. 2010.)

The first short-term approach is called micro-sleep. In today's wireless telecommunications, such as WLAN and 3GPP, sleep modes are utilized. They involve maximizing the uptime of a battery-powered mobile device by falling to a sleep mode when no data service is running and waking up when a paging signal from a base station is received. The base station remains permanently active, sending system information and maintaining the connection between the mobile terminal and itself. Next-generation mobile system will also have to introduce a power saving – a micro-sleep – mode for the base stations for when the system load is low. The base station scheduler can be modified to aggregate traffic, so the length of gaps between transmissions is increased to enable micro-sleep for the signal processing and power amplifier. Also, the sending of system information could be reduced or only sent on request. Next-generation radio access technologies, such as LTE-advanced, are candidates for deployment of micro-sleep. (Gruber et al. 2009; Blume et al. 2010; 3rd Generation Partnership Project 2009a.)

The second short-term approach, called dynamic spectrum reduction, is an alternative to time-based micro-sleep. This approach works in the frequency domain. It is a method of reducing the width of the emitted spectrum depending on the current load situation by making the base station scheduler energy aware. This reduction is beneficial because a smaller spectrum can be emitted with greater efficiency by suppressing the pilot signals in the outer parts of the spectrum, which conserves energy. In today's systems, 10 to 20 percent of the full load transmission power is used by the system information channels and by these pilot signals even when no user data is transmitted. By using dynamic spectrum reduction, it is estimated that power consumption on low load situations can be reduced by 20 percent on average. (Gruber et al. 2009; 3rd Generation Partnership Project 2009b.)

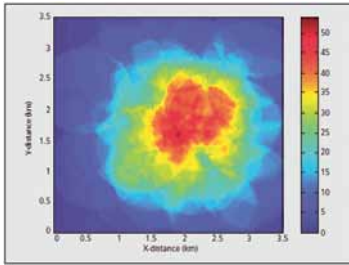
Besides dynamic spectrum reduction, another approach for improving energy-efficiency is dynamic operation of base stations itself. Operation of base station equipment is the key source of energy usage in cellular networks. As stated before, base stations contribute 60-80 percent of the total energy consumption. High energy consumption of the base stations leaves room for improving their energy-efficiency. (Oh et al. 2011.)

Today's base stations operate based on peak traffic estimates. Idea behind dynamic operation of the base stations is that base stations would be shut down during low traffic periods, while still maintaining coverage. Table 1 represents how close to maximum peak actual traffic reaches. During weekdays 30.2 percent of the time the traffic is less than 10 percent of peak, during weekends low traffic period increases to 43.3 percent. Assuming two weekend days in a week average low traffic period time during a week is 34.0 percent. (Oh et al. 2011.)

**Table 1.** Analysis of sample cellular traffic load profiles: the percentage of the time the traffic is below 5%, 10%, 20% of peak traffic estimate. (Oh et al. 2011.)

Threshold	Weekday	Weekend	Average per week
5% of peak	23.2	29.8	25.1
10% of peak	30.2	43.3	34.0
20% of peak	38.6	75.6	49.2

Next consideration in dynamic operation of base stations is level of redundancy. Assuming maximum range of 700m for example, figure 5 shows over 50 base stations from different operators overlapping in the center of Manchester area. While maintaining over 95 percent coverage (remaining 5 percent will be covered by techniques such as multihop relay) it is possible for individual operator to shut down 25–65 percent of their base stations and save around 8 to 22 percent of energy. If operators were to co-operate in sharing base station resources it would be possible to shutdown 85 percent of base stations during low traffic periods in Manchester center area and acquire energy savings of 29 percent. These amounts of energy savings translate from 32 to 68 kWh energy savings and 200 to 376 metric tons of annual CO2 emissions. (Oh et al. 2011.)



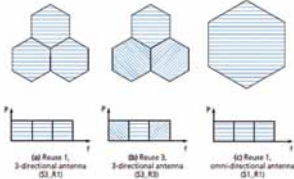
**Figure 5.** Redundancy in the cellular coverage of the Manchester area. (Oh et al. 2011.)

To reach such significant energy savings there are still multiple issues to work out before implementing dynamic base station operation in practice. When shutting down base stations it is important to maintain coverage and service quality. During low traffic periods this issue can be overcome by increasing transmit power of base stations, but this technique requires further research. Multihop relays are one possibility to extend coverage of base stations, by allowing some devices to relay traffic from end users to base stations. Multihop relays would help in coverage extension, but more research is needed. Heterogeneous cell sizes should also be considered with dynamic base station operation; this could lead to further energy savings in case of dynamic operation. During low traffic periods it would be possible to shut down smaller cells. However, energy efficiency with varying cell sizes is complex topic and also requires further study. (Oh et al. 2011.)

The last two approaches discussed here are long-term approaches. The first long-term approach is a method of switching off a whole sector or cell at times of low network load. This has a significant impact on conserving energy. It releases the baseband processing entities and the power amplifier since no system information and pilots need to be transmitted. It also indirectly reduces the energy consumption for air conditioning in cabinets and DC power conversion is also reduced. The main challenge of this approach is to maintain capacity over the coverage area of the cell that is being switched off in order not to degrade the coverage and the quality of service. Therefore, before switching off a cell, its current load must be routed to another cell. This shift is not restricted to cells of the same technology. If available, a handover to another radio access technology is also possible. (Blume et al. 2010; 3rd Generation Partnership Project 2009.)

The second long-term approach is a method of applying different changes to the sector topologies of the network for conserving energy. The goal of this method is to make the network radio topology adapt to the network load: in example, in times of low load, the network is reconfigured to a topology with lower capacity and radiated power. This can be achieved with sectorization and frequency reuse. Sectorization is dividing a cell in sectors where usable resources such as bandwidth and time can be re-employed at each sector, increasing the total capacity of the network at the cost of increased interference produced by additional sectors. In low load situations, stepping back from multi-sector cells to single-sector cells is beneficial, as it results in decreased interference, and therefore, reduction of radiated power and energy consumption is possible.

Frequency reuse splits the available spectrum into equally sized parts whose number is defined by reuse factor. In hexagonal cell layouts, reuse factor of 3 is optimal for 3-sectorized cells, because the frequency of cells can be arranged to avoid neighboring sectors using the same spectrum. In this way, the critical interference conditions at the cell border can be resolved. Figure 6 illustrates frequency reuse in different sectorization schemes. (Gruber et al. 2009.) (Blume et al. 2010.)

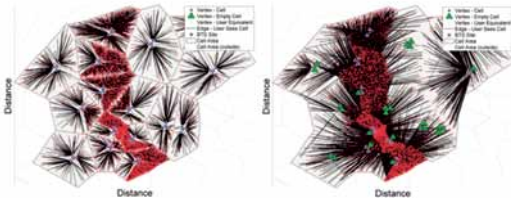


**Figure 6.** Radio topologies of the network (3rd Generation Partnership Project 2009).

When the fixed infrastructure of mobile telecommunication networks was built, saving energy cost was not the primary goal in its design. There are several indications which tell us that it is possible to get significant gains by optimizing network design, operation and traffic management. (Dufková et al. 2010.)

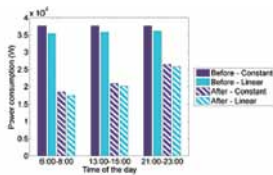
By tracking user data, it is feasible to predict user to cell association in cellular communication network. With this solution it is possible to get 25% to 50% energy savings utilizing user prediction, depending on the time of the day. The main thing is adapting user to cell associations as closely as possible to the actual traffic. This way it is possible to shutdown some of the transceivers. The problem is formulated as a binary integer programming problem and the problem is solved by a heuristic, the greedy algorithm. (Dufková et al. 2010; Dufková, Le Boudec, Kencl, & Bjelica, 2009.)

In figure 7, change can be seen in user allocation before and after the optimization. The amount of empty cells increases from 0 to 24, due to the fact that some of the formerly underutilized cells started to serve user equivalents from adjacent cells. (Dufková et al. 2010.)



**Figure 7.** Visualization of optimization results. Left = Original, Right = Optimized. (Dufková et al. 2010.)

Figure 8 summarizes the power consumption of the network before and after the optimization. In the test all BTS sectors corresponding empty cells are considered switched off. As can be seen, the potential energy savings for low traffic conditions (6:00–8:00) are up to 50%, moderate traffic conditions (13:00–15:00) up to 40% and up to 25% for peak traffic conditions (21:00–23:00). All these savings are caused by the increased amount of empty cells after the network optimization. (Dufková et al. 2010.)



**Figure 8.** Summary of energy savings. (Dufková et al. 2010.)

It is clear that when some of the cells are switched off, the number of users per cell rises which can have a negative effect on the quality of service. Table 2 summarizes the how the user allocation optimization impacts on fairness (fairness is measured using Jain’s fairness indexes) of delay and throughput distribution among all user equivalents. As the table shows, the influence of user association optimization on fairness is very negligible. (Dufková. et al. 2010; Jain, Chiu & Hawe 1984.)

**Table 2.** Impact of optimization on fairness. (Dufková et al. 2010.)

Jain’s index [%]		6:00–8:00		13:00–15:00		21:00–23:00	
		Before	After	Before	After	Before	After
Delay	median	99.99	99.96	99.97	99.97	99.97	99.96
	95% q.	99.31	97.59	98.11	97.88	97.98	97.82
Throughput	median	92.29	92.39	92.59	92.62	92.20	92.28
	5% q.	100.00	99.97	99.98	99.97	99.98	99.97

This solution is network-centric view, aiming to reduce the energy consumption of the operator, focusing on data traffic. With concrete algorithm to perform user to cell association it is possible to get potential energy savings, which is far from negligible. The solution also has small impact on the quality of service. (Dufková et al. 2010.)

### 3.3 Multi-access device energy efficiency

This chapter explores the evolution of mobile devices and their respectful technologies, and considers the implications of our mobile networking architecture from the view point of energy efficiency. Currently, smart phones can stand idle for hundreds of hours, but once fully engaged can only remain active for a few hours. This is due to limitations of battery technologies, and the way signaling happens on the protocol stack. The internet works by placing all intelligence on host computers, which have to employ end-to-end, always-on connections to be able to exchange information. This host-centric internet paradigm is ill fit for energy efficient design for our mobile devices, and as such patches made to the currently deployed protocols for increased energy awareness are simply not enough for an order of magnitude increase in battery life. Additionally, for dramatic increase in battery life, advancements in power management technologies must be gained in several fronts, instead of optimizing any single component. (Pentikousis 2010.)

During the history of the mobile devices, bulky and featureless phones have been turned into multi-use devices and practically computers on their own. However, their form factor has not grown in size since their early days. This places enormous challenges for power management, as users expect to use their - now much more featured - devices at higher intensity. In addition to battery life limitations, heat dissipation is also an important factor, considering the high requirements of processing 100Mb/s OFDM channel are at 210–290 GOPS. To prevent overheating, the overall energy consumption should be no more than 3W. Even though the core power consumption of digital signal processors has dropped from 1mW/MIPS to 0.1mW/MIPS, the advances in hardware energy efficiency have been traded for extended software functionality, leading to zero net gain in device operational time. (Pentikousis 2010.)

Currently, the battery technology development can said to be stagnated. The yearly increase in average nominal battery capacity was 3.52 percent during 1996–2008. Smartphones today can access many types of internet-based services. These types of services not only directly increase energy demands for the phone due to radio interfaces being in active use most of the time, but limit the occasions when the phone can be put into idle state as well. Thusly the overall increase in battery capacity is grossly under matched by the increased use of internet based services. The current lithium-based cell technologies are representing the pinnacle of cell development, with the next major upgrade forecasted as far as 2050, if proper research effort is given. It is clear that improvements in battery technology will not be the answer for energy efficient mobile networking. Incidentally, considering the environment, the increased use of mobile devices leads to about 25 000 tons of cell phone batteries that need to be disposed of every year. Finding ways to decrease the time interval in which the cell phone needs to be recharged would lead to much less environmentally dangerous waste, as a typical cell phone battery has about 1000 operation cycles. (Pentikousis 2010.)

In effort to increase battery life of smartphones, energy waste must be reduced from top to bottom in the internet infrastructure. The goal is to offer global reachability, while maintaining seamless and energy-efficient connectivity. However, the current internet architecture and operation assume always-on connectivity, and disconnections are assumed to be routing failures. This does not work well with mobile devices with limited battery capacity, as keeping the radio interfaces always active poses a significant battery drain, when the device could be in an idle state instead. (Pentikousis 2010.)



Despite failings of TCP/IP in cellular networking, major telecommunication bodies are advocating All-IP architectures. 3GPP Release 8 brings in the Evolved Packet System, supporting multiple radio access technologies, hoping to cope with increasing levels IP traffic in cellular networks. IEEE has also completed the Media Independent Hand-over Services standard, which assumes IP as the network layer protocol. The Media Independent Hand-over Services standard will have an important role on the future of multi-access cellular networks. Multi-access devices can use all of their radio interfaces to connect with their surrounding networks. The smartphone could dynamically choose which interface to employ, referred to as always best connected. In this manner, the smart phone may operate by downloading large files by Wi-Fi and getting email notifications from the cellular network. Currently smartphones come with simplified interface management, which simply allows them to be turned on or off. This leads to inefficient use of battery life and paging has been considered as the answer. Multi-access paging, much like the predecessor cellular paging to wake the device from idle state, could increase operational time by decreasing energy consumption when the phone is not being actively used. This leads to the need of pairing with other methods to decrease energy consumption during active use. A similar method called multiradio power management (MRPM), can for example wake another interface by using the current interface, put several interfaces into idle mode, or configure idle interfaces when the phone enters a said coverage area. The design of optimal algorithms for this type of decision making is a work in progress. (Pentikousis 2010.)

### 3.4 Energy efficient mobile data transport

The biggest energy consumer in smartphones is the internet connection. Smartphones typically connect to the internet using cellular network or using a Wi-Fi connection. Wi-Fi connections are usually faster than 3G and spend less energy per bit when the connection is initiated. The problem is that smartphones spend most of the time in idle mode. Cellular connections are more energy-efficient in idle mode than Wi-Fi. Wi-Fi connections require user interaction and also have limited range when compared to cellular networks and that's why cellular networks are usually used as the default connection in smartphones. (Cot'e, Meyerson & Tagiku 2010.)

Some researchers have proposed that mobiles devices should be proactively connected to the internet. They have been researching energy-efficient ways to connect to a Wi-Fi connection when available. This kind of opportunistic Wi-Fi connection uses the benefits of Wi-Fi during data transfer and the benefits of cellular connections during idle periods. This alone isn't enough to ensure optimal energy usage. We should try to schedule as many data transfers as possible into a timeframe when Wi-Fi connections are available. Scheduling would lower the high demands on cellular networks. (Cot'e et al. 2010.)

To address this scheduling problem, researchers have proposed usage of call 2-network packet scheduling. Packets have an associated value gained by sending over a cellular connection and a value gained by sending over a Wi-Fi connection. These values interpret numerically to the utility gained by successfully sending the packet per unit energy spent. Because Wi-Fi connections are more energy efficient, packets should be saved for times when Wi-Fi is available. However, packets also have an associated deadline by which they must be sent in so they can receive a value. That is why it's sometimes better to send a packet over the cellular network when there is no hope for sending it over Wi-Fi network. (Cot'e et al. 2010.)

Packet and task models are commonly used in wireless connections. Packet model offers a level of granularity which task model can't offer. It allows better performance in the presence of shorter Wi-Fi connections. Additionally quicker adjustment is achieved when a user enters a Wi-Fi hotspot. These cases may compose only a small fraction of the overall energy footprint of the smartphone. This implies that the average connection time to a Wi-Fi hotspot is quite long. In this case we can expect that all packets from a divided task will be sent over the same network connection therefore closely resembling a task model. (Cot'e et al. 2010.)

Two algorithms have been created to solve the problems. The first assumes that all packets are already known up front, but may still arrive at varying times. This model is useful when there are many recurring tasks in the system and few on-time tasks. The second assumes the availability of cellular networks and Wi-Fi connections at each time step are known in advance, but packets arrive in an online fashion. This algorithm is good when the mobile device has a predictive system that can actively learn the user's daily routine and thus predict the Wi-Fi availability at each time step. (Cot'e et al. 2010.)

### 3.5 Multipath TCP

Multipath TCP is backwards-compatible extension for TCP that makes it possible to use simultaneously several network paths between two end systems for a single TCP connection. This increases connection's performance and reliability. It is also possible to use Multipath TCP to shift active connections from one network path to another without breaking them. Connection shifting is especially intriguing on mobile devices that consist of multiple radio interfaces, as it can be used for constant connection shifting between the network paths for most energy-efficient connection. Utilizing such energy-efficient method requires multipath scheduler for Multipath TCP. (Pluntke, Eggert & Kiukkonen 2011.)

Nowadays mobile devices are usually equipped with several radio interfaces, such as Wi-Fi and 3G. Providing connection to internet by multiple interfaces is known as "multi-homed" connectivity. Multi-homed means that the device has more than one IP address and that it connects to the internet topology in different topological locations in unison. When commencing a communication session to another internet host, a multi-homed device can consequently pick between several paths to that destination IP address. (Pluntke et al. 2011.)

Neither of the two predominant internet transport protocols (TCP and UDP) support multi-homing well, as both of the protocols will "lock" the once established communication session, between local and remote IP address, to the one specific path until the session finishes. The shifting to another network path is not possible and if either the remote or local address becomes unavailable, all sessions over that specific network path are terminated. It is therefore rather difficult to utilize the flexibility that the multi-homing offers with existing protocols. For mobile devices there are even more problems as they are battery-powered. The energy consumption, transmission capacity, delay and range differ greatly between radio interfaces. The device can try to pick the best current interface for the session but for longer-lived sessions the best interface rarely stays the same as the time passes. Problems like, ending up with active connections across multiple radio interfaces, which wastes great amount of energy to keep radio ready for transmission or reception are likely to occur. Using a path that is already in use by other session

is also undesirable as the session may be established over an inferior path, for example one with less capacity. (Pluntke et al. 2011.)

The solution for these problems would be to enhance the multi-homing support capability. MPTCP is a decent candidate for solving these problems as it enables the concurrent use of multiple network paths between two end systems and can also shift the active connections to another path. In order to use Multipath TCP, both end systems must support it. However, it is less beneficial and more difficult to deploy MPTCP in datacenters and content servers so the ISPs should deploy proxies that translate between the standard TCP and the MPTCP, since there are very few servers that support MPTCP on the internet at the moment. Scheduler architecture requires three components: First, MPTCP-capable mobile device so that the multipath transfers can be used with servers capable of using MPTCP. Second, MPTCP-capable proxy that permits the use of MPTCP for connections to single TCP servers on the internet. Third, a MPTCP scheduler on the mobile device that is responsible for controlling the interface switching. (Pluntke et al. 2011.)

