

Luku 5. Betontechnika

Timo Myllyntaus

V27A_StilMN/ pe 8.4.2022

Oikein poltettu rakennusaine

Elämme betonin aikakautta. Se ympäröi meitä miltei kaikkialla, jopa luonnon keskellä vanhoilla kesähuviloillakin. Monet uudet mökit on rakennettu betonilaatan tai -pilareiden päälle, ja vanhoilla huviloilla vesi haetaan usein betonirenkaista tehdyistä kaivoista ja lämmitetään betoniperustuksille muurattuja uuneja. Kerrostaloasunnoissa betoni ympäröi asukkaita joka suunnasta. Betonikäyttö on nykyisin melkein talon rakentamisen ehto – puhumattakaan, että nykyisen kokoisia suuria vesivoimaloita olisi voitu edes kuvitellakaan ilman raudoitettua betonia.¹

Betoni on maailman käytetyin rakennusmateriaali, jota tuotetaan vuosittain likimain kaksi kuutiometriä maailman jokaista ihmistä kohti.² Luonnonmateriaaleista kuten kalkkikivistä, savesta, kiviaineksista ja vedestä valmistettu betoni näyttää yksitoikkoisen harmaalta, mutta sillä on vaiheikas ja jopa kulmikas menneisyys. Sen synnyinsija on tuntematon, mutta tiedetään, että se on keksitty monta kertaa eri maissa vuosisatojen aikana. Välillä se on unohdettu, mutta keksitty jälleen uudelleen.³ "Betoniaikakausien" alkamiset ja loppumiset

² <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/>

³ Arvo Nykänen, *Betonin historiallinen kehitys*, Helsinki, VTT 1951, 3-4.

ovat riippuneet ennen kaikkea raaka-aineiden ja energian saannista, taloudellisista tekijöistä, sekä yhteiskunnissa vallitsevista mielipiteistä ja mieltymyksistä.

Nykyisin yleisimmän – savesta ja kipsistä kuumentamalla valmistetun – sementtityypin keksi brittiläinen muurari Joseph Aspdin Yorkshiressä. Vuonna 1824 hänelle myönnettiin patentti ”parannuksesta keinotekoisien kiven valmistustapaan”. Aspdin nimesi sen portlandsementiksi, koska se väriltään ja kovuudeltaan muistutti portlandiittiä, vaalean harmaata kalkkikivilajia, mitä louhittiin jurakauden rantakalliomuodostelman länsipäästä Portlandin saarelta Cornwallin rannikolta Englannin kanaalista.⁴ Joseph Aspdin ja hänen poikansa William pitivät valmistusmenetelmänsä tiukasti salaisuutenaan, ja varteenotettavan kilpailun puuttuessa he onnistuivat myymään sementtiään korkeaan hintaan pari vuosikymmentä. Aspdinien menestyksekkäs myyntituote ei kuitenkaan ollut ylivoimainen. He eivät nimittäin pystyneet valmistamaan täysin nykyisen laadukkaan portlandsementin kaltaista ainetta, koska heidän menetelmässään raaka-aineita ei poltettu riittävän korkeassa lämpötilassa. Heidän kilpailijansa, englantilaisen sementtitehtailijan Isaac Johnsonin (1811-1911), onnistui vuonna 1844 omilla kokeiluillaan kehittämään juuri sen sementtilaadun, jonka me nyt tunnemme portland-sementtinä. Hänen menetelmässään sementin raaka-aineet poltetaan täysin alkavaan sulamiseen eli sintrautumiseen saakka. Kun hänen portlandsementtinsä löi kaikissa suhteissa laudalta muut silloiset sementtilaadut, tieto sen

⁴ Vance H. Dodson, *Concrete Admixtures*, New York: Springer, Van Nostrand Reinhold, 1990, 2; https://fi.wikipedia.org/wiki/Joseph_Aspdin; What is the Jurassic Coast?, <https://jurassiccoast.org/what-is-the-jurassic-coast/>; Arvo Nykänen, *Betonin historiallinen kehitys*, Helsinki, VTT 1951, 5.

tuotantomenetelmistä kulkeutui lyhyessä ajassa maailmalle ja portlandsementin tuotanto alkoi kasvaa ripeästi.⁵

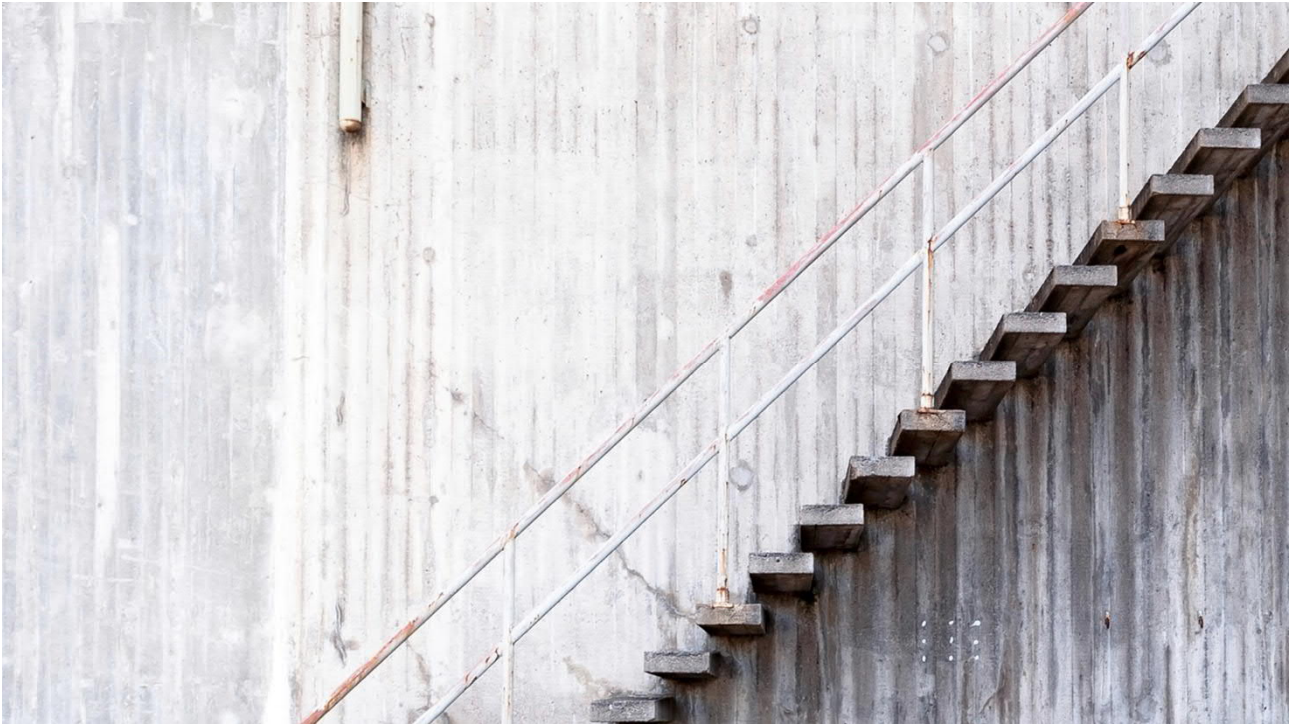
Suomeen portlandsementtiä tuotiin virallisen ulkomaankauppatilaston mukaan ensimmäisen kerran vuonna 1856 (joidenkin tietojen mukaan tuonti alkoi jo vuonna 1844 ja sen käyttö muurauksiin oli jatkuvaa Saimaan kanavan rakennuskohteissa). Tuon vuosisadan jälkipuoliskolla Suomessa toimi ainakin kaksi sementtitehdasta, joiden molempien tuotanto loppui heikkoon laatuun, kysynnän puutteeseen ja kilpailuun tuontisementin kanssa.⁶ Laadukasta sementtiä alettiin valmistaa Suomessa vasta 1914. Betonin vanhimpiin käyttökohteisiin Suomessa kuuluivat taidokkaasti valetut portaikot, joita on edelleenkin käytössä lukuisissa 1800- ja 1900-lukujen vaihteen kivitaloissa. Kiintoisaa on, että arkkitehtonisesti näyttäviä betoniportaikkoja löytyy lähes jokaisesta Oulujoen ja Emäjoen vesivoimalasta.

Muun muassa, Ämmäkosken voimalaitoksen ulkoseinässä on betoniset portaat (Kuva 1.), joiden suorakaiteen muotoiset askelmat ovat kiinni rakennuksen seinässä vain toisesta päästään ja toinen pää on ilmassa. Vain joka neljännen askelman toinen pää roikkuu kapeasta rautakaiteesta ohuella neliönmuotoisella rautatangolla. Itsesuojeluvaistoinen maallikko ei voi olla ihmettelemättä, miten tuollaiset porrasaskelmat voivat kantaa edes yhden ihmisen painon. Tällaiset portaikot, joita rakennettiin paljon vielä 1900-luvun jälkipuoliskollakin ja nykyäänkin, kätkevät sisäänsä teknisen keksinnön, joka mullisti koko

⁵ A. J. Francis, *The Cement Industry 1796-1914: A History*, David & Charles, 1977; A. Nykänen, 1951, 5-6.

⁶ Teollisuusilmoitukset 1885 – 1900, Teollisuushallituksen arkisto, Helsingin kansallisarkisto.

betonirakentamisen viime vuosisadalla: raudoitettun betonin. Rautabetoni, kuten tätä keksintöä sata vuotta sitten nimitettiin, mullisti betonin kulutuksen nostaen sen muutamassa vuosikymmenessä maamme yleisimmäksi rakennusaineeksi.



Kuva 1. Ämmän voimalaitos, Betoniportaati laitoksen ulkoseinässä, 2019. Kuva: Pekka Elomaa, © Pohjois-Pohjanmaan liitto

Mitä rautabetoni on?

Betoni on luonnonmateriaaleista korkeassa kuumuudessa valmistettu rakennusmateriaali, jonka raaka-aineina käytetään sementtiä, hiekkaa, kiviaineita ja vettä. Kalkkikivistä, savesta,

muista aineista kuumentamalla tehty sementti on sidosaine, jolla betonin muut raaka-aineet liitetään yhteen lujaksi rakennusaineeksi. Sementin reagoiessa veden kanssa se kiinnittää hiekanjyvät ja kiviaineksen toisiinsa. Betoni sellaisenaan ei kuitenkaan kestä taivuttamista tai vääntämistä vaan murtuu ja halkeaa. Siten heikon vetolujuuden vuoksi sen käyttökohteet ovat rajalliset.⁷

Betonin kestävyys- ja vetolujuuden puutteet havaittiin romansementin valmistajien parissa jo ennen portlandsementin kehittämistä. Pelkästä sementistä tehdyt rakenteet eivät kestäneet painetta eikä taivutusta. Ranskalainen Louis-Joseph Lambot (1814 – 1887) esitti ensimmäisenä ratkaisuja ongelman ratkaisemiseksi, ja siksi häntä pidetään ”rautabetonin” varsinaisena keksijänä. Vuonna 1848 hän teki rautatanko- ja kanaverkkovahvisteisen normaalikokoisen betonisen soutuveneen, joka patentoitiin 1855 ja oli esillä saman vuoden Pariisin maailmannäyttelyssä. Sen jälkeen monet muutkin alkoivat kokeilla rautaa ja terästä betonin vetolujuuden lisäämisessä. Vuonna 1877 ilmestyneessä teoksessaan amerikkalainen Thaddeus Hyatt toi esiin, että betonivalujen sisään asetetut terästangot lisäävät merkittävästi betonirakenteiden kestävyyttä. Hän kokeillaan myös osoitti, että teräksen ja betonin lämpölaajentuminen on yhtä suurta.⁸ Siten lämpötilan vaihtelut eivät riko teräsbetonisia rakenteita.

Ranskalaisen puutarhurin Joseph Monierin kokeilut valaa kukkaruukkuja rautaverkolla vahvistetusta betonista herättivät huomiota. Hän sai tälle keksinnölleen patentin vuonna

⁷ A. Nykänen, 1951, 7.

⁸ A. Nykänen, 1951, 8.

1867. Sittemmin hän teki muitakin teräsjäykistettyjä ja patentoituja rakenteita.

Käänteentekevin oli hänen nimeään kantavalle holvirakenteelle myönnetty patentti vuodelta 1873. Vaikka Monierin keksinnöt olivat urauurtavia, ongelmana oli hänen tapansa lisätä teräsvahvisteita betonirakenteisiin sormituntumalla ja kokeilemalla. Tuloksena oli, että hän käytti terästä betonirakenteissa tarpeettoman paljon. Hänen seuraajansa alkoivat laskea teräsbetonin vetojännitteitä ja kestävyyttä matemaattisin keinoin. Ennen muita saksalaiset tutkijat Gustav Adolf Wayss (1850–1917) ja Matthias Koenen (1849–1924) todistivat laskelmillaan teräksen merkityksen betonirakenteiden staattisuudelle ja julkaisivat urauurtavat menetelmät ja matemaattiset yhtälöt jäykistettyjen betonirakenteiden suunnittelemiseksi. Heidän ansiotaan oli, että betonitekniikka alettiin vähitellen ymmärtää teknologiseksi tieteenä, joka pohjautuu teoreettiselle perustalle.⁹

Ranskalaisen insinöörin ja itseoppineen rakennusmestarin François Hennebiquen (1842 – 1921) onnistui saada valtavaa maailmanlaajuista huomiota raudoitetulle betonirakentamiselle esittelemällä omia jo patentoituja rakenneratkaisujaan Pariisin maailmannäyttelyssä vuonna 1900 (Kuva 2 ja 3). Hänen keskeinen ideansa oli yhdistää siltojen ja rakennusten erilliset rakenneosat terästangoilla ja betonivaluilla yhdeksi monoliittiseksi kokonaisuudeksi.¹⁰ Tällä tekniikalla säästettiin sekä materiaaleja että työaikaa, ja saatiin samalla kantavat rakenteet vahvemmiksi ja kestävimmiksi.

⁹ A. Nykänen, 1951, 8.

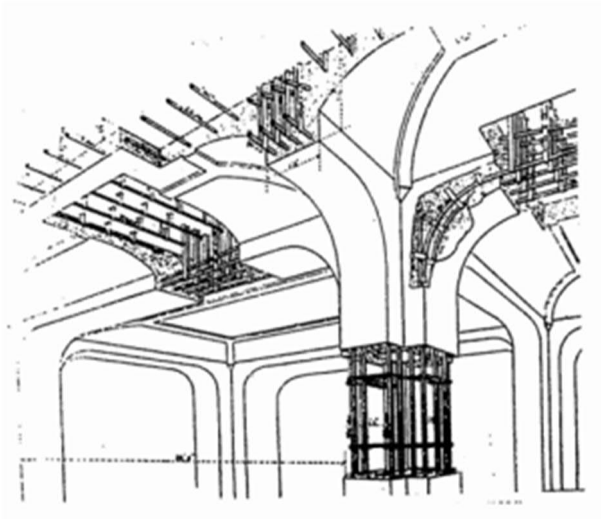
¹⁰ Douglas McBeth, *Francois Hennebique (1842–1921) – Reinforced concrete pioneer*, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 1998.

