

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Talonrakennustekniikka

Tutkintotyö

Antti Soikkeli

RAKENTEIDEN PERUSLASKENTA

Työn ohjaaja DI Raimo Koreasalo

Työn teettäjä Insinööritoimisto Pöysälä & Sandberg Oy, valvojana DI Tuomo Tourula

Tampere 2007

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikka

Talonrakennustekniikka

Soikkeli, Antti	Rakenteiden peruslaskenta
Tutkintotyö	56 sivua
Työn ohjaaja	DI Raimo Koreasalo
Työn teettäjä	Insinööritoimisto Pöysälä & Sandberg Oy, valvojana DI Tuomo Tourula
Huhtikuu 2007	
Hakusanat	rakennelaskelmat, prosessiajattelu, suunnitteluprosessi

TIIVISTELMÄ

Tämän tutkintotyön tavoitteena on kehittää Insinööritoimisto Pöysälä & Sandberg Oy:lle laskentaprosessi, jonka tarkoituksena on yhtenäistää ja selkeyttää yrityksessä tehtäviä rakennelaskelmia. Suunniteltavan laskentaprosessin avulla pyritään oikaisemaan laskennan tämän hetkiset puutteet, parantamaan kannattavuutta, nostamaan laatu- ja asiantuntijaimagoa sekä tehostamaan laskentaa.

Laskentaprosessin sisältöä ja muotoa pohdittiin useissa kokouksissa Oulun toimistossa syksyn ja talven 2006–2007 aikana. Lisäksi prosessin eri vaiheiden sisältöä tarkennettiin muutamissa kokouksissa kevään 2007 aikana.

Työn tuloksena saatiin prosessikaavio, jonka vaiheita ja sisältöä noudattamalla suunnittelijoiden tekemistä laskelmista tulee sisällöltään sekä ulkomuodoltaan määräysten mukaisia. Lisäksi saavutetaan yrityksen tavoite laskennan osalta yhdestä yhtenäisestä Pöysälä & Sandbergistä. Saatua prosessikaaviota hyödyntäen toteutusvaiheessa tehdään aineistoa yrityksen toimintajärjestelmään, jonka avulla tuotetaan käyttöönotto- vaiheessa koulutusmateriaalia vaiheittaiseen henkilöstön kouluttamiseen.

TAMPERE POLYTECHNIC

Construction technology

Building construction

Soikkeli, Antti Basic calculation of structures

Engineering Thesis 56 pages

Thesis Supervisor Raimo Koreasalo MSc

Commissioning Consulting Engineers Pöysälä & Sandberg Ltd., Tuomo Tourula MSc

April 2007

Keywords structural calculations, process thinking, design process

ABSTRACT

The main aim of this engineering thesis is to create a design process to Consulting Engineers Pöysälä & Sandberg Limited. The idea is to standardize and clarify structural calculations that are made in the company. With the help of new design process, company tries to solve problems of the day, improve the profit and specialist image and also raise the quality and efficiency of the design process.

The contents and the appearance of the design process were thought over at the office of Oulu in autumn and winter 2006-2007. Also the contents of the process were specified in few meetings during the spring 2007.

The main result of this thesis is a diagram of the design process, which will be used as a guide for designers. By following the process calculations, the contents and the appearance will be as in accordance with regulations. In the next phase the company will prepare material to its operational system by using this thesis as a baseline. After the material is ready, new process will be taught to the designers.

ALKUSANAT

Olen saanut tutkintotyön onnellisesti päätökseen. Työt kehitysprojektin parissa kuitenkin jatkuvat, sillä laskentaprosessista syntynyt materiaali on vietävä yrityksen toimintajärjestelmään. Tämän jälkeen syntyneestä materiaalista tehdään koulutusaineisto, jonka avulla henkilökunta koulutetaan vaiheittain laskentaprosessin käyttöön ottamiseksi. Haluan kiittää projektipäällikkö Tuomo Tourulaa hänen suomastaan ajasta ja asiantuntemuksesta koskien prosessikaaviota ja sen sisältöä. Kiitoksensa ansaitsee myös asiantuntevia kommentteja antanut yksikönjohtaja Reijo Pasma, joka alun perin mahdollisti tämän tutkintotyön aloittamisen. Lisäksi haluan kiittää ohjaavaa opettajaa-ni Raimo Koreasaloa työn ohjauksesta ja valvonnasta Työni loppuunsaattamisessa tärkeää on ollut myös kotoa Jenniltä saamani henkinen ja kieliopillinen tuki, josta haluan häntä kiittää.

Oulussa 24.4.2007

Antti Soikkeli

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO	5
1 JOHDANTO	7
2 NYKYTILANTEEN ANALYSOINTI	9
2.1 Suunnittelijoiden tekemät poikkeamat laskentaohjeesta /5/	9
2.2 Yleiset ongelmat laskennassa /5/	10
2.3 Ongelmat laskentaohjeessa /5/	10
3 TAVOITETILAN MÄÄRITTELY	11
4 PROSESSIN TEORIAA	12
4.1 Prosessin käsitteitä	12
4.2 Archerin suunnitteluprosessi /1, s.95-98/	13
4.3 Harrisonin teknologisen suunnitteluprosessin malli /1, s.95-98/	15
4.4 Harrisonin teknologinen suunnitteluprosessi peruslaskennassa	16
5 RAKENNUKSEN SUUNNITTELIJAT JA SUUNNITELMAT	19
5.1 Suunnittelijaan kohdistuvat vaatimukset	20
5.2 Laskelmiin kohdistuvat vaatimukset	21
5.2.1 Viranomaisille esitettävät laskelmat	22
6 LASKENTAPROSESSI	24
6.1 Lähtötiedot	25
6.1.1 Kohteen kuvaus/tiedot	27
6.1.2 Suunnitteluperusteet	28
6.1.3 Asiakaskuormat	30
6.1.4 Normikuormat	30
6.1.5 Lähtötietokatselmus	31
6.2 Rakennemalli	31
6.2.1 Laskentamenetelmät	33
6.2.2 Kuormat	34
6.2.3 Rakennemalli	34
6.2.4 Rakennemallikatselmus	34
6.3 Siirtymät ja voimasuureet	35
6.3.1 Siirtymät	36
6.3.2 Voimasuureet	37
6.3.3 Siirtymä- ja voimasuurekatselmus	37
6.4 Mitoitus	37
6.4.1 Lähtötiedot	39
6.4.2 Mitoitusmalli	40
6.4.3 Mitoittaminen	41

6.4.4	<i>Tulokset</i>	41
6.4.5	<i>Mitoituskatselmus</i>	42
6.4.6	<i>Toteutus</i>	42
6.4.7	<i>Muutos</i>	42
7	LASKENTAPROSESSIN DOKUMENTOINTI	44
7.1	Laskentaprosessin dokumentoinnin ulkoasu ja sisältö.....	44
7.1.1	<i>Ulkoasu</i>	45
7.1.2	<i>Sisältö</i>	46
7.2	Käsinlaskenta.....	47
7.3	Tietokoneohjelmat.....	47
8	CASE YLIVIESKA	52
9	YHTEENVETO	53
	LÄHDELUETTELO	55

1 JOHDANTO

Tämän tutkintotyön tavoitteena on kehittää rakenteiden peruslaskentaa koskevaa laskentaprosessia Insinööritoimisto Pöysälä & Sandberg Oy:lle. Pöysälä & Sandberg on asiantuntijaorganisaatio, joka tarjoaa asiakkailleen rakennusteknisiä konsulttipalveluja. Oleellinen osa tätä yrityksen palvelutoimintaa on rakennelaskelmien tekeminen. Tutkintotyön aihe sai alkunsa keskusteluissa yksikönjohtaja DI Reijo Pasman kanssa työharjoittelun aikana Pöysälä & Sandbergin Oulun yksikössä kesällä 2006. Tutkintotyö on osa Pöysälä & Sandberg Oy:n laskentatyötä koskevaa kehitysprojektia.

Rakennelaskelmat voidaan jaotella karkeasti kahteen osaan: peruslaskentaan ja erikoislaskentaan. Tässä työssä käsiteltävällä peruslaskennalla tuotetaan tietoa rakennusten ja rakenneosien suunnittelua varten. Normaalisti tätä peruslaskentaa tekevät itsenäisesti suunnittelua tekevät suunnittelijat. Erikoislaskennalla tutkitaan jotakin rakennetta tai ilmiötä tarkemmin ja syvällisempää tiedon soveltamista käyttäen. Se saattaa luoda tietoa myös rakennesuunnittelun tarpeisiin, mutta usein sen tulokset esitetään erilaisten selvitysten ja raporttien muodossa. Yleensä suunnittelijat eivät tee erikoislaskentaa. /6/

Työssä kehitettävän peruslaskennan laskentaprosessin tulee perustua tuleviin euronormeihin ja lisäksi sen tulee olla Pöysälä & Sandberg Oy:n toimintajärjestelmän sekä viranomaisten antamien määräyksien mukainen. Laskentaprosessin myötä syntyy asiakirjoja, joiden laadintaan ja sisältöön vaikuttaa ainakin seuraavat asiat:

- viranomaismääräykset ja -ohjeet
- valvontaviranomaisten ohjeet
- yleiset standardit ja ohjeet
- materiaali- ja tuotekohtaiset suunnitteluohjeet. /3/

Näiden seikkojen huomiointi laskentaprosessin kehittämisessä on erityisen tärkeää.

Tutkintotyö on hyvin ajankohtainen, sillä euronormien ensimmäinen paketti on tarkoitus ottaa käyttöön 1.8.2007, jolloin talonrakennuksen suunnittelussa käytettävät keskeiset euronormiosat on käännetty suomeksi ja niihin liittyvät kansalliset liitteet on vahvistettu. Loput euronormit otetaan käyttöön sitä mukaa, kun niiden käännökset ja kansalliset liitteet valmistuvat. Nyt käytössä olevista kansallisista määräyksistä on tarkoitus luopua 1.4.2010. /9/

Otin tämän tutkintoaiheen työstääkseni sen ajankohtaisuuden takia ja uskon siitä olevan myös hyötyä astuessani valmistumisen myötä työelämään. Näin etukäteen opiskeluaikana euronormeihin sekä peruslaskennan kulkuun syventyminen helpottaa varmasti siirtymää opiskelusta työelämään.

2 NYKYTILANTEEN ANALYSOINTI

Insinööritoimisto Pöysälä & Sandberg Oy:ssä tehtiin Risto Jyrkän toimesta alkuvuodesta 2006 auditointiraportti laskelmien kehitystoimia varten. Raportti oli todettu tarpeelliseksi, koska yhtiön laskennan dokumentoinnissa oli havaittu puutteita ja kyseisellä raportilla pyrittiin löytämään nämä epäkohdat. Raportti perustuu jokaisessa yksikössä toteutettuihin työntekijöiden haastatteluihin.