Different interfaces are energy-efficient in different throughput regions. 3G is optimal for high throughput while Wi-Fi is optimal for low throughput; this encourages the use of MPTCP-based flow switching to minimize energy consumption. Simple switching between interfaces depending on the throughput levels is not optimal either, since some interfaces use long timeouts, such as the 3G's 5 second DHC timeout and FACH timeout of 2 seconds, and complex finite state machines to control throughput and energy consumption. Because the protocol-issues with TCP being bound to single IP address, the scheduler algorithm (Markov decision process) is needed for the MPTCP to enable seamless flow switching of active connections without breakage. MDP has been proven to work effectively as part of MPTCP scheduler. Because future mobile devices will most likely use more diverse interfaces, flow switching by MPTCP scheduler can be used to utilize the best properties of all interfaces. (Pluntke et al. 2011.)

### 3.6 Offloading with two energy saving algorithms

Two Wi-Fi based solutions can be used for energy-efficient offloading of 3G networks. The First solution is called HotZones algorithm which would require covering a fraction of a cell with Wi-Fi access points. The second solution is called MixZones algorithm which exploits opportunistic exchanges between smartphones in the area of its effect. (Ristanovic, Le Boudec, Chain-treau & Erramilli 2011.)

A HotZone is a cell which would be partly covered with operator owned Wi-Fi access points. The coverage itself doesn't have to be perfect. When a user is in the range of these access points, he can expect to receive requested content through one of the access points with the probability  $p$ . (Ristanovic et al. 2011.)

The process to start creating a HotZone starts with an operator extracting typical mobility profiles, which are referred as User Mobility Profiles (UMPs), from its subscribers. Cells are ranked based on average number of daily visits. Then, a set of HotZones  $H$  are chosen, so that the cell that has most daily visits is added first to the set and the one with second highest visits second, etc. Once the HotZones  $H$  are created, an operator sends it to each user, along with the users

UMP. Mobile applications can use the set of HotZones and UMP to predict Wi-Fi availability. (Ristanovic et al. 2011.)

$S_r^u(t)$  denotes the collection of pending requests of a user  $u$  that are still not server at time  $t$ . The current cell of the user is denoted as  $c$  and the maximum delay user permits is denoted by  $D$ . When a request  $r$  is created, a timer  $Tr$  with timeout equal to the  $D$  is set by the application. If the request is not served before the timeout, it is served via 3G. Using these parameters, the application on the user  $u$  smartphone performs Procedure 1 (figure 9) every  $T_p$  minutes. (Ristanovic et al. 2011.)

```

if ( $S_r^u(t) \neq \emptyset$ ) then
  if ( $c \in H$ ) then
    Turn on WiFi interface;
    Try to serve all  $r \in S_r^u(t)$  via WiFi;
    //a success with probability  $p$ 
  else
    Get  $\tau_H^u =$  time before  $u$  enters a cell  $\in H$ ;
    for all  $r \in S_r^u(t)$  do
      if ( $\tau_r$  expires in  $\leq \tau_H^u$ ) then
        Serve  $r$  via 3G;
      else
        Do nothing;
      end if
    end for
  end if
end if

```

**Figure 9.** Procedure 1. (Ristanovic et al. 2011.)

Second solution is called MixZones algorithm. A MixZone is a  $(c, t)$  pair where the cell is denoted by  $c$  and time of the day is denoted by  $t$ . The set of MixZones  $M$  is selected by and operator using the following probabilistic geometric model. (Ristanovic et al. 2011.)

$$p_c(t) = 1 - (1 - (R^2 \pi) / (A_c \wedge e))^{N_c(t)} \geq P_{\text{thresh}}$$

$P_c(t)$  is a probability that a user in a cell  $c$  enters the range of another user during hour  $t$ .

$P_{\text{thresh}}$  is a Value of  $p_c(t)$  that needs to be exceeded at hour  $t$  in order for the pair  $(c, t)$  to be added to the set  $M$ .

$A_c \wedge e$  Represents 90% of the cell area in the case of small cells ( $A < 4\text{km}$ ) 75% in the case of medium cells and 60% in the case of large cells where ( $A > 25\text{km}$ ). (Ristanovic, N. et al. 2011.)

The MixZones algorithm is based on opportunistic exchanges, thus it assumes that every user has a cache, where the data, that is about to be send, is stored. It is also assumed that an operator has the real-time insight in the content requested by the users and the contents available in the users' cache.

Like in the HotZones algorithm,  $S_r^u(t)$  denotes users'  $u$  collection of pending requests. Maximum permitted delay is denoted by  $D$ . When a request  $r$  is created, a timer  $T_r$  with timeout equal to the  $D$  is set by the application. Knowing which items are requested and hold in the

cache of the user at any time  $t$  and in any cell  $c$ . With this information, an operator can select a set of users  $U_c(t)$ . Each selected user either has items requested or is in possession of items requested by other users in  $c$ . Using these parameters, a server in the operator's cloud performs Procedure 2 (figure 10) every  $T_p$  minutes for every cell  $c$  in the network. (Ristanovic et al. 2011.)

```

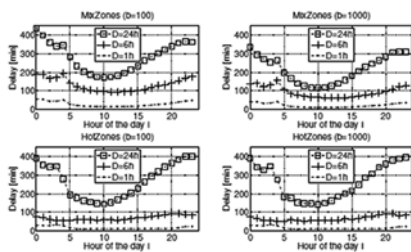
if ( $c \in M$ ) then
  Turn on WiFi interfaces in set  $U_c(t)$ ;
  Opportunistic WiFi transfers among users;
else
  for all users  $u$  in cell  $c$  do
    Get  $\tau_{u,c}^*$  = time before  $u$  enters a cell  $\in M$ ;
    for all  $r \in S_u^*(t)$  do
      if ( $\tau_r$  expires in  $\leq \tau_{u,c}^*$ ) then
        Serve  $r$  via 3G;
      else
        Do nothing;
      end if
    end for
  end for
end if
end if

```

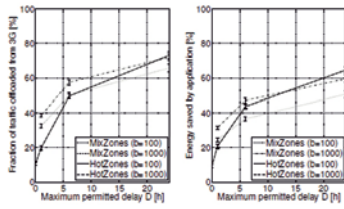
**Figure 10.** Procedure 2. (Ristanovic et al. 2011.)

The data used in these tests consisted from CDRs from 1 million users for a period of three months. Java simulation framework was designed to run discrete event simulations to find out if the algorithms were producing approvable results. The simulation was run with 533,189 users who moved between 1,141 cells during the time of 30 days. (Ristanovic et al. 2011.)

Results (figure 11 and 12) proved that both algorithms offered significant energy savings. Up to 75% of the traffic was offloaded by only 30 HotZones. During the peak hours, the effective delay in the system was much lower than the maximum permitted delay  $D$ . For  $d = 24h$ , the requests were served in less than 7h and even as fast as 2h during some periods of the day. In case of  $D = 6h$  the actual delay is between 1.5h to 3h, when the  $D$  is set to 1h the requests are handled in 15 to 50 minutes. (Ristanovic et al. 2011.)

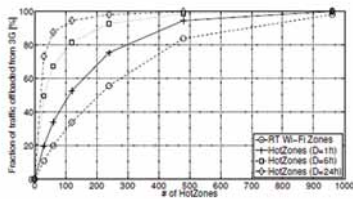


**Figure 11.** The average delay with which requests are served as a function of the time of the day and the maximum permitted delay  $D$ . (Ristanovic et al. 2011.)



**Figure 12.** Offloaded traffic and saved energy as a function of permitted delay D. The curves are obtained for the MixZones (225 cells) and HotZones (30 cells) algorithms. (Ristanovic et al. 2011.)

Real-time offloading requires 3–4 more Wi-Fi cells than the delay-tolerant HotZones algorithm as seen in figure 13. (Ristanovic et al. 2011.)



**Figure 13.** Offloaded traffic as a function of the number of HotZones. (Ristanovic et al. 2011.)

Results show that using prediction and delay-tolerance for offloading of large contents from 3G networks. Using two algorithms, users can trade delay for energy and thus reduce battery consumption coming from the 3G transfers even up to 50%. The algorithms are found to require 3–4 times less coverage than real-time offloading and to have least delay during peak hours. (Ristanovic et al. 2011.)

## 4 Conclusions

Mobile networks today are designed to provide reliable coverage and quality of service, with low probability of service failure, which means the network is seldom under full load. Energy efficiency can be achieved by changing components, using different renewable energy sources and modulation techniques in base stations. Furthermore, several methods of reducing unused capacities and dynamically adjusting the network to the actual traffic are under research; Two RRM-based short-term approaches, (micro-sleep and dynamic spectrum reduction) as well as two SON-based long-term approaches (switching off a whole sector and applying changes to the sector topologies). With concrete algorithm to perform user to cell association it is possible to get potential energy savings. The solution also has small impact on the quality of service. During low traffic periods it would be possible to shut down smaller cells. However, energy efficiency with varying cell sizes is complex topic and also requires further study.

Multi-access paging, much like the predecessor cellular paging to wake the device from idle state, could increase operational time by dramatically decreasing energy consumption when the phone is not being actively used. The smartphone could dynamically choose which interface to employ, referred to as always best connected. In this manner, the smartphone may operate by downloading large files by Wi-Fi and getting email notifications from the cellular network. Large energy consumer in smartphones is the internet connection and most of the time it is idle. Multi-Network packet scheduling is one solution for this.

3G is optimal for high throughput while Wi-Fi is optimal for low throughput; this encourages the use of MPTCP-based flow switching to minimize energy consumption. Because future mobile devices will most likely use more diverse interfaces, flow switching by MPTCP scheduler can be used to utilize the best properties of all interfaces.

Two Wi-Fi based solutions can be used for energy efficient offloading of 3G networks. The first solution is called HotZones algorithm which would require covering a fraction of a cell with Wi-Fi access points. The second solution is called MixZones algorithm which exploits opportunistic exchanges between smartphones in the area of its effect. Using these algorithms, users can trade delay for energy and thus reduce battery consumption coming from the 3G transfers even up to 50%. The algorithms are found to require 3–4 times less coverage than real-time offloading and to have least delay during peak hours.

In this article different energy-efficient solutions were explored for mobile networks. Solutions were found ranging from base station architecture to different energy-efficient protocols. It is important that energy-saving methods do not affect the performance of a network. Utilizing these methods in the mobile networks, a lot of energy can be saved and thus progress can be made towards cleantech goal.

## References

- 3rd Generation Partnership Project. 2009a. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), Physical Channels and Modulation (Release 8) [Retrieved 4 December 2012]. Available from: <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36211.htm>
- 3rd Generation Partnership Project. 2009b. Extended Cell DTX for Enhanced Energy-Efficient Network Operation. 3GPP TSG-RAN WG1 #59, R1-09499. Korea.
- 3rd Generation Partnership Project. 2010. Telecommunication management; Study on Energy Savings Management (ESM), (Release 10) ) [Retrieved 4 December 2012]. Available from: <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/32826.htm>
- Amanna, A. 2010. Green Communications: Annotated Literature Review and Research Vision. Virginia Tech ) [Retrieved 4 December 2012]. Available from: <http://filebox.vt.edu/users/aamanna/web%20page/Amanna%20-%20Green%20Communications%20Literature%20Review%20and%20Research%20Proposal.pdf>
- Bassoo, V., Tom, K., Mustafa, A. K., Cijvat, E., Sjoland, E., & Faulkner, M. 2009. A Potential Transmitter Architecture for Future Generation Green Wireless Base Station. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 2009.
- Blume, O., Eckhardt, H., Klein, S., Kuehn, E., & Wajda, W. M. 2010. Energy Savings in Mobile Networks Based on Adaptation to Traffic Statistics. Bell Labs Technical Journal 15(2), 77-94.
- Claussen, H., Ho, L. T. W., & Pivit, F. 2008. Effects of joint macrocell and residential picocell deployment on the network energy efficiency. IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 1-6, 15-18.
- Correia, L. M., Zeller, D., Blume, O., Ferling, D., Jading, Y., Gódor, I., Auer, G., & Van der Perre, L. 2010. Challenges and enabling technologies for energy aware mobile radio networks. IEEE Communications Magazine, vol. 48, 66-72.
- Cot'e, A., Meyerson A. & Tagiku, B. 2010. Energy Efficient Mobile Data Transport via Online Multi-Network Packet Scheduling [Retrieved 4 December 2012]. Available from: [www-bcf.usc.edu/~aaroncot/2Network.pdf](http://www-bcf.usc.edu/~aaroncot/2Network.pdf)
- Deloitte. 2010. Telecommunication Predictions 2010 [Retrieved 4 December 2012]. Available from: [http://www.deloitte.com/assets/Dcom-UnitedStates/Local%20Assets/Documents/TMT\\_us\\_tmt/us\\_tmt\\_telecompredictions2010.pdf](http://www.deloitte.com/assets/Dcom-UnitedStates/Local%20Assets/Documents/TMT_us_tmt/us_tmt_telecompredictions2010.pdf)



- Dufková, J., Le Boudec, J.-Y., Kencl, L., & Bjelica, M. 2009. Predicting user-cell association in cellular networks from tracked data. MELT 2009: Mobile entity localization and tracking in GPS-less environments, 19-33.
- Dufková, K., Bjelica, M., Moon, B., Kencl, L., & Le Boudec, J.-Y. 2010. Energy Savings for Cellular Network with Evaluation of Impact on Data Traffic Performance Networks [Retrieved 4 December 2012]. Available from: [http://www.rdc.cz/download/publications/Dufkova\\_Energy\\_EW2010.pdf](http://www.rdc.cz/download/publications/Dufkova_Energy_EW2010.pdf)
- Fettweis, G. & Zimmermann, E. 2008. ICT Energy consumption - Trends and challenges. The 11th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPIC 2008).
- Global Action Plan. 2012. [Retrieved 4 December 2012]. Available from: <http://globalactionplan.org.uk>.
- Gruber, M., Blume, O., Ferling, D., Zeller, D., Imran, M.A. & Strinati, E.C. 2009. EARTH: Energy Aware Radio and Network Technologies. European Commission, Seventh Framework Programme.
- GSMA. 2010. Green Power for Mobile - Bi-annual Report November 2010 ) [Retrieved 4 December 2012]. Available from: [http://www.gsma.com/mobilefordevelopment/wp-content/uploads/2012/05/GPM\\_Bi-Annual\\_Report\\_June\\_10.pdf](http://www.gsma.com/mobilefordevelopment/wp-content/uploads/2012/05/GPM_Bi-Annual_Report_June_10.pdf)
- Han, C., Harrold, T., Armour, S., Krikidis, I., Videv, S., Grant, P.M., Haas, H., Thompson, J.S., Ku, I., Wang, Cheng-Xiang, Le, Tan Anh, Nakhai, M.R., Zhang, Jiayi & Hanzo, L. 2011. Green radio: radio techniques to enable energy-efficient wireless networks. IEEE. IEEE Communications Magazine, vol. 49, no. 6, 46-54.
- Hasan, Z., Boostanimehr, B., & Bhargava, V. K. 2011. Green cellular networks: a survey, some research issues and challenges. IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 13, 524-540.
- ITU-T Focus Group on Future Networks. 2010. Overview of Energy Saving of Networks [Retrieved 4 December 2012]. Available from: [http://www.itu.int/dms\\_pub/itu/oth/3A/05/T3A050000660001MSWE.doc](http://www.itu.int/dms_pub/itu/oth/3A/05/T3A050000660001MSWE.doc)
- Jain, R.K., Chiu, D.-M.W., & Hawe, W. R. 1984. A quantitative measure of fairness and discrimination for resource allocation in shared computer system. Technical report, Digital Equipment Corporation.
- Louhi, J. T. 2007. Energy efficiency of modern cellular base stations. 29th International Telecommunications Energy Conference (INTELEC), 475-476.

- Oh, E., Krishnamachari, B., Liu, X. & Niu Z. 2011. Towards Dynamic Energy-Efficient Operation of Cellular Network Infrastructure. IEEE Communications Magazine.
- Pluntke, C., Eggert, L. & Kiukkonen, N. 2011. Saving Mobile Device Energy with Multipath TCP ) [Retrieved 4 December 2012]. Available from: <http://eggert.org/papers/2011-mobiarch-mptcp-saving-energy.pdf>
- Ristanovic, N., Le Boudec, J.-Y., Chaintreau, A., & Erramilli, V. 2011. Energy Efficient Offloading of 3G Networks ) [Retrieved 4 December 2012]. Available from: <http://www.cs.columbia.edu/~augustin/pub/ristanovic11energy.pdf>

Marianne Matilainen, Janne Kangas, Jarmo Kosonen, Tommi Lätti, Tuomo Meckelburg, Jani Miettinen, Mika Penna & Anne Salminen

## IMPROVING MOBILE DEVICE ENERGY CONSUMPTION

### Abstract

Good energy management requires a good understanding of where and how energy is used. In this article is introduced different ways of saving energy in mobile devices. Depending on content of the usage mobile device should switch the network mode. TailEnd is a protocol that minimizes energy usage while meeting delay-tolerance deadlines. When using WiFi with mobile device Scepter offers a proxy to reduce transmitted data between devices. Cinder is first research operation system, which contain three energy management mechanisms: isolation, delegation, and subdivision. SMERT reduces energy in MMS messaging by delivering multiple formats from the same message to user. E2S3 is a framework that uses reward-based sleep state selection algorithm to dynamically enter the optimal sleep state for minimizing power consumption without degrading performance. Catnap is a system that exploits high bandwidth wireless interfaces allowing the network interface controller and the device to doze off.

**Keywords:** energy efficiency, mobile device, WiFi

### 1. Introduction

Today technological solutions, which use less energy and utilize materials more efficiently than existing ones is needed. Engineers play key role for planning environmentally sustainable technology. In addition, more and more services are designed alongside aiming at extended life cycle for products. Mobile devices are one of the interesting products when aiming towards energy efficiency.

In Lahti University of Applied Sciences (LUAS) one of the ongoing projects is Cleantech Engineers – project. Clean technology means all products, processes, systems and services, which harms environment less than their alternatives. To be able to design clean technology, new knowledge and skills are needed for next generation engineers. In the department of Information Technology in LUAS this article is part of the research in Cleantech Engineers – project. In this article we collect energy efficient solutions from research papers concerning energy consumption of mobile devices.

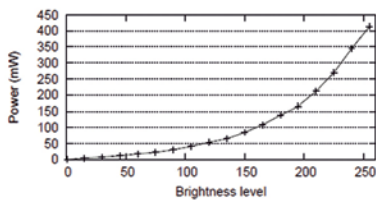
### 2. Mobile device power consumption

Nowadays most of the smartphones get the power from batteries. Batteries have limited size and that is why energy management is important but it is also necessary to know how the energy is consumed. Good understanding where and why the energy is used helps to save power. Many different things affect power consumption, for example: CPU, RAM, screen, applications, GSM, GPS and audio system. (Caroll 2010.)

In network connections it is better to use WiFi than GPRS. With WiFi you get better download speed and 30% lower power consumption. For example with same workloads when emailing over the GSM consumption was three times bigger than emailing with WiFi. (Caroll 2010.)

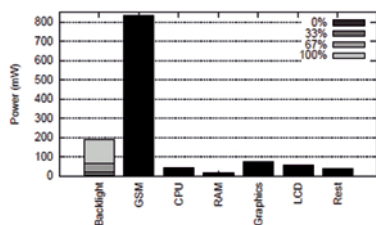
With power consumption there is a difference between how powerful CPU and how good memory utilization it had. Between 100 MHz CPU and 400 MHz CPU there is a difference of 400 per cent. 100MHz CPU power consumption was bigger in every measuring area. RAM memory's speed didn't effect at power consumption notably. (Caroll 2010.)