Hennebiquen keksintöjen ansiosta ymmärrettiin jäykistetyin betonin edut, ja siksi hänen ”rakentamisjärjestelmänsä” alettiin ottaa näyttelyn jälkeen vakavasti rakennustoiminnassa ympäri maailman.¹¹



Kuva 2 & 3. Gustav Eiffelin suunnittelema teräksinen näkötorni ja Francois Hennebiquen raudoitettua betonista valettu *Globe Celeste*, *Taivaallinen maapallo*, olivat Pariisin vuoden 1900 maailmannäyttelyn kuuluisimmat visuaaliset vetonaulat, jotka muistetaan vielä nykyäänkin – tosin jo purettua Globe Celesteä ei voi enää paikan päällä ihailia.

¹¹ A. Nykänen, 1951, 8



Kuva 4. Havainnepiirros kantavien pilarien ja palkkien liittämisestä toisiinsa terästangoilla ja betonivaluilla. Tämä "Hennebiquen järjestelmänä" tunnettua konstruktiota sovellettiin vuosisatojen vaihteen taiteen *Art Nouveau* -tyylisuunnan rakennuksissa.

Lähde: <https://aboutartnouveau.wordpress.com/2012/09/05/art-nouveau-in-history/>

Hennebique-järjestelmän ansiota on, että Suomussalmella Ämmäkosken vesivoimalaitoksen puolittain ilmassa roikkuvat portaat kantavat kulkijoita. Hänen keksintönsä tarjosivat kuitenkin huomattavasti suurempia etuja voimalaitosten perustusten, paineistettujen vesikanavien, patojen ja siltojen rakentamiselle. Rakennusteknisesti niissä haasteet kuin hyödytkin olivat merkittävästi mittavammat kuin tavallisessa talonrakennuksessa. Huomionarvoista on, että siitä huolimatta kantavien rakenteiden

raudoitettuja betonipilareita ja -palkkeja alettiin Suomessa kuitenkin käyttää ensin tehdasrakennuksissa.



Kuva 4. Art nouveau -porraskäytävä, jossa yhdistyvät taidesuunnan mukainen seinämaalaus mosaiikkilattia, teräsbetonista valetut portaat ja takorautaiset kaiteet. Tämä kaarevia muotoja suosiva tyyli suunta oli kansallisesti varioituna vallalla useissa Euroopan maissa ajanjaksona 1888 – 1925; Suomessa se tunnetaan jugendina. Kuva Hotel Tasselista, ylellinen yksityistalo Brysselissä, suunnittelija Victor Horta, 1892 – 93.

Lähteet: <https://aboutartnouveau.files.wordpress.com/2012/08/art-nouveau-banner.jpg>;
<https://aboutartnouveau.wordpress.com/2020/08/04/satamakatu-7-helsinkis-first-art-nouveau-building/>

Rautabetonirakentamisen uranuurtajia Suomessa

Jäykistetyn betonin tekniikka tuli Suomeen 1800- ja 1900-luvun vaihteessa. Talon rakennusala oli siitä kiinnostunut, mutta ongelmia oli tätä tekniikkaa käsittelevän tiedon sekä alan taitavien suunnittelijoiden ja rakentajien puute. Yleisesti ottaen oli kolme tapaa hankkia ”rautabetonin” rakennustaito maahamme:

- 1) Kannustaa suomalaisia opiskelemaan betonirakennustekniikkaa ja toteuttaa sitten rakennushankkeet kotimaisten alan asiantuntijoiden voimin.
- 2) Tilata ulkomailta kantavuuslaskelmat, rakennuspiirustukset ja työnjohtajat ulkomailta ja suorittaa rakentaminen muutoin kotimaisin voimin.
- 3) Rakennuskohteita oli mahdollista toteuttaa ”avaimet käteen”-sopimuksella ulkomaisilta toimittajilta ja heidän hankkimallaan työvoimalla.

Autonomian ajan Suomessa senaatin ja muun valtionhallinnon virallisena politiikkana oli tukea apurahoin opiskelua ulkomailla ja opintoretkien tekemistä maan rajojen ulkopuolelle, koska se katsottiin edullisemmaksi kuin teknillisten ja tieteellisten oppilaitosten perustaminen kotimaahan. Ulkomailla opiskelu ja matkat kehittyneimpien maiden tehtaisiin, konferensseihin ja oppilaitoksiin myös yksityisin varoin oli muotia myös monissa muissa Euroopan perifeerisissä maissa. Vanhempien kielloista huolimatta nuoria jopa karkasi kotoaan ulkomaille opiskelemaan ja työskentelemään.¹²

¹² Timo Myllyntaus, ”The Finnish Model of Technology Transfer,” *Economic Development and Cultural Change* (Chicago) vol. 38 (1990) no 3, ss. 625-643. Published later in the series of ETLA *Eripainos/Reprint* no 141, Helsinki: Elinkeinoelämän tutkimuslaitos 1990; Timo Myllyntaus, ”The Best Way to Pick Up a Trade,’ *Journeys Abroad by Finnish Technical*

Ulkomailla opiskeluun pohjautuvaa teknologian siirtoa tapahtuikin merkittävässä määrin myös betonitekniikan alalla. Alan uranuurtajina toimivat muiden muassa kolme miestä Gustav Edward Asp, Vietti Nykänen ja Otto Weyerstall. Ihmisinä he olivat varsin erilaisia persoonallisuuksia. Asp valmistui Helsingin teknillisestä opistosta arkkitehdiksi, jatkoi opiskeluaan Saksassa ja kotimaahan palattuaan hänestä tuli uuden Turun teollisuuskoulun lehtori ja sittemmin rehtori. Työtehtäviensä ohella hän oli kirjallisesti aktiivinen uskonmies. Vietti Nykänen oli puolestaan syntynyt Pietarissa Fabergéellä työskennelleen kultaseppämestarin perheeseen, opiskellut arvostetussa Charlottenburgin teknillisessä korkeakoulussa Berliinissä ja Suomeen palattuaan hänestä tuli betonirakentamisen puolestapuhujan lisäksi aktiivinen ja tulisieluinen poliitikko. Otto Weyerstall oli taas saksalainen insinööri ja sosiaalinen liikemies. Hän työskenteli useita vuosia Suomessa ennen ensimmäistä maailmansotaa ja pitkään vielä sen jälkeenkin. Suuntautuneisuuseroistaan huolimatta näillä kolmella oli yhteinen tavoite: he pyrkivät tekemään ”rauta-betoniikkaa” tunnetuksi Suomessa kansanvalistuksen keinoin, lähinnä julkaisemalla aiheesta kansankielisiä opaskirjoja.¹³

Students, 1860–1940,” *ICON, Journal of the International Committee for the History of Technology*, (London: Frank Cass), vol. 2 (1996), ss. 138-163; Timo Myllyntaus, “Discovering Switzerland: Internationalisation among Nordic Students of Technology prior to World War II,” *Travels of Learning. A Geography of Science in Europe*, Edited by Ana Simões, Ana Carneiro and Maria Paula Diogo, Boston Studies in the Philosophy of Science, Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 2003, ss. 299-328; “Foreign Models and National Styles in Teaching Technology in the Nordic Countries,” *La formation des ingénieurs en perspective. Modèles de référence et réseaux de médiation – XVIIIe–XXe siècles*, Textes réunis par (eds.) Irina Gouzévitch, André Grelon & Anousheh Karvar, Collection Carnot, Rennes: Presses Universitaires de Rennes 2004, ss. 141-152.

¹³ Wikipedia

Rehtori G. E. Asp (1866 – 1952) julkaisi omakustanteisen 6-osaisen kirjasarjan

Huonerakenteiden oppi. Sen 3. osa, nimeltään *Rautarakenteet ja rautabetonirakenteet*,

ilmestyi vuonna 1908. Tämän sarjan Asp laati talon rakentamisen perusoppikirjoiksi, joissa

hän käytti rakennustyömailla yleisesti käytettyä arkisanastoa. Aspin kirjasarja oli

ensimmäinen suomenkielinen rakennusalan oppimateriaali.¹⁴

Arkkitehti Vietti Brynolf Nykänen (1884 – 1951) lähestyi betonirakentamista

teoreettisemmasta näkökulmasta ja ensimmäisen – vuonna 1908 painetun – opaskirjansa

Rautabetoni hän kirjoitti Charlottenburgissa opiskellessaan tekemiensä

luentomuistiinpanojen sekä saksalaiseen ”rautabetoni”-kirjallisuuden pohjalta.¹⁵ Kirja

soveltui lähinnä teoreettisen koulutuksen saaneille rakennussuunnittelijoille. Tämän

teoksen jälkeen Nykänen julkaisi helppotajuisemman ”käytännönmiehille” tarkoitetun

huokeahintaisen kirjasen nimeltä *Lyhyt rautabetoniopas*.¹⁶

Otto Weyerstallin (1881 – 19..) elämän kulku ja työura oli poikkeuksellinen.

Betonirakentaminen kiinnosti suomalaisia, mutta alan taitajia maassamme oli vähän. Siksi

monet ensimmäisistä betonirakenteista teetettiin ulkomaisilla urakoitsijoilla tai

¹⁴ Gustav Edward Asp, *Huonerakenteiden oppi 3 vihko. Rautarakenteet ja rautabetonirakenteet*. Tekijän omakustanne, Turku 1908.

¹⁵ Vietti Nykänen, *Rautabetoni: pääpiirteinen esitys sen synnystä, ominaisuuksista, teoriasta ja käytäntötavoista*, Helsinki: Otava, 1908.

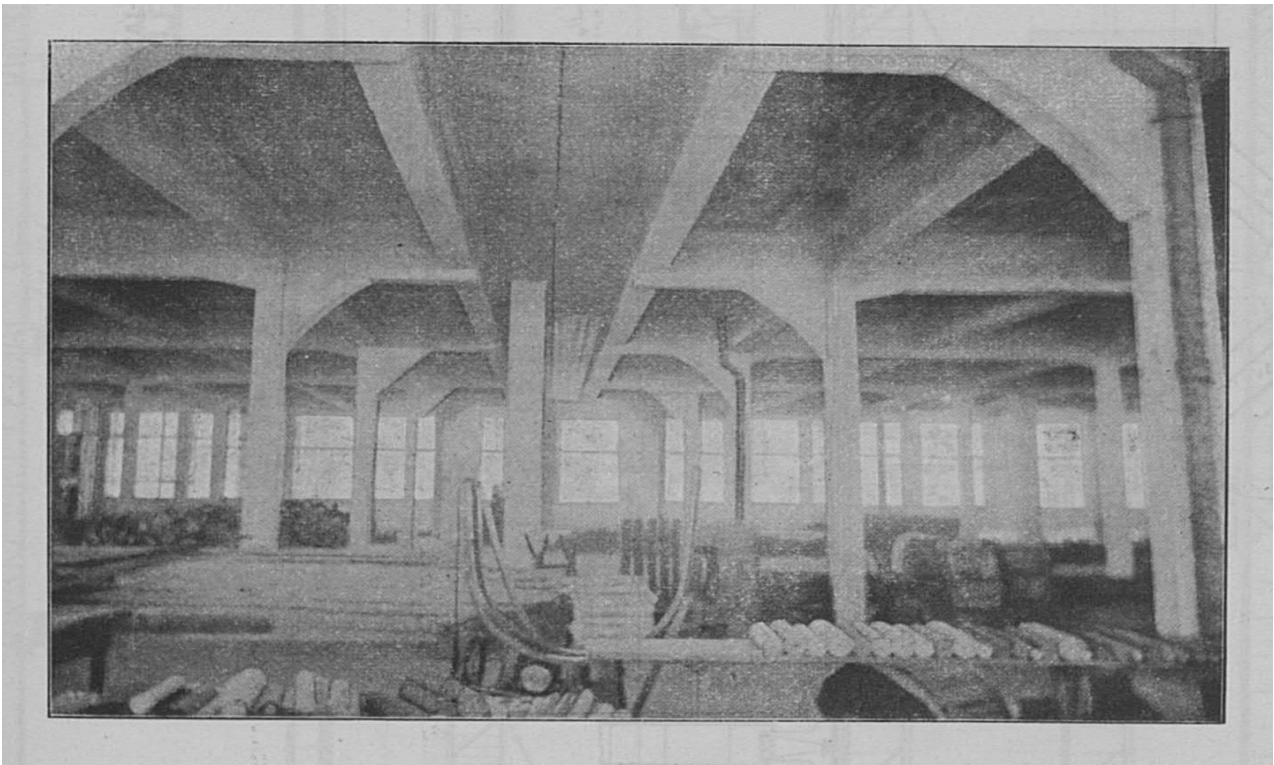
¹⁶ Vietti Nykänen, *Lyhyt rautabetoniopas*. Helsinki: Otava, 1911.

suunnitelmat ja työnjohto hankittiin ulkomailta. Saksalainen rakennusinsinööri Otto Weyerstall oli yksi näistä ulkomaisista betoniasiantuntijoista, mutta poikkesi monista ulkomaisista kollegoistaan siinä, että hänen onnistui kotoutua maahamme ja viipyi maassamme pitkään, noin vuodesta 1905 ensimmäisen maailmansodan syttymiseen kesällä 1914. Aluksi hän työskenteli maassamme saksalaisen rakennusliikkeen palveluksessa, mutta siirtyi sitten suomalaiseen yhtiöön. Weyerstall oppi ruotsin kielen niin hyvin, että hän johti alansa kokouksia ja piti julkisia puheita ruotsiksi sekä kirjoitti artikkeleita rakennusalan lehtiin ja ainakin yhden teoksen tuolla kielellä. Samalla hän piti tärkeänä julkaista kirjoituksiaan käännettyinä myös suomeksi. Hän kirjoitti talonrakentajille oppikirjan *Elementarbok för Cement-, Beton och Järnbeton* pian Aspin ja Nykäsen teosten ilmestymisen jälkeen vuonna 1912. Vuotta myöhemmin kirja julkaistiin suomeksi ja se sai 1000 markan valtion palkinnon, joka vastasi kestovertorakennustyöläisen kolmen kuukauden palkkaa.¹⁷

Toisin kuin Asp ja Nykänen, Weyerstall oli mukana joko konsulttina tai rakennesuunnittelijana oman aikansa mittapuun mukaan varsin suurissa rakennushankkeissa. Hän suunnitteli betonirakenteet muun muassa Pohjoismaiden suurimpaan tapettitehtaaseen, joka valmistui vuonna 1909 Tampereen Epilään (Kuva 5). Tämän Tampereen tapettitehtaan oli tarkoitus tuottaa tapetteja 5 - 6 miljoonaa rullaa vuosittain, niistä 90 % arvioitiin vietävän Venäjälle. Kerrospinta-alaltaan 3.070 m² suuruisen

¹⁷ Otto Weyerstall, *Elementarbok för Cement-, Beton och Järnbeton*. Öflund & Pettersson, Helsingfors 1912, 159 s. ilmestyi suomeksi [Yrjö Similän](#) kääntämänä nimellä *Sementti, betoni ja rautabetoni: alkeisoppikirja*. Kirja, Helsinki 1913, 159 s.

ja kolmikerroksisen rakennuksen suuret salit suunniteltiin lukuisille suurille koneille. Siksi kantavien pilareiden tuli olla vahvoja ja sijaita harvassa. Tällaisia pilari- ja lattiarakenteita voitiin rakentaa vain raudoitettusta betonista.¹⁸ Tätä tehdasta käsittelevässä artikkelissaan *Rakennustaito*-lehdessä vuonna 1910 hän katsoi suomalaisen talonrakennusalan suhtautuneen ennakkoluulottomasti betonirakentamiseen ja omaksuneen sen 1900-luvun alusta lähtien nopeasti.¹⁹



Kuva 5. Tampereen tapettitehtaan sali ja sen Hennebique-menetelmällä muuratut teräsbetoniset pilarit

¹⁸ Otto Weyerstall: Tampereen tapettitehtaan uutisrakennus Epilässä, *Rakennustaito: Suomen rakennusmestariiton ammattilehti*, 1.5.1910, nro 9, s. 19, Kansalliskirjaston digitaaliset aineistot.