Jyrkän mukaan haastatteluissa käytiin läpi kunkin yksikön ja yksilön toimintatapoja sekä mielipiteitä laskelmien laatimisesta. Haastatteluissa tehty havainnot tehtiin laskelmaohjeen VA60-SP3 pohjalta huomioiden ko. ohjeen viitoittaman tiedostojen oikea säilytys- ja arkistointitapa. Lisäksi raportissa käytiin läpi havaitut ongelmat toiminnassa sekä itse ohjeessa. /5/

2.1 Suunnittelijoiden tekemät poikkeamat laskentaohjeesta /5/

Raportissa tuli esille, että laskentaohjetta ei aina ollut noudatettu. Työntekijöiden haastatteluissa kävi ilmi, että laskentadokumentiksi jäi usein suunnittelijan ”oma vihko”, jolloin tehdyistä laskelmista ei jäänyt arkistoivaa dokumenttia projektin kansioihin. Suunnittelijan tekemien sähköisten laskelmien sijainti ei aina ollut ohjeen mukainen. Lisäksi laskelmista puuttuivat revisiomerkinnot, jolloin viimeisimmän version tunnistaminen oli vaikeaa. Tehdyistä laskelmista puuttui usein asiakirjanumero. Asiakkaalle toimitetut laskelmat oli kuitenkin numeroitu.

2.2 Yleiset ongelmat laskennassa /5/

Raporttiin kirjattiin ylös havaintoja, jotka eivät ainoastaan olleet ohjeesta tehtyjä poikkeamia, vaan yleisesti laskelmien laatuun ja sisältöön vaikuttavia asioita. Laskentamenetelmää ei aina ollut määritelty. Projekteissa, joissa oli kyseessä esimerkiksi olemassa olevan rakennuksen jatkaminen, laskelmia ei aina ollut päivitetty. Betonirakenteissa käyttörajatilan tarkastelut jäivät joskus tekemättä. Epäselvää oli, kuinka dokumentoidaan tai todennetaan esimerkiksi kiinnityslevyn valinta, joka tehdään suoraan taulukosta. Lisäksi havaittiin, että jo olemassa olevia suunnitteluohjeita ei käytetä riittävästi hyväksi. Tiedonkulkua projektissa ei varmisteta tarpeeksi, vaikka se on tärkeää tilanteissa, joissa projektin organisaatio alati elää ja muuttuu.

2.3 Ongelmat laskentaohjeessa /5/

Raporttia tehdessään Jyrkkä havaitsi ongelmia ja päivittämisen tarpeessa olevia kohtia itse laskentaohjeessa. Sisältövaatimus oli havaittu hyväksi, mutta se, miten tulisi toimia, kun projekti on ainoastaan esimerkiksi yksittäisen rakenneosan tarkastelu, näytti olevan epäselvää. Ongelmaksi havaittiin, että ohjeessa ei ole otettu kantaa laskelmien päiväyksiin, muutoksiin ja revisiointeihin. Tietokonelaskennan tulosteet tulisi määrittellä selkeämmin, jotta vältetään turhalta paperitulosteelta. Laskelmien sisältö arkistointivaiheessa tulisi määrittellä tarkemmin. Tietokoneohjelmien ohjeet on päivitettävä nykytasoa vastaaviksi. Lisäksi laskelmien tarkastamiseen ja hyväksymiseen tulisi kiinnittää entistä enemmän huomiota, sillä nykyisin niillä ei ole laskentaprosessissa juurikaan painoarvoa.

3 TAVOITETILAN MÄÄRITTELY

Kehitysprojektin projektipäällikkö DI Tuomo Tourula on asettanut projektin tavoitteeksi luoda peruslaskennalle toimintamalli, joka ohjaa ja yhtenäistää peruslaskentaa Pöysälä & Sandberg Oy:ssä. Lisäksi Tourula tarkensi asettamaansa tavoitetta jakamalla sen kolmeen osatavoitteeseen: liiketoiminnalliseen, määrälliseen sekä toiminnalliseen ja laadulliseen tavoitteeseen.

Liiketoiminnallisissa tavoitteissa, joissa huomioidaan strategiset tavoitteet, tarkoituksena on luoda investointirakentamisen peruslaskennan toimintamalli, jota organisaatio voi hyödyntää tulevaisuuden projekteissa. Lisäksi tavoitteeksi on asetettu, laatu- sekä asiantuntijajaimagon parantuminen syntyvän laskentaprosessin noudattamisen myötä. /6/

Määrällisissä tavoitteissa on tavoitteena prosessin kehittyminen siten, että sillä saadaan parempi kannattavuus, muun muassa laskelmien luomiseen ja käsittelyyn kuluvan ajan vähentymisen myötä. Lisäksi määrällisissä tavoitteissa on asetettu sopimuksen mukaisen työn laajuuden ja hallinnan parempi ymmärtäminen tulevaisuudessa yhdeksi tavoitteeksi. /6/

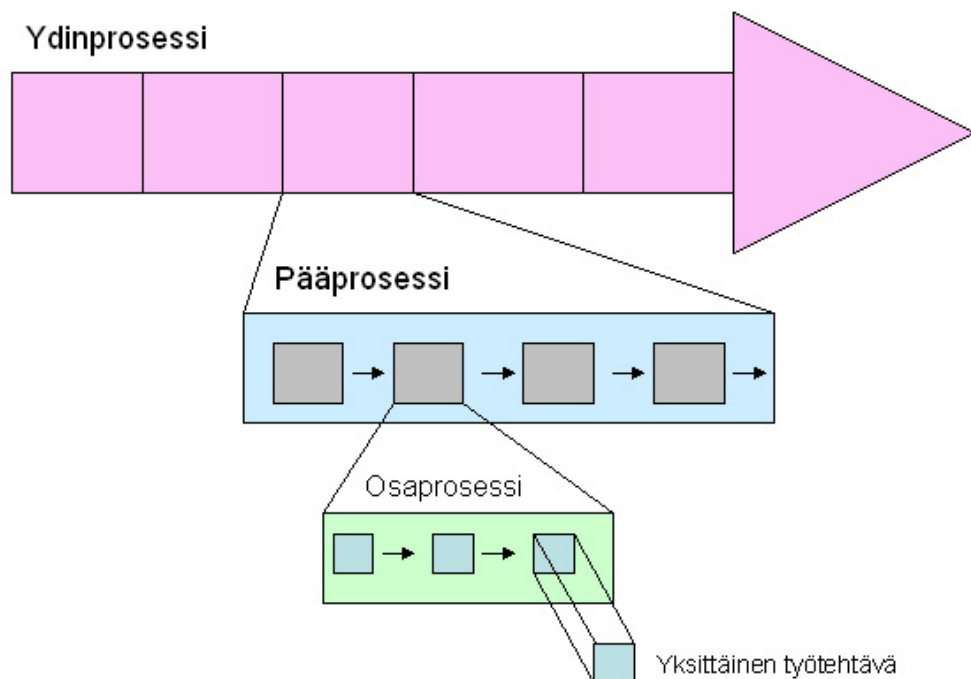
Toiminnallisissa ja laadullisissa tavoitteissa, joissa huomioidaan toiminnan tehostuminen, paraneminen sekä laatu, on asetettu tavoitteeksi peruslaskennan laskentaprosessin kuvaus kaaviolla tai jollain muulla havainnollistavalla tavalla. Toiminnallisiksi ja laadullisiksi tavoitteiksi on asetettu myös laskelmien laadinnan varmentaminen eli laskelmien dokumentointi, laskelmien tarkastamis- ja todentamismenetelmien kehittäminen sekä laskelmien käsittelyprosessin luominen mukaan lukien arkistointi ja lopputoimitus. Lisäksi tavoitteiksi on asetettu rajapinnan määrittäminen erikoislaskentaan nähden, mahdollisten poikkeavuuksien huomiointi julkisen rakentamisen toimintamalliin ja laadun parantaminen ja tätä kautta virheiden vähentäminen. /6/

4 PROSESSIN TEORIAA

Yleisesti ottaen prosessin voidaan ajatella olevan toisiinsa liittyvien tapahtumien ketju, jolla on ennakolta suunniteltu alku ja loppu. Prosessina voidaan hoitaa esimerkiksi tietyn ongelman ratkaisemiseen tähtäävä kehittämishanke, kuten esimerkiksi tämän tutkintotyön tehtävänä on kehittää laskentatyötä ja ratkaista sitä koskevat ongelmat laskentaprosessin avulla. Prosessin seurauksena saadaan lopputulos, joka on muuttunut asiointila. /16/

4.1 Prosessin käsitteitä

Jotta prosessia olisi helpompi käsitellä, voidaan se pilkkoa pienempiin osiin (kuva 1). Käkelän (2005) ja Tuuralan (2006) mukaan prosessi voidaan jakaa *ydinprosessiin*, *pääprosessiin*, *osaprossettiin* sekä *yksittäiseen työtehtävään*. Seuraavassa tarkastellaan tarkemmin edellä mainittuja prosessin osia Tuuralan määritelmien mukaan.



Kuva 1. Prosessin jakaminen pienempiin palasiin /12/

Ydinprosessit ovat yrityksen ulkoista asiakasta palvelevia ja tälle arvoa tuottavia prosesseja. Tuotantotaloudessa ydinprosessit ovat tuotteen valmistukseen välittömästi kuuluvia toimintoja, kun taas palveluyksikön ydinprosessi on asiakkaan palveleminen. /16/ Insinööritoimisto Pöysälä & Sandberg Oy:n ydinprosessina on rakennusalan asiantuntijapalveluiden tuottaminen ja tarjoaminen asiakkaille eri toimialoilta.

Pääprosessit ovat systeemin laajimpia sisäisiä prosesseja, joita voidaan myös kutsua vuorovaikutusprosesseiksi. Usein yrityksissä pääprosessilla on joko sisäinen tai ulkoinen asiakas. Pääprosessin käsitettä voidaan käyttää myös yritysmaailman ulkopuolella, esimerkiksi ihmisen elintoimintojen pääprosesseja ovat muun muassa hengitys ja verenkierto. /16/ Tässä tutkintotyössä kehitettävä laskentaprosessi on yksi pääprosessi, jonka tarkoituksena on tyydyttää asiakkaan tarve rakennuksen tai rakenteen mitoittamiseen.

Osaprosessi on erilaisista työvaiheista koostuva prosessin osa /16/. Laskentaprosessin osaprosesseja ovat muun muassa lähtötietojen hankkiminen, rakenteen mallintaminen, siirtymien ja voimasuureiden laskenta sekä rakenteen mitoittaminen.

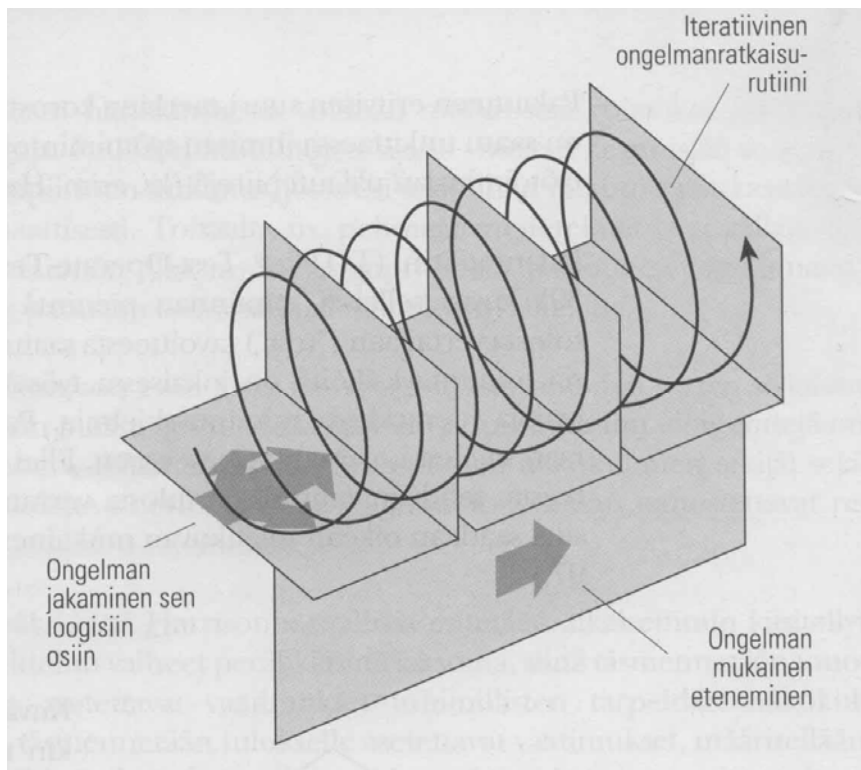
Työvaihe on prosessin pienin, jakamaton osa /16/. Laskentaprosessin yksittäisiä työvaiheita ovat esimerkiksi rakennemallin tekeminen, voimasuureiden määrittäminen, mitoitusmallin hahmottaminen ja rakenneosan mitoittaminen.

