

SUUNNITTELIJAN SUDENKUOPAT

Markku Heinisuo

Rakenteiden Mekaniikka, Vol. 40
No. 2, 2007, s. 24-39

TIIVISTELMÄ

Kirjoituksessa kuvaillaan suunnittelijan sudenkuopista eurokoodeja ja resursseja. Sudenkuoppien täyttämiseksi esitetään tarkastustoiminnan laajentamista rakentamisessa, tuotemallinnusta ja uutta osaa eurokoodeihin.

JOHDANTO

Kirjoitus ei perustu tutkimukseen eikä juurikaan kirjallisuuteen, vaan sisältää pääosin kirjoittajan näkemyksiä ja kokemuksia rakennesuunnittelusta. Kirjoituksen toivotaan olevan mieluummin keskustelun avaus kuin valmiiden tulosten esittely.

Riskien hallinta rakentamisprosessissa on aina ollut keskeisessä roolissa, kun päätöksiä tehdään alkaen investointipäätöksestä päätyen valmiin rakennuksen käytön aikaisiin päätöksiin. Riskejä pyritään usein hallitsemaan perustaen päätökset kokemuksiin aiemmista toteutetuista kohteista. Tietotekniikassa tätä tutkiva haara on nimeltään Case Based Reasoning. Menetelmässä pyritään jäljittelemään ihmisten toimintaa päätöksen teossa. Vanhojen projektien tieto tallennetaan siten, että sitä voidaan jollain päättelyä helpottavilla algoritmeilla käyttää uusien projektien riskien arviointiin.

Vastaavan kaltainen menettely, mutta ilman tietoteknisiä sovellutuksia, on nyt kehitetty Suomen rakentamiseen. Se astuu voimaan syksyllä 2006 ja se pitää sisällään määräyksen, että vaativissa rakennuskohteissa on tehtävä riskianalyysi. Riskianalyysin tekemistä ohjeistetaan kansallisessa TASSU projektissa. Tällä hetkellä näyttää siltä, että tuleva vaadittava riskianalyysi perustuu päättelyyn perustuen kokemuksiin aiemmista toteutetuista kohteista. Uuden määräyksen taustalla ovat viime vuosina maassamme sattuneet lukuista kattosortumat.

Riskien hallintaan liittyvät erilaiset ”sudenkuopat”. Ne voitaneen määritellä ei ennakoitavina tekijöinä, jotka johtavat epäonnistumiseen tehtävässä. Sudenkuoppien ei ennakoitavuus tekee niistä erittäin hankalia käsitellä sekä ihmisille että tietokoneille. Tietokoneet kykenevät toistaiseksi vielä vain tiukasti rajatuissa tehtävissä tuottamaan uusia, ennakolta tuntemattomia ratkaisuja. Ihmiset suoriutuvat tästä paremmin. Toisaalta suurien tietomassojen nopeassa käsittelyssä tietokone päihittää useimmat ihmiset. Jos on jotakin, edes pientä tietoa olemassa sudenkuoppien olemassaolosta, niin se tieto kannattaa syöttää tietokoneelle ja ottaa tämä tietämys mukaan päätöksenteon prosessiin.

Tietotekniikka-avusteiseen päätöksentekoon ei puututa enää tässä kirjoituksessa, vaikkakin se kirjoittajan käsityksen mukaan on lähes käyttämätön resurssi rakentamisessa. Vain jokunen viittaus menetelmistä annetaan jatkossa tietotekniisiin sovellutuksiin. On kuitenkin todettavissa, että edellä kuvattujen ”keinoalysovellutusten” tutkijat ovat siirtymässä päätöksenteon avustamisesta monitavoiteoptimointiin (katso esimerkiksi lähde [1], johdanto).

Seuraavaksi kirjoituksessa kuvaillaan kahta suunnittelijan sudenkuoppaana pidettyä asiakokonaisuutta

- eurokoodeja,
- resursseja.

Ratkaisuna sudenkuoppien välttämiseen esitetään

- tarkastustoimintaa,
- tuotemallitekniikkaa,
- eurokoodeja.

Suunnittelu on yksi rakentamisprosessin osa. Muita prosessin osia käsitellään rajoitetusti, mikäli ne liittyvät oleellisesti asiaan.

EUROKOODIT

Suomi on eurooppalaisen standardisointijärjestön CEN:n jäsen ja maamme on liittynyt Euroopan Unioniin. Suomi on sitoutunut eurooppalaisten direktiivien noudattamiseen rakentamisessa. 1990-luvun alkupuolella otettiin koekäyttöön eurooppalaiset esistandardit. Niitä on nyt koekäytetty noin kymmenen vuotta, jona aikana kaikilla on ollut mahdollisuus tutustua niihin. Esistandardeista on nyt muokattu lopulliset EN-standardit, jotka ovat voimassa viisi vuotta, joka on niiden päivittämissaikaajakso. Suomessa on tehty päätös ottaa eurokoodit käyttöön vuonna 2007.

Lopullisten eurokoodien muokkaus on tehty ns. Project Teamien toimesta. Project Teamit kävivät läpi kaikki eri maiden kommentit koskien esistandardeja, kommentit arvioitiin ja päätettiin toimenpiteistä, joihin kukin kommentti johti. Mikäli kommentti johti muutokseen esistandardissa, niin ehdoton vaatimus oli, että kommentin taustalla oli riittävä määrä koetuloksia, jotka puolsivat muutosta. Oleellista tässä prosessissa oli se, että kommentit tulivat kultakin jäsenmaalta, eivät Project Teamin jäseniltä. Perussääntö kaikissa eurokoodeissa on se, että kaikkien menetelmien ja kaavojen takana on oltava riittävä määrä koetuloksia.

Project Teamin työn jälkeen EN ehdotus saatettiin kaikkien jäsenmaiden tietoon ja niille varattiin riittäväksi katsottu kommentointiaika. Kutakin jäsenmaata edusti tässä prosessissa ns. NTC, National Technical Contact. Näiden tehtävä oli saattaa muutokset jäsenmaiden tietoon ja selvittää muutosten taustatiedot jäsenille.