¹⁹ Weyerstall, 1910.

Weyerstall palasi Suomeen vuonna 1919 uuden yhtiön *Sementtirakenne Oy:n* johtajaksi ja johti yhtiötä vuoteen 1925 saakka. Weyerstall lukeutui myös Suomen Betoniyhdistyksen perustajiin ja avainhenkilöihin. Seuraavan vuosikymmenen alussa hän Helsingissä asuessaan kirjoitti neuvoa-antavan insinöörin nimikkeellä katsauksen suomalaisen betonirakentamisen vaiheisiin saksalaiseen alan aikakauslehteen *Der Bauingenieur* vuonna 1930.²⁰ Siinä hän totesi: ”Joten rohkenen väittää, että koko Euroopassa ei ole mitään muuta maata, mikä olisi omaksunut raudoitetun betonirakentamisen niin varauksettomasti ja myöntämielisesti kuin Suomi.”

Weyerstallin suomalainen kollega, Teknillisen korkeakoulun lehtori ja myöhemmin sen rakennusopin professori Jalmar Castrén oli asiasta toista mieltä. Hän oli kirjoittanut ylioppilaaksi Oulun lyseosta, valmistunut TKK:sta 1895 ja harjoittanut jatko-opintoja Charlottenburgin teknillisessä korkeakoulussa Berliinissä. Hänellä oli pitkä kokemus betonirakentamisesta: hän perusti vuonna 1906 Richard Helanderin kanssa Suomen ensimmäisen teräsbetonirakenteita urakoineen rakennusliikkeen. Hänestä rautabetonirakentaminen eteni Suomessa 1920-luvun jälkipuolelle saakka hitaammin kuin mihin olisi ollut mahdollisuuksia. Hänen mielestään maassa oli liian vähän kotimaisia betonisuunnittelijoita. Pääsyyinä siihen oli koulutuksen ja ennen muuta työkokemuksen puutteet. Tuolloin suurten talojen rakennuttajilla oli tapana tilata betonirakenteet ulkomaisilta yrityksiltä, jotka luonnollisesti käyttivät ensi sijassa omia suunnittelijoitaan. Tavallista oli, että kotimaisetkin rakennusyritykset tilasivat betonirakenteiden suunnitelmat

²⁰ Otto Weyerstall, Die Entwicklung des Eisenbetonbaues in Finnland und die Einführung der Baukontrolle, *Der Bauingenieur*, Heft 27, 11. Jahrgang, 4.7.1930.

ulkomaisilta. Koska lukuisten talojen rakennesuunnitelmat olivat tulleet valmiina ulkomailta, suomalaisilla rakennesuunnittelijoilla ei ollut mahdollisuutta perehtyä, millaisiin teorioihin, standardeihin, sekä turvallisuus-, materiaali- ja muihin perusteisiin ja laskentamenetelmiin ne pohjautuivat ja miten kantavuus- ym. laskelmat olivat laadittu rakennesuunnitelmiin ja -piirroksiin. Castrén ei pitänyt hyvänä sitä, että vuodesta toiseen suomalaiset olivat vain toteuttaneet betonirakentamisessa ulkomaisten tekemiä suunnitelmia. Hän toi kirjoituksissaan esiin tyytymättömyytensä tapahtuneeseen hillitymminkin kuin aikalaisensa sähköinsinööri Oskari Terhi omat mielipiteensä sähkövoimalaitosten ja -korkeajännitelinjojen rakentamisesta. Terhin ammattilehdissä avoimesti julistama motto oli: ”Antakaa omien poikien sähköistää Suomi.” Eräät alalla toimivat vastasivat lehdissä Terhin edustamaan kansallismieliseen populismiin ja totesivat, että sähköistämishankkeissa on välttämätöntä ottaa huomioon monia muitakin näkökohtia huomioon kuin kotimaisten insinöörien työllistämisen.²¹

DI Jalmar Castrén oli 1900-luvun alussa Suomen johtava betonirakentamisen asiantuntija, ja joka nautti myös ulkomaalaisten kollegojensa, kuten Otto Weyerstallin arvostusta. Hän oli saanut talojen ja muiden rakennuskohteiden suunnittelutehtäviä vuodesta 1906 lähtien. Hän oli ensimmäinen suomalainen, joka pystyi suunnittelemaan betonirakenteita teoreettiselta pohjalta. Castrén mm. suunnitteli vuosina 1908 – 1915 rakennetun Helsingin rautatieaseman teräsbetonirakenteet, ja varsinaisen aseman rakentamisesta vastasi Richard

21

Helanderin rakennusliike ja Viipurin Sementtivalimo puolestaan urakoi pikatavaratoimiston rakennuksen.²²

VR:n palveluksessa hän erikoistui teräsbetonisiltojen suunnitteluun ja hänen piirustustensa mukaisesti rakennettiin maamme ensimmäiset betonisillat. Hänen työllisyystilanteensa parani merkittävästi ensimmäisen maailmansodan jälkeen, sillä suunnittelutehtävien lisäksi hänet nimitettiin moniin hallinnollisiin virkoihin ja luottamustehtäviin, mm.

Rautatiehallituksen pääjohtajaksi vuonna 1922 ja monien komiteoiden puheenjohtajaksi.²³

Vuonna 1928 artikkelissaan ”Suomalainen rautabetonitekniikka täysikäinen” Jalmar Castrén totesi kotimaisen betonirakentamisen kuroneen umpeen jälkeenjääneisyytensä ja saavuttaneen kansainvälisen tason. Hän oli tuolloin ehkä hallinnollisten tehtäviensä vuoksi menettämässä otettaan betonitekniikan uusiin kehittämistarpeisiin ja näköpiirissä oleviin alan uusiin edistysaskeleisiin. Maailmansotien välisellä kaudella oli alettu vaatia teräsbetonirakenteilta aiempaa enemmän, ja siksi ala oli 1920-luvun lopulta alkaen astumassa uuteen kehitysvaiheeseen, jossa Suomen oli jälleen kurottava umpeen kaulaa maailman kärkeen. Lyhyesti sanottuna perusbetoni ei enää kelvannut kaikkiin rakennuskohteisiin, vaan haluttiin monenlaisia erikoisbetoneja käyttövaatimusten ja rakentamisolosuhteiden mukaan.

²² Hurme ym. 1991, 39–40

²³ Tultuaan valituksi Rautatiehallituksen johtoon, Castrén erosi TKK:n professorin virasta. Wikipedia.

Erikoisbetonien ja lisäaineiden tulo markkinoille

Yhdysvallat saavutti ja ohitti Euroopan 1920- ja 1930-luvulla betonirakentamisen määrässä ja alan teknologian kehittämisessä samalla, kun siellä alettiin kiinnittämään huomiota betonin laatuun ja kestävyYTEEN. 1930-luvun talouslaman jälkeen USA:n hallitus elvytti maan taloutta laajamittaisella New Deal-politiikallaan, johon kuului muun muassa suurien vesivoimaloiden ja jättipatojen samoin kuin moottoriteiden rakentaminen. Niissä käytettiin runsaasti raudoitettua betonia, jolle asetettiin tiukkoja laatuvaatimuksia. Jo aiemmin oli todettu, että vaikka vesi on välttämätön betonin raaka-aine, se voi kuitenkin aiheuttaa rakenteille vakavia ongelmia. Ensinnäkin, jos betonissa on valettaessa liikaa vettä, sen kuivuminen kestää kauan. Toiseksi runsas vesimäärä massassa sitä valettaessa tekee betonista hauraampaa kuin vähäinen vesi. Kolmanneksi liian vetelästä massasta ei tule kiinteää ja kovaksi kivettynyttä betonia, vaan se saattaa kosteissa olosuhteissa imeä vettä sisäänsä. Tämä puolestaan aiheuttaa halkeilu- ja murtumisriskin, jos läpikostea betoni jäätyy. Tähän ongelmaan kiinnitettiin huomiota USA:n pohjoisosissa, joissa päällystettyjen moottoriteiden, katujen ja jalkakäytävien betonilaattoja talvella halkeili ja mureni. Siksi tavoitteeksi asetettiin pakkasen kestävä betonin kehittäminen.

Samat ongelmat pohdituttivat tuolloin Suomessakin ja niitä alettiin tutkia. Eräs suomalaisista betoninkehittelijöistä oli oululaistunut rakennusmestari Viktor Wikkula. Pohjois-Suomessa hän oli ensimmäisiä, joka ryhtyi kokeilemaan raudoitettuja betonirakenteita talonrakennuksessa. Vuonna 1911 hän suunnitteli ulkorakennuksen

kauppias? Solveliuksen tontille Oulun Hallituskadun varrelle. Se ilmeisesti oli ensimmäisiä ”rautabetonitaloja” kaupungissa. Wikkula toimi myös mestarina rakennettaessa arkkitehdin Wivi Lönnin suunnittelemaa jugendtyylistä ”Säästöpankkitaloa” kaupungin keskustaan vuosina 1911 – 1912.²⁴ Lönn tunnetaan kekseliäistä ratkaisuistaan. Hän mm. oli maassamme ensimmäinen arkkitehti, joka sisällytti kiinteät sähköliedet 1930-luvulla Helsingin Töölöön suunnittelemiinsa uusiin kerrostaloasuntoihin. Jo rakennusvaiheessa asennetuista sähköliesistä tuli myöhemmin yleinen suomalainen asuinrakennusstandardi.²⁵ Oulussa Wikkula muistetaan parhaiten hänen nimeään kantavasta kerrostalosta Asemakatu 24 (Kuva 6 & 7). Museovirasto on määritellyt tämän vuosina 1911 -1912 valmistuneen talon ”paikallisesti merkittäväksi rakennukseksi.”

²⁴ http://www.kirjasto.oulu.fi/wivilonn/tyoluettelo/12_saastopankki/pankki_8.html

²⁵ <https://www.naistenaani.fi/wivi-lonn-suomen-ensimmainen-omaa-toimistoa-johtanut-naisarkkitehti/>



Kuvat 6 ja 7. Vikkulan talo Oulun keskustassa Asemakadun ja Uusikadun kulmassa kuvattuna vuonna 1938 ja 2001

<https://www.finna.fi/Record/museovirasto.672D6224261377D08B30D5B7234E54BC>

Sotien välisellä kaudella Viktor Wikkulakin teki lukuisia rakentamiseen liittyviä keksintöjä, joita hän myös ahkerasti patentoi – ei vain Suomessa – vaan myös ulkomailla kuten Tanskassa, Ranskassa, Kanadassa ja erityisesti Yhdysvalloissa. Vuonna 1924 Suomen Patentti- ja rekisterihallitus myönsi patentin Wikkulan hakemukselle, joka oli nimetty ”Menettelytapa huokoisen rakennusaineen valmistamiseksi”.²⁶ Wikkula oli hyvin ajan hermolla tuntien pohjois-amerikkalaista betonialan keskustelua, ja ilmeisesti sen innoittamana hän haki patenttia vuonna 1927 yhdessä toisen rakennusmestarin, keksijän ja teollisuusmiehen Isak Räsänen kanssa Yhdysvalloista ja Kanadasta, joiden patenttiviranomaisille keksinnön nimeksi oli patenttihakemukseen merkitty ”Ice Concrete”, jääbetoni.²⁷ Huokoisella rakennusmateriaalilla tavoiteltiin ilmeisesti parempaa säänkestävyyttä ja äänieristystä. Keksinnön ydin, mihin nimikin viittaa, oli menetelmä, jolla betonilaasti ja -valu oli tarkoitus valmistaa. Materiaalin hyödyllisiksi havaitut huokokset, pienet ilmakuplat, oli nimittäin tarkoitus saada aikaan lisäämällä betonimassaan valmistusvaiheessa ”luonnollista tai keinotekoista lunta, jään siruja tai rakeita”. Keksinnön

²⁶ Menettelytapa huokoisen rakennusaineen valmistamiseksi, Suomalainen patentti FI11198A, <https://patents.google.com/patent/FI11198A/fi?inventor=Wikkula+Viktor>

²⁷ Isak Räsänen tunnetaan ennen muuta yrityksistään Lämmityslaite Oy ja Kastor Oy. Ensimmäinen valmisti erilaisia uuneja ja liesiä, kun taas Kastor Oy:n Riihimäellä sijaitseva tehdas valmistaa edelleen saunankiukaita, tosin sen omistaa HeloTylö -yhtiö, mutta Kastor on edelleen käytössä kiuastavamerkkinä. (Lähde?)

perusongelma 1920-luvun oloissa kuitenkin oli, että tällaisen betonin valmistaminen suurissa erissä olisi ollut haastavaa tai ainakin melkoisia kustannuksia vaativaa. Olennaista Wikkulan keksinnössä olikin huokoisen betonin keksiminen. Pienet ilmakuplat toivat valokseen joustavuutta, kun betoni pakkasella laajenee. Ne siten ehkäisivät betonirakenteiden jäätymisvaurioita. Wikkulan keksinnön merkittävään uutuusarvoon viittaa tieto, että kanadalaisen patenttiasiakirjojen mukaan alan useat muut keksijät viittasivat omissa myöhemmissä keksintösuojarahakemuksissaan Wikkulan ja Räsäsen kanadalaiseen vuonna 1928 myönnettyyn patenttiin.²⁸

Vuosituhsia portland-sementin edeltäjiin on lisätty mineraaleja, tuhkaa ym. aineita. Siksi oli luonnollinen askel, että keksijät alkoivat 1920-luvun lopulta alkaen etsiä sopivia sementin lisäaineita, joilla betonin laatua ja käytettävyyttä eri tarkoituksiin voitaisiin lisätä. Niinpä Yhdysvalloissa otettiinkin käyttöön erilaisia betonin valmistuksen lisäaineita. Selluloosan jäteaineesta, ligniinistä, valmistettua lignosulfaattia alettiin 1930-luvulla käyttää betonin huokoistamiseen muun muassa sen pakkasen kestävyyslisäämiseksi. Pelkkää sementtiä ja mineraaleja, kuten hiekkaa tai soraa, sisältävä betoni voi haljeta tai murtua, jos sen sisältämä vesi jäätyy ja laajenee. Sen sijaan huokoistettu ja raudoitettukin betonin elää ja säilyttää kestävyytensä suurissakin lämpötilan vaihteluissa.

