

# PIENESTÄ SYNTYI SUURTA NANO CAME TO JYVÄSKYLÄ



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTON NANOTIEDEKESKUKSEN HISTORIA -  
talkoohenkeä ja yhdessä tekemisen voimaa

HISTORY OF THE UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ'S NANOSCIENCE CENTER -  
team spirit and the strength of cooperation

## **Pienestä syntyi suurta | Nano came to Jyväskylä**

ISBN 978-951-39-5911-1 (verkkokj.)

**Kirjan toimitus ja historiikin teksti:** Mari Heikkilä (sivut 7–86) | Narratiivi

**Tutkijoiden osiot:** Hannu Häkkinen (sivut 87–96), Kari Rissanen (sivut 97–103), Jussi Toppari (sivut 104–114)

**Kuvat:** Nanotiedekeskus, Jyväskylän yliopiston viestintä, Reijo Kauppinen, Petteri Kivimäki, Ville Kotimäki, Tero Isotalo, Riitta-Liisa Kuittinen, Mari Heikkilä

**Etukannen logokuva:** Jukka Aumanen

Mikroskooppisen pienet logokuvat on tehty Nanotiedekeskuksessa kehitetyllä laserkirjoitusmenetelmällä yksikerroksisen grafeenin pintaan. Kuva on muodostettu hyödyntämällä neliaaltosekoitusta, joka on epälineaarinen optinen kuvantamismenetelmä. | Microscopically small patterns drawn on monolayer graphene by a laser writing method developed at the NSC. The image is acquired by a four wave mixing nonlinear optical imaging technique.

**Valokuva laitoksesta:** Pasi Jalkanen | **Kannen suunnittelu:** Minja Revonkorpi

**Englanninkielinen käännös:** Tero Isotalo

**Graafinen suunnittelu:** Minja Revonkorpi | Taidea

### **Julkaisija:**

Jyväskylän yliopisto, Nanotiedekeskus

PL 35

40014 University of Jyväskylä

Käyntiosoite:

Survontie 9, Ylistönrinne, Jyväskylä

puh. 050 3956 020, fax: 014 617 412

Jyväskylän yliopistopaino

Jyväskylä 2014

# Sisällysluettelo

1. PIONEERIHENKEÄ   PIONEER MOMENTS	7
2. TUUMASTA TOIMEEN   FROM IDEAS TO ACTION	17
3. TUTKIJAT SAMAN KATON ALLE   EVERYONE UNDER THE SAME ROOF	41
4. YHTEISTYÖ TIIVISTYY   COLLABORATION INTENSIFIES	53
5. KANSAINVÄLISTÄ KOULUTUSTA   INTERNATIONAL EDUCATION	69
6. YRITYKSET SAMOIHIN TILOIHIN   BUSINESSES IN THE SAME SPACE	72
7. KOVAN TASON TUTKIMUSTA   HIGH LEVEL RESEARCH	79
8. YHDESSÄ KANSAINVÄLISELLE HUIPULLE   TOGETHER TO INTERNATIONAL FOREFRONTS	87
9. JULKAISUTOIMINTA   PUBLICATION ACTIVITY	115
10. TUTKINNOT   MSC AND PHD DEGREES	119

# Esipuhe

Tänä syksynä tulee kuluneeksi tasan kymmenen vuotta siitä, kun Jyväskylän yliopiston Nanotiedekeskus (Nanoscience Center, NSC) valmistui ja tutkijat pääsivät muuttamaan uuteen rakennukseen. Muistan, miten innolla odotin tapaavani eri alojen tutkijoita kahvihuoneessa ja samoilla käytävillä. Menin aktiivisesti juttelemaan kemistien ja biologien kanssa. Kyselimme puolin ja toisin, mitä kukin tutkii ja tekee.

NSC oli aikoinaan käänteentekevä hanke Jyväskylän yliopistossa ja uutta koko Suomessa. Kymmenen vuotta siten nanotieteet olivat vielä orastava uusi ala, eikä vastaavia poikkitieteellisiä fyysikoiden, kemistien ja biologien muodostamia keskuksia ollut monta edes ulkomailla.

Nyt on sopiva hetki pysähtyä arvioimaan Nanotiedekeskuksen merkitystä. On aika kysyä, onko kymmenien miljoonien hanke ja hieno talo tuottanut tulosta. Nanotiedekeskuksen johtoryhmässä totesimme, että meillä on raportoitavaa – tämä ei ole ollut mikään turha hanke.

Tietääköhän keskimääräinen jyväskyläläinen Laajavuorella hiihtäessään, että hänen suksissaan saattaa olla NSC:ssä kehitettyä nanokomposiittimateriaalia? Tämä kirja kertoo, miten kyseinen keksintö sai alkunsa Jyväsjärven rannalla. Se kertoo myös monia muita mielenkiintoisia tarinoita matkan varrelta.

NSC aloitti ensimmäisenä Suomessa nanotieteiden poikkitieteellisen yliopistokoulutuksen. Nyt Nanotiedekeskuksesta on valmistunut 58 nanotieteiden maisteria

ja 76 tohtoria. Tieteellisten julkaisujen kokonaismäärä on yli 900 ja niiden joukossa on 9 tieteen huippulehdissä (Nature ja Science) julkaistua tutkimusta. Myös eri alojen välinen tutkimusyhteistyö on alkanut – olemme oppineet ymmärtämään toistemme kieltä. Siitä esimerkkinä tässä kirjassa on esitelty kolme poikkitieteellistä Nanotiedekeskuksen sisäistä tutkimusprojektia.

Yhteistyö Nanotiedekeskuksessa on näiden ensimmäisten kymmenen vuoden aikana päässyt hyvään vauhtiin. Tulevaisuuden tavoitteena on, että yhteistyö NSC:n sisällä edelleen syvenee ja yhteinen suunta kirkastuu. Kymmenen vuoden päästä Jyväskylässä toivottavasti on jo muutaman vuoden toiminut Suomen Akatemian nanotieteiden huippututkimuskeskus, joka tekee kansainvälisesti ainutlaatuista ja vaikuttavaa poikkitieteellistä tutkimusta ja kouluttaa lahjakkaita poikkitieteelliseen yhteistyöhön kykeneviä tutkijoita.

Tämä historiikki on syntynyt useiden henkilöhaastattelujen pohjalta ja lisäksi useat henkilöt ovat toimittaneet kirjaan tekstiä ja muuta materiaalia. Kiitos kaikille haastatetuille ja kuvamateriaalia antaneille sekä omat osionsa kirjoittaneille Kari Rissaselle ja Jussi Topparille. Kiitos valmistelutoimikunnalle: Riitta-Liisa Kuittiselle, Varpu Marjomäelle, Maija Nissiselle, Mika Petterssonille ja Matti Pylvänäiselle. Kiitokset kirjan toimittajalle Mari Heikkilälle.

Jyväskylässä 4.9.2014

*Hannu Häkkinen*  
*Fysiikan ja kemian laitosten professori*  
*Nanotiedekeskuksen tieteellinen johtaja*

# Preface

This Fall will mark exactly ten years since the completion of the University of Jyväskylä's Nanoscience Center (NSC) and the first researchers moving in to the new building. I remember excitedly looking forward to meeting researchers from different disciplines in the coffee room and along the hallways. I actively sought out conversations with chemists and biologists. We asked each other about our respective research and work.

NSC was once a revolutionary proposal at the University of Jyväskylä and a novelty in all of Finland. Ten years ago, nanoscience was still an emerging new field and there were very few interdisciplinary centers composed of physicists, chemists and biologists worldwide. Now is a fitting time to evaluate the significance of Nanoscience Center. Now is the time to ask if the tens of millions of euros and the fancy new building have produced results. Nanoscience Center's leadership has found that we have something to report – this was no futile effort.

Does the average Jyväskylä resident realize, as they ski in Laajavuori, that their skis may, in fact, contain nanocomposite material developed at NSC? This book tells how the material got its start along the shores of Lake Jyväsjärvi along with many other interesting stories along the way.

NSC started the first interdisciplinary nanoscience curriculum in Finland. Now, Nanoscience Center has graduated 58 nanoscience Master's students and 76 doctoral students. The number of scientific publications

is 900, of which 9 have been published in top journals (Nature and Science). Research cooperation between disciplines has also started – we have learned to understand each other's languages. Three examples of such interdisciplinary research projects within Nanoscience Center are presented in this book.

Collaboration at Nanoscience Center has gotten off to a good start during its first ten years. A goal for the future is that internal collaboration deepens and a unified direction becomes clear. Ten years from now, Jyväskylä will hopefully have an Academy of Finland Center of Excellence in Nanoscience which is producing internationally unique and influential interdisciplinary research and training talented researchers capable of interdisciplinary work.

This history was compiled from many interviews, provided texts and other materials. Thanks to all the interviewees and providers of images and thanks to Kari Rissanen and Jussi Toppari for writing their own sections. Thanks for preparations go to Riitta-Liisa Kuittinen, Varpu Marjomäki, Maija Nissinen, Mika Pettersson and Matti Pylvänäinen. Thanks to the writer and editor Mari Heikkilä.

Jyväskylä, September 4th 2014

*Hannu Häkkinen*  
*Physics and Chemistry Department professor*  
*Head of Nanoscience Center*

On ollut hieno kokemus päästä kirjoittamaan ja toimittamaan Nanotiedekeskuksen historiikkaa. Olen saanut tehdä monia mielenkiintoisia haastatteluja - niissä on käynyt selväksi, että nanotalo on ollut monelle tutkijalle mieluista paikka, hyvä tutkimusympäristö ja työyhteisö. Olen saanut kuulla roppakaupalla hyviä tarinoita ja oppinut paljon lisää nanotieteistä. Lämpimät kiitokset Hannu Häkkiselle ja Nanotiedekeskuksen johtoryhmälle, että sain tilaisuuden ryhtyä tähän mielenkiintoiseen urakkaan.

Kiitokset myös kaikille haastateltaville mielenkiintoisista keskusteluista: Hannu Häkkiselle, Jouko Korppi-Tommolalle, Markku Kulomaalle, Henrik Kuntulle, Matti Manniselle, Maija Nissiselle, Jukka Pekolalle, Matti Pylvänäiselle, Aino Salliselle, Jussi Timoselle, Päivi Törmälle ja Jorma Virtaselle. Kiitokset H.H.:lle, Kari Rissaselle ja Jussi Topparille hyvistä teksteistä ja vaivannäöstä niiden suhteen. Kiitokset Riitta-Liisa Kuittiselle isosta urakasta tilastomateriaalin keräämisessä ja työstämisessä sekä kuvamateriaalin järjestämisessä. Erityiskiitokset Matti Pylvänäiselle materiaaleista, historiallisten asioiden tarkastamisesta ja tuesta käytännön työssä. Hyvästä yhteistyöstä kiitokset taittaja Minja Revonkorvelle ja kääntäjä Tero Isotalolle.

*Mari Heikkilä  
toimittaja*

It has been a great experience getting to report on the history of Nanoscience Center. During the writing process I had a chance to conduct many interesting interviews, from which it became clear that this center has been a good work and research environment and many people have gotten along well here. I have heard story upon story and learned a lot about nanoscience. Warm thanks to Hannu Häkkinen and the leadership of Nanoscience Center for giving me this opportunity.

Thanks also to all the interviewees for the interesting conversations: Hannu Häkkinen, Jouko Korppi-Tommola, Markku Kulomaa, Henrik Kunttu, Matti Manninen, Maija Nissinen, Jukka Pekola, Matti Pylvänäinen, Aino Sallinen, Jussi Timonen, Päivi Törmä and Jorma Virtanen. Thanks to HH, Kari Rissanen and Jussi Toppari for their great texts and corresponding efforts. Thanks to Riitta-Liisa Kuittinen for her tremendous work in gathering statistics as well as organizing image material. Special thanks to Matti Pylvänäinen for material, historical checking and practical support. For good teamwork, thanks to graphic designer Minja Revonkorpi and translator Tero Isotalo.

*Mari Heikkilä  
Reporter and editor of the book*

# 1 PIONEERIHENKEÄ PIONEER MOMENTS

## Radikaali päätös

*Onnellisia sattumia, pioneerihenkeä ja hyviä päätöksiä. Niistä sai siemenensä nanotieteiden kokeellinen tutkimus Jyväskylässä 1990-luvun alussa.*

Vuonna 1990 fysiikan laitoksella laitettiin hakuun uusi sovelletun fysiikan professorin virka. Laitoksen johtajan **Vesa Ruuskasen** idea oli, että professuurin tieteenala jätettiin täysin avoimeksi. Näin siitä huolimatta, että yliopistossa oli pitkät kiihdytinfysiikan perinteet ja tyypillisesti yliopistot hakivat tuhon aikaan professoria edeltä tarkoin määrätellylle alalle.

-Se oli radikaali päätös. Varsinkin kun ottaa huomioon, että tuolloin opetusministeriö valmisteli ja presidentti nimitti professorit, kertoo hallintopäällikkö **Matti Pylvänäinen**.

Ajatuksena oli, että etsitään Jyväskylään parasta mahdollista osaamista, maailmanlaajuisesti. Liikkeelle lähdettiin avoimin mielin. Toiveena oli löytää sellainen fysiikan ala, josta olisi odotettavissa sovelluksia pitkällä aikavälillä ja joka istuisi paikalliseen tutkimusympäristöön.

## A radical decision

*Lucky coincidences, pioneering moments and good decisions. These were the seeds from which research in experimental nanoscience at Jyväskylä began in the early 1990's.*

In 1990, the physics department opened a professorship position in applied physics. **Vesa Ruuskanen**, then head of the department, had the idea that the field of research would be left open, despite the university's long tradition in accelerator physics and the typical practice of opening positions for very specific research fields.

- It was a radical decision. Especially considering that at the time, the Ministry of Education prepared the nominations and president confirmed them, explains administrative manager **Matti Pylvänäinen**.

The intent was to get the best possible know-how to Jyväskylä from around the world. With an open mind, the hope was to find a field within physics with long term application potential and which would fit with the local research environment.

Hakemuksia tuli parikymmentä, ja niitä arvioimaan pyydettiin kansainvälisesti parhaat soveltavan fysiikan asiantuntijat eri aloilta.

Tutkijaverkoston kautta tiedon professuurista sai myös Yhdysvalloissa Bellin laboratoriossa työskentelevä **Mikko Paalanen**. Hänen tieteelliset meriittinsä vakuuttivat valintaraadin. Paalanen aloitti fysiikan laitoksen professorina kesällä 1992. Hän toi nanoelektroniiikan Jyväskylään – jossa se alkoi ensimmäisenä Suomessa.

## Tutkimusaihe sähköpostissa

Paalanen oli väitellyt TKK:n kylmälaboratoriosta vuonna 1977 ja työskennellyt 15 vuotta maineikkaassa Bellin laboratoriossa. Hänen tutkimuksensa oli keskittynyt sähköjohtavuuteen mesoskooppisissa rakenteissa.

Paalanen toi Jyväskylään mukanaan matalien lämpötilojen fysiikan osaamista ja kykyä tutkia sähköjohtavuusilmiöitä hyvin pienissä rakenteissa - sekä houkutteli mukaansa **Jukka Pekolan**, joka oli hänen kollegansa TKK:n Kylmälaboratoriosta.

- Olin käymässä Mikon luona Yhdysvalloissa, ja hän kertoi hakevansa Jyväskylään. Hän kysyi, lähtisinkö mukaan, jos pistettäisiin Jyväskylässä ihan uudentyyppinen tutkimus käyntiin, Pekola kertoo.

Pekola oli aiemmin tutkinut pitkään matalien lämpötilojen fysiikkaa TKK:lla. Nanotekniikasta hän ei vielä tuolloin tiennyt juuri mitään, mutta innostui heti.

- Muistan vieläkin yhden Mikon sähköpostin. Siinä luki, että Coulombin saarto voisi olla kiinnostava tutkimusaihe. Sitä tutkin yhä edelleen, Pekola hymähtää.

There were approximately twenty applications which were evaluated by leading international experts from different fields of applied physics.

Word of the professorship made its way to Bell Laboratories in the United States where **Mikko Paalanen** was working. His scientific merits impressed the evaluators. Paalanen started as a professor of physics in the summer of 1992 and brought nano-electronics to Jyväskylä – and to Finland.

## An e-mailed research topic

Paalanen had defended his doctoral thesis from the Low Temperature Laboratory at TKK in 1977 and worked for 15 years in the renowned Bell Laboratories. His research focused on electronic transport in mesoscopic structures.

Paalanen brought with him expertise in low-temperature physics as well as experience in the study of electronic transport in small structures. He also persuaded **Jukka Pekola**, a colleague from TKK, to join him in Jyväskylä.

- I was visiting Mikko in the States and he told me of his application to Jyväskylä. He asked if I would join him in starting a new field of research, Pekola recalls.

Pekola had long studied low-temperature physics. Nanotechnology was unknown to him at the time, but he was enthusiastic from the start.

- I still remember an e-mail from Mikko. In it, he stated that Coulomb blockade could be an interesting area of research. I'm studying it still today, notes Pekola with a smile.



Paalanen oli poiminut idean Bellin laboratoriossa aihepiiriin parissa työskenteleviltä kollegoiltaan. Tavoitteeksi nousi Coulombin saartoon perustuvan yhden elektronin transistorin kehittäminen.

- Mikon ajatus oli, että sellainen pitää tehdä Jyväskylään nyt, Suomen ensimmäinen yhden elektronin transistori.

Tavoite oli kunnianhimoinen. Kukaan Suomessa ei vielä tuohon aikaan tehnyt kokeellista nanofysiikkaa. Jyväskylässä oltiin pioneereja – ja pioneerihenkeä myös tarvittiin.

*Mesoskooppiset ilmiöt tapahtuvat atomitason ja arki maailman välissä (mesos = välissä). Tässä "välitilassa" tutkittavat sähköä johtavat metallirakenteet noudattavat osittain arkimaailmasta tuttuja klassisen mekaniikan lainalaisuuksia ja osittain kvanttimekaniikan lainalaisuuksia. Se tekee tilanteesta mielenkiintoisen, ja tuo mahdollisuuden löytää uudenlaisia ilmiöitä.*

*Matalien lämpötilojen fysiikassa tutkitaan ilmiöitä alle neljän kelvinin eli -269,15 celsiusen lämpötilassa. Mesoskooppisia ilmiöitä tutkitaan matalissa lämpötiloissa käytännön syistä: normaaliolosuhteissa ilmiöitä voidaan havaita vain äärimmäisen pienissä rakenteissa, joita on hyvin vaikea tehdä. Matalissa lämpötiloissa samat ilmiöt tulevat näkyviin isommissa rakenteissa. Vertailun vuoksi: jos haluttaisiin tutkia mesoskooppisia ilmiöitä huoneenlämmössä, pitää valmistaa vain joidenkin nanometrien pituisia rakenteita, mutta 1 kelvinin (-272,15 celsiusastetta) lämpötilassa tutkittaessa rakenteiden koko voi olla useita mikrometrejä. Käytännössä näytteet valmistetaan huoneenlämmössä, jonka jälkeen ne jäädytetään kryostatilla mittauksia varten.*

Paalanen had gotten the idea from colleagues working at Bell Laboratories. From this idea, came the goal of developing a single electron transistor.

- Mikko's idea was that Jyväskylä had to do it now, Finland's first single electron transistor.

It was an ambitious goal. No one at the time in Finland was doing experimental nano-physics. Jyväskylä was a pioneer and pioneering spirit was indeed necessary.

*Mesoscopic phenomena occur at the transition between the atomic and the everyday (mesos = between). Conducting metal structures at this "in between" size scale partly obey the familiar classical physics and partly the laws of quantum mechanics. This is precisely what makes the case interesting and opens the possibility of finding new phenomena.*

*Low-temperature physics studies phenomena occurring below 4 kelvin, or -269.15 celsius. Mesoscopic phenomena are studied at low temperatures for practical reasons. At room temperature, such phenomena are accessible only in very small structures, which are difficult to manufacture. At low temperatures however, the same phenomena can be observed in larger structures. For comparison, to study mesoscopic phenomena at room temperature, one would need structures on the order of a few nanometers, but at 1 kelvin (-272.15 celsius), the structure size can be several micrometers. In practice, the structures are fabricated at room temperature and then cooled with a cryostat for measurements.*

### Coulombin saarto, yhden elektronin transistori

*Coulombin saarto on pienissä johdesaarekkeissa nähtävä ilmiö, jossa sähkövastus kohoaa jännitteen ollessa pieni - laitteessa ei kulje virtaa ennen kuin jännite tai lämpötila kasvatetaan riittävän isoksi ja systeemin energia ylittää Coulombin energian. Siihen perustuu yhden elektronin transistorin toiminta. Ilmiö johtuu elektronien välisestä vuorovaikutuksesta, ja se havaitaan erityisesti matalissa lämpötiloissa.*

### Coulomb blockade and the single electron transistor

*Coulomb blockade is a phenomenon occurring in small structures in which electrical resistance becomes high at low voltages. No current flows in the structure until voltage or temperature is high enough and the system's energy exceeds the Coulomb energy. This is the basis of the single electron transistor. The behavior arises from the interaction between electrons and is observable particularly at low temperatures.*

## Autotallin siivousurakka

Kun Jukka Pekola perheineen muutti kesällä 1992 Jyväskylään, häntä odotti kaksi pientä tyhjää laboratoriohuonetta kiihdytinlaboratorion kyljessä. Toinen oli noin 14 neliön kokoinen. Paalanen oli tulossa Yhdysvalloista vasta kuukautta myöhemmin.

- Minulla ei ollut mitään varsinaista virkaa siellä, menin tyhjän päälle. Taustalla oli pelkkä lupaus siitä, että Mikko oli aloittamassa Jyväskylässä. Olihan se vähän riskaabelia.

Pekola oli jo ennen Jyväskylään tuloaan kehittänyt ensimmäisen keksintönsä, uudenlaisen kryostaatin, joka patentoitiin myöhemmin. Sillä voitiin jäähdyttää näytteet tarvittaviin mataliin lämpötiloihin, alle -273 celsiusasteeseen.

- Rakensin ensimmäisen pienikokoisen kryostaatin TKK:lla vähän ennen kuin muutin, ja otin sen mukaani. Istuin automatkan Helsingistä Jyväskylään kryostaatti sylissä.

Mikko Paalanen puolestaan toi Bellin laboratorion tulleensa kontissa vanhoja laboratoriolaitteita, jotka oli saanut lähtiessään lahjoituksena. Niiden saaminen toimintakuntoon ei ollut ihan yksinkertaista.

## Garage days

When Jukka Pekola moved to Jyväskylä with his family in 1992, he had two small, empty laboratory rooms waiting for him beside the accelerator lab. One was approximately 14 square meters. Paalanen was coming from the United States about one month later.

- I didn't really have an official job there, I just went with the promise that Mikko was starting in Jyväskylä. It was a risky decision.

Pekola had already developed his first invention, a new kind of cryostat, which would be patented later. With it, samples could be cooled to the low temperatures necessary – below 273 degrees celsius.

- I built my first small cryostat at TKK a while before moving and took it with me. I sat in the car from Helsinki to Jyväskylä with the cryostat in my lap.

Mikko Paalanen on the other hand, brought with him from Bell Laboratories a trunk full of old laboratory equipment which he had received as a gift when he left. Getting them in working condition was no easy task.

- Ensimmäisenä pistimme pystyyn Mikon ison vanhan kryostaatin. Melkein menetin yhden varpaan, kun siitä putosi raskas metallilevy jalalle, Pekola kertoo.

Loppujen lopuksi kyseistä kryostaattia käytettiin vain yhden kerran: se jäädytettiin 11 millikelviniin ja saatiin aikaan lämpötilan piiriennätys, jota kovasti hehkutettiin. Sen jälkeen laite jökötti vuosikaudet käyttämättömänä. Pekolan itse valmistamat pienet kryostaatit olivat kätevämpiä ja nopeampia.

- Siinä alkuvaiheessa meillä oli kyllä aikamoinen autotallin siivousurakka, mutta niillä sekalaisilla tuumamittaisilla lahjoituslaitteilla piti päästä liikkeelle.

## Selviytymispakkaus

Ensimmäiset kuukaudet menivät tiiviisti laboratorion rakennushommissa. Pekolan mukana TKK:lta tullut jatko-opiskelija oli aluksi apuna, mutta hänen mittansa tuli täyteen ja hän lähti parin kuukauden päästä pois - putki- ja rakennushommat olivat liikaa.

Tutkijat saivat rahoituksen, jolla onnistuivat hankkimaan elektronimikroskoopin ja metallointilaitteen. Sen jälkeen heillä oli kasassa selviytymispakkaus, jonka avulla tehtiin ensimmäiset näytteet.

- Olihan siinä kädet täynnä töitä ja se oli stressaavaakin. En ollut koskaan aiemmin tehnyt mitään sellaista. En ollut edes käyttänyt elektronimikroskooppia, kertoo Pekola.

Näytteet valmistettiin toisessa laboratorihuoneessa, jossa oli mikroskooppi, metallointihöyrystin ja vetokaappi. Sen jälkeen ne vietiin toiseen laboratorihuoneeseen, kryostaattihuoneeseen, jossa tehtiin mittaukset.

- At first, we assembled Mikko's big, old cryostat. I nearly lost a toe when a heavy metal plate fell off the device and onto my foot, tells Pekola.

In the end, that cryostat was only used once. It was cooled down to 11 milli-kelvin, a low-temperature record for the technique – which was proudly celebrated. After that, the device went unused for years. The smaller cryostats made by Pekola were more convenient and faster.

- Those early 'garage days' were rough, but we had to get that mixed bag of equipment from the U.S. working somehow in order to get started.

## Survival package

The first few months went by busily building the laboratory. Pekola had a graduate student with him from TKK who helped in the beginning, but his patience wore thin and he left after a couple months – the plumbing and construction were too much.

The researchers got funding, which paid for an electron microscope and a metal evaporator. With this, they had a survival package which helped to produce the first samples.

- Of course it was a lot of work and stressful as well. I had never done anything like it before. I hadn't even used an electron microscope," says Pekola.

The samples were made in one laboratory room, which had the microscope, metal evaporator and fume hood. Then the samples were taken to the other laboratory room with the cryostat, where the measurements were made.

- Siellä sitä läträttiin kemikaalien kanssa. Varmaan se oli turvallisuusasioiden kannalta aikamoinen painajainen.

Pekolan apuna laboratoriossa oli yksi opiskelija, joka oli teknisesti suuntautunut. Se oli hyvä, sillä tuolloin tarvittiin paljon tee se itse -mentaliteettiä.

## Ei tullut takkia, tuli lapaset

Lähtökohdat Paalasan ja Pekolan havittelemalle yhden elektronin transistorin valmistamiselle eivät olleet optimaaliset: laboratorio oli alkeellinen, laitteet osittain vanhentuneita peruslaitteita, eikä varsinaisista puhdistiloista voinut puhua, vaikka ilmanvaihtohormeihin joitain suodattimia laitettiin.

- Emme olleet vielä oikein ammattilaisia. Jonkinlaisia rakenteita saimme aikaiseksi, mutta ne eivät olleet ihan niin pieniä kuin piti. Kryostaattikaan ei ollut ihan niin hyvä kuin piti, Pekola muistelee.

Yhden elektronin transistorin valmistaminen ei oikein onnistunut. Tutkijoiden ponnistelut eivät kuitenkaan menneet hukkaan: ilmeni, että huono yhden elektronin transistori onkin erinomainen lämpömittari.

- Kun ei tullut takkia, tuli lapaset, Pekola naurahtaa. Tällä tavoin syntyi Pekolan toinen patentoitu keksintö, maailman pienin lämpömittari, Coulomb Blockade Thermometer (CBT). Mittari on ensimmäinen kaupallisen tuotteen tasolle kehitetty nanoelektronikan sovellus maailmassa. Se on yhä käytössä ja sitä myy suomalaisyritys Aivon.

- There we were in this makeshift lab, messing around with chemicals. From a health and safety perspective, it was surely a nightmare.

Pekola had assistance from one student who was technical by nature. That was good, as the work required some do-it-yourself attitude.

## From lemons to lemonade

Starting conditions for Paalanan and Pekola's dream of a single electron transistor were far from ideal. The laboratory was primitive, the equipment was very basic – approaching obsolete – and there wasn't a cleanroom to speak of, though some filters were added to the air handling system.

- We weren't exactly professionals yet. We produced some kind of samples, but they weren't as small as needed. Even the cryostat wasn't working up to par, Pekola recalls.

The single electron transistor wasn't much of a success, but the researchers' efforts were not in vain. It turned out that a low quality single electron transistor was an effective thermometer.

- When the lab gave us lemons, we made lemonade, jokes Pekola.

This was how Pekola's second patented invention came to be – the world's smallest temperature measurement device – the Coulomb Blockade Thermometer (CBT). It was the first commercial application of a nano-electronic device in the world. They are still being used and are sold by the Finnish company, Aivon.

## Yli laitosrajojen

Mikko Paalanen lähti vuonna 1995 TKK:n Kylmälaboratorion johtajaksi, jonka jälkeen Pekola johti Jyväskylän nanotutkimusta. Fysiikan uusi laitosrakennus valmistui samana vuonna, joten tilat paranivat: ryhmä sai uudet puhdastilat näytteiden valmistukseen sekä kaksi häiriösuojattua huonetta mittauksia varten.

Vuonna 1997 Pekola kutsuttiin nanotekniikan professorin virkaan. Tutkimusryhmä sai hyvin rahoitusta ja kasvoi nopeasti. Kun Pekola valittiin akatemiaprofessoriksi vuonna 2000, tutkijoita oli jo parisenkymmentä.

Nanofyysikot tekivät jo tuolloin yhteistyötä yli laitosrajojen, muun muassa biokemian professori **Matti Vuennon** ryhmän kanssa.

- Meillä oli pieniä linkkejä sinne ja tänne, Pekola kertoo.

## Nanotutkimusta muissa laitoksissa

Samaan aikaan nanotutkimus oli herännyt myös muilla aloilla. Nanotieteestä ei oltu vielä 1990-luvulla Suomessa liiemmästi puhuttu, mutta 2000-luvun alkupuolella sana nousi nopeasti kaikkien huulille. Supramolekyyl- ja nanokemiasta tuli akatemiaprofessori Kari Rissanen johdolla 1995 orgaanisen kemian tutkimuksen pääalue, jossa oli mukana yli 20 tutkijaa. Tutkimusta on esitelty tarkemmin tämän kirjan sivulla 97–107.

## Crossing disciplinary borders

In 1995, Mikko Paalanen went to head TKK's Low Temperature Laboratory, and Pekola headed nanoscience research in Jyväskylä. The physics department's new building was completed that same year, giving the group better work spaces. A new cleanroom and two shielded rooms for measurements were built.

In 1997, Pekola was offered a professorship in nanotechnology. The group received ample funding and grew quickly. When Pekola was selected as an Academy Professor in 2000, there were already about twenty researchers. Nano-physicists were already collaborating across disciplinary borders, namely with biochemistry professor, **Matti Vuento's** group.

- We had some connections here and there, Pekola remarks.

## Nanoscience research at other departments

Around the same time, nanoscience had been sparking interest in other fields as well. While nanoscience was not mentioned much in Finland during the 1990's, by the early 2000's, it had quickly become a household term. In 1995, supramolecular and nano-chemistry had become the main focus of Academy Professor Kari Rissanen's organic chemistry group of 20 researchers. Their research is detailed further on page 97–107.

*Maija Vihinen-Ranta (vas.), Matti Vuento ja Sanna Suikkanen selvittivät elektronimikroskoopilla parvovirusten sijaintia isäntäsolussa (2002).*

*Maija Vihinen-Ranta (left), Matti Vuento and Sanna Suikkanen exploring the location of parvo viruses in the host cell (2002).*



Biotieteissä nanotieteisiin linkittyvää tutkimusta tehtiin **Matti Vuennon, Jyrki Heinon, Markku Kulomaan** ja **Christian Oker-Blomin** ryhmissä. Tutkijoita kiinnostivat muun muassa biologiset nanoanturit sekä virusteknologiaan perustuvat nanorobotit.

Jyväskylässä virisi nopeasti ajatus kolmen laitoksen nanotutkimushankkeesta, jolle haettaisiin yhdessä rahaa. Tuolloin dekaanina toiminut **Matti Manninen** ajoi asiaa: ideana oli luoda vahva nanoteknologiaan keskittyvä huippututkimusyksikkö. Hankerahoituksen avulla oli tarkoitus myös parantaa olemassa olevia laboratoriotiloja ja rakentaa puhdistilat. Varsinaisesta uuden talon rakentamisesta ei tuolloin osattu edes unelmoida.

Toukokuun alussa vuonna 2001 kokoontui ensimmäistä kertaa Nano Science -hanketta valmisteleva työryhmä **Matti Mannisen** johdolla fysiikan laitoksen pyöreän pöydän ääreen. Hanke oli jo saanut vihreää valoa opetusministeriöltä, joka oli luvannut sille kaksivuotisen rahoituksen: 500 000 mk vuodeksi 2002 ja 1 000 000 mk vuodeksi 2003. Myös Jyväskylän kaupunginjohtaja **Pekka Kettunen** oli luvannut taloudellista tukea.

Kokouksessa todettiin, että opiskelijoiden rekrytoimiseksi alalle tarvitaan koulutuspaketti. Professorit päättivät myös aloittaa yhteiset kollokviot sekä järjestää elokuussa Nano-työpajan, jossa hanketta esiteltäisiin.

Seuraavaksi hankkeesta oli tarkoitus keskustella rehtorin kanssa viikkoa myöhemmin. Kukaan ei arvannut, että tapaaminen muuttaisi suunnitelmat.

In the biosciences, nanoscience related research was under way in the groups of **Matti Vuento, Jyrki Heino, Markku Kulomaa** and **Christian Oker-Blom**. Among the interests of the researchers were biological nano-sensors and virus-based nano-robots.

An idea quickly arose for the three departments at Jyväskylä to join together in applying for funding for a nano-research project. The dean at the time, **Matti Manninen** headed the project proposal. The idea was to forge a strong, nanotechnology-focused center of excellence. The proposal was intended to improve the existing laboratory space and build a new cleanroom. Construction of a new building was something no one dared to dream.

In the beginning of May 2001, the first meeting of the Nano Science project members was held under the leadership of **Matti Manninen** at the physics department round table. The project had already received the green light from the Ministry of Education, which had promised two years of funding (500,000 FIM in 2002 and 1,000,000 FIM in 2003). The mayor of Jyväskylä, **Pekka Kettunen** had also promised financial support.

It was agreed in the meeting, that student recruitment to the field would require an official program of study. The professors decided to begin a colloquium series and organize a Nano-workshop in August, where the project would be presented.

Next, the plan was to discuss the project with the rector in one week. No one knew that the meeting would end up changing their plans.

## Monenlaista yhteistyötä

Biologien ja fyysikoiden välillä oli yhteys jo ennen nanotalon valmistumista. Yhteinen ruokala sijaitsee fysiikan ja biologian laitoksen välissä. Koska biologian laitoksella opiskelijoista enemmistö oli tyttöjä ja fysiikan laitoksella poikia, ei liene ihme, että yliopistolta löytyy useita biologi-fyysikko-pariskuntia.

## A variety of collaborations

There was already collaboration between biologists and physicists before the Nanoscience Center was completed. A shared cafeteria is located between the physics and biology departments. Since the biology department had predominantly female students and physics predominantly male, it's no surprise that there are many biologist-physicist couples at the university.

*Supramolekyylíkemiassa hyödynnetään molekyylien välistä heikkoja vuorovaikutuksia, joiden avulla tehdään suurempia järjestelmiä. Tavoitteena on valmistaa keinotekoisia molekyyylejä, joilla on mahdollisimman paljon vuorovaikutuksia haluttuja molekyyylejä kohtaan. Mallia otetaan luonnosta, jossa esimerkiksi substraatin, eli entsyymin vaikutuskohteen, sitoutuminen entsyymiin perustuu heikkoihin vuorovaikutuksiin.*

*Nanoanturit ovat laitteita, jotka havainnoivat ja mittaavat nanokokoluokan hiukkasia tai esimerkiksi analysoivat nanorobottien toimintaa. Esimerkiksi hajun aistimiseen on kehitetty antureita, jotka havainnoivat nanokokoisia hajumolekyyylejä.*

*Nanorobotti on nanomittakaavan laite. Lääketieteessä nanorobotit kiinnostavat, koska toiveena on, että niiden avulla voidaan muokata solujen toimintaa ja siten saada jokin positiivinen vaikutus aikaiseksi ihmiselimestössä. Virukset ovat eräänlaisia luonnon nanorobotteja, joita hyödynnetään nanorobottien valmistuksessa.*

*Supramolecular chemistry makes use of the weak interactions between molecules to make larger structures. The goal is to produce artificial molecules having the greatest possible interaction with particular target molecules. It's a model taken from nature, where an enzyme's attachment to a substrate is based on weak interactions.*

*Nano-sensors are devices which detect and measure nano-scale particles or analyze the functions of nano-robots. For example, devices have been developed with a sense of smell, which detect nano-sized fragrant molecules.*

*A nano-robot is a nano-scale device. In medicine, nano-robots are of interest for their potential to modify the function of cells and, in turn, positively affect the functioning of the human body. Viruses are examples of natural nano-robots which are used in the development of synthetic nano-robots.*



# 2

## TUUMASTA TOIMEEN FROM IDEAS TO ACTION

### Ratkaiseva vierailu

Toukokuun 10. päivänä 2001 yliopiston rehtori Aino Sallinen tuli vierailulle fysiikan laitokselle, jossa tapasi Nanotieteiden kehittämishankkeen ohjaus- ja seurantaryhmä. Yliopiston isot rakennusprojektit oli tuolloin saatu päätökseen: uusi kemian laitos oli valmistunut Ylistönmäelle vuonna 1991, fysiikan laitos vuonna 1995, bio- ja ympäristötieteiden laitos vuonna 2000 ja Agora 2000.

Tunnelma oli odottava. Vuosituhannen vaihde sai ihmiset suuntaamaan katseensa tulevaisuuteen. Sallinen heitti vilkkaan keskustelun jälkeen pyöreän pöydän ääressä keskusteleville professoreille kysymyksen, olisiko heillä vielä lisää ideoita nanotieteiden kehittämiseksi.

Silloin Jukka Pekola heitti idean nanotalon rakentamisesta. Hän kertoi, että nanotieteiden tutkijat tarvitsivat paljon erikoistiloja, kuten puhdistiloja, jotka olivat tuolloin puutteelliset. Hän perusteli kolmen laitoksen yhteisen keskuksen niin hyvin, että Sallinen vakuuttui.

- Taisin jo heti samassa kokouksessa luvata, että lähdemme toteuttamaan hanketta, Sallinen muistelee.

### A pivotal visit

On the 10th of October 2001, University Rector Aino Sallinen came to visit the physics department, where she met the Nanoscience project group members. The large construction projects at the university had already been completed. The new chemistry department was completed at Ylistönmäki in 1991, the physics department in 1995, bio- and environmental science in 2000 and Agora also in 2000.

The atmosphere was hopeful. The new millennium had everyone looking to the future. Sallinen finished the fast paced discussion at the round table with a question for the professors – did they have any additional ideas for developing nanoscience?

At this point, Jukka Pekola proposed the idea of building a nanoscience center. He explained that nanoscience researchers needed a lot of specialized laboratory space, such as a cleanroom, which was lacking at the time. He justified combining three faculties into one center so well that Sallinen was convinced.

- I think I promised already during that meeting to make the project happen, recalls Sallinen.

Pekola oli napannut idean tanskalaiselta kollegaltaan, joka oli kertonut Kööpenhaminaan juuri valmisteilla olevasta poikkitieteellisestä nanotiedekeskuksista. Myös muissa maissa alkoi olla näkyvissä nanobuumi: esimerkiksi Yhdysvallat satsasi tuolloin isoja rahasummia nano-sanalle.

- Ei siinä paljon sen syvempää, Aino halusi jotain, ja minä ehdotin. Idea sopi siihen ympäristöön, sillä koos-  
sa oli sopiva porukka ja laitosten välillä oli jo yhteistyö-  
tä, sanoo Pekola.

Pekola had taken the idea from a Danish colleague, who had told of a similar, interdisciplinary nanoscience center being built in Copenhagen. Other countries had begun to see the nano-boom as in the U.S.A., where large sums of money were being invested under the nano umbrella.

- It was simple really. Aino wanted something and I made a suggestion. The idea fit well with the surroundings, we had gathered a good working group and there was already collaboration between the departments, Pekola notes.

### Pyöreän pöydän filosofia

Kun fysiikan laitos siirtyi vuonna 1996 Nisulankadulta Ylistönmäelle uuteen rakennukseen, neuvotteluhuoneeseen hankittiin heti iso pyöreä pöytä - laitoksen johtajan Matti Mannisen vaatimuksesta.

- Lähtökohtana oli, että sekoitetaan ihmiset. Eri alojen fyysikot istuivat saman pyöreän pöydän ääressä, Manninen kertoo.

Inspiraatio tuli vanhoista tiloista Nisulankadulta, jossa kahvihuoneessa oli kahdeksankulmainen pöytä. Sen ääressä syntyi monia hyviä keskusteluja.

- Olin ollut aiemmin töissä Helsingin yliopistossa, TKK:lla ja monissa muissa fysiikan laitoksissa ulkomailla. Jyväskylässä yhteishenki oli poikkeuksellisen hyvä.