Majority of power consumptions on smartphones are GSM module and display, including the LCD panel and touch screen, also the graphics accelerator/driver and the backlight (figure 1). There are differences between screens but still take major piece of power. For example, in Android operating system, turn backlight off when you are calling, saving 40% power compared to others. (Caroll 2010.)



**Figure 1.** Screen power consumption (Caroll 2010)

The smallest power consumption occurred with the RAM, audio and flash subsystem (figure 2). The RAM and memory cards had only little effect on the power consumption of device. (Caroll 2010.)

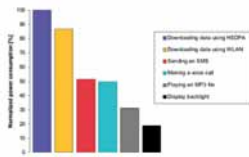


**Figure 2.** Power consumption when using GSM (Caroll 2010).

### 3. Solutions to improve mobile device energy consumption

#### 3.1 Switching network

To extend the battery life of mobile phones is one of the top priorities for mobile phones' manufacturers. The results of one research imply that mobile phones should switch the network in dependency of the service used to save the maximum amount of energy (figure 3). The most applied services under the investigation were text messaging, voice and data. (Perrucci, Fitzeky, Sassoy, Kellererx & Widmerx 2009.)



**Figure 3.** Power consumption for different phone's services normalized to the power consumption needed for downloading data using HSDPA. (Perrucci et al 2009)

Mobile phones have appealing services and features which unfortunately drain a lot of the energy stored in a capacity limited battery. It is a common problem among phones manufacturers to find a way to extend battery life of their devices and allow users to use mobile services for a longer time. Furthermore network operators are interested in longer stand by times for the users as that may lead to higher use of their services. (Perrucci et al. 2009.)

When a data connection is needed, 3G networks offer higher data rates with lower consumption in terms of energy per bit. But when sending text messages using 3G is more energy consuming than using GSM. The received signal strength also has a high influence on the time needed for sending the message and therefore the energy. Regarding voice services, it has been shown that being connected to the 3G network causes the phone to consume around 50% more energy. In fact, making a one hour call with GSM instead of UMTS, allows the phone save the amount of energy needed to send more than 1000 SMS of 100 bytes. (Perrucci et al. 2009.)

Most users have the possibility to set the network they would like to use, which gives them the possibility to switch between networks depending on the actual used service (Perrucci et al. 2009).

How can we reduce the energy consumed by common applications using each of these three technologies? Research that has been made shows that the energy consumption is intimately related to the characteristics of the workload and not just the total transfer size, e.g., a few hundred bytes transferred intermittently on 3G can consume more energy than transferring a megabyte in one shot. (Balasubramanian, Balasubramanian & Venkataramani 2009.)

In 3G tail energy is wasted in high-power states after the completion of a typical transfer. In GSM, although a similar trend exists, the time spent in the high-power state after the transfer is much smaller compared to 3G. Furthermore, the lower data rate of GSM implies that more energy is spent in the actual transfer of data. In WiFi, the association overhead is comparable to the tail energy of 3G, but the data transfer itself is significantly more efficient than 3G for all transfer sizes. WiFi is significantly smaller than both 3G and GSM, especially for large transfer sizes. (Balasubramanian et al. 2009.)

Observation in the download experiments, the tail energy consumes more than 55% of the total energy. For example, the transfer energy for uploads is nearly 30% more than that for downloads for 100 KB transfers. One cause for this difference is that upload bandwidths are typically smaller than the download bandwidth. (Balasubramanian et al. 2009.)

It has been examined, that 3G consumes significantly more energy to download data of all sizes (12-20J) compared to GSM and WiFi. GSM consumes 40% to 70% less energy compared to 3G. This is due to two reasons. GSM radios typically operate at a lower power level than 3G radios and the tail energy set for GSM is around 6 seconds, much lower than the 12.5 seconds set for 3G. (Balasubramanian et al. 2009.)

### 3.2 TailEnder

TailEnder is developed to minimize the cumulative energy consumed while meeting user-specified deadlines. The TailEnder scheduling algorithm is within a factor, 2 times of the optimal and shows that any online algorithm can at best be within a factor 1.62 $\times$  of the optimal. TailEnder aggressively prefetches several times more data and improves user-specified response times while consuming less energy. (Balasubramanian et al. 2009.)

Based on the findings of the research, the designed TailEnder is an energy efficient protocol for scheduling data transfers. TailEnder is a protocol whose end-goal is to reduce energy consumption of network applications on mobile phones. Common network applications on mobile phones include e-mail, news-feed, software updates and web search and browsing. Many of these applications can be classified under two categories: 1) applications that can tolerate delays, and 2) applications that can benefit from prefetching. (Balasubramanian et al. 2009.)

TailEnder uses two simple techniques to reduce energy consumption for the two different classes of applications. For delay tolerant applications, TailEnder schedules transmissions such that the total time spent by the device in the high power state is minimized. For applications that can benefit from prefetching, TailEnder determines the number of documents to prefetch, so that the expected energy savings is maximized. (Balasubramanian et al. 2009.)

The goal of TailEnder is to schedule the transmission of incoming requests such that the total energy consumption is minimized and all requests are transmitted within their deadlines. TailEnder uses a simple online algorithm to schedule transmission of an incoming request and it can reduce energy by 35% for email applications, 52% for news feeds and 40% for web search. TailEnder can download 60% more news feed updates and download search results for more than 50% of web queries, compared to using the default policy because it aggressively prefetches data, includ-

ing potentially useless data, and yet reduces the overall energy consumed. Shortly, TailEnder is a protocol that minimizes energy usage while meeting delay-tolerance deadlines specified by users and it is usable for applications that can benefit from prefetching. (Balasubramanian et al. 2009.)

### 3.3 Scepter

Mobile devices hold various wireless communication technologies and the number is increasing. However, wireless communication eats up power resources and vendors are seeking new ways to reduce power consumption and make wireless communication more energy efficient. In over ten years they have come across many energy efficient technologies that can be categorized into hardware-based and software-based approaches. The hardware-based approaches focus on decreasing the energy consumption of the wireless hardware components. The software-based approaches often suggest either protocol-level optimizations or better configuration of device parameters. (Zheng & Kravets 2003; Ieee Standards Association 2012; Shih, Bahl & Sinclair 2002; Pering, Agarwal, Gupta & Want 2006.)

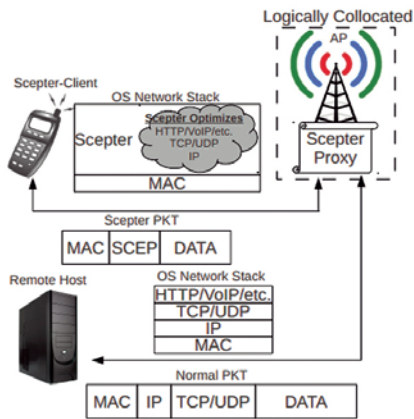
Scepter is a software-only technique to improve the energy efficiency of mobile devices when they are communicating with the network infrastructure. Scepter stands for a Stateful proxy-based system for Control overhead Elimination and Payload reduction Through Elimination of Redundancy. The system achieves its gains by placing a stateful proxy in the network infrastructure, close to the base station, and assisting the mobile device in reducing the number of bits required to transmit given amount of data. This reduction spans both control messages of existing protocols and data payloads carried in wireless frames. Scepter is developed specifically for the popular WiFi technology, which is known to be particularly energy inefficient for mobile devices. Measurements have been made to show that the battery drained more than twice as fast when the device is actively transmitting data using WiFi interface, compared to when it is idle. (Zheng & Kravets 2003; Ieee Standards Association 2012; Shih et al. 2002; Pering et al. 2006.)

Scepter is based on the observation that a reduction in the number of bytes transmitted over a wireless interface directly correlates to a reduction in the power consumed by the wireless interface. It reduces the number of bits to communicate the same information between mobile devices and the network infrastructure. The mobile client will offload certain communication tasks to the proxy requiring the proxy to consume more energy on behalf of the mobile client. This asymmetric relationship built upon compression techniques develops cross-layer optimizations that reduces the number of bits needed to communicate a given amount information between the mobile client and the network infrastructure. (Hare, Agrawal, Mishra, Banerjee & Akella 2009.)

Because being stateful and aware of various protocol layers, the Scepter understands the protocol semantics of the IP and the TCP/UDP layers. In addition, it can also help eliminate redundant content in the payload of various application layer protocols, e. g., HTTP, VoIP, etc., in an application independent way. (Hare et al 2009.)

Figure 4 illustrates the simple energy efficiency architecture of Scepter. The figure shows the logical interaction between a Scepter-capable mobile device and the way it interacts with a remote host through a stateful proxy. In general, the proxy can be placed at different points within the infrastructure. In the context of WiFi, the most convenient point is within the same broadcast

LAN such as the Access Point. In this particular implementation, the Scepter proxy is implemented within the AP. (Hare et al. 2009.)



**Figure 4.** Energy efficiency architecture of Scepter (Hare et al. 2009).

This simple table (table 1) shows results of battery drain tests. VoIP style traffic was continuously transmitted from the laptop until the battery of the device exhausted. Scepter provides a 38 per cent improvement in the battery. (Hare et al. 2009.)

**Table 1.** Results of battery drain tests (Hare et al. 2009).

	Battery Life (min)
Idle	121
w/o Scepter	52
w/ Scepter	72

### 3.4 Cinder

Cinder is a new operating system designed for mobile phones and other energy-constrained computing devices. Cinder extends the HiStar secure kernel (Zeldovich, Boyd-Wickizer, Kohler & Mazi'eres 2006.) to provide new abstractions for controlling and accounting for energy. Cinder estimates energy consumption using standard device-level accounting and modeling (Zeng, Ellis, Lebeck & Vahdat 2002.). HiStar's explicit information flow control allows Cinder to track



which parties are responsible for resource use, even across interprocess communication calls serviced in other address spaces. Without needing any additional state or support code, Cinder can accurately amortize costs across principals, such as the energy cost of turning on the radio to multiple applications that simultaneously need Internet access. (Roy, Rumble, Stutsman, Lewis, Mazières & Zeldovich 2011.)

Here are three research contributions. First, it proposes reserves and taps as new operating system mechanisms for managing and controlling energy consumption. Second, it evaluates the effectiveness and power of these mechanisms in a variety of realistic and complex application scenarios running on a real mobile phone. Third, it describes experiences in writing a mobile phone operating system, outlining the challenges and impediments faced when conducting systems research on the dominant end-user computing platform of this decade. (Roy et al. 2011.)

An operating system must provide three energy management mechanisms for applications to effectively control energy: isolation, delegation and subdivision. (Roy et al. 2011.)

Isolation is a fundamental part of an operating system. Memory and inter-process communication (IPC) isolation provide security, while CPU and disk space isolation ensure that processes cannot starve others. Isolating energy consumption is similarly important. An application should not be permitted to consume inordinate amounts of energy, nor should it be able to deprive other applications. (Roy et al. 2011.)

Delegation allows a principal to loan any of its available energy and power to another principal. After delegation, either the resource donor or the recipient can freely consume the delegated resources. Furthermore, if there are multiple donors delegating to this recipient, the resources are pooled for use by the recipient. (Zeng, et al. 2002.)

Subdivision allows applications to partition their available energy. Combined with isolation, subdivision allows an application to give another principal a partial share of its energy, while being assured that sure that the rest will remain for its own use. (Roy et al. 2011.)

Cinder's CPU scheduler is energy-aware and allows a thread to run only when at least one of its energy reserves is not empty. Threads that have depleted their energy reserves cannot run. Tying energy reserves to the scheduler prevents new spending, which is sufficient to throttle energy consumption. (Roy et al. 2011.)

A tap transfers a fixed quantity of resources between two reserves per unit time, which controls the maximum rate at which a resource can be consumed. Taps are made up of four pieces of state: a rate, a source reserve, a sink reserve, and a security label containing the privileges necessary to transfer the resources between the source and sink. (Roy et al. 2011.)

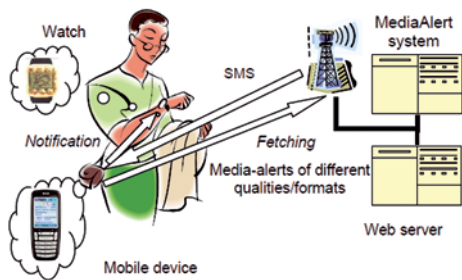
### 3.5 SMERT

SMERT is energy-efficient multimedia messaging service. The contribution is to utilize a hierarchical system for message delivery and user interface. SMERT is hierarchical in two aspects. (Zhong, Wei & Sinclair 2006.)

First, the message content is hierarchical. A message can be delivered as text, or enhanced with key-frame images or video clips with different resolution and frame rates. In this system the messaging server generate a message in different formats but sends to the mobile user only a short text message. The text message includes links to other feature-rich format. A short text consumes much less energy. (Zhong, et al. 2006.)

Second, in SMERT a wrist-worn low-power display device is used for the user to retrieve text messages to minimize the usage of the power-hungry display on the mobile device. (Zhong et al. 2006.)

SMERT system delivers multiple formats for the same message (figure 5). The system loads each format of the message onto webserver so that it can be retrieved with a unique URL. The system then delivers a text message to the user. The message includes brief information of the content, the URLs for more detailed formats, message priority and lifetime. (Zhong et al. 2006.)



**Figure 5.** A Hierarchical multimedia messaging system for mobile users (Zhong et al. 2006).

CacheWatch is included to the SMERT system. CacheWatch is a secondary display to deliver text messages. (Zhong & Jha 2005.)(Zhong, Sinclair & Jha 2005.) It can be associated with a host mobile device and servers as a low-power remote display via Bluetooth. The software is installed on mobile devices. (Zhong et al. 2006.)

The SMERT system mobile users download and install software for progressive content delivery, battery-aware fetching and notification. They may choose to wear the watch, although the service works even without it. SMERT provides more mechanisms than policies for mobile devices to save energy. (Zhong et al. 2006.)

Mobile devices have limited battery capacity. We need to prioritize multimedia messages. Battery information is used in both fetching and notification policies. The software on mobile devices reads the remaining battery capacity every 25 minutes and estimates the current energy consumption rate based on extrapolation. Second, it predicts the next battery charging time to derive an expected work time, based on recharging history or user specification. Then it calculates an energy-optimism score. The score is used in fetching and notification policies. Multimedia messages can easily exhaust the energy supply of a mobile device. (Zhong et al. 2006.)

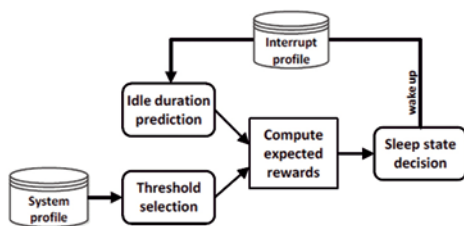
SMERT examined the whole ecosystem in which mobile devices operate. SMERT leverages the SMS and Internet capability of a mobile device to enable it to obtain the same content in different formats. Energy efficiency can be tightly coupled with usability. (Zhong et al. 2006.)

### 3.6 Energy Efficient Sleep State Selection (E2S3)

Existing power management mechanisms in mobile devices cannot easily be exploited to use low-power states of the system. Reason is the random nature of network-driven workloads, which results in frequent idle durations. (Min, Wang, Tsai, Ergin & Tai 2012; Verma, Dasgupta, Nayak, De & Kothari 2009; Wang, Tsai, Maciocco, Tai & Wu 2011.)

Lengths of these idle durations are often enough for the system to enter a low-power sleep state (Min et al.2012; Ranganathan 2010). Furthermore the design of modern mobile devices encourages aggressive use of low-power states because of the small state transition latencies and number of ultra-low power states in the system. (Min, et al. 2012; Amur, Nathuji, Ghosh, Schwan & Lee 2008.)

E2S3 is a framework (figure 6) to extend battery life in mobile devices up to 50% by utilizing low-power sleep states under active workloads while preserving system performance. It accomplishes this by predicting short idle durations more accurately and using more versatile reward based sleep-state selection technique. (Min et al. 2012.)

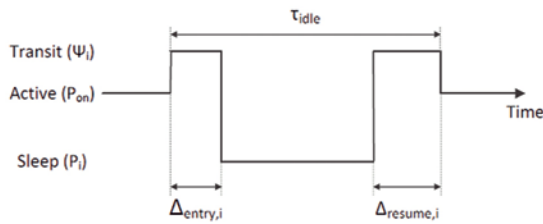


**Figure 6.** E2S3 Framework (Min et al. 2012).

E2S3 framework consists of three main features.

1. Threshold selector.
2. Idle duration estimator.
3. Sleep-state decision maker.

Threshold selector is based on sleep state model. System in state transition phase has usually higher power consumption than active state power consumption as seen in figure 7. Time required to stay in sleep state for compensating the loss of power in state transition phase is referred as Energy Break-even Time (EBT). Relative Energy Break-even Time (R-EBT) compares all the available sleep states with many low-power state systems to find the most optimal choice. EBT assumes that deeper sleep states are more efficient if the system is able to save energy compared to active state, but in multiple low-power systems shallower state could be more efficient. This is why R-EBT becomes more efficient option. (Min et al. 2012.)



**Figure 7.** Sleep state transition (Min et al. 2012).

Idle durations are often variable and unpredictable in active mobile workload hence it is very likely to make wrong sleep state decision using conventional idle duration based energy-conservation mechanisms. E2S3 uses two different algorithms for deterministic (relatively regular) and stochastic (relatively irregular) interrupts. (Min et al. 2012.)

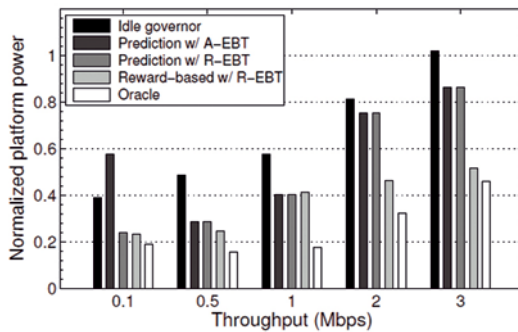
Decision maker is based on reward-based sleep state selection algorithm. Reward is measured by the potential loss of efficiency with wrong sleep state decision. (Min, et al. 2012.)

#### Testing schemes and workloads

- Idle Governor: the stock algorithm in Linux kernel 2.6.3x.
- Prediction w/ A-EBT (EBT): the proposed idle-duration prediction based sleep-state selection using A-EBT.
- Prediction w/ R-EBT: the proposed idle-duration prediction based sleep-state selection using R-EBT.
- Reward-based w/ R-EBT: the proposed reward-based sleep-state selection using R-EBT.
- Oracle: the ideal case, where always perfect decisions are assumed. (Min et al. 2012.)