4.2 Archerin suunnitteluprosessi /1, s.95-98/

Bruce Archer (1969) oli suunnittelutyön ensimmäisiä asiantuntijoita, joka yritti aikaisempaa paremmin hahmottaa suunnittelutyön todellisuutta. Archerin näkemyksen mukaan suunnitteluprosessi voidaan koota seuraavista kolmesta pääkomponentista:

- Suunnittelun tulee edetä ajallisesti läpi projektin (esimerkiksi työvaiheiden peräkkäinen ja ajallinen järjestys).
- Ongelma tulee jakaa loogisiin osiin (esimerkiksi työjärjestyksen systemaattiset ja sisällölliset aiheet).
- Suunnittelu etenee sekä jaksollisen että syklisen etenemisen kautta (iteratiivinen eli jakso jaksolta etenevä toteutus).

Kuvan 2 avulla Archer on pyrkinyt havainnollistamaan suunnitteluprosessi tapahtumaa ja kuvaamaan kolmen pääkomponentin periaatetta.



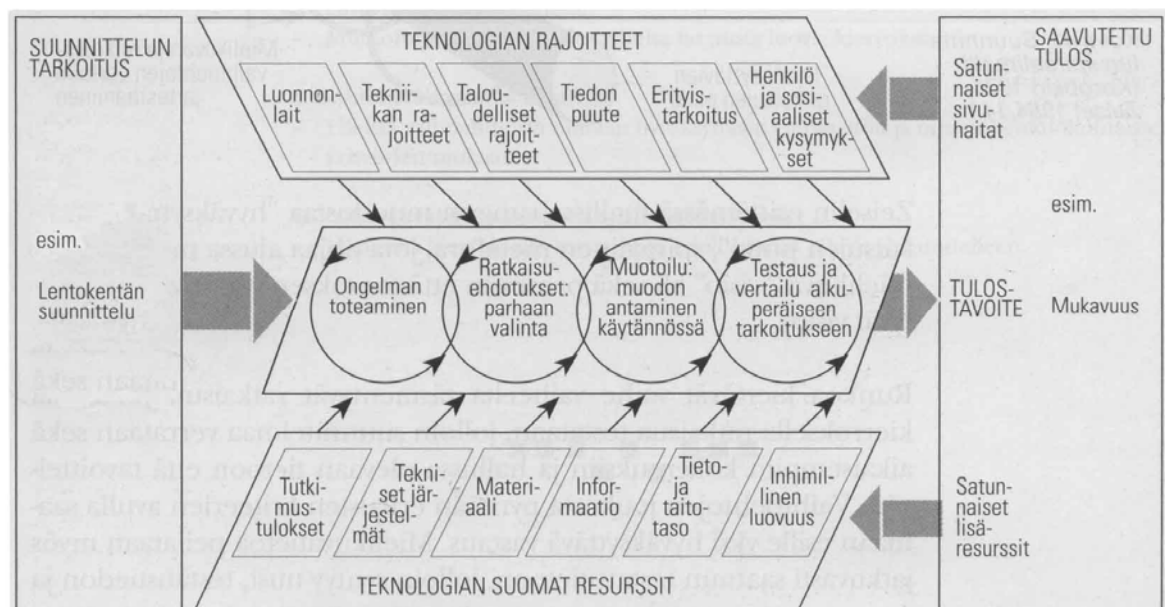
Kuva 2. Suunnitteluprosessi Archerin mukaan. /5/

Keskeisiä kysymyksiä suunnittelutyön etenemisen suhteen eri vaiheiden välillä ovat Archerin mukaan sen iteratiivisuus eli kierros kierrokselta eteneminen ja takaisinkytkennät eli feedback. Iteratiivinen prosessi tarkoittaa samantyyppistä suunnitteluvaiheiden suorittamista yhä uudelleen samalla kun lähestytään ongelman tai tehtävän hyväksyttävää ratkaisua likiarvosta toiseen.

Palautteen käsittely on aina osa suunnittelun iteratiivisuutta ja sen avulla suunnittelu-prosessi liittyy todellisuuteen. Palautetta ja siihen liittyvän arvioinnin osuutta lisäämäl-lä voidaan suunnitteluprosessissa tapahtuvien kierroksien lukumäärää vähentää, jolloin prosessin kokonaiskesto lyhenee. Mikäli palaute jätetään kokonaan huomiotta, joudu-taan helposti yritys-erehdys-tilanteeseen, jossa jotakin vaihetta tehdään uudelleen ja uudelleen oppimatta mitään uutta.

4.3 Harrisonin teknologisen suunnitteluprosessin malli /1, s. 95-98/

Vuonna 1982 G. B. Harrison esitteli teknologista suunnittelua varten uuden prosessi-mallin. Mallissaan Harrison täydensi silloin tunnettuja suunnittelun elementtejä lisää-mällä niihin inhimillisen näkökulman tekijät sekä muina ulkopuolelta tulevana toimin-taan liittyvinä tekijöinä panostettavat resurssit ja niiden tuomat rajoitukset.



Kuva 3. Teknologisen suunnitteluprosessin malli mukaillen Harrisonia (1982).

Mallissaan Harrison esittää aikaisemmin tunnetut suunnitteluprosessin vaiheet perä-käisinä jaksoina mallinsa keskellä (kuva 3). Inhimillisten tarpeiden näkökulmasta suunnittelulle ja tulokselle asetettavat vaatimukset täsmennetään mallissa uudella ta-

valla mallin lopussa (kuva 3). Lisäksi mallissa määritellään käytettävissä olevat resurssit ja niiden rajoitukset, jotka on sijoitettu aikaisemmin tunnettujen suunnitteluprosessi vaiheiden ala- ja yläpuolelle (kuva 3). Harrison mielestä erityisen tärkeää on prosessin toiminta niin, että sekä lähtökohtana että päämääränä olisi toiminnan parantuminen.

Harrisonin mallissa yksityiskohdat ovat realistisempia kuin aikaisemmin, esimerkiksi Archerin suunnitteluprosessi malliin verrattuna. Harrisonin prosessin vaiheet ovat asetuneet osittain toistensa päälle, mikä suuntaa ajatuksen jonkinlaiseen iteratiivisuuteen eli samanaikaisten ja peräkkäisten suunnittelusyklien toistumiseen. Resurssien ja niiden rajoitusten realistinen analysointi on johtanut siihen, että mallin ajatukset ovat sovellettavissa lähes kaikenlaiseen suunnitteluun huolimatta siitä, että malli on alkujaan tarkoitettu teollisen toiminnan suunnitteluun.

4.4 Harrisonin teknologinen suunnitteluprosessi peruslaskennassa

Teknologisen suunnitteluprosessin malli (kuva 3) on hyvä pohja tässä tutkintotyössä kehitettävälle laskentaprosessille, sillä Harrison on huomioinut mallissaan hyvin laskentaprosessiin liittyvät yksityiskohdat.

Suunnittelu- tai laskentaprosessin alussa määritellään suunnittelun tarkoitus, joka voi olla vaikka lentokentän suunnittelu, säiliöperustuksen tai teollisuushallin rakenteiden mitoittaminen. Tämän jälkeen prosessi lähtee loogisesti etenemään polkua, joka myötäilee seuraavia vaiheita (kuva 3):

- suunnittelun ongelman toteaminen
- saaduista ratkaisuehdotuksista parhaan valinta
- kohteen lopullisen muodon ja rakenteen toteuttaminen
- testaus ja vertailu alkuperäistarkoitukseen sopivaksi.

Prosessin edetessä tulee huomioida myös teknologian sanelemat rajoitteet ja sen suomat resurssit. Teknologia on asettanut seuraavanlaisia rajoitteita suunnitteluprosessille (kuva 3):

- luonnonlait
- tekniikan rajoitteet
- taloudelliset rajoitteet
- tiedon puute
- erityistarkoitus
- henkilö- ja sosiaaliset kysymykset.

Harrisonin suunnitteluprosessiin asettamat teknologian rajoitteet toteutuvat myös laskentaprosessissa hyvin samalla tavalla. Luonnonlait asettavat erilaisia rajoitteita esimerkiksi rakennusosien mitoille ja kestävyydelle. Tekniikka asettaa vielä joitain rajoitteita esimerkiksi laskentaprosessissa olevalle rakenteen muodolle, vaikka nykyään saadaan toteutettua mitä monimuotoisimpia rakennelmia. Taloudelliset rajoitteet laskentaprosessiin asettaa yleensä tilaaja, joka haluaa prosessin toteutuvan tiettyjen taloudellisten rajojen puitteissa.

Laskentaprosessi voi sen etenemisen aikana pysähtyä tiedon puutteen takia. Näitä vaihteita saattaa olla esimerkiksi lähtötietojen tai kuormitustietojen puuttuminen. Suunniteltavalla kohteella voi olla jokin erityistarkoitus, jolloin sen suunnitteluun ja mitoittamiseen tarvitaan suunnittelija, jolla on tarvittava pätevyys erityisrakenteen suunnitteluun. Henkilö- ja sosiaaliset kysymykset tulee ottaa huomioon, koska laskentaprosessi on kuitenkin useimmiten pienimuotoista ryhmä- tai tiimityöskentelyä.

Teknologia on kuitenkin tuonut mukanaan myös seuraavanlaisia resursseja (kuva 3):

- tutkimustulokset
- tekniset järjestelmät
- materiaalit
- informaatio

- tieto- ja taitotaso
- inhimillinen luovuus.

Harrisonin esittämät teknologian resurssit näyttäytyvät myös laskentaprosessissa samankaltaisina. Tutkimustulosten perusteella tiedetään esimerkiksi erilaisten rakennusosien kapasiteetteja tai voidaan arvioida rakenteiden rakennusfysikaalista toimintaa. Teknisien järjestelmien avulla voidaan esimerkiksi mallintaa ja mitoittaa rakenteita. Tämä on nopeuttanut prosessin etenemistä ja ohjelmien avulla kyetään havaitsemaan uudenlaisia ongelmia teknologian koko ajan kehittyessä. Materiaalien mukana on tullut uusia mahdollisuuksia rakenteiden erilaisiin toteuttamismuotoihin.

Informaation kulku on suunnitteluprosessissa hyvin tärkeä asia, sillä samaa projektia saattaa nykyaikana suunnitella useita eri suunnittelijoita eri toimistoissa. Hyvä informaation kulku auttaa suunnittelijoiden keskinäistä kommunikointia ja parantaa näin suunnittelun etenemistä. Suunnittelijoiden tieto- ja taitotaso ovat tärkeässä osassa prosessin etenemisen kannalta. Inhimillinen luovuus nousee tärkeään osaan, kun prosessissa käsitellään uudenlaista rakennetta tai suunnittelun ratkaisu vaatii uudenlaisen näkökulman, johon pitää keksiä uudentyyppinen luova ratkaisu.