Kemikaalien lisääminen betoniin yleistyi Pohjois-Amerikassa tuntuvasti 1940-luvulla. Näitä lisäaineita opittiin käyttämään moniin tarkoituksiin. 1950- ja 1960-luvulla niiden käyttö

²⁸ Lähde Google Patents?

alkoi yleistyä Euroopassakin. Niiden soveltamistarkoitukset käyvät hyvin esiin kemikaalien yleisnimissä, kuten huokoistimet, kiihdyttimet, hidastimet, notkistimet, jäykistimet jne.

Samalla, kun lisääaineet paransivat betonien käytettävyyttä ja laatua, ne mutkistivat betonirakentamista. Mukaan tulivat uusi tutkimustieto, seosten koostumusten tarkka mittaaminen sekä valanteiden ominaisuuksien testaaminen laboratorio-olosuhteissa. Voidaan sanoa, että jälleenrakennuskaudesta alkaen eurooppalainen betonirakentaminen on tieteellistynyt ja kemikalisoitunut. Betonin ainesosien sekoitussuhteita ryhdyttiin mittaamaan valmistusvaiheessa ja lopputuloksia testaamaan tarkoilla mittalaitteilla.

Amerikkalainen professori Duff A. Abrams teki 1910-luvulla uraauurtavaa tutkimusta betonin seossuhteiden alalla. Hänen vesi-sementtisuhteen lakinsa on edelleen relevantti maa- ja vesirakentamisen käsite. Sen mukaan betoniseoksen lujuus on kääntäen verrannollinen veden ja sementin suhteeseen. Joten, jos massan vesipitoisuus kasvaa tuotantovaiheessa, valmiin betonin lujuus heikkenee. Tällöin hydrataatioreaktiosta jää betoniin ylimääräistä vettä, mikä aiheuttaa ylimääräisten kapillaarihuokosten muodostamista. Kapillaarihuokosten suuri määrä alentaa betonin lujuutta ja heikentää myös sen pakkasenkestävyyttä. Tämän lain Abrams esitti vuonna 1918 ilmestyneessä kirjassaan *Design of Concrete Mixtures*.²⁹ Abramsin opit tulivat Suomessa tunnetuiksi kuusi vuotta myöhemmin, kun Paraisten sementtitehtaan laboratorio vuonna 1924 alkoi

²⁹ D. A. Abrams, *Design of Concrete Mixtures, Bulletin 1, Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, Chicago, 1918.*

ensimmäisenä maassamme tutkia tieteellisin menetelmin veden ja sideaineiden suhteen merkitystä ja julkaista tutkimustuloksiaan.³⁰

VTT:n betonilaboratorio ja Arvo Nykänen

Autonomian aikana Suomen valtio panosti varsin vähän teknilliseen koulutukseen ja tutkimukseen. Maahan perustettiin kyllä muutamia alemman asteen oppilaitoksia, mutta yliopistotasoinen oppilaitos, Teknillinen korkeakoulu, perustettiin Helsinkiin vasta 1908. Sitä ennen ylempi teknillinen koulutus oli ulkoistettu ulkomaisiin yliopistoihin, joissa opiskeluun myönnettiin pienehköjä apurahoja, joilla oli vaikeaa rahoittaa koko tutkinnon kustannukset. Valtion omistamia teknillisiä tutkimuslaitoksia ei ollut. Tutkimustietokin pyrittiin hankkimaan ulkomailta.³¹

Vuonna 1916 puunjalostusteollisuuden aloitteesta perustettiin osakeyhtiömuotoinen AB Centrallaboratorium – Keskuslaboratorio Oy. Tämän laitoksen päätehtävä oli palvella ensisijaisesti maan paperiteollisuutta tekemällä niille erilaisia analyysejä ja laadunvalvontaa. Samana vuonna Valio perusti kemiallis-bakteriologisen laboratorion tutkimaan maitotuotteiden koko tuotantoketjua. Suurimmat ongelmat olivat tuolloin ketjun

³⁰ B. Geitlin ja N. V. Troupp, *Portlandsementti ja sen käyttö*. Suomennos. Helsinki: Mercatorin Kirjanpaino Oy, 1924.

³¹ Timo Myllyntaus, "The Finnish Model of Technology Transfer," *Economic Development and Cultural Change* (Chicago) vol. 38 (1990) no 3, ss. 625-643. Published later in the series of ETLA *Eripainos/Reprint* no 141, Helsinki: Elinkeinoelämän tutkimuslaitos 1990; Timo Myllyntaus, "'The Best Way to Pick Up a Trade,' Journeys Abroad by Finnish Technical Students, 1860–1940," *ICON, Journal of the International Committee for the History of Technology*, (London: Frank Cass), vol. 2 (1996), ss. 138-163; Timo Myllyntaus, Discovering Switzerland, Internationalisation of Nordic Students prior to World War II, *Travels of Learning. A Geography of Science in Europe*, Edited by Ana Simones, Ana Carneiro and Maria Paula Diogo, Boston Studies in the Philosophy of Science, Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 2003, ss. 299-328.

alkupäässä, erityisesti rehuntuotannossa.³² A.I. Virtasen noustua laboratorion johtoon vuonna 1920 se tehosti toimintaansa, ryhtyi luomaan kansainvälisiä yhteyksiä ja alkoi kehittyä ripeästi. Vuonna 1917 eduskunta perusti Metsäntutkimuslaitoksen eli Metlan, maa- ja metsätalousministeriön alaiseksi valtion tutkimuslaitokseksi kehittämään metsien hoitoa, käyttöä, tuotteita ja palveluja.³³

Teknillinen korkeakoulu yritti rehtorinsa K. Axel Ahlforsin aloitteesta laajentaa toimintaansa opetuksesta kokeelliseen tutkimukseen vuonna 1909 ja anoi valtiolta määrärahaa neljän uuden laboratorion perustamiseen sekä aineenkoestuslaitoksen uudistamiseen.

Määrärahaa myönnettiin vain tonttien ostoon ja aineenkoestuslaitoksen tilojen saneeraukseen. Hanke valtiollisen teknillisen tutkimuslaitoksen perustamisesta pysähtyi tuolta erää siihen.³⁴ Asiaan palattiin itsenäistymisen jälkeen ja vuonna 1922 valtio myönsi määrärahan Teknillisen korkeakoulun rakennuskompleksin rakentamiseksi neljälle laboratoriolle Helsinkiin Albertinkadun ja Eerikinkadun risteykseen Hietalahden torin läheisyyteen. Pian nämä laboratoriotilat koettiin riittämättömiksi, ja keskustelu virisi laboratorioverkon laajentamiseksi.

Erityisen kimmokkeen keskustelulle antoi 1930-luvun lama, joka katkaisi edellisellä vuosikymmenellä alkaneen voimakkaan rakennusbuumin, ja toi samalla esiin rakennustarvikkeiden tuonnin ongelmat. Arkkitehti Yrjö Laine viitoitti vuonna 1931

³² Karl-Erik Michelsen, *Valtio, teknologia, tutkimus. VTT ja kansallisen tutkimusjärjestelmän kehitys*, Espoo 1993, 52-64

³³ Metla liitettiin vuonna 2015 osaksi Luonnonvarakeskusta (Luke), mihin sulautettiin Metlan lisäksi Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos RKTL sekä Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus Tiken tilastotuotanto.

³⁴ Michelsen, 1993, 61.

suuntaviivat teknistä tutkimusta käsitelleelle uudelle polemiikille Arkkitehti-lehdessä julkaisemassaan artikkelissa ”Rakennusteknillisen laboratorion tarve”. Talonrakentamisen vahva nousukausi oli tuonut mukanaan laatuongelmia, ja ulkomaisten rakennusaineiden hankinnan vaikeudet olivat hänen mukaansa syventäneet vuosikymmenen alun talouslammasta maassamme. Tuolloin korkeakoulu näki tilaisuutensa tulleen vauhdittaa pitkään vireillä ollutta laboratoriahankettaan.³⁵

Tarvittiin vielä lähes vuosikymmenen kestäneet valmistelut, kunnes ratkaisu saatiin aikaan vuonna 1940. Kauppa- ja teollisuusministeriö ehdotti uuden tutkimuslaitoksen perustamista vanhan aineenkoestuslaitoksen pohjalle. Alkuperäinen idea pelkästä rakennuslaboratoriosta oli yhdeksässä vuodessa kasvanut monitieteiseksi Valtion teknilliseksi tutkimuslaitokseksi, jonka tehtävä oli palvella laaja-alaisesti suomalaista yhteiskuntaa. Tammikuussa 1942 eduskunta hyväksyi pitkällisten keskustelujen jälkeen lain ”Valtion teknillisestä tutkimuslaitoksesta” (VTT) ja sen toimitilojen hankkiminen aloitettiin jo seuraavassa kuussa.³⁶

Rakennusteknillinen laboratorio oli yksi VTT:n syntyvaiheen kymmenestä laboratoriosta. Se koostui kolmesta osastosta, jotka muistuttivat eräitä vanhan aineenkoestuslaitoksen osastoja. Sementin, tiilen ja luonnonkivien tutkimusalat saivat oman yhteisen osastonsa; kaksi muuta osastoa muodostettiin lämmitystekniselle ja äänitekniselle tutkimukselle.³⁷

³⁵ Michelsen, 1993, 65-72.

³⁶ Suomen asetuskokoelma 1942, n:o 44-52,

³⁷ Michelsen, 1993, 85-88.

Merkittävä vahvistus VTT:n betonitekniikan tutkimukselle oli Puolustusvoimien linnoitusosaston kytkeminen siihen, sillä 1940-luvun alussa Suomen armeija oli maan suurin betonin kuluttaja sen rakentaessa tykistötulitusta kestäviä bunkkereita lähes koko itärajan pituudelta. Niiden tekemistä ei keskeytetty talveksikaan, vaan talvibetonointia oli pakko jatkaa ja kehittää sodankin aikana – jopa 40 asteen pakkasessa.³⁸ Puolustuslinja-projektin suuret mittasuhteet ja sarjatuotantomainen rakentaminen kartuttivat linnoitusosaston ammattitaitoja. Puolustuslinjan suunnittelua ja rakentamista johti vuodesta 1938 alkaen DI Arvo Nykänen (1912 – 1990)³⁹, joka oli myöhemmin aloitteellinen yhteistyön aloittamisessa osastonsa ja VTT:n välillä (Kuva 8.). Vuonna 1942 linnoitustoimiston koetoiminta siirrettiin VTT:n yhteyteen ja vuonna 1949 Nykänen itse siirtyi sen palvelukseen rakennusosaston tutkijaksi, jossa tehtävässä hän jatkoi seitsemän vuotta, joiden katsotaan olleen hänen tuloksekkain tutkimuskautensa. Noina vuosina hän julkaisi useita ansiokkaita tutkimustuloksia, joista merkittävimpana pidetään betonin valmistuksen suhteitusmenetelmän eli koostumuksen tarkoituksenmukaisen optimoinnin kehittelyä vaiheittain. Suhteituksella tarkoitetaan betonin ainesosien (sementti, kiviaines, vesi ja lisäaineet) yhdistämistä asianmukaisissa suhteissa niin, että sekä betonimassa että kovettunut betoni saavuttavat kyseisen tarkoituksen vaatimat ominaisuudet. Nykänen esitteli suhteitusmenetelmänsä ensiversion vuonna 1945. Sodan jälkeen niin betonille asetut vaatimukset, ainesosat kuin rakennusnormit muuttuivat, minkä vuoksi Nykänen

³⁸ Eeva Törmänen, Suomen kaikkien aikojen suurin rakennushanke kehitti betonia harppauksin, *Tekniikan Historia*, 2015 no 2 ja *Satakunnan kansa* 12.8.2018; Finsementti, Arvo Nykänen, talven taitaja ja suhteituksen isä, <https://finsementti.fi/yritys/historia/arvo-nykanen-talven-taitaja-ja-suhteituksen-isa/>

³⁹ Karjalan kannaksen Muolaassa syntynyt Arvo Nykänen ei tiettävästi ollut Vietti Nykäsen lähisukulaisia vaikkakin molemmilla ilmeisesti oli karjalaisia sukujuuria. Leila Välkevirta, Professori Arvo Nykänen Betonitekniikan kehittäjä, *Helsingin sanomat* 10.3.1990, <https://www.hs.fi/ihtiset/art-2000002967119.html>.

katsoi vuosina 1947 ja 1948 aiheelliseksi päivittää menetelmäänsä. Betonitekniikan jatkaessa kehitystään ja normit uusiutumistaan, Nykänen laati vuonna 1955 lopullisen version menetelmästään, joka on edelleenkin pääpiirteissään käytössä.⁴⁰



⁴⁰ Finsementti: Arvo Nykänen; Välkevirta, 1990.

Kuva 8. Arvo Nykänen (1912 – 1990), VTT:n osastajohtaja ja professori h.c.