Kommenttiaika on oleellinen kaikessa normitustyössä. Kommenttiaikana tulee esittää kaikki huomautukset tulevaan normiin. Kaikki huomautukset otetaan vakavasti, vaikka niitä olisi kuinka paljon. Kommenttivaiheessa kukin EU:n kansalainen voi ja pitää, mikäli sanottavaa on, antaa palaute tulevasta normista. Seuraava kerta kun kansalaiset näkevät normin on valmis normi työpöydällä, jota pitää alkaa noudattamaan.

Eurokoodien tapauksessa kommenttikierroksen jälkeen Project Team käsitteli uudet kommentit ja käsitteli ne kuten edelliset kommentit. Tämän jälkeen normi esiteltiin uudestaan NTC kokouksessa ja jätettiin jäsenmaiden lopullisen kannan muodostukseen. Jäsenmaat esittivät kantansa teknisen komitean istunnossa, jossa normista äänestettiin. Mikäli tämä äänestys johti positiiviseen tulokseen, niin normi käännettiin kolmelle eurooppalaiselle kielelle ja saatettiin lopulliseen äänestykseen.

Tilanne on nyt se, että kaikki kommenttiajat ovat olleet ja menneet. Normit otetaan käyttöön vuonna 2007. Nyt on alkanut lehtikirjoittelu [2], joissa annetaan negatiivisia lausuntoja normeista. Kaikki kuitenkin tietävät, että kommenttikierrokset ovat oikea aika arvioida normien sisältöä, mikäli niihin halutaan vaikuttaa. Nyt on aika opetella käyttämään niitä. On myös esitetty [2], että eurokoodit lisäävät suunnittelun riskejä.

On annettu lausuntoja [2], että eurokoodit ovat liian tieteellisiä käytännön suunnitteluun ja niiden ymmärtäminen edellyttää suunnittelijalta hyvää mekaniikan ja lujuusopin hallintaa. Tieteellisyyteen palataan myöhemmin, mutta tuo jälkimmäinen kommentti kuulostaa vanhasta suunnittelijasta huolestuttavalta.

Toisaalta on esitetty positiivisia kannanottoja [3]: eurokoodit avaavat aivan uusia mahdollisuuksia suunnittelun ja toteutuksen viennille erityisesti pienessä Suomessa. On esitetty, että tällaista mullistusta ei rakennusteollisuudessa ole tapahtunut koskaan aiemmin. Yhtäkkiä Suomelle avautuvat 500 miljoonan ihmisen markkinat.

Kirjoittaja yhtyy viimeiseen kannanottoon lisäten siihen mahdollisuudet koko rakentamisen tuotantoketjulle. Aivan erityisesti eurokoodin merkitys korostuu alalla, jossa viennin osuus on noin 50%, kuten metallirakentamisessa.

Miksi eurokoodit vaikuttavat ”liian tieteellisiltä” käytännön työhön? Kirjoittajan käsityksen mukaan tämä johtuu siitä, että eurokoodeihin on otettu mukaan ohjeistusta rakenteiden yksityiskohtien rakentamisesta laajemmin kuin on totuttu kansallisissa normeissa. Tämä tarkoittaa sivumäärän lisääntymistä, ei itse menetelmien mutkistumista. Esimerkiksi teräspalkkien mitoitus ei ole muuttunut kansallisesta B7 normista [4] juuri mitenkään. Normin B7 mukaan on suunniteltu teräsrakenteita noin 20 vuotta.

Se, että sivumäärä on lisääntynyt kertoo siitä, että Euroopassa on halu ottaa käyttöön viimeisin tutkimustieto rakentamisessa. Arvosteluista tulee mieleen se, että joidenkin rakennusalalla toimijoiden halu on olla hyödyntämättä kaikkea uutta kehitystyötä ja tutkimusta, joka viimeisten vuosikymmenten aikana on saatu aikaan. Se, että normeissa on nyt enemmän tekstiä kuin esim. 60 vuotta sitten tarkoittaa sitä, että kehitystä on tapahtunut. Suunnittelijan ja koko tuotantoprosessin kannalta on erinomaista, että normeissa on kerrottu kuinka menetellään eri tilanteissa, suunnittelijan ei omin päin tarvitse pohtia näitä asioita.

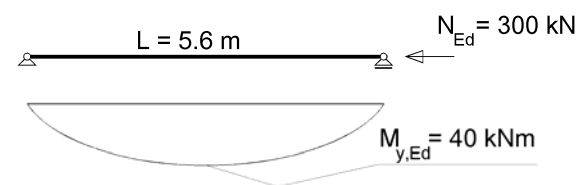
Esimerkiksi lähteessä [5] yli 60 vuoden takaa rakennusten lumikuormat on annettu noin puolella sivulla. Eurokoodeissa samaan asiaan on käytetty 15 sivua. Tämä kertoo osaltaan kehityksestä lumikuormien tuntemisessa.

Toinen esimerkki on plastisuusteoreettisesta mitoituksista. Aiemmin teräsnormeissa sanottiin, että plastisuusteoriaa voi käyttää, jos muodonmuutoskyky on riittävä. Suunnittelijan ongelma oli löytää tieto jostakin käsikirjasta tai muusta kirjallisuudesta, milloin kyseisen osan muodonmuutoskyky on riittävä? Lisäksi oli vakuutettava viranomaiset, että varmuustaso on riittävä. Lopputulos oli usein se, että plastisuusteoria jäi soveltamatta ja suunnittelijaa ja asiakasta harmitti, kun terästä kului turhan päiten. Nyt eurokoodeissa (kuten oli tilanne jo B7:ssä) annetaan säännöt, koska plastisuusteoriaa voi käyttää ja turvallisuustaso on silti riittävä.