Manninen uskoo, että kun tilat houkuttelevat ihmisiä kohtaamaan toisiaan, syntyy yhteistyötä ja hyvä ilmapiiri. Samaa ihmisten sekoittamisen ideologiaa on pyritty noudattamaan myös Nanotiedekeskuksessa. Siellä ei ole konkreettista pyöreää pöytää, mutta kahvihuoneessa kaikki istuvat saman ison pöydän ääressä.

Jukka Pekolan muistaa, miten iso pyöreä pöytä aikoinaan kannettiin sisälle fysiikan laitokselle. Vaikka se oli kahdessa osassa, tarvittiin monta ihmistä, että se saatiin tuotua sisälle.

- Se oli tärkeä juttu. Pidimme johtoryhmän kokoukset, eikä kukaan istunut pöydän päässä. Se on hieno filosofia.

### Round table philosophy

When the physics department moved from Nisulankatu to the new building at Ylistönmäki in 1996, the conference room was immediately furnished with a large round table, as demanded by the department head, Matti Manninen.

- The idea was to mix people up. Physicists from different fields sat at the same round table, Manninen explains.

The inspiration came from the old location at Nisulankatu, where the coffee room had an octagonal table. Many fruitful conversations arose around that table.

- I had worked at Helsinki University, TKK and many other physics departments abroad. The group cohesion at Jyväskylä was exceptionally good.

Manninen believes that when the workspace encourages people to interact, it fosters collaborations and a good working environment. The same mixing of people has been a goal at Nanoscience Center as well. While there is no round table, in the coffee room, everyone sits around the same large table. Jukka Pekola remembers carrying the large table inside. Although it was in two parts, it required many people to get it in.

- It was an important thing. We held steering committee meetings and no one sat at the head of the table. It's a great philosophy.



*Akatemiaprofessori Jukka Pekola työskenteli Jyväskylässä vuosina 1992-2001. Nykyisin hän työskentelee Aalto-yliopiston O.V. Lounasmaa-laboratoriossa (entinen Kylmälaboratorio).*

*Academy Professor, Jukka Pekola worked in Jyväskylä from 1992 to 2001. Currently, he is working in Aalto University at the O.V. Lounasmaa laboratory (formerly Low temperature laboratory).*

## Hieno yhteishenki

**Jukka Pekolan** mukaan Nanotiedekeskuksen perustamisessa tarvittiin maakuntahenkeä.

*"Nanotiedekeskuksen vahvuus on, että ihmisiä on kaikkien tieteenalojen välissä. Haitari ulottuu käytännön biologeista teoreettisiin fyysikkoihin. Olisi ollut vaikeampaa muodostaa täällä pääkaupunkiseudulla vastaavanlainen yksikkö - en usko, että se olisi tuolloin onnistunut."*

*"Jyväskylän etuna oli, että yliopisto koettiin yhteiseksi asiaksi. Siellä oli maakuntahenki, pienen paikkakunnan henki - täällä pääkaupunkiseudulla tilanne on toinen. Eipä täällä ole myöskään maakuntalehtiä, jotka kirjoittaisivat, mitä paikalliset tutkijat ovat saavuttaneet."*

## Great team spirit

According to **Jukka Pekola**, the founding of Nanoscience Center required community spirit.

*"The strength of Nanoscience Center is that there are people from all areas of science, from practical biologists to theoretical physicists. It would have been more difficult to form such a place in the Helsinki area. I don't think it would have worked."*

*"Jyväskylä's advantage was that the university was considered as a single entity. There was community spirit, a small, local spirit. Here, around the capital, the situation is different. And there aren't any local papers to write about what the local researchers have accomplished."*

## Tilanahtaus vaivasi

Idea nousi siivilleen ketterästi. Kemian ja bio- ja ympäristötieteiden laitokset tukivat ajatusta, sillä moni toivoi lisää tutkimusyhteistyötä. Toisaalta tutkijat näkivät, että yhdessä tutkimushankkeisiin voitaisiin saada paremmin rahoitusta. Monet tutkimuksissa tarvittavat laitteet ovat kalliita. Niiden hankinta on helpompi perustella, kun käyttäjiä on enemmän.

Uuden talon rakentaminen oli perusteltua, sillä yliopisto eli vahvaa kasvuvaihetta. Laitosten henkilöstömäärät kasvoivat nopeasti, mikä aiheutti tilanahtautta.

Fysiikan laitoksen vuonna 1996 käyttöön otettu laitosrakennus oli mitoitettu 85 hengelle, mutta määrä oli vuonna 2000 kasvanut jo 140 tutkijaan. Bio- ja ympäristötieteiden laitoksen Ambiotica oli jo valmistuessaan, vuonna 1999, tiloiltaan liian pieni, sillä professoreja oli tullut lisää. Vuonna 1991 valmistunutta kemian laitosta oli jo kertaalleen laajennettu vuonna 1997 5000 neliöllä, mutta silti oli ahdasta, eikä uusille laitteille tahtonut löytyä sopivia tiloja.

Idea nanotalon rakentamisesta kuulosti hyvältä kaikista osapuolista.

- Olimme aktiivisesti mukana, sillä näimme, että saamme sitä kautta lisää tilaa sekä kunnolliset soluviljelytilat. Näimme myös, että hanke parantaa mahdollisuuksiamme tehdä yhteistyötä kemistien ja fyysikoiden kanssa, kertoo molekyylibiologian professori Markku Kulomaa.

## Not enough room at the bottom

The Nanoscience Center idea took off easily. Chemistry, bio- and environmental science supported the idea with many wishing for more collaborations. Furthermore, it was understood that joint research projects could be better funded. Research equipment is expensive and it is easier to justify the expense if there are more users.

The new building was justified as the university was undergoing a growth phase. Personnel was increasing and the available space was becoming limited.

The physics department's new building was designed for 85 researchers and by 2000, the number had grown to 140. Bio- and environmental sciences' Ambiotica was already too small upon completion in 1999 resulting from an increase in professors. The chemistry building from 1991 had already been enlarged by 5000 square meters in 1997, but was still cramped and finding room for new equipment was difficult. Building a new Nanoscience Center sounded like a good idea on all sides.

- We participated actively, as we saw that we would benefit from new cell culture lab space. We also saw that the project would increase the potential for collaborations with chemists and physicists, recounts molecular biology professor, Markku Kulomaa.

## Takaisku

Heti projektin alkuvaiheessa tuli iso takaisku, kun idean isä, akatemiaprofessoriksi valittu Jukka Pekola vetäytyi taka-alalle. Hän lähti vuodeksi Ranskaan ja siirtyi sen jälkeen TKK:n Kylmälaboratorioon.

- Moni epäroi, että tuleeko koko projektista mitään. Päätimme kuitenkin, että ei tämä voi olla yhdestä henkilöstä kiinni, kertoo Matti Manninen.

Pohja Nanotiedekeskukselta tuntui murtuvan, sillä Pekolan käynnistämisen kokeellisen nanofysiikan tulevaisuus oli vaakalaudalla.

- Kävin sanomassa Pekolan ryhmän opiskelijoille, että vastuu tutkimuksen jatkumisesta on nyt teillä, kertoo Manninen.

**Ilari Maasilta** toimi tuolloin yliassistenttina ja joutui astumaan suuriin saappaisiin. Manninen toimi opiskelijoiden henkisenä tukena. Lisäksi teoreettisen fysiikan professoriksi tullut **Päivi Törmä** ryhtyi osittain tekemään kokeellis-



## A bump in the road

During the project's early stages, there was a big setback when the man behind the idea, Academy Professor Jukka Pekola withdrew to the sidelines. He went to France for one year and then moved to TKK's Low Temperature Laboratory.

- Many worried that the project would collapse. But we decided that this cannot depend on just one person, tells Matti Manninen.

**Ilari Maasilta** was working as assistant professor at the time and was forced to fill some very large shoes. Manninen worked as a student counselor and recent theoretical physics professor, **Päivi Törmä** took to doing some experimental research. Later in 2004, Pekola's post was filled by **Markus Ahlskog**, who specializes in carbon nanotubes.

Physical chemistry professor and current dean, **Henrik Kunttu** took the reins in the summer of 2001 and began leading the Nanoscience project.

*Teoreettinen fyysikko Päivi Törmä hyppäsi Jyväskylässä osittain kokeellisen tutkimuksen puolelle. Kuvassa hän on laboratoriossa tutkija Alexander Savinin kanssa tammikuussa 2002.*

*Theoretical physicist Päivi Törmä started also experimental research during her stay in Jyväskylä. Törmä and Alexander Savin in laboratory, January 2002.*

ta tutkimusta. Myöhemmin, vuonna 2004, Pekolan virkaan valittiin hiilinanoputkiin erikoistunut **Markus Ahlskog**.

Fysikaalisen kemian professori, nykyinen dekaani **Henrik Kunttu** hyppäsi kesällä 2001 ohjaksiin ja ryhtyi vetämään NanoScience-hanketta.

- Nyt kun ajattelen toimintaani, olin aika kokematon. Oma tutkimukseni ei ollut alun perin nanoa. Tutkimme kaksiatomisia molekyyliä, jotka ovat paljon pienempiä. Toisaalta suhtauduin hankkeeseen hyvin positii-visesti, sillä Pekolan tutkimusryhmästä löytyi tukea ja matalien lämpötilojen osaamista. Näin, että se oli suuri mahdollisuus.

Kunttu itse teki matalan lämpötilan kemiaa, matriisi-iso-laatiotutkimusta, joka on hyvin lähellä fysiikkaa. Hän oli jo tehnyt yhteistyötä Pekolan ryhmän kanssa ja se oli osoit-tautunut hedelmälliseksi.

Kuntun mukaan hyvät henkilösuhteet siivittivät Nano-tiedekeskuksen perustamista. Tuolloin tiedekunnan de-kaanina toiminut Matti Manninen itse oli tehnyt atomi-ryppäisiin liittyvää nanotieteiden teoreettista tutkimusta Jyväskylässä jo 1980-luvun lopulta lähtien. Kunttu itse oli kemian laitoksen johtajana, bio- ja ympäristötieteiden laitosta johti molekyylibiologi Markku Kulomaa ja fysiikan laitosta kiihdytinpohjaisen fysiikan professori **Rauno Ju-lin**. Kaikki antoivat tukensa nanotiedekeskukselle.

- Laitosten mandaatti oli ensiarvoisen tärkeä. Jos joku olisi vastustanut, ei hankkeesta olisi tullut mitään. Meillä oli hyvä porukka. Sopiva joukko ihmisiä, joilla oli valtaa päättää asioista – ja me myös päätimme, Kunttu muistelee.

- Looking back, I see now that I was quite inexperi-enced. My own research was not originally nano-scale. We were studying two-atom molecules, which are much smaller. On the other hand, I was enthusiastic about the project, as Pekola's group provided support and low temperature expertise. I saw that it was a big opportunity.

Kunttu had been doing low temperature chemistry, matrix isolation research, which has close ties to physics. He had already benefited from fruitful collaborations with Peko-la's group.

According to Kunttu, good relations among researchers bolstered Nanoscience Center's founding. The dean at the time, Matti Manninen had himself done theoretical nano-science research on atomic clusters since the late 1980's at Jyväskylä. Kunttu was the head of the chemistry depart-ment, Markku Kulomaa was the head of bio- and environ-mental sciences and accelerator based physics professor **Rauno Julin** was heading the physics department. All were supportive of the Nanoscience Center project.

- Support from the departments was of critical impor-tance. If any one had been against it, the project would not have succeeded. We had the right group of people, who had authority to make decisions – and we did just that, Kunttu recalls.

### Matriisi-isolaatio

Menetelmässä jalokaasun ja tutkittavan kemiallisen yhdisteen seos jäädytetään nopeasti 10 kelviniin (-263 celsiusastetta) lämpötilassa kylmälle alustalle. Syntyy kiinteä kalvo, matriisi. Etuna on, että hyvin matalissa lämpötilassa molekyylit erottuvat toisistaan, eikä niiden välillä ole vuorovaikutuksia. Matriisin avulla voidaan tutkia kaasumaisia atomeja, molekyylejä ja radikaaleja tarkasti ilman, että ne liikkuvat tai reagoivat keskenään. Menetelmä soveltuu muun muassa molekyyliarakenteiden, diffuusion sekä kemiallisesti merkittävien alkeisreaktioiden tutkimiseen.

### Atomiryppäät

Atomiryppäs on kahdesta useaan sataan atomia sisältävä "atomimöykky". Koska se on kooltaan yksittäisten atomien ja kiinteän aineen välissä, sen avulla voidaan tutkia erilaisten fysikaalisten suureiden muuttumista siirryttäessä kiinteästä aineesta yksittäiseen atomiin. Näiden muutosten tunteminen on tärkeää, koska esimerkiksi elektroniikan komponenteista pyritään tekemään jatkuvasti pienempiä.

### Matrix-isolation

In matrix isolation, a noble gas and the chemical compound to be studied are cooled quickly to 10 kelvin (-263 degrees celsius) and consequently frozen onto a cold substrate, forming a solid film, or matrix. The benefit is that at these low temperatures, molecules are distinguishable and do not interact. Within the matrix, gaseous atoms, molecules and radicals can be studied while immobilized and unreactive. The method is useful in studying molecular structure, diffusion and elementary reactions.

### Atomic clusters

Atomic clusters are groups of two to several hundred atoms. Their sizes lie between individual atoms and bulk solid and as such, provide insight into the changes of physical properties from bulk to individual atoms. Understanding these changes is of great importance as, for example, electronic components are being made smaller and smaller.

# Hankesuunnitelma pikapikaa

Molekyylibiologian professori Markku Kulomaasta tuli rakennushankkeen suunnittelutyöryhmän johtaja - hänellä oli rakennusprojekteista jo kokemusta Ambiotican myötä.

- Kun palasin kesälomalta, pöydälläni odotti kirje rehtorilta. Sain siinä määräyksen toimia nanotalon hankesuunnittelutyöryhmän puheenjohtajana, Kulomaa kertoo.

Kulomaa oli saanut Akatemialta varttuneen tutkijan rahoituksen ja oli lähdössä Seattleen, mutta jäikin syysyksi Jyväskylään ja lähti vasta keväällä.

- Halusin olla mukana, sillä pidin tätä hanketta niin tärkeänä.

Työryhmä piti ensimmäisen kokouksensa syyskuussa. Kulomaan lisäksi ryhmään kuuluivat kaupungin ja rakennuttajan edustajat sekä kiinteistöpäällikkö. Tavoitteeksi tuli hankesuunnitelman valmistuminen 15.1.2002 mennessä. Moni piti aikataulua mahdottomana.

- Olin yllättynyt siitä, miten monipuolisesti hankesuunnitelmassa jouduttiin lähestymään asiaa. Piti tehdä tarveselvitys, tilaselvitys, toimenpideselvitys, rahoitus selvitys, hankesuunnitelma ja tarjouskilpailu. Piti pohdita kustannuksia ja miettiä parkkeerausta, Kulomaa kertoo.

Myös Henrik Kunttu muistelee, ettei hankesuunnitelman kirjoittaminen ollut ihan helppoa.

- Eihän meillä ulkopuolisilla ollut nanofysiikan tutkimusmenetelmistä harmainta aavistustakaan.

Niin tai näin, hankesuunnitelma eteni lähes aikataulusaan. Se luovutettiin rehtorille 31.1.2002.

# Project proposal in a hurry

Molecular biology professor, Markku Kulomaa was put in charge of planning the construction project. He had prior experience with construction projects via the Ambiotica building.

- When I returned from my summer holiday, there was a letter from the dean waiting for me on my desk, Kulomaa explains.

Kulomaa had received a senior researcher grant from the Academy of Finland and was to leave for Seattle, but he stayed in Jyväskylä through the fall and left in the spring instead.

- I wanted to be involved because I felt this project was so important.

The construction project workgroup held its first meeting in September. In addition to Kulomaa, the group included representatives from the city and the construction company as well as the real estate manager. A goal was set to complete the construction proposal by 15.1.2002. Many felt it was an impossible deadline.

- I was surprised at how many components were involved in the process. There were evaluations of need, building space, construction schedule, funding, project proposal as well as construction bidding. We had to consider expenses and think about parking, tells Kulomaa.

Henrik Kunttu also remembers that the project proposal was not a simple task.

- None of us outsiders had the slightest idea of nano-physics research methods.

Be that as it may, the proposal proceeded nearly according to schedule. It was submitted to the rector on 31.1.2002.



## Rehtori siunasi hankkeen

Nanotiedekeskus on yliopiston historian nopeimmin koskaan toteutettu hanke: ideasta kesti vain kolmisen vuotta siihen, että nanotalo oli valmis. Hankesuunnitelma valmistui tammikuussa 2002, ja jo maaliskuussa yliopisto päätti nanotalon rakentamisesta. Yleensä vastaavien hankkeiden pelkkä valmistelu ja suunnittelu vie vuosia.

- Päätös oli erittäin helppo, sillä idea oli innovatiivinen ja ilmeni, että kaikki kolme eri tieteenalaa olivat vahvasti sitoutuneet siihen, kertoo Aino Sallinen.

Hetki oli suotuista. Tuolloin elettiin aikaa, jolloin yliopistojen päätäntävalta oli kasvanut ja ne saivat profiloitua omilla resursseillaan haluamaansa suuntaan. Jyväskylän yliopiston rahatilanne oli hyvä, sillä maakuntien yliopistot saivat suhteessa hyvin resursseja. Lisäksi yliopisto sai EU:n aluekehitysrahaa.

- Olemme hyötäneet EU-rahoituksesta enemmän kuin mikään muu yliopisto. Kaupungin johdossa ja Keski-Suomen liitossa nähtiin yliopiston merkitys. Siellä piti kirjaimellisesti päättää laitetaanko rahat siltarumpuihin ja maanteihin vai osaamiseen. Keski-Suomi oli viisas ja laittoi rahat osaamiseen, Sallinen toteaa.

Rakennusprojekti saatiin käynnistettyä ketterästi, koska yliopiston ei tarvinnut anoa siihen erikseen lupaa tai rahoitusta. Omat resurssit riittivät. Tarvittiin vain yhteinen näkemys ja rehtorin päätös. Taustalla oli myös yliopiston uusi strategia, jossa annettiin entistä enemmän painoarvoa luonnontieteille.

Sallinen oli analysoinut aloittaessaan rehtorina vuonna 1992, että yliopisto tarvitsee lisää tukijalkoja: vahva osaaminen pedagogiikassa ja tietyissä humanistisissa aineissa ei riitä. Sallinen koki, että mikäli yliopisto haluaa pärjätä

## The rector gives her blessing

Nanoscience Center is the fastest completed project in the university's history. It took only three odd years from idea to building completion. The project proposal was completed in January 2002 and in March, the university made the decision about construction. Usually, even preparation for such proposals can take years.

- The decision was very easy since the idea was innovative and it became clear that three different faculties of science were so dedicated to it, tells Aino Sallinen.

The moment was right. It was a time in which universities' authority had grown and they could mold themselves with their own resources as they saw fit. The financial situation at the University of Jyväskylä was good, with regional universities receiving ample funding. Additionally, the University of Jyväskylä received EU funding for development.

- We have benefited from EU funding more than any other university. The city leadership and the Regional Council of Central Finland understood the university's importance. The decision was literally between bridges and highways and knowledge. Central Finland was wise and put its money into knowledge, Sallinen confirms.

The construction project was started without issues because the university had no need to apply separately for permits or funding. Internal resources were sufficient. Only a singular vision and the decision of the rector were necessary. In the background was the university's new strategy, in which the sciences were given increasing importance.

At the beginning of her term as rector in 1992, Sallinen had concluded that the university needed more support pillars. A strong background in pedagogy and select

tulevaisuudessa ja saada lisää ulkopuolista rahoitusta, sen pitää panostaa luonnontieteisiin ja tukea teknologia-aloja. Niinpä Sallisesta, joka oli puheviestinnän professori, tuli luonnontieteiden nostaja.

- Humanistinaisena rakensin teknologiakampuksen, josta oli haaveiltu viimeiset 25 vuotta.

Perustamista tuki myös 1990-lopulla julkaistu EU-analyysi, jossa komissio mainitsi nanoteknologian yhtenä niistä aloista, joilla Eurooppa voisi menestyä kilpailussa Aasiaa ja Yhdysvaltoja vastaan. Mikä parasta, raportissa mainittiin myös Jyväskylän yliopisto yhtenä alan osaamiskeskusena. Se ei ollut jäänyt rehtorilta huomaamatta.

humanities subjects was not enough. If the university wanted to succeed in the future and secure more outside funding, it would have to give support to science and technology. And that is how Sallinen, a communications professor, became an advocate of science.

- As a woman of the humanities, I built a technology campus which had been dreamt of for the last 25 years. Nanoscience Center was a good addition to the construction projects. Despite the other new buildings, the departments were already suffering from a lack of space. The large increase in the number of researchers was unexpected and new equipment took up precious space.

The Center's founding was also supported by a report published by the EU commission at the end of the 1990's. In the report, nanotechnology was mentioned as one of the areas in which Europe could successfully compete with Asia and the United States. Moreover, the report also mentioned the University of Jyväskylä as one of the centers of knowledge in the field. This had not gone unnoticed by the rector.



*Puheviestinnän professori Aino Sallinen toimi Jyväskylän yliopiston rehtorina vuosina 1992–2012.*

*Communications professor Aino Sallinen was rector of the University of Jyväskylä from 1992 to 2012.*

## Hunajapurkin ääreen

**Aino Sallinen yllättyi, miten innokkaasti tutkijat sitoutuivat Nanotiedekeskukseen.**

*”Olin yllättynyt, miten sitoutuneita tutkijat olivat hankkeeseen. Kaikki tapahtui niin nopeasti, että olin itsekin hämmästynyt. Yhtäkkiä nanotalo oli valmis ja siellä oli 100 tutkijaa.”*

*”Nanotiedekeskus on vahvasti yliopistoa profiloiva ja nostaa yliopiston tieteellistä näkyvyyttä. Asetin pian rehtoriksi tultuani päätavoitteeksi, että Jyväskylän yliopistosta tulee kansainvälisesti merkittävä tiedeyliopisto. Sitä tavoitetta kohti olemme edenneet. Nanotiedekeskus on yksi lenkki ketjussa.”*

*”Kun jotain uutta rakennetaan, pitää laittaa ikään kuin hunajapurkki pöydälle ja odottaa, että siihen tulevat kiinnostuneet mehiläiset paikalle. Uuteen mahdollisuuteen tarttuvat ne, joita se kiinnostaa. Johdon tehtävä on tukea prosessia, mutta ilmiön pitää saada syntyä spontaanisti.”*

## Straight to the honey jar

**Aino Sallinen was surprised by how enthusiastically the researchers were about the Nanoscience Center.**

*”I was surprised at how devoted the researchers were to the project. Everything happened so fast, that even I was amazed. Suddenly the nanoscience building was complete and there were 100 researchers.”*

*”Nanoscience Center is a strong symbol of the university and increases the its scientific visibility. Soon after starting as rector, my top priority was to make the University of Jyväskylä an internationally prominent science university.”*

*”When something new is being built, you need to put the honey jar on the table and wait for the bees to come. New opportunities attract those who are interested. The job of leadership is to support the process, but the phenomenon must arise spontaneously.”*

## Piirustukset uusiksi

Kun hankesuunnitelma oli keväällä 2002 saatu valmiiksi ja rahoitus hyväksyttyä, alkoi varsinaisten rakennuspiirustusten teko – ja kaikki meni uusiksi.

Hankesuunnitelman oli tehnyt arkkitehtitoimisto Pekka Paavola, mutta lopulliset suunnitelmat teki arkkitehtitoimisto Arto Sipinen, jonka käsiälää ovat kaikki Ylistönrinteen rakennukset. Hankesuunnittelussa mukana olleet tutkijat muistelevat, että tilanne oli hieman turhauttava.

- Hankesuunnitelmassa rakennus oli sijoitettu tiettyyn paikkaan, ja sillä oli tietty hintalappu. Kun rahoitus hyväksyttiin, tuli varsinainen suunnitteluryhmä, joka piirsi rakennuksen kokonaan uusiksi ja siirsi sen toiseen paikkaan, Kulomaa kertoo.

Alkuperäisessä hankesuunnitelmassa kuvattu rakennus oli lähes neliön mallinen ja se oli piirretty Ambioticaa vastapäätä, nykyiselle parkkipaikalle. Tutkijoiden työhuoneet olivat laidoilla ja keskellä sijaitsivat kohtaamispaikat: kahvihuone ja neuvottelutilat.

## Back to the drawing board

When the project proposal was completed in the spring of 2002, and the funding granted, it was time to start drawing up the blueprints – and everything had to be redone.

The project proposal was done by architect Pekka Paavola, but the final plans were done by architect Arto Sipinen, who is responsible for all the buildings at Ylistönrinne.

Researchers who were involved in the construction project's planning remember it as a frustrating process.

- "In the proposal, the building was located at a particular place and had a particular price tag. When the funding was granted, the planning committee arrived, drawing up completely new blueprints with the building in a different place," tells Kulomaa.

In the original plans, the building was nearly square and located across from Ambiotica, in the current day parking lot. Researchers' rooms were along the outside and in the middle were the meeting spaces: the coffee room and conference room.



*Keväällä 2003 bio- ja ympäristötieteiden laitoksen viereen ilmestyi iso monttu, jonne nanotalo alkoi kohota.*

*In the spring 2003 a big pit appeared next to the building of bio- and environmental sciences, and the Nanoscience Center started to rise.*

Toteutuneessa Sipisen ratkaisussa rakennus oli sijoitettu tien suuntaisesti siten, että fysiikan laitos, biologian laitos ja nanotalo muodostivat sisäpihan. Eteen jäi pieni aukio, jossa oli parkkipaikkoja. Talon muoto muuttui suorakaiteeksi ja tutkijoiden työhuoneet olivat käytävien varsilla. Alakerrasta saatiin kulkuväylä bio- ja ympäristötieteiden laitokselle, jonka tiloista osa oli aluksi nanotalon tutkijoiden käytössä.

## Viilausta viime metreille

Käyttäjien näkökulmaa rakennusprojektissa edustanut Markku Kulomaa muistelee, että varsinaisten rakennuspiirustusten muokkaus kesti pitkään. Ongelmana oli, että edes tulevat käyttäjät, tutkijat, eivät tienneet kunnolla, mitä halusivat. Tuli tilanteita, että suunnitelmat muuttuivat täysin. Soluviljelytiloihin ja fysiikan puhdistiloihin tuli koko ajan muutoksia.

- Piirrettiin ja laskettiin, laskettiin ja piirrettiin. Käyttäjät keksivät jatkuvasti uusia muutoksia, jotka rakentajat nöyrästi toteuttivat.

Toisaalta myös tutkijoiden kannalta tilanne oli haastava, sillä kysymykset olivat niin moninaisia, ja tutkijoiden aika oli kortilla.

- Tuli hyvin teknisiä kysymyksiä, joihin minun piti löytää jostain vastaus. Esimerkiksi kun saimme uudet soluviljelytilat, meiltä kysyttiin, millä silikonilla nurkat voi täyttää. Silikoneista nimittäin erittyy kemikaaleja, jotka aiheuttavat ongelmia soluille, Kulomaa kertoo.

Henrik Kuntun mukaan jälkeenpäin ajatellen tutkijoiden olisi pitänyt olla aktiivisemmin mukana rakennussuunnittelussa.

- Rakennuttajat eivät olleet toimintaamme oikein tyytyväisiä. Saimme pyyhkeitä siitä. Emme aina vastanneet kysymyksiin ja aiheutimme itse ongelmia.

The final drawings by Sipinen had the building aligned with the street so that the physics department, biology department and Nanoscience Center formed a courtyard. In the front was an open area with parking spaces. The building also changed to a rectangular shape with researchers' rooms along corridors. The first floor had a pathway to bio- and environmental sciences, which were in use by some of the early nanoscience researchers.

## Changes until the last moment

Representing the occupants' point of view in the construction project, Markku Kulomaa remembers that editing the blueprints took quite a long time. The problem was that even the coming occupants, the researchers, didn't really know what they wanted. There were situations where the plans changed completely. The cell culture and physics cleanroom spaces were in constant flux.

- Drawing and calculating, calculating and drawing. The users were endlessly coming up with new changes, which the builders patiently included.

On the other hand, it was challenging from the researchers' point of view as the questions were often complicated and the researchers' time was running out.

- There were very technical questions, to which I had to find answers. For example, when we got the new cell culture space, we were asked what type of silicone sealant could be used in the corners. There are types of silicone which give off chemicals which cause problems for cells, Kulomaa explains.

In retrospect, Henrik Kunttu feels the researchers should have participated more actively in the construction planning.

Rakennussuunnittelu kesti ihan viime metreille saakka.

- Jossain vaiheessa tuli piste, jossa rakentajat sanoivat, että nyt se on poikki. Nyt rakennetaan näillä piirustuksilla, eikä tehdä enää muutoksia ennen kuin rakennus on valmis. Muutoin ei tule valmista koskaan, Kulomaa kertoo.

Nanotalon rakennusurakka käynnistyi 22.4.2003. Rakennuksen piti olla valmis 31.7.2004, mutta tavoitetta pidettiin mahdottomana. Kauas siitä ei kuitenkaan jouduttu, sillä rakennus valmistui elokuussa. Viimeisten muutostöiden ja sisustamisen jälkeen tutkijat pääsivät muuttamaan tiloihin lokakuussa.

- The contractors were not very pleased with our behavior. We received criticism for it. We didn't always answer the questions and caused problems ourselves. Construction planning continued up to the very last moment.

- At some point the builders said, 'That's enough. We're starting with these plans and no more changes until the building is done. Construction has to begin, otherwise it will never get done, tells Kulomaa.

Construction of Nanoscience Center began on 22.4.2003. It was proposed to be completed on 31.7.2004, but the deadline was generally thought impossible. It wasn't far off however, as construction was complete in August. After the final moving and furnishing, the researchers were able to move in to the new space in October.

#### *NANOTALO*

*Tilat yhteensä 5300 m<sup>2</sup>*

*Rakennuskustannukset noin 10 milj euroa*

*Suunnittelijana arkkitehtitoimisto Arto Sipinen*

#### *NANOSCIENCE CENTER*

*Floor space 5300 m<sup>2</sup>*

*Construction costs approximately 10 billion euros*

*Planning by architect Arto Sipinen*



*Matti Manninen konferenssin posterinäyttelyssä Fysiikan laitoksella.*

*Matti Manninen attending a poster session at the Department of Physics.*



*Nanotutkijat kokoontuivat kesäkuussa 2004 Ylistörinteelle ensimmäiseen isoon nanoalan konferenssiin, Electronic Structure Simulations of Nanostructures. Taustalla näkyy jo melko valmis nanotalo.*

*In June 2004 Electronic Structure Simulations of Nanostructures -conference was held in Jyväskylä. The Nanoscience Center was almost ready (in the background).*

## Mikään nimi ei kelvannut

Nanotiedekeskuksen rakennusvaiheessa johtoryhmä järjesti yliopiston henkilökunnan keskuudessa nimikilpailun uudelle rakennukselle. Vuonna 1999 valmistunut biologian laitosrakennus oli saanut nimen Ambiotica ja Mattilanniemeen seuraavana vuonna valmistunut rakennus ristittiin Agoraksi. Myös nanotiedekeskuselle haluttiin nimi.

Ehdotuksia tuli paljon, noin 50. Monet niistä olivat kreikkalaiseen mytologiaan pohjautuvia.

- Se oli sarjassamme mielenkiintoinen episodi. Johtoryhmässä pohdittiin nimiehdotuksia, mutta mikään niistä ei tuntunut hyvältä, kertoo Nano Science -hankkeessa alusta alkaen mukana ollut orgaanisen kemian professori **Maija Nissinen**.

Lopulta joukosta valittiin voittanut ehdotus, joka palkittiin. Mutta se ei jäänyt elämään: Nissinen ei edes muista, mikä se oli. Käytännössä nimeksi hyvin nopeasti vakiintui rakennusaikainen "nanotalo"-nimitys tai käytettiin virallista nimeä Nanotiedekeskus (NSC, Nanoscience Center). Ovikyltteihin painettiin huoneen numerojen eteen kirjainyhdistelmä YN, Ylistön Nano.

## Naming issues

During the construction of Nanoscience Center, the steering committee organized a naming competition for the new building among the faculty and staff. The biology building completed in 1999 was named Ambiotica and the building completed the following year across the lake was christened Agora. A name was wanted for the nanoscience building as well.

There were some 50 suggestions received, many of them taken from Greek mythology.

- It was an interesting chapter in our story. The steering committee considered the names, but none of them seemed right, tells chemistry professor **Maija Nissinen**, who had been involved in the project from the beginning.

In the end, one was selected and a prize awarded. But it didn't stick. Not even Nissinen can remember what it was.

In practice, the name "nanotalo" became commonly used along with the official Nanoscience Center (NSC). Office room numbers were printed with the letter combination YN, Ylistön Nano.

## Faksi Yhdysvalloista

Vaikka nanotalo rakennettiin yliopiston omasta budjetista, tutkijoiden piti löytää rahoitus myös sinne hankittaville miljoonien eurojen laitteille sekä kalliille puhdistiloille. Matti Pylvänäinen muistelee tuohon aikaan tehneensä tutkijoiden kanssa useita rahahakemuksia, jotta valmistuva rakennus voitiin varustaa.

- Teimme heti alkuvaiheessa yhdessä hyvät suunnitelmat siitä, mitä tarvitaan ja mistä saadaan rahat. Lopujen lopuksi saimme enemmän kuin alkujaan kuvittelimme, sillä unelmat kasvoivat ajan myötä.

Eri alojen välinen yhteistyö näytti voimansa. Laitehankinat oli helppo perustella, kun käyttäjiä oli sekä biologian, kemian että fysiikan laitoksilta.

## A fax from the United States

Though the Nanoscience Center was built with internal funds, the researchers had to find funding also for the multi-million euro equipment and the cleanroom. Matti Pylvänäinen recalls sending many grant proposals at the time in order to equip the new building.

- We made very good plans together right at the start about what would be needed and where to get the funds. In the end, we received more than we initially thought as appetites grew with time.

Collaboration between the different disciplines showed its strength. Equipment expenditures were easy to justify when there were users from biology, chemistry and physics departments involved.



Rahan hakemiseen liittyi jännittäviäkin tilanteita. Uuden rakennuksen varustamiseen tarkoitettu 4,5 miljoonan euron hanke oli syksyllä 2003 vähällä kaatua aivan viime metreillä. Lääninhallitus oli luvannut, että nanotiedekeskushanke saisi 2 miljoonaa Jyväskylälle myönnettävistä EU:n aluekehitysrahoista (EAKR). Lisäksi Suomen Akatemia lupasi 1,5 miljoonaa euroa. Koska EU:n aluekehitysrahassa vaatimuksena oli, että liike-elämä osallistuu hankkeeseen tietyllä osuudella, myös Teknologiakeskus oli luvannut tulla mukaan.



*Hallintopäällikkö Matti Pylvänäinen muistelee, että NSC:n rahoituksen haussa koettiin välillä jännittäviä hetkiä.*

*Faculty administrator Matti Pylvänäinen recollects that applying the funding for NSC was at times very exciting.*

- Edellisenä päivänä Teknologiakeskus ilmoitti, että se ei rahoitakaan omaa osuuttaan. Yritysrahoitus siis puuttui. Sen jälkeen maakuntajohtaja vaati, että koko rahahakemus pitää vetää pois.

Tilanne oli pelottava, sillä koko iso hanke oli vaakalaudalla. Pylvänäinen keksi ratkaisun. Hän soitti Yhdysvalloissa käymässä olleelle nanotieteiden professori **Jorma Virtaselle**. Puhelimeen vastasi tämän vaimo, joka herätti Virtasen. Kello oli Yhdysvalloissa kolme yöllä.

- Pysyin, että Virtanen voisi yrityksensä Amroyn kautta luvata rahoituksen hankkeelle ja lähettää siitä tiedon faksilla Suomeen.

Virtanen kertoi, ettei hänellä ole antaa kyseistä rahasummaa. Pylvänäinen totesi, että tärkeintä oli estää koko hankkeen kaatuminen – tarvittavat yritysrahat voitaisiin kerätä myöhemmin. Virtanen faksasi, ja hanke sai rahoituksen.

Pylvänäinen muistelee, että kyseisen yritysrahaosuuden keräämisessä oli jälkikäteen kova homma. Se lankesi fyysikan professori Päivi Törmälle.

There were some exciting moments as well in the search for funding. An equipment grant of 5.5 million euros was on the verge of falling through at the last moment in autumn of 2003. The state provincial office had promised 2 million euros from the EU regional development funds to Jyväskylä. Additionally, the Academy of Finland had promised 1.5 million euros. Since the EU regional funds required corporate sponsorship at some level, the technology center (KETEK) had also promised to join the project funding.

- The day before, KETEK informed that it was not providing funding. The corporate sponsorship was gone. Following this, the state provincial leader stated that all the funding must be rejected. It was a frightening situation as the whole lump sum was on the chopping block.

Matti Pylvänäinen came up with a solution. He called **Jorma Virtanen**, professor of nanoscience who was visiting the United States. His wife answered the phone and went to wake up Virtanen. It was three in the morning there.

- I asked if Virtanen could promise funds to the project via his company Amroy and send the information by fax to Finland.

Virtanen said he didn't have enough funds to give. Pylvänäinen assured that the important thing is to prevent the whole funding package from being rejected and that the additional funds could be collected later. Virtanen sent the fax and the project was funded.

Pylvänäinen remembers that finding the remaining funds ended up being a difficult task. And the task fell on Professor Päivi Törmä's shoulders.



*Jorma Virtanen toimi NSC:n ensimmäisenä nanotieteiden professorina vuosina 2002-2009. Nykyisin hän on eläkkeellä, mutta tutkimustyö ja keksiminen jatkuvat Kaliforniassa*

*Jorma Virtanen served as NSC's first professor of nanoscience from 2002 to 2009. He is currently retired, but his research and inventions continue in California.*

## Jyväskylässä oli nanotraditio

**Jorma Virtasen mukaan koko maailmassa ei ole monta Jyväskylän kaltaista todellista nanotiedekeskusta – virtuaalikeskuksia on paljon.**

*”Kun Nanotiedekeskus perustettiin Jyväskylään, se oli ensimmäinen Suomessa. Maailmassakaan ei oikeasti ole monta todellista nanotiedekeskusta – virtuaalisia on paljon.”*

*”Jyväskylässä oli nanotraditiota, sillä siellä oli tehty jo aiemminkin merkittävää alan tutkimusta. Ei siis ollut mitenkään turhanpäiväistä, että nanokeskus perustettiin juuri Jyväskylään.”*

## Jyväskylä's nano-tradition

**According to Jorma Virtanen, there aren't many real nanoscience centers in the world like the one in Jyväskylä – virtual centers are common.**

*“When Nanoscience Center was founded in Jyväskylä, it was the first in Finland. There aren't really that many true nanoscience centers anywhere in the world – virtual centers are common.”*

*“Jyväskylä had a nano-tradition, as there had already been significant research in the field. So it was no accident that the nano-center was founded in Jyväskylä.”*

## Rahakerjuuta vauva vaunuissa

Päivi Törmä saapui Jyväskylään syksyllä 2001 tultuaan valituksi nanoelektroniikan lahjoitusprofessorin virkaan. Päätökseen muuttaa Otaniemestä Jyväskylään vaikutti tieto siitä, että yliopisto arvostaa nanotieteitä ja haluaa panostaa alaan.

Törmä lähti innolla mukaan Nanotiedekeskuksen suunnitteluun – ja sai hyvin pian tehtäväkseen rahankeruun yrityksiltä. Hän muistelee kerjänneensä rahaa Nanotiedekeskusta varten useaan otteeseen.

Ensimmäisen rahankeruurupeaman hän muistaa hyvin. Törmä sai ensimmäisen lapsensa syyskuussa 2002 ja jäi äitiyslomalle, mutta jatkoi silti soittelua yritysjohtajille.

- Ajattelin, ettei asiaa voi lykätä pidemmälle. Laitoin vauvan vaunuihin ja menin ulos lykkimään rattaita, jotta vauva ei ryhtyisi itkemään kesken kaiken. Sitten soitin yrityksiin, Törmä muistelee.

Sinnikäs sai olla, sillä rahat olivat tiukilla. Törmä soitti monelle paikalliselle yritysjohtajalle useita kertoja.

- Olihan se iso rupeama, varsinkin kun siihen lähti kokeuttomana. Mutta siinäpä sitä oppi. Se oli hyvä kokemus tulevaisuutta varten.

Törmästä tuli valmisteilla olevan Nanotiedekeskuksen ensimmäinen johtoryhmän puheenjohtaja ja samalla koko keskuksen johtaja.

## Fundraising with a baby in the stroller

Päivi Törmä came to Jyväskylä in the fall of 2001 after being selected for a professorship in nano-electronics. She tells that her decision to move from Otaniemi to Jyväskylä was influenced by the knowledge that the university values nanoscience and wants to invest in the field.

Törmä enthusiastically joined the planning of Nanoscience Center and was quickly given the task of gathering funds from companies. She remembers requesting funds for Nanoscience Center on many occasions.