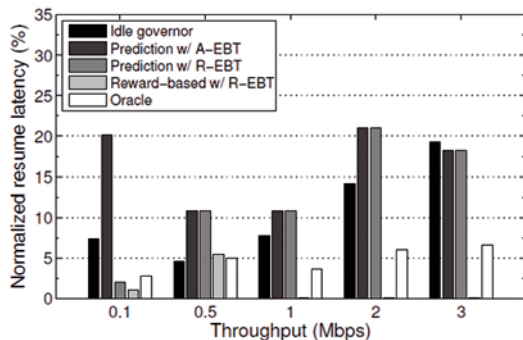
Each test is run for 120 s, and multiple tests are performed for each scenario. The averages are reported as the performance measure (Min et al. 2012).

Normalized platform power consumption for the tested schemes is seen in figure 8. Because of the reward-based algorithm's ability to consider risks of sub-optimal sleep-state decisions it outperforms the idle duration prediction-based schemes. From the figure 8 can also be observed that with lighter workloads prediction-based algorithm using A-EBT consumes more power than R-EBT ones. Reason is that A-EBT encourages the system to enter deeper sleep states, resulting in energy loss due to frequent false entries. Power consumption of the reward-based algorithm becomes close to the ideal case as the throughput increases. By using the reward-based algorithm power consumption is reduced by up to 50%. (Min et al. 2012.)



**Figure 8.** Platform power consumption of the idle duration prediction-based vs. reward-based sleep-state selection algorithms [Min et al. 2012].

Performance is evaluated by looking at the resume latency which affects the potential loss of performance. Compared to idle-duration prediction based algorithms reward-based algorithm significantly lowers the resume latency seen in figure 9. Based on how the reward-based algorithm works it can avoid potential power loss by entering shallower states when system becomes busier. By doing this it outperforms the ideal-power case in terms of latency at the cost of increased power consumption as observed in figure 8. (Min et al. 2012.)



**Figure 9.** Performance impact of the idle-duration prediction-based vs. reward-based sleep-state selection algorithms (Min et al. 2012).

Table 2 shows that the reward-based selection algorithm has extremely low false entry rate when the throughput reaches 1Mbps or higher rates. In summary reward-based sleep-state selection algorithm reduces platform power and energy consumption significantly without degrading system performance. (Min et al.2012.)

**Table 2.** Sleep-state selection false-entry rates (%) (Min et al.2012).

Throughput (Mbps)	0.1	0.5	1	2	3
Prediction (%)	24.6	55.2	71.9	72.6	76.5
Reward-based (%)	13.8	35.1	< 1.0	< 1.0	< 1.0

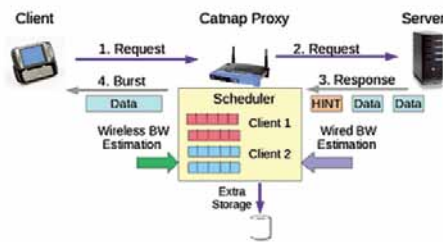
### 3.7 Catnap

Catnap is a system that saves energy by combining tiny gaps between packets into meaningful sleep intervals allowing mobile clients to sleep during data transfers. These gaps arise when a high bandwidth access link is bottlenecked by some slow link on the path to the Internet. A typical example is a home wireless network where 802.11 offers high data rate but the uplink to the Internet offers much lower bandwidth. Catnap is targeted towards data oriented applications that consume data in blocks, so combining small idle periods and hence delaying individual packets is acceptable if the data block is delivered on time. (Dogar, Steenkiste & Papagiannaki 2010.)

Catnap builds on three concepts. First, it decouples the wired segment from the wireless segment, thereby allowing the wireless segment to remain inactive even when the wired segment is actively transferring data. (Bakre & Badrinath 1997.)(Fall 2003.) The functional component separating the wireless and wired segment is called a middlebox. The middlebox will batch packets when the device is sleeping and send them in a burst when the device wakes up. Second, it uses an ADU (Application Data Unit) as the unit of transfer. This allows the middlebox to remain ap-

plication independent and yet be aware of application requirements, thereby ensuring that delay sensitive packets are differentiated from delay tolerant packets. (Kandula, Lin, Badirkhanli & Katabi 2008.) Third, the middlebox uses bandwidth estimation techniques to calculate the available bandwidth on the wired and wireless links. The bandwidth estimates determine the amount of batching required for on-time ADU delivery. (Dogar et al. 2010.)

Figure 10 shows the key steps involved in a typical Catnap data transfer. The client application establishes a transport connection with the Catnap proxy. It then sends the request to the proxy that checks whether the request can be served through the local cache. If this is not the case, the proxy forwards the request to the destination server over a separate transport connection. The server sends the response to the Catnap proxy that schedules the best time to initiate the wireless transmission to the client, so as to minimize the time the client is awake. (Amur, Nathuji, Ghosh, Schwan & Lee 2008.) The proxy uses a combination of split connection approaches and DTN-style in-network storage. (Bakre & Badrinath 1997.)(Fall 2003.)



**Figure 10.** Basic overview of Catnap (Dogar et al. 2010).

The timing of the transmission is based on workload hints. Workload hints expose information on the ADU boundaries in the provided server response and the willingness of the client to suffer a slight increase in overall transfer completion time for additional energy savings. The former can be provided by the server itself or through an application specific proxy on the middle-box. The scheduler uses the workload hints along with information about the wired and wireless bandwidth to calculate the total transfer time and length of the time slot needed to transmit the block of data on the wireless side. The Catnap scheduler can further operate in the batch mode. If the client is tolerant to a slight increase in the transfer completion time, then the scheduler can concatenate multiple small slots into bigger ones allowing for greater energy savings. (Dogar et al. 2010.)

Examples of small transfers include many web-pages, high resolution images and initial buffering requirements of video streaming. For 128kB transfer, the total time required to complete the transfer is 350ms while it takes only 35ms to complete the transfer on the wireless link. This means that the remaining time (315ms) can be used by the mobile device to sleep. This time is long enough for the wireless NIC to enter sleep mode and then return without any change to the PSM implementation. User does not experience any change in response time. Examples of large

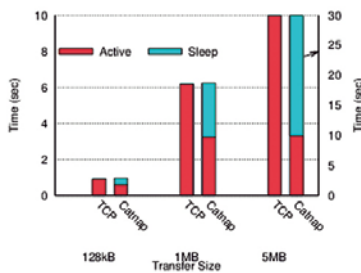
transfer include downloading a song or a video, file synchronization between devices. For 10MB transfer, the total transfer time is 27 seconds. The wireless transmission takes only 2.7 seconds. The mobile device can thus sleep for the remaining time (24.3 seconds). (Dogar et al. 2010.)

Figure 11 shows comparison for different transfer sizes. Catnap amortizes the idle period of 200ms over the total transfer time and therefore performs better as the transfer duration increases. The transfer time does not increase with Catnap and yet it is able to sleep for around 30% of the time for a 128kB transfer. Furthermore, it can sleep for around 50% of the time for a 1MB transfer and around 70% of the for a 5MB transfer. (Dogar et al. 2010.)



**Figure 11.** Catnap’s transfer time and energy cost [Dogar et al. 2010].

Figure 12 shows the normalized transfer times with respect to baseline TCP transfers for different file sizes. It also shows the proportion of time Catnap spends in each of the three states: Active, Transition, Sleep, in addition to the power consumed in these three states. Note that TCP transfers remain in active state for the whole duration but Catnap allows significant sleep time without increasing the total time to complete a transfer. Even for a 5MB transfer that only lasts for 30 seconds, Catnap is able to spend around 20% of the time in S3 (Suspend-to-RAM) mode while for larger transfers the proportion of sleep time increases to around 85%, which translates into 5 times energy savings. If files are constantly downloaded, these energy savings correspond to up to 5 times improvement in battery life. (Dogar, et al. 2010.)



**Figure 12.** NIC Sleep time [Dogar et al. 2010].



## 4 Conclusions

A detail analysis of energy consumption of smartphone, based on measurements of a physical device shows that the different components of the device contribute to overall power consumption for different usage scenarios.

3G networks offer higher data rate but when using voice or messaging services, it makes the device consume around 50% more energy than it would use in GSM network. Research shows that mobile devices should switch the network depending on which services are used to save the maximum amount of energy.

TailEnder demonstrates reduction in energy consumption of a mobile device up to 50%, depending upon the application. Compared to using the default policy, TailEnder can download 50–60% more news feed updates and search results.

Scepter achieves its significant energy gains through asymmetric relationship between Scepter client and the Scepter proxy. Further gains are achieved from cross-layer optimization. As mobile devices continue to require faster processing and connectivity, Scepter will prove to be valuable for maintaining longer battery lifetimes.

Cinder is an operating system for modern mobile devices. It uses techniques similar to existing systems to model device energy use, while going beyond the capabilities of current operating systems by providing an IPC system that fundamentally accounts for resource usage on behalf of principals. It extends this accounting to add subdivision and delegation, using its reserve and tap abstractions.

Multimedia messages can easily exhaust the energy supply of mobile device. To meet this challenge, the design and implementation of an energy-efficient multimedia messaging service, SMERT. Instead of focusing on the mobile device, examined the whole ecosystem in which mobile devices operate to reveal more energy-saving opportunities.

Current idle-duration prediction algorithms may not work well for active mobile workloads, crippling the full potential of benefits in multiple low-power states. Reward-based sleep-state selection algorithm in E2S3 significantly reduces the platform energy consumption and extends battery life, while conserving system performance.

Catnap combines tiny gaps between packets allowing mobile clients to sleep during data transfers. Catnap allows the device to sleep around 20%–70% of time depending the size of transfer, resulting battery life improvement of up to 2–4 times for common mobile devices.

With all of these energy saving methods the mobile device energy consumption can be decreased. Some of these methods can be combined and used simultaneously. In future, when designing mobile device, energy efficiency should be one of the main ambitions.

## References

- Amur, H., Nathuji, R., Ghosh, M., Schwan, K. & Lee, H.-H. S. 2008. Idle power: Application-aware management of processor idle states, In ACM MMCS, June.
- Bakre, A. V. & Badrinath, B. 1997. Implementation and performance evaluation of indirect tcp, *IEEE Transactions on Computers*, 46(3):260–278.
- Balasubramanian, A., Balasubramanian, N. & Venkataramani, A. 2009. Energy Consumption in Mobile Phones: A Measurement Study and Implications for Network Applications. IMC'09, November 4–6, 2009, Chicago, Illinois, USA.
- Caroll, A. 2010. An analysis of Power consumption in a smartphones. [Retrieved 1 December 2012]. Available from: [http://static.usenix.org/event/usenix10/tech/full\\_papers/Carroll.pdf](http://static.usenix.org/event/usenix10/tech/full_papers/Carroll.pdf)
- Dogar, F. R., Steenkiste, P. & Papagiannaki, K. 2010. Catnap: Exploiting high bandwidth wireless interfaces to save energy for mobile devices, MobiSys '10, San Francisco, California, USA.
- Fall, K. 2003. A delay-tolerant network architecture for challenged internets, In SIGCOMM '03, 27–34, New York, NY, USA.
- Hare, J., Agrawal, D., Mishra, A., Banerjee, S. & Akella, A. 2009. A Network-Assisted System for Energy Efficiency in Mobile Devices. Dept. of Computer Sciences, University of Wisconsin-Madison.
- Ieee Standards Association. 2012. Ieee 802.11 standard. [Retrieved 1 December 2012]. Available from: <http://standards.ieee.org/getieee802/802.11.html>.
- Kandula, S., Lin, K. C.-J., Badirkhanli, T. & Katabi, D. 2008. FatVAP: Aggregating AP Backhaul Capacity to Maximize Throughput, In NSDI, San Francisco, CA, April.
- Min, A. W., Wang, R., Tsai, J., Ergin, M. A. & Tai, T-Y. C. 2012. Improving Energy Efficiency for Mobile Platforms by Exploiting Low-power Sleep States, *Circuits and Systems Research*, Intel Labs.
- Pering, T., Agarwal, Y., Gupta, R. & Want, R. 2006. Coolspots: Reducing the power consumption of wireless mobile devices with multiple radio interfaces. in ACM MobiSys.
- Perrucci, G.P., Fitzek, F.H.P., Sasse, G., Kellerer, W. & Widmer, J. 2009. On the Impact of 2G and 3G Network Usage for Mobile Phones' Battery Life. *European Wireless 2009*, 255-259.
- Roy, A., Rumble, S. M., Stutsman, R., Levis, P., Mazières, D. & Zeldovich, N. 2011. Energy Management in Mobile Devices with the Cinder Operating System, Stanford University and MIT CSAIL, [Retrieved 1 December 2012]. Available from: <http://www.scs.stanford.edu/~rubble/papers/eurosys2011-roy.pdf>

- Ranganathan, P. 2010. Recipe for efficiency: Principles of power-aware computing. *ACM Communications*, 53(4):60–67, April.
- Shih, E., Bahl, P. & Sinclair, M. 2002. Wake on wireless: An event driven energy saving strategy for battery operated devices. in *ACM Mobicom*.
- Verma, A., Dasgupta, G., Nayak, T. K., De, P. & Kothari, R. 2009. Server workload analysis for power minimization using consolidation, In *ACM USENIX*, September.
- Wang, R., Tsai, J., Maciocco, C., Tai, T.-Y. C. & Wu, J. 2011. Reducing power consumption for mobile platforms via adaptive traffic coalescing. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 29(8):1618–1629, September.
- Zheng, R. & Kravets, R. 2003. On-demand power management for ad-hoc networks. vol 1, 2003, 481-491.
- Zeldovich, N., Boyd-Wickizer, S., Kohler, E. & Mazières, D. 2006. Making information flow explicit in HiStar. In *Proceedings of the 7th Symposium on Operating Systems Design and Implementation*, Seattle, WA: 263–278.
- Zeng, H., Ellis, C. S., Lebeck, A. R. & Vahdat, A. 2002. ECOSystem: managing energy as a first class operating system resource. In *Proceedings of the 10th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems*, San Jose, CA: 123–132.
- Zhong, L. & Jha, N. K. 2005. Energy efficiency of handheld computer interfaces: Limits, characterization, and practice. in *Proc. USENIX/ACM MobiSys*, June.
- Zhong, L., Sinclair, M. & Jha, N. K. 2005. A Personal-area network of low-power wireless interfacing devices: System & hardware design. In *Proc. ACM MobileHCI*.
- Zhong, L., Wei B. & Sinclair, M.J. 2006. SMERT: Energy-Efficient Design of a Multimedia Messaging System for Mobile Devices. *DAC 2006*, July 24-28, 2006, San Francisco, California, USA, [Retrieved 1 December 2012]. Available from: [http://videos.dac.com/43rd/papers/35\\_1.pdf](http://videos.dac.com/43rd/papers/35_1.pdf)

Matti Welin

## AGILE SOFTWARE DEVELOPMENT

### Abstract

As the environmental issues are becoming more and more valuable to the mankind, the ubiquitous nature of IT technology makes the lifespan resource consumption an increasingly important factor. In the software products the decisions that define the resource consumption are made during the development phase. On the other hand software, as the name soft implies, is easily modifiable. This leads to the habit of defining the specifications late. Requirements change often and usually without notice. To cope these requirements the process of making the software must be agile.

Cleantech Engineers is one of the active projects at the moment in Lahti University of Applied Sciences (LUAS). Clean technology concerns all products, processes, systems and services. Main focus is to decrease the environment load; to design products and services that harm environment less than before. To be able to do this new kind of Green ICT based design is needed in the development phase. In this article, which is a part of the research in Cleantech Engineers – project at the department of Information Technology of LUAS, Scrum, one of the most widely used agile method is described, its operation principle, iterations, roles and metrics.

In the 21st century software industry needs a development process which guarantees the quality of the delivered product as well as copes with changing requirements and is sustainable in the long run.

**Keywords:** Scrum, Agile software development, Sprint, Product backlog.

### 1. Introduction

Software is everywhere. It is what lets us make a phone call, get cash from ATM, and drive our cars. Although software is so ubiquitous in our everyday lives, software industry has a bad record when it comes to delivering working software on time and within budget. It is well known fact that 80% of all software projects fail: in year 2005, the IEEE estimated that over \$60 billion dollars was spent on failed software projects. The top 6 reasons why software projects fail are: lack of customer (end user) involvement, poor requirements, unrealistic schedules, lack of change management, lack of testing and inflexible and bloated processes. So clearly, with so many projects failing, there's must be a better way to do software. (Object Mentor 2006.)

Software has a reputation to be easily modifiable, soft, and customers know this too. This has led to a situation, where some of the specifications are unknown and unspecified even during the development phase. Customers don't know exactly, what they want, but because software is so easily modifiable, they delay the specifications. To the developers this is just a common "status quo", but the project is proceeding at full speed. In a software project it is not so uncommon that the customer knows what he wants, after the first release has been used for a while.

In the 21st century we need a software development process which guarantees the quality of the delivered product as well as copes with changing requirements: The process of making software should be agile and ready for customer's late changes.

## 2. Agile software development

### 2.1. Agile Manifesto

The Agile Manifesto was established at a meeting of seventeen software developers in 2001 (Waterfall Model 2011). Agile software development is a light-weight methodology that allows small teams to develop software in the face of vague and rapidly changing requirements. It combines a set of principles, practices and processes that allows development teams to build software quickly and properly. Behind agile is a set of principles, which sets a high value on communication, simplicity, feedback and spirit. These principles form The Agile Manifesto for Software Development is:

“We are uncovering better ways of developing software by doing it and helping others to do it. Through this work we have come to value:

- Individuals and interactions over processes and tools
- Working software over comprehensive documentation
- Customer collaboration over contract negotiation
- Responding to change over following a plan

While there is value in the items on the right, founders of the Agile Manifesto value the items on the left more.”

### 2.2. Scrum Team

Scrum is one of the most widely used types of agile approach in software application development (Coffin & Lane 2006). It is an iterative and incremental framework to be used in teamwork. The Scrum team consists of a Product Owner, the Development Team and Scrum Master. Team is a self-organizing and cross-functional. It means that the team chooses itself how to accomplish its work, rather than being directed by others. Cross-functional teams have all competencies needed to accomplish the work without depending on others outside the team. The team model in Scrum is designed to optimize flexibility, creativity, and productivity. (Scrum methodology 2011.)

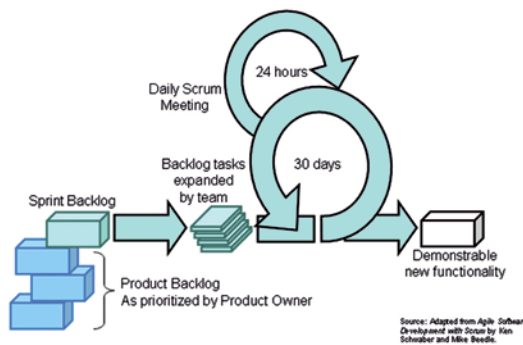
The Product Owner is responsible for maximizing the value of the product and the work of the Development Team. The Product Owner is the person responsible for managing the Product Backlog, which is a kind of a list of features needed in the product. Product Backlog management includes following tasks: clearly expressing Product Backlog items, ordering the items in the Product Backlog, ensuring the value of the work the Development Team performs, ensuring that the Product Backlog is visible, transparent, and clear to all, and ensuring that the Development Team understands items in the Product Backlog to the level needed. (Schwaber & Sutherland 2011.)