Vuonna 1957 betoniteknisestä toimistosta muodostettiin uusi, itsenäinen VTT:n osasto, Nykäsestä tuli sen vt. laboratorion johtaja ja vuonna 1961 professori ja vakinainen osastonjohtaja, jossa tehtävässä hän jatkoi eläkkeelle jäämiseen, vuoteen 1975, saakka.⁴¹ Nykänen kuvasi vuonna 1960 ilmestyneessä kirjasessaan uuden osastonsa tehtäviä seuraavasti: "Betoniteknilinen laboratorio harjoittaa lain mukaan teknillistä tutkimustoimintaa tieteellisessä ja yleishyödyllisessä tarkoituksessa sekä suorittaa aineenkoestustehtäviä viranomaisten ja yksityisten pyynnöstä."⁴²

Nykänen katsoi vuonna 1960 laboratorionsa keskittyneen edellisvuosina kahteen päätutkimuskohteeseen. Ensimmäinen ja tärkein niistä oli betonin suhteitus-, laadun tarkkailu- ja koetusmenetelmien kehittäminen. Toinen pääkohde oli ollut usean vuoden ajan talvibetonointi, ja tätä varten laboratoriolle oli erityinen tutkimustilakin, jäähdytettävä huone. Ajanjaksolla 1953 – 1967 Nykänen työtovereineen julkaisi ainakin 16 ohjekirjasta, jotka osin tai kokonaan käsittelivät talvibetonointia.⁴³ Tästä huolimatta laboratorion päätutkimuskohteet olivat selvästi ensin mainitut. Nykänen johtajavuosinaan jatkoi tutkimustyötään suhteitusmenetelmien, kuten nanogrammimetodin, kehittämisen ja betonivalmistuksen normituksen parissa, ja jatkaen julkaisutoimintaansa. Hänen uutena tutkimuskohteenaan oli talojen betonirakentaminen uusien menetelmin ja laittein. Pääosa

⁴¹ Välkevirta, 1990.

⁴² Arvo Nykänen, *Betoniteknilinen laboratorio*, Helsinki 1960, 2.

⁴³ *Talvibetonointiohjeita 1967*, RIL 51, Rakennusinsinöörien Liitto, Vammala 1961, 46.

muusta henkilökunnasta työskenteli laadun tarkkailun ja aineenkoetuksen parissa.

Lukemattomat rakennusliikkeet tilasivat Betoniteknillinen laboratoriolta (BTL)

betonianalyysijä, lujuustestejä ja muuta aineenkoetusta. 1950-luvun lopussa laboratorio suoritti yli 6000 ulkopuolisten tilaamaa analysointitehtävää ja sen lisäksi suuren määrän laboratorion omia tutkimustehtäviä.⁴⁴

Kovettuneelle betonille asetetaan moni ominaisuuksia, joista seuraavat kuusi ovat tärkeimpiä voimalaitosten ja patojen rakenteissa: lujuus, vesitiiveys, pakkasen kestävyys ja kulutuskestävyys sekä korroosion kestävyys.⁴⁵

Jukka Vuorinen ja Amerikan vauhti

Suomen suunnitellessa 1930-luvulla useiden voimaloiden rakentamista Oulujoen vesistöön, sillä oli suhteellisen hyvät lähtökohdat ja resurssit betonirakenteisiin liittyvien tavoitteidensa toteuttamiseksi. Sillä oli omasta takaa kaikki tarvittavat raaka-aineet: oikeanlaista savea, kalkkia, soraa, sopivan kirkasta vettä, rautamalmia teräksen tekemiseen sekä puutavaraa valulaudoitusten ja rakennustelineiden rakentamiseen. Tosin niiden kuljetusmatkat Oulujoelle olivat eräille olennaisen tärkeille raaka-aineille, kuten sementille ja teräkselle pitkät ja vaivalloiset, sillä kuljetusinfrastruktuuri vesistön varressa oli varsin puutteellinen tai miltei olematon. Sementti voitiin tuoda laivoilla Lounais-Suomen satamista Ouluun ja teräs- ja rauta puolestaan Suomenlahden ja Pohjanlahden satamista.

⁴⁴ Nykänen, 1960, 4-5.

⁴⁵ www.kyamk.fi

Oulusta Kajaaniin johtava rautatieyhteys oli avattu jo maailmansotien välisellä kaudella, mutta tilapäiset pistoraiteet tuolta radalta kullekin voimalaitostyömaalle piti rakentaa jo ennen patotöiden aloittamista. Toinen tärkeä rata Oulujoen vesistön voimalaitostyömaille oli Savon rata Helsingistä Kainuuseen. Sen viimeisin jakso Kuopiosta Kajaaniin oli avattu säännölliselle henkilö- ja tavaraliikenteelle jo lokakuussa 1904.⁴⁶

Kunkin voimalaitostyömaan läheisyyteen oli välttämätöntä rakentaa betoniasemia valumassan valmistamiseksi, sillä betonia tarvittiin niin huomattavia määriä, ettei sitä voitu valmistaa kussakin työkohteessa paikan päällä. Betonin laadulle vesivoimaloissa asetettiin korkeat vaatimukset, siksi sen valmistukseen, tarkkailuun ja testaamiseen tuli kiinnittää erityistä huomiota. Tuhansia koekappaleita ja näytteitä ei ollut tarkoituksenmukaista lähettää eteläisimmän Suomen aineenkoetuslaitoksille. Tästä syystä Oulujoki Oy päätti rakentaa oman betonilaboratorion Muhoksen Leppiniemeen lähelle sen ensimmäistä voimalaitostyömaataan Pyhäkoskea.

Betonilaboratorion ensimmäinen toimitila oli vaatimaton kellari voimalatyömaan korjaamon alakerrassa. Muutaman vuoden kuluttua sille rakennettiin oma yksikerroksinen noin 200 neliön puurakennus samalle alueelle. Laboratoriossa oli useita tutkimus- työ- ja varastohuoneita, muttei jäähdytettävää tilaa talvibetonoinnin tutkimiseksi. Tutkimuslaitteisto lisääntyi ja monipuolistui vuosien varrella.

⁴⁶ <http://www.reijoheikkinen.fi/kajaanin-rautatie-ja-rautatieasema/>

Jatkosodan jälkeen 1940-luvun puolivälissä Oulujoki Oy palkkasi Pyhäkosken työmaalle betoni-insinööriksi DI Jukka Vuorisen (1911 – 1985), jolla oli aiempaa vahvaa kokemusta alalta. Valmistumisen jälkeen 1930-luvun lopulla hänen uransa oli alkanut Tie- ja vesirakennushallituksen siltaosaston suunnitteluinsinöörinä. Väli rauhan aikana vuonna 1940 hän siirtyi pääesikunnan linnoitusosastoon betonitöiden tarkastusinsinööriksi ja sitten saman osaston rakennustoimiston päälliköksi.⁴⁷ Puolustuslinja suunniteltiin huolella ja sen rakentamista valvottiin tarkasti. Sen bunkkerimaiset korsut rakennettiin laadukkaasta ja kestävästä betonista. Kenraali Rudolf Waldenin ehdotuksesta Salpalinjaa rakennettiin vuosina 1940 – 1941 ja sitä jatkettiin vielä vuonna 1944. Sen jyrkvimmin linnoitettu osuus ulottui Suomen lahden rannalta Virolahdelta Luumäelle, josta sitä jatkettiin kevennetyin puolustusasemin aina Korvatunturin korkeudelle, Lapin Savukoskelle, saakka. 1200 kilometrin pituinen linja kulki etelästä kohti pohjoista kilometrien etäisyydellä – Pohjois-Karjalassa jopa 100 km päässä – itärajasta. Salpalinjassa oli vaihtelevin välein 728 teräsbetonista tai kallioon louhittua kantalinnoitetta, joista useimmat olivat konekivääri- ja majoituskorsuja, sekä likimain 3.000 maahan kaivettua puista kantalinnoitetta. Enimmillään keväällä 1941 puolustuslinjaa rakensi 35.000 miestä, joita muonitti 2.000 lottaa. Salpalinja muistetaan edelleenkin Suomen suurimpana rakennustyömaana, jolla käytettiin valtavasti rakennusaineita. Yhteen korsuun käytettiin 45 tonnia betoniterästä ja 250 tonnia sementtiä.⁴⁸ Tutkimuksissa on todettu korsujen betonin olevan kovempaa kuin nykyinen rakentamiseen käytetty betoni, vaikkei siihen ole sekoitettu nykyisenlaisia kovettavia

⁴⁷ Vesa Penttala, Betonitekniikan 100 ensimmäistä vuotta, *Betoni Suomessa 1860 – 1960*, Jyväskylä 1991, 24.

⁴⁸ Juhani Saarinen: Metsät kätkevät aikaa kestäneen Salpalinjan. *Helsingin Sanomat* 26.4.2011, sivu A 8; <https://fi.wikipedia.org/wiki/Salpalinja> (kokonaistuotanto 182 000 tonnia).

lisäaineita. ”Korsujen betonista lujuutta selittää käytetyn sementin karkeampi rakeisuus.

Rakeisemman sementin lujittuminen kestää pidempään kuin nykykerrostalossa käytettävän hienorakeisemman sementin. Pitkä lujitusaika tekee betonista kovan.”⁴⁹

Oulujoki Oy:n vesivoimalaitokset muodostivat suuren ja monia vuosia kestäneen rakennustyömaan, jolla ylivoimaisesti eniten käytetty rakennusmateriaali oli betoni, erityisesti teräksellä jäykistetty betoni. Siksi yhtiölle oli erittäin tärkeää kiinnittää huomiota betonin tuotantoon, valanteiden testaukseen sekä muuhun laadunvalvontaan. Näitä toimintoja varten yhtiö perusti vuoden 1949 jälkipuoliskolla betonin tuotantoon, laadunvalvontaan ja valanteiden testaukseen erikoistuneen betoniteknilisen toimiston ja sen alaisuuteen keskuslaboratorion yhdessä Imatran Voima Oy:n kanssa. Molempien johtoon nimitettiin Jukka Vuorinen.⁵⁰ Toimiston nimi vaihtui useaan otteeseen; ensin Betonilaboratorioksi, myöhemmin Betoni- ja geolaboratorioksi ja lopulta Betoni- ja maalaboratorioksi.

Jukka Vuorinen jatkoi laboratorion johtajanakin ollessaan tutkimustyötään, joka oli varsin käytännönläheistä ja voimalaitosrakentamisen ydintehtäviin liittyvää. Hänen erityisen mielenkiinnon kohteinaan olivat mm. betonin vedenpitävyys, laajentuminen ja kutistuminen lämpötilan vaihteluissa, pakkasenkestävyys ja puristuslujuus, jotka kaikki ovat vesivoimalaitosrakentamisessa keskeisiä betonin ominaisuuksia. Niiden testausta ja

⁴⁹ Antti-Jussi Korhonen, 80 vuotta sitten käsin rakennetun korsun betoni osoittautui lujemmaksi kuin nykyajan kerrostaloissa: ”Voi verrata ydinvoimaloihin”, Julkaistu 10.4.2019, <https://yle.fi/uutiset/3-10724625>

⁵⁰ Eero Järviö, Betoniteknilinen tutkimustyö voimalaitosrakentajiemme apuna, *Voimaviesti* 1951, 5. vuosikerta, no 2-3, 1-3.

analysointia varten Vuorinen käytti useita koetusmenetelmiä, joita hän paransi, keksi kokonaan uusia metodeja sekä innovoi uusia mittauslaitteita. Kun Suomessa viranomaiset vuonna 1945 säätivät uudet betoninormit ja laatukriteerit, niiden käyttöönotto vaati betonin ainesosien kuhunkin tarkoitukseen sopivaa sekoitussuhdetta. Sitä varten Vuorinen kehitti ja julkaisi jo vuonna 1946 oman metodinsa, joka oli toinen maassamme Arvo Nykäsen edellisvuonna julkaiseman suhteitusmenetelmän jälkeen. Vuorinenkin uudisti oman suhteitusmetodinsa 1960-luvun alkupuolella. Vuodesta 1951 lähtien Vuorinen julkaisi tutkimustuloksiaan betonin vedenpitävyydestä, ja saman vuonna hän laati ensimmäiset ohjeensa vaurioituneen betonin korjaus- ja paikkaustehtävien toteuttamisesta. 1960-luvulla hän kehitti laboratoriossaan betonin pikakoetusmenetelmän, jonka avulla betoniset kappaleet oli mahdollista testauspuristaa jo 24 tunnin kuluttua valamisesta.⁵¹

Vuorisen mielenkiinnon kohteena oli myös hydraatioreaktio ja sen seuraukset. Käsite kuvaa tilannetta, jossa sementin sisältämien mineraalien ja veden kesken tapahtuu niitä sekoitettaessa reaktio, jonka vaikutuksesta sementin ja veden muodostama pehmeä massa kuivuessaan kovettuu ja syntyy uusia kemiallisia yhdisteitä, hydraateiksi kutsuttuja mineraaleja. Samalla suuret valokset lämpenevät. Vuorinen kehitti erityisen laitteen, kalorimetrin, jolla voitiin mitata hydraatiolämpöä.⁵²

Oulujoen vesistön vesivoimalaitosten ja myöhemmin suomalaisen rakennustekniikan kehityksen kannalta huomattavaa merkitystä oli lähes vuoden mittaisella opintomatalla,

⁵¹ Vesa Penttala, Betonitekniikan 100 ensimmäistä vuotta, *Betoni Suomessa 1860 – 1960*, Jyväskylä 1991, 24-25.

⁵² [Energiankäytön kartoitus Lappeenrannan sementtitehtaalla](#) oa.doria.fi.

jonka Jukka Vuorinen teki Yhdysvaltoihin vuosina 1948 – 1949. Erityisesti hänen huomionsa kiinnittyi betonin valmistuksessa USA:ssa käytettyihin lisäaineisiin ja niistä varsinkin betonimassaan muodostuviin pieniin ilmakupliin eli huokosiin. Tietyt lisäaineet, joita kutsutaan huokoistimiksi, saavat aikaan betoniin sen valuvaiheessa huokosia, jotka jäävät kovettuneeseen betoniinkin. Betonin huokoistamismenetelmät olivat tuohon aikaan Pohjois-Amerikassa laajassa käytössä. Ironista tässä on, että Vuorinen tutustui Yhdysvalloissa tekniikkaan, joka ainakin osittain pohjautui Viktor Wikkulan jo vuonna 1924 Suomessa patentoimaan keksintöön.