On huomattava, että normit eivät kiellä laskemasta kimmoteorian mukaan, jos se tuntuu suunnittelijasta helpommalta ja siihen on kehitetty omat likikaavat tai tietokoneohjelmat. Kilpailutilanne rakennusmarkkinoilla on kuitenkin niin kova, että se 5-10% säästö palkin painossa, mikä plastisuusteorian käytöllä säästetään mikäli sen käyttö on sallittua, johtaa siihen, että plastisuusteorian käyttäjä saa kaupat. Tässä tapauksessa on edetty aivan normien varmuuskonseptin mukaan ja riski rakenteen sortumiseen ei ylitä mitään säännöksiä. Plastisuusteorian käyttäjää ei tule syyttää ”rimanalituksesta”.

Teräsrakenteiden eurokoodin yhteydessä tieteellisyys liitetään usein puristetun ja taivutetun palkin yhteisvaikutuskaavoihin. Ensisilmäyksellä kaavat näyttävät mutkikkailta. Lisäksi normissa annetaan suunnittelijalle neljä erilaista menetelmää asian tutkimiseksi.

Tarkastellaan aihetta esimerkin valossa, joka on peräisin lähteestä [6], jossa on selvitetty yhden normimenetelmän perusteita. Tämä menetelmä sopinee parhaiten käsinlaskentaan. Tarkastetaan seuraavan kuvan mukaisen taivutetun ja puristetun teräsputkipalkin kestävyys eurokoodin mukaan.



Kuva 1. Taivutettu ja puristettu palkki [6]

Laskentakuormitukset ja nurjahduspituudet ovat

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= 300 \text{ kN} \\ M_{y,Ed} &= 40 \text{ kNm} \quad (\text{parabeli}) \\ L = L_{cr,y} = L_{cr,z} &= 5.6 \text{ m} \end{aligned} \tag{1}$$

Palkin poikkileikkaus on kuumavalssattu putkiprofiili 200*100*10 (palkki pystyssä kuvassa) ja materiaali on S235. Materiaalivarmuusluvut myöhdölle ja stabiilisuuden menetykselle ovat uuden eurokoodin mukaan 1.0. Poikkileikkauksen plastiset kestävyudet ovat

$$\begin{aligned} N_{pl,Rd} &= \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{54.9 \cdot 23.5}{1.0} = 1290 \text{ kN} \\ M_{pl,y,Rd} &= \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3.41 \cdot 23.5}{1.0} = 80 \text{ kNm} \end{aligned} \tag{2}$$

Suhteelliset hoikkuusluvut tasonurjahduksille ovat

$$\begin{aligned} \bar{\lambda}_y &= \frac{L_{cr,y}}{i_y \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{560}{6.96 \cdot 93.9} = 0.857 \\ \bar{\lambda}_z &= \frac{L_{cr,z}}{i_z \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{560}{3.96 \cdot 93.9} = 1.50 \end{aligned} \tag{3}$$

Nurjahduksen reduktiokertoimet ovat (laskukaavat samat kuin B7:ssa)

$$\begin{aligned}\chi_y &= 0.762 \quad \text{käyrä } a \\ \chi_z &= 0.372 \quad \text{käyrä } b\end{aligned}\tag{4}$$

Yksinkertaistetut yhteisvaikutuskaavat eurokoodin mukaan (Method 2) puristetulle ja yhdessä suunnassa (taivutus y-akselin ympäri) taivutetulle putkipalkille ovat

$$\begin{aligned}\text{Vahvan suunnan nurjahdus: } & \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd}} + k_y \cdot \frac{C_{my} \cdot M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1 \\ \text{Heikon suunnan nurjahdus: } & \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{pl,Rd}} \leq 1\end{aligned}\tag{5}$$

Korotuseroin k_y on suurimmillaan 1.72 kun palkki on hyvin hoikka ($\bar{\lambda}_y > 1$) ja suhteellinen normaalivoima on suuri ($n_y = 0.9$) ja momenttipinnan muodon huomioon ottava kerroin C_{my} on suurimmillaan 1.0, kun momenttipinta on vakio. Jos suunnittelijalla on kiire, niin voi turvallisesti käyttää maksimiarvoja. Jos on aikaa etsiä kolme seuraavaa kaavaa, niin saa tarkemman ratkaisun.

$$\begin{aligned}n_y &= \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{pl,Rd}} = \frac{300}{0.762 \cdot 1290} = 0.305 \\ k_y &= 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot n_y \leq 1 + 0.8 \cdot n_y = 1 + (0.857 - 0.2) \cdot 0.305 = 1.20 \\ C_{my} &= 0.95 \quad \text{parabelille}\end{aligned}\tag{6}$$

Kestävyden tarkastus on seuraava

$$\begin{aligned}\text{Vahvan suunnan nurjahdus: } & 0.305 + 1.2 \cdot \frac{0.95 \cdot 40}{80} = 0.874 \leq 1 \Rightarrow OK \\ \text{Heikon suunnan nurjahdus: } & \frac{300}{0.372 \cdot 1290} = 0.625 \leq 1 \Rightarrow OK\end{aligned}\tag{7}$$

Laskennan vaiheet muistuttavat hyvin paljon tuttua B7 normia. Merkinnöissä on eroa. On mielenkiintoista havaita, että putkipalkin kestävyuden tarkastuksessa palataan vanhaan, käytännössä runsaasti käytettyyn menetelmään siinä mielessä, että heikon suunnan nurjahduksen tarkastuksessa riittää Lindnerin mukaan vain nurjahduksen tarkastus, kuten esimerkissä tehtiin. Lindnerin mukaan aiheesta on keskusteltu mm. ECCS:n työryhmissä ja

menetelmä on saanut laajan hyväksynnän, vaikkakin se joissain tapauksissa johtaa 7-9% alimitoitukseen. Aina varmallalla puolella oleva mitoituskaava on

$$\text{Heikon suunnan nurjahdus: } \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{pl,Rd}} + 0.6 \cdot k_y \cdot \frac{C_{my} \cdot M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \leq 1 \quad (8)$$

joka tässä tapauksessa antaa tuloksen

$$\text{Heikon suunnan nurjahdus: } 0.625 + 0.6 \cdot 1.2 \cdot \frac{0.95 \cdot 40}{80} = 0.967 \leq 1 \Rightarrow OK \quad (9)$$

Tanskalainen siltasuunnittelija esitti Ruotsin teräsrakennepäivillä vuonna 2004, että Ruotsin valtio voi säästää 400 miljoonaa kruunua vuosittain, mikäli vanhojen siltojen analyysissä käytetään eurokoodien normitettua todennäköisyyteen perustuvaa menetelmää vanhojen siltojen kantokyvyn määrittämiseen menettämättä varmuustasosta mitään. Tiedossa ei ole, onko Ruotsin valtio alkanut säästämään.