She remembers the first fundraising attempt very well. Törmä had her first child in September of 2002 and took maternity leave. But the calls to business leaders continued.

- I thought that the task couldn't be put off too long. I went out and pushed the baby around in the stroller so that it wouldn't start crying at the wrong moment. Then I called companies, Törmä recalls.

Funds were tight, so persistence was key. Törmä called many local business leaders more than once.

- It was quite an undertaking, especially without any prior experience. But that's how one learns. It was a good experience for the future."

Törmä became the new nanoscience center's first steering committee leader and at the same time, head of the whole center.



*Päivi Törmä toimi Nanotiedekeskuksen johtajana vuosina 2003-2005. Nykyisin hän työskentelee teknillisen fysiikan professorina Aalto-yliopistossa.*

*Päivi Törmä served as the head of Nanoscience Center from 2003 to 2005. Currently, she is working as a professor of applied physics at Aalto University.*

## Suomessa ainutlaatuista

*Päivi Törmän mukaan me-henki oli vahva.*

*"Nanotiedekeskus oli Suomessa ainutlaatuista. Sillä oli selkeä tieteellinen merkitys poikkitieteellisten projektien synnyttäjänä. Ei ainoastaan se, että olimme samassa talossa, vaan myös haimme yhdessä monta kertaa rahaa erilaisista hauista, muun muassa Suomen Akatemialta. Rahoitus ja fyysinen läheisyys poikivat poikkitieteellisiä projekteja. Se, että saimme puhdistilat ja uudet laboratoriotilat, vaati isompaa konseptia, eikä olisi ehkä toteutunut irrallisina palasina."*

*"Siellä oli vahva me-henki. Ja sellainen tunnelma, että ollaan tekemässä jotain uutta ja jännittävää. Samalla koko fysiikan laitos ja muutkin laitokset suhtautuivat todella positiivisesti ja tukivat hanketta. Ei tullut negatiivisia jaotteluja eri alojen ihmisten välillä."*

## Unique in Finland

*According to Päivi Törmä, the group unity was very strong.*

*"Nanoscience Center was unique in Finland. It was scientifically significant in starting cross-disciplinary projects. Not only were we all in the same building, but we often applied for funding together from different foundations, including the Academy of Finland. Funding and the physical proximity gave birth to many interdisciplinary projects. Getting the cleanroom and new laboratory spaces required a bigger concept, which may not have succeeded as separate departments."*

*"There was a fantastic group unity and a feeling that we were doing something new and exciting. Similarly, the whole physics department and other departments were positively supportive of the project. There was no negative divisiveness among people from different fields."*

## Yhteiskunnallista vaikuttamista

Nanotiedekeskus syntyi juuri oikeaan aikaan. Se sai paljon julkisuutta heti rakennusvaiheesta lähtien.

- Oli paljon televisio-, radio- ja lehtihaastatteluja. Siinä oli kyllä paljon tekemistä, mutta sillä tavalla saatiin Suomeen pystyyn ainutlaatuinen nanokeskus, sanoo Törmä.

Törmän vastuulle lankesi rahanhankinnan lisäksi yhteiskunnallinen vaikuttaminen ja uusien tutkimushankkeiden käynnistäminen.

- Oli sellainen olo, että nyt on tauottava, kun rauta on kuumaa.

Nanotiedehankkeessa mukana olleet tutkijat ryhtyivät aktiivisiin toimiin, jotta uuden alan kasvuedellytykset paranisivat Suomessa - ja onnistuivat pyrkimyksissään. Jyväskylän Nanotiedekeskus vaikutti alusta asti merkittävästi alan kehitykseen.

Vuonna 2002 alkoi räätälöity nanotieteiden koulutus Jyväskylässä, ensimmäisenä Suomessa. Siitä alkoi nopea alan koulutuksen kehittäminen. Vuonna 2005 WSOY julkaisi Jyrki Heinon ja Matti Vuennon kirjoittaman ensimmäisen alan suomenkielisen oppikirjan, Paljon tilaa pohjalla: Johdatus nanoteknologiaan ja nanotieteeseen.

Jyväskylän yliopisto teki lukuisia nanotieteisiin liittyviä aloitteita, hakemuksia ja selvityksiä, sekä vaikutti poliitikkojen mielipiteisiin. Muun muassa vuosina 2003–2007 kauppa- ja teollisuusministerinä toiminut **Mauri Pekkarinen** vakuuttui jyväskyläläisiä tutkijoita tavatessaan nanoteknologian mahdollisuuksista. Hän tuki ministerikautenaan voimakkaasti alan kehittämistä niin valtakunnan kuin Euroopan Unioninkin tasolla.

## Impact on the society

Nanoscience Center in Jyväskylä was born at just the right time. Nanoscience was not yet known in Finland during the 1990's, but by the start of the new millennium, the word was on everyone's lips. The center received a lot of publicity already during construction.

- There were lots of television, radio and print interviews. It was a lot of work, but it helped get a one of a kind nano-center built in Finland, says Törmä.

In addition to fundraising, Törmä was also responsible for social impact and initiating new research projects.

- There was a sense that now was the time to strike – while the iron was hot.

Researchers involved in the nanoscience project started actively working on growing the field in Finland – and they succeeded in their efforts. Jyväskylä's Nanoscience Center influenced the advancement of the field significantly right from the start.

In 2002, the nanoscience study program was started – the first in Finland. That started a ramping up of nanoscience education. In 2005 WSOY published the first Finnish textbook on the topic, written by Jyrki Heino and Matti Vuento, Plenty of room at the bottom: Introduction to nanotechnology and nanoscience.

The University of Jyväskylä made many nano-science related initiatives, applications and reports and influenced political opinions. **Mauri Pekkarinen**, minister of trade and industry from 2003 to 2007 was convinced of the field's potential during a visit with researchers in Jyväskylä. He strongly supported the field's development during his tenure at the national and European Union levels.

Vuonna 2003 Nanotiedekeskuksen aloitteesta Jyväskylän yliopisto, TKK ja VTT allekirjoittivat nanotieteitä ja -teknologiaa koskevan yhteistyösopimuksen, jossa sitoutuivat yhdessä kehittämään alan poikkitieteellistä tutkimusta ja tutkijakoulutusta sekä edistämään yritystoimintaa. Konsortio julkaisi keväällä 2004 työryhmämuistion ”Nanotieteiden ja -teknologioiden kehittäminen Suomessa”. Aktiivisuus kannatti, sillä seuraavana keväänä opetusministeriö asetti työryhmän, jonka tehtäväksi annettiin nanotieteen ja -teknologian tutkimuksen ja opetuksen edistäminen. Siitä aukeni alan rahoitus.

A 2003 Nanoscience Center initiative resulted in the University of Jyväskylä, TKK and VTT signing a nanoscience and technology collaboration contract, in which they committed to the development of interdisciplinary research in the field as well as graduate programs and promotion of business activity. The consortium published a memorandum, “Nanoscience and technology development in Finland” in 2004. The efforts were worth it, as the Ministry of Education formed a workgroup the following spring, whose task was to promote research and education in nanoscience and technology. Funding for the field then opened up.

### Ensimmäinen nanoprofessori toi julkisuutta

*Jorma Virtasen hiilinanoputkiin perustuvasta nanoepoksista tuli kansainvälinen menestys.*

Vuonna 2002 Jyväskylässä nanotieteiden professorina aloittanut Jorma Virtanen toimi yhtenä ”nanon sanansaattajista” Suomessa.

- Oli haastatteluja ja minua pyydettiin puhumaan monissa paikoissa. Pidän koko joukon kansantajuisia esitelmiä ihmisille, Virtanen muistelee.

Virtanen oli tehnyt nanoalan tutkimusta jo kauan ennen kuin nanosta edes alettiin puhua, 80-luvun alusta lähtien, muun muassa Arizonan ja Kalifornian yliopistoissa. Tutkimusaiheina olivat etenkin biologiset kalvot.

Suurin julkisuus iski vuonna 2004, kun Virtasen keksintö, hiilinanoputkilla vahvistettu muovikomposiitti, nanoepoksi hyptoniitti, sai tulta alleen. Se tuli käyttöön Montrealin valmistamissa jääkiekkomailoissa ja valittiin vuonna 2006 Tokiossa vuoden nanotuotteeksi, 600 kilpailijan joukosta.

Keksintö sai paljon huomiota sekä Suomessa että ulkomailla. Se toi julkisuutta Jyväskylän yliopistolle.



### First nano-professor brings publicity

*Jorma Virtanen's carbon nanotube based nano-epoxy was an international success.*

In 2002, professor of nanoscience, Jorma Virtanen acted as a “messenger of nano” in Finland.

- There were interviews and I was asked to speak at many places. I made a lot of presentations accessible to a general audience, Virtanen recalls.

Virtanen had done nano-related research in Arizona and California universities since the beginning of the 1980's, long before nano had become a hot topic. Among his research topics were biological membranes.

The biggest publicity came in 2004, when Virtanen's invention, carbon nanotube strengthened nano-epoxy, Hybtonite got some wind beneath its wings. The material was used in Montreal's ice hockey sticks and in 2006 in Tokyo, was voted nano-product of the year from among 600 competitors.

The invention received a lot of attention both in Finland and abroad. It brought publicity to the University of Jyväskylä.

The nano hockey stick is still one of the most famous examples of what nanotechnology can produce.

Nanomaila on edelleen yksi kuuluisimmista esimerkeistä siitä, mitä nanosta voidaan tehdä.

- On käynyt niinkin, että olen täällä Yhdysvalloissa tullut jonnekin nanokeskukseen, ja ovat esitelleet minulle jääkiekkomailaa, Virtanen hymähtää.

Virtanen asuu nyt Yhdysvalloissa, jonne muutti takaisin jäätyään eläkkeelle vuoden 2009 lopussa. Hän asui Yhdysvalloissa aikoinaan toistakymmentä vuotta ennen Jyväskylään tuloaan.

## Idea syntyi Jyväsjärven rannalla

Virtanen kertoo, että idea hyptoniitista syntyi Jyväsjärven rannalla.

- Kävelin aina kolmen kilometrin matkan kaunista järvenrantaa yliopistolle. Siinä samalla mietiskelin hiilinanoputkien rakennetta.

Hiilinanoputket olivat tuolloin hyvin suosittu tutkimusaihe – tuhannet tutkivat niitä ympäri maailmaa. Materiaalia oli jo kaupallisesti saatavilla.

Virtanen pohti, miten hiilinanoputkia voitaisiin hyödyntää muovin vahvikkeena. Se oli houkutteleva ajatus, sillä hiilinanoputket ovat hyvin vahva materiaali, vetolujuudeltaan jopa 80 kertaa terästä vahvempi.

Ongelmana oli, että mikäli hiilinanoputket vain sonikoidaan ja sekoitetaan monomeeriin, ne eivät sitoudu muoviin, vaan liukuivat sen sisällä. Tällöin ne eivät vahvista muovia halutulla tavalla.

Virtanen pohti asiaa kemian kannalta. Hiilinanoputkien sanotaan olevan hiiltä, mutta se ei ole 100-prosenttisesti totta. Yleensä putken toinen pää on auki – se tarkoittaa, ettei hiili voi olla terminaalin atomi. Putken päässä täytyy olla happea.

- Pohdin, että entäs jos estämme hapen pääsyn hiilinanoputken päähän. Silloin voimme laittaa sinne melkein mitä vain, sillä se on hyvin reaktiivinen. Ajatus oli hyvin yksinkertainen, mutta siitä se lähti kehittymään.

Virtasen idean avulla hiilinanoputket saatiin päistä sidottua kemiallisesti epoksiin. Ne toimivat epoksin joukossa vahvikkeina samaan tapaan kuin harjaterästä käytetään rakennustyömailla betonin vahvistukseen.

Materiaalin nimeksi tuli hyptoniitti. Nimi sai vaikutteita Teräsmies-sarjakuvista tutusta mineraalista, kryptonitiitistä.

- I have sometimes gone to visit some nano-center here in the United States and they have presented me a hockey stick, Virtanen says smiling.

Virtanen now lives in the United States, where he moved upon retiring at the end of 2009. He had lived in the States for over 10 years before coming to Jyväskylä.

## Born on the shores of Lake Jyväsjärvi

Virtanen recounts how the idea for Hybtonite came to him on the shores of Lake Jyväsjärvi.

- I used to walk three kilometers along the shore of the lake to the university and think about the structure of carbon nanotubes.

Carbon nanotubes were a popular research topic at the time. Thousands of researchers around the world studied them. The material was already commercially available.

Virtanen thought about how to utilize carbon nanotubes in strengthening plastic. It was an intriguing idea, as carbon nanotubes are a very strong material, with a tensile strength some 80 times that of steel.

The problem was that if the carbon nanotubes were simply sonicated and mixed into the monomer, they didn't bond with the plastic but floated inside it, not adding strength to the plastic.

Virtanen thought about it from a chemistry angle. Carbon nanotubes are said to be carbon, but it's not 100 percent true. The end of the nanotube is open, which means carbon cannot be the terminating atom. There must be oxygen at the end of the tube.

- I thought if the oxygen could be prevented from getting to the end of the nanotube, then almost anything could be put there, as it is highly reactive. It was a simple idea, but it all developed from there.

Virtanen's idea allowed the carbon nanotubes to bond with the epoxy. They worked to strengthen the epoxy the way rebar strengthens concrete.

The material was named Hybtonite, taking inspiration from the material made famous by the Superman comics – kryptonite.

## Julkisuutta alalle

Virtanen ei alun perin aikonut perustaa yritystä Jyväskylään tullessaan. Tosin hänellä oli jo aiempaa kokemusta yrittäjyydestä.

- Vanhin poikani pääsi Berkeleyn yliopistoon opiskelemaan ja jostain täytyi saada rahaa. Perustin firman Kaliforniaan. Olin yrityksessä seitsemän vuotta ja maksoin opiskelurahat.

Hyptoniitti-keksinnön myötä yrityksen perustaminen tuli ajankohtaiseksi. Virtasen taka-ajatuksena oli saada nanoalalle julkisuutta, jotta se vetäisi opiskelijoita. Jääkiekkomailoja valmistava Montreal antoi rahaa kehitystyöhön.

Virtanen perusti vuonna 2004 Nanolab Systems -nimisen firman ja vuotta myöhemmin kahden opiskelijansa, **Pasi Keinänen** ja **Mikko Tillin**, kanssa Amroy European, joka ryhtyi valmistamaan hyptoniittia.

Materiaali tuli nopeasti käyttöön jääkiekkomailoissa sekä Peltosen suksissa ja rullasuksissa. Käyttö levisi myös muihin urheiluvälineisiin, kuten Karhun pesäpallomailoihin, Eastonin nuoliin ja lainelautoihin. Lisäksi sitä hyödynnetään tuulivoimaloiden roottoreissa ja siivissä sekä laivojen pinnoitteissa. Laivojen pinnoitteissa se esimerkiksi kestää kulutusta monta kertaa perinteisiä pinnoitteita kauemmin ja vähentää polttoaineen kulutusta jopa 10 prosenttia.

- Tarkoitus oli tehdä siitä menestystarina, jota se tiettyssä mielessä onkin ollut. Toisaalta ehkä se oli liiankin suuri keksintö, eikä sitä pystytty hallitsemaan, Virtanen sanoo. Yrityksen idea vietiin Norjaan pikkurahalla. Virtanen itse ei ole enää mukana, vaan hänellä ovat jo uudet keksinnöt mielessä.

Virtanen on jättänyt viimeisten 10 vuoden aikana noin 100 patenttihakemusta. Jyväskylään syntyi vielä hänen jäätyään eläkkeelle nEMCel-niminen yritys, joka on Virtasen keksinnön pohjalta kehittänyt maailman parhaiten sähköä johtavan maalin.

- Tälläkin hetkellä olen hukkumassa ajatuksiin, sillä minulla oli tietokone rikki. Mielessä on noin 10 patenttia, jotka pitäisi kirjoittaa. Edelleen tulee jatkuvasti uusia ideoita, samaan tahtiin kuin ennenkin.

## Publicity for the field

Virtanen didn't originally have plans to start a company when he came to Jyväskylä. He did however, have earlier experience with entrepreneurship.

- My oldest son got into the University of California, Berkeley and the money for tuition had to come from somewhere. I started a company in California and was in it for seven years, and paid the tuition fees.

Hyptonite's invention made the founding of the company timely. Virtanen had another agenda to get the field of nanoscience some publicity to draw more students. The hockey stick company, Montreal gave money for development.

Virtanen founded Nanolab Systems in 2004 and a year later founded Amroy Europe with two of his students, **Pasi Keinänen** and **Mikko Tilli**, to produce Hybtonite.

The material quickly found use in the ice hockey sticks as well as skis by Peltonen. The use spread to other sporting equipment like Karhu baseball bats, Easton's arrows and surfboards. Additionally, it was used in windmill blades and as coatings on ships' hulls. On ships' hulls it withstands wear much longer than traditional coatings and reduces fuel consumption by up to 10 percent.

- The idea was to make it a success story, which in some ways it has been. On the other hand, it may have been too big of an invention and we couldn't handle it, Virtanen says.

The idea went to Norway for a small sum of money. Virtanen is no longer with the company. He already has new inventions in mind.

Virtanen has filed about 100 patents in the last 10 years. After his retiring, another company, nEMCel, was formed in Jyväskylä. Based on an invention of his, nEMCel has developed the world's best electrically conducting paint.

- Even now, I'm overwhelmed in thought, as my computer is broken. I have some 10 patents in mind which need to be filed. New ideas keep coming, just as they did before.



# 3

## TUTKIJAT SAMAN KATON ALLE EVERYONE UNDER THE SAME ROOF

### Onnistuneet avajaiset

Lokakuun 19. päivänä vuonna 2004 vietettiin nanotalon virallisia avajaisia noin sadan hengen voimin. Paikalla oli paikallisten tutkijoiden lisäksi projektia tukeneita tahoja, ”silmäätekeviä”, sekä tutkijakollegoita ympäri Suomea, muun muassa Otaniemestä ja Tampereelta.

- Se oli loistavaa, meillä oli hienot juhlat, muistelee Päivi Törmä.

Päiväohjelma oli tieteellinen ja puhujiksi oli kutsuttu kansainvälisesti ansioituneita tiedemiehiä eri puolilta maailmaa, muun muassa hiilinanoputkien keksijä Sumio Iijima.

- Katsoimme, että saamme enemmän avajaisille näkyvyyttä tiedepiirissä, kun kutsumme kovia kansainvälisiä puhujia, kertoo Matti Manninen.

Avajaisillan ohjelma oli vapaamuotoinen. Markku Kulomaa muistelee, että tunnelma oli rentoutunut ja hilpeä.

- Ihmiset olivat tyytyväisiä, kun rakennus oli valmis ja seminaari onnistunut. Kaikki suhtautuivat myönteisesti tulevaisuuteen. Ihmiset kulkivat lasi kädessä; siellä halattiin ja oltiin hyviä kavereita.

Vieraat pääsivät illan mittaan myös saunomaan nanotalon yläkerroksen saunaan. Ihan kommelluksilta ei vältytty.

### Successful opening ceremony

October 19th, 2004 was the official opening ceremony of the Nanoscience Center. Among the 100 guests were researchers, supporters of the project, dignitaries, and research colleagues from around Finland, including Otaniemi and Tampere.

-It was fantastic. We had a great celebration, recalls Päivi Törmä.

The daytime program was scientific with internationally renowned invited speakers from around the world, including “inventor” of the carbon nanotube Sumio Iijima.

- We felt we would get more visibility for the opening ceremony if we invited some heavy hitting international speakers, tells Matti Manninen.

The evening program was informal. Markku Kulomaa remembers that the mood was relaxed and cheerful.

- People were satisfied that the building was complete and the seminar was good. Everyone was positive about the future. They walked around, glass in hand, and we were all good friends.



*Nanotiedekeskuksen avajaisiin saatiin huippupuhujia. Keskustelu jatkui vilkkaana virallisen osuuden jälkeen. Kuvassa professorit Fraser Stoddart (vas.), Olli Ikkala, Kari Rissanen ja Sumio Iijima.*

*In the opening ceremony there were internationally renowned invited speakers from around the world. Vivid discussions continued after the official part. In the photo Fraser Stoddart (left), Olli Ikkala, Kari Rissanen and Sumio Iijima.*



*Laboratoriokierroksella ex-kaupunginjohtaja Pekka Kettunen pääsi tutkimaan mikroskooppinäytettä.*

*Former mayor of Jyväskylä, Pekka Kettunen, looked into a microscope during a laboratory tour.*



*Päivi Törmä esitteli Nanotiedekeskuksen puhdistiloja arvovaltaisille kutsuvieraille.*

*Päivi Törmä introduced the cleanroom to distinguished guests.*



Saunan jälkeen yksi TKK:n professoreista otti vahingossa kollegansa puvun. Kun toinen TKK:n professori tuli saunasta, hän ei löytänyt omia vaatteitaan. Pienen etsinnän jälkeen tilanne selvisi. Puvut sattuivat olemaan samanväriset – lisäksi illallisella nautittu viini oli tehnyt tehtävänsä.

Avajaisseminaari oli niin onnistunut, että siitä virisi idea jokavuotisesta Nanoscience days -tapahtumasta. Sillä tavoin juhlittaisiin samalla nanotalon valmistumista.

The guests were also able to enjoy the sauna in the top floor during the evening. The evening wasn't without blunders, however.

After the sauna, one TKK professor accidentally took a colleague's suit. When the other TKK professor came from the sauna, his clothes were nowhere to be found. After a small search, the situation was cleared up. The suits happened to be the same color and the wine enjoyed during dinner had done its work. The opening ceremony was such a success, it spawned the idea of a yearly Nanoscience Days event.

Jyväskylän yliopistolla  
on kunnia kutsua Teidät  
matemaattis-luonnontieteellisen  
tiedekunnan  
Nanoscience Centerin (NSC)  
vihkiäistilaisuuteen  
tiistaina 19.10.2004 alkaen klo 13.00  
Ylistörrinne, Survontie 9, sali FYSI

Rehtori Aino Sallinen

Ilmoittautuminen vihkiäistilaisuuteen  
8.10.2004 mennessä  
eila.parkkari@adm.jyu.fi  
fax (014) 260 1041, puh. (014) 260 1044

## OHJELMA

### Tervehdyssanat

Rehtori Aino Sallinen

### Valtiovallan tervehdys

Ministeri Mauri Pekkarinen

Jyväskylän kaupungin tervehdys  
Kaupunginjohtaja Markku Andersson

### Maakunnan tervehdys

Suunnittelujohtaja Hannu Korhonen  
Keski-Suomen liitto

### Suunnittelijan tervehdys

Professori Arto Sipinen

### Musiikkiesitys

Mieskuoro *Sirkat*

### Juhlapuhe

*Nanotieteen monet kasvat*  
VTT:n pääjohtaja Erkki Leppävuori

Nanomaailman mahdollisuus tieteessä  
ja tekniikassa

Vuoden professori, 2003  
Akatemiaprofessori Risto Nieminen

### Musiikkiesitys

*Ahkerat pojat -trio*

### Ravintola Ylistö klo 14.30

Kuohuviini- ja kahvitarjoilu

Tutustuminen Nanoscience Centeriin  
Erikoistiloihin tutustuminen pienryhmissä

## TIETEELLISET AVAJAISET

keskiviikkona 20.10.2004 klo 10.00  
FYSI, Ylistörrinne, Survontie 9

10.00

Rehtori Aino Sallinen avaa tilaisuuden

10.05–10.45

*Nano-Mexico in Action*  
professori **Fraser Stoddart**  
(Los Angeles, Kalifornia)

10.50–11.35

*Writing with Molecules on Molecular Printboards*  
professori **David Reinholdt**  
(Twente, Alankomaat)

11.35–13.00

Lounastauko

13.00–13.45

*Biological Nanotricks*  
professori **Viola Vogel**  
(Zürich, Sveitsi)

13.45–14.00

*Sensing with Metal Nanowires*  
professori **Reginald Penner**  
(Irvine, Kalifornia)

14.00–14.45

*Science and Technology of Carbon Nanotubes*  
professori **Sumio Iijima**  
(Nagoya, Japani)

## Nanoscience days

Hyvin pian nanotalon avajaisten jälkeen Matti Manninen ja lakennallisen nanotieteen professori Hannu Häkkinen päättivät lähteä toteuttamaan ideaa samalla mallilla järjestettävästä vuosittaisesta tapahtumasta, joka juhlistaisi Nanotiedekeskuksen syntymäpäiviä. Tilaisuus sai nimen Nanoscience Days, nanotiedepäivät.

Ajatuksena oli, että päiville kutsutaan puhujiksi kaikkien kolmen eri alan huippunimiä - samalla tapahtuma avartaisi tutkijoiden ymmärrystä eri aloista.

Häkkinen sai valmisteltavakseen ensimmäiset, lokakuussa 2005 pidettävät päivät.

- Olin innoissani, sillä olin hiljattain, vuoden 2004 kesäkuussa, järjestänyt oman alan kansainvälisen ESSN-symposiumin, jonne sain todella hyviä puhujia paikalle.

Moni kollega epäili aluksi, että kansainvälisiä huippuja on vaikea saada Jyväskylään. Toisin kävi. Paikalle on vuosien varrella tullut hyvä joukko kansainvälisesti arvostettuja tiedemiehiä. Kun kaikki kolmen eri alan tutkijat kutsuivat omia kovatasoisia kollegoitaan, tarjonnasta tuli kattava. Osallistujamäärä kasvoi melko nopeasti noin 250 tutkijaan. Kaksipäiväisen tapahtuman sisältö on aina sama: neljä-viisi puhujaa päivässä, posterisessio, sekä ensimmäisen päivän iltana vapaamuotoinen illanvietto.

- Olemme saaneet tästä standardiformaatista paljon positiivista palautetta ulkomaalaisilta vierailta. Jokaisella on tunti aikaa puhua ja aikaa riittää myös kysymyksille.

Häkkinen mukaan nanotiedepäivillä on ollut myös nanotalon tutkijoita yhdistävä vaikutus. Vuosittainen voimannousu vaatii paljon järjestelyjä.

Nanotiedepäivillä on vuoteen 2014 mennessä ollut noin 90 puhujaa 14 eri maasta. Joukossa ovat olleet mm. hiiliinoputkien keksijä Sumio Iijima, nanofotoniikan käänteentekevien kuvantamismenetelmien keksijä Stefan Hell ja grafeeniin perustuvan elektroniikan uranuurtaja Walt de Heer.

## Nanoscience Days

Very soon after the opening ceremonies, Matti Manninen and computational nanoscience professor Hannu Häkkinen decided to start organizing a yearly event modelled after the one honoring the building's completion. The event was named Nanoscience Days.

The idea was to invite top names from all three disciplines, thus expanding the researchers' understanding of the different fields.

Häkkinen was to organize the first event, to be held in October of 2005.

- I was excited, having just organized my own field's international ESSN symposium in June of 2004, for which I was able to get good speakers to attend.

Many colleagues were doubtful of attracting international big names to Jyväskylä, but over the years, an internationally esteemed group of scientists have been in attendance. With all three disciplines inviting their own top names, the selection has been extensive. Attendance quickly rose to some 250 researchers. The program for the two-day event is always the same: four to five speakers per day, a poster session and an informal dinner on the first evening.

- We have received a lot of positive feedback on this standard format from the international guests. Everyone has one hour to speak and there is enough time for questions.

According to Häkkinen, Nanoscience Days has had a unifying effect on the nano-staff as well. The yearly effort requires a lot of organizing.

By the year 2014, there have been about 90 speakers from 14 different countries in the Nanoscience days. They include Sumio Iijima, who discovered carbon nanotubes, Stefan Hell, who invented ground-breaking imaging techniques for nanophotonics, and a pioneer of graphene electronics, Walt de Heer.

## Muutto uuteen taloon

Tutkimusryhmät muuttivat uuteen taloon vaiheittain loka-marraskuussa 2004. Henrik Kunttu muistelee, että muutossa oli mutkia matkassa. Osa tutkijoista oli projektin alkuvaiheessa innostunut nanotalosta, mutta ei talon valmistuttua halunnutkaan muuttaa.

- Meidän ei edes pitänyt alun perin muuttaa tänne. Toisaalta se ei ollut mikään ongelma. Fysikaalinen kemia sai täällä isot laboratoriot ja isot optiset pöydät. Näin hienoja spektroskopian laboratorioita ei ole missään, edes ulkomailla, sanoo Kunttu.

Fysikaalisen kemian muutto aiheutti päänvaivaa rakennuttajille, ja nosti kustannuksia. Isoissa laboratoriotiloissa ei ollut lainkaan vesijäähdytysjärjestelmiä, joita tarvittiin lasereita varten.

- Tilasimme putkiurakoitsijan. Isoon, hallimaiseen tilaan rakennettiin valtava määrä putkistoa.

Alkuvaiheen muuttourakan muistaa hyvin myös orgaanisen kemian professori Maija Nissinen, jonka ryhmä muutti nanotaloon hieman muita myöhemmin, joulukuussa 2004. Tyhjiyttään ammottavan laboratorion varustamisessa käyttökuntoon oli valtava työ. Orgaanisen kemian laboratoriossa tutkijat tarvitsevat satoja eri välineitä, kemikaaleja ja astioita.

- Meillä ei ollut alkuun edes käsipyyhetteitä, nekin piti pyytää asentamaan oikeaan paikkaan.

Tutkijat kirjoittivat pitkiä listoja miettiessään, mitä pitäisi hankkia seuraavaksi ja kuka maksaa. Laboratorion varustamisessa oli myös logistisia haasteita, sillä osa tavaroista ja laitteista oli kemian laitoksella. Piti miettiä, mitä voidaan siirtää nanotaloon ja mitä jätetään.

- Toisaalta olimme todella tyytyväisiä, sillä saimme hyvät uudet tilat omaan käyttöömme.

## Moving to the nanobuilding

Research groups moved into the new building in stages during October and November of 2004. Henrik Kunttu remembers a few bumps in the road. Some of the researchers were enthusiastic about the building at the start of the project, but then didn't want to move in once it was complete.

- We weren't originally supposed to move in here. It wasn't really a problem though, as physical chemistry got big labs and large optical benches. There isn't a spectroscopy lab like this anywhere, not even abroad, states Kunttu.

Physical chemistry's move brought headaches to the construction team and increased costs. The big labs didn't have water cooling systems, which were necessary for the lasers.

- We hired a plumbing company and a huge plumbing system was built in a large space.

Organic chemistry professor, Maija Nissinen remembers the early stages of the move well. Her group moved into the building somewhat later than others, in December 2004. Equipping the empty lab space for proper use was a huge task. Organic chemistry researchers need hundreds of tools, chemicals and dishes.

- In the beginning, we didn't even had racks for the hand towels. They also needed to be installed in the proper places.

Researchers made long lists of what to get next and who would pay. Equipping the lab was also a logistical challenge. Some of the equipment and supplies were at the chemistry department. Decisions had to be made as to what would be moved and what would be left behind.

Uudessa talossa oli toki joitain pieniä alkuongelmia – esimerkiksi vettä tippui alkuvaiheessa välillä laboratorion katosta. Lisäksi Nissiselle selvisi vasta hiljattain, ettei hänen nykyisessä työhuoneessaan ole koko aikana toiminut lämmitys, sillä patteriputket oli kytketty väärin.

- Kukaan edellisistä huoneesta työskennelleistä tutkijoista ei ollut huomannut asiaa. Minäkin olin vain laittanut neuleita päälle ja ihmetellyt, miksi silti on niin kylmä.

- On the other hand, we were very satisfied to get a good new space for our own use.

There were, of course, some growing pains. In the beginning for example, water would sometimes drop from the lab ceiling. Additionally, it was just recently discovered that Nissinen's office heater was not working due to the battery pipes being installed incorrectly.

- None of the previous occupants of the office had noticed the issue. Even I had just put on sweaters and wondered why it's still so cold.

*Nanotiedekeskuksen suunnittelussa alusta alkaen mukana ollut Maija Nissinen muistaa hyvin, miten iso työ oli tyhjän laboratorion varustamisessa käyttökuntoon. Kuvassa hän on röntgendiffraktiometrin ääressä tammikuussa 2006.*

*Maija Nissinen was involved in the planning of the Nanoscience Center from the very beginning. She still remembers how laborious it was to prepare empty laboratory rooms for use. In the picture she is working with an x-ray diffractometer in January 2006.*



## Paljon laitteita tarvitaan

Nanotieteiden tutkimus vaatii paljon erikoislaitteita, sillä kyse on hyvin pienistä, vain muutaman sadan nanometrin kokoisista rakenteista - vertailun vuoksi: yhden hiuksen paksuus on 50 000 nanometriä. Puhdastilat, joissa ilmasta tulevien epäpuhtauksien määrä on minimoitu, ovat tärkeitä työskentelyn kannalta, sillä väärään paikkaan osunut pölyhiukkanen voi tuhota näytteen. Lisäksi tutkijat tarvitsevat tarkkoja erikoismikroskooppia, jotta nanokomponenttien tutkiminen ja valmistus onnistuu.

Ensimmäinen Nanotiedekeskuksen yhteinen tutkimuslaitteiden hankinta oli yli 200 000 euroa maksanut atomivoimamikroskoopi (AFM), jonka tutkijat saivat käyttöönsä marraskuussa 2003.

Kun uusi talo valmistui vuonna 2004, sinne rakennettiin nanotieteisiin soveltuva tutkimusympäristö. Rakennukseen tehtiin muun muassa häiriösuojatut mittaushuoneet, optiset pöydät sekä solu- ja virusviljelylaboratorio. Lisäksi hankittiin tarvittavat mikroskoopit, paksuusmittarit ja matalien lämpötilojen jäähdyttimet. Alkuvaiheen hankinnat nousivat 5,4 miljoonaan euroon - sillä saatiin tarvittava peruslaitteisto.

Kaikki Nanotiedekeskuksen tutkimusalat olivat alusta asti mukana, kun laitehankintoja suunniteltiin. Tutkijat miettivät yhdessä, mitä laitteita seuraavaksi tarvitaan ja ketkä niitä käyttävät. Rahoitus haettiin yhdessä. Siten laitekanta on koko ajan laajentunut.



## Equipment needed

Nanoscience research requires a lot of specialized equipment to address the very small structures – only a few hundred nanometers in size. For comparison, a human hair is approximately 50,000 nanometers. The cleanroom, where airborne contaminants are minimized, is critical for work. A small speck of dust in the wrong place could destroy a sample. In addition, the researchers need high-precision specialized microscopes in order to study and fabricate the nano-components.

The first of Nanoscience Center's joint research equipment purchases was the atomic force microscope (AFM), costing over 200,000 euros, which was put to use in November, 2003.

When the new building was completed in 2004, a research environment suited to nanoscience was built. Among the facilities built, were shielded measurement rooms, optical benches, cell and virus culture laboratories and the necessary microscopes, thickness profilers and cryogenic equipment was purchased. The starting equipment costs rose to 5.4 million euros. With that, the necessary basic equipment was secured.

*Tutkija Eero Hulkko optisen pöydän ääressä.*

*Researcher Eero Hulkko by the optical table.*



*Fysikko Jussi Toppari tutkimassa DNA:n sähkönjohtavuutta nanotalon tiloissa (2006).*

*Physicist Jussi Toppari exploring DNA conductivity in the Nanoscience Center (2006).*



## Keskustelua kieliongelmistä huolimatta

Eri alojen välisten tutkijoiden yhteistyö alkoi orastaa pian uuteen taloon muuttamisen jälkeen.

- Osittain yhteistyötä syntyi jo pelkästään siitä, että ihmiset pistettiin sekaisin samaan rakennukseen. Syntyi projekteja, jotka eivät olleet aiemmin tulleet kenellekään mieleen. Läheinen kontakti tutkijan kanssa, joka on riittävän läheisellä tutkimusalalla, voi johtaa uudenlaiseen ideaan, Matti Manninen toteaa.

Tutkijat keskustelivat kahvipöydässä ja käytävillä sekä kuulivat eri alojen tutkimuksista perjantaisin järjestetyissä seminaareissa. Lisäksi porukkaa yhdistivät yhteiset kokoukset ja pikkujoulut sekä Nanoscience days -päivien eteen tehty työ.

Henrik Kunttu kertoo, että ei olisi koskaan ryhtynyt tutkimaan pintaplasmonien fysiikkaa, ellei viereisessä työhuoneessa ollut Päivi Törmä olisi tullut juttelemaan ja kyselemään aiheeseen liittyvästä kemiasta.

- Siitä alkoi mukava keskustelu, ja julkaisimme useita hyviä töitä.

Kuntun mukaan välillä oli vaikea ymmärtää toisen alan tutkijan puheita, mutta keskustelua jatkettiin kieliongelmistä huolimatta. Yhteistyöstä syntyi väitöskirjoja ja molemmat osapuolet oppivat uutta: Kunttu näki, miten näytteet valmistetaan nanofysiikan menetelmin ja toi itse tutkimukseen molekyylien ja spektroskopian osaamista.

- Aluksi emme edes tieneet, mikä on helppoa ja mikä vaikeaa. Läheskään kaikki ei onnistunut. Myöhemmin löysimme toistettavia koejärjestelyjä ja saimme nanorakenteiden pinnassa olevat elektronit vuorovaikuttamaan molekyylien kanssa uudella tavalla.

## Conversations beyond language barriers

Collaboration between researchers of different fields began to take root soon after moving to the new building.

- Some of the collaborations began simply due to different people being mixed together in the same space. There were projects which had never before occurred to people. Close contact with a researcher of a close enough research field can result in new ideas, confirms Matti Manninen.

The researchers talked around the coffee table and in the hallways and heard about other fields of research on Fridays at the nano-seminars. Additionally, the work that went into organizing the Nanoscience Days, the joint Christmas party and the various meetings brought people together.

Henrik Kunttu notes that he would never have started research on surface plasmon physics if it weren't for his office neighbor, Päivi Törmä coming to ask about the chemistry involved in the phenomenon.

-It started a wonderful conversation and we published many good results.

According to Kunttu, sometimes it was difficult to understand each other, but we didn't mind and the conversation was continued despite the language barriers. Their collaborations spawned doctoral theses and both participants learned something new. Kunttu saw how samples are made using nano-physics methods and brought his own molecular and spectroscopic expertise to the table.

-In the beginning, we didn't even know what was difficult and what was easy. Not all the work succeeded. Later, we found reliable test systems and got the electrons at the surface of the nano-structures to interact with the molecules in a new way.



*Henrik Kunttu toimi NanoScience-hankkeen johtajana vuosina 2001-2002. Nykyisin hän toimii matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan dekaanina.*

*Henrik Kunttu served as the nanoscience project leader from 2001 to 2002. Currently, he is working as the dean of mathematics and natural sciences faculty.*

## Poikkitieteellisyys on haastavaa

*Henrik Kunttu rohkaisee tutkijoita irtautumaan vanhoilta urilta ja tekemään yhteistyötä alojen välillä, vaikka se veisi aikaa.*

*”Aluksi vähän tuntui, että tuleeko tästä mitään. Näytti siltä, että ihmiset siiloutuvat ja alkavat tehdä samaa vanhaa. Nyt olen nähnyt ja kuullut, että on alkanut syntyä monenlaista yhteistyötä. Siihen meni muutamia vuosia, mutta nyt näyttää tosi hyvältä. Vaikka tämä on pieni yksikkö, se on suomalaisessa yliopistomaailmassa tunnustettu tosi hyväksi.”*

*”Poikkitieteellisyys on hieno asia, mutta se on vaikeaa, todella vaikeaa. Se ei ole ongelma ihmisille, jotka tahtovat ratkaista isoja ongelmia, mutta niille, jotka tahtovat vain tahkota julkaisuja, se on haaste. Yritän rohkaista ihmisiä siihen, että täällä itse tehty korkeatasoinen tutkimus, vaikka siihen menisi enemmän aikaa, on arvokkaampi asia, kuin että ollaan jonkun siivellä. Uskon, että sellainen ajattelutapa on levinnyt.”*

## Crossing disciplines is challenging

*Henrik Kunttu encourages researchers to break from their old paths and collaborate across disciplines, even if it takes time.*

*“At first, it seemed as though nothing would come of it. It looked like people were withdrawing to their same, old work. Now I’ve seen and heard of many collaborations springing up. It took a few years, but now it looks really good. Though this is a small department, it is acknowledged highly among Finnish universities.”*

*“Interdisciplinary research is a great thing, but it’s tough – really tough. It isn’t a problem for those who want to solve big problems, but for those who just want to produce publications, it’s a challenge. I try to ensure people that independent, high quality work done here, though it may take more time, is more valuable than riding on someone’s coat tails. I think that mentality has started to spread.”*

## Rento ilmapiiri

Nanotaloon syntyi alusta alkaen rento ja vapaa ilmapiiri. Muuttaneissa oli paljon nuoria ja uudenlaisesta yhteistyöstä kiinnostuneita tutkijoita.

- Tänne tuli paljon sellaisia ihmisiä, joilla ei ollut ennakoasenteita. Lisäksi samoihin aikoihin rekrytoitiin useita uusia tutkijoita, Maija Nissinen muistelee.

Yhteisessä kahvihuoneessa tutkijat tutustuivat toisiinsa helposti, tosin fyysikoilla ja kemisteillä oli hieman eri kahviajat. Nissisen mukaan ensimmäiset vuodet menivät siihen, että tutkijat oppivat hyödyntämään uudessa rakennuksessa tarjolla olevia laitteita ja tiloja - ja yhteistyömahdollisuuksia.