Huokoistimet tekevät betonin joustavampaa, jotta valokset kestävät paremmin jäätyksen murtumatta ja lämmönvaihtelujen aiheuttamia laajenemisia ja supistumisia murenematta. Matkallaan Vuorinen perehtyi asiaan syvästi, ja sen tuloksena betonin pakkaskestävyydestä muodostui hänen useista tutkimusaihepiireistään se, jota on hänen kirjallisista tuotoksistaan eniten arvostettu. Hän laati aiheeseen liittyvän vuonna 1951 ilmestyneen kirjasen *Ohjeita betonin korjaus- ja paikkaustöiden suorittamiseksi*, jota on hyödynnetty vuosien ajan myös vesivoimaloiden rakentamisessa ja ylläpidossa.⁵³

Pohjoisen kylmissä rakennusolosuhteissa betonivalosten lämpötilan vaihteluiden kestävyydellä on vesivoimaloiden toimintakelpoisuuden kannalta keskeistä merkitystä. Olennainen osa betonin pakkasen kestävyden tutkimuksessa oli kehittää alan testaus- ja mittausmenetelmiä ja -laitteita. Vuorisen johdolla BML:n laboratoriossa suunniteltiin

⁵³ Jukka Vuorinen, *Ohjeita betonin korjaus- ja paikkaustöiden suorittamiseksi*, Rakennusinsinööriyhdistyksen julkaisuja, A:18, Helsinki: Rakennusinsinööriyhdistys 1951, 35 s.

menetelmä betonin optimaalisen suojahuokossuhteen määrittämiseksi. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry hyväksyi tämän metodin omiin standardeihinsa. Kuten monet muutkin aineet, betoninkin tilavuus on altis muutoksiin ympäristön lämpötilan ja kosteuden vaihtelujen mukaan. On tärkeää tuntea nämä muodonmuutokset ja kyetä mittaamaan ne. Tätä tarkoitusta varten Vuorinen kumppaneineen kehitti yksivaiheisen jäähdytys-sulatuskokeen, jonka avulla testattavien betonikappaleiden tilavuusmuutokset kyetään mittaamaan, laskemaan muun muassa niiden jäätymislaajenema eli dilaatio, jonka avulla pystytään tekemään arvio testattavan betonilaadun pakkasen kestävyyydestä.

Oulujoen vesistön vesivoiman rakentaminen oli 1950-luvun lopussa edennyt pitkälle, ja oli odotettavissa sen päättyvän seuraavan vuosikymmenen puolivälissä. Tällä muutoksella oli suuri vaikutus BGT:n tulevaisuuden näkymiin. Jukka Vuorinen keskittyi aiempaa enemmän tutkimukseen, ja hän ryhtyi valmistelemaan väitöskirjaa. Sen tekovaiheessa hän sai tietoonsa, että Teknillinen korkeakoulu oli aikeissa kutsua hänet kunniatohtorikseen. Vuorinen torjui tämän aikeen ja paljasti suunnittelevansa valmistumista tekniikan tohtoriksi vakiintunutta opintopolkua pitkin. Hänen väitöskirjansa aiheena oli betonin pakkasenkestävyyden määrittelemisen aiemmin mainitun yksivaiheisen jäähdytys-sulatuskoemenetelmällä. Varsin teoreettinen väitöskirja kovettuneen betonin käyttäytymisestä jäätyessään hyväksyttiin TKK:ssa vuonna 1969.⁵⁴ Seuraavalla vuosikymmenellä Vuorinen eläköityi, tuli valituksi Suomen betoniyhdistyksen kunniajäseneksi vuonna 1974 ja toimi vuosina 1976 – 1978 sen puheenjohtajana.

⁵⁴ Jukka Vuorinen, *On the Behaviour of Hardened Concrete during Freezing*, Diss., The State Institute for Technical Research, Finland, Publication 145, Helsinki 1969.

Eläkevuosinaan hän toimitti Heikki Miettisen kanssa mittavan betoniaiheisen sanakirjan, joka ilmestyi TKK:n julkaisusarjassa kaksi vuotta ennen hänen kuolemaansa.⁵⁵

Betoniteknillisen toimiston vaiheita

Imatran Voima Oy ja Oulujoki Oy perustivat yhdessä *Betoniteknillisen toimiston* ja sen laboratorion Pyhäkoskelle syksyllä 1949 ahtaisiin tiloihin autokorjaamon alakertaan ja yläkertaan. Toimiston johtajaksi valittiin DI Jukka Vuorinen ja laboratoriomestariksi Veikko Karjalainen. Kun Oulujoki Oy:n voimalaitoksille ryhdyttiin rakentamaan enenevässä määrin maapatoja, katsottiin aiheelliseksi vuonna 1952 muuttaa yksikön nimeksi *Betoni- ja geoteknillinen toimisto* (BGT), jonka toimialana oli tehdä betonialan tutkimusta, valvoa betonin käyttöä ja tutkia voimalaitoskohteiden maaperää. Vuonna 1956 laboratoriolle valmistui Pyhäkosken voimalaitoksen lähettyville uusi yksikerroksinen 350 neliön puutalo, kun taas toimisto sijoitettiin ”vanhana konttorina” tunnettuun rakennukseen.⁵⁶ Kauppa- ja teollisuusministeriön aloitteesta se sai vuonna 1955 Valtion teknilliseltä tutkimuslaitokselta hyväksynnän tehdä virallisia betonin koestuksia, joten BGT:stä tuli VTT:n betoniteknillisen osaston ohella toinen akkreditoitu betonialan tutkimus- ja aineenkoestuslaitos maassamme.⁵⁷ Vuonna 1965 nämä akkreditoinnit siirtyivät Kulkulaitosten ja yleisten töiden

⁵⁵ Jukka Vuorinen ja Heikki Miettinen, *Betonisanasto: englanti-suomi-englanti – Dictionary of Concrete: English-Finnish-English*, VTT:n tiedotteita 0358-5085I, 1981, 0011, Helsinki: Suomen betoniyhdistys, 1983.

⁵⁶ Matti Pulkka, *Betonitutkimusta Oulujoella. Betoni- ja geoteknisen toimiston vaiheita*. VekuVaku-projektin julkaisu, <https://vekuvaku.eu/fi/joki/oulujoen-vesisto/kulttuuriperinto/betonitutkimusta-oulujoella>.

⁵⁷ Jukka Vuorinen, Piirteitä Oulujoki Osakeyhtiön betoni-geoteknillisen tutkimuslaboratorion toiminnasta, Teoksessa: *Oulu ympäristöineen teknillisen nousun vaiheissa*, 1957, 90-91.

ministeriöön, mikä vuonna 1967 jatkoi sekä VTT:n ja BGT:n virallistettua asemaa betoniteknilisissä aineenkoestuslaitoksina.

Vuonna 1966 BGT päätettiin uudelleen sijoittaa Ouluun, siirtää se IVO:n ja OjO:n yhteisomistuksesta pelkästään Imatran Voiman tutkimuslaitokseksi, jolle ostettiin jo samana vuonna Ahjotie 6:sta tontti noin 1,5 km päästä Oulun rautatieasemalta. Tontille valmistui seuraavana vuonna 870 neliömetrin yksikerroksinen laboratorio- ja toimistorakennus, johon tuli monipuoliset tutkimustilat mm. erilliset huoneet kosteus- ja pakkastutkimuksia varten (Kuva 9.). Sen lisäksi tontille tehtiin 210 neliön suuruinen lämmittämätön varastorakennus. Kesäkuun 1967 alussa laboratorio siirtyi noihin uusiin tiloihin, ja nimi muutettiin Betoni- ja maalaboratorioksi, (BML).⁵⁸ Sen oli tarkoitus laajentaa toimintaansa koulutuksen suuntaan ja tiivistää yhteistyötään Oulun yliopiston rakennusinsinööriosaston kanssa. Tuossa vaiheessa BML työllisti 41 henkilöä.⁵⁹ Jukka Vuorinen jatkoi sen johtajana jonkin aikaa. 1970-luvulla tämä laboratorio siirtyi VTT:n Oulun yksikön alaisuuteen.

⁵⁸ IVO:n Betoni- ja maalaboratorio Ouluun, *Voimaviesti* 1967, no 1.

⁵⁹ Jukka Vuorinen, Imatran Voima Oy:n betoni ja maalaboratorio Oulussa, käsikirjoitus 10.8.1967, Oulun kansallisarkisto; Eero Järviö, Betoniteknilinen tutkimustyö voimalaitosrakentajiemme apuna, *Voimaviesti* 1951, 5. vuosikerta, no 2-3; Jorma Eerikäinen, Betoni- ja geoteknillisen toimiston nykyisestä toiminnasta, *Voimaviesti* 1957, no 1.



Kuva 9. Imatran Voima Oy:n *betoni-* ja *maalaboratorio* Karjasillankankaalla Oulussa ennakoi tasakattoista 1970-luvun arkkitehtuuria. Kuusisylinterinen kattoikkunalla varustettu uudehko ”Amerikan rauta” oli tuohon aikaan melko harvinainen näky Suomessa, jossa länsiautot olivat vapautuneet tiukasta tuontisäännöstelystä vain viisi vuotta BML:n avajaisia aiemmin, vasta 1962. Kuva: Kaleva 15.8.1967

Betoniasemat

Oulujoki Oy:n yksi merkittävimpiä haasteita rakennusurakassaan oli, miten valmistaa laadukasta ja kestävää betonia jouhevasti ja riittävästi seitsemälle Oulujoen vesivoimalaitokselle, joista 1 – 4 oli tekeillä samaan aikaan. Samankaltaisen tehtävän

Puolustusvoimat oli ratkaissut suurelta osin varsin perinteisin menetelmin: hevos-, kottikärry- ja paarikuljetuksin, kampikäyttöisin betonimyllyin, karkealla säkkisementillä ja käsityöllä rakentaessaan Salpalinjan yli 700 teräsbetonivahvisteista tai kallioon louhittua bunkkeria ja korsua. Oulujoki Oy:llä oli käytettävissään vain siviilityömiehiä, sotavankeja sodan aikana ja työllistämistöissä olevia työmiehiä rauhan aikana. Sen sijaan Puolustusvoimilla oli siviilityömiesten lisäksi vapaaehtoisia, palkattomia talkootyöläisiä Talvisotaa edeltäneissä linnoitustöissä, kun taas Salpalinjaa rakennettaessa välirauhan aikana (1940 – 1941) ja vuonna 1944 Linnoitustoimisto saattoi käyttää kenttäarmeijaa siviilityömiesten ja lottien lisäksi.⁶⁰ Linnoitustöissä olleille sotilaille maksettiin normipäivärahan lisäksi ansiotuloa: perheettömille 1/3 ja perheellisille 2/3 osaa normaalipalkasta.⁶¹ Koska Oulujoki Oy:n oli rakennustöissään sovellettava varsin erilaista kustannusrakennetta kuin mitä Puolustusvoimat oli voinut käyttää muutamaa vuotta aiemmin linnoitustöihin, yhtiö valitsi toimintalinjakseen koneellistaa rakennustoimintansa mahdollisimman pitkälle moderneimmilla tekniikoilla ja rakennusmenetelmillä. Ongelmaksi muodostui voimalaketjun rakentamisen alussa tiedon puute ennen kaikkea uusimmasta kansainvälisestä betonitekniikasta, koska sodan aikana informaatio teknologian kehityksestä maailmalla oli kulkenut heikosti. Asia ratkaistiin hankkimalla paikan päältä tarvittava tietous mm. rakennustöiden organisoinnista, betonin valmistuksesta ja

⁶⁰ Atte Enwald, *Salpalinja 1944: Kaakkois-Suomen linnoittaminen Neuvostoliiton suurhyökkäyksen kontekstissa vuonna 1944*, Itä-Suomen yliopisto, Yhteiskuntatieteiden ja kauppatieteiden tiedekunta, Historia- ja maantieteiden laitos Suomen historian pro gradu -tutkielma, 12/2020, s. 8-12.

<https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/24178/16103543231306438727.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>

⁶¹ Arimo, Reino, *Suomen linnoittamisen historia 1918–1944*. Suomen Sotatieteellisen Seuran julkaisuja 12, Otava, Helsinki, 1981, 327–336; Enwald, 18-19.

kuljetuksesta työpisteisiin sekä betonin lisäaineiden käytöstä. Tiedon hankkijaksi valittiin yhtiön betoni-insinööri.⁶²

Opintomatka Yhdysvaltoihin teki voimakkaan vaikutuksen 37-vuotiaaseen diplomi-insinööri Vuoriseen, joka hän keräsi matkaltaan paljon aineistoa kirjoittamalla näkemästään ja kuulemastaan muistiinpanoja, laatimalla piirroksia koneista ja koneyksikköjen sijoittelusta ja rakennuksista, kokoamalla tilastotietoja, valokuvaamalla näkemäänsä ja hankkimalla alan julkaisuja. Kaiken tämän teki isäntiensä luvalla ja myötävaikutuksella. Siellä hän kierteli eri kohteissa tutustumassa sikäläiseen betonirakentamiseen. Lisäksi hän toimi matkallaan puolisen vuotta länsirannikolla Washingtonin osavaltiossa Colombia-joella Grand Coulee -padon suurella rakennustyömaalla suunnitteluinsinöörinä, ja tutustui siellä amerikkalaisiin rakennuskäytäntöihin.⁶³

Tiedossa ei ole, millä kaikilla voimalaitoksilla ja padoilla Vuorinen ehti käydä. Hänen julkaisuistaan käy ilmi, että hän vieraili ainakin USA:n kuuluisimmalla vesivoimalaitoksella, liittovaltion New Deal-määrärahoihin rakennetulla Hooverilla, jonka pato Colorado-joessa maan lounaisosassa oli USA:n ensimmäinen suuri kokonaan betonista rakennettu pato, joka valmistui kuudessa vuodessa, v. 1930 – 1936 (Kuva 10). Se on 221 metriä korkea ja 379 metriä leveä.⁶⁴ Noin puolet opintomatka-ajastaan Vuorinen työskenteli suunnitteluinsinöörinä Yhdysvaltojen länsirannikon suurimman joen, Columbian, Grand Coulee -jättipadolla ja voimalaitoksella USA:n länsirannikon tuntumassa. Ne oli rakennettu

⁶² Pentti V. Lehtisen haastattelu kirjaa *Vesivoimaa Oulujoesta 50 vuotta: Sähköllä eteenpäin* varten, Haastattelijana Mauri Kuuskoski, 14.7.1988, Oulun kansallisarkisto; Penttala, 1991, 25.

⁶³ Penttala, 25.