On myös esitetty arvioita, että eurokoodien vaikutusalue ei lopu Eurooppaan. Tässä on lisämahdollisuus vientiä ajatellen mutta tässä piilee myös vaara. Kun Aasiassa opitaan suunnittelu ja toteutus eurokoodien mukaan, niin mitä tehtävää jää meille?

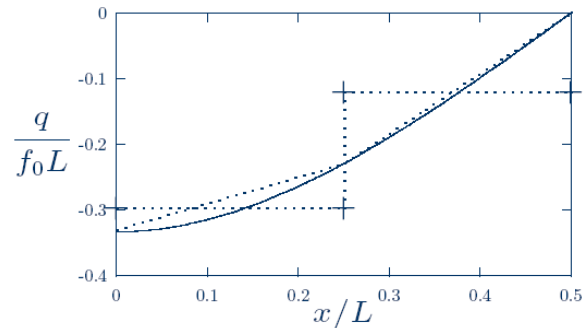
SUUNNITTELIJAN RESURSSIT

Suunnittelijan resurssit voidaan jaotella karkeasti

- tieto,
- taito,
- aika,
- raha.

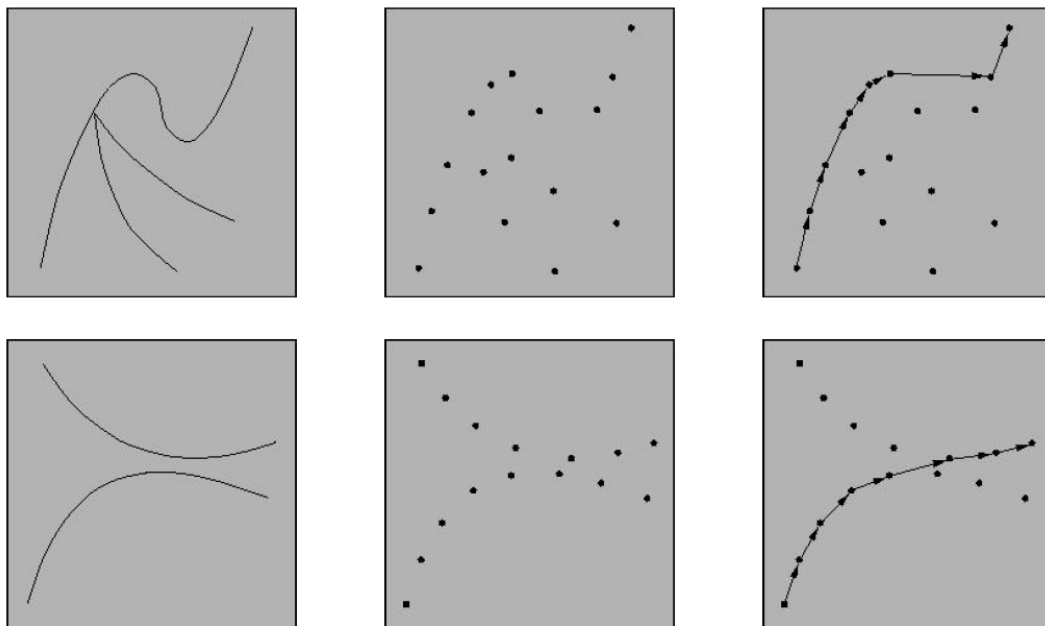
Tiedon ja taidon mukaan määräytyy kohteen suunnittelun käytettävä aika ja sitä myöten kustannus. Myös työkalukustannukset ja muut yleiskustannukset ovat merkittävät nykysuunnittelijalla. Seuraavassa on joitakin esimerkkejä suunnittelijalta vaadittavasta tieto-aidosta.

Suunnittelijan on tiedettävä mitä tekee. Seuraavan kuvan [7] esimerkissä sauvan lämpövuon sauvan päässä on noin 25% väärin, jos tuloksen lukee elementin arvosta.



Kuva 2. Sauvan lämpövuoto harvalla elementtiverkolla laskettuna [7]

Suunnittelijan tieto ja taito korostuvat epälineaaristen tehtävien ratkaisemisessa. Tietokoneet saattavat tulostaa vain pistejoukon analyysistä ja tasapainopolun seuraaminen saattaa johtaa väärille poluille, kuten seuraavassa kuvassa [7] on esitetty.



Kuva 3. Tasapainoilu epälineaarisessa tehtävässä [7]

Suunnittelijan on mahdollista tehdä virheitä suunnitteluprosessin monessa vaiheessa. Tietokoneavusteisessa suunnittelussa on mahdollista tehdä esimerkiksi mallinnusvirhe tai liian yksinkertaista mallia käytettäessä voi syntyä laskentavirhe. Tietoa ja taitoa tarvitaan, kun etsitään ominaisarvotehtävään sopivaa ratkaisijaa. Lähteessä [8] on esitetty kuva

ominaisarvottehtävän ratkaisijan etsimiseen ja kuvaa katsoessa on tunnettava, että tietoa ja taitoa todella tarvitaan sopivan ratkaisijan löytämiseen.

Tietoa kehitetään panostuksella koulutukseen. Koulutuksen on oltava jatkuvaa, koska menetelmät, ohjelmat ja määräykset muuttuvat jatkuvasti. Taito kehittyy tekemällä ja yritysten sisäinen koulutus on avainasemassa tämän sudenkuopan täyttämässä.