5 RAKENNUKSEN SUUNNITTELIJAT JA SUUNNITELMAT

Viranomaiset antavat erilaisia määräyksiä ja ohjeita rakennuksien suunnittelijoiden ja suunnitelmien kelpoisuudesta. Suomen rakennusmääräyskokoelma määrittelee osassa A2 suunnittelijoita koskevia pätevyysvaatimuksia. Lisäksi osissa B4 (betoni), B7 (teräs) ja B10 (puu) annetaan erityyppisille materiaaleille lisävaatimuksia. Näissä osioissa annetaan myös vaatimuksia laskelmien ja piirustusten oikeaoppiselle sisällölle, jotta ne voidaan luokitella asianmukaisiksi asiakirjoiksi. Myös Suomen Rakennusinsinöörien Liiton (RIL ry) toimesta on tehty Rakennesuunnittelun asiakirjaohje (RIL 229-1-2006), joka ei varsinaisesti anna määräyksiä vaan ohjeita asiakirjojen oikeanlaiseen toteuttamiseen.

Suunnittelutehtävät jaetaan seuraavien suunnitteluosapuolien kesken:

- pääsuunnittelija
- arkkitehti (rakennussuunnittelu)
- rakennesuunnittelija
- pohjarakennesuunnittelija
- talotekniset suunnittelijat (lämpö-, vesi-, ilmastointi-, sähkö-, tele- ja automaatio-suunnittelija)
- muut erityissuunnittelijat (esimerkiksi palo- ja äänitekniinen suunnittelija). /3/

Pääsuunnittelijan tehtävänä on huolehtia rakennushankkeen suunnitelmien riittävästä laadusta ja laajuudesta niin, että suunnitelmilla voidaan osoittaa rakentamiselle asetettujen vaatimusten täyttyminen. /4/ Jokaisen suunnittelijan tulee laatia rakentamista varten tarvittavat vastuullaan olevat suunnitelmat niin, että niillä voidaan osoittaa suunnittelulle ja rakentamiselle asetettujen vaatimusten täyttyminen. Lisäksi erikoisalan kokonaisuudesta vastaavan suunnittelijan (vastaava erityissuunnittelija) on oman suunnittelutehtävänsä lisäksi huolehdittava siitä, että erillistehtävinä laaditut rakenteiden, ra-

kennusosien tai järjestelmien suunnitelmat muodostavat keskenään toimivan kokonaisuuden. /4/

5.1 Suunnittelijaan kohdistuvat vaatimukset

Suunnittelijan pätevyys muodostuu sekä koulutuksesta että kokemuksesta. Suunnittelijalta vaadittava hankekohtainen kelpoisuus määräytyy A2:n mukaan riittävästä pätevydestä suhteessa suunnittelutehtävän vaativuuteen. /3/ Tarkemmat vaatimukset koulutuksen ja työkokemuksen suhteen määritellään tarkemmin A2:n luvussa 4.2.4.

A2 määrittelee rakennuskohteelle eri vaativuusluokat AA (erityisvaatimustaso), A (perusvaatimustaso), B (pienehkö tai tavanomainen vaatimustaso) ja C (vähäinen vaatimustaso). Rakennesuunnittelua saa suorittaa ainoastaan suunnittelija, jolla on suunniteltavan kohteen vaatimusluokan mukainen A2:n määrittelemä pätevyys tai joka toimii vaadittavan pätevyyden omaavan suunnittelijan ohjauksessa ja valvonnassa. Viranomaiset arvioivat kaikissa kohteissa ainakin vastaavan rakennesuunnittelijan pätevyyttä ja kelpoisuutta suoriutua rakennesuunnittelutehtävästä. Lisäksi kohteen rakenteita suunnitelleet rakennesuunnittelijat ja heidän pätevyytensä kirjataan ylös kohteen suunnitteluasiakirjoihin. /3/

Suunnittelijan pätevyyden arviointia varten on alalle kehitetty vapaaehtoinen ja puolueeton pätevyyden arviointijärjestelmä FISE ry:n toimesta, joka helpottaa suunnittelijan pätevyyden ja projektikohtaisen kelpoisuuden arvioinnissa sekä tilaajaa valitsemaan kohteelle sopivat suunnittelijat. /3/

5.2 Laskelmiin kohdistuvat vaatimukset

Kohteesta tehtävät rakennelaskelmat ovat oleellinen osa suunnittelua ja ne tulee tehdä kohdetta koskevien määräysten, lakien ja ohjeiden vaatimassa laajuudessa sekä niiden määrittelemällä tavalla. Laskelmilla pyritään varmistamaan rakenteiden murto- ja käyttörajatilan varmuus. Myös rakennetekniselle toimivuudelle asetetut tavoitteet ja vaatimukset tulee laskelmissa täyttyä. Erityistä huomiota tulee kiinnittää laskelmien selkeyteen, jotta esimerkiksi laskelmien ulkopuolinen tarkastus voidaan tarvittaessa helposti suorittaa. /3/

Laskelmilla on pystyttävä osoittamaan, että suunnittelutyö on ollut johdonmukaista ja hyväksyttävää ja että rakenne täyttää sille asetetut vaatimukset. Laskelmien dokumentointi on erityisen tärkeää, sillä myöhemmin tilojen käyttötarkoitus voi muuttua tai kun tehdään rakenteen korjausrakennesuunnitelmia. /3/

Viranomaiset ovat antaneet erilaisia määräyksiä ja ohjeita koskien laskelmien sisältöä ja ulkoasua. Näitä kaikkia määräyksiä ja ohjeita tulee noudattaa tehtäessä laskelmia. Huomiota tulee kiinnittää erityisesti rakennuksen turvallisuuden kannalta kriittisiin rakennusosien ja liitosten laskentaan. Nämä kriittiset laskelmat on myös erotettava ja tuotava selkeästi esille muista laskelmista. /3/

Laskelmien päällekkäisyyksien välttämiseksi ja eri rakennesuunnittelijoiden vastuualueiden tiedostamiseksi on hyvä määritellä tehtävät, jotka kuuluvat päärakennesuunnittelijalle ja tuotesasuunnittelijalle. Päärakennesuunnittelija vastaa seuraavista laskelmista:

- kuormituslaskelmat
- rakennuksen stabiiliteettilaskelmat
- rakenneosien mitoituslaskelmat (käyttö-, murto-, onnettomuusrajatila ja palomitoituslaskelmat)

- rakennusfysikaaliset laskelmat (ääni-, lämpö- ja kosteustekniset laskennan perustehtävät)
- tuoteosasuunnittelijan tai urakoitsijan laskelmien tarkistaminen rakenteellisen kokonaisuuden kannalta. /3/

Kohteen laajuudesta riippuen seuraavat lisätehtävät ovat myös:

- elinkaarilaskelmat (käyttöikä)
- rakennusfysikaaliset laskelmat (laajat laskelmat)
- laajat palotilanteen laskelmat
- tuoteosasuunnittelijan laskelmien yksityiskohtainen tarkistus. /3/

Tuoteosasuunnittelijan tulee laskelmissaan noudattaa kaikkia päärakennesuunnittelijan laskelmia koskevia periaatteita ja ohjeita. Lähtötiedot tuoteosasuunnittelija saa päärakennesuunnittelijalta, joka myös tarkastaa laskelmat rakenteellisen kokonaisuuden kannalta. /3/

5.2.1 Viranomaisille esitettävät laskelmat

Viranomaisille, jotka tarkastavat rakennelaskelmat, laskelmat tulee esittää heidän vaatimassa laajuudessa. Tehdyissä laskelmissa on esitettävä kuormitus-, stabiiliteetti- ja mitoituslaskelmat. Näistä laskelmista tulee selkeästi käydä ilmi rakennejärjestelmä, laskentamenetelmät, laskelmien tulokset ja kattavuus. Viranomaisille ei tule yleensä esittää laajoja tulostuksia. Mikäli laskelmissa kuitenkin käytetään tavanomaisuudesta poikkeavaa rakennejärjestelmää, viranomaiset voivat vaatia esitettäväksi selvityksen rakenteen toiminnasta. Lisäksi vaativissa kohteissa viranomainen voi vaatia, että laskelmien tarkastuksen suorittaa ulkopuolinen tarkastaja. /3/

Laskelmilla, jotka tehdään tietokoneella, voidaan vaatia erityinen selvitys siinä käytetystä laskentateoriasta, laskentatarkkuudesta ja ohjelman sopivuudesta kyseisen las-

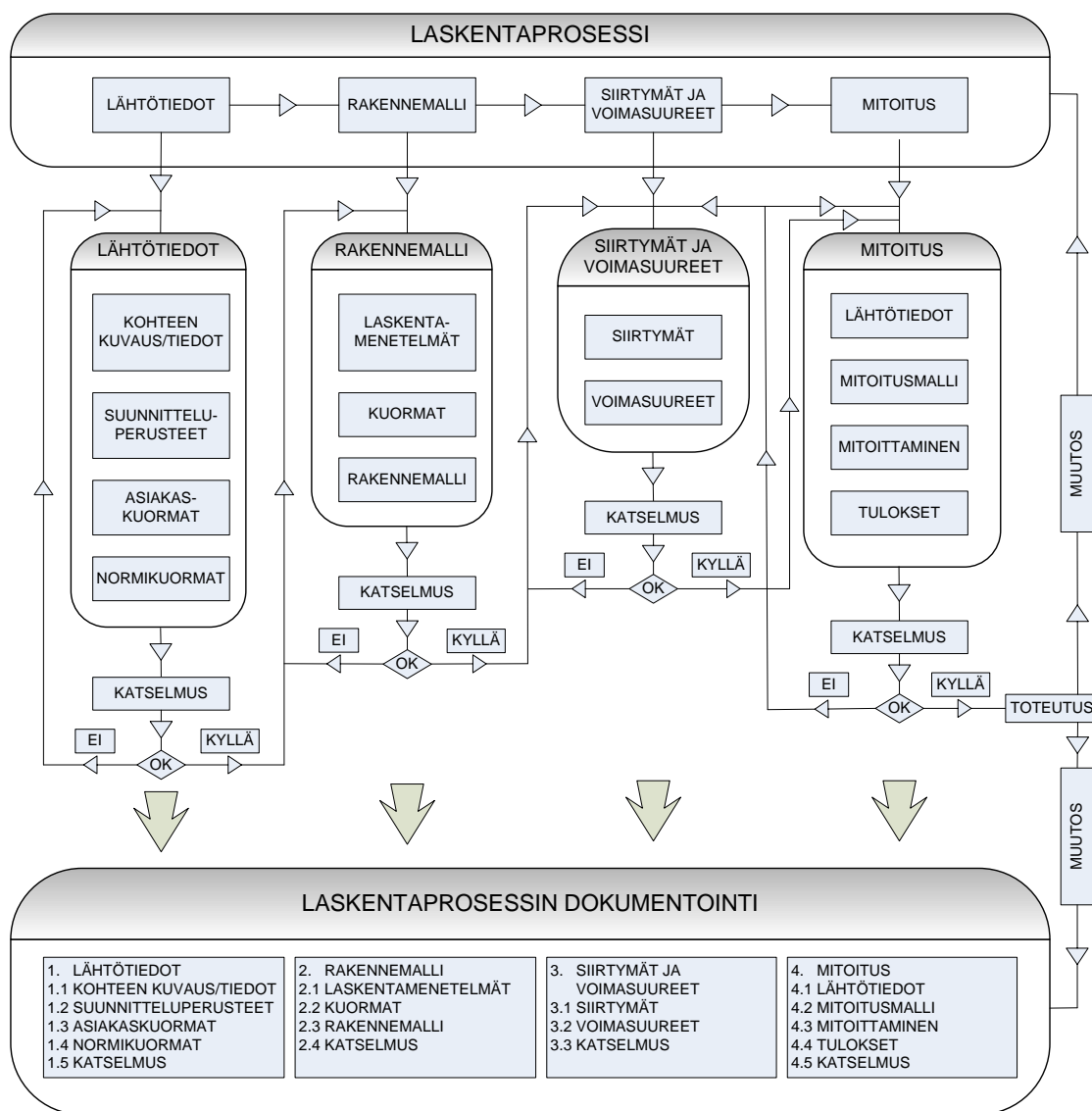
kentatehtävän suorittamiseen. Viranomaiset suosittelevat, että käytettäisiin graafista esitystapaa, jotta saataisiin vähennettyä tulostusmateriaalia ja selkeytettyä tuloksia.