⁶⁴ https://fi.wikipedia.org/wiki/Hooverin_pato; <https://www.britannica.com/topic/Hoover-Dam>

kahdeksassa vuodessa ajanjaksona 1933 – 1941. Tämä pato voimaloineen on edelleen yksi maailman suurimmista betonirakennelmista (Kuva 11).⁶⁵



Kuva 10. (vas.) 1936 valmistunut Hoover -pato ja voimalaitos, Colorado-joessa, Arizonan ja Nevadan osavaltioiden rajalla

Kuva 11. (yllä) Grand Coulee -pato ja vesivoimala Tyyneen valtameren laskevassa Columbia-joessa Washingtonin osavaltiossa

Matkakokemuksistaan Jukka Vuorinen kirjoitti muutaman artikkelin; niistä raportti ”Piirteitä amerikkalaisista betoniasemista” oli merkittävä Oulujoen voimaloiden rakentamisen kannalta, sillä siinä Vuorinen pohtii, miten amerikkalaiset onnistuivat rakentamaan jättimäisen suuria voimalaitoksia ja niiden patoja suhteellisen lyhyessä ajassa ja

⁶⁵ Northwest Energy and Conservation Council, <https://www.nwcouncil.org/reports/columbia-river-history/grandcouleehistory>

kannattavasti. Näiden ripeästi toteutettujen hankkeiden organisoinnin peruskäsitteisiin hänen mukaansa kuuluu ”amerikkalainen vauhti”. Ripeä rakennustahdin keskeinen tavoite on kokonaiskustannusten pitäminen kohtuullisina. Projektien vauhdikas eteneminen on pääsääntöisesti saatu aikaan käyttämällä monipuolisesti työtä säästäviä ja tehokkaita koneita ja hyödyntämällä tuotannon skaalaetuja. Resursseja on suunnattu koneiden ja integroitujen tuotantoprosessien laadukkaaseen suunnitteluun ja testaukseen. Tuotanto oli pitkälti koneellistettu, osin automatisoitu ja betonia oli siirrytty valmistamaan suurissa erissä mahdollisimman vähin keskeytyksin.⁶⁶ Vuorinen arvioi, että ilman näitä tuottavuutta lisänneitä toimia” olisivat esimerkiksi Hoover-padon ja Grand Coulee-padon kaltaiset suurtyöt vaatineet suhteettoman pitkän rakentamisajan ja samalla korkean palkkatason vallitessa todennäköisesti tulleet taloudellisesti kannattamattomiksi.” Tästä syystä oli päädytty tekemään betonia ”tehdasmaisena massatuotantona”, jotta sen korkea ja oikeanlainen laatu sekä riittävä ja keskeytyksetön kuljetus valukohteisiin voitiin turvata.⁶⁷

Esimerkkinä amerikkalaista tuotantokapasiteetista Vuorinen esittää Grand Coulee-padon neljä kolmen kuutiometrin kokoista monitoimista betoniasemaa, jotka punnitsivat kunkin raaka-aineen erikseen, annostelivat ne kuhunkin tuotantoerään, sekoittivat sekä lopuksi tarkistivat betonierän laadun. Tuollainen asema pystyi tuottamaan maksimissaan ”330 m³/h, 7900 m³/vrk ja 195.000 m³/kk”. Näistä asemista kaksi oli pyöri samanaikaisesti. Näin tehokkaat betoniasemat olivat USA:ssakin vähissä, mutta vaikka niiden koko vaihtelikin suuresti, niin ne – pienempiä myöten – oli suunniteltu toiminaan samoin kriteerein ja

⁶⁶ J. Vuorinen, Piirteitä amerikkalaisista betoniasemista, *Voimaviesti* 1950, s. 62-70.

⁶⁷ Vuorinen, 1950, 62.

tuottivat hyvänlaatuista betonimassaa tasaisesti kohtuullisin kustannuksin. Havainnollisen kuvan Grand Coulee -padon ja voimalan betoniasemien tehosta saa Vuorisen antamasta esimerkistä: yhdellä tuollaisella asemalla olisi voitu tuottaa Pyhäkosken voimalaitoksen patoineen tarvitsema noin 150.000 kuutiometriä betonia vain kolmessa viikossa.⁶⁸

Jo 1940-luvun loppuun mennessä betoniasemista oli kehitetty eri tarkoituksiin standardisoituja koneyksiköjä, jotka toimitettiin rakennustyömaille käyttövalmiina paketteina muiden rakennuskoneiden tavoin. Yhdysvalloissa vain suurilla rakennustyömaille oli omat betoniasemansa, kun taas pienet rakennuskohteet hankkivat betoninsa valmiina paikalliselta betonimassatehtaalta.⁶⁹ Betonin raaka-aineita oli puolestaan omat tuotantoyksikkönsä kuten kiviaineksen murskauksella ja lajittelulla, sillovarastot irtosementille sekä erilaiset kuljettimet ja nosturit varastopisteiltä betoniasemille, jotka olivat suurelta osin automatisoituja työvoimatarpeen vähentämiseksi. Mitä suurempi betoniasema oli, sitä enemmän työvoiman käyttöä voitiin automatisoinnilla vähentää.⁷⁰

Pian Vuorisen palattua Yhdysvalloista takaisin Oulujoelle yhtiö perusti syksyllä 1949 Imatran Voima Oy:n kanssa Pyhäkoskelle yhteisen betonitekniillisen toimiston ja sen alaisuuteen betonilaboratorion, jonka lähiesikuvina olivat maamme aiemmat aineenkoetuslaitokset. Vaikutteita se oli saanut myös amerikkalaisista betonin testaus- ja laaduntarkkailulaitoksista. Pyhäkosken keskuslaboratorion ensisijaisena tehtävänä oli tutkia betonin raaka-aineet, käytettävät valmistusmenetelmät, valvoa rakentamista sekä tarkastaa

⁶⁸ Vuorinen, 1950, 62.

⁶⁹ Vuorinen, 1950, 62.

⁷⁰ Vuorinen, 1950, 62-63

lopputuotteiden laadukkuus.⁷¹ Viikoittaiset suorittavat tehtävät olivat välttämättömiä, ja tieteellinen tutkimus oli 16-kohtaisessa velvoiteluettelossa laboratorion toissijainen, itse asiassa tärkeysjärjestyksessä viimeisin, tehtävä.⁷²

Oulujoki Oy:n ensimmäisen voimalaitoksen, Pyhäkosken, betonin valutyöt alkoivat tammikuussa 1943 ja ne ja ajoittuivat kahdeksalle vuodelle päättyen vuoden 1950 toukokuussa. Betonia valettiin ympäri vuoden – myös talvisin. Vaikka lähes kaikki valutyöt oli ehditty tehdä ennen Jukka Vuorisen paluuta Amerikan matkaltaan, betonityöt oli organisoitu pääpiirteissään samalla tavoin kuin yhdysvaltalaisille vesivoimalaitostyömailla – joskin työvoimavaltaisemmin, pienemmällä betoniasemalla, vanhanmallisemmilla eurooppalaisilla koneilla ja vähemmällä automatisoinnilla. Konekantaakin toki uudistettiin vähitellen; esimerkiksi kivet kuljetettiin murskaamolle ensin kapearaiteisia kiskoja pitkin höyryveturein tai kaapelinosturilla ja työmaan loppuvaiheessa Keski-Euroopasta Yhdysvaltojen armeijan ylijäämävarastoista hankituilla GMC -kuorma-autoilla eli kansanomaisesti ”Kemsuilla”. Suurin osa säkkeihin pakatusta sementistä hankittiin Paraisten Kalkkivuori Oy:ltä Paraisten tehtailta ja kuljetettiin rautateitse Pyhäkoskelle, samoin kuin pienempiä määriä Ihalaisten sementtitehtaalta Lappeenrannasta.⁷³

Työmaalla oli kolme tamperelaisen Lokomon konepajan kivenmurskauskonetta. Kaksi tuhannen litran saksalaista Kaiser-merkkistä betoninsekoitinta. Niiden mittarit vaihdettiin

⁷¹ Jukka Vuorinen, *Imatran Voima Oy:n betoni- ja maalaboratorio Oulussa*, Käsikirjoitus 10.8.1967, Oulun kansallisarkisto.

⁷² Imatran Voima Oy:n ja Oulujoki Oy:n Betonitekniillisen toimiston tehtävien kuvaus, Laadittu Helsingissä 10.11.1949, Oulujoki Oy:n arkisto, Oulun kansallisarkisto.

⁷³ J. Vuorinen, Katsaus betoninvalmistuksen järjestelyyn Oulujoki Osakeyhtiön voimalaitostyömailla, *Rakennusinsinööri* 1951b, no 2, s. __-__.

jonkin ajan kuluessa uusiin ja varmatoimisempiin. Nämä koneet sekoittivat normaalisuuruisen 833 litran betoniannoksen parissa minuutissa. Massa siirrettiin kuljetussuppiloissa kaapelinosturilla valupaikalle, jossa se työnnettiin lavavaunuilla valupisteisiin. Myöhemmin tähän tehtävään alettiin käyttää polttomoottorein liikkuvia kumipyöräisiä Dumper-vaunuja. Joihinkin betonimassakuljetuksiin käytettiin myös aiemmin louhintatöitä varten rakennettua hissitornia. Eri kuljetusmuotoja yhdistelemällä kyettiin samanaikaisesti jakamaan betonia 2-3 eri valupisteeseen, mikä nopeutti valamista tuntuvasti. Kuukausiennätys saavutettiin Pyhäkosken voimalatyömaalla, kun siellä tuotettiin eniten betonia, 6.559 kuutiometriä keskellä talvea helmikuussa 1948. Vuorokausiennätys oli puolestaan 391 kuutiometriä.⁷⁴

Seuraavalla Jylhämän voimalaitoksen työmaalla valettiin koko rakennusaikana alle puolet vähemmän betonia kuin Pyhäkoskella, ja osin siksi valutyöt onnistuttiin tekemään nopeammin, hieman alle kolmessa vuodessa (1947 – 1950). Tässä rakennuskohteessa koneet olivat suurelta osin Pohjoismaissa valmistettuja. Vaikka sikäläisen betoniaseman maksimiteho oli lähes täsmälleen sama kuin Pyhäkoskella, niin silti keskimääräinen kuukausittainen betonin tuotantomäärä oli Jylhämässä selvästi suurempi.⁷⁵ Tämän perusteella arvioiden työkonekapasiteetin käyttöaste ja työn tuottavuus olivat nousseet voimalaitosten rakennusurakan ensi vaiheen jälkeen.

⁷⁴ Vuorinen, 1951b

⁷⁵ Vuorinen, 1951b

Koska kolmas työmaa, Nuojuan pato ja voimalaitos, olivat vain 3 km päässä Jylhästä alavirtaan päin, betoni tuotettiin Jylhän annostus- ja sekoitusasemalla, josta betoni kuljettiin Nuojualle vuodesta 1951 lähtien erikoisrakenteisilla kuorma-autoilla.⁷⁶ Nämä olivat Suomen ensimmäiset ns. betoniautot, joiden lavoilla laatikoissa kuljettamaa lastia alettiin myöhemmin kutsua ”valmisbetoniksi”.

Tämän uuden tekniikan myötä Suomessa alettiin siirtyä myös säkkisementistä irtosementtiin, jota kuljettiin suoraan tehtailta tai välivarastoista betoniasemille kuorma-autoilla suljetuissa säiliöissä. Vuonna 1965 yli puolet Suomessa kulutetussa sementistä oli jo irtosementtiä.⁷⁷

Oulujoki Oy:n voimalaitostyömaat toimivat uuden betonitekniikan johtavina kokeilu- ja kehityskenttinä Suomessa. Yhtiö muun muassa toi maahan Montan voimalaitostyömaalle vuonna 1951 Suomen ensimmäisen allassäiliöauton USA:sta. Sillä kuskattiin Pällin voimalan betoniasemalta miltei 100.000 kuutiometriä betonia 12 kilometrin päähän Monttaan vuosina 1951 – 1955. Nämä työmaalla tehdyt organisatoriset ratkaisut tarjosivat liikeidean suomalaisille kaupallisille valmisbetonitehtaille.⁷⁸ Ensimmäisenä tämän konseptin ottivat käyttöönsä Lohjan Kalkkitehdas ja sen tytäryhtiö Rudus, jotka vuonna 1958 yhdessä rakensivat valmisbetonitehtaan Helsingin kaupungilta vuoraamalleen suurelle merenrantatontille Taivalsaareen, joka sijaitsee lähellä presidentin nykyistä virka-asuntoa Mäntyniemeä. Rudus oli vuosikymmeniä tuonut samalle paikalle hiekkaa jaaloilla Porvoon

⁷⁶ Vuorinen, 1951b

⁷⁷ Lauri Seppänen, *Valmisbetonia 50 vuotta. Valmisbetoniteollisuus Suomessa 1958–2008*, Saarijärvi: Betonitieto Oy 2008, 10-11, 42.

⁷⁸ Seppänen, 10.

saaristosta silloiselle Syvähuokon yhtiölle, joka toimitti sen Töölön rakennustyömaiden käyttöön. Uuden Taivalsaaren betonitehtaan käynnistäjiksi hankittiin alan asiantuntijat vesivoimalaitosalalta: johtaja, DI Gustaf Mickos oli aiemmin toiminut IVO:lla ja sen tytäryhtiöillä suurten vesivoimaloiden suunnittelijana pohjoisen joilla, missä oli työskennellyt myös vastaavaksi käyttöpäälliköksi pestattu rakennusmestari Erkki Liski. He laativat betonien valmistuksen raaka-aineiden annostusohjeet soveltaen VTT:n tutkimusjohtajan Arvo Nykäsen kehittämää suhteitusmenetelmää. Taivalsaaren betonitehtaan suunnitteli ja rakensi tanskalainen yritys. Lohjan Kalkkitechdas puolestaan toimitti sille aluksi valmistamaansa Normaaliporland-sementtiä ja sittemmin yhtymän omiin tarpeisiin kehitettyä Voima-sementtiä.⁷⁹

Maamme ensimmäisen kaupallisen valmisbetonitehtaan tekniikka saatiin toimimaan suuremmista ongelmista, mutta sen tuottamalla betonilla ei aluksi ollut riittävästi kysyntää. Niin rakennusyritysten johtajat kuin työmaamestaritkin asettuivat vastahankaan. Heidän mielestään työkohteen oma betoniasema oli varmempi, yhteistyökykyisempi ja kokonaistaloudellisempi toimittaja kuin ulkopuolinen yritys. Heitä huolestutti, pysyisikö valmisbetonitehdas sovituissa aikatauluissa, ehtisivätkö betoniautot ajoissa rakennuskohteisiin, tulisiko rakennusyhtiöille lisäkuluja viivästyksistä, kuka vastaisi koekappaleiden tekemisestä ja betonin laaduntarkastuksista sekä voisiko rakennuspaikoille toimitettu valmisbetoni olla kustannustaloudellinen ratkaisu.⁸⁰

⁷⁹ Seppänen, 10-11.

⁸⁰ Seppänen, 11.