Suunnittelun arvostus puhuttaa jatkuvasti ja siitä on kirjoitettu paljon lehdistössä. Seuraavassa on vertailu palkoista. Palkka on yksi arvostuksen mittari. Esimerkissä otetaan kantaa myös riskeihin.

- Urheiluhallin suunnittelijan keskipalkka on n. 2500 Euroa/kk. Jos halli sortuu suunnittelijan virheen vuoksi, niin n. 1000-5000 ihmistä saattaa kuolla tai saada vammoja ja halli on menetetty.
- Lennonjohtajan palkka on n. 4000 Euroa/kk. Jos lentokone putoaa lennonjohtajan virheen vuoksi, niin n. 200 ihmistä kuolee ja kone on menetetty.
- Paperikoneenhoitajan palkka on noin 4000 Euroa/kk. Jos paperikone hajoaa koneen hoitajan virheen vuoksi, niin yhtään ihmistä ei kuole, mutta paperia menee hukkaan monta metriä.

TARKASTUSTOIMINTA RAKENNUSPROJEKTEISSA

Suomessa valtiovalta on määräyksillä sanoutunut irti vastuusta rakennustoiminnan tarkastuksista ja siirtänyt tarkastustyöt kustannuksineen rakennushankkeen toteuttajalle. Tarkastustoiminnan tulee kattaa suunnittelu, toteutus ja loppukäyttö. Loppukäytössä tarkastusta toteuttavat turvallisuus- ja terveysturvallisuusviranomaiset. Toteutuksessa ovat yleisesti käytössä erilaiset ulkoiset ja sisäiset laadunvarmistusmenetelmät sekä näiden yhdistelmät. Suunnittelun laadunvalvonta tarkoittaa yleensä yrityksen sisäistä laatujärjestelmää. Uusien määräysten mukaan vaativissa kohteissa on käytettävä ulkoista tarkastusta.

Suunnitteluyrityksissä käytetään yleisesti yritysten ”sisäisiä” suunnittelumenetelmiä, jotka on kehitetty pitkän ajan kuluessa. Näitä ei yleensä ole tarkastanut kukaan ulkopuolinen.

Rakennusprojektin kaikkiin vaiheisiin liittyy inhimillinen toiminta. Koska rakennustekniikassa on vain minimaalisesti automatisoitu toimintaa koneille, niin toimintaan liittyy aina ihmisen tekemän ei ennakoitavan virheen mahdollisuus. Näiden virheiden esiintymistodennäköisyyttä pyritään uusissa määräyksissä pienentämään riskianalyysin käytöllä. Kirjoittajan käsityksen mukaan tämä ei ole riittävä toimenpide, mikäli pyritään ”nollatoleranssiin” rakentamisessa, tai ainakin lähelle sitä.

Kirjoittajan käsitys on se, että paras tulos ei ennakoimattomien tekijöiden eliminoimisessa saavutetaan määrämällä pakollinen ulkopuolinen tarkastus kaikkeen toimintaan rakennusalalla. Paras tulos saavutettaisiin siten, että sama tarkastaja käy läpi suunnitelmat, valmistuksen tehtaalla ja asennuksen työmaalla Saksalaiseen tapaan. Myös rakennuksen ”käyttöohjeet” olisi oltava kunnossa ja niiden toteutuksen valvonta tulisi toteuttaa.

Tällainen ajatus on saanut runsaasti vastustusta rakentajien piirissä esimerkiksi kalleuden vuoksi. Jos ajatellaan, että tarkastajan palkkio olisi sama kuin rakennesuunnittelijan, niin tänä päivänä se tarkoittaa hyvin pientä osuutta, usein alle 1%, rakennuskustannuksista, puhumattamakaan osuudesta käyttökustannuksista tai rakennuksen hinnasta. Toinen seikka, jolla ajatusta on vastutettu on se, että sopivia tarkastajia ei ole olemassa. Mikäli tilanne Suomessa on näin huono, niin tarkastajat voi palkata Saksasta tai Virossa tai monesta muusta maasta, joista näitä löytyy.

Tarkastus häätää ”rimanalittajat” markkinoilta. Kilpailu tervehtyy ja laatuun ja kehitykseen kannattaa satsata. Rakentamisen imago kohentuu ja ulkopuolisen tarkastuksen olemassaolo nostaa laatua ja yritystä toiminnoissa. Tämän on saattanut havaita kohteissa, joissa oli ulkopuolinen tarkastus suunnitelmille. Suunnitelmat oli dokumentoitu jo lähes siten, että niistä sai muutkin selvää kuin tekijä. Tämä vaatimus oli itsestään selvyyys Suomessa vielä 1980 luvun alussa ja on edelleen keskieuropassa ja monessa muussa maassa.

Ulkopuolinen tarkastus tulee ulottaa myös suunnittelussa käytettäviin tietokoneohjelmiin. Esimerkiksi Venäjällä hyväksytään vain laskelmat, jotka on tehty tarkastetulla ohjelmalla. Joku ulkopuolinen taho on tarkastanut, että ohjelma laskee maan normin mukaan ja lisäksi on esitetty rajoitukset, mitä tapauksia ohjelma ei tutki normeista. Suomessa ei vaadita mitään tarkastuksia ohjelmille.

Ainoa poikkeus on naulalevyristikoiden suunnittelussa käytettävät ohjelmat. Näiden rakenteiden suunnitteluun käytettävien ohjelmien on oltava ulkopuolisen tarkastuksen läpäisemiä. Lisäksi suunnittelijoiden on oltava kurssitettu ja tentit suoritettu ennen kuin suunnitelmia voi tehdä.

Ironista on, että naulalevyristikoista rakennetut katot ovat olleet runsaasti otsikoissa, kun kattosortumista on uutisoitu. Kirjoittaja ei ole vielä löytänyt näistä sortumakuvauksista mainintaa itse ristikon suunnitteluvirheistä. Sen sijaan mainintoja löytyy koko katon tai rakennuksen jäykistysuunnittelun puutteista, huonon tavaran toimittamisesta työmaalle sekä työmailla tehdyistä asennusvirheistä. Ehkäpä osa näistä sortumista olisi voitu välttää, jos suunnittelua, valmistusta ja asennusta olisi valvonut joku ulkopuolinen?