Alkuhmettelyn jälkeen yhteisten tilojen edut alkoivat tulla esiin. Nissisen ryhmä on käyttänyt omien, orgaanisen kemian laitteiden lisäksi muun muassa fyysikaalisen kemian spektrometreja sekä biologian ja fysiikan mikroskooppeja.

- Yhteisestä rakennuksesta on selkeä hyöty, sillä aiemmin on ollut vaikea tietää, mitä laitteita ja mahdollisuuksia yliopiston eri laitoksilta löytyy.

Nissinen on huomannut, että kannattaa kysyä toisen alan tutkijoilta ideoita, miten jotain asiaa voitaisiin heidän menetelmillään tutkia. Ryhmä on hyötynyt muun muassa fyysikaalisten kemistien ja biologien spektroskopian osaaamisesta. Toisaalta tutkimuksellisen kelkan kääntäminen on hidasta, eikä se onnistu yhtäkkiä. Projekteilla on tietty rahoitus ja väitöskirjat pitää saattaa loppuun.

- Vielä nykyisetkin projektit juontavat juurensa pitkälti vanhoista, mutta niihin on tullut paljon lisäarvoa yhteistyökuvioista. Lisäksi on syntynyt poikkitieteellisiä graduprojekteja, joissa kokeillaan hieman kepillä jäätä, Nissinen kertoo.

## A relaxed environment

The Nanoscience Center fostered a relaxed and open environment from the start. Many of the incoming researchers were young and interested in new kinds of collaborations.

- The people who came here had few preconceived notions. At the same time, we were recruiting many new people, remembers Maija Nissinen.

It was easy to meet new people in the common coffee room, though physicists and chemists did have somewhat different coffee break times. Nissinen recalls that the first few years went by with researchers learning how to make use of the equipment and spaces on offer in the new building, as well as the new collaboration opportunities.

After the initial pondering, the benefits of the joint facilities began to be clear. In addition to their own, organic chemistry equipment, Nissinen's group has used the physical chemistry spectrometers and the microscopes from biology and physics.

- The combined facilities are of obvious benefit. Earlier, it was difficult to know what equipment and what opportunities were available at the different departments.

Nissinen has noticed, that it's worth asking for ideas from researchers in other fields as to how they would go about some study. Her group has benefited from the spectroscopic expertise of both physical chemists and biologists. Of course, changing research directions is slow and it doesn't always go smoothly. Projects have defined budgets and doctoral theses need to be completed in a timely manner.

- The current projects still find their roots in the old research, but they have gained a lot of value from collaboration. Also, interdisciplinary Master's projects have often been a good way to test the waters, Nissinen explains.

## Kehutaan kilpaa toisiamme

Päivi Törmä muistaa hyvin erään Matti Mannisen lausahduksen, joka hänen mukaansa vaikutti koko Nanotiedekeskuksen henkeen.

- Muistan hänen aina sanoneen, että meidän pitää koko ajan kehua toisiamme, ei itseämme.

Törmän mukaan neuvo näytti tepsivän. Henki oli hyvä, eikä tutkijoiden kesken ollut vääränlaista kilpailua. Yhdessä tekemisen meininki oli alusta alkaen vahva.

Manninen kertoo ajatuksen lähteneen siitä, että poikkitieteellisessä tutkimuksessa pitää osata arvostaa toisen alaa ja osaamista. On tärkeää, että eri alojen tutkijat eivät keskusteluissa vähättele toisiaan, esimerkiksi fyysikot kemistejä.

- Siksi annoin ohjanuraksi, että kehutaan kilpaa toisiamme. Kun ulospäin puhumme hyvää itsestämme, alamme itsekin uskoa siihen, kuinka hyviä olemme.

## Competing to give praise

Päivi Törmä remembers one of Matti Manninen's statements in particular, which influenced the whole Nanoscience Center's spirit.

- I remember him always saying that we should continually praise each other, not ourselves.

Törmä feels the advice has taken hold. The environment was good and there was only positive competition among researchers. The spirit of working together was strong from the beginning.

Manninen says the idea came from the knowledge that interdisciplinary research required being able to respect another field's expertise. It's important that different researchers don't belittle each other.

- That's why I set as a guideline that we should competitively praise each other. When we speak positively of our group, we start to believe how good we are ourselves.



*Päivi Törmän (vas.) NANOelektroniikan tutkimusryhmä (ELE) uudessa laboratoriossaan nanotalossa joulukuussa 2004.*

*Päivi Törmä's Nanoelectronics group in the new laboratory in December 2004.*

# 4

## YHTEISTYÖ TIIVISTYY COLLABORATION INTENSIFIES

### Uusia tutkimusaiheita

Vuonna 2004 käynnistyi Nanotiedekeskuksessa ensimmäinen iso poikkitieteellinen hanke, Suomen Akatemian rahoittama ”Nanosensorit”-hanke, jota johti Päivi Törmä. Siihen osallistui peräti kahdeksan fysiikan, kemian ja biologian tutkimusryhmää. Projektissa tutkittiin muun muassa nanorakenteiden lämpöilmiöitä sekä hiilinanoputkien ja DNA-molekyylien käyttöä nanoelektronikassa.

Monien muiden tutkijoiden tavoin Päivi Törmä kertoo, että nanotaloon muutolla oli hänen uralleen kauaskantoisia vaikutuksia - sitä kautta avautui kokeellisella puolella uusia tutkimussuuntia, nanoplasmoniikka ja DNA-origamit.

- Se, että oli fyysikkoja, kemistejä ja biologeja samassa käytävässä, oli radikaali idea. Siellä oppi tuntemaan ihmisiä, kun moikattiin ja juteltiin käytävillä.

Törmä kertoo, että idea nanoplasmoniikka-alan tutkimuksen aloittamisesta syntyi eräänä iltana, kun hän leikki kotona poikansa kanssa.

- Minun piti ajaa pikkuautoilla ja pöristä, mikä oli mielestäni tylsää. Luin siinä sivussa salaa Science-lehteä, josta silmiini sattui nanoplasmoniikkaa käsittelevä artikkeli. Ajattelin, että tätähän voimme tehdä nanotiedekeskuksessa, ja yhdistää fysiikan ja fysikaalisen kemian osaamista.

### New research topics

2004 saw the start of Nanoscience Center’s first big interdisciplinary project: the “Nanosensors” project, funded by the Academy of Finland and headed by Päivi Törmä. It included eight research groups from physics, chemistry and biology. The project studied thermal phenomena in nanostructures and the use of carbon nanotubes and DNA molecules in nano-electronics.

Like many other researchers, Päivi Törmä says that the move to the nano-building had a long lasting influence on her career. It opened up new directions in experimental research, namely nano-plasmonics and DNA origami.

- Having physicists, chemists and biologists as office neighbors was a radical idea. We got to know each other when passing and chatting in the hallways.

Törmä tells of how the idea to study nano-plasmonics came one evening while playing with her son.

- I had to drive with a little car and make noises, which seemed boring. I was secretly reading Science Magazine on the side, and was caught by an article on nano-plasmonics. I thought we could do this at Nanoscience Center and combine physics and physical chemistry expertise.

Törmä puhui asiasta fysikaalisen kemian professorien Henrik Kuntun ja Mika Petterssonin kanssa. Siitä alkoi yhteistyö, josta syntyi erinomaisia tuloksia.

Törmä siirtyi myös DNA-tutkimusten pariin. Solubiologian professori Markku Kulomaa oli yhteistyökumppanina tutkimuksissa, joissa tavoitteena oli hyödyntää DNA:ta nano-elektroniikassa.

- DNA-origamit keksittiin vuonna 2006 ja ryhmäni ryhtyi tutkimaan niitä yhtenä ensimmäisistä maailmassa, Törmä kertoo.

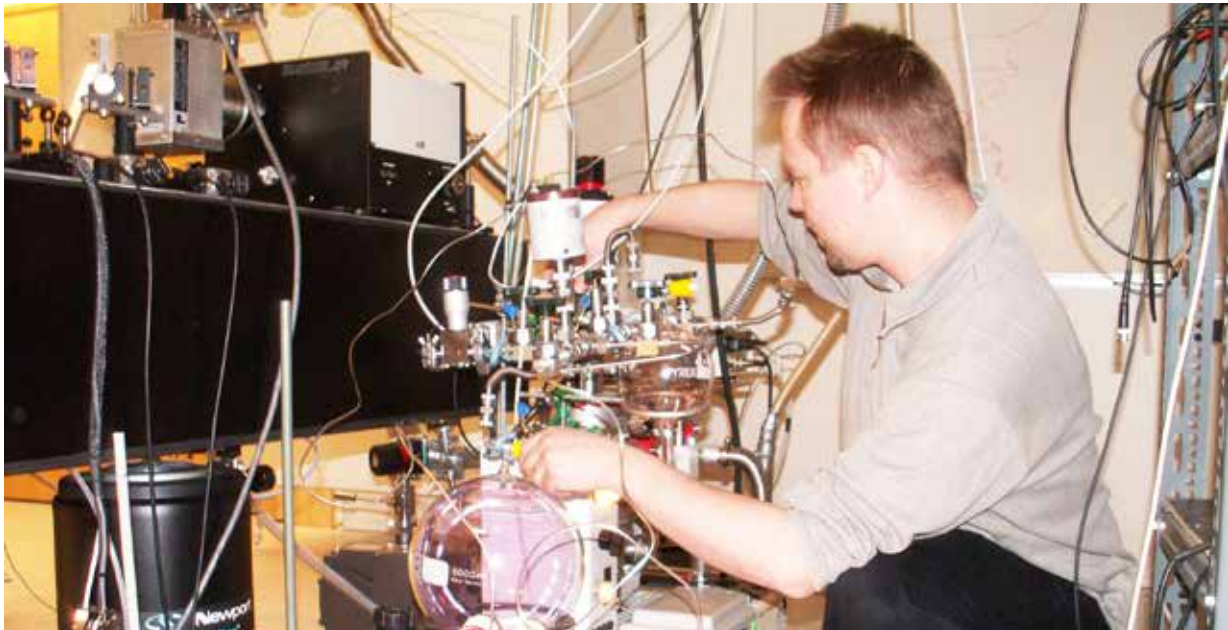
Törmä siirtyi vuonna 2008 professoriksi TKK:lle, mutta tutkimus jatkuu Jyväskylässä edelleen elinvoimaisena hänen entisen ryhmäläisensä, akatemitutkija Jussi Topparin johdolla. Tutkimusta on esitelty tarkemmin tämän kirjan sivulla 104–114.

Törmä spoke of the idea with physical chemistry professors, Henrik Kunttu and Mika Pettersson. That started a collaboration which produced exceptional results.

Törmä expanded to DNA research as well. Cell biology professor, Markku Kulomaa was her collaborator in the research, which aimed at using DNA in nano-electronics.

- DNA origami was invented in 2006 and my group was among the first in the world to start studying its use, says Törmä.

Törmä moved to TKK as a professor in 2008, but the research continues in Jyväskylä under the leadership of one of her former group members, Academy Researcher Jussi Toppari. The research is detailed in depth on page 104–114.



*Mika Pettersson tutkii jodimolekyylin koherenttia värähtelyä jalokaasukiteissä (2006).*

*Mika Pettersson analyzing the coherent oscillation of iodine (2006).*

*DNA-origameissa* hyödynnetään DNA:n itsejärjestymiskykyä - molekyyli muodostuu emäsjärjestyksensä perusteella tietyksi kuvioksi ja siihen voidaan tiettyihin paikkoihin kiinnittää muita nanohiukkasia. Siten DNA:ta voidaan käyttää nanomittakaavan rakennusalustana ja asemoida sen avulla esimerkiksi nanohiukkasia ja hiilinanoputkia.

*Nanoplasmoniikassa* valoa voidaan vangita nanomittakaavan käyttämällä nanomittakaavan metallirakenteita. Menetelmällä voidaan esimerkiksi tehdä uusia valonlähteitä.

*DNA origami* makes use of DNA's self-assembly properties. The molecule forms certain shapes according to the base pair sequence and other nano-particles can be attached at chosen locations. Thus, DNA can be used as a nano-scale template to assemble nano-particles or carbon nanotubes, for example.

*Nano-plasmonics* allows light to be trapped at the nano-scale using nanometer sized metallic structures. The method can be used, for example, to produce new light sources.

## Kevyt johtamisrakenne

Ei byrokratiaa, ei monimutkaisia rakenteita. Tutkijat toivoivat alusta alkaen, ettei Nanotiedekeskukseen rakenneta mitään kankeaa hallintoa. Toive toteutui: Nanotiedekeskus ikään kuin kelluu osana kolmea eri laitosta.

- Olemme organisaatio organisaation sisällä. Meillä ei ole virallista asemaa, Nanotiedekeskuksen nykyinen johtaja **Hannu Häkkinen** toteaa.

Nanotiedekeskuksen tutkijat ovat joko fysiikan, kemian tai biologian laitoksen palkkalistoilla ja kaikki tutkinnot tehdään laitoksille. Tutkimusjulkaisuissa näkyvät sekä laitoksen että Nanotiedekeskuksen nimet.

Keskusta koskevista asioista päättää eri alojen professoreiden muodostama johtoryhmä, joka koostuu seitsemästä professorista tai senioritutkijasta. Jokaiselta laitokselta on kaksi edustajaa. Lisäksi on johtoryhmän puheenjohtaja, joka on Nanotiedekeskuksen johtaja. Johtoryhmä valitaan aina kolmeksi vuodeksi kerrallaan. Keskukseen oma vuosibudjetti on vaatimaton, eikä se jaa rahaa tutkimusprojekteihin.

## A light management structure

No bureaucracy, no organizational complexity. The researchers wished from the start, that Nanoscience Center would not be outfitted with oppressive management. The wish was granted. Nanoscience Center effectively floats as part of three different departments.

- We're an organization within an organization. We don't have official status," explains current head of Nanoscience Center, **Hannu Häkkinen**.

Nanoscience Center researchers are employed by either the physics, chemistry or biology department. Publications display both the individual department as well as Nanoscience Center.

The Center is overseen by a steering committee consisting of seven professors or senior researchers in the field. Each department has two representatives and the head of the Nanoscience Center is the chairman. The committee is selected every three years. The Center operates on a rather modest yearly budget and it doesn't distribute funds to research projects.

- En istu minkään ison rahasäkin päällä. En voi mennä suoraan sanomaan kenellekään, että tutkimuksessa pitäisi mennä tuohon tai tuohon suuntaan, Häkkinen kertoo.

## Luottamus kantaa

Aino Sallinen kertoo rehtorina joutuneensa lujille yliopiston tutkimuksen kansainvälisessä arvioinnissa vuonna 2005.

- Kansainvälinen paneeli tenttasi, minkä vuoksi Nanotiedekeskusta ei ole hoidettu hallinnollisesti paremmin, Sallinen kertoo.

Kansainvälisen raadin mielestä hallinto oli retuperällä, ja se ehdotti, että Nanotiedekeskukseksi muodostettaisiin oma hallinto-organisaatio. Raadin mukaan keskus on heittopussina, eikä sillä ole mitään takuita resursseista - kohtelu riippuu siitä, ketkä sattuvat olemaan tiedekunnan johdossa.

Sallinen ei kuitenkaan antanut periksi.

- Sanoin, että ei tehdä sitä. Olen koko ajan ajanut nanoihmisten kanssa sitä, ettei Nanotiedekeskusta byrokratisoida.

Sallisen mukaan tärkeä Nanokeskuksen toimintaa ylläpitävä voima on luottamus. Vapaa toimintamuoto edellyttää sitä, että toimijat luottavat toisiinsa, kommunikoivat avoimesti ja sitoutuvat toimintaan.

- Tällainen spontaani, vapaa toiminta onnistuu luonnontieteilijöiltä. He ovat tehtäväkeskeisiä: jos jotain päätetään, siihen sitoudutaan ja mennään eteenpäin.

- I'm not sitting on a pile of cash. I cannot go and tell someone that their research should go one direction or another, Häkkinen explains.

## A matter of trust

Aino Sallinen tells how she got into some trouble as rector when the university underwent its international research evaluation in 2005.

- The international panel pressed me as to why the Nanoscience Center was not managed better, Sallinen says.

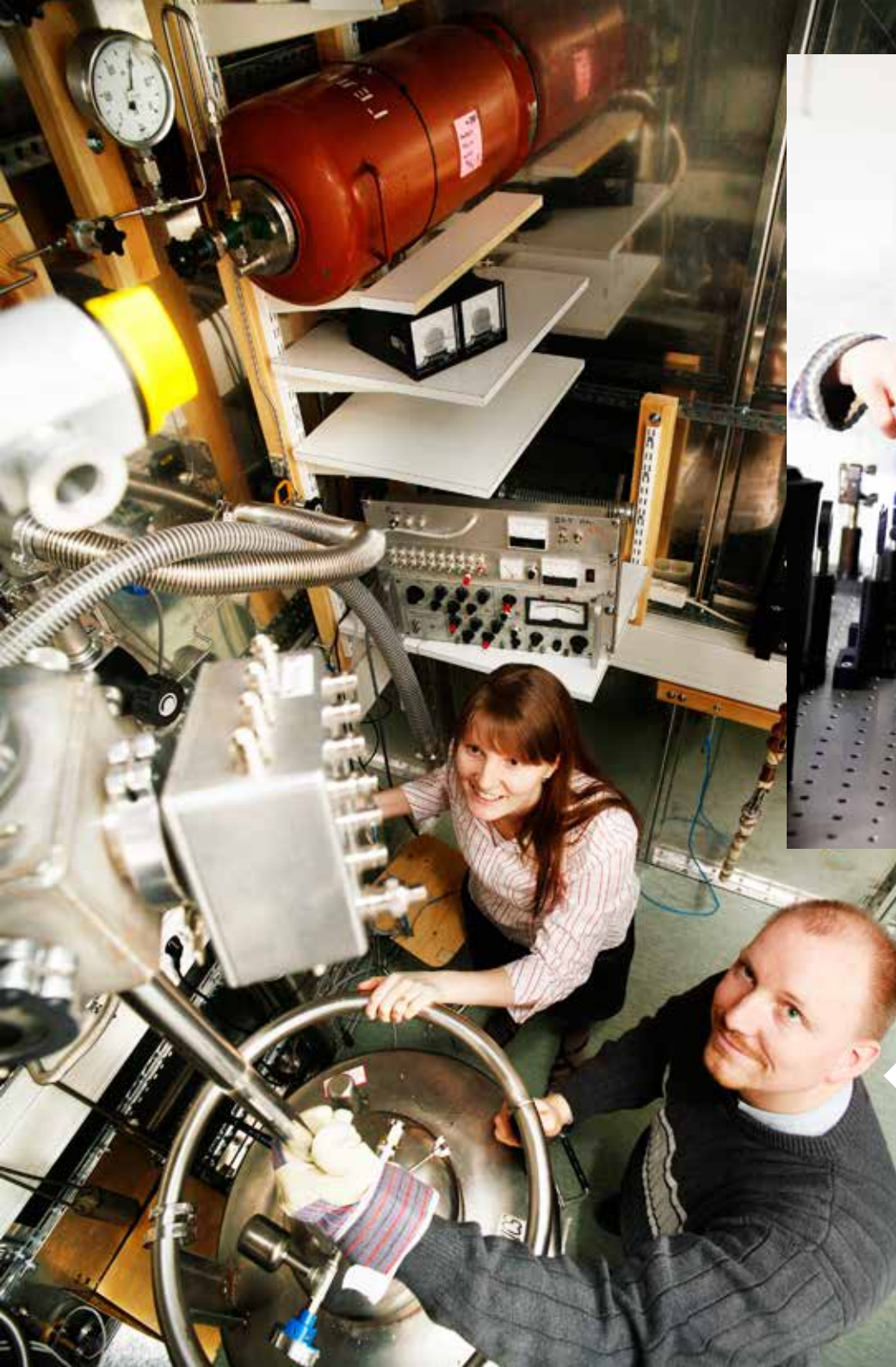
According to the international panel, the management was a disaster and recommended that a management organization of its own should be formed. The panel felt the Center was a rudderless ship with no guarantees of resources – the direction depends on who happens to be heading the faculty. But Sallinen didn't back down.

- I said no. I have consistently sided with the nano-people in shielding the Nanoscience Center from bureaucracy.

Sallinen maintains that an important force maintaining the Nanoscience Center's functioning is trust. An open mode of operation requires that everyone trusts each other, communicates openly and commits to actions.

- This kind of spontaneous, open operation suits natural scientists. They are task oriented: when a decision is made, it's carried out with commitment.





*Kemisti Pasi Myllyperkiö Nanotieteokeskuksen laserlaboratoriossa.*

*Chemist Pasi Myllyperkiö in the laser lab of the Nanoscience Center.*

---

*Fyysikan opiskelija Tuuli Gröhn ja erikoistutkija Andreas Johansson jäähdyttävät näytettä kryostaatilla tammikuussa 2009.*

*Tuuli Gröhn, physics student, and senior scientist Andreas Johansson cooling down the sample in a cryostat in January 2009.*

## Rahahanat aukenivat

Päivi Törmän jälkeen vuoden 2005 keväällä Nanotiedekeskuksen johtajaksi tullut fyysikaalisen kemian professori **Jouko-Korppi Tommola** astui keskelle nanobuumia.

- Se oli sellaista aikaa, että haimme vain rahaa ja mietimme johtoryhmässä mitä teemme seuraavaksi, Korppi-Tommola muistelee.

Kaikki lähtivät rahoittamaan nanoa samoihin aikoihin: Tekes käynnisti 70 miljoonan euron FinNano-ohjelman vuosiksi 2005-2010 ja Suomen Akatemia aloitti 9,5 miljoonan euron nanotieteen tutkimusohjelman vuosiksi 2006-2010. Lisäksi opetusministeriö nimesi vuonna 2005 kolme kansallista nanotieteen keihäänkärkeä, jotka saivat 24 miljoonaa euroa rahoitusta nanotieteiden koulutukseen ja tutkimukseen. Nanotiedekeskus oli yksi keihäänkärjistä, pääkaupunkiseudun tutkimuskeskittymän (TKK, VTT, HY) ja Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) nanofotoniikan konsortion ohella.

## Funding begins to flow

After Päivi Törmä, the next head of Nanoscience Center, physical chemistry professor Jouko-Korppi Tommola, started in the spring of 2005 in the middle of the nano-boom.

- During that time, we just applied for funding and thought about what to do next with the panel members, Korppi-Tommola recalls.

Everyone began funding nano at the same time: Tekes started a 70 million euro FinNano program for 2005-2010 and the Academy of Finland started a 9.5 million euro nanoscience research program for the years 2006-2010. Additionally, the Ministry of Education named three international spearhead programs which received 24 million euros of funding for nanoscience education and research. Nanoscience Center was one of these, along with the Helsinki area research cluster (TKK, VTT, HY) and the Tampere University of Technology (TTY) nano-photonics consortium.



*Nanotiedekeskus sai valmistuttuaan useita arvovaltaisia vierailijoita. Kuvassa Turkin presidentti Abdullah Gül, joka seurueineen kävi nanotalossa vuonna 2009.*

*Several prestigious guests have visited the Nanoscience Center. In the photo, the president of Turkey, Abdullah Gül visited the Nano building in 2009.*

Nanotiedekeskus menestyi haisuissa hyvin. Akatemian rahoittamana alkoivat vuonna 2006 Jouko Korppi-Tommolan johdolla Funktionaaliset nanopartikkelit ja -laitteet (FUNANO) -hanke sekä Päivi Törmän Molekyylielektronikka ja nanomittakaavan fotonikka (MEP) -hanke. Lisäksi käynnistyi Törmän johtama Tekes-hanke Molecular scale memory elements, jossa olivat yritysosapuolina mukana Beneq, Nokia ja Vaisala.

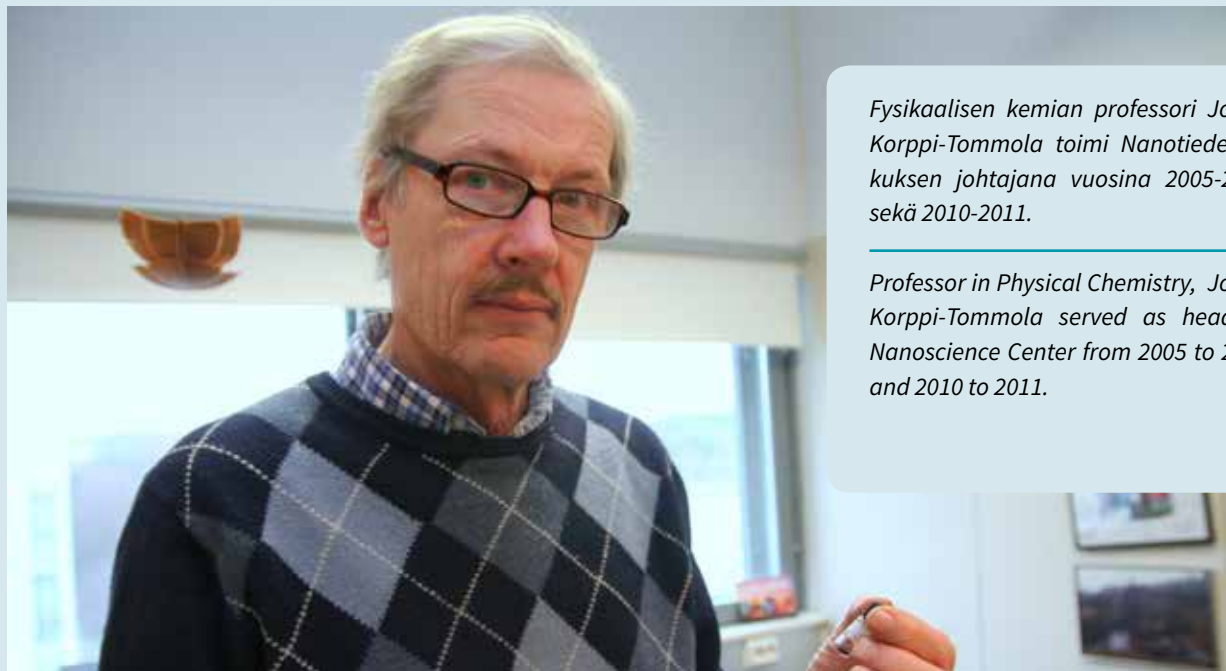
Korppi-Tommola muistelee, että tultuaan sapattivuoden jälkeen Nanotiedekeskuksen johtajaksi toistamiseen, vuosina 2010-2011, tilanne oli rahoituksen suhteen täysin toinen kuin hänen ensimmäisellä johtajakaudellaan: budjetti oli lähes nollassa. Isot hankkeet olivat juuri päättyneet, eikä nanoalan rahoitustilanne enää näyttänyt yhtä hyvältä. Buumi oli ohi.

- Suomi on aina sellainen, että se innostuu yhdestä asiasta kerrallaan, Korppi-Tommola harmittelee.

Nanoscience Center was successful in funding applications. Starting in 2006 under Academy of Finland funding were Jouko Korppi-Tommola's Functionalized Nanoparticles and Devices (FUNANO) project and Päivi Törmä's Molecular Electronics and Nanoscale Photonics (MEP) project. At the same time, Törmä lead a Tekes project in molecular scale memory elements, which included Beneq, Nokia and Vaisala as industry partners.

Korppi-Tommola recalls returning after a sabbatical year to his second term as head of Nanoscience Center, 2010-2011. The funding situation was completely different from his first term. The budget was nearly zero and the big projects had just finished up and the funding outlook for nanoscience didn't look as good. The boom was over.

- Finland is always like that. There is an excitement over one thing at a time, Korppi-Tommola laments.



*Fysikaalisen kemian professori Jouko Korppi-Tommola toimi Nanotiedekeskuksen johtajana vuosina 2005-2007 sekä 2010-2011.*

*Professor in Physical Chemistry, Jouko Korppi-Tommola served as head of Nanoscience Center from 2005 to 2007 and 2010 to 2011.*

## Epäilijästä johtajaksi

*Jouko Korppi-Tommola sai Nanotiedekesuksesta hienot uudet tilat.*

*”Alkuvaiheessa epäilin, menenkö Nanotiedekeskukseen mukaan ollenkaan. Kun Henrik Kunttu kertoi, että voisimme saada uudet laboratoriotilat sieltä, päätimme lähteä mukaan. Saimme 300 neliötä tilaa, jonka saatoimme suunnitella itse alusta lähtien. Tutkimusolosuhteet paranivat merkittävällä tavalla.”*

*”Vaikka olin alun perin vähän kummallisesti vastaan hangoitellen lähtenyt mukaan, päädyin Nanotiedekeskuksen johtajaksi. Samoihin aikoihin Tekes, Akatemia ja opetusministeriö lähtivät rahoittamaan alaa. Pääsimme iskemään suoraan nanobuumiin. Toinen kausi olikin sitten hieman erilainen: sinä vuonna Nanotiedekeskuksen budjetti oli nollassa.”*

Korppi-Tommolan henkilöhaastattelu on sivuilla 79–83.

## From doubter to leader

*Jouko Korppi-Tommola got nice new laboratory space at Nanoscience Center.*

*“At first, I was hesitant about joining the Nanoscience Center project. When Henrik Kunttu told me we could get new laboratory space there, I decided to join. We got 300 square meters of space, which we were able to design from the beginning. Working conditions improved significantly.”*

*“Though initially I had hesitantly joined the project, I ended up as the head of the Center. Around the same time, Tekes, the Academy of Finland and the Ministry of Education began funding the field. We were able to strike at the start of the nano-boom. My second term was an altogether different experience. That year, the Nanoscience Center budget was flat.”*

An interview of Korppi-Tommola appears on pages 79–83.

## Sopuisaa kiusoittelua

Vuosina 2007-2009 Nanotiedekeskuksen johtajana toiminut Matti Manninen muistelee, että kanssakäyminen talon sisällä oli tiivistä. Tieteenalojen välillä oli pientä kiusoittelua, mutta ilmapiiri oli sopuisa.

- Jokaisella tieteenalalla on oma, vähän erilainen kulttuurinsa. Se oli vain kivaa, Manninen sanoo.

Henrik Kuntun mukaan fyysikkojen ja kemistien suhde on ollut aina läheinen. Lempeitä vitsejä silti heitellään.

- Fysikoita aina kuvataan, että he vievät kaiken. Jos fyysikko löytää laitteen, kemikaalin tai astian, hän vie sen. Tämä ei varmasti perustu mihinkään, Kunttu hymähtää.

Maija Nissinen myöntää, että uuden työntekijän kyselyä miten asianpesukone tyhjennetään, hänelle on saatettu vastata, että kemistit sen yleensä tyhjentävät. Lisäksi häntä muistutetaan kahvikuppijonosta: jos ei laita kahvikuppia jonoon keittimen viereen silloin, kun se vielä tiputtaa, fyysikot juovat kaikki kahvit.

Niin tai näin, elo on ollut sopuisaa. Nanotiedekeskukseen muodostui ajan mittaan oma identiteetti – nanotiedekeskuslaisuus.

Mannisen mukaan Nanotiedekeskukseen linkittyneet tutkimusryhmät, jotka eivät muuttaneet nanotaloon, jäivät väkisinkin hieman ulkopuolisiksi.

- Se vaikuttaa heti, jos ei tule samaan kahvihuoneeseen hakemaan kahvia.

Biologiensa osuus nanotalossa jäi toivottua vähäisemmäksi. Nanotalosta tuli pitkälti kemistien ja fyysikoiden mie-

## Friendly teasing

Head of Nanoscience Center from 2007 to 2009, Matti Manninen remembers that there was a lot of close interaction within the Center. There was some mild teasing between different fields, but the environment was amicable.

- Every discipline has its own, distinct culture. It was nice, Manninen says.

Henrik Kunttu states that the relationship between chemists and physicists has always been close. Friendly jokes still get thrown around.

- Physicists are said to always take everything. If a physicist finds some equipment, chemicals or dish, they'll take it. This is probably unfounded, Kunttu smiles.

Maija Nissinen admits that, when a new employee asks how the dishwasher is emptied, the reply is often that the chemists usually do it. And it is often said that if you don't put your coffee cup in line next to the coffee machine while it's still dripping, the physicists will drink it all.

However it may be, conditions have been friendly. An identity has developed over time in the Center.

Manninen states that the research groups which linked with the Center but didn't move into the building inevitably ended up as outsiders to some degree.

- There's an immediate effect when you don't go to the same coffee room to get your coffee.

Biologists have been less represented at the Center than hoped for, resulting in a chemist and physicist dominated environment. This has largely been a result of molecular biology professor Markku Kulomaa and cell biology

hittämä. Yksi käytännön syy oli, että Nanotiedekeskuksen perustamisessa alkujaan aktiivisesti mukana olleet molekyylibiologian professori Markku Kulomaa ja solubiologian professori Jyrki Heino muuttivat pois: Heino vuonna 2004 Turkuun ja Kulomaa vuonna 2005 Tampereelle.

professor Jyrki Heino leaving in the early stages of the Center's founding. Heino went to Turku in 2004 and Kulomaa to Tampere in 2005.

*Nanotalon kahvihuoneesta tuli tutkijoiden kohtaamispaikka (tammikuu 2006).*

*The Nanoscience Center coffee room became a central meeting point for the researchers (2006).*

*Laskennallisen nanotieteen tutkijat yhteiskuvassa nanotalon aulassa tammikuussa 2009.*

*Computational nanoscientists in the corridor of the Nanoscience Center in January 2009.*





*Matti Manninen toimi Nanotiedekeskuksen johtajana vuosina 2007-2009. Nykyisin hän toimii Jyväskylän yliopiston rehtorina.*

*Matti Manninen served as the head of Nanoscience Center from 2007 to 2009. Currently, he is the rector of the University of Jyväskylä.*

## Yhdessä olemme vahvempia

*Matti Mannisen mukaan nanotieteiden kokoaminen yhteen on vahvistanut kaikkia tieteenaloja.*

*”Meillä on Jyväskylän yliopistossa luonnontieteiden - fysiikan, kemian ja biologian - sisällä useita vahvuuksia, mutta vaikka laitokset ovat melko suuria yliopiston sisällä, kansainvälisesti ne ovat aika pieniä, koska toimivat eri tutkimusaloilla. Nanotiedekeskuksen merkitys yliopistolle on siinä, että nanotieteen kokoaminen yhteen vahvistaa kaikkia tieteenaloja. Se on synnyttänyt eri tieteenalojen rajapinnoille hyvin vahvoja tutkimusalueita.”*

*”Biologiassa on tärkeää olla yhteistyössä fyysikoiden kanssa. Suomessa ei biologian koulutukseen kuulu fysiikan tai matematiikan opetusta, toisin kuin esimerkiksi Yhdysvalloissa. Yhteistyötä tarvitaan, jotta pysytään kansainvälisessä tutkimuksessa paremmin mukana. Toisaalta tieteenalat eivät ole enää hirveän kaukana toisistaan, kun lähestytään atomin tasoa - ne sulautuvat luonnostaan yhteen.”*

## Together, we are stronger

*Matti Manninen states that the bringing together of the nanoscientists has strengthened all the fields.*

*“In Jyväskylä, we have many strengths within the natural sciences, physics, chemistry and biology. But while the departments are relatively large within the university, they are internationally quite small. The significance of Nanoscience Center to the university is that by bringing together the disciplines, they have all been strengthened and many strong research areas have sprouted at the borders between fields.”*

*“In biology, it is important to have collaboration with physics. Finnish education doesn't include physics or mathematics teaching for biologists the way they have in the U.S.A., for example. Collaboration is needed in order to better keep up with international research. On the other hand, the fields are no longer so distinct from each other when one approaches the atomic scale. They tend to blend into one another.”*

## Yhteisprofessuurit linkkeinä alojen välillä

Jo Nanotiedekeskusta perustettaessa päätettiin, että nanotaloon muodostetaan eri alojen yhteisiä professuureja. Ne vahvistaisivat eri alojen yhteistyötä ja lisäisivät poikkitieteellistä tutkimusta. Ensimmäinen yhteisprofessori oli laskennallisen nanotieteen professori, johon valittiin vuonna 2007 fyysikko Hannu Häkkinen. Professori oli kemian ja fysiikan laitosten yhteinen – laitokset rahoittavat viran puoliksi.

Vaikka kahdella laitoksella toimiminen on Häkkinen mukaan ollut mielenkiintoista ja lisännyt yhteistyötä, toisinaan se on ollut haastavaa.

- Ensimmäisinä vuosina tuntui raskaalta, kun kokouksissa istuminen ja byrokratia tuplaantui. Myös opetusta olen antanut kahdella laitoksella, Häkkinen kertoo.

Tieteellisissä julkaisuissaan Häkkinen ilmoittaa aina NSC:n sekä molempien laitosten nimet. Osa hänen tutkimusryhmästään on kemian laitoksen palkkalistoilla, osa fysiikan. Häkkinen mukaan yhteisprofessori on hyvä idea.

- Molemmat laitokset hyötyvät minusta. En ole enää pitkään aikaan miettinyt, onko tutkimukseni enemmän fysiikka vai kemiaa. Olen identifioitunut nanoon ja koen olevani selkeä linkki alojen välillä.

Ensimmäisen kokeilun rohkaisemana Nanotiedekeskukseen rekrytoitiin vuonna 2014 myös toinen yhteisprofessori, **Perttu Permi** Helsingin yliopiston biotekniikan instituutista. Hän on biologian ja kemian yhteinen professori, joka tulee työskentelemään Nanotiedekeskukseen hankittavan uuden NMR-laitteen parissa.

- Olemme tästä todella innoissamme. Korkean kentän NMR-tutkimus vahvistaa rakennekemian tutkimusta, jossa muutenkin olemme Suomen ykkösiä, dekaani Henrik Kunttu toteaa.

## Combined professorships link disciplines

It was decided already at the founding of the Nanoscience Center, that combined professorships would be formed. They strengthen collaboration between the different fields and increase interdisciplinary research. The first combined professorship was computational nanoscience, for which Hannu Häkkinen was chosen in 2007. The professorship was in both chemistry and physics, with each department funding half of the salary.

Though working in two departments has been interesting and has increased collaborations, Häkkinen admits it has been challenging.

- The first years were tough when meetings and bureaucracy doubled. I have also given lectures in both departments, tells Häkkinen.

In publications, Häkkinen always adds NSC as well as both departments as affiliations. Some of his group members receive their salary from chemistry and some from physics. Häkkinen feels the combined professorship is a good idea.

- Both departments get benefit from me. It has been a while since I thought about whether my research is physics or chemistry. I have identified with nano and consider myself a clear link between the fields.

Encouraged by the first combined professorship, a second professor, **Perttu Permi** from the University of Helsinki Institute of Biotechnology was recruited in 2014. He is a professor of both biology and chemistry, and will work on the new NMR device to be acquired by the Nanoscience Center.

- We are thrilled about this development. High-field NMR research will strengthen our research in structural chemistry, where we already are number one in Finland, says Dean Henrik Kunttu.



*Laskennallisen nanotieteen professori Hannu Häkkinen on toiminut Nanotiedekeskuksen johtajana vuodesta 2012 lähtien.*

*Computational nanoscience professor, Hannu Häkkinen has served as head of Nanoscience Center starting in 2012.*



## Avoin keskustelu pitää sopuisina

*Hannu Häkkisen mukaan tiedon kulkeminen talon sisällä on tärkeää.*

*”Näen, että Nanotiedekeskuksen johtajana tehtäväni on ylläpitää avointa keskustelukulttuuria. Pohdimme yhdessä, mitä ryhmät haluaisivat seuraavaksi tehdä ja mistä haemme rahaa. Näin kymmenen toimintavuoden jälkeen ei enää tapahdu niin, että lähdemme toisistamme tietämättä tekemään hyvin samantyyppisiä hakemuksia. Yhteisissä kouksissa ja johtoryhmissä on tutkijoita tasapuolisesti kaikista laitoksista ja tieto kulkee talon sisällä.”*

*”Maailmalla poikkitieteellisiä nanotiedekeskuksia on nykyisin satoja, mutta Suomessa ei ole muita. Meillä on aidosti yhteistyötä tämän talon sisällä. Koko on ihanteellinen, noin 150 tutkijaa. Toisaalta tässä on vielä enemmänkin potentiaalia, jos pystymme edelleen terävöittämään muutamaa tutkimuslinjaa ja keräämään niiden ympärille osaavat tutkijat.”*

## The culture of open dialog

*According to Hannu Häkkinen, the flow of information at the Center is important.*

*“I see my task as head of Nanoscience Center is to maintain a culture of open dialogue. Together, we consider what the groups would like to do next and where to apply for funding. Now, after ten years of working together, we no longer have situations where multiple groups apply funding for very similar projects. The meetings and leadership panel have researchers equally from all departments and information flows freely.”*

*“These days, there are hundreds of interdisciplinary nanoscience centers around the world, but in Finland there is only one. We genuinely have cooperation in this place. The size is just right, at around 150 researchers. There is still more potential if we can hone some lines of research and gather the right experts around them.”*

## Tarvitaan yhteinen suunta

Kun Hannu Häkkinen aloitti Nanotiedekeskuksen johtajana tammikuussa 2012, hän päätti kutsua kokoon kansainvälisen neuvonantajaryhmän. Syksyllä 2012 viisi ulkomaista eri alojen tunnettua tiedemiestä kävi Nanotiedekeskuksessa, ja tutkijoiden kesken pidettiin kahden päivän tiukka tieteellinen arviointi- ja palautekokous.