The Scrum Development Team consists of professionals who do the actual work of delivering a potentially releasable increment of a product at the end of each iteration, called Sprint. Development Teams are structured and empowered by the organization and they organize and manage their own work. The resulting synergy optimizes the Development Team's overall efficiency and effectiveness. Development Teams have the following characteristics: Team recognizes no titles for Development Team members other than Developer, regardless of the work being performed by the person. Teams also do not contain sub-teams dedicated to particular domains. Optimal development team size is small enough to remain agile and large enough to complete the work. Fewer than three Development Team members decrease interaction and results in smaller productivity. Small teams may also encounter skill constraints. Having more than nine members requires too much coordination. The Product Owner and Scrum Master are not counted to this unless they are also executing the work of the sprint backlog. (Schwaber & Sutherland 2011.)

Scrum Master is responsible for ensuring that the Scrum process is understood and followed. They do this by ensuring that the Scrum Team adheres to Scrum theory, practices, and rules. The Scrum Master is a servant-leader for the Scrum Team and he helps those outside the Scrum Team to understand which of their interactions with the Team are helpful and which aren't. They also help everyone change these interactions to maximize the value created by the Team. Scrum Master is a kind of a middle man between the Team, Product Owner, customer and the rest of the organization.

### 2.3. Scrum Process

Iterative and incremental nature of the Scrum Process is presented in the following figure 1, which shows the activities and artifacts of the Scrum Process.



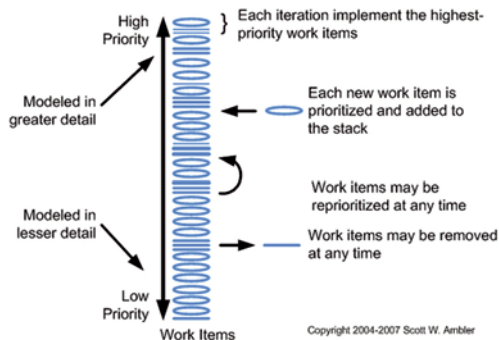
**Figure 1.** Activities of Scrum (Murphy 2004)

On the far left side of the figure 1 Product Backlog can be seen. A product backlog is a prioritized list of everything that might be needed in the product. It is also a single source of requirements for any changes to be made to the product.

Scrum development is based on short sprints, a time-boxed period during which a potentially releasable product increment is developed. Sprints have consistent durations throughout a development effort. A new Sprint starts immediately after the previous Sprint. In the middle of the previous figure 1, 30 days loop forms one sprint. After having more experience from Scrum, many teams prefer shorter sprints, such as one-week, two-week, or three-week sprints. A common understanding inside the software industry is that shorter sprints works better. (Milunsky 2010.)

Sprint starts with a Sprint planning meeting, which is used to define the work to be done in the Sprint. This plan is created by the collaborative work of the entire scrum team. The Sprint planning meeting last no longer than eight hours and it is divided into two parts: what will be done in this sprint and how will the chosen work get done?

In the first part of the planning meeting, the development team selects the most important features to be delivered in this sprint from the top of the product backlog. Product backlog is represented in the following figure 2. The number of items selected from the Product Backlog is solely up to the Development Team. Only the Development Team can assess what it can accomplish over the upcoming Sprint. After this selection, the Scrum team crafts a Sprint goal, which is an objective that will be met within the Sprint. It provides guidance to the Development Team on why it is building the Increment.



**Figure 2.** Product Backlog (Amber 2009)

In the second part after having selected the work for the sprint, the development team decides, how it will build this functionality into “Done” product. Product backlog items are divided into smaller units called Tasks. One task lasts from 4 to 16 hours. These tasks form the Sprint task list. Team assigns these items to developers during this planning meeting or during the development phase of the sprint according Just-In-Time principle.

Sprint Backlog, as seen on the top of the Product Backlog in the Figure 1 consist of the Product Backlog items selected for this Sprint plus the plan for delivering them.

Most of the time in the Sprint is spent in developing the selected functionality defined by the Sprint backlog tasks. During this development phase no changes are made that would affect the Sprint goal. This ensures that the development team is able to work with stable, frozen specifications. After the Sprint has started it is not allowed to change the development team composition. This deals with the working atmosphere of the team. Nothing should disturb the team spirit. During the sprint quality goals should not decrease. The sprint is a time-boxed event. If the time runs out and the team is not able to produce the Sprint goals, Sprint scope may be renegotiated, but the quality goals of the sprint do not decrease. This ensures that the delivery of Sprint remains a high-quality product increment. Sprint scope may also be clarified between the Product owner and the Development team, as more is learned.

While developing software the scrum team has short daily meetings, called Daily Scrum Meeting (the smaller loop in the Figure 1). These meetings last about 15 minutes and they synchronize the work of the development team. The daily Scrum is held at the same time and place each day. During the meeting each development team member explains what has been accomplished since the last meeting, what will be done before the next meeting and what obstacles are in the way?

The Development Team uses the Daily Scrum to assess progress toward the Sprint Goal and to assess how progress is trending toward completing the work in the Sprint Backlog. The Daily Scrum optimizes the probability that the Development Team will meet the Sprint Goal.

The sprint ends to Sprint Review meeting. It is an event at the end of the Sprint to inspect the product increment and adapt the Product Backlog, if necessary. During the Sprint Review, the Scrum Team and stakeholders collaborate about what was done in the Sprint. Based on that and any changes to the Product Backlog during the Sprint, attendees collaborate on the next things that could be done. This is an informal meeting, and the presentation of the increment is intended to elicit feedback and foster collaboration. The Sprint Review includes the following elements: The Product Owner identifies what has been “Done” and what has not been “Done” during this Sprint. The Development Team discusses what went well during the Sprint, what problems it ran into, and how those problems were solved. The Development Team demonstrates the work that it has “Done” and answers questions about the Increment. The Product Owner discusses the Product Backlog as it stands and projects likely completion dates based on progress to date. Finally the entire group collaborates on what to do next, so that the Sprint Review provides valuable input to subsequent Sprint Planning Meetings. The result of the Sprint Review is a revised Product Backlog. Note that the Product Backlog may also be adjusted overall to meet new opportunities.

Between the Sprint Review meeting and the Sprint Planning meeting the Scrum team organizes a Sprint Retrospective meeting. Purpose of this Retrospective is to inspect how the last Sprint went with regards to people, relationships, process, and tools. Identify and order the major items that went well and potential improvements. Create a plan for implementing improvements to the way the Scrum Team does its work.

Sprint Retrospective is an opportunity for the team to inspect itself. By the end of the Retrospective, the team should have identified improvements that it will be implemented in the next Sprint.



### 3. Srcum reports and metrics

From a metrics perspective the development team as well as other stakeholders is interested in the following two questions concerning the ongoing sprint: “Will all the Sprint requirements get completed by the end of the Sprint?” and “Will all requirements completed in the Sprint have high quality?”. To answer to the first question the Product Owner uses burn down charts, which shows the number of hours remaining each day. As the Sprint progresses the chart should incrementally trend downwards showing whether the team will complete all the requirements at the end of the Sprint. The chart typically presents at least two lines going from the top left section of the chart towards the bottom right. One of these lines presents an estimate of work delivered over time and the other shows the actual values. In figure 3 also the completed tasks and remaining tasks are presented.

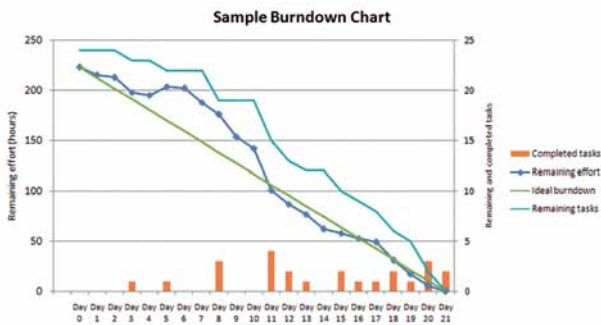


Figure 3. Sprint burndown chart

Same type of chart can be drawn from the release and it is called a release burndown chart. This chart shows the sprints on the x-axis and Ideal days (or story points) on the y-axis. It will show whether the team is on pace to finishing the product on time.

The quality of the delivered increment can be measured using test cases and defect statistics. Test case statistics will let the team know, if the product increment is thoroughly tested and defect statistics will alert the team from the quality of the delivered software increment. The team can see how many test cases are run for each sprint and how many of them are passed as well as how many are failed. The team can also track the trend of defects day-by-day basis and as the end of the Sprint approaches, the quality of the release should be at high level. Another advantage of this kind of charts is that the team can quickly toggle between Sprints and compare one to another.

## 4. Conclusion

As the lifecycle of the software intensive products get shorter and even more features are implemented through software, the process of making the software must be very agile and lean. The traditional waterfall model is no more applicable. Scrum is one of the most used Agile methodologies and it suits well to the demanding process of modern software development. It is iterative and ensures that the development is done against frozen specifications, which is a key factor in doing the right things. On the other hand it has short iterations, or sprints, which allow fast modifications in features and user requirements. After each sprint, in the Sprint review meeting, a product improvement is delivered and it is analyzed by the team and stakeholders. This causes a fast feedback from an idea to working software and ensures that the team is developing the right features. A key artifact in Scrum is the Product Backlog, which is a prioritized list of all features that the product will include. Ordering the Backlog ensures that the features are developed in correct order. Backlog can also be used to estimate the future, because of future features included. Scrum uses Just-in-time principles, which minimize the work to be done beforehand. Items in the near future are analyzed more detailed than items in the far. Modern software development is by far a team work, and Scrum supports that team work very well.

## References

- Amber S. 2009. Agile Requirements Change Management. [Retrieved 22 February 2013].  
Available from: <http://www.agilemodeling.com/essays/changeManagement.htm>
- Coffin, R. & Lane, D. 2006. A Parctical Guide to seven Agile Methodoligies. [Retrieved 22 February 2013]. Available from: <http://www.devx.com/architect/Article/32761>
- Milunsky J. 2010. What's the ideal sprint length. [Retrieved 22 February 2013].  
Available from: <http://blog.agilebuddy.com/2010/01/whats-the-ideal-sprint-length.html>
- Murphy, C. 2004. Adaptive Project Management Using Scrum. [Retrieved 22 February 2013]. Available from: <http://www.methodsandtools.com/archive/archive.php?id=18>
- Object Mentor 2006. So why use Agile? [Retrieved 22 February 2013].  
Available from: [http://www.objectmentor.com/omSolutions/agile\\_why.html](http://www.objectmentor.com/omSolutions/agile_why.html)
- Scrum metohodology 2011. [Retrieved 22 February 2013].  
Available from: <http://scrummethodology.com/>
- Schwaber, K. & Sutherland, J. 2011. The Scrum Guide. [Retrieved 22 February 2013].  
Available from: <http://www.scrum.org/scrumguides>
- Waterfall model 2011. Agile Software Development Part 1. [Retrieved 22 February 2013].  
Available from: <http://www.waterfall-model.com/agile-software-development-part-1/>

Matti Welin

## USER STORIES IN SOFTWARE DEVELOPMENT

### Abstract

One of the key issues in the beginning of a software project is user requirements elicitation. Building software on tentative requirements is a waste of time and resources: in the 21st century, era of the Green ICT and sustainable development, this is not acceptable.

Cleantech Engineers is an active project in Lahti University of Applied Sciences (LUAS) Clean technology and Green ICT deals with all products, processes, systems and services. Focus is to develop sustainable products, which minimize the environmental load during their lifespan. To be able to do this, new kind of Green ICT techniques are needed in the development phase. In this article, which is a part of the research in Cleantech Engineers – project at the department of Information Technology of LUAS, we describe User Stories, which is a method for customer requirements administration. User Stories is based on cards, and it supports iterative development and close collaboration with the customer. In a typical software project late changes in the specifications might take place. One benefit being close and iterative to the customer is that those late changes can be taken into account as soon as possible, thus minimizing the rework. Finally we give an overview how to implement the User Stories in the agile software development process, namely Scrum.

**Keywords:** User stories, Agile software development, Extreme programming, Scrum.

### Introduction

One of the most difficult phases in the software development process is user requirements elicitation. Building software on tentative requirements is a waste of time and resources. The later one will find the problems in the specifications, the more expensive the corrections will become (Mellor). Software requirements are a communication problem (Waters 2008). Those who need the software must communicate with those who will build the new software. Thus the project relies on information from the heads of different people: on the other side are customers and users and on the other side are developers and technical staff. This communication must also be balanced: if the other side dominates these communications, the project is lost. We need a way to work together so that neither side dominates and so that the emotionally-fraught and political issue of resource allocation becomes a shared problem.

Another problem in the software requirements is its natural tendency to change as the development proceeds: we cannot perfectly predict the software development project. As users see early versions of the product, they come up with new ideas and their opinions change. Because of the intangibility of software, most developers have difficult time estimating how long the development will take. (Kelly 2004.)

We make decisions based on the information we have at hand. And we do it often. Rather than making one all-encompassing set of decisions at the outset of a project, we spread the decision-

making across the duration of the project. To do this we make sure we have a process that gets us information as early and often as possible.

## User Story Overview

User stories represent functionality that will be valued by the users. Stories concentrate on three main aspects: a written description of the story used for planning and as a reminder (card), conversations about the story that serve to flesh out the details of the story (conversation) and tests that convey and document details and that can be used to determine when the story is complete (confirmation). A card represents customer requirements rather than document them: while a card may contain the text of the story, the details are worked out in the conversations and recorded in the confirmation. (Cohn 2004.)

To write a good story, one must ensure that the story is valuable to the user, it has the right size and it contains the right level of details. If the story is too broad, developers find it very hard to implement or test the story. It may even be impossible to code it. On the other hand if the story is too narrow, team spends more time on specifying than implementing the story. When the story is too large, it is sometimes referred to as an epic. Epics can be split into two or more stories of smaller size. Epics can be used also as placeholders for areas of the system that still need to be discussed. As a starting point it is good to have stories that can be coded and tested within between 4 hours to 2 weeks by one or two programmers. Sometimes the story has a lot of details concerning the case, but rather than writing all the details as stories, the better approach is for the development team and the customer to discuss these details. This conversation may take place at the point, when the details become important. Based on these discussions, short annotations can be added to the story card.

To create a good story, one must focus on following six attributes: Independent, Negotiable, Valuable, Estimable, Small and Testable. A good story is INVEST (Amber 2009).

A good story is independent. Stories that depend on other stories are difficult to prioritize and estimate. If one story depends on the other, developers can combine the stories into one larger but independent story. Sometimes the team can try to find a different way of splitting the story. If this is not possible, team can estimate the story by two estimates: one estimate is if the story is done before the other story and a lower estimate, if it is done after.

A negotiable story is a short description of core functionality, the details of which are to be negotiated in conversations between customer and the development team. They are not contracts or fully detailed requirements, thus they need not contain all the details: they serve more like reminders. However, if at the time the story is written some important details are known, they should be included as annotations to the story card. Details that have already been determined through conversations become tests.

The story should be valuable to either purchasers or users. If the story is valuable only to developers, customers may find it difficult to intelligently prioritize the story into the development schedule. Although in many cases the ideas behind the stories are focused on technology and advantageous to developers, they should be written so that benefits to the customer or the user

are apparent. One way to ensure that the story is valuable to the customer is to have the customer write the stories.

It is important for developers to be able to estimate the size of a story or the amount of time it will take to turn a story into a working code. An estimable story is easy to predict. There are three common reasons why a story may not be estimable: developers lack domain knowledge, developers lack technical knowledge or the story is too big. If the developers lack domain knowledge, team should consult the customer for more details. Sometimes the team is using technology, from which the developers have not enough knowledge. The solution in this case is to send one or more developers on spike, which is a brief experiment to learn about the area of the application. During the spike the developers learn just enough that they can estimate the task. The spike itself is always given a defined maximum amount of time, which allows team to estimate the spike. Using this approach an unestimable story turns into two stories: a quick spike to gather information and then a story to do the real work. If the story is too big, the team should split the story into smaller ones. (Leffingwell 2009.)

Size of the story is important, because if stories are too large or too small, team cannot use them in planning. Too big stories are usually epics. They typically fall into one of two categories: a compound story or a complex story. A compound story is an epic that comprises multiple short stories. A complex user story is inherently large and cannot easily be disaggregated into a set of constituent stories. If a story is complex because of uncertainty associated with it, team may want to split the story into two: one investigative and one developing the new feature. In the first case, the developers are sent to spike. The key benefit of breaking out a story is that it allows customer to prioritize the research separately from the new functionality. Sometimes stories are too small. A story that is too small is typically one that the developer says he does not want to write down the estimate because doing that may take more time than making the change. Bug reports and user interface changes are common examples of small stories. A good approach to tiny stories is to combine them into a larger story, which is then treated as one single story throughout the rest of the system.

A good story is also testable. Successfully passing the tests proves that the story has been successfully developed. If the story cannot be tested, how can the developers know when they have finished coding? Untestable stories commonly show up for nonfunctional requirements. While writing the tests, developers should, whenever possible, aim to automate the test cases.

When specifying User stories to more detailed tasks, the team should focus on writing Specific, Measureable, Achievable, Relevant and Time-Boxed tasks, SMART tasks (Vaibhav's blog 2007).

Specific task has enough information, so that everybody can understand what's involved in it. This helps keep the other tasks from overlapping this task and helps the team members to understand how this task adds to the full story.

Measurable task means that it is easy to define, when the task is done. The team should specify beforehand the definition of done, but it should include at least "does what it is intended to do", "tests are included" and "the code has been refactored".

Achievable task is one that the task owner or customer is able to achieve.

Every task should be relevant and thus contributing to the Story at hand. Stories are broken into smaller tasks, so that developers are able to build the feature, but a customer should still be able to expect that every task can be explained and justified.

Time-boxing means that the task is limited to a specific duration. There should be an expectation so that others will know when they should seek help. If the task is harder than expected, the team needs to know it, split the task, change or add more developers, so that the task and the Story behind it gets done.

### A Story Card Example

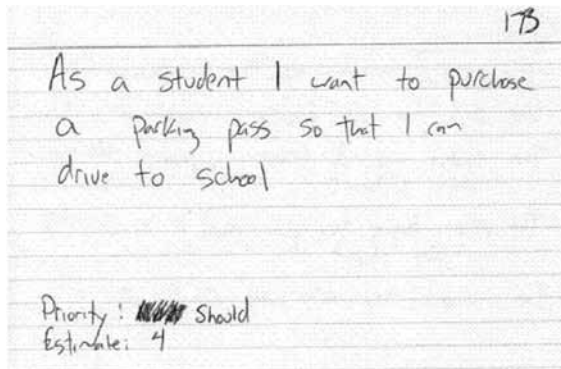
As a formal approach, Mike Cohen suggest following approach to writing user stories:

“As a (role) I want (something) so that (benefit).”