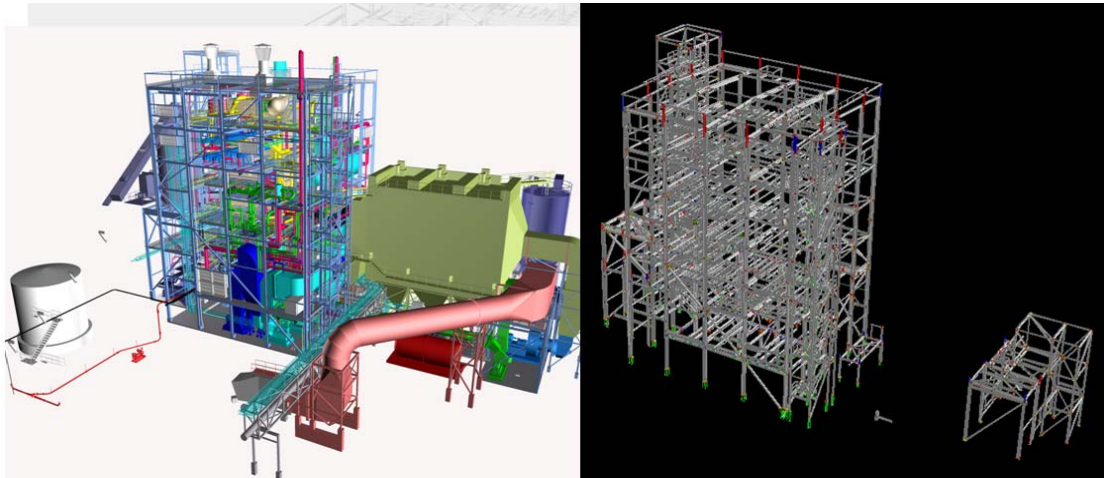
TUOTEMALLITEKNIIKAN MAHDOLLISUUKSISTA

Riskien eliminoinnin yksi keskeinen toiminto on ihmisten tekemien virheiden vähentämien koko tuotantoprosessissa. Tätä edesauttaa, kun hiotaan koko tuotantoketju suunnittelu => toteutus => loppukäyttö kuntoon. Voidaan väittää, että tietotekniikka on ollut avainasemassa tiettyjen tuotteiden tuotantoketjun tehostamisessa. Näissä tapauksissa myös laatu on parantunut ja virheet vähentyneet samalla kuin kannattavuus on parantunut. Esimerkkeinä voidaan mainita naulalevyristikot ja teräsrunkorakenteet.

Samoja menetelmiä on varmasti sovellettavissa koko rakentamisprosessiin. Visio tulevaisuudesta voisi olla, että rakennuskohteen vaatimukset määritellään tuotemalliin sopivassa muodossa sisältäen lait ja kohteen erityisvaatimukset. Suunnittelun jälkeen on olemassa tuotemalli, jonka perusteella tehdään toteutus (valmistus, kuljetus ja asennus). Valvojalla on käytössä ohjelma, jolla voi tarkastaa vaatimusten täyttyminen. Loppukäyttäjälle toimitetaan piirustusten sijaan malli, jota voi käyttää kulun, siivouksen, turvallisuuden, muutosten suunnitteluun ja valvontaan, sisustuksen suunnitteluun jne. Esimerkiksi rakennusosien vaatimusten esittäminen ja toteutuman valvonta onnistuu jo nykyisillä standardituotemalleilla [9], [10].

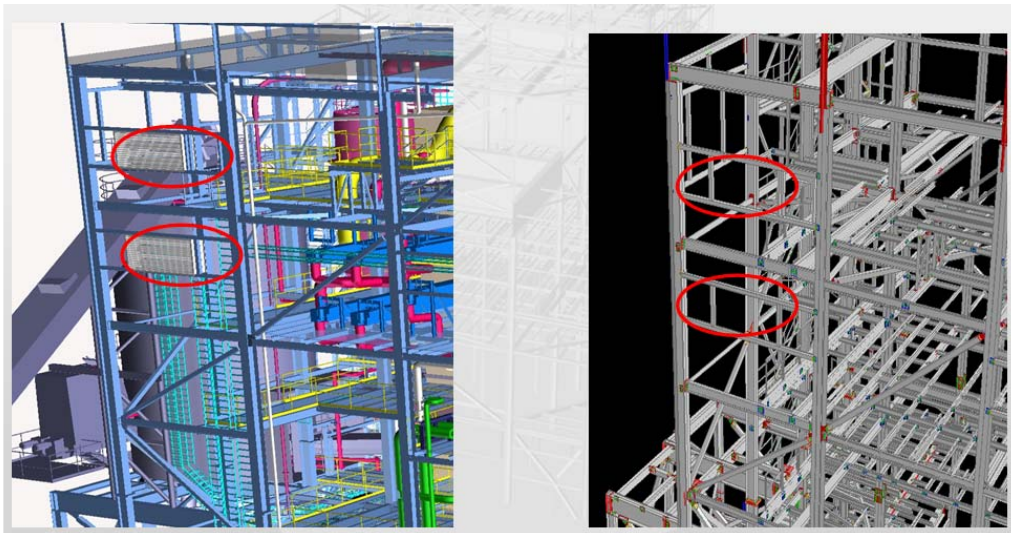
Ehkäpä teräsrunkorakentamisessa ollaan nykyään lähinnä tällaisen utopian toteutumista. Seuraavassa kuvataan lyhyesti teräsrunkorakentamista tänään ja esitetään sen perusteella lyhyt analyysi kokemuksista ja vaikutuksista erilaisten sudenkuoppien täyttämiseen.