Viranomaiset edellyttävät, että kaikki suunnitteluasiakirjat ovat selkeitä ja käyttötarkoitukseen sopivia. Suunnittelun edetessä tulee suunnittelun ja asiakirjojen tietosisällön määrän ja tiedon tarkkuus kasvaa. Seuraaviin asioihin tulee kiinnittää erityisesti huomiota:

- tarvittavat tiedot käyvät yksiselitteisesti ilmi asiakirjoista
- asiakirjat eivät sisällä turhaa tietoa, eivätkä ole ristiriitaisia
- asiakirjat vastaavat sisällöltään ja tarkkuudeltaan rakennusprosessin ko. vaiheen ja tiedon käyttäjien tarpeita ja vaatimuksia
- asiakirjat on tulostettu ko. tarvetta varten käyttökelpoiseen kokoon
- asiakirjat on tarkastettu ja hyväksytty sovitun menettelyn mukaisesti. /3/

6 LASKENTAPROSESSI

Laskennan kulkua lähdettiin arvioimaan ja kehittämään prosessiteorian periaatteita hyväksikäyttäen. Tämän johdosta tutkintotyön ensimmäisten vaiheiden tavoitteena oli luoda karkea kaavio laskennanprosessista, jota sitten hiottiin lopulliseen muotoonsa työn edistyessä (kuva 4).



Kuva 4. Laskentaprosessikaavio

Laskentaprosessin kehittäminen tapahtui useissa Oulun toimistossa käydyissä kokouksissa. Näihin kokouksiin osallistuivat tutkintotyöntekijän ohella yksikönjohtaja Reijo Pasma ja kehitysprojektin projektipäällikkö Tuomo Tourula. Lisäksi keskusteluja käytiin sähköpostitse, ja ideoita saatiin myös Tielaitoksen tekemästä Siltojen rakennelaskelmat - julkaisusta. Laskentaprosessin pää- ja osaprosessien hahmottumisen myötä alettiin kiinnittää huomiota yksityiskohtiin, jotka eivät itse kaaviossa näy, vaan jotka huomioidaan ainoastaan laskentaprosessin dokumentointi vaiheessa. Pääprosessina toimiva laskentaprosessi koostuu seuraavasta viidestä osaprosessista:

- lähtötiedot
- rakennemalli
- siirtymät ja voimasuureet
- mitoitus
- laskentaprosessin dokumentointi.

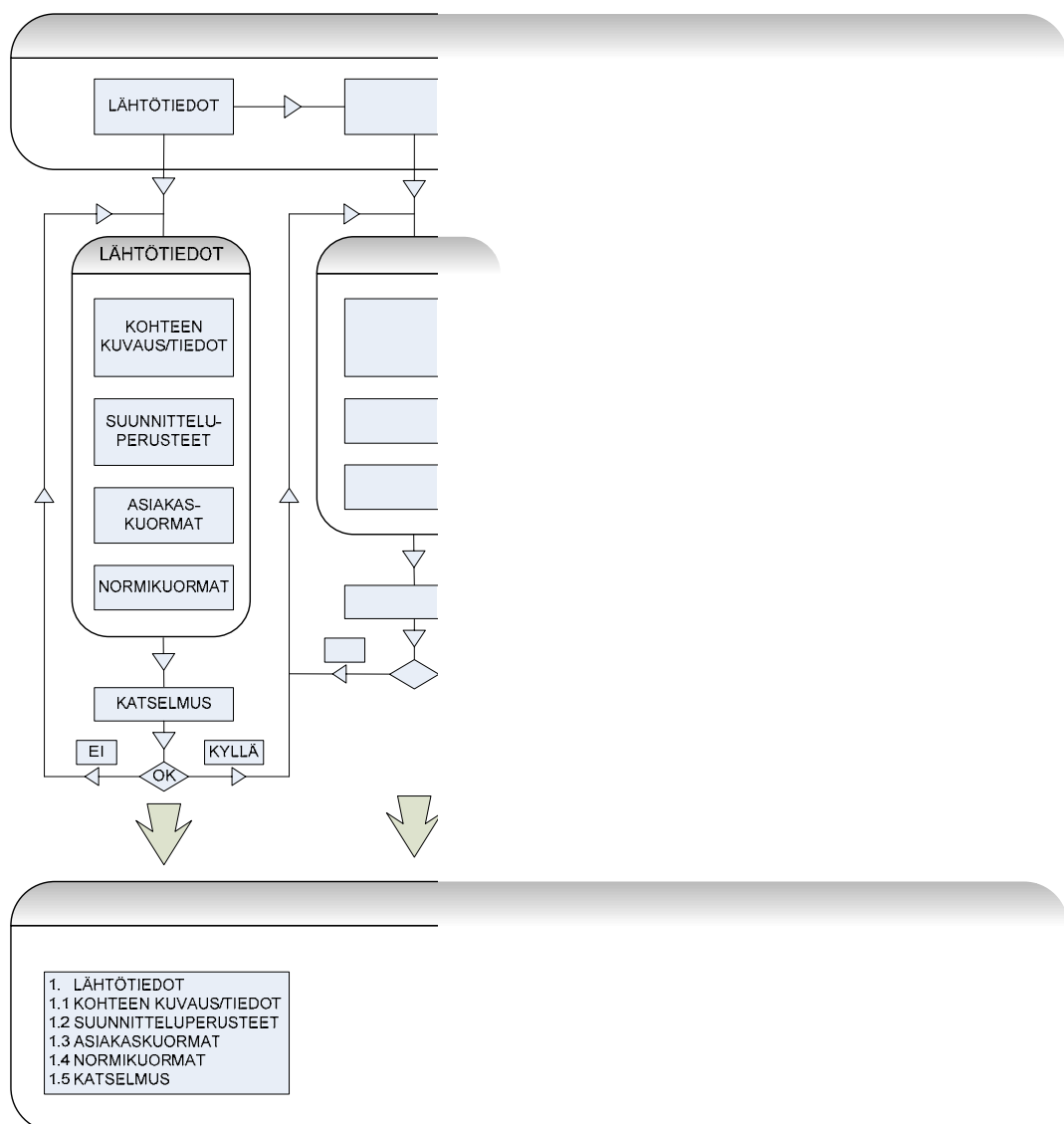
Jokaisen osaprosessin lopuksi suoritetaan katselmus, jonka tarkoituksena on tarkastaa osaprosessin aikana tehdyt työtehtävät. Katselmuksissa joko hylätään tai hyväksytään osaprosessin työtehtävät. Hylätyt työtehtävät palaavat takaisin saman osaprosessin alkuun, kun taas hyväksytyt työtehtävät johtavat seuraavaan osaprosessiin. Kun osaprosessi on kokonaisuudessaan hyväksytty, tulee viimeistään siinä vaiheessa työtehtävät dokumentoida. Dokumentointi tapahtuu projektikansioon, jonka tulee täyttyä asiakirjoista sitä mukaa, kun laskentaprosessi etenee.

6.1 Lähtötiedot

Lähtötiedot-osaprosessin tarkoituksena on ennen rakenteen mallintamisen aloittamista ja laskelmien tekemistä kerätä yhteen kaikki näihin tehtäviin tarvittava tieto. Tämä mahdollistaa laskentaprosessin myöhemmän sujuvan etenemisen. Usein käy kuitenkin niin, että tietoja ei saada heti laskentaprosessin alussa vaan niitä saadaan tiputellen

prosessin edetessä. Lähtötiedot-osaprosessi ei toimi yksinään erillisenä osaprosessina, sillä yleensä se on hyvin vahvasti linkittynyt muihin osaprosesseihin.

Lähtötiedot-osaprosessi koostuu kuvasta 5 nähtävistä neljästä työtehtävästä, jotka ovat *kohteen kuvaus/tiedot*, *suunnitteluperusteet*, *asiakaskuormat* ja *normikuormat*. Työtehtävät esitellään tarkemmin erillisissä alaotsikoissa. Lisäksi osaprosessin aikana syntyvien asiakirjojen dokumentointiperiaate on esitetty prosessikaavion alaosassa. Dokumentointi esitellään myöhemmin omana kokonaisuutena luvussa 7.



Kuva 5. Lähtötiedot-osaprosessi ja siihen liittyvä dokumentointi osio.

6.1.1 Kohteen kuvaus/tiedot

Kohteen käyttäjästä, sijainnista, käyttötarkoituksesta, rakennuspaikasta ja rakenteesta tulee tehdä lyhyt kuvaus, jossa tuodaan esille kaikki ne asiat joilla on merkitystä kohteen rakennus- ja rakennesuunnittelulle.

Käyttäjän kuvauksessa tulee kertoa kohteen käyttöön ottavan yrityksen nimi sekä minkälaiseen tarkoitukseen se tulee kohdetta käyttämään. Sijainnin selvittämisestä tulee käydä ilmi missä ja minkälaisessa ympäristössä kohde sijaitsee sekä minkälainen sen positio on tärkeisiin luonnontekijöihin verrattuna, esimerkiksi merenpinnan ja kohteen korkeusero. Rakennuspaikasta tulee selvittää rakennettavan maapohjan ominaisuudet ja minkälaiset ovat rakennettavan ympäristön maasto-olosuhteet.

Käyttötarkoituksen kuvauksessa tulee selvittää kohteessa tapahtuva tuotanto- ja toimintaprosessi. Tuotantoprosessin esittelyssä tulee selvittää liittyvät rakenteet, prosessin sisältämät laitteet, koneet ja nosturit sekä minkälaisia materiaaleja prosessi tuottaa tai muokkaa. Toimintaprosessin esittelyssä tulee kuvata kohteessa tapahtuvan toiminnan laatu, joka tarkoittaa esimerkiksi kokoontumistilojen mukanaan tuomia kohteen käyttöön liittyviä erityisvaatimuksia poistumisteille. Liittyvillä rakenteilla tarkoitetaan esimerkiksi porras- ja hissitorneja sekä erillisiä rakennelmia, kuten ilmastointikonetiloja. Lisäksi koneista, laitteista ja nostureista tulee kertoa niiden kapasiteetit sekä minkälaisilla kuormituksilla ne rasittavat tulevia rakenteita. Myös laitteista, koneista ja nostureista johtuvat dynaamiset kuormitukset tulee selvittää.