For example a car parking ticket system might have following user story:

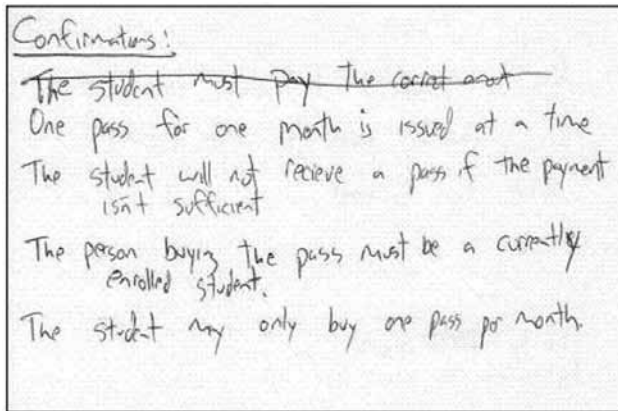
“As a student I want to purchase a parking pass, so that I can drive to school.”

In the following figure 1, an User Story Card is show. The story is written in the middle of the card. In the right upper corner there is a unique card ID, for identifying and tracking this story. At the bottom there is priority and estimate of this story.



**Figure 1.** User Story Card (Amber 2009).

At the back of the card there is space for acceptance tests descriptions as show in the following figure 2. One should identify the acceptance criteria or confirmations, which the stakeholders will use to validate that the user story has been implemented correctly.



**Figure 2.** Back of User Story Card (Amber 2009).

## Gathering Stories

Gathering stories requires communication skills and ability to generalize different kinds of needs. On many projects, stories are written as though there is only one type of user: all stories are written from the perspective of that particular user. This simplification can lead a team to miss stories for users who do not fit the general mold of the system's primary type. To avoid writing all stories from a perspective of a single user, one should first identify the different user roles. To identify and select a useful set of user roles, the team can use following procedure: brainstorm as initial set of user roles, organize the initial set, consolidate roles and refine roles. Brainstorming is used to generate as many roles as possible. Organizing the initial set collects the overlapping roles together and defines a common name for the groups. After the roles have been grouped the team consolidates and condenses the roles. This forms a common understanding about the roles and their relations to each other. The final step refines the roles by defining attributes to each role. A role attribute is a fact or bit of useful information about the users who fulfill the role. Attribute can be e.g. the frequency with which the user will use the software or the user's level of expertise with the domain.

After the roles have been defined it is easier to write stories, because the team is able to concentrate on a single user role at a time. Stories will be evolving, coming and going throughout the project, so the team needs a set of techniques for gathering them. The team can use user interviews, questionnaires, observation and story writing workshops. These techniques are lightweight and non-obtrusive enough, that they can be applied continuously. User interview is the default approach, in which the selection of the interviewees is a critical. The team should interview users, who fill different user roles. If the real users are not available, the team can replace the customers with user proxies, which represent users. Questions should be open-ended and context-free, so that the respondent can express more in-depth opinions; plain yes or no answer will leave no room for anything other. Context free questions do not include an implied answer or preference. Questionnaires can be an effective technique for gathering information about stories the team already has. Observing users to interact with the software is a known way to pick up insights, although opportunities are rare. Story writing workshop is a meeting that includes

developers, users, product customers and other parties who can contribute by writing stories. Story writing workshop is one of the most effective ways to trawl stories. Despite the fact that there are many techniques for gathering user stories, the best result can be achieved by using a combination of these methods. (Cohn 2004.)

## Guidelines for Good Stories

In a big project with many user roles, it is difficult to find out where to start in identifying stories. The team should consider each user role at a time and identify the goals that user has for interacting with the software. These goals are usually high-level stories that can be used to generate additional stories as needed. Big stories should be broken down into smaller pieces. One way to break a story is to split it along technical lines, but this usually leads to a set of stories that are not very useful on their own: one story is not very useful without another story fulfilled. A better approach is to write stories that provide some level of end-to-end functionality, as Bill Wake (2003) refers to this as “slicing the cake”. Each story should have a little from each layer. Exercising each layer of an application’s architecture reduces the risk of finding last minute problems in one of the layers. Second benefit from this is that an application could conceivably be released for use with only partial functionality as long as the functionality that is included in the release slice is all the way through the system. Good stories are ones that finish with the achievement of a meaningful goal. This allows the user to feel that he has accomplished something: this kind of stories are called as closed story. The desire to write closed stories has to be tempered against competing needs.

Stories also need to be small enough to be estimable and conveniently schedulable into single iteration, but on the other hand large enough that the team avoids capturing details any earlier than necessary. Team should pay more attention to stories that happens in the near future than far away. This also affects to the size of the stories: Stories for the next iterations should be written at sizes that can be planned into those iterations. More distant stories could be larger and less precise. One of the problems in software requirements is that while defining the requirement, a solution is also either explicitly stated or implied. This happens usually with aspects of user interface. Although eventually, user interface details will slip into stories, it will be wise to keep the UI out of the stories for as long as possible. If the project team has identified user roles, they should be used in writing the stories: instead of using the User, use role. Stories are generally most readable when written for one user in the active voice. In ideal case the customer should write the stories with the aid of the development team.

Non-functional requirements (quality attributes) are usually something that must be obeyed throughout the whole software rather than implemented directly. These kinds of features can be written as story cards with constraint. Even though constraint cards do not get estimated and scheduled into iterations, they are useful: constraint cards can be taped to the wall, where they act as reminders. Using these reminders the team should write the acceptance tests to ensure that the constraints are not violated.



## Estimating User Stories

When the team writes stories, they should also estimate how much effort is needed by the team to accomplish the task. Estimation policy should allow the team to change the estimate whenever the team has new information about the story, work for both epics and smaller stories, be fast enough, provide useful information about the progress and the work remaining, be tolerant of imprecision in the estimates and be useful for planning the releases. One approach that satisfies each of these goals is to estimate in story points. One story point is an estimate which is defined by the team. The team may decide to define a story point as an ideal day of work. Ideal day is a working day, without any interruptions – no meetings, no email, no phone calls. Another team may define a story point as an ideal week of work or a measure of the complexity of the story. Using ideal time offers some advantages over elapsed time units: it is easier to estimate and a bit more accurate. A story estimate is owned by the team not by the individual, because the team does not know yet, who will work on the story. Also estimates derived by the team are probably more accurate and more useful. Using common estimation everybody in the team gets more involved. Since one of the main purposes of estimating is to be able to answer the questions about the overall expected effort in a project, the team will eventually need to convert estimates into time. Starting with ideal time makes that conversion a little simpler than starting with an entirely nebulous time or using elapsed time.

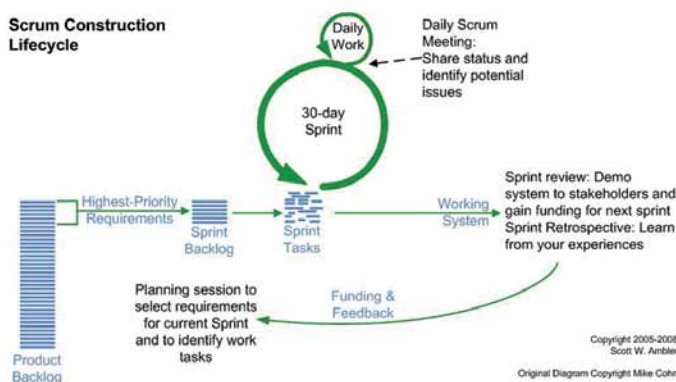
Some stories are more difficult to estimate than others. In these cases the team can play planning poker to get a unified estimate (Grenning 2002). After the estimates are all done, the team should triangulate the estimates. This refers to estimating a story based on its relationship to one or more stories. The team can pin the stories on the wall based on their size. Vertical lines are drawn on the wall and each column is labeled with the number of story points that column represents. Then story cards are pinned to the wall in the appropriate column. This procedure can be used to quickly verify the estimates. Finally the team should track the number of story points they will complete. This value can then be used as an estimate the velocity of the team. Velocity is the number of story points the team completes inside one iteration.

Along with the effort estimate a story should have a priority estimate. Priority is important factor, when the team selects the next things to do. To the customer priority is a way to value different features of the software and guide the development process. Four level MoSCoW prioritization technique is usually sufficient (Clegg 2004). Those four levels are: must-have, should-have, could-have and won't-have this time. The must-have features are those that are fundamental to the software system. Should-have features are important but in many cases there is a short-term workaround for them. If the project has no time constraints, these should-have features are normally considered mandatory. Could-have features can be left out of the release, if the time runs out. Features prioritized as won't-have are the ones that are desired but acknowledged as needed in the later releases. Usually priority of a story reflects the feature desirability by the customer. The feature may be important to board base of users or a small number of important users. On the other hand a priority of a story may be high, because it's cohesiveness in relation to other story: a story itself is not very important, but it is closely related to a high priority story. Also technical factors may affect the story priority: the risk that the story cannot be completed as desired or the impact that the story will have on the other stories, may increase the priority. If

the customer has trouble prioritizing a story, the story may need to be split. This allows the customer to prioritize the separate stories differently.

## User Stories and Scrum

User stories originated as part of Extreme Programming and thus they fit perfectly with the practices of XP. Scrum, which is one of the most used agile processes today, is an iterative and incremental development process, in which the product gets implemented through successive refinements or product improvements called sprints. Scrum construction lifecycle is represented in figure 3. In a sprint a development team takes one cut at the system, knowing it is incomplete in some areas. Product improvements are made by the team during the sprint. In the following sprints the team iterates and refines the product until it is satisfactory. The backbone of this iterative process is the product backlog, which is a prioritized list of all features needed in the product. User stories can be used in expressing product backlog items. Each story in the product backlog must describe some item of value to a user or to the product owner. If the item's priority changes its position in this list is modified. Using only User stories in the product backlog it becomes easier for the product owner to prioritize the backlog. Product owner can be seen as a customer, if the real customer is no available.



**Figure 3.** Scrum lifecycle (Amber 2011).

A sprint starts with the sprint planning meeting. During this meeting the product owner and the team discuss the top priority items on the product backlog. The team then identifies the items they will commit to completing during the sprint. They then break those tasks into smaller tasks so that developers can sign up for tasks as the sprint progress. Product backlog items can be seen as epics, which are bigger stories and should be split into smaller tasks according the Users story based development. A story is a base for conversations and it gets more and more detailed and concrete as the implementing gets closer. Stories force each product backlog item to deliver value that the customer can assess. During the daily scrum meetings user stories help

the team to focus on customer needs and end-user desires. At the end of each sprint is the Sprint review meeting. In these meetings User stories makes it easier to assess what parts of a sprint have been completed.

## Conclusion

User stories are a customer centric requirements method, which emphasize verbal communication. The story is just a skeleton, a reminder, which is used for planning and discussions: a story represents customer requirements rather than document them. While the card contains the text of the story, the details are worked out in the conversations between the team and the customer.

User stories are comprehensible by everyone. All the technical jargon included in IEEE 830-style documents or even the use cases or scenarios are not so comprehensible. User stories are just right size for planning and they are ideal for iterative development. The team can start coding even before all of the stories are finished. When writing stories the team can use appropriate level of details. Stories have the advantage that they encourage the team to defer collecting details. An initial place-holding goal-level story can be written and later replaced with more details as soon as it becomes important to have these details. Stories support opportunistic development, in which the team shifts focus between high and low levels of detail as opportunities are discovered. User stories encourage participatory design, in which the users of the system become a part of the team, not thought management edict, but because they are so engaged by the requirements and design techniques in use. Stories build up tactic knowledge, because of the emphasis placed on face-to-face communication between the Customer and the team.

## References

- Amber, S. 2009. Introduction to User stories. [Retrieved 22 February 2013].  
Available from: <http://www.agilemodeling.com/artifacts/userStory.htm>
- Amber, S. 2011. The Agile System Development Life cycle (SDLC). [Retrieved 22 February 2013]. Available from: <http://www.ambyssoft.com/essays/agileLifecycle.html#Release>
- Clegg, D. 2004. CASE Method Fast-track : A RAD Approach.
- Cohn, M. 2004. User Stories Applied: For Agile Software Development. Addison-Wesley: Crawfordsville.
- Grenning, J. 2002. Plannin poker. [Retrieved 22 February 2013].  
Available from: <http://renaissancesoftware.net/files/articles/PlanningPoker-v1.1.pdf>
- Kelly, A. 2004. Why do reuirements change? . [Retrieved 22 February 2013].  
Available from: <http://accu.org/index.php/journals/319>

- Leffingwell, D. 2009. A User Story Primer. [Retrieved 22 February 2013].  
Available from: <http://trailridgeconsulting.com/files/user-story-primer.pdf>
- Mellor, S. UML and the Cost of defetcts, [Retrieved 22 February 2013].  
Available from: <http://www.volere.co.uk/pdf%20files/mellor-defects.pdf>.
- Vaibhav's blog 2007. Six features of a good User Story. [Retrieved 22 February 2013].  
Available from: <http://agilesoftwaredevelopment.com/blog/vaibhav/good-user-story-invest>
- Waters, K. 2008. Software requirements are a communication problem. [Retrieved 22 February 2013]. Available from: <http://www.allaboutagile.com/software-requirements-are-a-communication-problem/>
- Wake, B. 2003. INVEST in Good Stories, and Smart Tasks. [Retrieved 22 February 2013].  
Available from: <http://xp123.com/articles/invest-in-good-stories-and-smart-tasks/>

Matti Welin

## SOFTWARE DEVELOPMENT USING KANBAN

### Abstract

Lean production methodology has been very successful in the automobile industry for a long time. Kaizen principles of continuous improvement and waste elimination can be applied to software development but with care.

One of the active projects of Lahti University of Applied Sciences (LUAS) is Cleantech Engineers. Clean technology is applied to all products, processes, systems and services. Focus is to make more sustainable products and services that harm environment less than before. To be able to do this, new kind of Green ICT based design is needed. In this article, which is a part of the research in Cleantech Engineers – project at the department of Information Technology of LUAS, we describe Kanban pull system, which improves the quality and productivity of a software team by limiting the work in progress. By improving the quality, products and services become more sustainable and thus they consume less resources. One of the key issues in Kanban is the card wall. Swim lanes on the wall can be used to limit the WIP. Finally we give an overview of Kanban metrics and meetings.

**Keywords:** Kanban, Kaizen, Continuous improvement, Card wall, Work item.

### Introduction

Digital world has surrounded us unconsciously. Ubiquitous computing is a vital part of our everyday lives. Software plays an important role in this. Despite of the huge and fast development of software centric devices, the process of making software has been in many ways the same past 30 years. Software is by nature soft and the customers know this too. This means that late changes on features and requirements are possible and even desirable. To be able to cope with changing requirements, the process of making software should be agile and ready for customer's late changes. Agile principles and methods have been around over a decade. A sprint based iterative development cycle is a commonplace inside software industry. But Kanban and Lean thinking has been very successful even longer period of time (Lean Enterprise Institute 2009; Björkholm 2009), but not inside the software industry. Things are seen as flow without iterations and many rules.

Adjusting Kaizen principles of continuous improvement and waste elimination into software development should be done carefully. Software projects are unique. They have different budgets, schedules, scopes and risk profiles. Software teams have different levels of skill, experience and capability. Organizations have different value chains and target markets. Because of this vast variability which is found inside software projects, all the principles of Lean manufacturing, which was developed to reduce costs in high volume production lines, may not be applicable by itself. Projects should deliver artifacts at sustainable pace, working code should be high-quality and fully functional on different platforms and produced cost effective way despite of the development method used. To be able to handle this, software development teams' Work in Progress

needs to be limited. Kanban is promising new methodology, which can be used to achieve the goals of 21 century software development.

## **Kanban Method Overview**

Kan-ban is a Japanese word, which means “signal card” or “visual card” (Crisp). Kanban is known as a pull-system, where a new work is pulled into the system, when there is a capacity to handle it. Kanban cards were originally used at Toyota Production System (TPS) to limit the amount of inventory tied up in “work in progress” on a manufacturing floor. Workers at each step in the process were not allowed to do work unless they were signaled with a kanban from a downstream step. Kanban is the mechanism that underpins the Toyota Production System and its kaizen approach to continuous improvement. The Kanban Method introduces a complex adaptive system that is intended to catalyze a Lean outcome within an organization. The core idea in Lean is to maximize customer value while minimizing the waste. Simply, lean means creating more value for customers with fewer resources. In Toyota Production System not only is excess inventory waste, but also the time spent producing it is time that could be expended elsewhere. (Hiranabe 2008.)

A characteristic feature in a pull system is that it cannot be overloaded, if the capacity has been set appropriately. A number of kanban (or cards) equivalent to the agreed capacity of a system are placed in circulation. One card attaches to one piece of work. Each card acts as a signaling mechanism. A new piece of work can be started only when a card is available. This free card is attached to a piece of work and follows it as it flows through the system. When there are no more free cards, no additional work can be started. Any new work must wait in the queue until a card becomes available. When some work is completed, its card is detached and recycled. With a card now free, a new piece of work in the queuing can be started.

Complex adaptive systems have initial conditions and simple rules that are required in order to seed complex, adaptive, emergent behavior. Kanban uses five core properties to create an emergent set of Lean behaviors in organizations: Visualize the workflow, Limit Work-in-progress, Measure and manage flow, Make process policies explicit and use models to recognize improvement opportunities. These properties have been present in every successful Kanban implementation.

## **Kanban inside Software Development process**

Virtual Kanban system can be used to limit the work in progress in software development. Card items do not function as signals to pull more work, but they represent work items. The signal to pull new work is calculated from visual quantity of work in progress subtracted from some predefined limit or capacity. This signal can also be generated from software work tracking system automatically. (Anderson 2010.)

Card walls have become a popular visual control mechanism in Agile software development. A whiteboard with sticky notes or an cork notice board with index cards pinned to a board to track work in progress has become commonplace. These card walls are merely visual control systems. They allow teams to visually observe work in progress and to self-organize, assign their own tasks, and move work from backlog to complete without direction from a project. Agile card walls can

be turned into Kanban systems by using explicit limits for Work in Progress and implementing the pull system for new work. In the following figure 1 a Kanban card wall is represented.



**Figure 1.** Kanban card wall (Quinn 2009).

In software development Kanban is used to limit the Work in Progress to set the capacity of the team. This should balance the demand on the team against the throughput of their delivered work. By doing this the team can achieve a sustainable pace of development. Kanban quickly flushes out issues that impair performance, and it challenges a team to focus on resolving those issues in order to maintain a steady flow of work. By providing visibility onto quality and process problems, it makes obvious the impact of defects, bottlenecks, variability and economic costs on flow and throughput. By limiting the work in progress Kanban encourages higher quality and greater performance. The combination of better quality and improved flow helps to shorten lead times and improve predictability and due-date performance. By establishing a regular release cadence and delivering against it consistently, Kanban helps to build trust with customers and trust along the value stream with other departments and dependent downstream partners. (Kniberg & Skarin 2010.)

### **Kanban adaption to Software Development**

David Anderson (2010) suggests following guidelines for adopting the Kanban system for a new manager and an existing team. The six steps are following: Focus on quality, Reduce Work in Progress, Deliver often, Balance demand against throughput, Prioritize and Attack sources of variability to improve predictability. This list should be implemented in defined order, in which the easiest steps are done first. While working down the list, there is gradually less control and more collaboration required, which is generally harder. As a rule of a thumb, manager should start from current procedures, change as little as possible, but focus on productivity. This builds trust and enables quick improvements with low level of resistance. As the level of trust increases, the manager is able to do harder improvements.