Yksi yleinen ”virhe” rakentamisessa on se, että urakkarajat eivät ole selkeästi tiedossa ja osia jää suunnittelematta ja samantien toteuttamatta. Laitosrakentamisessa on käytössä se, että tilaaja toimittaa teräsrunkotoimittajalle lähtötietomallin. Seuraavassa kuvassa on vasemmalla puolella esitetty laitossuunnittelijan lähtötietomalli, jossa teräsrunko on esitetty sinisellä värillä. Tästä teräsrunkotoimittaja voi ottaa erilleen teräsrungon ja suunnittelun laajuus selkiää, kuten oikean puoleisessa kuvassa on esitetty.



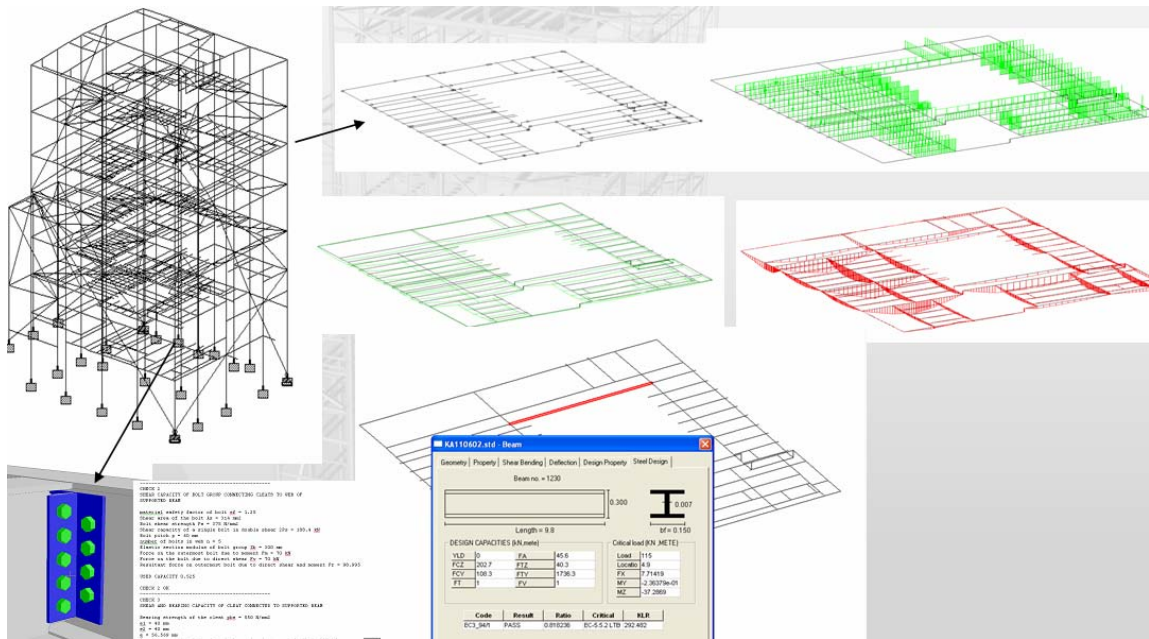
Kuva 4. Lähtötietomalli ja teräsrunkomalli

Näitä malleja voidaan tarkastella yhdessä tilaajan kanssa ja sopia lisää yksityiskohtia, mikäli on tarpeen. Seuraavassa kuvassa on tarkasteltu laitteen ja sitä kannattelevan teräsrunгон osan yhteensopivuutta tai huonommassa tapauksessa yhteensopimattomuutta. Yhteensopimattomuus on helpompi poistaa jo mallitasolla kuin työmaalla sovittelemalla.



Kuva 5. Yhteensovitus

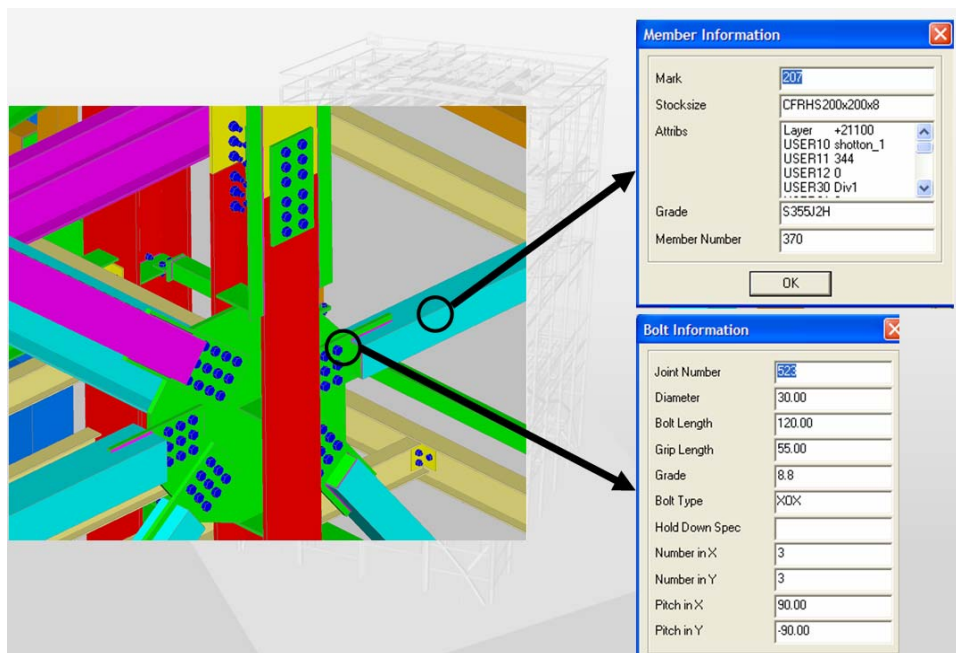
Seuraava vaihe teräsrunгон tuotemallinnuksessa on laskentamallin generointi. Seuraavassa kuvassa on esitetty geometriamallista generoitu laskentamalli. Statiikan ratkaisun jälkeen voidaan tarkastaa sauvojen ja liitosten kestävyudet.