- Ryhmät esittäytyivät ja kertoivat tutkimuksestaan. Arvioijat jättivät parin sivun raportin, jossa antoivat näkemyksiä siitä, mikä näyttää vahvalta ja hyvältä sekä mitä pitäisi kehittää. Lisäksi he ottivat kantaa siihen, mitä laitteita Nanotiedekeskukseen kannattaisi hankkia.

Häkkinen on samaa mieltä arvioijien kanssa siitä, että Nanotiedekeskuksen pitää löytää vahva yhteinen suunta, jota kohti tutkijat haluavat lähteä. Kaikkien ei tarvitse tehdä yhteistyötä kaikkien kanssa, mutta on silti tärkeää, että tiettyjä yhteisiä tutkimussuuntia priorisoidaan.

- Meillä on 150 tutkijaa, ihanteellinen ympäristö, hyvät laitteet, hyvä yhteishenki ja kaikki tuntevat toisensa.

Uutta yhteistyötä voi syntyä helposti, ruohonjuuritasolta lähtien, Häkkinen toteaa.

Häkkinen mukaan yhteinen näkemys helpottaa rahoituksen hakemisessa. Jos jokainen parista kymmenestä tutkimusryhmästä tekee omiaan, on vaikea saada yhteistä uskottavaa tutkimussuunnitelmaa - ja esimerkiksi Suomen Akatemian huippuyksikön statusta.

Häkkinen tavoitteena on saada tutkijat kulkemaan samaan suuntaan. Esimerkiksi Konneveden tutkimusasemalla on pidetty 1-2 päivän sisäisiä seminaareja, joissa on käyty läpi, mitä talossa tehdään. Häkkinen on ideoinut myös aivoriihoitointia.

## A common direction is needed

When Hannu Häkkinen started as head of Nanoscience Center in 2012, he decided to put together an international steering committee. In the fall of 2012, five recognized researchers in different fields from abroad came to Nanoscience Center. A rigorous, two-day scientific evaluation and feedback seminar was held.

- The groups presented their research. The evaluators left a two-page report which gave an indication of what looks strong and what needs work. Additionally, they gave consideration to what equipment should be sought for the Center.

Häkkinen was in agreement with the steering committee, that Nanoscience Center needs a strong, common direction in which the researchers would like to proceed. Not everyone needs to collaborate with everyone else, but it is nonetheless important that certain common research directions are prioritized.

- We have 150 researchers, an ideal environment, good equipment, a good team spirit and everyone knows each other. New collaborations can occur easily from the ground up, Häkkinen confirms.

According to Häkkinen, the common vision helps with funding applications. If every one of the twenty or so research groups does their own thing, it is difficult to get a credible research proposal or, for example, center of excellence status from the Academy of Finland.

Häkkinen's goal is to get the researchers to share a common vision. There have been one- and two-day internal

Henrik Kunttu kokee, että Häkkinen on onnistunut hyvin pyrkimyksessään lisätä yhteistyötä.

- Hän on tehnyt valtavan työn, kun on yhdistänyt ja muodostanut ison tutkimuskonsortion, joka on saanut hyviä tuloksia.

seminars held at the Konnevesi Research Station in which the activities of the Center are discussed. Häkkinen has also encouraged brainstorming activities.

Henrik Kunttu states that Häkkinen has succeeded in his attempts to increase cooperation.

- He has done a lot of work to put together a large research consortium which has produced good results.



*Kemian opiskelijat rakentelivat molekyylimalleja elokuussa 2011.*

*Chemistry students were building molecular models in autumn 2011.*

## Kaikki lähti heitosta

Häkkinen muutama vuosi sitten käynnistämä yhteistyöhanke on Nanotiedekeskuksen historian tähänastisista poikkiteollisista. Siinä ovat mukana niin kemistit, fyysikot kuin biologitkin.

Kaikki lähti liikkeelle syksyllä 2011, kun Häkkisen silmiin osui artikkeli, jossa kultananohiukkasia oli kiinnitetty tupakkamosaiikkivirukseen. Kyseisessä tutkimuksessa viruksia käytettiin kultahiukkasten itsejärjestäytymisen alustana. Siitä Häkkinen sai idean kultananohiukkasten käytöstä virustutkimuksissa.

Kaikki lähti heitosta. Häkkinen meni tapaamaan hänelle jo entuudestaan tuttua tutkijaa, solubiologian dosentti **Varpu Marjomäkeä**, jonka tiesi kuvantavan viruksia.

- Tiesin virusten koon ja tiesin, että niiden molekulaarinen rakenne on erittäin hankala kuvata tarkasti. Näytin Varpulle artikkelia ja ehdotin, että voisimme kokeilla kultananohiukkasia virustesi kuvantamisessa. Hän inostui heti.

Yhteistyö lähti nopeasti liikkeelle ja mikä parasta, koko tutkimus pystyttiin tekemään Nanotiedekeskuksessa omin voimin. Lopputuloksena oli vuoden 2014 alussa arvostetussa Proceedings of the National Academy of Sciences -lehdessä julkaistu artikkeli, jossa kuvataan tutkijoiden kehittämä uusi biokuvantamismenetelmä.

- Kulta-virustutkimus alkoi tämän talon myötä. En usko, että tällaiseen yhteistyöhön oltaisiin muutoin pysytty, Häkkinen toteaa.

Tutkimusprojekti on esitelty tarkemmin tämän kirjan sivuilla 87–96.

## It all started from an experiment

Häkkinen's initiative for new collaboration from a couple years ago is Nanoscience Center's most interdisciplinary to date. It includes chemists, physicists and biologists. It all began when he was drawn to an article in which gold nanoparticles were attached to a tobacco mosaic virus. In this research, the viruses were used to facilitate self-assembly of the gold nanoparticles. Häkkinen got an idea from this to use gold nanoparticles to study viruses.

The work started moving when Häkkinen went to meet cell biology docent, **Varpu Marjomäki**, with whom he was already familiar and knew to have experience with imaging viruses.

- I knew the size of the viruses and that their molecular structure is particularly difficult to image. I showed Varpu the article and suggested that we use these gold nanoparticles with her viruses. She was immediately excited by the idea.

The collaboration started quickly and better still, the research could all be done with Nanoscience Center's own resources. The end result was an article published early in 2014 in the well-respected Proceedings of the National Academy of Sciences detailing the researchers' newly developed bioimaging method.

- Gold-virus research began because this center exists. I don't think this kind of collaboration would have happened without it, says Häkkinen.

The research project is detailed on pages 87–96.

# 5

## KANSAINVÄLISTÄ KOULUTUSTA INTERNATIONAL EDUCATION

### Opiskelijoita Kamerunista Costa Ricaan

Samaan aikaan kun Nanotiedekeskushanke ampaisi liikkeelle, Jyväskylän yliopisto käynnisti alan koulutuksen. Jo vuonna 2002 alkoivat räätälöidyt nanotieteiden kurssit ja seuraavana vuonna yliopisto käynnisti nanotieteiden kansainvälisen maisteriohjelman.

Kansainväliseen maisteriohjelmaan otettiin suomalaisten lisäksi ulkomaalaisia opiskelijoita, joilla oli luonnontieteiden kandidaatin (LuK) tutkintoa vastaava pohjakoulutus. Heille tarjottiin stipendi, joka vastasi suuruudeltaan suomalaista opintorahaa. Rahoituksen yliopisto sai osaamiskeskusohjelmasta.

### Tarvitaan eri alojen osaajia

Maisteriohjelmaan otettiin alusta alkaen taustaltaan erilaisia ihmisiä: fyysikoita, kemistejä ja biologeja. Tavoitteeksi tuli kouluttaa tutkijoita, jotka hallitsevat oman alansa, mutta ymmärtävät asioita myös tieteenalojen yli- ja osaavat keskustella muiden alojen tutkijoiden kanssa.

### Students from Cameroon to Costa Rica

At the same time as the nanoscience project was beginning, the University of Jyväskylä started the teaching program. Nanoscience courses were already being offered in 2002 and the next year, the university opened the International Master's Programme.

In addition to Finnish students, the International Master's Programme accepted students from abroad who had the equivalent of the Finnish baccalaureate in natural sciences (LuK). They were offered a stipend equal to that of the Finnish student scholarship. Funding for the students was provided for the university by the Center of Expertise Program (OSKE).

### Experts from various fields needed

The Master's program accepted students with different backgrounds – physics, chemistry and biology. The goal was to train researchers who master their own field, but

- Tällä alalla tarvitaan osaajia, jotka osaavat muutakin kuin vain omaa tieteenalaansa, Matti Manninen toteaa. Ensimmäiset nanotieteiden maisterit valmistuivat vuonna 2004. Ensimmäinen maisteriksi valmistunut oli kamerunilainen Kodiah Beyeh, joka myöhemmin, 21.11.2008, väitteli Jyväskylän yliopistosta aiheesta ”lentäviä supermolekyylejä”.

Vuoden 2013 loppuun mennessä kansainvälisestä maisteriohjelmasta oli valmistunut viitisenkymmentä opiskelijaa, jotka edustivat 17 eri kansalaisuutta. Opiskelijoita Jyväskylään saatiin muun muassa Indonesiasta, Malawista, Kiinasta, Costa Ricasta, Georgiasta, Intiasta ja Israelista.

## Vääntöä koordinaattorin asemasta

Jyväskylän yliopiston koordinoima valtakunnallinen nanotieteiden tutkijakoulu (NSG-NANO) käynnistyi 2006. Matti Manninen muistelee, että tutkijakoulusta syntyi vääntöä Helsingin yliopiston ja TKK:n kanssa. TKK ja Helsingin yliopisto laittoivat ministeriöön oman esityksensä, jossa koordinoitavastuu olisi ollut TKK:lla. Jyväskylän yliopiston ehdotus meni kuitenkin läpi, ja siitä tuli kansallisen tutkijakoulun koordinaattori.

Rehtori Aino Sallisen mukaan häntä yritettiin myöhemmin puhelinoitoilla saada luopumaan koordinaativastuusta tai suostua kierrättämään sitä, mutta hän ei antanut periksi. Jyväskylän yliopisto pysyi koordinaattorina.

understand topics beyond disciplinary boundaries and can discuss with researchers from other fields.

- This field needs experts with skills outside their own discipline, Matti Manninen confirms.

The first nanoscience Master’s students graduated in 2004. The first to get his Master’s was Kodiah Beyeh from Cameroon, who defended his Ph.D. on 21.11.2008 at the University of Jyväskylä on the topic of “flying supermolecules”.

By 2013, the International Master’s Programme had graduated about 50 students, representing 17 nationalities. Jyväskylä has had students from Indonesia, Malawi, China, Costa Rica, Georgia, India and Israel.

## Struggle over coordination duties

The University of Jyväskylä National Graduate School in Nanoscience began in 2006. Matti Manninen recalls some struggle over the coordination privilege of the program with Helsinki University and TKK. TKK and Helsinki had sent a proposal to the Ministry of Education in which the coordination of the National Graduate School in Nanoscience would have been TKK’s responsibility. However, Jyväskylä’s proposal went through and it became the coordinator of the graduate program.

According to Rector Aino Sallinen, she received a few phone calls attempting to convince her to relinquish coordination duties of the graduate school or at least put it in rotation, but she didn’t budge. The University of Jyväskylä maintained its role.

Syksyllä 2007 tuli Jyväskylässä ensimmäisenä Suomessa mahdolliseksi poikkitieteellisen LuK-tutkinnon suorittaminen nanotieteiden koulutusohjelmassa. Ideana oli, että opiskelijoilla on pääaineenaan joko fysiikka, kemia tai biologia, mutta heidän tutkintoonsa kuuluu poikkitieteellistä nanotieteiden opetusta.

- Jos hakee esimerkiksi fysiikan kautta kandidaattiohjelmaan, on fysiikan osuus vähän normaalia kevyempi ja lisäksi opiskelijan tulee ottaa kemian ja biologian kursseja. Ajatuksena on, että LuK-tutkinnon pohjalta on mahdollisuus tehdä maisterin tutkinto joko fysiikassa tai nanotieteissä, Manninen kertoo.

Ohjelma nousi nopeasti opiskelijoiden suosioon. Heti ensimmäisenä vuonna opiskelijoita kirjautui nanotieteiden koulutusohjelmaan 18, ja myöhemmin vuosittain kolmissenkymmentä opiskelijaa on valinnut nanotieteet.

In the fall of 2007, the University of Jyväskylä was the first to offer an interdisciplinary undergraduate degree in nanoscience. The idea was that the students would have physics, chemistry or biology as a main subject, but their degree would include interdisciplinary nanoscience instruction.

- If a student applies via physics for example, the physics course requirements are somewhat reduced in order to make room for chemistry and biology courses. The aim was that this undergraduate program would qualify the student for Master's studies in either physics or nanoscience, Manninen explains.

The program quickly gained popularity with the students. The first year, 18 students enrolled in the nanoscience undergraduate program and since then, about 30 students per year have selected nanoscience.



*Nanotohtoreita on tähän mennessä valmistunut 76. Veikko Linko (kuvassa) väitteli vuonna 2011 DNA-molekyylien hyödyntämisestä nanoelektroniikassa.*

*So far, there are 76 PhD's produced by the Nanoscience Center. Veikko Linko (in the picture) made his thesis on DNA-based applications in molecular electronics (2011).*

# 6

## YRITYKSET SAMOIHIN TILOIHIN BUSINESSES IN THE SAME SPACE

### Tutkijoiden omat keksinnöt

Nanotiedekeskuksen tehtäväksi asetettiin heti alusta alkaen myös nanoteknologiaan liittyvän yritystoiminnan edistäminen. Vuonna 2005 alkoivat yrityksille suunnatut tutkimus- ja tuotekehityspalvelut. Lisäksi vuoden 2006 alussa NSC sai teollisen neuvonantajaryhmän.

Nanotalon ylin kerros varattiin yrityksille ja sitä hallinnoi Teknoliakeskus. Ajatuksena oli edesauttaa tutkijoiden innovaatioiden kaupallistamista sekä luoda alan yrityksille mahdollisuus hyödyntää nanotalon osaamista, puhdistiloja ja laitteistoja.

Osalla tutkijoista olikin jo omia keksintöjä, kuten Jukka Pekolalla CBT-lämpömittari ja kryostaatti. Pekola oli keksintöjään varten perustanut kumppaneineen vuonna 1996 yrityksen, Nanoway Oy:n. Varsinaisesti lämpömittarin kaupallistaminen kuitenkin lähti liikkeelle vasta vuonna 2005 Nanoway Cryoelectronics Oy:n perustamisen myötä. Tuolloin Pekola oli jo siirtynyt TKK:lle. Myöhemmin lämpömittarin markkinointi ja myynti siirtyi Aivon Oy:lle.

### Researchers' own inventions

Nanoscience Center set out from the start to promote nanotechnology related business. Research and product development services for business were started in 2005. At the beginning of 2006, NSC got an industrial consulting group. The upper floor of NSC was reserved for businesses and was managed by the Science Park (JSP). The idea was to assist in getting the researchers' innovations commercialized and to create an opportunity for businesses in the field to make use of NSC's expertise, cleanroom and equipment.

Some of the researchers already had inventions, such as Jukka Pekola with his Coulomb Blockade Thermometer and cryostat. Pekola had formed Nanoway Oy in 1996 with colleagues to commercialize his inventions. It wasn't until 2005 and the founding of Nanoway Cryoelectronics Oy however, that the thermometer's commercialization finally got moving. At that point, Pekola had already moved to TKK. Later, the marketing and sales of the thermometer was transferred to Aivon Oy.



Kryostaatteja Pekola valmisti alusta alkaen lähinnä omaan tutkimuskäyttöön, ilman varsinaista liiketoimintaa. Pekolan mukaan syynä on se, että kyseessä on erikoislaite, joita ei valmisteta kuin pesukoneita – eikä huolleta. Kryostaattien kaupallistaminen olisi vaatinut asialle omistautunutta ja alaa erinomaisesti tuntevaa yrittäjää. Patentit ovat Nanoway Cryoelectronicsin alla.

In the beginning, Pekola manufactured the cryostats primarily for his own use, without any real business activity. Pekola explains that was because they are such specialty devices and they are not manufactured, or maintained, like washing machines. Proper commercialization of the cryostats would have required business partner devoted to and especially knowledgeable in the field. The patents are owned by Nanoway Cryoelectronics.



*Jukka Pekola kehitti Jyväskylässä maailman ensimmäisen nanoelektronikan laitteen, CBT-lämpömittarin. Kuvassa Nanowayn miehet Vesa Ylönen (vas.), Juha Kauppinen, Sami Pöyhönen (takana Jari Kauranen) ja Jukka Pekola RIE-syövyttimen kimpussa syksyllä 2002.*

*Jukka Pekola developed the first commercial nanoelectronic device in the world, the CBT thermometer. The staff of the company Nanoway in the photo: Vesa Ylönen (left), Juha Kauppinen, Sami Pöyhönen (behind him Jari Kauranen) and Jukka Pekola working with the RIE-apparatus (autumn 2002).*



*Yhdysvaltain suurlähettiläs Barbara Barret tutustui vierailullaan vuonna 2009 Peltonen nanosuksiin, joissa on hyödynnetty Jyväskylässä innovoitua nanomateriaalia hyptoniittia. Kuvassa kehitysjohtaja Esko Peltonen Jyväskylä Innovationista (vas.), suurlähettiläs Barbara Barret, tutkimusjohtaja Ari Virtanen kiihdytinlaboratorios- ta sekä Nanotiedekeskuksen johtaja Matti Manninen.*

*The ambassador of the United States, Barbara Barret, learned about nanoskis during her visit in 2009. These skis take advantage of the nanomaterial hyptonite invented in Jyväskylä. In the picture Esko Peltonen from Jyväskylä Innovation (left), ambassador Barbara Barret, research director Ari Virtanen from the accelerator laboratory, and the head of the Nanoscience Center Matti Manninen.*



*Nanotalon ylin kerros varattiin yritysten käyttöön.  
The topmost floor of the Nano building was reserved for companies.*

Jorma Virtanen puolestaan perusti Nanotiedekeskuksen yhteyteen kaksikin yritystä: vuonna 2004 Nanolab Systems Oy:n ja seuraavana vuonna spin off -yhtiön Amroy Europe Oy:n. Näistä Amroy sai paljon mainetta, sillä Virtasen kehittämä hiilinanoputkia sisältävä komposiittimateriaali hyptoniitti osoittautui nopeasti oivaksi vahvikemateriaaliksi muun muassa urheiluvälineissä.

Uusiin tiloihin asettautui myös vuonna 2003 perustettu Magnasense Oy, jonka takana oli joukko fysiikan ja biokemian osajia: biokemisti **Mika Laitinen**, biokemian professori **Matti Vuento** sekä fyysikot **Jari Salmela** ja **Jukka Pekola**. Yritys kehitti terveydenhuollon ja ympäristömitauksen pikatestejä, joissa hyödynnetään magneettisia nanohiukkasia.

Jorma Virtanen had founded two companies connected with Nanoscience Center – Nanolab Systems Oy in 2004 and the next year, its spin-off company, Amroy Europe Oy. Of these two, Amroy received a lot of attention, as Virtanen's carbon nanotube containing composite, Hybtonite proved to be a superb strengthening material in sporting equipment, for example.

Also taking up residence in the new building was Magnasense Oy, founded in 2003 by a group of physics and biology experts: biochemist **Mika Laitinen**, biochemistry professor **Matti Vuento** and physicists **Jari Salmela** and **Jukka Pekola**. The company developed a quick, field diagnostic system for health care and environmental monitoring based on magnetic nanoparticles.



*Jorma Virtanen (vas.) perusti vuonna 2004 Nanolab Systemsin, joka ryhtyi valmistamaan hyptoniittia. Yrityksen toimitusjohtaja Pasi Keinänen (keskellä) ja kehityspäällikkö Mikko Tilli (oik.) olivat Virtasen opiskelijoita.*

*Jorma Virtanen (left) founded the Nanolab Systems in 2004. It started developing hyptonite. The C.E.O. Pasi Keinänen (middle) and the development director Mikko Tilli (right) were Virtanen's students.*

## Tutkijoiden ambitiot toisaalla

Ihan toivotulla tavalla yritystoiminta ei nanotalossa lähtenyt liikkeelle, sillä uusia yrityksiä ei juuri syntynyt. Toisaalta Matti Mannisen mukaan tilanne oli ymmärrettävä.

- Tutkijoiden motivaatio on perustutkimuksessa, ja heitä ohjaavat tieteelliset ambitiot. Kynnys lähteä yritystoimintaan on aika suuri.

Nanotiedekeskuksen tutkijat ovat vuosien varrella tehneet paljonkin keksintöilmoituksia ja patentteja, mutta eivät ole juuri lähteneet yritystoimintaan mukaan. Viimeaikaisimpia esimerkkejä keksinnöistä ovat professori Mika Petterssonin ja yliopistonlehtori **Jussi Ahokkaan** vuonna 2012 kehittämä laserin avulla toimiva kaasuanalysointilaitteisto, jota voidaan käyttää muun muassa elintarvikepakkausten, kuten jauhelihan, suojakaasujen mittauksiin ja analysointiin. Professori **Jussi Timosen** ryhmä on puolestaan kehittänyt ja patentoinut vuonna 2013 uuden, lasersäteitä hyödyntävän ultraäänitekniikan osteoporoosin nopeaa ja tarkkaa seulontaa varten. Keksintöä kaupallistaa Critical Medical -niminen yritys, mutta Timonen ei ole itse siinä mukana.

Koska uusia yrityksiä ei nanotaloon syntynyt, tutkijat pikku hiljaa valloittivat ylimmän kerroksen yritystilat. Osittain yritysten lähdön taustalla oli myös se, että nanotalon tilojen vuokrat olivat melko korkeat.

## Researcher ambitions elsewhere

Commercialization of inventions at Nanoscience Center didn't take off quite as expected. New companies didn't really materialize. Matti Manninen feels the situation is to be understood.

- The researchers are motivated by basic research and are driven by scientific ambitions. The barrier to entrepreneurship is quite high.

Nanoscience Center researchers have made many patent applications over the years, but have not participated significantly in business activities. One very recent example of an invention came from Professor Mika Pettersson and University Lecturer **Jussi Ahokas** in 2012. Their invention is a laser based gas analysis device, which can be used to analyze the protective gases in food containers such as those for ground meat. Professor **Jussi Timonen's** group has developed and patented a new laser-based ultrasound osteoporosis screening device. The invention is being commercialized by Critical Medical but Timonen is not involved with the company. Since new companies have not been forming at NSC, the upper floor has slowly been taken over by researchers. Companies have also left the premises partly due to the relatively high rent at Nanoscience Center.

## Monenlaista yritysyhteistyötä

Yritysyhteistyötä ja palvelututkimuksia nanotalossa on kautta aikojen tehty paljon. Yhteistyöprojekteja on ollut monien yritysten kanssa. Lista on pitkä: Nokia, Metso, Moventas, Planar, UPM, MetsäSerla, M-real, Vapo, Fortum, Vaisala, Oxford Instruments Analytical, Biofellows, Immunodiagnostic, Enermet jne. Paikallisten yritysten ja kuntien rahoittamana perustettiin aikoinaan myös ensimmäinen alan professuuri, nanoelektronikan professuuri, johon Päivi Törmä vuonna 2001 valittiin.

## Various industry cooperations

Industrial partnerships and services have been numerous in Nanoscience Center over the years. The list of companies includes names like Nokia, Metso, Moventas, Planar, UPM, MetsäSerla M-real, Vapo, Fortum, Vaisala, Oxford Instruments Analytical, Biofellows, Immunodiagnostic, Enermet and more. Local companies and municipalities also funded the first nanoscience professorship, for which nanoelectronics professor, Päivi Törmä was selected in 2001.



*Nanotiedekeskuksen yrityspäivillä vuonna 2013 tutkijat esittelivät yrityksille projektejaan ja osaamistaan. Yrityspäiville osallistui yli 10 yritystä ja noin 60 hengen yleisö.*

*During the Business Day in Nanoscience in 2013 the researchers showcased their projects and knowhow to the companies. More than 10 companies and roughly 60 people participated.*

Nanotiedekeskus on aktiivisesti pyrkinyt edistämään yrittäjäyhteistyötä, parina viime vuonna muun muassa NANOPALVA-hankkeessa yhdessä kiihdytinlaboratorion kanssa. Vuosina 2012-2014 toteutettavassa hankkeessa parannetaan yrityksille tarjottavia teknologiapalveluita. Nanotiedekeskuksen yhteyshenkilö auttaa ja neuvoo yrityksiä.

Vuodesta 2012 lähtien NSC on järjestänyt yrityspäiviä, jossa tutkijat esittelevät yrityksille projektejaan ja osaamistaan. Lisäksi yritykset voivat kertoa omia odotuksiaan ja osaamistarpeitaan, sekä tutustua alan opiskelijoihin, joille voivat esimerkiksi ehdottaa opinnäytetöiden aiheita.

Nanoscience Center has actively promoted cooperation with industry, as with the NANOPALVA project from 2012 to 2014 which, together with the accelerator laboratory, acted to improve technology services offered to industry. Nanoscience Center has a contact person who assists and consults businesses.

From 2012, NSC has organized a Business Day, during which researchers present their projects and expertise to businesses. Additionally, businesses can present their expectations and needs while getting to know students in the field, potentially offering student project topics.



*Yrityspäivillä jäi aikaa myös vapaamuotoisille keskusteluille ja verkottumiselle. Yritykset saivat ehdottaa opinnäytetyön aiheita ja kertoa omista kiinnostuksistaan.*

*There was also time for free conversation and networking during the Business Day. Companies could propose thesis topics and tell about their own interests.*

# 7

## KOVAN TASON TUTKIMUSTA HIGH LEVEL RESEARCH

### Valonsieppauksen pioneeri

*Millenium-tunnustuspalkinnon saaneen Jouko Korppi-Tommolan tutkimustyötä ovat edistäneet Nanotalon hyvät puitteet – mutta ennen kaikkea hyvä yhteistyö fyysikoiden kanssa.*

Lokakuussa 2011 fysikaalisen kemian professori Jouko Korppi-Tommola sai puhelun Tekniikan Akatemian pääsihteeriltä. Tämä kertoi, että Korppi-Tommola saa Millenium-tunnustuspalkinnon.

- Sanoin puhelimeen, että täytyykö tämä uskoa, vai pitääkö minua nipistää korvaan, Korppi-Tommola kertoo.

Palkinto annettiin Korppi-Tommolan urauurtavasta työstä aurinkoenergian kehittäjinä. Hän on jo vuosia tutkinut Grätzel-aurinkoken-



*Jouko Korppi-Tommolan mukaan monitieteisessä ympäristössä oma viesti on kerrottava selkokielellä, jotta edistystä tapahtuisi.*

*According to Jouko Korppi-Tommola cross-disciplinary environment requires communication in plain language in order to get progress.*

### Light capturing pioneer

*Millenium Distinction Award winner, Jouko Korppi-Tommola has benefited from Nanoscience Center's excellent facilities, but more importantly from good collaborations with physicists.*

In October 2011, physical chemistry professor, Jouko Korppi-Tommola received a phone call from Technology Academy Finland (TAF) secretary general to inform him that he had won the Millenium Distinction Award.

- I asked if this was really happening or was I just dreaming, Korppi-Tommola recalls.

The award was given to Korppi-Tommola for his ground breaking work on solar energy. He has long studied electrical phenomena in Grätzel cells

noissa ja yhteyttävissä kasveissa tapahtuvia sähköisiä ilmiöitä. Lisäksi Korppi-Tommola on ollut keskeinen henkilö yliopiston uusiutuvan energian opetus- ja tutkimushankkeissa. Hankkeissa rakennettiin esimerkiksi vuonna 2005 Saarijärven koulukeskuksen katolle 6 kW:n aurinkopaneelisysteemit sekä Viitasaaren ABC-huoltoasemalle lämpöpumppu Keiteleeseen, josta se saa 60 prosenttia lämmöstään.

## Koeluento ja Kalevan kisat

Korppi-Tommola aloitti vuonna 1980 fysikaalisen kemian professorina Jyväskylässä. Hän ryhtyi välittömästi yhteistyöhön fyysikoiden, etenkin Jussi Timosen, kanssa - ja yhteistyö jatkuu edelleen. Fyysikoilla oli ratkaiseva rooli aikoinaan myös Korppi-Tommolan päätymisessä Jyväskylään.

Korppi-Tommola oli Kanadassa post doc -tutkijana, kun Jyväskylässä aukeni professorin virka. Ongelmana oli, että hänen oli matkustettava Suomeen pitämään koeluento, mutta nelihenkeisen perheen talous oli tiukilla. Hän soitti Fysiikan laitoksen johtajalle Justus Kantelelle ja kysyi, miten hyvät mahdollisuudet olivat eli kannattiko lentää paikalle. Korppi-Tommola sai kehotuksen tulla. Sen jälkeen hän meni pankkiin - ja otti lainan.

- Ilokseni koeluento oli kesällä samoihin aikoihin kuin Kalevan kisat, ja pääsin samalla hyppäämään seivästä, Korppi-Tommola hymähtää.

Korppi-Tommola oli aikoinaan Suomen kuudenneksi paras seiväshyppääjä. Sillä kertaa hyppy eivät oikein sujuneet, mutta hän sai professuurin. Palattuaan Kanadaan

and photosynthetic plants. Additionally, Korppi-Tommola has been a central figure in the university's renewable energy teaching and research proposals. In 2005, such proposals helped to build a 6 kW solar panel system on the roof of Saarijärvi Central School and a heat pump at the Viitasaari ABC station, from which it gets 60 percent of its heat.

## Trial lecture and the Kaleva Games

Korppi-Tommola started as a physical chemistry professor at Jyväskylä in 1980. He immediately began collaborating with physicists, especially with Jussi Timonen. That collaboration continues to this day. Physicists had a central role in Korppi-Tommola coming to Jyväskylä. He was in Canada as a postdoctoral researcher when the professorship opened. The problem was that he had to travel to Finland to give a trial lecture, but his family of four was in a tight financial spot. He called the head of the physics department, Justus Kantele and asked what his odds were and would it be worth travelling. Korppi-Tommola was encouraged to come. After that, he went to the bank and took out a loan.

- To my delight, the trial lecture was in summer at the same time as the Kaleva Games (Finnish Championship in track and field) so I had a chance to participate in the pole vault, laughs Korppi-Tommola.

Korppi-Tommola was once the sixth best pole vaulter in Finland. This time his vaults didn't go so well, but he got the professorship. Upon returning to Canada to continue his postdoctoral research, he received a card from



jatkamaan post doc -tutkimuksiaan hän sai Jyväskylästä kortin, jonka oli allekirjoittanut teoreettisen fysiikan professori **Pertti Lipas**.

- Siinä luki: Jouko, kyllä me tarvitsemme sinua täällä Jyväskylässä. Siltä pohjalta oli helppo aloittaa yhteistyö.

## Laseria katsomaan taksikyydillä

Korppi-Tommola muistelee, että alkuvaiheessa tutkimusrahoitus oli tiukilla. Hän keksi Timosen kanssa hakea yhdessä Neuvostoliiton ”munarahoja”, joilla he saivat hankittua Virostä ensimmäisen UV-alueella toimivan ek-simerlaserin. Siihen aikaan tutkijat pääsivät tutustumaan laseriin Talinnasta käsin vain taksikyydillä, koska laite oli nähtävissä Neuvostoliiton armeijan tutkimuslaitoksessa Tartossa, ulkomaalaisilta suljetussa kaupungissa.

- Aluksi käytimme sitä fluoresenssimittauksissa. Tutkimme Nesteen rahoittamana auton mäntien karstoja ja VTT:lle savukaasujen aromaattisia yhdisteitä. Kehitimme myös Kajaanin elektroniikalle uuden valkaisu-mittarin.

Seuraavaksi tutkijat ryhtyivät räjäyttämään laserilla materiaaleja. He totesivat, että kun tehdään laserilla 0,1 mm reikä materiaaliin, siinä kehittyi 13 000 kelvinin plasma, joka syöksyy 10 km/s vauhdilla ilmakehään.

- Sen napsahduksen kuulee, se on hirveän kirkas. Tarvitsimme vain detektorin, jolla viivytimme valon ilmaisu 100 ns. Silloin näimme kaikki plasmassa olevat alkuaineet yhdellä kertaa.

Tutkijat alkoivat soveltaa menetelmää muun muassa paperin, metallipinnoitteiden ja malmien ainejakautumien tutkimiseen. Suomalaiset paperinvalmistajat, kuten StoraEnso ja UPM, kaivosala ja metallipinnoittajat kiinnostuivat - tutkijat saivat rahoitusta. Myöhemmin menetelmään liitettiin Timosen mikroröntgentomografia, jolloin

Jyväskylä signed by theoretical physics professor, **Pertti Lipas**.

- It read, ‘Jouko, we do need you here in Jyväskylä’. On that basis, it was easy to start cooperation.

## Visiting a laser by taxi

Korppi-Tommola remembers that funding was tight in the beginning. He and Timonen got the idea to apply for funds from the Soviet Union, with which they got their first UV excimer laser from Estonia. In those days, the researchers were able to go see the laser first hand only by taxi, since the device was in a Soviet army research institute in Tartu, off limits to foreigners.

- At first we used it for fluorescence measurements. Neste funded studies of automobile tire deposits on highways and VTT funded studies of aromatic components of exhaust gas. We also developed a new bleach meter for Kajaani Electronics Oy.

Next, the researchers began ablating materials with the laser. They discovered that, when a laser makes a 0.1 mm hole into a material, it produces a 13,000 kelvin plasma, which is expelled at 10 km/s.

- You can hear it click and it’s terrifically bright. We just needed a detector, with which we delayed registering the light by 100 ns. Then we were able to see all the chemicals in the plasma at once.

The researchers began to apply the technique to studying metal-coated papers and the chemical composition of ores. Finnish paper companies, including Stora Enso and UPM as well as the mining and metal coating industries were interested and funded the research. Later, Timonen’s x-ray micro tomography was added to the method, giving access to the samples’ morphology and three-dimensional imaging of chemical composition at a micrometer scale.

päästiin käsiksi näytteen morfologiaan ja alkuaineiden kolmiulotteiseen kuvantamiseen samasta tilavuudesta mikrometrikokoluokassa.

## Valonsieppauksesta aurinkokennoihin

Kemian laitoksen muutto Ylistönmäelle vuonna 1991 tarjosi uudet tilat, ja tutkijat saivat Suomen Akatemian rahoituksella käyttöönsä ensimmäiset femtosekuntien aikaerotuskykyyn yltävät laserlaitteet, kuudentena maailmassa. Korppi-Tommolan tutkimus keskittyi 1990-luvulta lähtien fotosynteesin pigmentteihin ja valonsieppaukseen.

- Tutkimme aluksi klorofyllejä liuostilassa. Huomasimme, että ne takertuivat toisiinsa ja muodostivat pitkiä heliksin muotoisia ketjuja. Havaitsimme, että samalla niiden valonsiirtoteho nousi tuhatkertaiseksi.

Klorofylleistä tutkijat siirtyivät purppurabakteereista eristettyjen valonsieppausantennien ja myöhemmin aurinkokennojen tutkimiseen. Tutkimusmenetelmät hioutuivat ja Korppi-Tommolan ryhmä nousi kansainväliseen tietoisuuteen valonsieppauksen ja sähkönsiirron tutkimuksessa.

Kun 1990-luvun alussa Michael Grätzel keksi nanohiukasia hyödyntävät väriaineherkistetyt aurinkokennot (Grätzelin kennot), Korppi-Tommola oli ensimmäisten joukossa tutkimassa niissä tapahtuvia sähkökemiallisia reaktioita ja elektroninsiirtoa, sekä kehittämässä kennoja edelleen. Aurinkokennotutkimuksissa yhteistyötä talon sisällä tehtiin muun muassa Jussi Topparin ja **Karoliina Honkalan** ryhmien kanssa.

## From light capture to solar cells

The chemistry department's move to Ylistönmäki in 1991 provided new laboratory space. Also, the Academy of Finland funded the purchase of femto-second resolution laser equipment – the sixth such device worldwide. Korppi-Tommola's research since the 1990's focused on photosynthesis pigments and light capture.

- At first we studied chlorophyll in solution. We noticed that they tended to aggregate and form long, helical chains and at the same time their light transport efficiency increased a thousand fold.

The researchers moved from chlorophyll to purple bacteria insulated light capture antennae and later solar cell light capture research. The research methods were improved and Korppi-Tommola's group rose to international recognition in light capture and electron transfer research. When Michael Grätzel invented the nanoparticle based, dye-sensitized solar cell (Grätzel cell) in the early 1990's, Korppi-Tommola was among the first to study its electro-chemical reactions and electron transfer as well as developing the cell further. Solar cell research was done at NSC in collaboration with Jussi Toppari's and **Karoliina Honkala's** groups.

## Tarvitaan kärsivällisyyttä

Korppi-Tommolan mukaan nanotalon valmistumisen myötä tutkimusolosuhteet paranivat merkittävästi. Tutkijat saivat itse suunnitella laboratorion olosuhteet sopiviksi: riittävät lämpötila- ja kosteussäädöt, sopivat tilat, uudet optiset pöydät.

- Saatoimme myös hankkia pöydän päälle pantavaa, pumppulasereita lukuun ottamatta rakensimme mittalaitteistot itse.

Toisaalta pelkät hyvät puitteet eivät yksin tuota hyvää tulosta: vasta todellinen tutkijoiden välinen yhteistyö tuo tulosta, eikä se synny hetkessä. Tarvitaan kärsivällisyyttä ja pitkäjänteisyyttä.

- Esimerkiksi biokemian terminologian omaksuminen vie aikansa. Siihen ei tahdo millään päästä kiinni, jollei ole lukenut heidän 1000-sivuista peruskurssikirjaansa.

Sama koskee teoreettista fyysikköä, joka puhuu kemistille tai biologille. Fyysikko ei välttämättä tunne keinoja selvittää satoja tuhansia atomeja sisältävien biorakenteiden toimintaa luonnossa. Jotta edistystä tapahtuisi oma viesti on pyrittävä tuomaan esille selkokielellä, mutta tarvitaan myös halua ymmärtää toisen kieltä.

- Tärkeää on molemminpuolinen kunnioitus. Tässä suhteessa Nanotiedekeskus on yhteisönä edistynyt merkittäväällä tavalla. Sen käyntikortti on todellinen monitieteisyys.

Korppi-Tommolan mukaan yhteistyö vaatii aina sopivat ihmiset ja henkilökemiaa. Toisaalta 150 hengen yhteisössä on hyvä todennäköisyys, että sopivat kombinaatiot löytyvät.

- Me-hengen luominen tärkeää. Annetaan toiselle tunnustus silloin kun se kuuluu antaa. Reidar Särestöniemi sanoo osuvasti: ”Kun onnea tulee, on sitä saatava lisää, jotta se jakaa muillekin, kadehtimalla ei mihkän päälle”

## Patience is needed

According to Korppi-Tommola, research conditions improved significantly during completion of Nanoscience Center. Researchers were able to design the appropriate laboratory space themselves: sufficient temperature and humidity controls, suitable space and new optical tables.

- Perhaps we obtained some items to put on the tables as well – measurement setups, excluding lasers, we built ourselves.

Simply being well-equipped however, does not bring good results. It is only with the right cooperation among researchers, that results are born. And that too takes time. Patience and perseverance are needed.

- Becoming acquainted with biology terms for example, takes time. It just doesn't seem to stick without having read their 1000-page fundamentals textbook.

The same goes for the theoretical physicist speaking with a chemist or biologist. The physicist doesn't necessarily know the methods for determining the behavior of a several thousand atom biological structure in nature. In order for progress to be made, one's own message must be brought forward clearly. But it also requires the desire to understand the other's message.

- Mutual respect is important. In this regard, Nanoscience Center as a community, has progressed notably. It is genuinely an interdisciplinary center.

According to Korppi-Tommola, cooperation always requires the right people and interpersonal chemistry. In an organization with some 150 people, the chances of finding the right combination of people are high.

- It is important to foster community spirit. Give others recognition when it is deserved. Reidar Särestöniemi said it well: “When luck strikes, you gotta get some more, so you've got some to give, envy gets you nowhere”.

## Fysiikalla biologian uumeniin

*Nanotiedekeskus vei fysiikan professori Jussi Timosen virusten kimppuun.*

Fysiikan professori Jussi Timosen mukaan Nanotiedekeskuksella on ollut iso merkitys, sillä se on lisännyt eri alojen tutkijoiden yhteistyötä. Timosen kohdalla se on tarkoittanut uuden tutkimussuunnan avautumista.

- Teen nyt hyvin paljon yhteistyötä Biologian laitoksen kanssa. Tutkimme miten proteiinit liikkuvat solussa.

Yhteistyö alkoi Nanotiedekeskuksen myötä, kun biologit ottivat yhteyttä Timoseen ja pyysivät apua. Tutkijat ryhtyivät yhdessä selvittämään, miten virukset ottavat solun lisääntymiskoneiston haltuunsa.

Timosen fysiikan tutkimusryhmä mallintaa ja tekee teoriaa virusproteiinien kulkeutumisesta solussa. Maija Vihinen-Rannan tutkimusryhmän molekyylibiologit tekevät mittaukset.