Rakenteesta tehtävän kuvauksen tulee olla eräänlainen rakenneselostus, jossa käydään läpi ainakin kohteen mitat, kohteessa käytettävät materiaalit, suunnittelussa käytetyt profiilit, rakenteen tärkeät korot ja tasot, kohteen jäykistys sekä minkälaisia rakennetyyppejä kohteessa käytetään. Mitoista tulee kertoa rakennuksen korkeus, rakenteissa esiintyvät jännevälit, kohteen pinta-alat sekä tilavuudet. Kohteen korkeus on erityisen

tärkeä, jotta voidaan myöhemmin määritellä siihen vaikuttavat tuulikuormat. Materiaalit tulee esitellä siten, että samalla käy ilmi materiaalin käyttökohde, esimerkiksi siten, että terästä käytetään rungossa ja teräsbetonia perustuksissa. Mikäli on tiedossa kohteessa käytettävät profiilit, tulee ne kertoa rakenneosittain. Rakenteessa ja suunnittelussa käytettävät tärkeät tasot ja korot tulee ilmoittaa. Rakenteen jäykistämisperiaate sekä kiinnitys perustuksiin tulee alustavasti esitellä. Kohteessa käytettävät rakennetyypit käydään läpi esittelemällä ne tyyppittäin. Lisäksi tulee kertoa kuinka saavutetaan rakennuksen stabiilitetti ja esitellä mahdolliset kriittiset rakennusosat.

Kohteen rakenneluokka tulee selvittää. Rakenneluokan valinta tulee esitellä siten, että siitä käy ilmi miksi rakennus kuuluu valittuun rakenneluokkaan ja mitkä ovat tämän valinnan perusteet. Lisäksi kohteelle pitää määritellä paloluokka. /3/

6.1.2 Suunnitteluperusteet

Laskentaprosessissa käytettävät määräykset, normit, ohjeet ja muut kirjalliset lähteet tulee merkitä selkeästi ylös. Tällä tavoin voidaan helpottaa ja nopeuttaa koko prosessin, laskelman tai yksittäisen kaavan tarkastamista.

Laskentaprosessia koskevat määräykset laskelmien osalta on annettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa B (rakenteiden lujuus), jossa kuormitustiedot on annettu kohdassa B1 sekä jokaisen rakennusmateriaalien mitoittamiseen tarvittavat määräykset on annettu kohdissa B4 (betonirakenteet), B7 (teräsrakenteet) ja B10 (puurakenteet). Rakentamismääräyskokoelmassa annetut määräykset ovat velvoittavia. Sen sijaan annetut ohjeet eivät ole velvoittavia, vaan muitakin ratkaisuja voidaan tarvittaessa käyttää.

Normit, jotka koskevat laskentaprosessin laskelmia, ovat vielä osittain kehitteillä ja niiden on tarkoitus korvata tämän hetkiset rakentamiskokoelman määräykset vuoden 2010 aikana. Nämä rakenteita koskevat euronormit on jaettu seuraaviin standardeihin:

- suunnitteluperusteet (EN 1990 *Eurocode: Basis of Structural Design*)
- kuormat (EN 1991 *Eurocode 1: Actions on structures*)
- betonirakenteet (EN 1992 *Eurocode 2: Design of concrete structures*)
- teräsrakenteet (EN 1993 *Eurocode 3: Design of steel structures*)
- liittorakenteet (EN 1994 *Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures*)
- puurakenteet (EN 1995 *Eurocode 5: Design of timber structures*)
- muuratut rakenteet (EN 1996 *Eurocode 6: Design of masonry structures*)
- geotekninen suunnittelu (EN 1997 *Eurocode 7: Geotechnical design*)
- maanjäristysmitoitus (EN 1998 *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance*)
- alumiinirakenteet (EN1999 *Eurocode 9: Design of aluminium structures*). /2/

Standardit sisältävät yleensä useita osia, jotka jakavat standardin pienempiin asiakokonaisuuksiin. Lisäksi standardien soveltaminen maakohtaisesti vaatii, että niihin laaditaan kansallisia liitteitä. Talonrakentamisen osalta Suomessa liitteiden laatimisesta vastaa Ympäristöministeriö.

Kohteen kuvaus ja tiedot -kohdassa esiteltiin kohteessa käytettävät materiaalit. Suunnitteluperusteet -kohdassa esitellään kohteessa käytettävien materiaalien laskentalujuudet, materiaaliominaisuudet sekä niille asetetut vaatimukset.

Kohteeseen vaikuttavat ympäristörasitukset tulee esitellä ja jakaa ne sisä- ja ulkopuolelta tuleviin rasituksiin. Sisäpuolelta tuleviin rasituksiin vaikuttavat käyttöolot, sisäympäristön aggressiivisuus sekä ilmanvaihto, kun taas ulkopuolelta tuleviin rasituksiin vaikuttavat kohteen korkeus, sijainti, ilmansuunta, mikroilmasto, saasteet ja sääolot.

6.1.3 Asiakaskuormat

Asiakaskuormilla tarkoitetaan kohteeseen tulevien laitteiden sekä kohteen käytöstä johtuvia kuormia, joiden tiedot saadaan asiakkaalta. Asiakaskuormiin kuuluu muun muassa laite-, arkistointi-, kassakaappi-, nosturi- ja tasokuormat. Nämä kuormat tulee saada asiakkaalta eriteltyinä yksittäisiin kuormitustapauksiin.

Mikäli asiakas on antamissaan kuormituksissa huomionnut normikuormia, esimerkiksi laitteeseen tai koneeseen kohdistuvan tuulikuorman, tulee asiakkaan esitellä käyttämänsä normit sekä laskentaperusteet kuormitustapauksien antamisen yhteydessä. Tämä siksi, että tarvittaessa voidaan tarkastaa kuormitusten oikeellisuus. Lisäksi laitteista, koneista ja nostureista mahdollisesti aiheutuvat dynaamiset kuormitukset tulee esittää erillisessä taulukossa. Suunnittelijan tulee myös mainita, mistä kyseiset asiakaskuormat on saatu.

6.1.4 Normikuormat

Normikuormilla tarkoitetaan viranomaisten määräyksissä ja ohjeissa annettuja kuormia, jotka ovat suurimmaksi osaksi luonnonkuormia. Euronormeissa kuormat jaetaan seuraavanlaisiin ryhmiin:

- tiheydet, oma paino ja hyötykuormat (EN 1991-1-1)
- palolle alttiiden rakenteiden kuormat (EN 1991-1-2)
- lumikuormat (EN 1991-1-3)
- tuulikuormat (EN 1991-1-4)
- lämpökuormat (EN 1991-1-5)
- työnaikaiset kuormat (EN 1991-1-6)
- onnettomuuskuormat (EN 1991-1-7)
- siltojen liikennekuormat (EN 1991-2)
- nostureista ja koneista aiheutuvat kuormat (EN 1991-3)

- siilojen ja säiliöiden kuormat (EN 1991-4). /2/

Viranomaisten määräyksistä ja ohjeista tulee hakea kuormien perusarvot, jotka jatkossa muokataan oikeaan muotoon määräyksistä ja ohjeista löytyvien muotokertoimien avulla. Nämä muotokertoimet tulee esitellä erillisessä listassa tai taulukossa. Lisäksi suunnittelijan täytyy esitellä mistä ja miten muotokertoimet on määritetty.

6.1.5 Lähtötietokatselmus

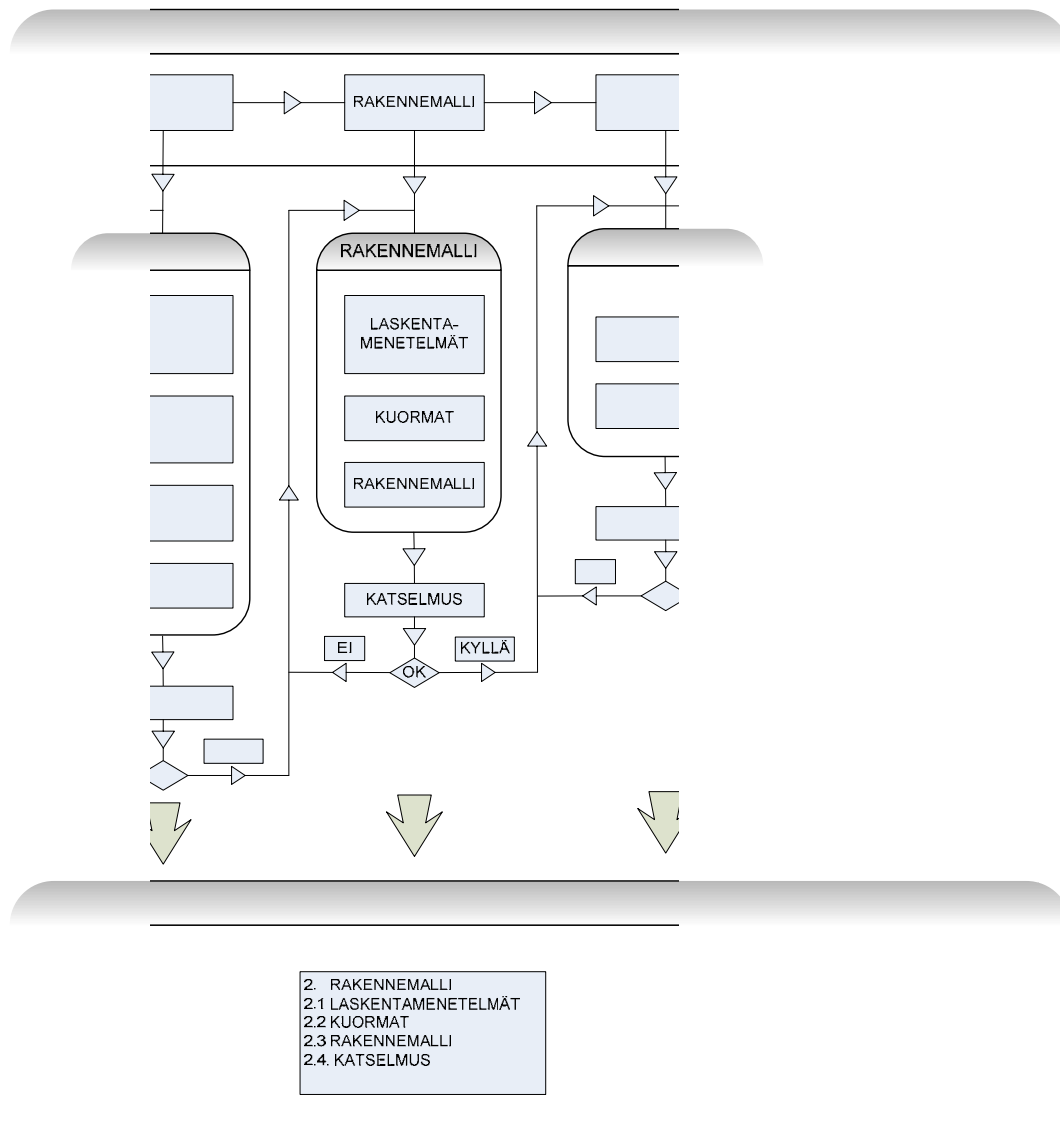
Lähtötietokatselmuksessa tulee tarkastaa kaikki suunnittelijan osaprosessissa antamat tiedot. Kohteen kuvauksessa huomiota tulee kiinnittää oikeisiin korkotietoihin, rungon ja muiden rakenteiden materiaalitietoihin, nosturitietoihin, liittyvien osien tietoihin, rakenteen jäykistys- ja vahvistusperiaatteisiin, sekä kohteen rakenneluokan asettamien vaatimusten huomioon ottamiseen. Suunnitteluperusteissa tulee tarkastaa, että suunnittelija käyttää kohteessa oikeita määräyksiä, normeja ja ohjeita. Asiakaskuormat kohdassa tarkastetaan saatujen lähtötietojen oikeellisuus sekä se, että kyseiset kuormat on määritetty oikein. Normikuormat kohdassa tulee tarkastaa, että suunnittelija on määrittänyt oikein kuormien perusarvot ja kertoimet määräyksistä sekä normeista. Katselmuksen suorittamiseksi pitää sen lähtötietona olla suunnittelijan itsensä suorittama tarkastus tai kohteeseen määritetyn tarkastajan dokumentit tehdystä tarkastuksesta.