The first guideline step deals with quality. The Agile Manifesto says nothing about the quality, although the principles behind manifesto do include an implied focus on quality. Excessive defects are the biggest waste in software development. According Carper Jones measurements in 2000 North American software teams spent more than 90 % of their effort fixing defects. In

2007 Aaron Sanders reported equal figures about the team he was working with. Encouraging high initial quality will have a big impact on the productivity and throughput of teams with high defects rates. Both agile development and traditional development approaches to quality have merits. This implies that they could be used in combination. To focus on quality, professional testers should do the testing. Testers find defects and prevent them from escaping into production code. Developers should write unit tests and automate them to provide automated regression testing. This will have a dramatic effect on quality. Test Driven Development (TDD) does seem to provide the advantage that the test coverage is more complete. Also on the average team, writing the tests before functional coding, improves quality. Code inspections have positive impact on quality. It does not matter whether it is pair programming, peer review or code walkthroughs code inspections improve quality. It makes both external and internal code quality better. Code inspection should be done often and in small batches. Collaborative analysis and design improves quality too. When a team is asked to work together to analyze and design solutions, quality is higher. This implies that also the design and modeling sessions should be done in small batches every day. Design patterns capture known problem solution pairs, which can be used to increase quality, if applied and used advisedly. Patterns ensure that more information is available earlier in the production lifecycle and this eliminates design defects. Use of modern development tools can be used to improve quality. Many tools can perform static and dynamic code analysis and these features should be switched on and tuned for each project. In the repetitive coding environment Product Line based frameworks can be used to automate repetitive tasks and reduce defects thus increasing quality of the code. This also reduces the code inspection need, because used code has a known quality. And finally reducing the quantity of design in progress, boost the software quality.

Second step was to reduce the Work in Progress. Anderson (2010) has reported measurements between two teams at Motorola concerning Work in Progress, Lead time and defects in 2004. According his study the first team handed out large batches of features to individual developers. This caused increase in the amount of work in progress per developer, typically 10 features or more per developer. And this led to average lead time of 3 months. The second team worked on small batches of features at a time, typically 5 to 10 features per team. They were also developing unit tests for 100 % of functionality. This arrangement resulted to average lead time from 5 to 10 days. The initial quality, measured as escaped defects leaking into system or integration test, between these two teams was greater than 30 fold: the second team produced initial quality of two or three defects per 100 features, while the first team averaged two defects per feature. As a conclusion of Anderson's study there is causation between quantity of Work in Progress and average lead time and the relationship is linear. There is correlation between increased lead time and poorer quality: longer lead times seem to be associated with significantly poorer quality and longer average lead times results from greater amounts of Work in Progress.

Reducing Work in Progress (or shortening the length of an iteration), will have a significant impact on initial quality. This relationship is non-linear, because defects seem to rise disproportionately to increases in quantity of Work in Progress. By introducing an explicit policy to limit the Work in Progress, will improve quality and free managers to focus on other activities.

Deliver often was the third step. By reducing Work in Progress will also shorten the lead times and it means that it is possible to release working code more often. More frequent high-quality



releases build trust with external teams and partners. This is called as social capital and it is event driven: small and frequent events enhance trust more than larger gestures made occasionally. Small releases show that the team can deliver and is committed to providing value.

Complexity in knowledge-work problems grows exponentially with the quantity of Work in Progress. Much of knowledge transfer and information discovery in software development is tacit in nature and it is created during collaborative face to face working sessions. The information is verbal and visual but it is in a causal format like a sketch on a whiteboard. On co-located teams the loss of information (our minds has limited capacity to store all the tacit knowledge) can be cured through repeated discussions by a group of people Tacit knowledge depreciates with time, so shorter lead times are essential for tacit knowledge processes. Agile teams co-located in a shared workspace are more likely to retain tacit knowledge longer. By reducing Work in Progress is directly related to reducing lead times. There will be lower tacit-knowledge depreciation, when there is less Work in Progress, resulting in higher quality.

Fourth phase was to balance demand against throughput. This can be achieved by setting a rate at which we accept new requirements into our software development process. This predefined rate should correspond with the rate the team can deliver working code. As a work is delivered, the team pulls new work from the backlog. Discussions about prioritization and commitment to work can happen only in the context of delivering some existing work. As soon as the limit of Work in Progress has been set, only bottleneck resources will remain fully loaded and other workers will find that they have slack capacity. Because of that extra time these other workers start to improve their own circumstances: they may take some training or start to apply better tools. One small improvement lead to another, the team will be seen as continuously improving. The team needs slack to enable continuous improvement. To enable slack the team needs to balance demand against throughput and limit the Work in Progress.

Before the fifth phase, prioritization, is started, high quality code should be delivered frequently by the team. Development lead times should be short as well as Work in Progress limited. New work should be pulled only when the capacity is freed up by completion of work. There is little point in paying attention to prioritization when there is no predictability in delivery. The goal of prioritization is to optimize the value delivered rather than quantity of code delivered. Prioritization should not be controlled by the engineering organization. It usually requires product owner, business sponsor or marketing department to change their behavior. To influence this change, a level of trust must have been established. Without the capability to deliver high quality code regularly, there can be no trust and hence little possibility to influence prioritization and thus optimize the value being delivered from the software team.

The final sixth step was to attack sources of variability is an advanced topic. Variability results in more Work in Progress and longer lead times. Reducing variability requires the team to change the way they work, to learn new techniques and to change their personal behavior. This is targeted only to mature organizations. To be able to make changes to reduce variability, a slack is required. On the other hand by reducing variability the need of slack is reduced. Reducing variability also enables a resource balancing and reduces resource requirements.

## Implementing Kanban card wall

Kanban is an approach that drives change by optimizing the existing process. The essence of starting Kanban is to change as little as possible. The main target to change should be the quantity of Work in Progress and the interface to and interaction with upstream and downstream partners. To be able to limit the Work in Progress the team must map the process they actually use. Without this it is impossible to use a card wall as a process-visualization tool. Team members can use the card wall only if it reflects what they actually do.

Before drawing the card wall to visualize the work, the team should define the start and end point of control. The team should stick inside its own sphere of control. By doing this the team is not asking up- or downstream partners to change their way of working.

After the starting point in the workflow is selected, the team should identify the work item types that arrive at that point and any other type that exists within the workflow that will need to be limited. Typical items inside workflow are bugs, refactoring, system maintenance and infrastructure upgrades. For incoming work the team may have types such as User stories, Use Case, Functional requirement or Feature. In some cases the incoming type might be hierarchical such as Epic or collection of user stories. Typical work item types seen on teams using Kanban have included, but are not limited to, the following: Requirement, Feature, User story, Use case, Change request, Production defect, Maintenance, Refactoring, Bug, Improvement suggestion, Blocking issue. Some of these types may not require every step in the workflow. It is useful to name the work item types for their source: Regulatory requirement, Field sales request or Strategic planning requirement.

Typical way to draw the card wall is to show activities that happen. The idea is to model the work, the functions or the handoffs between functions. Sometimes a flowchart should be drawn to clarify the workflow. Once the workflow is understood, the team starts to define their card wall by drawing columns on the board that represent their activities performed, in the order they are performed. For activity steps both the in-progress and the completed work should be modeled. This is done by splitting the appropriate column. Next the team adds the input queue, which usually contains items from product backlog, for example a sprint task list. After that, the team adds any downstream delivery step that needs visualization. In software development, this usually is production or acceptance test. Finally the team adds any buffers or queues that are necessary. There are two schools of thought on this: Other says that try not to guess the location of bottleneck that will require a buffer. Instead implement the system and wait for the bottleneck to reveal itself. Another school of thought says that between each stage there should be a buffer. Bottlenecks will reveal themselves by how full the buffers become.

After the initial card wall has been draw, capacity should be allocated according demand. Defining demand may take some kind of analysis. For each type of work item, the team should make a study of the demand: some work items may have historical data that can be used as an estimate, some items may come in bursts and some items exhibit seasonal demand. Capacity allocation can be done using swim lanes in the wall. The allocation should be aligned to the risk profile. Sometimes a proper percentage for a particular lane is sufficient and sometimes the team leaves resource without capacity allocation and adopts a policy of exceeding the Work in Progress in the case of maintenance.

At the same time the Work in Progress limits should be defined. Typically the Work in Progress limits are written on the card wall at the top of each column or across a span of columns. As a starting point the team should use a single item at a time per developer, pair or sub-team. This means that the multitasking is not allowed at the beginning. If items may become blocked or delayed, it may make sense to allow some task switching, thus increasing the limit. As a rule of thumb, one should select a number and if it is not working well, the value should be adjusted. Some empirical observations suggest that two items in progress per worker is optimal.

When the work is completed and waiting to be pulled by the next stage, it is said to be queuing. The queue size should be as small as possible, because according Lean principles, queues are waste. The Work in Progress limit is often bracketed with its preceding work step. For example the Development and Development complete use only one limit value. Queues are used to absorb variation and maintain flow. Without queues Kanban system suffers from stop-go behavior.

Bottleneck of the workflow may need a buffer in front of it. Again the size of the buffer should be as small as possible, because buffers add Work in Progress in the system and they lengthen the lead time. On the other hand they smooth the flow and improve predictability of the lead time. By smoothing the flow, the throughput is increased, so more work gets delivered. Buffers also ensure that the team is kept working and provide for greater utilization; they avoid idle times in bottlenecks.

Input queue size can be defined from the production rate of the system. For example if the team is producing at mean rate of five completed work items per week and queue replenishment cadence is weekly, queue size should probably be set to seven. If the weekly prioritization meeting is at Monday and the input queue is depleted on Thursday, the size of the input queue is too small. In the following figure 2 empty Kanban wall with swimlanes, capacity allocation and Work in Progress limits is represented.



Figure 2. Kanban card wall with swim lanes and WIP limits.

## Work item card

Every work card represents a discrete piece of customer-valued work. The information on the card must facilitate the pull system and empower individuals to make their own pull decisions. Items on the ticket may vary by work type or by class of service. Different colors are used to mark different work item types. The top left corner is reserved for electronic tracking id number. Title of the item is written in the middle. Date of the ticket entered into the system is written in the bottom left. This date is used for first-in-first-out queuing information for standard class of service items, and it allows the team to see how many days have been expired under Work in Progress. For fixed delivery date class of service items, required delivery date is written in the bottom right of the ticket. The name of the assigned person is written above the ticket, because it may change during the development. If the ticket is late against the target lead time, a star is written after the name. When a work item is blocked, a pink issue ticket is attached on the blocking item and a new issue item should be created. This new item should be linked to the original work item and it stays open until the impediment is removed and the original work item can progress through the system. (Anderson 2009.)

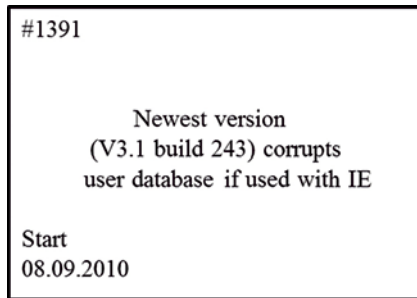
## Service level agreement

Service level agreement is based on concept of classes of services. For example defects get repaired depending on the severity and priority: high severity and high priority defects are fixed immediately. With different classes the team can offer the customer more flexibility, while optimizing the economic outcome and spare the need to make a detailed estimate or analysis. Classes of services provide a convenient way of classifying work to provide acceptable levels of customer satisfaction. They also determine priorities within the system. This can be seen as an explicit promise to the customer. Policies associated with the classes affect how items are pulled through the system. Classes of service are typically defined based on business impact. Different colored work item cards are used to clearly signify the class of service of any given request. (Anderson 2010; Anderson 2009.)

Division to service classes can be done in many ways. One common division is to use four main classes of services. As a general guideline four to six service classes should be enough. Otherwise the overhead for administrating and operating becomes too complicated. The four typical Kanban service classes are: Expedite class, Fixed delivery date class, Standard class and Intangible class.

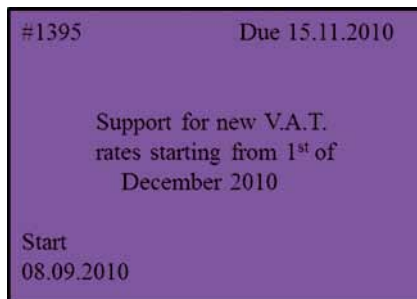
Expedite class is also known as Silver bullet class. Items in this class are hand-carried through the system. Expediting increases inventory levels and lead times of other, non-expedite class items. Organization makes a choice to realize the value of silver bullet at the cost of both delaying other orders and incurring additional carrying cost of higher inventory levels. The value generated should exceed the costs. Expedite class items get personal attention from a project manager and they automatically jump the queues. Qualified resource must pull this request immediately and this requires that the selected specialist drop other work in preference to working with the silver bullet. Expedite request use white cards on the card wall and only one request is permitted at any given time. This means that the Expedite class Work in Progress limits is one. Any point in the workflow, the Work in Progress limit may be exceeded or Expedite work items are not counted to Work in Progress limits. Thus capacity is not being held in reserve for expediting.

Typical request in this class are high severity production defects or V.I.P customer wants something. Expedite card is presented in figure 3.



**Figure 3.** Expedite class work item

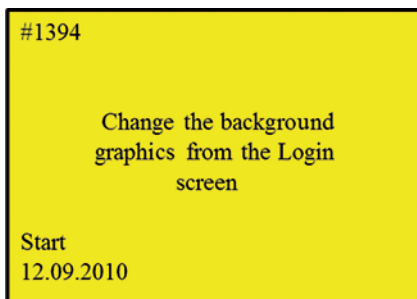
Fixed deliver date class request carry a significant cost of delay. There will be a date when a penalty would be incurred and this is usually stated in the contract. Or there would be a requirement to cease some activity, until the requirements are met. This means that the organization loses opportunities to deliver or sell. Fixed deliver date requests use purple cards and the hard date is written on the top right corner of the card. These items receive some analysis and estimate of size and effort needed to complete this request. If the item is large, it may be broken up into smaller, more manageable, items. Fixed deliver date items are held in the backlog until they are selected for the input queue, close to the ideal point in time at which they can be delivered on time. These items must adhere to the Work in Progress limits and they are released in a regularly scheduled release just prior to their required delivery date. If Fixed deliver date item gets behind and release date is at risk, its class may be promoted to an Expedite class. Typical request in this class are new features sold to a customer and the delivery date is fixed. Fixed delivery date card is presented in figure 4.



**Figure 4.** Fixed delivery date class work item

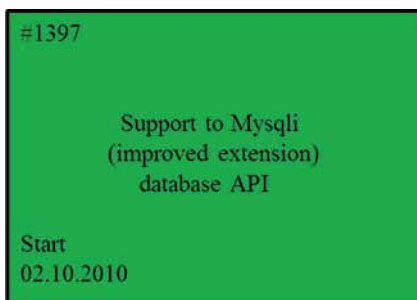
Most items that need some urgency should be treated as Standard class items (figure 5). Policies and Service Level Agreement for this class items may vary by the work type. These items tend to have a tangible cost of delay and it can be calculated although not always in monetary units. Standard items use yellow cards, as seen on the following figure and these items are prioritized into the input queue based on agreed-upon mechanism. This can be for example a democratic

voting. These items use first-in-first-out queuing as they are pulled through the system. A team member pulls the oldest Standard class item if there is no Expedite of Fixed date class item to choose in preference. Standard class items queue for release and they are released in the next scheduled release. For these items no estimation is performed to determine a level of effort or flow time, but the size may be analyzed. Small items are typically processed within four days. Medium size items are processed within a month. Large items take up to three months and they can be broken down into smaller items, which are queued and flowed separately. Standard class items are generally delivered within predefined days of selection with a due date performance of desired percent. A typical Standard class Service Level Agreement might be following: 30 day lead time with 80 percent due-date performance. This means that four out of five requests should be delivered within 30 days. Typical requests of Standard class items are change requests and production bugs.



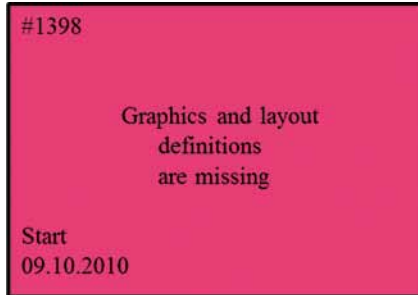
**Figure 5.** Standard class work item

At the lowest priority lies Intangible class (figure 6). These items may be important and valuable, but there is no tangible cost of delay associated with them in the near future. So there is no cost delay within the timeframe that might take to deliver the item. These items are always set aside when more urgent requests arrive. Intangible class uses green cards on the card wall as seen on the following figure. Items are prioritized into the input queue based on agreed-upon mechanism using same principles as Standard class items, but these items are pulled through the system in an ad-hoc fashion. No estimation is performed for effort or flow time, but size may be analyzed. These items also queue for release and are released in the next scheduled release. There is no necessary a Service Level Agreement for Intangible class. Typical requests of this class are platform change or upgrade requests or strategic initiatives. Also items that have a fixed delivery date in the far future can be included in intangible class.



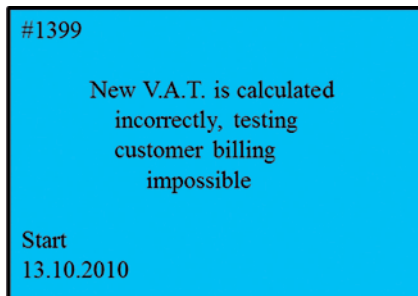
**Figure 6.** Intangible class work item

Although not included in the typical four service classes there exists also other type of cards on the board, which are briefly represented here. An issue card is the exception attached to work item that is blocked for external reasons. These cards require attention, because a smooth flow is prevented. Issue card uses pink color. Quantity of pink issue cards on board indicates a flow impacting problems. Issue work item card is presented in figure 7.



**Figure 7.** Issue work item

An engineering defect or bug uses blue cards as seen in figure 8. They are direct indicator of quality and they impact on productivity. Usually they are linked to yellow sticky and they are not counted against Work in Progress limits. Quantity of blue cards on the board is an immediate indicator of development quality that is impeding flow of customer valued work and reducing throughput.



**Figure 8.** Bug work item

Class of service of a work item should be assigned when the item is selected into the input queue: Expedite class items are those that should be processed as soon as possible. Fixed delivery date items are items which due-date is known and in the near future. Standard class items have typically opportunity-cost functions that take immediate effect: delivery soon is desirable, but delay does not carry immediate cost penalties. Intangible class items tend to be associated with an important and valuable function, but the cost of delay does not take effect in the near future. As a rule of a thumb if our lead time is about a month, then items that will incur a tangible cost within three month window should be treated as Standard class items. Items in which the benefit is not realized until a quarters or years in the future should be treated as intangible class items.

Different classes of service need different amount of capacity. Swim lanes are typical technique for showing hierarchy and to facilitate limit Work in Progress. In figure 9 an example of a Kanban card wall is represented.