Taivalsaaren tehtaan johtajilla ja työnjohdolla riitti puuhaa vakuuttaa rakennusyhtiöt oman tuotteensa luotettavuudesta ja kilpailukykyisyydestä. Lopulta asiakkaita löytyi – ensisijaisesti asuinrakennuksia urakoivista yhtiöistä. Pääkaupunkiseudun ensimmäinen rakennusliike, joka luopui omista työmaakohtaisista betoniasemistaan, oli Otto Wuorio. Ennen tätä päätöstään liike kilpailutti Taivalsaaren tehdasta ja omaa työmaakohtaista asemaansa, ja vakuuttui ulkopuolisen betonin toimittajan paremmuudesta. Sanoma Oy:n painotalon työmaa Vantaan Martinlaaksossa 1970-luvun puolivälissä oli Helsingin seudulla viimeinen, jolle pystytettiin oma betoniasema.⁸¹

Muutamaa kuukautta Taivalsaaren tehtaan käyttöönoton jälkeen toinen suuri sementintuottaja Paraisten Kalkki Oy hankki laitteistot omaan betoniasemaansa Helsingin Sörnäisiin ja vain vuotta myöhemmin – 1959 – se rakensi toisen valmisbetoniaseman Itä-Helsinkiin Myllypuroon. Samana vuonna Lohja Oy avasi toisen betoniasemansa samoin Itä-Helsinkiin Vuosaareen, jonka jälkeen nämä neljä tuotantolaitosta pystyivät täyttämään koko pääkaupunkiseudun valmisbetonitarpeet useiksi vuosiksi. Huolimatta 1950-luvun lopun ripeistä tuotantokapasiteetin lisäyksistä lähes neljännesvuosisata ehti kulua, ennen kuin pohjoisen voimalaitostyömailla kehitetystä betonin tuotantoformaattista tuli ylivoimainen Etelä-Suomen kaupallisessa talonrakennustoiminnassa ja työmaakohtaisista betoniasemista pääkaupunkiseudulla tyystin luovuttiin.⁸²

⁸¹ Seppänen, 11.

⁸² Seppänen, 11-12.

Lisäaineiden läpimurto

Betonirakentamisen jälleenrakennuskauden suuriin uudistuksiin kuului erilaisten lisäaineiden tulo markkinoille ja niiden käytön suhteellisen nopea lisääntyminen rakennustapojen muuttuessa. Huokoistimet olivat rantautuneet Suomeen jo ennen talvisodan syttymistä ja niitä käytettiin ehkä eniten puolustusrakennelmien tekemisessä, koska haluttiin betonikorsujen ja -bunkkereiden kestävän tulitusta kovillakin pakkasilla. Viime vuosisadan puolivälissä betonin huokoistimina maassamme käytettiin tuolloin lähinnä kahta kemikaalia. Arvo Nykänen suosi ensi sijassa kalsiumkloridia, kun taas Jukka Vuorinen toi vahvemmin esiin lignosulfonaattia.

”Kalsiumkloridi (CaCl_2) eniten käytetty betonin valmistuksen lisäaine talvibetonointia harjoittavissa maissa”, totesi Arvo Nykänen kansainväliselle lukijakunnalle tarkoitetussa, VTT:n kustantamassa kirjassaan vuonna 1958. Kollegansa Sven Pihlajavaaran kanssa hän väitti tämän aineen edistävän betonivalujen onnistumista kylmissä olosuhteissa monin tavoin: ensinnäkin se kiihdyttää veden ja sementin reagoimista keskenään, toiseksi niiden välinen reaktio lämmittää ja kovettaa betonia, ja kolmanneksi lisäaine alentaa sementin sisältämän veden jäätymispistettä.⁸³

Betonin käytön lisääntyessä ja monipuolistuessa Pohjois-Amerikassa sielläkin havaittiin, että betoni ei kaikissa tilanteissa kestä pakkasta. Jalkakäytävien ja katujen betonilaattojen havaittiin halkeilevan talvisaikaan. Niiden tiiveydellä ja vesipitoisuudella havaittiin olevan

⁸³ Arvo Nykänen ja Sven Pihlajavaara, Paper 4: The Effect of Calcium Chloride on the Hardening of Concrete made with Finnish Portland Cements, Teoksessa *The Hardening of Concrete under Winter Concreting Conditions*, VTT Publication no 50, Helsinki: 1958, Introduction.

yhteys halkeiluihin. Lisäksi todettiin, että kostea betoni laajenee jäätyessään ja kuiva betoni laajenee puolestaan lämmitessään. Esittäessä lisäaineita, joilla betonin kosteuspitoisuus saataisiin optimaaliseksi, havaittiin 1930-luvun Yhdysvalloissa, että selluteollisuuden jäteliemestä eristelyllä ja rikkikäsitellyllä ligniinillä päästään toivottuihin tuloksiin. Samalla vuosikymmenellä puunjalostusteollisuuden jätteestä tuli betonirakentamisen tärkeä lisäaine. Toisen maailmansodan jälkeen lignosulfonaatti alkoi yleistyä lisäaineenakin Suomessakin. Maahantulon ajankohta ja reitti ei ole tiedossa, mutta se löysi tiensä Oulujoen voimalaitostyömaille. Aine vähensi veden tarvetta betonimassan teossa, mutta sillä oli muitakin etuja.

Oulujoen varrella toiminut Betoni- ja maalaboratorio tähtäsi ensisijaisesti siihen, että betonivalut onnistuivat ja riittävä pakkasenkestävyys saavutettiin. Se katsoi, että oikeat betoniseokset ja asianmukainen valaminen johtavat hyviin ja kestäviin rakenteisiin eli betonimassan valmistuksessa oli käytettävä vähän vettä ja oli tehtävä valut jäykällä ja hyvin täytetyllä betonilla. Oulujoki Oy valmisti säänkestäviä betonilaatuja lisäämällä massaan sekoitettaessa huokostinta, joka edistää mikroskooppisten pienten ilmahuokosten, ns. suojahuokosten, muodostumisen betoniin. Kun valmis kovettunut betoni jäähtyy ja sen sisältämä vesi jäätyessään laajenee ja tunkeutuu ilmatäytteisiin suojahuokosiin. Paineistettu ilma virtaa ulos betonista, joka säilyy ehjänä.⁸⁴

⁸⁴ Tietoa betonista. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/lisaaineet/>

Sekoittamalla veden sekaan lisäaineita voitiin myös vähentää tarvittavan vedenmäärä ja lisätä ilmahuokosia (jopa 40 litraa kuutiometriä kohti) sekoittamalla reippaasti betonia. Kylmällä säällä valettaessa voitiin ylläpitää betonimassaa ulkoilmaa korkeammassa lämpötilassa mm. upottamalla sen sisään sähköllä lämpiäviä nauhamaisia vastuslankoja. Näin valettu betoni saatiin kuivumaan ja kovettumaan nopeammin.⁸⁵

Betonin lisäaineet ovat yleensä erilaisia polymeerejä, joilla säädellään esimerkiksi betonin notkeutta, ilmapitoisuutta tai kovettumisen nopeutta. Notkistimilla saadaan betonimassa pysymään letkeänä, mikäli valaminen kestää normaalia pidempään. Jäykistimillä on puolestaan päinvastainen vaikutus. Betonin ilmapitoisuutta lisätään huokoistimilla. Kovettimet taas kiihdyttävät betonin kestävyyttä ja kantavuutta; siten ne mahdollistavat siirtymään seuraavaan työvaiheeseen aiemmin.

Seuraavassa on esimerkkejä lisäaineista, joita käytettiin Oulujoen vesistön vesivoimalaitoksilla 1940-luvulta 1970-luvulle:

- LIGNOSULFONAATTI ("Ligniini"), yleisin huokoistin, joka vähensi vedenmäärää ja lisäsi betonin ilmamäärää.
- LENTAN, hidastin, jolla siirrettiin sitomisen alkua, jopa 10 tuntia.
- POQQOLIT huokoistusaine, jolla lisättiin betonin ilmamäärää, joka puolestaan paransi valujen pakkasenkestävyyttä.
- DAREX ja EVOY sama kuin edellä.

⁸⁵ BML:n ent. laborantti Eero Pollarin haastattelu 5.1.2022. Haastattelutiedosto tekijän hallussa.

- KALSIUMKLORIDI (CaCl), huokoistin, jota käytettiin myös kiihdyttimenä,
- Erilaisia suolaliuoksia kalliopintojen betonointiin.
- INJEKTOINTILAASTI, juokseva laasti, jota pumpattiin kalliohalkeamien tiivistämiseen.
- VOIMALAASTI, vanhojen laitosten vuotoihin ja rapautumiin.⁸⁶

Oulujoen vesistön betonointitöiden merkitys

Linnoituskorsujen ja -bunkkereiden rakentamisella 1930- ja 1940-luvulla oli suuri vaikutus Suomen betonitekniikan kehitykseen. Tuo jättiurakka ei vain kehittänyt betonirakenteiden suunnittelu- valmistus- ja raudoitusmenetelmiä vaan edisti myös alan ammattitaitoa sekä loi ihmissuhteita, joilla oli vaikutusta tämän tietotaidon siirtymiseen pomminkestävien korsujen valamisesta rauhanajan rakennuskohteisiin, kuten vesivoimalaitosten rakentamiseen. Jälleenrakennuskauden kärkinimet alalla, Arvo Nykänen, Jukka Vuorinen ja Veikko Karjalainen, olivat työskennelleet työtovereina jo Puolustusvoimien Linnoitusosastolla. Kaksi viimeksi mainittua jatkoivat läheisinä työtovereina myös IVO:n Betoni- ja maalaboratorion toimiajan viimeisiin vaiheisiin saakka. Vielä pitkään sodan päätyttyäkin Vuorisella ja Karjalaisella oli kohdatessaan tapana tervehtiä toisiaan sotilaallisesti, mikä ilmaisi heidän kokeneen sekä työnsä että keskinäiset suhteensa tavallaan pitkänä jatkumona.⁸⁷

⁸⁶ BML:n ent. laborantti Eero Pollarin haastattelu 5.1.2022. Haastattelu tekijän hallussa.

⁸⁷ Nimi? Ojon 50v haastattelun osassa Nahkurista - Pennaseen.

Betonin valmistusmenetelmien uudet käänteet ja tutkimussuuntaukset otettiin vakavasti huomioon rakennettaessa Oulujoen vesistön voimalaitoksia toisen maailmansodan jälkeen. Kullekin voimalaitostyömaalle tai sen välittömään läheisyyteen rakennettiin amerikkalaismallinen betoniasema ja työmaalaboratorio. Pyhäkoskelle perustettiin Betoni- ja geologinen keskuslaboratorio, jossa perehdyttiin yleisempiin ja perustavan laatuaisempiin teemoja sekä tutkittiin jokivarren maaperää, maalaatuja samoin kuin betonin raaka-aineita ja seossuhteita sekä valanteiden erilaisia ominaisuuksia. Tällainen systemaattinen betonirakentamisen tutkimustoiminta oli uutta Suomessa.

Suomalaisen 1900-luvun betonitekniikan toinen pitkä linja Viktor Wikkulasta ja Isak Räsästä Arvo Nykäseen, Jukka Vuoriseen ja Sven Pihlajavaaraan nivoutuu kiinteästi pyrkimykseen löytää keinot muodostaa valettavaan massaan pienen pieniä pysyviä ilmakuplia ja kehittää siten huokoista pakkasenkestävää betonia. Tässä suhteessa suomalaiset olivat alan uranuurtajia kansainvälisestikin. Betonin teknisten ominaisuuksien testaus oli myös suomalaisten alan osaajien vahvuus, ja BML:n asiantuntemusta käytettiin ulkomaisissakin rakennuskohteissa. Vuorisella oli laajat kansainväliset yhteydet, ja laboratorion muitakin työntekijöitä kutsuttiin koti- ja ulkomaille aineenkoetustehtäviin. Esimerkiksi BML:n laborantti Eero Pollari sai työkomennuksia mm. Loviisan ydinvoimalaan sekä useammankin vesivoimalan rakennustyömaalle Neuvostoliittoon ja Norjaan.⁸⁸

Jukka Vuorisella oli suuri merkitys suomalaisen betonin valmistuksen sodanjälkeiseen kehitykseen, sillä hän auttoi siirtämään uusinta amerikkalaista betoniteknologiaa suoraan

⁸⁸ Eero Pollarin haastattelu, 5.1.2022. Haastattelunauhoite tekijän hallussa.

Oulujoen vesistön voimalaitosten rakennustyömaille. Samalla hän teki myös ansiokasta tieteellistä tutkimusta, joka aina tähtäsi käytännöllisiin sovelluksiin niin työmenetelmiin kuin mittauslaitteisiin. BGT ja sen työn jatkaja BML onnistuivat keskeisissä tutkimuksissaan ja niiden tulosten sovellutuksissa, jotka koskivat betonirakenteiden vesitiivyyttä, pakkasen kestävyyttä, murtumattomuutta ja lisäaineiden oikeanlaista käyttöä. ”Näiden tutkimuksien ansioksi suurelta osalta on luettava se monia ulkomaalaisia insinöörejä innostanut seikka, että meikäläisissä voimalaitosrakenteissa esiintyy betonivaurioita hyvin vähäisessä määrin.”⁸⁹

Betoniala on luonnostaan siinä mielessä poikkeuksellinen ala siksi, että se on Suomessa, kuten monissa muissakin maissa, useassa suhteessa suojattu ulkomaiselta kilpailulta. Ensinnäkin, koska sementti on poikkeuksellisen painavaa tilavuutensa nähden, sen kuljetuskustannukset ovat suhteellisen korkeat. Kuljetusalan kaluston voimakkaan teknisen kehityksen myötä tämä tekijä on tosin menettänyt osin merkitystään. Toiseksi, koska sementin valmistukseen hyviä ja runsaita maalajiesiintymiä on rajoitetusti, tuottajien on suhteellisen helppo saavuttaa oligopoliasema. Kolmanneksi usein sementin raaka-aineet ovat maaspesifejä ja julkisen vallan laatuvaatimukset sementteille ovat yleensä määritelty vain kotimaisille sementteille, ulkomainen tuonti on hankalaa. Viranomaismääräykset betonirakentamiseksi vaativat rakentajia hankkimaan akkreditoiduilta tutkimuslaitoksilta todistuksia betonivalujensa kestävydestä ja muista ominaisuuksista. Siksi rakentajien ei kannata tehdä löyhin perustein kokeiluja vierailta raaka-aineilla ja niiden annosteluilla, sillä

⁸⁹ Jukka Vuorinen, Piirteitä Oulujoki Osakeyhtiön betoni-geoteknillisen tutkimuslaboratorion toiminnasta, Teoksessa: *Oulu ympäristöineen teknillisen nousun vaiheissa*, Oulu: Oulun teknillinen seura 1959, 91.

sanktiot viranomais määräysten rikkomisesta saattavat olla huomattavat. Neljänneksi myös samoista syistä betonien suhteitusohjeet ovat maaspesifejä. Ulkomaisia sementtejä voi olla vaikeaa käyttää kotimaisten suhteitusohjeiden mukaisesti samanlaisen lopputuloksen saamiseksi. Näin ollen ulkomaisille sementteille pitäisi laatia omat suhteitusohjeet ja se taas edellyttäisi aikaa ja resursseja vaativia tutkimuksia ja testauksia. Näin ollen sementti- ja betonialan toimijoilla on yleensä maassaan vanhempi asema kuin mitä alan liikevaihdon suuruudesta voisi päätellä. Näin ollen myös betonialan testauslaitoksilla ja johtavilla asiantuntijoillakin on ainakin Suomessa ollut vahva ja arvostettu yhteiskunnallinen asema.