6.2 Rakennemalli

Rakennemalli-osaprosessin tarkoituksena on luoda suunnittelukohteen laskentaa varten malli, jota käytetään laskentaprosessin edetessä suunnittelun ja mitoituksen perustana. Suunnittelukohteen ja rakennemallin tulee vastata mitoiltaan toisiaan, sillä eroavaisuudet johtavat viimeistään toteutusvaiheessa ongelmiin, kun esimerkiksi pilarit ja peruspultit eivät kohtaakaan toisiaan. Lisäksi rakennemallin rakenne tulee saada mallinnet-

tua niin lähellä todellista rakennetta kuin mahdollista, jotta esimerkiksi rakenteessa tapahtuvat muodonmuutokset ja voimasuureet voidaan tutkia mahdollisimman todellisuutta etukäteen laskennan avulla. Rakennemallia tehtäessä suunnittelijan tulee ratkaista rakenteen kannalta useita tärkeitä linjanvetoja, joita ovat esimerkiksi rakenteen jäykistäminen, rakenneosien väliset tukiehdot, liittymiset perustuksiin, kuormitukset ja kuormituksen epäkeskisyydet. Rakennemalli tehdään yleensä tietokone ohjelmien avulla, mutta yksinkertaisista rakenteista esimerkiksi jatkuvapalkki voidaan tehdä rakennemalli myös käsin paperille. Rakennemalli-osaprosessi toimii yksinään erillisenä osaprosessina, sillä rakenteen voi mallintaa yksi suunnittelija ja tämän jälkeen rakennemallia hyödyntävät muut suunnittelijat.

Rakennemalli-osaprosessi koostuu kuvasta 6 nähtävistä kolmesta työtehtävästä, jotka ovat *laskentamenetelmien ja kuormien määrittäminen sekä rakennemallin teko*. Työtehtävät esitellään tarkemmin erillisissä alaotsikoissa. Lisäksi osaprosessin aikana syntyvien asiakirjojen dokumentointiperiaate on esitetty prosessikaavion alaosassa. Dokumentointi esitellään myöhemmin omana kokonaisuutena luvussa 7.



Kuva 6. Rakennemallin-osaprosessi ja siihen liittyvä dokumentointi osio

6.2.1 Laskentamenetelmät

Laskentaprosessissa käytettävistä laskentamenetelmistä tulee tehdä lyhyt kuvaus, jossa esitellään kaikki prosessin aikana käytettävät menetelmät. Käytettävästä tietokoneohjelmasta pitää kertoa sen nimi, versio, ohjelman perusteet ja ominaisuudet. Lisäksi tu-

lee selvittää mihin tätä ohjelmaa käytetään ja minkälaista laskentamenetelmää ohjelma käyttää, esimerkiksi FEM-laskenta.

6.2.2 Kuormat

Rakennemallissa tulee esittää käytettävät kuormat ja niiden sijainti rakennuksessa. Kuormista tehdään kuvaus ja ne esitetään jakautuneina eri rakenneosille. Yksinkertaisessa tapauksessa kuormat voidaan esittää lähtötiedot-osaprosessin yhteydessä. Kuormien jakautumisessa tulee huomioida mahdolliset erikoistapaukset ja erotella ne selkeästi. Tällainen erikoistapaus on esimerkiksi lumikuorman mahdollinen kinostuminen. Erilaisille rakennusosille tulevat kuormat tulee esittää toisistaan eriteltynä taulukkomuodossa kerroksittain ja moduuleittain.

6.2.3 Rakennemalli

Saatujen lähtötietojen avulla suunnittelija mallintaa kohteen esittelemällään tietokoneohjelmalla tai tekemällä mallinnuksen käsin paperille, minkä lopputuloksena saadaan rakennemalli (laskentamalli). Rakennetta mallintaessaan rakennesuunnittelijan täytyy ratkaista rakenteen perusasioita, kuten esimerkiksi jäykistysjärjestelmä, liittorakenne-ehdot, tukiehdot rakenneosien välillä ja pilarien liitokset perustuksiin. Rakennemalli esitetään kuvana sekä lähtöarvotiedostona.

6.2.4 Rakennemallikatselmus

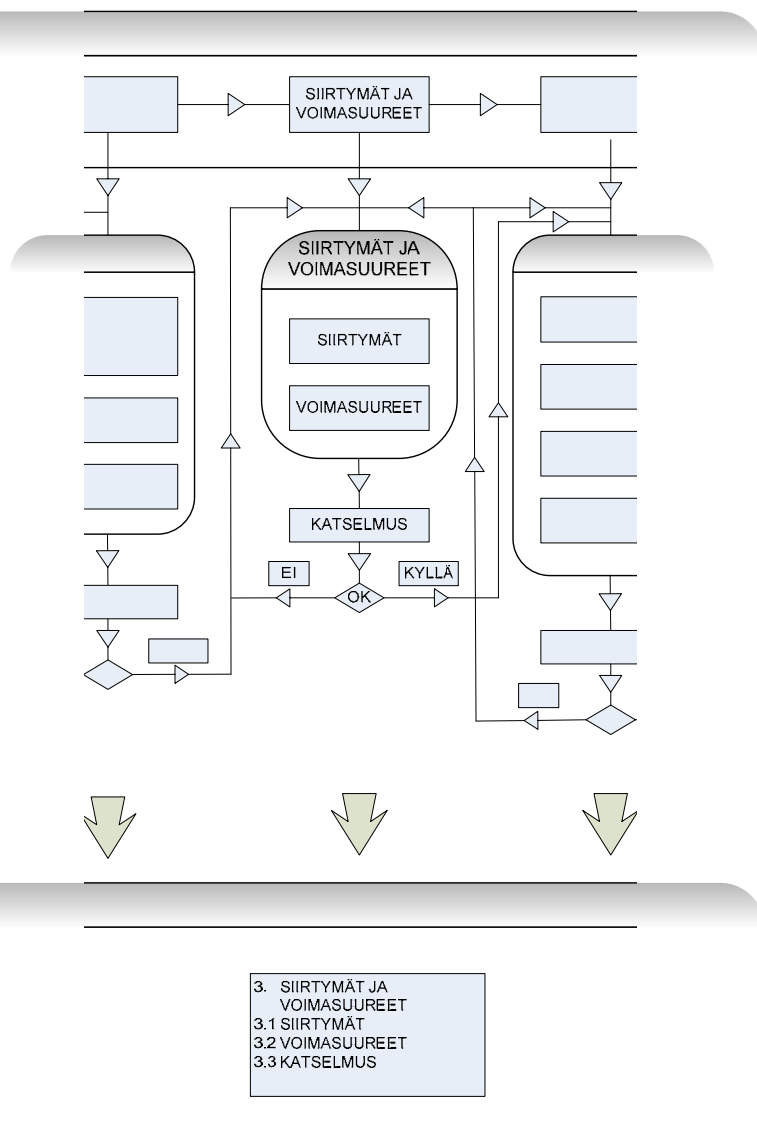
Rakennemallikatselmuksessa tulee tarkastaa kaikki suunnittelijan osaprosessissa antamat tiedot. Laskentamenetelmät kohdassa tarkastetaan, että suunnittelija käyttää kohteeseen sopivia ohjelmia ja menetelmiä. Kuormat työtehtävän tarkastuksessa tulee tar-

kastaa, että kuormien yhdistelyt, varmuuskertoimet ja sijainnit ovat oikeat. Erityistä huomiota tarkastuksessa tulee kiinnittää erityiskuormituksiin, jotka ovat hieman harvinaisempia. Rakennemallin katselmuksessa tulee huomioida, että malli vastaa todellista rakennetta. Lisäksi tulee kiinnittää huomiota tukiehtoihin, liittorakenteen asettamiin ehtoihin, kuormitusten mahdollisiin epäkeskisyyksiin, jäykistykseen ja liitos ratkaisuihin. Katselmuksen suorittamiseksi pitää sen lähtötietona olla suunnittelijan itsensä suorittama tarkastus tai kohteeseen määritetyn tarkastajan dokumentit tehdystä tarkastuksesta.

6.3 Siirtymät ja voimasuureet

Siirtymät ja voimasuureet -osaprosessin tarkoituksena on tarkastella edellisessä osaprosessissa tehdyn rakennemallin siirtymiä ja tämän jälkeen tarkastaa, täyttääkö rakenne sille annetut raja-arvot. Rakennesuunnittelija määrittelee voimasuureet ja toimittaa ne eteenpäin niitä jatkossa tarvitseville suunnittelijoille.

Siirtymät ja voimasuureet -osaprosessi koostuu kuvasta 7 nähtävistä kahdesta työtehtävästä, jotka ovat *kohteen siirtymät* ja *voimasuureet*. Työtehtävät esitellään tarkemmin erillisissä alaotsikoissa. Lisäksi osaprosessin aikana syntyvien asiakirjojen dokumentointiperiaate on esitetty prosessikaavion alaosassa. Dokumentointi esitellään myöhemmin omana kokonaisuutena luvussa 7.



Kuva 7. Siirtymät ja voimasuureet -osaprosessi ja siihen liittyvä dokumentointi osio

6.3.1 Siirtymät

Ensimmäisenä tulee suorittaa siirtymätilatarkastelu. Siirtymäarvot määritellään normeista tai toimittajan ilmoittamista vaatimuksista ja esitetään taulukkomuodossa. Määrittelyn jälkeen, ennen voimasuureiden laskennan aloittamista, tulee tarkastaa, että tarkastelun arvot pysyvät normien ja toimittajien määrittämissä rajoissa.

6.3.2 Voimasuureet

Voimasuureita laskettaessa ei tule käyttää varmuuskertoimia eikä voimasuureita tule tässä vaiheessa yhdistellä. Voimasuureet tulee siis esittää ominaiskuormina. Rakenteita mitoittavat suunnittelijat valitsevat tarvitsemansa voimasuureet ja hakevat normeista varmuuskertoimet käyttämilleen voimasuureille sekä muodostavat vaadittavat kuormayhdistelyt.

Voimasuureista tulee tehdä koottu taulukkomuotoinen pohja, josta prosessin edetessä erityyppisiä rakenteita mitoittavat suunnittelijat saavat voimasuureet helposti käyttöönsä. Taulukosta tulee myös selvittää, mitkä kuormat vaikuttavat mihinkin rakennusosaan.