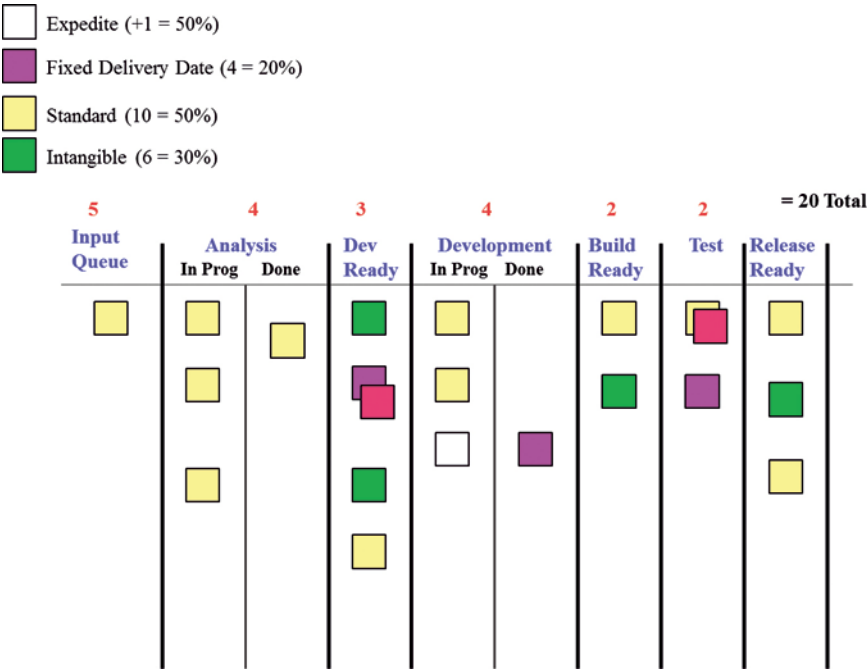


Figure 9. Kanban card wall

The total limit of Work in Progress is 20. Classes of service are designated by four colors of tickets. White Expedite tickets are not counted against Work in Progress limits, but only one item at a time is permitted. Purple Fixed delivery date tickets represent 20 percent capacity of the total: maximum of four items are allowed, but they can be present in any column. Currently there is just three Fixed delivery date items on the board. Standard card items have 50 percent allocation, which means that total of ten tickets are allowed. The remaining 30 percent capacity is allocated to Intangible class items. This enables maximum of 6 items on the board at any given time, so there is space for additional three intangible items. Some of the work items are blocked and a pink issue ticket is attached on those items.

**Kanban metrics and meetings**

To be able to define whether the Kanban system is working correctly the team should measure the process. Typical first phase diagram is cumulative flow diagram, which shows the quantities of Work in Progress at each stage in the system. If the system is flowing correctly, the bands on the chart should be smooth and their height should be stable. Another interesting measurement is the lead time. How predictable our organization delivers against the promises in the class of service definitions. A good way to show this data is to draw a spectral analysis of the lead time



against the service level agreement for a class of service. The spectral analysis informs the team about the items that just barely failed to meet the target time and also the other statistical outliers, which can be further analyzed. Throughput is an important factor in software development. It should be reported as the number of items that were delivered in a given time period. The trend is interesting and the goal is to continuously increase it. Initial quality reports the number of bugs discovered by testers within the system. It indicates how much capacity is being wasted through poor initial quality. (Joyce 2009.)

Daily meetings are a common practice in every agile software team. They concentrate on three questions: what did you do yesterday, what will you do today and are you blocked or do you need help. In Kanban the card wall contains all the information, thus the daily meeting focus is a bit different. The focus is on the flow of work, from right to left in the direction of pull. Emphasis is on blocked and delayed items. Questions may also be asked about items that appear to be stuck or have not moved for a few days. (Anderson 2010.)

The After meeting is more spontaneous and it is focusing on blocking issues, technical or architectural issues or process issues. It generates improvement ideas and results in process tailoring and innovations.

Queue replenishment meeting serve the purpose of prioritization. It should be postponed until last reasonable moment and should be held at regular intervals.

Release planning meeting plans downstream delivery. It makes sense to schedule the release planning activity to take place regularly. This meeting concentrates on which items are ready for release, what is required to release and how long it will take, what risks are involved and how are they handled. The outcome should be a complete template representing the release plan.

## Conclusion

Kanban is a promising methodology, which can be applied to software development process, but in a controlled way. Principles behind the Kanban have proved to be successful inside high volume production lines but in software industry careful study and analysis should be made: which parts are useable on its own and which need some modifications and adaption. Kanban can be integrated easily in modern agile software development process, such as scrum. Actually adapting Kanban starts with the minimal changes to current procedures with focus on productivity. Productivity and quality comes hand in hand. Without a high quality, productivity is hard to achieve, because predictability of deliver depends on the defects found. To be able to release often Work in Progress must be limited, because reducing the Work in Progress will have a significant impact on initial quality.

In the center of the Kanban system is the work item card wall. Card wall visualizes the work flow and limits the number of concurrent work items, Work in Progress. These items are pulled through the system using principles defined by the Kanban method. Implementing Kanban system organizations should expect numerous emergent behaviors: process is uniquely tailored to each project or value stream, decoupled cadences (iterationless development), work scheduled by cost of delay, value optimized with classes of service, risk managed with capacity allocation,

tolerance for process experimentation, quantitative management, viral spread of Kanban across organization and small teams merged for more liquid labor pools.

## References

- Anderson, D. 2009. Kanban – Applying Principles and Evolving Process Solutions. The next wave of software process Conference. Lean and Kanban Conference, 6-8.5.2009 Miami, USA. Keynote. [Retrieved 22 February 2013]. Available from: <http://miami2009.leansc.org/home/david-anderson/>
- Anderson, D. 2010. Kanban Successful evolutionary change for your technology business. Blue Hole Press: Sequim.
- Björkholm, T. 2009. Why Kanban is better than Scrum [Retrieved 22 February 2013]. Available from: <http://blog.crisp.se/>
- Crisp. Kanban. [Retrieved 22 February 2013]. Available from: <http://www.crisp.se/kanban>.
- Hiranabe, K. 2008. Kanban Applied to Software Development: from Agile to Lean [Retrieved 22 February 2013]. Available from: <http://www.infoq.com/articles/hiranabe-lean-agile-kanban>
- Joyce, D. 2009. Systems Thinking, Lean and Kanban. Useful Agile metrics – Cumulative Flow [Retrieved 22 February 2013]. Available from: <http://leanandkanban.wordpress.com/2009/04/04/useful-agile-metrics-cumulative-flow>
- Kniberg, H & Skarin, M. 2010. Kanban and Scrum making the most of both [Retrieved 22 February 2013]. Available from: <http://www.infoq.com/minibooks/kanban-scrum-minibook>
- Lean Enterprise Institute 2009. A brief history of Lean. [Retrieved 22 February 2013]. Available from: <http://www.lean.org/WhatsLean/History.cfm>
- Quinn, T. 2009. Kanban Board [Retrieved 19 August 2009]. Available from: <http://blogs.imeta.co.uk/tquinn/archive/2009/08/19/kanban-board.aspx>

## Liitteet

1. Cleantech-osaamisen koulutuksiin, seminaareihin ja työpajoihin sekä projektin toimenpiteisiin osallistuneet yritykset ja muut tahot
2. Cleantech-osaamisen seminaarien ja koulutusten asiantuntijat
3. Koulutusten, seminaarien, työpajojen sekä muiden tapahtumien osallistujamäärät sekä osallistuneiden yritysten ja muiden organisaatioiden määrät
4. Cleantech-insinöörit -projektin ohjausryhmä

## LIITE 1

Cleantech-insinöörit -projekti

Cleantech-osaamisen koulutuksiin, seminaareihin ja työpajoihin sekä projektin toimenpiteisiin osallistuneet yritykset ja muut tahot:

### Yritykset:

1. ABB Oy
2. Allu Finland Oy
3. Cibe Coba Oy
4. Energon / Tri Energy Oy, Lahti
5. Esko Kaukola Tmi
6. Fastems Oy
7. Oy Galvatek Ab
8. HL-Heat Oy
9. Hotelliyhtymä Oy
10. Kemppe Oy
11. Lahden Alueen Kehittämisyhtiö Oy – LAKES
12. Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy
13. Lahti Aqua Oy
14. Lahti Energia
15. Lassila & Tikanoja Oyj
16. Muovijaloste Oy
17. Navipartner Oy
18. Oilon Home Oy
19. Oilon Oy
20. Orfer Oy
21. Oy Pamon Ab
22. Peikko Capital Oy
23. ProAgria Häme Oy
24. Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy
25. Päijät-Hämeen Kiinteistö-Isännöinti Oy
26. Rakennusbetoni- ja Elementti Oy
27. Ramboll Finland Oy
28. Raute Oyj
29. Rossum Oy
30. Stalatube Oy
31. Teerenpeli Panimo & Tislaamo Oy
32. TL-Suunnittelu Oy
33. Vääksyn Kone ja Teräs Oy
34. Wienerberger Oy Ab

### Muut organisaatiot:

1. Aalto-yliopisto
2. Asikkalan kunta
3. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus - ARA
4. Helsingin yliopisto
5. Hämeen ammattikorkeakoulu
6. Hämeenkosken kunta
7. Koulutuskeskus Salpaus
8. Kärkölän kunta
9. Lahden kaupunki, rakennusvalvonta, tilakeskus, tietotekniikka
10. Lahden seudun ympäristöpalvelut
11. Lahden tekninen ja ympäristötoimiala / hallinto
12. Laurea-ammattikorkeakoulu
13. Nastolan kunta
14. Päijät-Hämeen koulutus konserni
15. Tampereen teknillinen yliopisto

## LIITE 2

Cleantech-insinöörit -projekti  
Cleantech-osaamisen seminaarien ja koulutusten asiantuntijat:

### **Vihreän ICT:n seminaari 19.5.2011**

Harri Kuusela, Lahden ammattikorkeakoulu, Opetusteknologiapalvelut  
Seppo Laukkanen, SenseTrix Oy  
Jyrki Rautkivi, Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy  
Ilkka Korhikoski, Tieto Oy  
Pekka Palin, CSC – Tieteen tietotekniikan keskus Oy  
Markus Kankaanpää, Elisa Oy  
Ari Serkkola, Aalto-yliopisto, TKK  
Katariina Mäenpää, Lahden ammattikorkeakoulu, Innovaatiokeskus

### **Vihreän ICT:n teemapäivä 13.3.2012**

Juho Korteniemi, Bionova Oy  
Pekka Järveläinen, Green & Global Oy  
Pekka Eerola, Päijät-Hämeen koulutus konserni, Tietohallintopalvelut  
Ari Vesikko, Lahden ammattikorkeakoulu, Opetusteknologiapalvelut  
Marianne Matilainen, Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala  
Matti Welin, Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala  
Juha Hyytiäinen, Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala  
Markus Kankaanpää, Elisa Oy  
Jani Lepistö, ViWell Oy  
Marko Mälkiä, Etteplan Oy  
Gert Broder, Oilon Oy

### **Lämpöpumppujen hyödyntäminen teollisuudessa 10.5.2012**

Juho Korteniemi, johtaja, Bionova Oy  
Petri Koivula, Suomen lämpöpumppuyhdistys SULPU ry  
Antero Aittomäki, professori, Tampereen teknillinen yliopisto  
Marko Huovinen, myyntipäällikkö, Scancool Oy  
Timo Ahvenainen, tuotepäällikkö, Oilon Home Oy

### **Energiätehokas alueidenkäyttö ja kaavoitus 24.5.2012**

Eeva Aarrevaara, yliopettaja, Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala  
Tiina Merikoski, tutkija, Aalto yliopisto  
Tapio Ojanen, erityisasiantuntija, Päijät-Hämeen Liitto  
Ari Pietarinen, suunnittelujohtaja, Kymenlaakson liitto  
Petri Peltonen, suunnittelija, Lahden kaupunki  
Arto Varis, hankekoordinaattori, Posintra Oy  
Kirsti Toivonen, projektipäällikkö, Tampereen kaupunki  
Panu Pasanen, toimitusjohtaja, Bionova Oy  
Tapio Mattlar, varapuheenjohtaja, Vuorenkylän kyläyhdistys  
Outi Palttala, arkkitehti, Arkinor Oy

**Materiaalitehokkuudella parempaa tulosta rakennusteollisuudessa 18.10.2012**

Ilkka Tarvainen, lehtori, Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala  
Pentti Järvelä, professori, Tampereen teknillinen yliopisto  
Pekka Vuorinen, ympäristö- ja energiajohtaja, Rakennusteollisuus RT ry  
Jaakko Koskinen, markkinointijohtaja, Ekovilla Oy  
Matti Katainen, kehityspäällikkö, Lumon Oy  
Katri Parovuori, tuotekehitysjohtaja, UPM ProFi  
Tuomo Joutsenoja, vastaava aluejohtaja, Rudus Oy  
Mikko Tilli, projektipäällikkö, UPM Vaneriliiketoiminta, Lahti  
Matti Saarinen, yritysneuvoja, Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy  
Ari Virta, Director Construction Waste Business, Kuusakoski Oy

**Kestävät hankinnat 20.11.2012**

Juho Korteniemi, neuvotteleva virkamies, Työ- ja elinkeinoministeriö, Strateginen cleantech-ohjelma  
Ari Nissinen, erikoistutkija, Suomen ympäristökeskus  
Mervi Suni, projektipäällikkö, Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy  
Minna Halonen, hankintapäällikkö, Lahden kaupunki  
Tom Holmlund, projektipäällikkö, Lahden kaupunki  
Hannu Tauriainen, tekninen isännöitsijä, Hämeenmaan Kiinteistöt Oy  
Mika Kuusela, materiaalitointojen johtaja, Kemppi Oy  
Anne-Mari Id, sourcing manager, Kone Oy  
Vesa Vuopio, hankintajohtaja, Be Group Oy Ab

**Uudistuva ympäristölainsäädäntö 12.3.2013**

Sakari Autio, lehtori, Lahden ammattikorkeakoulu, Tekniikan ala  
Katariina Serenius, ympäristövalvontapäällikkö, Keski-Uudenmaan ympäristökeskus  
Ilpo Kuronen, luonnonsuojelupäällikkö, Suomen luonnonsuojeluliitto ry  
Jukka Makkonen, sähkötuotannon asiantuntija, Energiategollisuus ry  
Tero Tulokas, kehitysjohtaja, Oilon Oy  
Katariina Serenius, Ympäristösuojelunviranhaltijat ry  
Kati Mankinen, ympäristö- ja laatu palvelupäällikkö, Stora Enso Oyj, Heinolan Flutingtehdas

LIITE 3

Cleantech-insinöörit -projekti

Koulutusten, seminaarien, työpajojen sekä muiden tapahtumien osallistujamäärät sekä osallistuneiden yritysten ja muiden organisaatioiden määrät

Tilaisuuden nimi	Osallistujia	Yrityksiä	Muita organisaatioita
Energon workshop opetushenkilöstölle 6.5.2010	20	-	-
Simulointiseminaari 8.12.10	42	11	-
ACP-koulutus ja workshop opetushenkilöstölle 6.5.11 ja 13.5.11	20	-	-
Vihreän ICT:n seminaari 19.5.11	105	10	3
Vihreän ICT:n teemapäivä 13.2.12 (workshop ja verkkokokousseminaari)	112 (33+79)	10	3 (3+0)
Green ICT ACP -workshop Suomi – Belgia 21.3.12	20	-	-
E-Farm-bioenergian simulointiohjelman käyttökoulutus	4	2	-
Lämpöpumppujen hyödyntäminen teollisuudessa 10.5.12	26	12	3
Energiätehokas alueidenkäyttö ja kaavoitus 24.5.12	34	4	7
Energy Tour – Kestävän energian kierros 19.6.12	53	7	8
Materiaalitehokkuudella parempaa tulosta rakennusteollisuudessa 18.10.12	48	9	2
”Kestävät hankinnat” 20.11.12	22	6	4
FUAS – Energia ja ympäristö workshop Energonissa 28.1.13	20	-	2
FUAS – Green ICT-workshop Fellmanniassa 13.2.13	12	1	1
Uudistuva ympäristölainsäädäntö 12.3.13			
Energiätehokkaat konesalit & kuitutekniikka 4.4.13 ja 11.4.13			
<b>Yhteensä</b>	<b>538</b>	<b>72</b>	<b>33</b>

Asiantuntijoita koulutuksissa, seminaareissa ja työpajoissa vuosina 2010 – 2012 yhteensä 60.

#### LIITE 4

Cleantech-insinöörit -projekti

Cleantech-insinöörit -projektin ohjausryhmä:

Lasse Niemelä, ohjausryhmän puheenjohtaja, koulutusjohtaja, Koulutuskeskus Salpaus

Irma Mäkelä, ohjausryhmän sihteeri, projektipäällikkö, Lahden ammattikorkeakoulu

Janne Salminen, vararehtori, Hämeen ammattikorkeakoulu

Silja Kostia, koulutuspäällikkö, Lahden ammattikorkeakoulu

Jarkko Pulli, tuotanto-insinööri, Kemppi Oy

Pertti Klemola, tietotekniikkapäällikkö, Lahden (kaupunki) Tietotekniikka,

Jari Tiikkainen, kehittämispäällikkö, Lahden Alueen Kehittämiskeskus Oy – LAKES

Aleksi Mäkelä, projektipäällikkö, Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy

Veijo Sääksjärvi, käyttöpäällikkö, Energon / Oilon Oy

Asiantuntija / rahoittajan edustaja: Niina Lamberg (Antti Jokivirta), rahastoasiantuntija, Hämeen ELY-keskus





Lahden ammattikorkeakoulu haluaa osaltaan sekä kehittää insinöörikoulutusta vastaamaan alueen cleantech-yritysten osaamistarpeita että osallistua alueen yritysten tuotteiden, palvelujen ja prosessien kehittämiseen. Cleantech-insinöörit -projektin tarkoituksena oli tunnistaa puhtaan teknologian suunnittelemisessa ja hyödyntämisessä tarvittavia tietoja ja taitoja ja integroida ne insinöörien koulutukseen. Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan alalla on viisi koulutusohjelmaa, joista jokaisen cleantech-tarpeita on projektissa tarkasteltu.

Tässä artikkelikokoelmassa kerrotaan Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan alan koulutusohjelmien toimenpiteistä, joilla alueen ja insinöörikoulutuksen cleantech-osaamista ja työelämävastaavuutta on parannettu.

Cleantech-insinöörit -projekti oli Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan alan hallinnoima ja Hämeen ELY-keskuksen osarahoittama Euroopan Sosiaalirahaston projekti. Sen tavoitteena oli parantaa Päijät-Hämeen cleantech-osaamista sekä insinöörikoulutuksen työelämävastaavuutta. Projektin tavoitteena oli myös tuottaa uudenlainen koulutuksen toimintamalli, joka luo aitoja edellytyksiä cleantech-innovaatioiden syntymiselle sekä uusille tuotteille ja palveluille ympäristöliiketoiminnan alueella. Uuden yhteistyö- ja toimintamallin kehittäminen tekniikan alan koulutukseen perustuu yhteistyöhön yrityselämän ja muiden toimijoiden kanssa.



## Lahden ammattikorkeakoulun julkaisusarjat

A Tutkimuksia

B Oppimateriaalia

C Artikkelikokoelmat, raportit ja muut ajankohtaiset julkaisut

ISSN 1457-8328

ISBN 978-951-827-177-5