Kuva 6. Teräsrunгон lujuuslaskentamalli

Tarpeellisten iteraatiokierrosten jälkeen lopullinen teäsrunkomalli toimitetaan konepajalle, jossa mallista tulostetaan tuotannon ohjaustiedot, saha- ja poralinjojen ohjaustieto sekä tiedot materiaalien ostoon.

Lopuksi tuotemalli toimitetaan työmaalle, jossa tehdään asennuksen aikataulutus ja asennuksen ja mahdollisesti nostojen simulointi. Mallia voidaan käyttää työmaaolosuhteissa esimerkiksi sauvatietojen ja liitosten yksityiskohtien tarkastamiseen (pultit, hitsit), kuten seuraavassa kuvassa on esitetty.



Kuva 7. Mallin käyttö työmaalla liitoksen yksityiskohdan tarkastukseen

Rakennusprosessin riskien eliminoimisen kannalta voidaan esittää ainakin seuraavat seikat, jotka tuotemallinnus tuo tullessaan

- osien yhteensopivuus työmaalla vähentää työmaalla ”soveltamista”, joka on usein olosuhteista johtuen työturvallisuuden, aikataulujen ja kustannusten kannalta kriittistä toimintaa,
- laskentamalli kuormituksineen kuvaa mahdollisimman hyvin oikeaa rakennetta vähentäen mallinnusvirheitä,
- valmistuksen ja asennuksen suunnittelu voidaan aloittaa heti, kun ensimmäinen runkomalli on valmis, usein ilman liitoksen yksityiskohtia, ei tarvitse odottaa ”lopullisia” piirustuksia,
- tietojen kulkeutuminen mallin mukana digitaalisesti toteutukseen vähentää ihmisten tekemiä virheitä tietojen välisyötössä.

Negatiivisena seikkana voidaan mainita työtehtävien uudelleen jakautuminen. On selvää, että tällaisessa toiminnassa toteutuksen (valmistus, kuljetus ja asennus) toimintoja siirtyy rakennesuunnittelijalle.

Tällaisessa toiminnassa voidaan väittää, että hyvin suunniteltu on paljon enemmän kuin puoliksi tehty.

EUORKOODIT SUUNNITTELIJAN SUDENKUOPPIEN TÄYTTÄMISESSÄ

Eräässä pilottiprojektissa [11] keskusteltiin teräsrunkojen suunnittelun ja valmistuksen toteuttamisesta yleisillä termeillä. Tuloksena tehtiin havainto, että molemmissa prosesseissa esiintyy runsaasti saman nimisiä työvaiheita. Teräsrakenteiden toteutusta (valmistus ja asennus) säädellään uusissa eurokoodeissa osalla EN 1090 [12], jossa määritellään melko tarkasti, mitä toteutuksessa tehdään ja mitä tarkastetaan eli esitetään toteutuksen vaatimukset.

Suunnitteluun ei esitetä vastaavaa ohjeistusta nykyisissä kansallisissa tai tulevissa eurokoodeissa. Kysymys kuuluu: tulisiko tulevaisuudessa olla oma osa suunnittelulle eurokoodissa EN 1090 ja vastaavissa osissa koskien muita materiaaleja, joissa määritellään vastaavat asiat kuin nykyisissä toteutusta koskevista osista? Kirjoittajan käsityskyvyn mukaan tällainen standardi olisi kirjoitettavissa rakennusalalle ja se määrittäisi ainakin minitason siitä, mitä rakennelaskelmissa tulisi esittää ja mitä asiakas voisi niistä minimissään vaatia.

YHTEENVETOA

Seuraavan kaltaista yhteenvetoa voidaan tehdä edellisen perusteella.

- Niin kauan kuin robotit eivät korvaa ihmistä rakennusprosessissa, tarvitaan kaiken kattavaa tarkastustoimintaa.
- Idea siitä, että valvotaan itse tekemisiämme, ei toimi ainakaan vielä kaikissa toiminnoissa rakennustekniikassa.
- Teollisessa tuotannossa hyvin suunniteltu on enemmän kuin puoliksi tehty.
- Mikään robotti ei korvanne suunnittelijaa koskaan.

LÄHDEKIRJALLISUUS

[1] Miles J., Conceptual Design - How It Can Be Improved, Structural Engineering International 3, 2005, pp. 122-128

[2] Rakennuslehti No 30/2005

[3] Rakennuslehti No 35/2005

- [4] B7, Teräsrakenteet, Suomen rakentamismääräyskokoelma, Sisäasiainministeriö, 1987
- [5] Tekniikan käsikirja, Viides muutettu ja laajennettu painos, K. J. Gummerus Osakeyhtiön Kirjapaino, Jyväskylä, 1942, Kahdeksas jakso. Rakennuskonstruktioiden statiikka, 5§ Huonerakenteiden kuormitukset, 2. Lisävoimat b) Lumikuorma (Ossi Hannelius)
- [6] Greiner R., Lindner J., Interaction formulae for members subjected to bending and axial compression in EUROCODE 3 – the Method 2 approach, Journal of Constructional Steel Research 62, 2006, s. 757-770
- [7] Kouhia R., Rakenteiden mekaniikkaa metallirakentajille, Luentomoniste, Seinäjoki, 2005
- [8] Kardenstuncer Ed., Finite Element Handbook, 1987, sivu 4.7
- [9] Heinisuo M., Product modelling and requirements of metal curtain walling, in Proc. of IABSE Symposium on Responding to Tomorrow's Challenges in Structural Engineering, September 13-15, Budapest, 2006
- [10] Hyvärinen J., Requirements Representation in IFC Model, Finclad 2 – Report, VTT, Building and Transportation, Espoo, 2005
- [11] Heinisuo M., Terästuotteet rakennusprojektissa, pilottiprojekti, Loppuraportti, TRY, 2003
- [12] prEN 1090, Execution of steel structures and aluminium structures, CEN, April 2005

Markku Heinisuo, Professori

Tampereen teknillinen yliopisto
Seinäjoen yksikkö
Kampusranta 9 C
60320 Seinäjoki, Suomi
E-mail: markku.heinisuo@tut.fi