- Proteiinien kulkeutumista voidaan laskea, se on pääosin diffuusiota. Välillä proteiini sitoutuu johonkin paikkaan, tekee jotain ja jatkaa jälleen matkaansa.

## From physics to the depths of biology

*Nanoscience Center took physics professor, Jussi Timonen to virus research.*

Physics professor, Jussi Timonen confirms that Nanoscience Center has had a large impact. It has increased collaborations among different fields. In Timonen's case, it has meant the opening up of a new research direction.

- These days, I do a lot of work with the biology department. We study how proteins move within cells.

Cooperation began via Nanoscience Center, when biologists contacted Timonen for help. Together, researchers

started investigating how viruses take control of cells' replication mechanisms.

Timonen's research group models and develops theoretical understanding of virus protein mobility in cells. Molecular biologists in Maija Vihinen-Ranta's group do the measurements.

-Protein transport can be calculated. It is mostly diffusive. Sometimes the proteins may attach to some place, perform some action and then continue again.



*Jussi Timosen mukaan maailmalla fysiikkaa käytetään biologisten ongelmien ymmärtämiseen paljonkin, mutta Suomessa yllättävän vähän.*

*According to Jussi Timonen physics is used to understand biological problems all around the world, but in Finland surprisingly little.*

Timosen mukaan maailmalla fysiikkaa käytetään hyvin paljon biologisten ongelmien ymmärtämiseen, mutta Suomessa yllättävän vähän.

- Monimutkainenkin kokonaisuus syntyy yksinkertaisista osista. Niitä osia pystytään analysoimaan fysiikan avulla aika helpostikin.

## Perustutkimuksella voidaan ratkaista ongelmia

Yhteistyötä yli rajojen Timonen on tehnyt aiemminkin. Yhteisprojekteja on ollut muun muassa fyysikaalisen kemian professori Jouko Korppi-Tommolan ja fysiikan professori Matti Mannisen kanssa.

- Manninen tutki atomiklustereita ja minä tutkin magneettisia järjestelmiä. Tämä yhdistyi hankkeessa, jossa tutkimme magneettisia klustereita.

Vaikka Timonen on teoreettinen fyysikko ja tekee perustutkimusta, hän ollut paljon tekemisissä myös yritysten kanssa.

- Yrityksissä tuotekehitys vaatii perustutkimuksellista otetta, jotta ongelmat osataan ratkaista. Meidän tehtävämme on ollut ymmärtää ilmiöt ja selittää ne, Timonen kertoo.

Tutkimusyhteistyötä on ollut UPM:n, Stora Enson, Metsäbotnian, Metson, Valmetin ja Posivan kanssa. Timosen ryhmä on muun muassa mallintanut paperiyhtiöille paperimassan märkäpuristusprosessin ja analysoinut Posivalle alkuaineiden kulkeutumisesta kallioperässä.

Timonen states that physics is being used extensively around the world to understand biological problems, but surprisingly little in Finland.

- Even a complex whole is made up of many smaller components. These components can be studied rather easily using the methods of physics.

## Basic research to solve problems

Collaboration across disciplinary borders is something Timonen has done before. He has had joint projects with physical chemistry professor Jouko Korppi-Tommola as well as physics professor Matti Manninen.

- Manninen was studying atomic clusters and I was studying magnetic systems. We joined for a project to study magnetic clusters.

Though Timonen is a theoretical physicist and does basic research, he has been involved with businesses as well.

- Product development also demands a basic research approach in order to solve problems. Our job has been to understand phenomena and explain them, says Timonen.

There has been research cooperation with UPM, Stora Enso, Metsäbotnia, Metso, Valmet and Posiva. Timonen's group has, for example, modelled the wet pressing process of pulp for paper manufacturers and analyzed chemical drift in bedrock.

## Osteoporoosilaitteesta tuli liiketoimintaa

Timonen on myös keksijä. Hän on kehittänyt yhteistyössä Terveystieteen laitoksen kanssa laitteen, jota voidaan käyttää osteoporoosin eli luukadon selvittämiseen. Kyseessä on merkittävä kansanterveydellinen ongelma, joka pahenee väestön ikääntyessä. Nykyiset röntgeniin perustuvat menetelmät mittaavat vain luun tiheyttä, eikä niillä voida luotettavasti ennustaa murtuma-alttiutta.

Timonen on tehnyt osteoporoositutkimusta jo 1980-luvulta lähtien Terveystieteen laitoksen kanssa. Uudenlaista mittauslaitetta tutkijat ryhtyivät kehittämään 1990-luvun alkupuolella.

- Laittemme sai myyntiluvan elokuun lopussa 2013 ja Critical Medical -niminen yritys on kaupallistanut menetelmän, kertoo Timonen.

Kyseinen laite käyttää matalia ultraäänitaajuuksia, joilla luuta pystytään mittaamaan syvemmältä, kuin nykyisin käytössä olevilla menetelmillä. Kehitteillä on myös edelleen paranneltu versio, jossa ultraääni synnytetään laser-signaalilla. Menetelmä patentoitiin viime vuonna.

Laserin etuna on, että sen avulla ultraääni voidaan entistä paremmin räätelöidä. Lisäksi inhimillinen mittaajan vaikutus poistuu, sillä laseria käytettäessä mittaajan ei tarvitse kuljettaa laitetta kontaktissa ihoa pitkin. Laservalo ohjataan ihon läpi.

### Sivussa, mutta mukana

Jussi Timosen työhuone on koko ajan ollut Fysiikan laitoksella. Hän kokee olevansa Nanotiedekeskuksessa ikään kuin liitännäisjäsen: oman tiensä kulkija, mutta silti jengissä mukana.

Moni muukin tutkija on Timosen tavoin mukana keskuksen toiminnassa, vaikka ei fyysisesti istukaan nanotalossa.

## Osteoporosis device becomes business

Timonen is also an inventor. He has developed a device, in collaboration with the health science department, for detecting osteoporosis. It is a significant national health problem which worsens as the population ages. Current x-ray methods only measure bone density and they do not reliably determine likelihood of fracture.

Timonen has researched osteoporosis in cooperation with the health science department since the 1980's. The researchers began developing new measurement devices in the beginning of the 1990's.

- The device was granted approval for sale at the end of August and a company named Critical Medical is commercializing the method, tells Timonen.

The device in question uses low ultrasound frequencies which allows deeper measurement of the bone than current methods. An improved version is in development which produces the ultrasound using a laser signal. The method was patented last year.

The benefit of the laser is a greater ability to tune the ultrasound frequency. Additionally, the influence of the measurement device is removed, as it does not require moving the device in contact along the skin. The laser light is directed through the skin.

### Separate, but included

Jussi Timonen's office has always been at the physics department. He feels somewhat like an associate member at Nanoscience Center, doing his own thing, but still one of the gang.

Many other researchers are associated with the Center as Timonen is, without physically being at Nanoscience Center.

# 8

## YHDESSÄ KANSAINVÄLISELLE HUIPULLE TOGETHER TO INTERNATIONAL FOREFRONTS



Kultananopartikkeli-  
tutkimuksella  
kansainväliselle  
huipulle

Gold nanoparticle  
research reaches  
international heights

*Hannu Häkkinen*

*Kirjoittaja, laskennallisen nanotieteen professori Hannu Häkkinen on työskennellyt Jyväskylän yliopistossa vuosina 1994-98 sekä vuodesta 2003 lähtien.*

*The author Hannu Häkkinen, professor in computational nanosciences, has worked in the University of Jyväskylä during 1994-98 and since 2003.*

”Ryhmämme tutkii kultananohiukkasten rakennetta ja kemiallisia ominaisuuksia. Viimeisen kahdeksan vuoden aikana tutkimuksemme on Nanotiedekeskuksen sisäisen yhteistyön voimalla noussut kansainväliseen kärkeen. Teimme läpimurron osoittaessamme, että kultananohiukkasilla voidaan leimata eläviä viruksia. Menetelmä tuo uuden keinon seurata virusinfektion etenemistä kudoksissa sekä tehostaa rokotekehitystä.”

”Our group studies the structure and chemical properties of gold nanoparticles. With the help of collaboration within Nanoscience Center, our research has attained leading international status. We made a breakthrough by demonstrating that gold nanoparticles can be used for labelling live viruses. The method offers a new approach to follow a viral infection within tissue and enhance vaccine development.”

Muutaman nanometrin kokoiset kultahiukkaset ovat viime vuosina herättäneet paljon kiinnostusta, sillä niille on löytynyt monia sovellusmahdollisuuksia. Niitä voidaan käyttää muun muassa katalyytteinä, optisen signaalin herkistäjinä, biokuvantamisen leimoina, lääkeaineiden kuljettajina ja molekyylielektronikan komponentteina.

Kultahiukkasia synnyttävä synteesi on ollut tiedossa jo 1990-luvun puolivälistä asti, mutta hiukkasten yksityiskohtaista atomirakennetta ei tunnettu ennen vuotta 2007. Tuolloin kemian Nobel-palkitun Roger D Kornbergin ryhmä onnistui ratkaisemaan atomirakenteen yksittäiskiteestä röntgendiffraktion avulla. [1]

Synteesissä käytetään liuoskemiallista menetelmää, jossa kultasuola pelkistetään ja syntyvät metallipartikkelit suojataan sopivilla orgaanisilla päällysmolekyyleillä. Rikkiä sisältävät orgaaniset tiolit ovat erityisen sopivia tähän tarkoitukseen, sillä ne muodostavat vahvan kemiallisen sidoksen kullan kanssa.

## Käänteentekevä ennustus

Oma mielenkiintoni tioleilla suojattuja kultahiukkasia kohtaan alkoi jo 1990-luvun lopulla. Työskentelin tuolloin tutkijana Atlantassa Georgia Institute of Technologyssä, jossa niitä valmistettiin ja karakterisoitiin. Tehtäväni oli simulointien avulla testata atomirakennemalleja kyseisille hiukkasille.

Jatkoin tutkimusta vuonna 2005 palattuani Nanotiedekeskukseen. Ryhmäni julkaisi vuonna 2006 rakenne-ennustuksen, jonka mukaan kulta-atomit ovat suojatussa hiukkasessa kahdenlaisessa kemiallisessa olomuodossa [2]. Ennusteen mukaan suurin osa atomeista on neutraalina, ”metallisena” aineena hiukkasen ytimessä, mutta merkit-

Gold nanoparticles of a few nanometers in size have stirred a lot of interest in the last few years, as many application opportunities have been found. They can be used, for example, as catalysts, optical signal enhancers, labels for bio-imaging, carriers for drugs and components in molecular electronics.

Gold particle synthesis has been known since the mid 1990's, but the details of their atomic structure was not known until 2007. It was then that the Nobel Prize winning chemist, Roger D. Kornberg's group succeeded in resolving the atomic structure of a certain gold nanoparticle using x-ray diffraction. [1]

The synthesis uses a chemical solution method in which a gold salt is reduced and the resulting metal particles are protected with suitable organic coating molecules. Sulfur containing organic thiols are especially well suited to this purpose due to their strong bonding with gold.

## A revolutionary prediction

My own interest in thiol protected gold particles began at the end of the 1990's. I was working in Atlanta at the Georgia Institute of Technology, where they were being fabricated and characterized. My task was to test atomic structure models of the particles with simulations.

I continued this research in 2005 upon returning to Nanoscience Center. My group published a structure prediction in 2006, in which the gold atoms are in two chemical states [2]. According to our prediction, most of the gold atoms formed a neutral “metallic” core at the center of the particle, but a significant portion were as individual positively charged ions within the molecular coating layer, strongly bonded to the sulfur ends of the thiol. We couldn't im-



tävä osa kullasta on yksittäisinä positiivisesti varattuina ioneina molekyylikerroksen sisällä, tiukasti tiolien rikkipäihin sitoutuneina. Emme tuolloin osanneet aavistaa, miten merkittäväksi tuo julkaisu muuttui jo vuoden sisällä.

Kornbergin tutkijat havaitsivat vuonna 2007 ratkaisemassaan 102 kulta-atomin ja 44 tiolin hiukkasen (Au<sub>102</sub>) rakenteessa, että 23 prosenttia kulta-atomeista löytyi tiolikerroksen sisältä. Tämä osoitti ennustuksemme oikeaksi. Tutkijat olivat löytäneet julkaisumme kirjallisuudesta ja työmme pohjalta vakuuttuneet, että heidän näkemänsä atomirakenne oli realistinen. Saimme nopeasti yhteyden Kornbergin ryhmään ja sovimme yhteistyön aloittamisesta.

## Nobelistin tulokset selitettiin

Yhteistyö lähti nopeasti liikkeelle. Ensimmäisenä tehtävänä oli analysoida Kornbergin ratkaiseman hiukkasen rakenne ja selittää simulointien avulla miksi juuri tuo partikkeli on kemiallisesti stabiili. Suomalaisia, saksalaisia ja ruotsalaisia suurteholaskentaresursseja käyttämällä löysimme vastauksen tähän ongelmaan muutamassa viikossa syksyllä 2007.

Totesimme, että hiukkasen ytimessä olevat, metalliseen kullaan osaan liittyvät elektronit järjestäytyvät hiukkasen pienen koon vuoksi erityisille energiatasoille. Kyseisessä hiukkasessa elektroneja on juuri riittävä määrä, jotta tietty energiataso eli elektronikuori täyttyy. Nimitimme hiukkasen ”jalokaasuatomien kaltaiseksi superatomiksi”, sillä jalokaasut ovat alkuaineista kaikkein pysyvimpiä samasta syystä - elektronien energiatasojen täyttymisen ansiosta.

Jatkotutkimuksessa analysoimme muita, pienempiä päällysmolekyyleillä suojattuja kultahiukkasia. Ennustuksemme mukaan hiukkaset, joissa elektronikuoret täyttyvät,

agine at the time how significant the publication would become within one year.

Kornberg’s researchers solved a 102 gold atom and 44 thiol structure (Au<sub>102</sub>), and discovered that 23 percent of the gold atoms were to be found in the thiol layer. This showed our prediction to be correct. The researchers found our publication and, based on our work, were convinced that the atomic structure they saw was real. We quickly made contact with Kornberg’s group and agreed on a collaboration.

## Nobelist’s results explained

The collaboration started quickly. The first task was to analyze Kornberg’s solved particle structure and explain, via simulations, why exactly that particle is so chemically stable. Finnish, German and Swedish supercomputing resources were put to use to find the answer to this question in just a few weeks in the fall of 2007.

We confirmed that the electrons associated with the gold at the particle’s center are arranged in specific energy levels due to the small size of the particle. This particle has just enough electrons such that a particular energy level is filled. We named the particle a “noble-gas superatom”, since noble gases are stable for the same reason – that their electronic energy levels are filled.

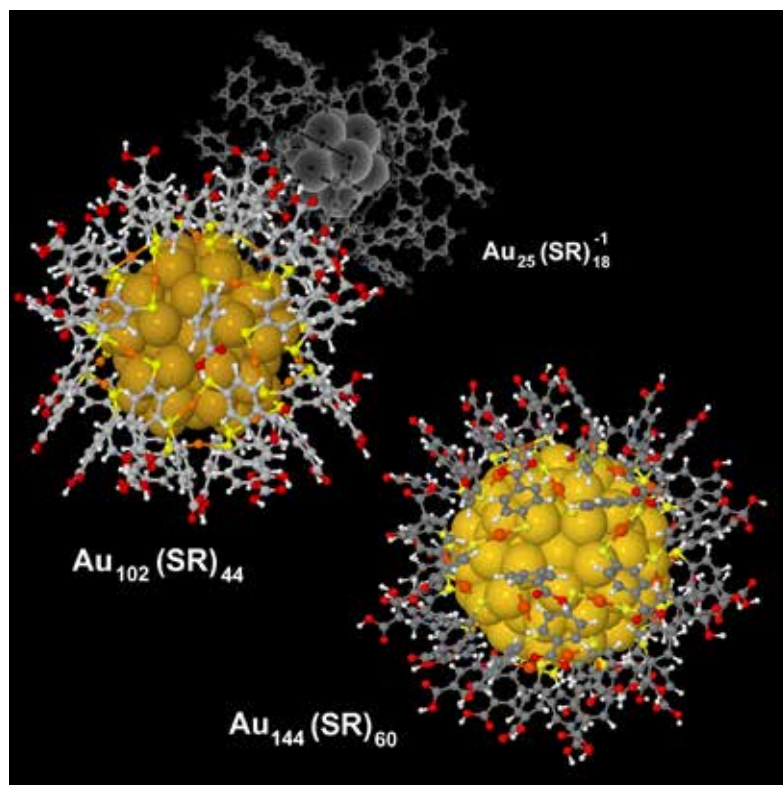
Continuing with this research, we analyzed other, smaller protected gold particles. According to our prediction, particles whose electron shells are filled will be especially stable. We published the analysis in the summer of 2008

tulevat olemaan erityisen pysyviä. Julkaisimme kyseisen analyysin kesällä 2008 yhdessä Kornbergin tutkijoiden kanssa [3]. Tuohon mennessä Yhdysvalloissa oli ratkaistu jo toisen, pienemmän tioleilla suojatun kultapartikkelin rakenne - joka sekini sopi hyvin simulointiemme antamaan teoreettiseen malliin.

Nykyisin tunnetaan jo ainakin viiden erikokoisen kulta-tioli-hiukkasan rakenteet. Vuonna 2006 tekemämme ennustus kulta-atomien kahdesta erilaisesta kemiallisesta olo muodosta partikkelin sisällä pitää edelleen pintansa (kuva 1). Kyseinen rakenne on löydetty myös tioleilla suojattujen tasomaisten, makroskooppisten kultapintojen metalli-molekyylirajapinnasta [4].

together with Kornberg's researchers [3]. By that time, the structure of another, smaller thiol protected gold particle had been solved and fit well with our simulations.

These days about five different sized gold-thiol-particle structures are known. The prediction we made in 2006 about the two different chemical states of gold atoms within the particle still holds (Figure 1). This structure has also been found in the metal-molecule boundary of thiol protected flat, macroscopic gold surfaces [4].



*Kuva 1. Au<sub>25</sub>, Au<sub>102</sub> ja Au<sub>144</sub> partikkelien atomirakenne. Tämä kuva julkaistiin tiedesarjan Journal of Physical Chemistry C kansikuvana huhtikuussa 2009. Kuva: Jaakko Akola ja Michael Walter 2008.*

*Figure 1. Au<sub>25</sub>, Au<sub>102</sub> and Au<sub>144</sub> particles' atomic structure. This image was published and appeared on the cover of the Journal of Physical Chemistry C in April 2009. Image: Jaakko Akola and Michael Walter 2008.*

## Yhteistyö laajenee Nanotiedekeskuksessa

Teoreettiset ennustuksemme ja analyysimme kultapartikkelien elektronirakenteesta ja stabiilisuuden syistä herättivät välittömästi laajan kansainvälisen kiinnostuksen tutkijapiireissä. Vuonna 2010 yhteistyö Kornbergin ryhmän kanssa syveni ja samalla laajeni Nanotiedekeskuksen sisällä, kun saimme Stanfordin Au102-partikkelinäytteitä fyysikaalisen kemian professori Mika Petterssonin spektroskopiaryhmälle analysoitavaksi. Selitimme saadut analyysitulokset Au102-partikkelin elektronirakenteesta ja säteilyn absorptiokyvystä ryhmäni tekemillä simuloineilla. Julkaisimme tulokset Kornbergin ryhmän kanssa 2011 [5].

NSC:n kultapartikkelitutkimuksen laajenemiseen fyysikojen ja kemistien väliseksi yhteistyöksi vaikutti myös se, että professori Robert L. Whetten Atlantasta oli kemian laitoksen ja NSC:n FiDiPro-professorina Suomen Akatemian rahoituksella vuosina 2010-11. Samoihin aikoihin päätimme aloittaa NSC:n oman kultapartikkelisynteesin orgaanisen kemian professori Maija Nissisen ryhmän ja lehtori Tanja Lahtisen avulla. Palkkasin projektiin tutkija-tohtoriksi Kirsi Salorinteen – ja huomasin teoretikkona rahoittavani ensimmäistä kertaa elämässäni myös kekeellistä tutkimusta. Jatkossa saimme siis itse tuotettuja hiukkasia analysoitavaksi ja sovelluksissa käytettäväksi. Niistä saattaisi myös löytyä uusia, ennen tuntemattomia kokoja ja rakenteita.

## Cooperation expands at Nanoscience Center

Our theoretical predictions and analyses of gold particles' electronic structure and causes of stability sparked immediate worldwide interest among researchers in the field. In 2010, the collaboration with Kornberg's group intensified while also expanding within Nanoscience Center, when we received Au102 particle samples from Stanford for spectroscopic analysis by chemistry professor Mika Pettersson's group. We explained the results of their analysis on Au102 particles' electronic structure and radiation absorption using our simulations. These results were published with Kornberg's group in 2011 [5].

The expansion of NSC's gold particle research to a collaboration between physicists and chemists was influenced also by Professor Robert L. Whetten of Atlanta being the Academy funded FiDiPro Professor for the chemistry department and NSC from 2010 to 2011. At the same time, we decided to start NSC's own gold particle synthesis with help from organic chemistry professor, Maija Nissinen's group and lecturer Tanja Lahtinen. I hired an excellent experimentalist, Kirsi Salorinne, and realized I was directly involved in very exciting experiments for the first time in my life. We were able to continue with our own produced particles for analysis and applications. They might reveal new, yet unknown sizes and structures.

## Viruksista uusi tutkimuskohde

Vuoden 2011 lopulla NSC:n sisäinen fyysikkojen ja kemistien välinen yhteistyö oli hyvässä vauhdissa, mutta keskittyi lähinnä hiukkasten synteessin optimoimiseen sekä tarkkojen havainnointimenetelmien testaamiseen ja kehittämiseen. Meiltä puuttui sopivan haastava sovelluskohde.

Marraskuussa 2011 järjestimme aivoriihen enterovirusia pitkään tutkineen solubiologian dosentti Varpu Marjomäen kanssa. Enterovirukset ovat ihmisiä infektoivia patogeenejä, jotka aiheuttavat esimerkiksi suurimman osan vuosittaisista nuhakuumeista. Ne aiheuttavat myös vakavia oireita, kuten sydänlihastulehduksia ja halvaantumisia. Lisäksi niiden on todettu olevan osallisina kroonisten sairauksien, kuten diabeteksen synnyssä.

Marjomäen ryhmä oli aikaisemmin tutkinut muun muassa enterovirusten solunsisäisiä reittejä ja solussa infektiota edistäviä tekijöitä. Solutasolla puuttuu erityisesti mekaaninen ymmärrys siitä, miten virus avautuu solun rakenteissa ja luovuttaa perimänsä uusien virusten valmistamiseksi. Kudostasolla infektioprosessi tunnetaan vielä paljon huonommin. Luotettavien kuvantamistyökalujen puute on ollut suuri ongelma.

Tiesimme kirjallisuudesta, että huomattavasti suurempia (kolloidisia) kultahiukkasia on pitkään käytetty leimoina biologisten molekyylien elektronimikroskooppikuvauksessa, sillä kulta parantaa suuren elektronitiheydensä ansiosta mikroskooppikuvien kontrastia. Hiukkasten sitoutuminen biomolekyyleihin on kuitenkin verraten heikkoa sekä epäspesifistä ilman kemiallisia sidoksia.

## Viruses become a new research target

At the end of 2011, NSC's internal collaboration between physicists and chemists was in full swing, but focused primarily on optimizing particle synthesis as well as the testing and development of high sensitivity observation methods. We were missing a sufficiently challenging application idea.

In November 2011, we organized a brainstorming event with cell biology docent, Varpu Marjomäki, who had prior experience with enteroviruses. Enteroviruses are human infecting pathogens which cause, for example, most yearly colds and fevers. They also cause more serious symptoms, such as infection of the heart muscle and paralysis. Additionally, they have been partially implicated in the onset of chronic diseases such as diabetes.

Marjomäki's group had studied the motion of enteroviruses within cells and factors inhibiting viral infection in the cell. There is a lack of mechanical understanding of how a virus opens up within cell structure and allows the cell to produce new viruses. The infection process is understood even more poorly at the tissue level. The lack of reliable imaging tools has been a large problem.

We knew from the literature, that significantly larger (colloidal) gold particles have long been used as markers of biological molecules for electron microscopy, since gold's high electron density improves the contrast of electron microscope images. The bonding of the particles to bio-molecules is relatively weak and non-specific without chemical bonds.

Ongelman innoittamana päätimme aloittaa fyysikkojen, kemistien ja biologien välisen yhteistyön. Ensimmäinen tavoitteemme oli kehittää uusi menetelmä, jolla kulta- hiukkaset voitaisiin selektiivisesti kiinnittää enterovirusten pinnalle.

## Uusi biokuvantamis- menetelmä

Kehitimme menetelmän, jossa kiinnitämme itse tuot- tamamme 1 – 3 nanometrin kokoiset kultahiukkaset enterovirusten pintaproteiineihin tarkasti määriteltyjen kemiallisten sidosten avulla. Pyrimme saamaan virusten elektronimikroskooppikuvia varten tarkkoja leimoja, joi- den avulla voisimme mahdollisesti päätellä jopa viruksen pinnan rakennetta. Ideana oli, että kultahiukkaset pysyvät viruksessa kiinni koko sen eliniän, jolloin niiden avulla voidaan tehdä päätelmiä virusten rakenteen muutoksista (kuva 2).

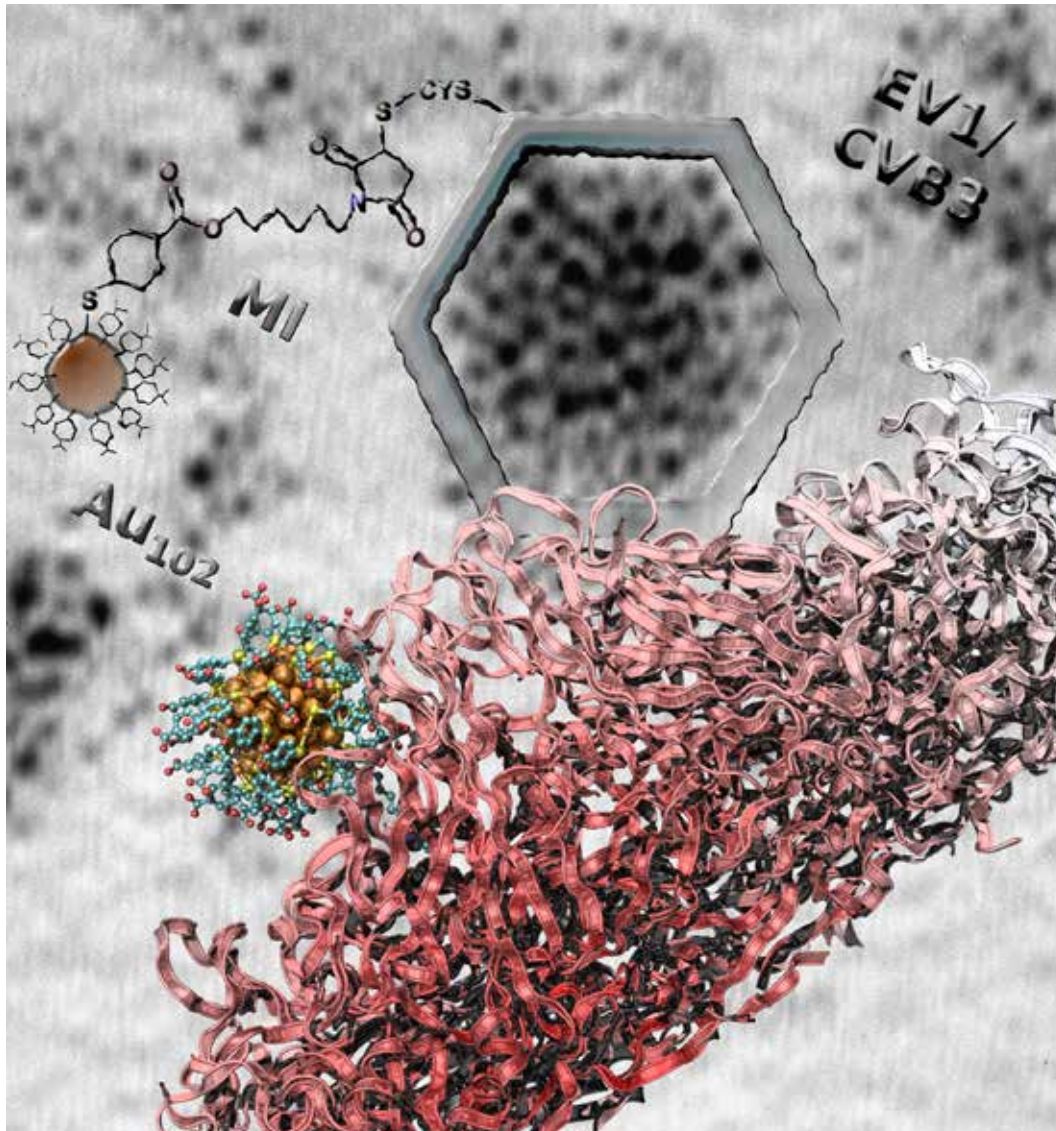
Onnistuimme tavoitteissa. Julkaisimme noin puolitoi- sta vuotta kestäneen kehitystyön ensimmäiset tulokset tammikuussa 2014 arvostetussa USA:n tiedeakatemia- lehdessä Proceedings of the National Academy of Scien- ces. [6] Tutkimuksessa osoitimme, että kultapartikkeilla leimatut virukset säilyttävät infektiivisyytensä samalla ta- valla kuin leimaamattomat virukset. Leimausmenetelmä ei siis muuta viruksen biologista toimintaa solun sisällä.

As a source of inspiration for the problem, we decided to start a collaboration between physicists, chemists and bi- ologists. The first task was to develop a new technique for attaching the gold particles to the surface of the entero- virus.

## New bio-imaging technique

We developed a method, in which we attach our own made 1 to 3 nanometer sized gold particles onto the sur- face proteins of enteroviruses using a precisely defined chemical bond. We aim to get precise markers for electron beam imaging such that we could possibly determine even the surface structure of the virus. The idea was to get gold particles to stay adhered to the virus for its entire life- time, in order to better understand changes in the virus structure (Figure 2).

We succeeded and published the results of our nearly one and a half years of development in January 2014 in Pro- ceedings of the National Academy of Sciences [6]. In our research, we demonstrated that viruses labelled with gold particles retain their infective level in the same way as un- labeled viruses. The labelling process does not change the biological functioning of the virus within the cell.



*Kuva 2. Taiteilijan näkemys funktionalisoidun Au102-partikkelin kiinnittymisestä enteroviruksen kuoriproteiiniin. Kuva: Sami Malola 2013.*

*Figure 2. Artist's rendering of a functionalized Au102 particle's attachment to an enterovirus capsid protein. Image: Sami Malola 2013.*

## Tehokkaampia rokotteita

Menetelmämme avaa uusia mahdollisuuksia tutkia virusten rakennetta solun sisäisistä näytteistä virusinfektion edetessä. Siten tullaan saamaan uutta rakennetietoa esimerkiksi virusten avautumismekanismeista infektion alkuvaiheessa. Virusten leimaaminen avaa myös aivan uudenlaisen mahdollisuuden seurata luotettavasti viruksen kulkua kudoksiin. Tämä on tärkeää, jotta voidaan ymmärtää paremmin virusten aiheuttamia akuutteja ja kroonisia oireita. Rokotteina käytettävien virusten kaltaisten partikkeleiden leimaaminen auttaa näiden kehittelytyössä tehokkaammiksi rokotteiksi. Rokotekehitystä tehdään tällä hetkellä Marjomäen koordinoimassa, TEKES:in rahoittamassa hankkeessa jossa professori Holland Cheng USA:sta on NSC:ssä vierailevana FiDiPro-professorina.

## More effective vaccines

Our method opens up new possibilities to study virus structure from samples in cells as infection proceeds. In doing so, we get new information about structure such as the opening mechanisms during the early stages of infection. Labelling of viruses also opens entirely new opportunities to reliably follow the movement of viruses into tissue. This is important for understanding the acute and chronic symptoms caused by viruses. The labelling of virus-like particles helps in developing more effective vaccines. A vaccine development project, funded by TEKES, is currently being coordinated by Marjomäki with professor Holland Cheng from the U.S.A. as NSC's visiting FiDiPro Professor.



*Kuva 3. NSC:n nanopartikkeli- ja virustutkijat aivoriihessä Savutuvan Apajalla elokuussa 2013.*

*Figure 3. NSC's nanoparticle and virus researchers' brainstorming session at Savutuvan Apaja in August 2013.*

Kultapartikkelien tutkimus ja menetelmäkehitys biosovelluksiin tulevat olemaan yksi NSC:n poikkiteollisen tutkimuksen painoaloja myös tulevaisuudessa. Yhteistyö on laajentunut muutaman vuoden aikana käsittämään jo 20-25 tutkijaa (kuva 3). Kultapartikkelitutkimuksemme on jo erittäin tunnettua ja tunnustettua kansainvälisen tutkijayhteisön piirissä, ja teemme tällä hetkellä yhteistyötä yli kymmenen ulkomaisen tutkimusryhmän kanssa. Uuden biokuvantamissovelluksen ansiosta yhteistyö tulee todennäköisesti lähivuosina vielä laajenemaan.

Yhteistyö Kornbergin ryhmän kanssa on edelleen jatkunut, ja haasteena on ratkaista yhä uusien kultananopartikkelien rakenteita. Uusimmasta läpimurrosta on kerrottu elokuussa 2014 julkaistussa Science-artikkelissa [7].

Gold particle research and development of methods for bio-applications will be one of NSC's interdisciplinary areas of focus in the future as well. The collaboration has expanded in a few years to include 20-25 researchers (Figure 3). Our gold particle research is already well known and respected internationally and we are currently collaborating with more than ten international research groups. Thanks to the new bio-imaging application, even more expansion is expected in the coming years.

The fruitful collaboration with the Nobel Laureate Kornberg has continued as well with challenges to resolve new atomic structures at gold nanoparticles. The newest breakthrough was reported in the journal Science August 2014 [7].

---

1. P.D. Jadzinsky, G. Galero, C.J. Ackerson, D.A. Bushnell, and R.D. Kornberg, "Structure of a Thiol Monolayer-Protected Gold Nanoparticle at 1.1 Å resolution", *Science* 318, 430 (2007).

2. H. Häkkinen, M. Walter and H. Grönbeck, "Divide and Protect: Capping Gold Nanoclusters with Molecular Gold-Thiolate rings", *J. Phys. Chem. B* 110, 9927 (2006).

3. M. Walter, J. Akola, O. Lopez-Acevedo, P. D. Jadzinsky, G. Calero, C. J. Ackerson, R. L. Whetten, H. Grönbeck, H. Häkkinen, "A unified view of ligand-protected gold clusters as superatom complexes", *Proc. Natl. Acad. Sci (USA)* 105, 9157 (2008).

4. H. Häkkinen, "The gold-sulfur interface at the nanoscale" (Review), *Nature Chemistry* 4, 443 (2012).

5. E. Hulkko, O. Lopez-Acevedo, J. Koivisto, Y. Levi-Kalisman, R.D. Kornberg, M. Pettersson and H. Häkkinen, "Electronic and vibrational signatures of the Au<sub>102</sub>(pMBA)<sub>44</sub> cluster", *J. Am. Chem. Soc.* 133, 3752 (2011).

6. V. Marjomäki, T. Lahtinen, M. Martikainen, J. Koivisto, S. Malola, K. Salorinne, M. Pettersson and H. Häkkinen, "Site-specific targeting of enterovirus capsid by functionalized monodisperse gold nanoclusters", *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)* 111, 1277 (2014).

7. M. Azubel, J. Koivisto, S. Malola, D. Bushnell, G.L. Hura, A.L. Koh, H. Tsunoyama, T. Tsukuda., M. Pettersson, H. Häkkinen and R.D. Kornberg, "Electron microscopy of gold nanoparticles at atomic resolution", *Science* 345, 909 (2014).





*Kirjoittaja, akatemia-professori Kari Rissanen on työskennellyt Jyväskylän yliopiston Kemian laitoksella vuodesta 1995 lähtien.*

*The author, Academy Professor Kari Rissanen has worked in the University of Jyväskylä Department of Chemistry since 1995.*

## Herkkä mittausmenetelmä paljastaa solujen tilan

**Kari Rissanen**

”Pyrofosfaatti (PPi) on erinomainen solujen aineenvaihdunnan mittari, jolla on merkittävä rooli muun muassa solujen jakautumisessa ja DNA:n monistumisessa. Syöpäsoluissa nämä toiminnot ovat vääristyneet. Olemme kehittäneet uuden vesiliukoisin fluoresenssiin perustuvan menetelmän, jolla pyrofosfaattia pystytään mittaamaan huomattavasti aiempia menetelmiä herkemmin. Tämä voi tulevaisuudessa tuoda keinon havaita syöpäsolut jo varhaisessa vaiheessa.”

Fosforin ja hapen välinen P-O-sidos on yksi vahvimmista sidoksista – ja ehkä myös tärkein kemiallinen toimintayksikkö elävissä organismeissa. Energeettisten ominaisuuksiensa lisäksi kyseinen sidos on merkittävä siksi, että se osallistuu geneettisen koodin (DNA ja RNA) rakentamiseen soluissa.

DNA:n ja RNA:n rakenneosasina toimivat nukleotiditriposfaatit (NTP) sekä epäorgaaninen pyrofosfaatti ovat erinomaisia elävien organismien aineenvaihdunnan mittareita. Ne antavat tärkeää tietoa solujen terveydestä, tilasta ja toiminnasta. Tämän vuoksi tutkijat ovat pyrkineet kehittämään menetelmiä, joilla voitaisiin tutkia kyseisiä aineenvaihdunnan indikaattoreita suoraan elävistä soluista.

## Sensitive method for analysing living cells

“We have discovered a new water-soluble fluorescent detection system, which has record sensitivity to pyrophosphate (PPi). Pyrophosphate plays a key role in energy transduction, DNA replication, and other metabolic processes that are dysregulated in cancer cells. Our discovery might lead to the development of a method for early detection of cancer cells.”

## The importance of Pyrophosphate

Phosphorus-Oxygen (P-O) bond is one of the strongest and perhaps one of the most critical components of living systems. Not only it is central to the energetics but also forms the backbone of the genetic material (DNA or RNA). Nucleotides are building blocks of DNA and RNA. Nucleotide triphosphates (NTPs) and inorganic pyrophosphate are excellent indicators of metabolic regularities in living organisms and thus can provide important insights into the health and functions of living cells. Consequently, a great deal of effort has been invested in developing probes that can estimate and monitor levels of these metabolites in living systems. Among the various methods used, fluorescence emerged as the most popular choice mainly because of the sensitivity and the possibility of live

Fluoresenssiin perustuvat menetelmät ovat herkkyytensä ja käyttökelpoisuutensa vuoksi yksi suosituimmista tavoista tutkia elävien solujen aineenvaihduntaa. Tutkijoiden erityisen kiinnostuksen kohteena ovat syöpäsolut, joissa aineenvaihdunta on merkittävästi kiihtynyt terveisiin soluihin verrattuna. Tämä muuttaa solun pyrofosfaattipitoisuuksia, sillä pyrofosfaatilla on merkittävä rooli solujen energian tuotannossa, DNA:n monistumisessa sekä muissa metabolisissa prosesseissa. Nämä pyrofosfaattitasojen muutokset voidaan havaita riittävän herkällä fluoresenssimenetelmällä.

## Mutkia matkassa

Nukleotiditriposfaattien (NTP) ja epäorgaaninen pyrofosfaatin analysointi on erittäin aktiivinen tutkimusala. Tutkijat ovat kehittäneet kyseistä tarkoitusta varten satoja erilaisia fluoresoivia sensorimolekyylejä, kemosensoreita. Tästä huolimatta tietyt keskeiset haasteet ovat edelleen ratkaisematta. Ongelmia aiheuttaa muun muassa se, että kemosensorit liukenevat heikosti veteen ja tutkittavilla anioneilla on vahvoja vuorovaikutuksia veden kanssa. Tästä syystä pääosa sensoritutkimuksista tehdään orgaanisessa liuottimessa, kuten etanolissa, tai vain vähän vettä sisältävissä liuottimissa. Puhtaassa vedessä ja fysiologisissa olosuhteissa tutkimukset eivät ole aiemmin onnistuneet.

Vaikka muutamia viimeaikaiset tutkimukset ovat käsitelleet näitä ongelmia, on aikaisempien menetelmien herkkyys rajoittunut fysiologisesti liian korkeisiin pitoisuuksiin, niin sanottuihin mikromolaarisiin pitoisuuksiin. Jotta menetelmää voitaisiin hyödyntää todellisissa fysiologisissa mittauksissa ja diagnostiikassa, tarvitaan huomattavasti suurempia herkkyyksiä.

cell imaging. One of the major beneficiaries would clearly be the area of cancer diagnostics where unusually high metabolic rates could, in principle, be monitored by a sensitive pyrophosphate probe.

Detection of NTPs and pyrophosphate (PPi) remains a very active field. Hundreds of fluorescent probes, also called chemosensors, have been developed for this purpose. However, certain key issues still remain to be addressed. Due to strong hydration of anions and low solubility of organic fluorescent probes, a majority of the studies are limited to organic or mixed aqueous media. Although a few recent studies have addressed this issue, the sensitivity in water (or in organic or mixed media) was invariably limited to micromolar levels. However, for medical diagnostics, much higher sensitivities are desired which meant the studies had to be solely dependent on expensive fluorescent protein based techniques.

Pyridyl group containing ligands and corresponding Zinc (II) complexes have been extensively used for fluorescent sensor designs. However, to approach the sensitivity issue, these complexes were often covalently attached with aromatic fluorescent dyes which in turn reduced the solubility of the probe in water. So the structure often has to be optimized to account for the competing factors. In the course of our investigations, we found terpyridines could be modified easily to have appreciable fluorescence and water-solubility and thus can be useful as fluorescent probes. The response to pyrophosphate was along the expected lines. However, the nanomolar sensitivity and self-assembling behavior were quite serendipitous observations.

## Hyvä sensori löytyi sattumalta

Kemosensoreina on käytetty laajasti muun muassa tiettyjä pyridyyliryhmän sisältävien molekyylien sinkki-komplekseja. Nämä kompleksit ovat kuitenkin lähes aina huonosti vesiliukoisia. Se johtuu niihin kovalenttisesti liitettyistä aromaattisista fluoresoivista rakenneosista, jotka vähentävät merkittävästi kemosensoirin vesiliukoisuutta. Tämän vuoksi niiden rakenteessa joudutaan tekemään kompromisseja, jotka vähentävät herkkyyttä.

Tutkimuksen aikana havaitsimme, että muokkaamalla terpyridiinirakennetta kykenimme valmistamaan sensorimolekyylin, yksinkertaisen metallikompleksin, joka on samanaikaisesti sekä fluoresoiva että vesiliukoinen. Osittain sattuman kautta havaitsimme, että pyrofosfaatin havainnointoraja oli hyvin matala tälle kehittämällemme sensorille.

## Tieteellinen läpimurto

Osoitimme, että kehittämämme metallikompleksin tuotaman intensiivisen oranssin värin avulla pyrofosfaatti-anioni voidaan havaita erittäin herkästi vesiliuoksesta. Sensorimolekyylin paransi 500-kertaisesti pyrofosfaatin havainnointiherkkyyttä, kun sitä verrattiin muihin tutkittuihin anioneihin. Herkkyys on niin hyvä, että pystyimme mittaamaan sillä solujen sisäisiä pyrofosfaattipitoisuuksia - pienin luotettava mitattavissa oleva pitoisuus on vain 0.8 nanomoolia (0.8 nM). Hämmästyttävää sensorissamme on, että se on ensimmäinen vesiliukoinen pyrofosfaattisensori, joka kykenee havainnointiin fysiologisissa olosuhteissa.

## Design and serendipity in action

We have developed a simple metal complex, which in the presence of very low concentration pyrophosphate (PPi) in water will show an intense orange fluorescent color. The complex, also called a probe, showed ca. 500-fold response enhancement and an unprecedented sensitivity and a sub-nanomolar level detection of PPi (LOD ~ 0.8 nM). Our discovery represents the first water-soluble fluorescent sensor capable of detecting pyrophosphate at this level of sensitivity under physiological conditions.

The highly sensitive probes or sensors that are able to report how much PPi is present could lead to improved cancer diagnostics, since PPi plays a key role in energy transduction, DNA replication, and other metabolic processes that are seriously misbehaving in cancer cells. All earlier PPi selective sensor molecules or complexes have suffered from poor water solubility and low sensitivity in water. They can reach only micromolar levels and thus researchers have had to rely on protein-based probes for PPi detection, which have their own limitations.

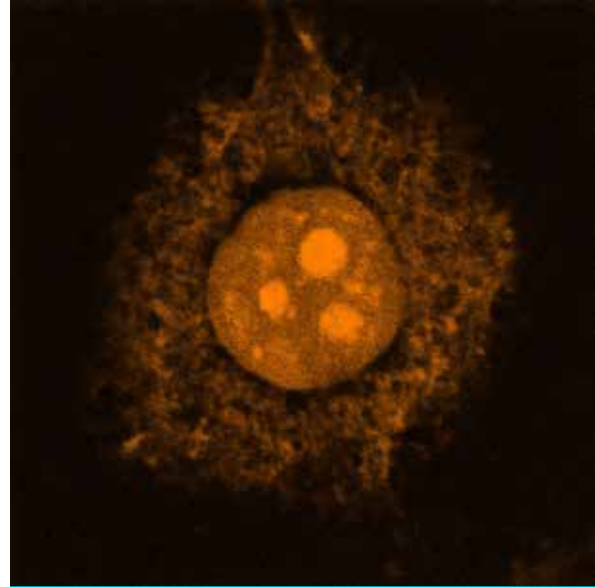
We were able to show that the probe can image the pyrophosphate in the nuclei of living (HeLa) cells, making it an excellent probe for live cell pyrophosphate imaging (Figure 1). The HeLa cells originally from Henrietta Lack's cervix carcinoma is the longest-lived human cancer cell line and often used as a cancer cell model. In addition to its applicability in water, using a simple technique it can be formulated into a hydrogel and coated onto paper strips for low-cost pyrophosphate detection.

Kehittämämme ultraherkät sensorit voivat havaita niin pieniä pyrofosfaattipitoisuuksia, että niiden avulla voitaisiin kehittää uutta syöpädiagnostiikkaa. Aikaisemmat pyrofosfaattisensorit ovat olleet huonosti vesiliukoisia ja liian epäherkkiä solujen epänormaalin toiminnan havainnointiin. Ainostaan hyvin kalliit fluoresoiviin proteiineihin perustuvat menetelmät ovat pystyneet pyrofosfaatin havainnointiin fysiologisissa olosuhteissa, mutta kyseisillä proteiinipohjaisilla menetelmillä on omat rajoituksensa.

## Edullinen pyrofosfaattitesti

Tutkimuksessamme pystyimme osoittamaan, että sensorimme avulla voidaan kuvata pyrofosfaatin jakautumista elävän solun sisällä (Kuva 1). Kokeissa käyttämämme syöpäsolulinja, ns. HeLa-solulinja, on maailman vanhin ja eniten käytetty malli syöpäsolututkimuksissa.

Sensorimme ei toimi ainoastaan vedessä, vaan siitä voidaan hyvin helposti valmistaa myös hydrogeeli, jota voidaan sivellä esimerkiksi paperisuikaleen päälle. Tätä paperisuikaletta voitaisiin käyttää edullisena pyrofosfaattitunnistimena.



*Kuva 1. Valokuva elävästä HeLa-solusta, jonka pyrofosfaatti on värjätty oranssiksi sensorimolekyylimme avulla.*

*Figure 1. A photo of a living cell imaged using the discovered probe.*

## Kemistien ja biologien yhteistyötä

Tutkimus tehtiin Nanotiedekeskuksessa ryhmämme (kemia) ja dosentti Varpu Marjomäen (biologia) tutkimusryhmän välisenä yhteistyönä. Se perustuu tutkimusryhmässämme 25 viime vuoden aikana tehtyyn perustutkimukseen. Yhteistyö lähti liikkeelle, kun havaitsimme kehittämämme sinkkidikloridi-terpyridiini-kompleksin (kuva 2) olevan erittäin selektiivinen pyrofosfaatti-anionin suhteen. Otimme yhteyttä dosentti Marjomäkeen, joka on solukuvauksen asiantuntija. Tarkoituksemme oli selvittää, voitaisiinko järjestelmäämme käyttää elävien solujen kuvantamiseen. Tämä yhteistyö osoittautui erittäin tärkeäksi, koska kykenimme yhdessä osoittamaan, että sensorillamme voidaan havainnoida pyrofosfaattia nanomolaarisina pitoisuuksina elävillä soluilla fysiologisissa olosuhteissa (vedessä ja pH:ssa 7).

## Lisätutkimukset jo käynnissä

Yhteistyö kemian ja biologian ryhmien välillä on sujunut erinomaisen tehokkaasti ja on ollut hyvin palkitsevaa molemmille tutkimusryhmille (kuva 3). Erityisesti konfokaalimikroskopian käyttäminen solukuvauksessa on ollut mielenkiintoinen kokemus kemian ryhmän jäsenille. Kehitetyn kemiallisen menetelmän toimivuuden ja herkkyyden toteaminen on puolestaan ollut vaikuttava kokemus biologian ryhmälle. Erinomaisesti sujuneesta yhteistyöstä ja saaduista tuloksista johtuen lisätutkimukset menetelmän soveltamisesta muihin biologisiin järjestelmiin ovat parhaillaan käynnissä. Menetelmän soveltuvuus myös DNA:n ja RNA:n kuvantamiseen näyttää lupaavalta, mutta vaatii vielä lisätutkimuksia.

## Joining forces

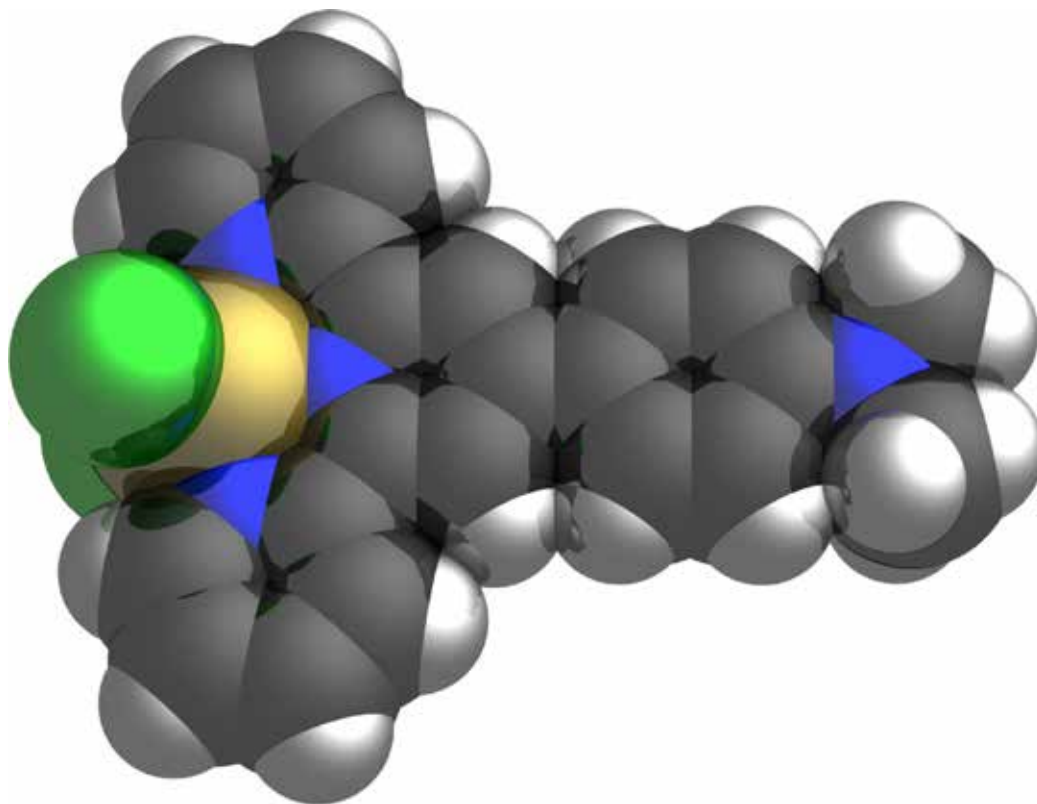
The research was done in the Rissanen research group (chemistry) in collaboration with NSC biology research group (Dr. Varpu Marjomäki). It leans on the research work done in the Rissanen group over the last 25 years. The research of the Rissanen group focuses on a multitude of chemical systems, but in all studies the governing feature is the detailed study of the weak, viz. non-covalent, supramolecular interactions. The aim is to understand the principles behind these interactions and to use them in the design and construction of novel nano and supramolecular systems.

The former work by the group has brought forward some internationally well recognized discoveries. These include a molecular tetrahedron capable of detaining white phosphorus, which is a highly dangerous and self-igniting substance and a separation method based on halogen bonding, both published in *Science* [324 (2009), 1697 – 1698 and 1461 – 1464, respectively]. A groundbreaking dendrimersome work was published in *Science* [328 (2010), 1009-1014], the most complex non-DNA knot, viz. the pentafoil knot, in *Nature Chemistry* [4 (2102), pp. 15 – 20] and most recently a new crystallographic method, the so-called “crystal-free crystallography” was published in *Nature* [495, (2013), 461 – 466].

The current collaboration was based on the work done in two Academy of Finland research projects: “New Water-Soluble Chemo-Responsive Luminescent Materials, NWS-CTLM” and “Intramolecular Charge Transfer (ICT) Based Fluorescent Probes for Monitoring Zinc(II) and Anions in Gold Nano Particles, ICT-FP-GNP” by postdocs Dr. Sandip Bhowmik (NWS-CTLM) and Biswa Nath Ghosh

Yhteistyö perustui tutkimustyöhön, joka on tehty kahdessa Suomen Akatemian tutkimushankessa ”Uudet vesiliukoiset kemoresponsiiviset luminoivat materiaalit, LUMIMAT” ja ”Intermolekulaariseen varausensiirtoon perustuvat fluoresenssisensorit Sinkki(II)-ionin sekä anionien monitorointiin kultananopartikkelien pinnalle, FLUOSENS” FT Sandip Bhowmik (LUMIMAT ) ja FT Biswa Nath Ghosh (FLUOSENS) toimesta.

(ICT-FP-GNP). As our Zinc dichloride terpyridine complex (Figure 2) exhibited a very high selectivity towards pyrophosphate anion (PPi), we contacted Dr. Varpu Marjomäki from the NSC biology department as an expert on cell imaging, to determine if our system could be used in live cell imaging. This collaboration through NSC turned out to be crucial as we could show that indeed our probe can detect PPi at nanomolar concentrations in physiological conditions (in water and in pH 7).



*Kuva 2. Yksikideröntgenkristallografialla määritetty fluoresoivan sensorinmolekyylin (sinkkidikloridi terpyridiinikompleksi) rakenne.*

*Figure 2. The X-ray structure of the fluorescent probe (a zinc dichloride terpyridine complex).*

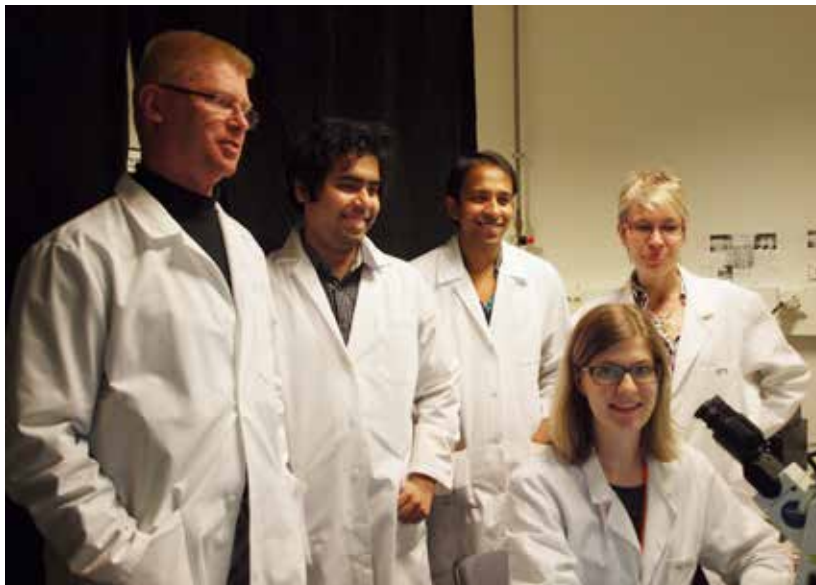
## Akatemiaprofessori Kari Rissanen ryhmä

Rissanen ryhmä tarkastelee monia kemiallisia järjestelmiä, mutta on keskittynyt heikkoihin ei-kovalenttisiin eli niin sanottuihin supramolekulaarisiin vuorovaikutuksiin. Tavoitteena on ymmärtää heikkojen vuorovaikutusten toimintaperiaatteet, sekä käyttää niitä uusien toiminnallisten nano- ja supramolekulaaristen järjestelmien valmistamiseen. Ryhmä on tuottanut useita kansainvälisesti hyvin tunnustettuja tutkimuksia ja kehittänyt uusia tekniikoita, kuten molekyylietraedrin, joka kykenee sulkemaan sisäänsä erittäin vaarallista itsestään syttyvää valkoista fosforia, sekä erotusmenetelmän, joka perustuu halogeenisidokseen (Science, 2009). Muita merkittäviä läpimurtoja ovat dendrimerisomi-tutkimus (Science, 2010), ns. viisinkertainen solmu, joka on monimutkaisin ei-DNA-solmu (Nature Chemistry, 2012), sekä viimeisimpänä uusi kristallografinen menetelmä, "kiteetön kristallografia" (Nature, 2013).

## The next step

The collaboration between the chemistry and biology groups has been very smooth, efficient and very rewarding for both (Figure 3). Particularly, learning about the cell and cell cultures and cell imaging has been an eye-opening experience for the chemistry group members. The simplicity and sensitivity of the chemical system has been equally impressive for the biology group. Due to the excellent collaboration and results, further work on other biological system is currently ongoing. The applicability of our method for DNA and RNA detection seems promising, but remains to be studied further.

S. Bhowmik, B. N. Ghosh, V. Marjomäki and K. Rissanen, Nanomolar Pyrophosphate Detection in Water and in a Self-Assembled Hydrogel of a Simple Terpyridine-Zn<sup>2+</sup> Complex, J. Am. Chem. Soc. (2014), in press. DOI: 10.1021/ja4128949



*Kuva 3. Kemian ja biologian ryhmät konfokaalimikroskoopin vieressä. Vasemmalta akatemiaprofessori Kari Rissanen, FT Sandip Bhowmik, FT Biswa Nath Ghosh, FM Mari Martikainen (istumassa) ja dosentti Varpu Marjomäki.*

*Figure 3. A photo of the chemistry and biology groups involved with this collaboration around the confocal microscope. From left Academy Professor Kari Rissanen, Dr. Sandip Bhowmik, Dr. Biswa Nath Ghosh, M.Sc. Mari Martikainen (sitting) and Adjunct Professor Varpu Marjomäki.*



## DNA elektroniikkaa Jyväskylän nanokeskuksessa

*Jussi Toppari*

## DNA electronics at Nanoscience Center in Jyväskylä

*Kirjoittaja, yliopistonlehtori Jussi Toppari on työskennellyt Jyväskylän yliopiston fyysikan laitoksella vuodesta 1997 lähtien.*

*The author, university lecturer Jussi Toppari has worked in the University of Jyväskylä Department of Physics since 1997.*

*”DNA on eliöiden perimästä tuttu molekyyli, jolla on lupaavia käyttömahdollisuuksia nanoelektronikassa. Olemme sen itsejärjestyvyyttä hyödyntäen valmistaneet erilaisia rakenteita, joihin kiinnitettyinä nanomittakaavan komponentit saadaan vietyä tarkasti halutuille paikoille. Menetelmän avulla olemme toteuttaneet muun muassa yhden elektronin transistorin. Lisäksi olemme mittanneet ja karakterisoineet itse DNA:n sähköisiä ominaisuuksia yksittäisestä molekyylistä aina isompiin, noin sadan nanometrin kokoiisiin, itsejärjestyviin rakenteisiin.”*

*”DNA is mainly known as a molecule of genetics and heredity, but it also has great potential in molecular electronics. We have utilized self-assembled DNA constructions as scaffolds to assemble other nanosized components, for example to obtain a single electron transistor. In addition, we have successfully characterized electrical properties of single DNA molecules themselves as well as of larger self-assembled constructions of about hundred nanometer in size.”*

Jyväskylän yliopiston Nanoelektroniikan ja myöhemmin Molekyylielektroniikan ja -plasmoniikan ryhmässä olemme koko Nanotiedekeskuksen historian ajan tutkineet intensiivisesti deoksiribonukleiinihapon eli DNA:n käyttöä nanoteknologiassa ja erityisesti nanoelektronikassa.

Lähdimme mukaan DNA-tutkimukseen vuonna 2003, eli hie- man ennen Nanotiedekeskuksen rakentamista. Idea Nanokes- kuksesta oli tuolloin jo ilmassa, ja päätös sen perustamisesta tehty. Ilmapii- eri tieteenalojen väliselle yhteistyölle oli otollinen. Osittain tämän seurauksena, ja tietenkin myös puhtaasti tieteellisestä mielenkiinnosta, fyysikan professorin Päivi Törmän johtamana päätimme nanoelektroniikan tutkimusryhmässä – jossa aloitin tuolloin yliassistenttina – laajentaa tutkimustam-

Through the history of Nanoscience Center of the University of Jyväskylä within the groups of Nanoelectronics and later Molecular electronics and Plasmonics, we have been intensively studying the application of deoxyribonucleic acid, i.e. DNA, in nanotechnology and especially in nanoelectronics.

DNA research at Jyväskylä started in 2003, i.e., just before the construction of the new interdisciplinary Nanoscience Center. However, the decision to build the center had been made already and the atmosphere was highly fruitful for any interdisciplinary



me perinteisestä elektroniikasta molekyyliin. Koska DNA oli tuolloin laajasti esillä sen mahdollisen sähköjohtavuuden vuoksi, aloimme yhdessä viereisen biologian laitoksen professorin Markku Kulomaan tutkijoiden kanssa selvittää sen sähköjohtavuutta. Yhteistyön kautta avautui uusi, kiinnostava tutkimusala, jonka parissa työskentelemme yhä edelleen.

## Molekyyleillä pienempää elektroniikkaa

Elektroniikassa pienenus merkitsee yleensä suurempaa suorituskykyä ja ennen kaikkea parempaa integroitavuutta. Esimerkiksi tietokoneet ja kännykät ovat vuodelta kehittyneet nopeammiksi ja monipuolisemmiksi osien pienentyessä. Rakenteet ovat kuitenkin pienentyneet jo nanometriin mittakaavaan, minkä vuoksi niiden valmistus on tämän päivän massavalmistuksen menetelmillä vaikeaa ja kallista – ja pienentymisen jatkuessa jopa mahdotonta.

Molekyylielektroniikan tavoitteena onkin kehittää uudenlainen valmistustapa, joka olisi ratkaisevasti edullisempi kuin nykyiset menetelmät ja mahdollistaisi vielä pienemmät rakenteet. Avain tähän löytyy molekyylien itsejärjestyvyydestä. Nykyisin voidaan valmistaa keinoitekoisesti monenlaisia tarkoitukseen soveltuvia molekyyliä - toisaalta, luonto on miljardien vuosien kuluessa kehittänyt lukemattomia itsejärjestyviä molekyyliä, jotka ovat suoraan hyödynnettävissä. Näistä tunnetuin ja merkittävin on DNA, geneettisen tiedon välittäjä, jota löytyy meidän jokaisen solun sisältä.

research. Partly due to this but naturally also due to a pure scientific interest, the nanoelectronics research group led by physics professor Päivi Törmä – in which I also started as senior assistant at that time – decided to expand their research from traditional electronics to molecules. As DNA had just gained popularity due to its possible electrical conductivity, we started to study the electrical properties of DNA together with professor Markku Kulomaa's researchers from the neighboring biology department.

## Smaller electronics via molecules

In electronics, small size has usually been linked with better efficiency and especially with better integration. Good examples of this are computers and cell phones, which have become faster and more versatile as the size of their components has decreased. Today, the size of the components has already reached the nanometer scale, which is difficult and expensive to realize by modern mass-fabrication machinery – and soon impossible if the miniaturization is to continue.

The aim of molecular electronics is to develop a novel fabrication method, which is cheaper than the present methods and capable of producing even smaller components. The self-assembly capabilities of molecules have been essential in this. Nowadays, many suitable molecules can be fabricated synthetically. However, nature has already been developing molecules with a huge variety of self-assembly capabilities over billions of years, and these could be exploited as well. The most well-known one is DNA, the famous carrier of the genetic information found inside of all of us.

# Ilmiömäinen itsejärjestyvyyskyky

Yksittäinen DNA-juoste koostuu vuorottelevista fosfaattihapoista ja pentoosisokereista muodostuvasta rungosta, sekä jokaiseen sokeriin liittyneistä typpiämäksistä. Yksittäinen typpiämäs voi olla joko adeniini (A), guaniini (G), sytosiini (C) tai tyymiini (T). Ne koodaavat luonnossa geneettisen informaation.

DNA:n niin sanottu sekundaarirakenne on kaksoiskierre, jossa kaksi toistensa ympärille kietoutunutta DNA-juostetta on liittynyt toisiinsa emästen välisillä vetysidoksilla muodostaen A-T ja C-G pareja. Koska vain edellä mainitut sidokset ovat mahdollisia, DNA juoste pariutuu ainoastaan oikean emäsjärjestyksen sisältävän vastinjuosteen kanssa. Tähän perustuu DNA:n ilmiömäinen itsejärjestyvyyskyky.

## Nanoelektroniikkaa DNA:n avulla

DNA:n pariutumismekanismia alettiin hyödyntää 1980-luvun alussa, jolloin Nadrian Seeman ja Junghuei Chen New Yorkin yliopistosta valmistivat DNA:sta itsejärjestyneen kuution. Pian sen jälkeen onnistuttiin rakentamaan myös muita monitahokkaita, linkitettyjä DNA-renkaita, sekä myöhemmin kehittyneempiä, useita haarautumispisteitä sisältäviä monimutkaisempia DNA-palikoita, joista kuuluisimpia ovat ns. DX sekä TX-tiilet.

# Special structure of DNA

A single DNA strand consists of alternating phosphoric acid and deoxyribose sugars forming a backbone, which holds the nitrogenous bases attached to every sugar. Each base can be either adenine (A), guanine (G), cytosine (C) or thymine (T). The sequence of these bases code the genetic information in nature.

The secondary structure of DNA is a double helix where two strands are coiled with each other while connected in the middle through hydrogen bonds between corresponding bases forming A-T and C-G pairs. Only these exact pairings are possible, and thus only DNA strands complementary to each other can hybridize and form the double helix. This is the very basis of the superior self-assembly properties of DNA.

## DNA in the nanoworld

Since Nadrian Seeman's and Junghuei Chen's (University of New York) pioneering work in constructing a self-assembled DNA cube in the beginning of 1980s, these evolution optimized properties have been utilized in nanotechnology. Thereafter, numerous DNA structures have been introduced, e.g., a polyhedron, linked DNA rings, and later more complex motifs, such as DX and TX tiles involving many branching points.

Mullistus DNA-tekniikassa tapahtui 2006, kun Paul Rothemund Caltechista kehitti DNA-origamin, jonka William Shih Harvardista myöhemmin laajensi käsittämään lähes mitä tahansa kolmiulotteisia muotoja. Erityistä DNA-origamissa on, sen muokattavuuden lisäksi, että rakenteeseen sisältyy noin kuuden nanometrin välein niittijuosteita, joita voidaan käyttää muiden nanokokoisten komponenttien kiinnittämiseen.

Ylivoimaisten itsejärjestyvyysominaisuuksiensa lisäksi DNA on lupaava molekyyli myös sen mahdollisen sähkönjohtavuuden vuoksi. Jo pian DNA:n löytymisen jälkeen, vuonna 1962, ennustettiin, että kaksoiskierre johtaisi sähköä sen sisällä olevien päällekkäisten emäsparien kautta. Tämän jälkeen DNA:n johtavuutta on tutkittu paljon, erityisesti viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana, jolloin uudenlaiset tekniikat ovat mahdollistaneet mittaukset molekyylitasolla. Tulokset ovat kuitenkin olleet hyvin risiirittäisiä: DNA on osoittautunut tutkimuksissa milloin hyväksi eristeeksi, milloin puolijohteeksi tai peräti johteeksi.

## Houkuttelua sähköllä

Kun aloitimme DNA-tutkimukset Jyväskylän Nanotiedekeskuksessa sähkönjohtavuusmittauksilla vuonna 2003, meidän piti aluksi kehittää menetelmä, jolla saimme DNA molekyyliin kontaktit. Poiketen monista muista tuon ajan tutkimuksista päätimme hyödyntää sähköllä ”houkuttelemista”, eli niin sanottua dielektroforeesia, jolla pieniä hiukkasia tai molekyyliä voidaan ohjata haluttuihin asemiin [1].

Menetelmä perustuu lyhyesti sanottuna kappaleen polarisoitumisen aiheuttamaan voimaan kohti suurinta

In 2006, Paul Rothemund (Caltech) presented the revolutionary DNA origami method, which William Shih (Harvard) soon expanded to comprise almost any three dimensional shapes. In addition to the ability of forming numerous different shapes, the specialty of origami is the possibility to attach different nanoscale components to each of its staple strands appearing every six nanometers within the structure.

Furthermore, DNA is a promising molecule due to its possible electrical conductivity. In 1962, very soon after the discovery of DNA, it was first suggested that DNA could conduct electricity due to the overlapping orbitals of adjacent bases on the base pair stack. Since then, and in particular during the last twenty years, when new experimental methods have enabled handling of single molecules, a huge amount of studies on DNA conductivity have been realized. However, the results have been highly diverse: DNA has been shown to behave as an insulator, semiconductor, or even as a conductor.

## Trapping with electricity

For electrical measurements, suitable contacts to the DNA had to be realized. Unlike many studies of the time, we decided to utilize electric fields, i.e. so-called dielectrophoresis (DEP), to guide and trap DNA on prefabricated electrodes [1]. DEP means a translational motion of a polarizable particle within an electric field towards the field maximum. We generated the needed fields by few hundred nanometers wide gold electrodes, fabricated by electron beam lithography. Further, to immobilize the trapped DNA, its ends were functionalized with thiol groups forming a strong bond with gold, which also allows electrical transport.

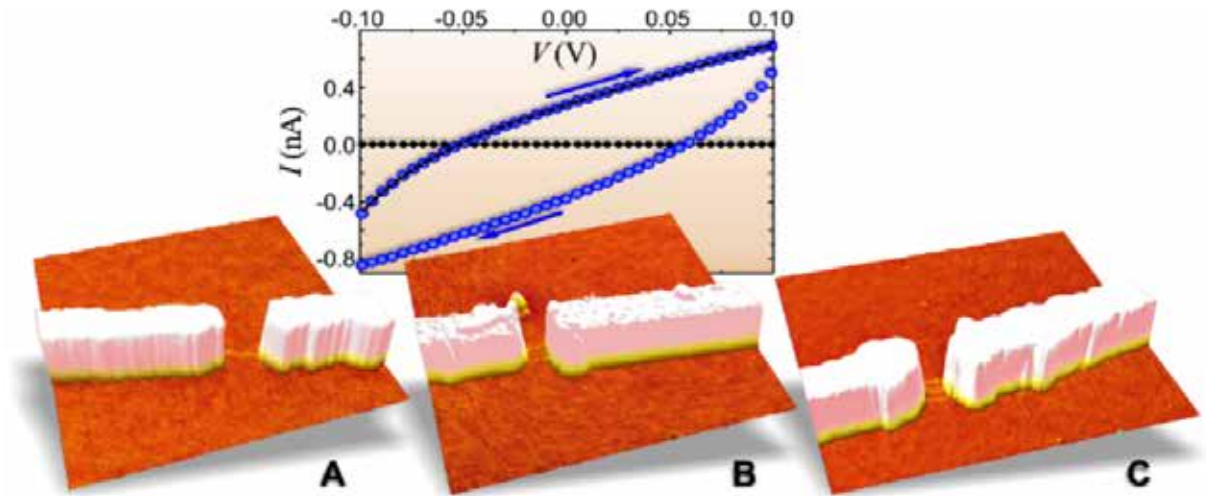
sähkökenttää. Ohjailuun tarvittavat kentät synnytimme parin sadan nanometrin levyisillä kultajohtimilla, jotka oli valmistettu elektronisuihkulitografialla. DNA:n kiinnittämiseksi johtimien väliin sen päihin liitettiin kemiallisesti niin sanotut tioliryhmät, jotka muodostavat kullan kanssa vahvan sidoksen ja mahdollistavat siten myös sähköjohtumisen.

Menetelmän tehokkuutta saatiin parannettua uuden Nanotiedekeskuksen avaamisen myötä 2004, koska uusilla laitteistoilla saimme elektrodit pienennettyä noin 40 nanometrin kokoisiksi. Koon pienenemisestä oli suuri hyöty, sillä mitä terävämpi elektrodin kärki, sitä suurempi kentän maksimi ja ohjaava voima. Pian saimmekin ensimmäiset huomattavat tulokset, eli ohjattua ja kiinnitettyä yksittäisiä DNA-molekyylejä elektrodien väliin (Kuva 1) [2].

The trapping method was greatly improved after the opening of the new Nanoscience Center, which provided better facilities and enabled us to decrease the width of the electrode to 40 nm – the sharper the end the bigger the field gradient and the DEP force. We soon achieved the first significant result, i.e. trapping of single DNA molecules between the electrodes (Fig. 1) [2].

*Kuva 1: Atomivoimamikroskooppikuva (A) yhdestä, (B) kahdesta ja (C) kolmesta DNA molekyylistä ohjattuna nanoelektrodien väliin. Kuvaaja ylhäällä näyttää mitatun virran näytteestä C kuivissa olosuhteissa (♦) ja kosteassa (•). Hystereesikäyttäytyminen johtuu kosteuden aiheuttamasta varautumisesta, joka pystytään mallintamaan ja sovittamaan mittaukseen (-). [2]*

*Figure 1: Atomic force microscope image of one (A), two (B) and free (C) single DNA molecules trapped between nanoelectrodes. The graph above presents the measured current through the sample C both at dry conditions (♦) and in high moisture (•). The visible hysteresis is due to charging of the gathered moisture and can be modeled and fitted to the data (-). [2]*



Menetelmää testattaessa erilaisilla DNA-molekyyleillä saimme kerättyä myös huomattavan määrän tilastotietoa, josta määritimme tarkasti mm. DNA:n polarisoituvuuden ja tioliryhmien kiinnittymiskyvyn [3,4]. Testasimme myös hiilinanoputkesta tehtyjä elektrodeja [5].

## DNA-origameja valmistamaan

DNA-origamin keksimisen jälkeen halusimme hyödyntää kehittämäämme dielektrofooresimenetelmää myös origamien ohjailuun. Kuvassa 2b on esitetty ensimmäiset Nanotiedekeskuksessa valmistamamme origamit: suorakaide sekä ”hymiö” eli alkuperäiseltä nimeltään ”ympyrä kolmella reiällä”. Origamien rakenne oli muutoin samanlainen kuin Paul Rothemundin alkuperäisessä julkaisussa, mutta suorakaiteen päihin sekä hymiön ”korviksi” liitimme kaksi tioliryhmää. Olimme ensimmäisiä ryhmiä maailmassa, jotka onnistuivat asettamaan DNA-origameja haluttuun paikkaan – tässä tapauksessa elektrodien väliin (Kuva 2a-d) [6]. Myöhemmin olemme hyödyntäneet tätä ohjausmenetelmää myös kvanttipisteisiin [7] ja niin sanottuihin G4-DNA rakenteisiin [8], sekä DNA-alukkeiden kiinnittämiseen ohjattua PCR-kasvatusta varten (Kuva 2e) [9].

## Sähkönjohtavuutta ratkomassa

DNA:n onnistunut liittäminen elektrodien väliin mahdollisti myös alkuperäisen tavoitteemme, eli molekyylin sähkönjohtavuuden mittaamisen. Kuvassa 1 esiteltyjä molekyyliä mitattaessa tulokset olivat selkeät: kuivassa ympäristössä DNA ei johtanut, mutta kosteutta lisättäes-

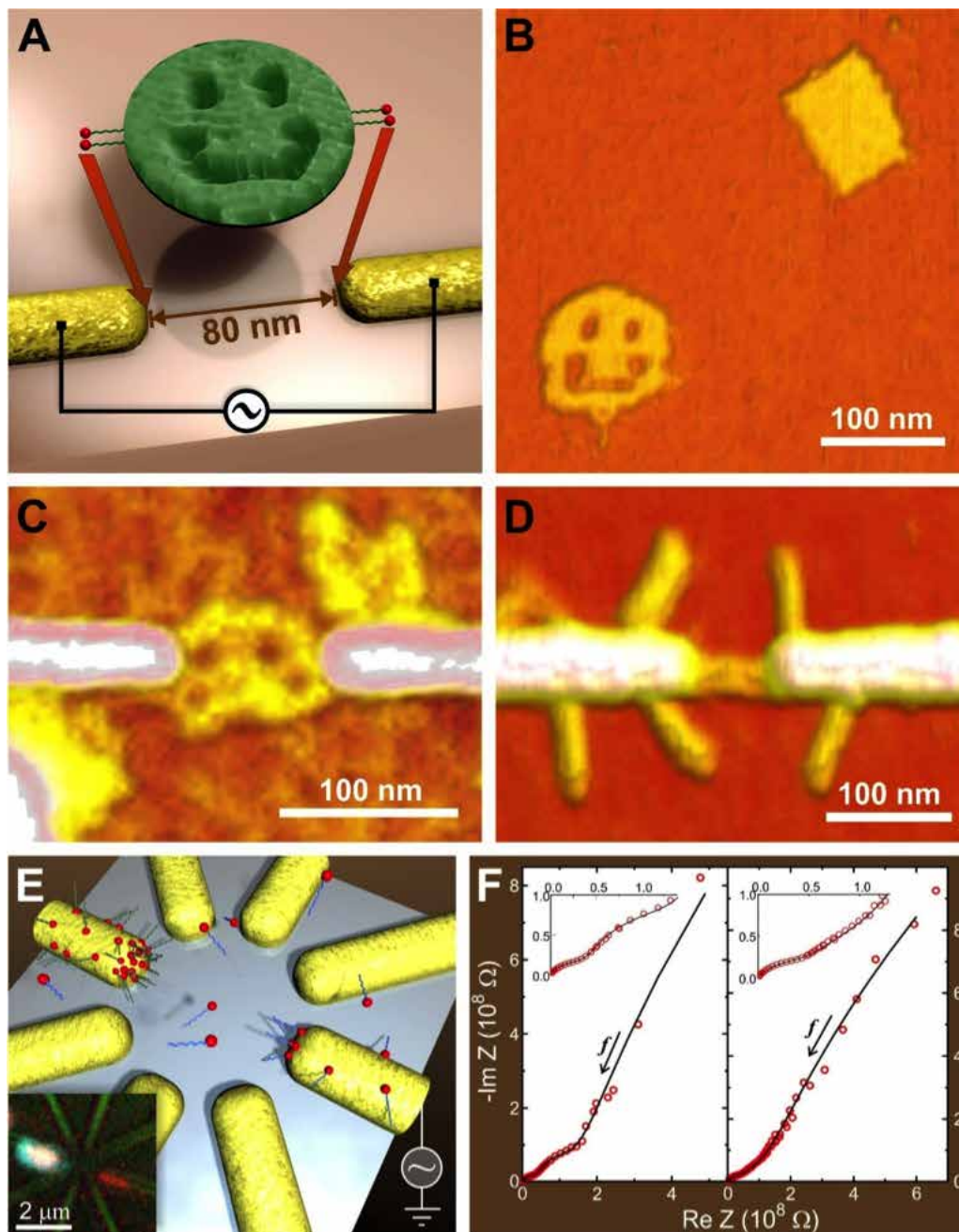
While optimizing the trapping method by using DNA molecules of different sizes and functionalizations, we also gathered lots of statistics. From them, we defined for example the polarizability of DNA and binding efficiency of the thiols [3,4]. We also tested carbon nanotubes as trapping electrodes [5].

## Playing with Origamis

After the introduction of the DNA origami we also adapted the fabrication technique and used DEP for trapping them. We were one of the first groups to demonstrate guiding of an origami to a desired location, i.e., between the nanoelectrodes in this case (Fig. 2) [6]. The first two origamis fabricated in Nanoscience Center are presented in figure 2b: a rectangular one and a “smiley”, which was originally called “a disk with three holes”. The design was from the original article of Paul Rothemund except that we attached two thiol groups to both ends of the rectangular and as “ears” to the smiley. Later we utilized the DEP method also for the trapping of quantum dots [7] and so-called G4-DNA structures [8], as well as for immobilization of DNA primers for guided on-chip PCR-growth (Fig. 2e) [9].

## Conductivity measurements

As soon as the DNA was successfully trapped between the electrodes, we also initiated the measurements of its electrical properties. The results of the measurements of the molecules shown in figure 1 were clear: at dry conditions DNA was not conducting but as the humidity was increased, the conductivity increased significantly, yielding the lowest resistance of ~250 M $\Omega$  [2]. This result agreed well with a general consensus formed simultaneously



Kuva 2: (A) Skemaattinen kuva hymiö-origamin sähköllä ohjauksesta. Punaiset pallot kuvaavat tioliryhmiä origamin "korvina". (B) Ensimmäiset nanotiedekeskuksessa valmistetut DNA-origamit. Elektrodiin väliin kiinnitetty (C) hymiö-origami ja (D) tiilimäisen muotoisen 3D-origami. (E) Skemaattinen kuva tiolilla varustettujen alukkeiden kiinnittämisestä tiettyyn elektrodiin: sinisiä ollaan juuri ohjaamassa kun taas vihreät ovat jo kiinnitetty. Pikkukuva on fluoressenssikuva näytteestä, johon on kiinnitetty eri värimolekyyleillä varustettuja alukkeita spesifisesti vastakkaisiin elektrodeihin. (F) Impedanssispektroskopiameditaukset kahdesta kiinnitetystä neliöorigamista (o). Viiva on sovitettu teoreettinen malli ja pikkukuvat ovat zoomattua dataa. [6,9,10]

Figure 2: (A) Schematic view of trapping of a smiley origami by electric fields. Red balls symbolize the thiol groups connected as "ears" of the origami. (B) The first DNA origami fabricated in nanoscience center. (C) Smiley origami and (D) 3D origami trapped between nanoelectrodes. (E) Schematic view of an electrode-specific DEP trapping of thiol-modified primers: The voltage biased electrode is just collecting blue primers, while the green primers has already been immobilized. The inset shows a fluorescence image of primers labeled with different dyes separately trapped to the opposite electrodes. (F) Impedance spectroscopy measurements for two trapped rectangular origamis (o). Solid line is a fit by the theoretical model and insets are zoomed data. [6,9,10]

sä johtavuus kasvoi merkittäväksi vastuksen ollessa pienimmillään n. 250 M $\Omega$  [2]. Tämä tulos sopi hyvin yhteen samoihin aikoihin maailmallakin muodostuneeseen käsitykseen, että ympäristö vaikuttaa huomattavasti DNA-molekyylin sähkönjohtavuuteen. Dynaaminen kaksoiskierakerakenne on vakaa vain vettä ja suolaa sisältävässä liuoksessa tai muuten riittävässä kosteudessa. Tämä selitti myös monet aiemmat ristiriitaiset tulokset.

Professori Törmän siirryttyä Teknilliseen korkeakouluun (nykyisin Aalto-yliopisto) jatkoimme Nanotiedekeskuksessa DNA:n sähköisiä mittauksia uudessa johtamassani Molekyylielektroniikan ja -plasmoniikan ryhmässä. DNA origamien johtavuutta tutkiessamme laajensimme mittausten menetelmiä pelkästä tasavirtamittauksesta niin sanottuun impedanssispektroskopiaan (IS), eli monitaajuusmittaukseen, jolla saadaan selville eri johtavuusmekanismeja. Menetelmä paljasti, että suurin osa tasavirtavastuksesta johtuu tioliryhmissä käytetyistä ns. linkkimolekyyleistä, jotka erityisesti origameissa olivat pitkiä. IS-analyysin perusteella origamin vastukseksi kosteassa tilassa jäi ainoastaan 70 M $\Omega$ . Lisäksi selvisi, että vastinien liike origamin pinnalla vaikuttaa merkittävästi johtavuuteen – varsinkin matalilla taajuuksilla (kuva 2f) [10].

Origamimittauksia täydentämään valmistimme TX-tiilirakenteen, joka oli aiempaa pienempi, saumaton ja huomattavasti lyhyemmällä linkkereillä varustettu. Vaikka kaikki ominaisuudet oli muokattu siten, että johtavuus parani, tulokset kuitenkin sanoivat toista [11]. Näin ollen johtavuus ei skaalautunutkaan suoraan rakenteen pituuden mukaan, mikä vihjasi sen olevan enimmäkseen veden aikaansaamaa – origamin TX-tiiltä suurempi tilavuus kerää enemmän vettä sekä ioneja.

worldwide, i.e., the environment affects the DNA conductivity dramatically. The dynamic double helix is stable only in an aqueous salt solution or in high humidity. This also explained some of the earlier contradicting results.

After professor Törmä moved to Helsinki University of Technology (nowadays called Aalto University) the electrical measurements were continued within the Molecular Electronics and Plasmonics group led by me. During our electrical measurements of DNA origami, we utilized impedance spectroscopy (IS), i.e., multi-frequency analysis, in addition to the earlier direct current (DC) techniques. This enabled analysis of different conductivity methods, and immediately revealed that the main resistance in the DC measurements was due to so-called linker molecules used in attaching the thiol groups. Consequently, 70 M $\Omega$  was obtained for the resistance of a genuine origami in high humidity. Also the high importance of an ionic conductivity was revealed – especially at low frequencies (Fig. 2f) [10].

To complete the origami measurements, we designed and fabricated a shorted and seamless TX-tile construct having especially short linker molecules. Although all the properties were aimed at better conductivity, the results yielded the opposite [11]. This revealed that the conductivity does not scale with length but instead with volume, which strongly suggests the conductivity to be water induced – higher volume of the origami will gather more water and ions than the smaller TX tile.

At the same time, in collaboration with German Nanobiophotonics research group led by Dr. Wolfgang Fritzsche (IPHT, Jena), we demonstrated the transport of an electric

Samoihin aikoihin onnistuimme kuitenkin yhteistyössä saksalaisen Dr Wolfgang Fritzschen johtaman Nanobiophotonics (IPHT, Jena) ryhmän kanssa osoittamaan sähköisen signaalin etenemisen DNA molekyyleissä useiden mikrometrien verran, joka on pisin todennettu matka tähän mennessä [12]. Edellisistä mittauksista poiketen tässä tutkimuksessa signaalin syöttö tapahtui optisesti kultananopartikkelien avulla.

Myöhemmin olemme tutkineet kolmiulotteisia DNA origameja (kuva 2 d), jotka suunnitteli ja valmisti entinen opiskelijamme Münchenin teknisessä yliopistossa. Käyttämässämme 3D-origamissa reunimmaisat kaksoiskierteet suojaavat keskimmäisiä ympäristön vaikutuksilta. Näin ollen keskimmäiset kaksoiskierteet voisivat säilyttää muotonsa olosuhteissa kuin olosuhteissa ja johtaa paremmin sähköä. Epäsuoria vihjeitä tästä olemmekin jo saaneet, mutta tutkimus on vielä kesken [13].

## Nanokomponenttien rakennusalausta

Kuten mainittu, DNA-rakenteisiin voidaan myös liittää muita nanokokoisia komponentteja. Koska itse DNA:n sähköjohtavuus edelleen osoittautui liian herkäksi varsinaisten sovellusten toteuttamiseen, alkoi mielenkiintomme kohdistua enemmän tähän vaihtoehtoon. Tästä hyvänä esimerkkinä toimivat jo aiemmin demonstroimamme proteiinien järjestäminen DNA-origamille [14], sekä kultananopartikkelien ja TX-tiilien avulla juuri toteutettu yhden elektronin transistori. Kumpikin rakenne valmistettiin täysin DNA:n itsejärjestyvyyteen perustuen. (Lisää tietoa DNA-elektronikasta Jyväskylässä sekä muualla löytyy kookooma-artikkelista [15].)

signal via DNA nanowire over a distance of micrometers [12]. This is the longest distance demonstrated so far. Unlike previous measurements, the coupling of the signal was done via plasmonic excitation of gold nanoparticles.

More recently, we have started to study 3D-origami. Within our 3D origami, fabricated by our former student at Technical University of Munich, the inner helices are protected from the environment by the outer ones. Thus, they could sustain their form much better in various conditions and maybe conduct significantly better. We have already obtained indirect hints of this but the work is still ongoing [13].

## DNA as a scaffold

As mentioned earlier, DNA can also be utilized to assemble other nanoscale components. As the conductivity of the DNA itself still proved to be too fragile to be utilized in real devices, we have started to concentrate more on this strategy. Good examples of this are our realization of protein assembly on origami done already within the group of nanoelectronics [14], and a single electron transistor we just recently fabricated via TX tiles and gold nanoparticles. Both constructions were self-assembled by utilizing DNA as a scaffold. (More info about DNA electronics in Jyväskylä and elsewhere can be found from the review article [15])



## Silta tieteenalojen välille

DNA:n soveltaminen nanoteknologiaan toimii hyvänä esimerkkinä kahden tieteenalan (biologia ja fysiikka) kohtaamisesta samalla rajapinnalla. Romuttuneita ovat niin fyysikoiden käsitykset DNA-molekyylistä robustina komponenttina, joka voidaan surutta kytkeä kaikkennäköisiin piireihin, kuin myös biologien käsitys DNA:sta pelkästään geneettisen informaation kantajana. Kummankin osapuolen näkemys asiasta on laajentunut huomattavasti, ja mikä tärkeintä - välille on syntynyt yhteinen tieteen ”kieli”, jolla kommunikointi sujuu joustavasti, ilman että puhutaan samasta asiasta toistemme ohi. Tämä kokemus on nitonut tieteenaloja yhteen - kuten niittijuosteet DNA-origamin.

Tulevaisuudessa edellä mainittujen, jo meneillään olevien, tutkimusten lisäksi tulemme laajentamaan DNA-rakenteiden käyttämistä nanosapluunoina. Yhteistyötä tieteenalojen välillä on tarkoitus myös syventää. Olemme jo aloittaneet projekteja, joissa hyödynnämme proteiineja fysikaalisiin laitteisiin ja luomme vahvempaa siltaa bio maailman ja perinteisen teknologian välille.

## Bridge between the disciplines

The utilization of DNA in nanotechnology is a good example of two different disciplines of science (biology and physics) meeting at the same playground. Gone are the illusions of physicist about DNA as a robust molecule which could be utilized in any electrical circuit, as well as the notions of biologists about DNA as purely the carrier of genetic information. Perspectives have changed within both disciplines, and more importantly – a common “language” between them has developed to the point of enabling reliable communication without ambiguities. The experience has bound the disciplines together as the staple strands bind the DNA origami.

In the future, we will exploit the use of DNA structures as a scaffold further. Also the collaboration between the disciplines will be deepened. Already now, we have started projects where proteins will be utilized as part of a technological device, bridging the biological and physical world together.

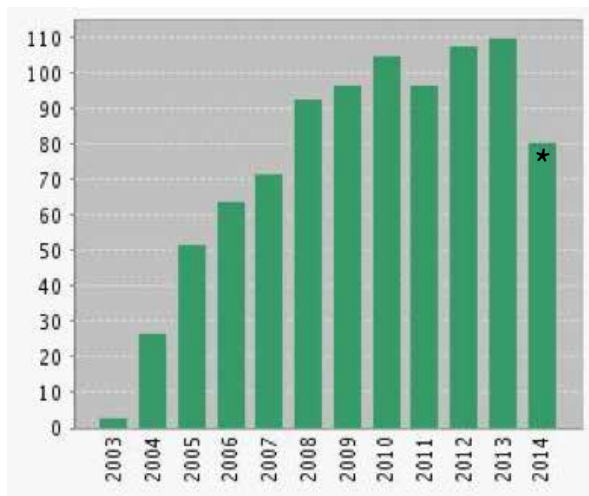
## Julkaisut / References

1. S. Tuukkanen, J.J. Toppari, V.P. Hytönen, A. Kuzyk, M.S. Kulomaa, and P. Törmä, "Dielectrophoresis as a tool for nanoscale DNA manipulation", *Int. J. Nanotechnology* 2, No. 3, 280–291 (2005).
2. S. Tuukkanen, A. Kuzyk, J.J. Toppari, V.P. Hytönen, T. Ihalainen and P. Törmä, "Dielectrophoresis of nanoscale double-stranded DNA and humidity effects on its electrical conductivity", *Appl. Phys. Lett.* 87, 183102 (2005).
3. S. Tuukkanen, A. Kuzyk, J.J. Toppari, H. Häkkinen, V.P. Hytönen, E. Niskanen, M. Rinkiö, and P. Törmä "Trapping of 27 bp - 8 kbp DNA and immobilization of thiol-modified DNA using dielectrophoresis," *Nanotechnology* 18, 295204 (2007). Chosen as the *Nanotechnology Journal Highlight*, see <http://nanotechweb.org/articles/journal/6/6/8/1>.
4. A. Kuzyk, J.J. Toppari, and P. Törmä, "Trapping and Immobilization of DNA Molecules Between Nanoelectrodes" in "DNA Nanotechnology", *Methods and Protocols, Series: Methods in Molecular Biology*, Vol. 749. Editors: Giampaolo Zuccheri and Bruno Samori (Humana Press, Springer, 2011).
5. S. Tuukkanen, J.J. Toppari, A. Kuzyk, L. Hirviniemi, V.P. Hytönen, T. Ihalainen, and P. Törmä, "Carbon nanotubes as electrodes for dielectrophoresis of DNA", *Nanoletters* 6, 1339 (2006).
6. A. Kuzyk, B. Yurke, J.J. Toppari, V. Linko, and P. Törmä, "Dielectrophoretic trapping of DNA origami", *Small* 4, 447 (2008).
7. T.K. Hakala, V. Linko, A.-P. Eskelinen, J.J. Toppari, A. Kuzyk, and P. Törmä, "Field induced nanolithography for high-throughput pattern transfer", *Small* 5, 2683 (2009).
8. T. Parviainen, G. Eidelstein, A. Kotlyar, J.J. Toppari, "Conductive Behavior of G4-DNA-Silver Nanoparticle Structures" pages 314-323 in "Guanine Quartets: Structure and Application", Editors: Lea Spindler and Wolfgang Fritzsche (Royal Society of Chemistry, RSC Publishing, 2012).
9. V. Linko, J. Leppiniemi, B. Shen, E. Niskanen, V.P. Hytönen and J.J. Toppari, "Growth of immobilized DNA by polymerase: bridging nanoelectrodes with individual dsDNA molecules", *Nanoscale* 3, 3788 (2011).
10. V. Linko, S.-T. Paasonen, A. Kuzyk, P. Törmä, and J.J. Toppari, "Characterisation of the Conductance Mechanisms of the DNA Origami by AC Impedance Spectroscopy", *Small* 5, 2382 (2009).
11. V. Linko, J. Leppiniemi, S.-T. Paasonen, V.P. Hytönen and J.J. Toppari, "Defined-sized DNA triple crossover construct for molecular electronics: modification, positioning and conductance properties", *Nanotechnology* 22, 275610 (2011).
12. J.J. Toppari, J. Wirth, F. Garwe, O. Stranik, A. Csaki, J. Bergmann, W. Paa and W. Fritzsche, "Plasmonic Coupling and Long-Range Transfer of an Excitation along a DNA Nanowire" *ACS Nano* 7, 1291–1298 (2013).
13. B. Shen, V. Linko, H. Dietz and J.J. Toppari, Dielectrophoretic trapping of multilayer DNA origami nanostructures and origami-induced local destructor of silicon dioxide. To appear in *Electrophoresis* (DOI: 10.1002/elps.201400323).
14. A. Kuzyk, K.T. Laitinen and P. Törmä, "DNA origami as a nanoscale template for protein assembly" *Nanotechnology* 20, 235305 (2009).
15. V. Linko and J.J. Toppari, "Self-Assembled DNA-Based Structures for Nanoelectronics" Review, *Journal of Self-Assembly and Molecular Electronics* 1, 101 (2013).

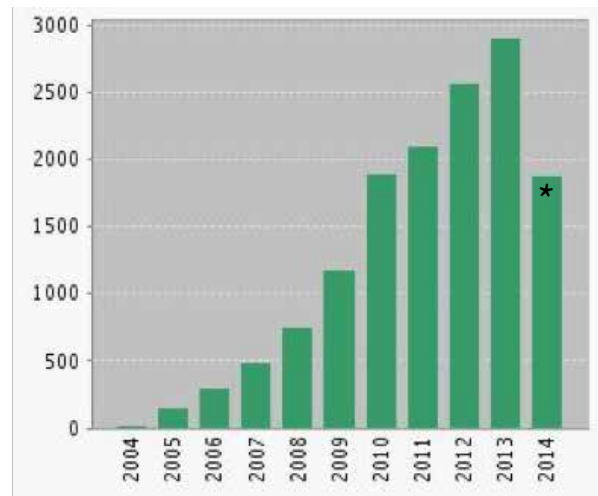
# PUBLICATION ACTIVITY FROM THE NANOSCIENCE CENTER 2003 – 2014

According to the analysis done in the beginning of September 2014 of the database in ISI Web of Science (<http://www.webofknowledge.com/>), NSC researchers have published about 900 peer-reviewed articles since 2003. In the past 4-5 years, the annual output has been around 100 papers as shown in the figure below. The annual citation count to

these papers has been rising very rapidly and is expected to exceed 3000 in 2014. The “h-index” of the NSC is 49, meaning that there are 49 papers that have been cited at least 49 times. The average citation count per paper is 16. The 10 most cited papers have been authored by only two groups, Häkkinen (7 papers) and Rissanen (3).



*Left: Annual number of papers published from the NSC.*



*Right: Annual citations. \* By end of August.*

The table below shows a representative statistics of the papers in the general science “top” journals and in the well-known journals of respective research areas of NSC. All 25 papers that have appeared in Science, Nature Publishing Group journals or in the Proceedings of the National Academy of Sciences (USA) are listed at the end, with the NSC authors shown by bold. While most of the “top” papers have been written as a result of often broad international

collaborations, there are five papers that have been authored solely at NSC. Altogether, 11 NSC groups have contributed to the list. Most interesting is the fact that the two most recent years have produced 12 of the 25 papers. This can be taken as a sign of rapid expansion of the researcher base who have set high goals to publish in the most challenging journals, and who have shown that they can succeed in doing so. This gives bright views for the second decade of research at NSC.

	IF	#		IF	#
Science	31.5	6	Nature Chemistry	23.3	4
Nature	42.4	3	Nature Materials	36.4	2
			Nature Photonics	30.0	1
Proceedings of the National Academy of Sciences	9.8	4	Nature Methods	26.0	2
			Nature Communications	10.7	3
Reviews of Modern Physics	45.0	1	Chemical Society Reviews	30.5	2
Physics Reports	22.9	1			
Physical Review Letters	7.7	31	ACS Nano	12.0	6
Applied Physics Letters	3.8	19	Nano Letters	12.9	6
Physical Review B	3.7	85	Nanoscale	6.7	4
Optics Express	3.5	4			
Carbon	6.2	6	New Journal of Physics	3.7	18
Journal of the American Chemical Society	11.4	27	EMBO Journal	10.7	3
Angewandte Chemie	13.7	16	Journal of Virology	4.6	13
Chemical Communications	6.7	14	Developmental Cell	10.4	1
Organic Letters	6.3	11	Structure	6.8	1
Journal of Physical Chemistry Letters	6.7	11	Molecular Biology of the Cell	6.0	4
Journal of Physical Chemistry A,B,C	2.8-4.8	50	Journal of Cell Biology	10.8	1
Journal of Computational Chemistry	3.6	2	European Heart Journal	10.4	1
Journal of Chemical Theory and Computation	5.3	3	Circulation Research	11.9	1
Physical Chemistry Chemical Physics	4.2	11	Journal of Chemical Physics	3.1	22
Chemical Science	8.6	4	PLoS One	3.5	10
CrystEngComm	3.9	29			
ChemPhysChem	3.4	2	Analytical Chemistry	5.8	1
Chemistry – an Asian Journal	3.9	2	Inorganic Chemistry	4.8	8
Chemistry – a European Journal	5.7	17	Crystal Growth & Design	4.6	7
ACS Catalysis	7.6	1	Organic Biomolecular Chemistry	3.5	3
Journal of Catalysis	6.4	1			

1. J. Kinnunen, M. Rodriguez and P. Törmä. "Pairing gap and in-gap excitations in trapped fermionic superfluids", *Science* 305, 1131 (2004).
2. B. Huber, P. Koskinen, H. Häkkinen, and M. Moseler, "Oxidation of Pd-clusters leads to the ultimate limit of epitaxy with a catalytic function", *Nature Materials* 5, 44-47 (2006).
3. M. Walter, J. Akola, O. Lopez-Acevedo, P. D. Jadzinsky, G. Calero, C. J. Ackerson, R. L. Whetten, H. Grönbeck, H. Häkkinen, "A unified view of ligand-protected gold clusters as superatom complexes", *Proc. Natl. Acad. Sci USA* 105, 9157 (2008)
4. P. Metrangolo, Y. Carcenac, M. Lahtinen, T. Pilati, K. Rissanen, A. Vij and G. Resnati, "Nonporous organic solids capable of dynamically resolving mixtures of diiodoperfluoroalkanes", *Science* 323, 1461 (2009).
5. P. Mal, B. Breiner, K. Rissanen and J.R. Nitschke, "White phosphorous is air-stable within a self-assembled tetrahedral capsule", *Science* 324, 1697 (2009).
6. V. Percec, D.A. Wilson, P. Leowanawat, C.J. Wilson, A.D. Hughes, M.S. Kaucher, D.A. Hammer, D.H. Levine, A.J. Kim, F.S. Bates, K.P. Davis, T.P. Lodge, M.L. Klein, R.H. DeVane, E. Aqad, B.M. Rosen, A.O. Argintaru, M.J. Sienkowska, K. Rissanen, S. Nummelin, J. Ropponen, "Self-assembly of Janus dendrimers into uniform dendrimersomes and other complex architectures", *Science* 328, 1009 (2010).
7. O. Lopez-Acevedo, K.A. Kacprzak, J. Akola and H. Häkkinen, "Quantum size effects in ambient CO oxidation catalyzed by ligand-protected gold clusters", *Nature Chemistry* 2, 329 (2010).
8. S. Kohara, J. Akola, H. Morita, K. Suzuya, J.K.R. Weber, M.C. Wilding and C.J. Benmore, "Relationship between topological order and glass forming ability in densely packed enstatite and forsterite composition glasses", *Proc. Natl. Acad. Sci USA* 108, 14780 (2011).
9. J.F. Ayme, J.E. Beves, D.A. Leigh, R.T. McBurney, K. Rissanen and D. Schultz, "A synthetic molecular pentafoil knot", *Nature Chemistry* 4, 15 (2012).
10. H. Häkkinen, "The gold-sulfur interface at the nanoscale" (Invited Review), *Nature Chemistry* 4, 443 (2012).
11. P. Kankaanpää, L. Paavolainen, D. Tiitta, M. Karjalainen, J. Päivärinne, J. Nieminen, V. Marjomäki, J. Heino, D.J. White, "BioImageXD: an open, general-purpose and high-throughput image-processing platform", *Nature Methods* 9, 683 (2012).
12. L. Rognoni, J. Stigler, B. Pelts, J. Yläne and M. Rief, "Dynamic force sensing of filamin revealed in single-molecule experiments", *Proc. Natl. Acad. Sci USA* 109, 19679 (2012).
13. O.V. Astafiev, L.B. Ioffe, S. Kafanov, Y.A. Pashkin, K.Y. Arutyunov, D. Shahar, O. Cohen and J.S. Tsai, "Coherent quantum phase slip", *Nature* 484, 355 (2012).
14. H. Yang, Y. Wang, H. Huang, L. Gell, L. Lehtovaara, S. Malola, H. Häkkinen and N. Zheng, "All-thiol-stabilized Ag<sub>44</sub> and Au<sub>12</sub>Ag<sub>32</sub> nanoparticles with single-crystal structures", *Nature Communications* 4, 2422 (2013).
15. A.E. Shyer, T. Tallinen, N.L. Nerurkar, Z.Y. Wei, E.S. Gil, D.L. Kaplan, C.J. Tabin and L. Mahadevan, "Villification: How the gut gets its villi", *Science* 342, 212 (2013).

16. Y. Inokuma, S. Yoshioka, J. Ariyoshi, T. Arai, Y. Hitora, K. Takada, S. Matsunaga, K. Rissanen and M. Fujita, "X-ray analysis on the nanogram to microgram scale using porous complexes", *Nature* 495, 461 (2013).
17. H.Y. Yang, Y. Wang, H.Q. Huang, L. Gell, L. Lehtovaara, S. Malola, H. Häkkinen and N.F. Zheng, "All-thiol stabilized Ag<sub>44</sub> and Au<sub>12</sub>Ag<sub>32</sub> nanoparticles with single-crystal structures", *Nature Communications* 4, 2422 (2013).
18. V. Marjomäki, T. Lahtinen, M. Martikainen, J. Koivisto, S. Malola, K. Salorinne, M. Pettersson and H. Häkkinen, "Site-specific targeting of enterovirus capsid by functionalized monodisperse gold nanoclusters", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, (2014)
19. N. Zen, T.A. Puurtinen, T.J. Isotalo, S. Chaudhuri and I.J. Maasilta, "Engineering thermal conductance using a two-dimensional phononic crystal", *Nature Communications* 5, 3435 (2014).
20. D.M. Tang, D.G. Kvashnin, S. Najmaei, Y. Bando, K. Kimoto, P. Koskinen, P.M. Ajayan, B.I. Yakobson, P.B. Sorokin, J. Lou and D. Goldberg, "Nanomechanical cleavage of molybdenum disulphide atomic layers", *Nature Communications* 5, 3631 (2014).
21. H. Takala, A. Björling, O. Berntsson, H. Lehtivuori, S. Niebling, M. Hoernke, I. Kosheleva, R. Henning, A. Menzel, J.A. Ihalainen and S. Westenhoff, "Signal amplification and transduction in phytochrome photosensors", *Nature* 509, 245 (2014).
22. G.R. Schaller, F. Topic, K. Rissanen, Y. Okamoto, J. Shen and R. Herges, "Design and synthesis of the first triply twisted Möbius annulene", *Nature Chemistry* 6, 609 (2014).
23. S. Yampolsky, D.A. Fishman, S. Dey, E. Hulkko, M. Banik, E.O. Potma, V.A. Apkarian, "Seeing a single molecule vibrate through time-resolved coherent anti-Stokes Raman scattering", *Nature Photonics* 8, 650 (2014).
24. D. Arnlund, L.C. Johansson, C. Wickstrand, A. Barty, G.J. Williams, E. Malmerberg, J. Davidsson, D. Milathianaki, D.P. DePonte, R.L. Shoeman, D. Wang, D. James, G. Katona, S. Westenhoff, T.A. White, A. Aquila, S. Bari, P. Berntsen, M. Bogan, T. Brandt van Driel, R. Bruce Doak, K.S. Kjaer, M. Frank, R. Fromme, I. Grotjohann, R. Henning, M.S. Hunter, R.A. Kirian, I. Kosheleva, C. Kupitz, M. Liang, A.V. Martin, M. Meedom Nielsen, M. Messerschmidt, M.M. Seibert, J. Sjöhamn, F. Stellato, U. Weierstall, N.A. Zatsepin, J.C.H. Spence, P. Fromme, U. Schlichting, S. Boutet, G. Groenhof, H.N. Chapman and R. Neutze, "Visualizing a protein quake with time-resolved X-ray scattering at a free-electron laser", *Nature Methods* 11, 923 (2014).
25. M. Azubel, J. Koivisto, S. Malola, D. Bushnell, G.L. Hura, A.L. Koh, H. Tsunoyama, T. Tsukuda, M. Pettersson, H. Häkkinen and R.D. Kornberg, "Electron microscopy of gold nanoparticles at atomic resolution", *Science* 345, 909 (2014).

TUTKINNOT | MSC AND PHD DEGREES

# MSc in Nanoscience

Name	Nationality	Major	Year
Kuzyk Anton	Ukraine	physics	2005
Ihalainen Teemu Olavi	Finland	cell biology	2005
Avnon Asaf	Israel	electronics	2006
Hassan Mohammed Rabie	Egypt	physics	2006
Laitinen Mikko Ilkka	Finland	physics	2005
Beyeh Kodiah Ngong	Cameroon	chemistry	2004
Kristianto Kristianto	Indonesia	chemistry	2005
Virtanen Suvi	Finland	chemistry	2004
Mohammad Farrug Ahmed	India	molecular biology	2006
Chenyi Gwe Gilbert	Cameroon	biochemistry	2008
Blair Eric Stephen	USA	physics	2006
Isotalo Tero	Finland	physics	2007
Lehtivuori Heli Katariina	Finland	physics	2006
Nkwenti Tse Aghanwi	Cameroon	physics	2007
Helttunen Kaisa Johanna	Finland	organic chemistry	2006
Mtsuko Davie John	Malawi	physics	2007
Zavodchikova Marina	Russian	physics	2007
Antila Liisa Johanna	Finland	chemistry	2006
Tikkanen Hanna	Finland	chemistry	2007
Karttunen Jenni Maria	Finland	chemical biology	2007
Balci Mustafa	Turkey	physical chemistry	2009
Eskelinen Antti	Finland	physics	2009
Julukian Armen	Georgia	physics	2009
Kit Oleg	Ukraine	physics	2009
Koberidze Manana	Georgia	physics	2010
Palosaari Mikko	Finland	physics	2009
Luo Nannan	China	organic chemistry	2010
Baieva Svitlana	Ukraine	physics	2011
Bostan Irina	Romania	physics	2011
Geng Zhuoran	China	physics	2011
Kuva Jukka	Finland	physics	2010
Oksanen Mika	Finland	physics	2010
Shen Boxuan	China	physics	2012
Torgovkin Andrii	Ukraine	physics	2012
Luukkonen Milja	Finland	molecular biology	2011
Rissanen Ilona	Finland	molecular biology	2010
Bekçioğlu Gül	Turkey	physics	2011

Filippovych Kateryna	Ukraine	physics	2012
Ta Le Cam Tu	Vietnam	physics	2011
Butenko Kateryna	Ukraine	chemistry	2012
Chukhlieb Maryna	Ukraine	chemistry	2011
Li Yadan	China	chemistry	2011
Liukkonen Alli-Mari	Finland	organic chemistry	2012
Mashaghi Tabari Samaneh	Iran	cell biology	2011
Pervushyn Kyrylo	Ukraine	physics	2012
Rojas Rojas Laura	Costa Rica	physics	2012
Hannula Konsta	Finland	physics	2012
Ruonala Verneri	Finland	physics	2012
Parviainen Teemu	Finland	physics	2013
Kekäläinen Janne	Finland	physics	2013
Hänninen Tuomas	Finland	physics	2013
Pekkala Ilkka	Finland	physics	2013
Shao Dongkai	China	physics	2013
Käyhkö Marko	Finland	physics	2013
Konttinen Mikko	Finland	physics	2013
Andrejeff Tanja	Finland	physics	2014
Havukainen Mira	Finland	physical chemistry	2014
Pohjolainen Emmi	Finland	physics	2014



# PhD in Nanoscience

Name	PhD thesis	Year	Supervisor
Heidi Mansikkamäki	Self-Assembly of Resorcinarenes	2006	Kari Rissanen
Lasse Taskinen	Thermal properties of mesoscopic wires and tunnel junctions	2006	Ilari Maasilta
Kari Rytkönen	Electronic and structural studies of free and supported metal clusters and molecules	2006	Jaakko Akola
Jami Kinnunen	Radio-frequency spectroscopy of superfluid Fermi gas	2006	Päivi Törmä
Sampo Tuukkanen	Dielectrophoresis as a tool for on-chip positioning of DNA and electrical characterization of nanoscale DNA	2006	Päivi Törmä
Jussi Ahokas	Spectroscopic Studies of Atoms and Small Molecules Isolated in Rare Gas Solids: Photodissociation and Thermal Reactions	2006	Henrik Kunttu
Thomas Kühn	Phononic transport in dielectric membranes	2007	Matti Manninen
Paula Upla	Integrin-mediated entry of echovirus 1	2008	Varpu Marjomäki
Juha-Pekka Nikkarila	Theoretical studies of artificial atoms and lattices	2008	Matti Manninen
Johanna Laakkonen	Intracellular Delivery of Baculovirus and Streptavidin-based Vectors in vitro - Towards Novel Therapeutic Applications	2008	Maija Vihinen-Ranta
Maciej Żgierski	Experimental study of fluctuations in ultra-narrow superconducting nanowires	2008	Kostia Arutyunov
Ngong Kodiah Beyeh	Resorcinarenes and their derivatives: Synthesis, characterization and complexation in gas phase and in solution	2008	Kari Rissanen
Timo Koponen	Fermionic superfluidity in optical lattices	2008	Päivi Törmä
Anna Mäkelä	Towards Therapeutic Gene Delivery to Human Cancer Cells: Targeting and Entry of Baculovirus	2008	Christian Oker-Blom
Elina Kakkonen	Regulation of Raft-derived Endocytic Pathways - Studies on Echovirus 1 and Baculovirus	2009	Varpu Marjomäki
Pasi Myllyperkiö	Ultrafast electron transfer from potential organic and metal containing solar cell sensitizers	2009	Jouku Korppi-Tommola
Panu Koppinen	Applications of tunnel junctions in low-dimensional nanostructures	2009	Ilari Maasilta
Anton Kuzyk	Molecular devices for nanoelectronics and plasmonics	2009	Päivi Törmä
Sami Mamola	Computational studies of defects in graphene and carbon nanotubes	2009	Hannu Häkkinen
Jenni Karvonen	Thermal properties in low dimensional structures below 1 K	2009	Ilari Maasilta
Kirsi Pakkanen	From endosomes onwards. Membranes, lysosomes and viral capsid interactions	2009	Matti Vuento
Teemu Ihalainen	Intranuclear Dynamic in Parvovirus Infection	2009	Maija Vihinen-Ranta
Kirsi Salorinne	Tetramethoxy Resorcinarene Based Cation and Anion Receptors: Synthesis, Characterization and Binding Properties	2009	Maija Nissinen
Tuomas Tallinen	Numerical studies on membrane crumpling)	2009	Jussi Timonen
Marcus Rinkö	Carbon nanotube memory devices with designed high-k gate dielectrics	2009	Päivi Törmä
Tommi Hakala	Applications of light-matter interactions in nanoscience	2009	Päivi Törmä
Pentti Frondelius	Electronic, structural and chemical properties of gold clusters on ultra-thin oxide films	2009	Karoliina Honkala
Tero Tuuttila	Functional Dendritic Polyester Compounds: Synthesis and Characterization of Small Bifunctional Dendrimers and Dyes	2009	Kari Rissanen
Katarzyna Kacprzak	Density functional studies of the electronic structure and catalytic properties of small bare and ligand-protected gold clusters	2010	Hannu Häkkinen
Tiina Kiviniemi	Vibrational dynamics of iodine molecule and its complexes in solid krypton. Towards coherent control of bimolecular reactions?	2010	Mika Pettersson
Einari Niskanen	On dynamics of parvoviral replication protein NS1	2010	Maija Vihinen-Ranta
Matti Jalasvuori	Viruses are ancient parasites that have influenced the evolution of contemporary and archaic forms of life	2010	Jaana Bamford
Kari Raatikainen	Synthesis and structural studies of piperazine cyclophanes -	2010	Kari Rissanen
	Supramolecular systems through halogen and hydrogen bonding and metal ion coordination		
Anni Siitonen	Spectroscopic studies of semiconducting single-walled carbon nanotubes	2010	Mika Pettersson
Viivi Koivu	Analysis of fluid flow through porous media based on micro-tomographic reconstructions	2010	Jussi Timonen
Laura Ilander	Uranyl Salophens: Synthesis and Use as Ditopic Receptors	2010	Kari Rissanen
Pekka Postila	Dynamics of the ligand-binding domains of ionotropic glutamate receptors	2010	Olli Pentikäinen
Salla Ruskamo	Structure, interactions and packing of filamin domains	2011	Jari Yläne
Elisa Nurminen	Rational Drug Discovery - Structural Studies of Protein-Ligand Complexes	2011	Olli Pentikäinen

Kimmo Leivo	Gelation and gel properties of two- and three-component Pyrene based low molecular weight organogelators	2011	Henrik Kunttu
Veikko Linko	DNA-based applications in molecular electronics	2011	Jussi Toppari
Jari Martiskainen	Electronic energy transfer in light-harvesting complexes isolated from Spinacia oleracea and from three photosynthetic green bacteria Chloroflexus aurantiacus, Chlorobium tepidum, and Prosthecochloris aestuarii	2011	Jouko Korppi-Tommola
Jarkko Koivunen	Discovery of $\alpha 2\beta 1$ integrin ligands: Tools and drug candidates for cancer and thrombus	2011	Olli Pentikäinen
Mikko Karjalainen	Echovirus 1 entry via novel multivesicular bodies	2011	Varpu Marjomäki
Jukka Aumanen	"Photophysical properties of dansylated poly(propylene amine) dendrimers	2011	Jouko Korppi-Tommola
Jenni Andersin	"Catalytic activity of Palladium-based nanostructures in the conversion of simple OLEFINIC hydro- and chlorohydrocarbons from first principles	2011	Karoliina Honkala
Heikki Takala	Three proteins regulating integrin function – filamin, 14-3-3 and RIAM	2011	Jari Yläne
Jarkko Lievonen	Force measurements and tip shape approximation with the atomic force microscope	2011	Markus Ahlskog
Kimmo Kinnunen	Studies of transition-edge sensor physics: noise and thermal models	2011	Ilari Maasilta
Elisa Nauha	Crystalline forms of selected agrochemical actives: design and synthesis of cocrystals	2012	Maija Nissinen
Kaisa Helttunen	Exploring the self-assembly of resorcinarenes: from molecular level interactions to mesoscopic structures	2012	Maija Nissinen
Davie Mtsuko	Experimental study of electron transport in mesoscopic carbon based nanostructures	2012	Markus Ahlskog
Petri Myöhänen	Many-particle theory for time-dependent quantum transport in nanostructures	2012	Robert van Leeuwen
Minna Nevala	Development of niobium-based superconducting junctions	2012	Ilari Maasilta
Eero Hulkko	Spectroscopic signatures as a probe of structure and dynamics in condensed-phase systems - Studies of iodine and gold ranging from isolated molecules to nanoclusters	2012	Mika Pettersson
Nina Rintanen	Clustering-triggered endocytic pathway of $\alpha 2\beta 1$ integrin	2012	Varpu Marjomäki
Lauri Nykänen	Computational studies of carbon chemistry on transition metal surfaces	2012	Karoliina Honkala
Ville Mäkinen	Modeling the atomic and electronic structure of nanoparticle-ligand interface	2013	Hannu Häkkinen
Janne Kalikka	Density functional / molecular dynamics simulations of phase-change materials	2013	Jaako Akola
Chandan Giri	Sub-component Self-assembly of linear and nonlinear diamines and diacylhydrazines, formylpyridine and transition metal cations	2013	Kari Rissanen
Johan Lindgren	Computational investigations on rotational and vibrational spectroscopies of some diatomics in solid environment	2013	Toni Kiljunen
Salla Virtanen	Virtual screening: Development of a novel structure-based method	2013	Olli Pentikäinen
Liisa Antila	Spectroscopic studies of electron transfer reactions at the photoactive electrode of dye-sensitized solar cells	2013	Korppi-Tommola
Paula Turkki	Cellular factors promoting efficient baculovirus internalization and gene delivery into human cells	2013	Varpu Marjomäki
Ville Kotimäki	Real-space Quantum Transport in Two-dimensional Nanostructures in Magnetic Fields	2013	Hannu Häkkinen
Suvi Virtanen	Structural studies of dielectric polymer nanocomposites	2013	Mika Pettersson
Lassi Paavola	Algorithms and software for biological multiscale image analysis	2013	Tuomo Rossi/Marjomäki
Mikko Ylilauri	Effect of ligand-binding on protein function	2014	Olli Pentikäinen
Tero Isotalo	2-D and 3-D Periodic Nanostructures for Thermal Engineering Applications	2014	Ilari Maasilta
Jenni Karttunen	Interactions of virus proteins within the host cell	2014	Jaana Bamford
Ilona Rissanen	An ancient virus type from extreme environments	2014	Jaana Bamford
Olli Herranen	Experimental Characterization of Electronic, Structural and Optical Properties of Individual Carbon Nanotubes	2014	Markus Ahlskog
Rithika Seth	Inter-domain interactions in filamins	2014	Jari Yläne
Jonna Nykky	Viruses-cell interactions as a pathological mechanism of parvovirus infection	2014	Leona Gilbert
Janne Lehtinen	Quantum fluctuations in superconducting nanostructures	2014	Konstantin Arutyunov
Peerapong Yotprayoosakul	Complexes of carbon nanotubes with ions and macromolecules; Studies on electronic conduction properties	2014	Markus Ahlskog



## PIENESTÄ SYNTYI SUURTA

Jyväskylän Nanotiedekeskuksen (NSC) historiaan mahtuu niin onnellisia sattumia, hyviä päätöksiä kuin pioneirihenneäkin. Historiikkiin on koottu mielenkiintoisia tarinoita ja tutkijoiden kokemuksia matkan varrelta. Vaikka kyseessä on Nanotalon kymmenvuotishistoriikki, syntytarina alkaa jo 90-luvulta ja on samalla kertomus siitä, miten nano tuli Suomeen.

Tiesitkö, että maailman pienin lämpömittari syntyi Jyväskylän Nanotiedekeskuksessa hieman epäonnistuneiden kokeiden seurauksena? Oletko kuullut, miten idea nanomailojen materiaalista syntyi Jyväsjärven rannalla - ja miten se liittyy Teräsmieheen? Historiikista voit myös lukea, miten Nanotiedekeskus johdatti teoreettisen fyysikon virusten kimppuun, miten faksi Amerikasta pelasti rahahakemuksen - ja miten kemistit vitsailevat fyysikoille.

## NANO CAME TO JYVÄSKYLÄ

The history of the University of Jyväskylä's Nanoscience Center is marked by lucky coincidence, good decisions and pioneering spirit. This book is composed of interesting stories and researchers' experiences from along the way. Although it is a ten year anniversary history, the story begins already in the 1990's and is simultaneously a story of how nano came to Finland.

Did you know that the world's smallest thermometer was born in Jyväskylä's Nanoscience Center as a result of an unsuccessful experiment? Do you know the connection between the nano-material hockey stick, the shores of Lake Jyväsjärvi and superman? This book also tells of how Nanoscience Center lead a theoretical physicist to viruses, how a fax from America saved a funding application and how chemists joke about physicists.