6.3.3 Siirtymä- ja voimasuurekatselmus

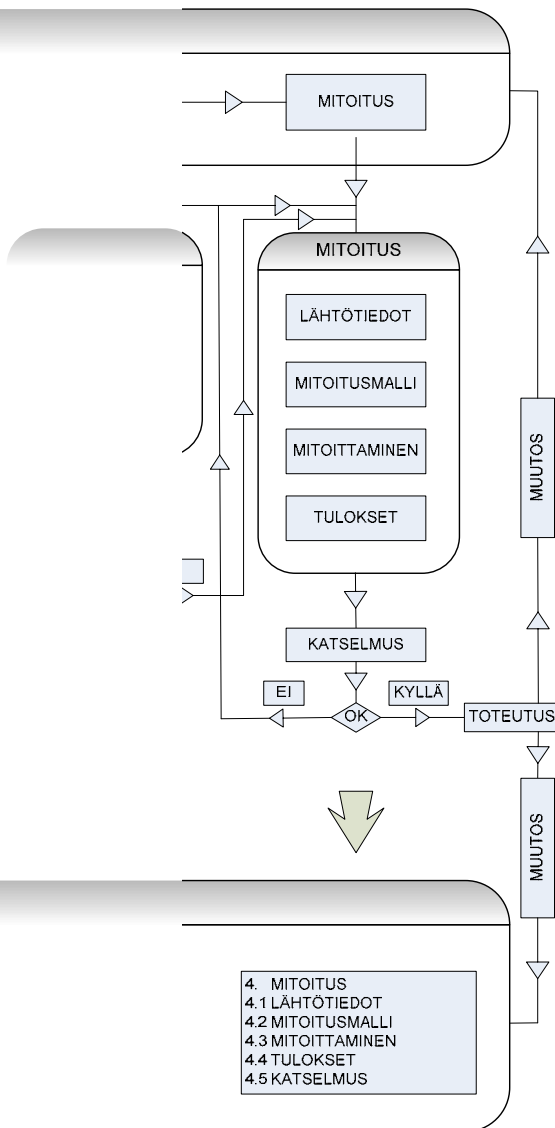
Siirtymä- ja voimasuurekatselmuksessa tulee tarkastaa kaikki suunnittelijan osaprosessissa antamat tiedot. Siirtymät työvaiheen katselmuksessa tulee tarkastaa, että rakenteeseen tulevat siirtymät pysyvät niille annetuissa rajoissa. Lisäksi tulee tarkastaa, että suunnittelija on käyttänyt oikeita määräyksiä, normeja ja ohjeita. Voimasuureet kohdasta tulee tarkastaa, että voimasuureet on määritetty oikein. Katselmuksen suorittamiseksi pitää sen lähtötietona olla suunnittelijan itsensä suorittama tarkastus tai kohteeseen määritetyn tarkastajan dokumentit tehdystä tarkastuksesta.

6.4 Mitoitus

Mitoitus-osaprosessin tarkoituksena on, että eri suunnittelijat mitoittavat kaikki ne rakennneosat, jotka esiintyvät rakennemallissa. Mahdollisuuksien mukaan rakennelas-

kelmat tulisi tehdä sellaisessa järjestyksessä, että aiemmin mitoitettun rakenneosan tukireaktiot voidaan ottaa suoraan seuraavan mitoitettavan rakenneosan kuormiksi, esimerkiksi palkiston tukireaktiot pilarille kuormiksi ja pilarin kuormitukset perustusten kuormiksi. Mitoitus-osaprosessi toimii yksinään erillisenä osaprosessina, sillä joskus tehtävät projektit saattavat olla niin pieniä, että koko laskentaprosessin läpikäyminen ei ole projektin kokonaislaajuuden kannalta mielekästä.

Mitoitus-osaprosessi koostuu kuvasta 8 nähtävistä neljästä työtehtävästä, jotka ovat *lähtötiedot*, *mitoitusmalli*, *mitoittaminen* ja *tulokset*. Työtehtävät esitellään tarkemmin erillisissä alaotsakkeissa. Lisäksi osaprosessin aikana syntyvien asiakirjojen dokumentointiperiaate on esitetty prosessikaavion alaosassa. Dokumentointi esitellään myöhemmin omana kokonaisuutena luvussa 7.



Kuva 8. Mitoitus-osaprosessi ja siihen liittyvä dokumentointi osio

6.4.1 Lähtötiedot

Mitoituksen lähtötiedot saadaan mitoitus-osaprosessia edeltävistä osaprosesseista, joissa on selvitetty seuraavia asioita:

- kohteen tiedot

- käytettävät määräykset, normit, ohjeet ja muut lähteet
- laskentamenetelmät
- kuormat
- siirtymät
- voimasuureet.

Lähtötiedot tulee esitellä tarvittavassa laajuudessa riippuen siitä, onko kyseessä koko laskentaprosessin läpi käyvä suuri projekti vai pieni projekti, joka toteutetaan ainoastaan käyttämällä mitoituksen osaprosessia. Lisäksi esittelyn laajuudessa tulee ottaa huomioon mitoitettava rakenneos, joka määrää mitä lähtöarvoja mitoituksessa tarvitaan.

6.4.2 Mitoitusmalli

Jokaiselle rakenneosalle tulee tehdä mitoitusmalli. Mitoitusmallissa tulee rakenneosasta riippuen huomioida seuraavat asiat:

- nurjahdus/kiiepahdus
- rakenneosan aukot
- tukiehdot/reunaehdot
- liitostyypit
- mitat
- kuormat.

Lisäksi suunnittelijan tulee kertoa, millä tavoin tai millä ohjelmalla kyseinen rakenne mitoitetaan.

6.4.3 Mitoittaminen

Rakenneosaa mitoitettaessa tulee ottaa huomioon seuraavat asiat:

- rakennuksen käyttöikä
- rakenteiden väsyminen
- voimasuureisiin tulevat varmuuskertoimet
- voimasuureiden eri kuormitusyhdistelyt
- laskenta murtorajatilassa
- laskenta käyttörajatilassa
- palomitoitus.

Mitoituksessa tulee selvästi esittää, mistä kuormitukset muodostuvat ja mitkä ovat varmuuskertoimet ja kuormitusten lopulliset arvot. Kuormituksista on myös esitettävä määräävät kuormitustapaukset ja huomioitava rakenteen erityispiirteet. Määräviä kuormituksia voivat olla esimerkiksi shakkilautakuormitus tai toispuoleinen kuormitus. Saatuja tuloksia voidaan havainnollistaa graafisella tulostuksella, mikäli se on esimerkiksi kohteen vaativuuden kannalta tarpeellista. Käyttöikälaskelmilla tulee osoittaa, että rakenne täyttää vaaditun käyttöikätaavoitteen tai arvioidaan rakenteen käyttöikä valituilla materiaaleilla ja olosuhdetiedoilla. /3/

6.4.4 Tulokset

Kun mitoituksen osaprosessi on käyty kokonaisuudessaan läpi, saadaan tulokseksi rakenteen kestävyysen tarvittavat rakennusosan mitat. Lisäksi saadaan suunnitteluun ja toteutukseen tarvittavat lähtötiedot.

6.4.5 Mitoituskatselmus

Mitoituskatselmuksessa tulee tarkastaa kaikki suunnittelijan osaprosessissa antamat tiedot. Lähtötiedot työvaiheen tarkastuksessa tulee tarkastaa suunnittelijan määrittämät lähtötiedot. Lähtötietojen laajuus riippuu projektin laajuudesta, sillä isossa projektissa lähtötiedot on annettu jo Lähtötiedot-osaprosessissa. Tämän johdosta pienen projektin lähtötietojen tarkastukseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Mitoitusmalli kohdassa tulee tarkastaa, että malli vastaa todellista rakennetta ja että rakenteeseen tehdyt erityyppiset ratkaisut ovat oikeaoppisia. Mitoituskohdan tarkastuksessa tulee katsoa, että suunnittelija on suorittanut kaikki kohteeseen vaaditut laskelmat. Lisäksi tulee tarkastaa, että suunnittelija on käyttänyt laskelmissaan määräyksissä, normeissa ja ohjeissa annettuja kaavoja. Tulokset -kohdassa tulee tarkastaa, että suunnittelijan saamat tulokset ovat oikeita. Katselmuksen suorittamiseksi pitää sen lähtötietona olla suunnittelijan käsin suorittamat laskelmien suuruusluokkatarkastelut tai kohteeseen määritetyn tarkastajan dokumentit tehdystä laskelmien tarkastuksesta.

6.4.6 Toteutus

Kun laskentaprosessi on käyty kokonaisuudessaan läpi, toimii se yhdessä layout-piirustusten kanssa rakennesuunnitelmien lähtötietoaineistona.

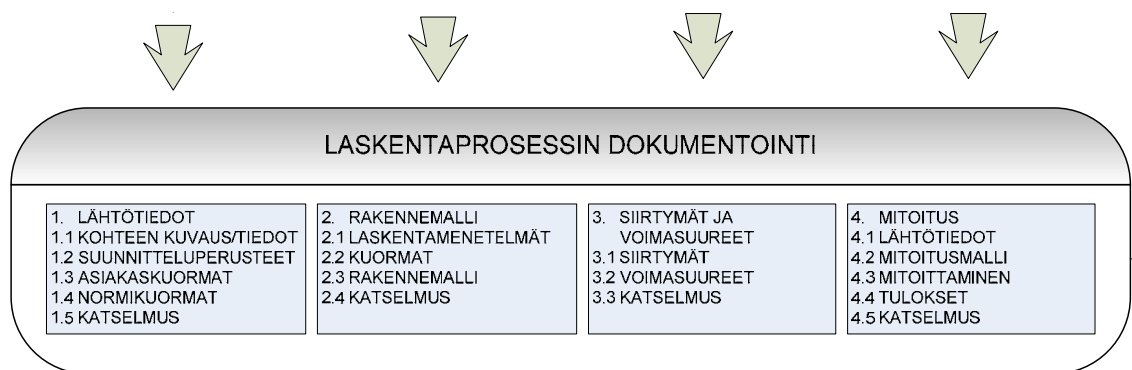
6.4.7 Muutos

Mitoituksen jälkeen tehtävät muutokset tulee ehdottomasti päivittää laskentaprosessin dokumentteihin ja muutetut asiakirjat tulee myös ehdottomasti revisioida, jotta tiedetään mikä on viimeisin ja voimassa oleva asiakirja. Tehtävät muutokset tulee lisäksi hyväksyttäväksi vastuussa olevalla rakennesuunnittelijalla, joka on muutettavan rakenteen aikaisemmin mitoittanut. Muutoksen laajuudesta riippuen täytyy laskentaprosessissa

palata tarvittava määrä askelia taaksepäin, jotta saadaan varmistettua muutetun rakenteen kestävyys. Toisin sanoen, mikäli pelkkä mitoituksen tarkistaminen ei ole riittävä toimenpide rakenteen kestävyden tarkistamiseen, tulee myös siirtymät ja voimasuureet tarkastaa.

7 LASKENTAPROSESSIN DOKUMENTOINTI

Laskentaprosessin edetessä syntyy jatkuvasti dokumentoitavia asiakirjoja, jotka tulee siirtää laskentaprosessin rinnalla syntyvään dokumenttikansioon. Laskentaprosessi-kaaviossa dokumentointi on huomioitu siten, että viimeistään katselmuksen jälkeen tulee kunkin osaprosessin myötä syntyneet asiakirjat arkistoida laskentaprosessin dokumentointikansioon. Asiakirjat arkistoidaan dokumenttikansioon siinä vaiheessa, kun työtehtävä on saatu suoritettua ja asiakirja on valmiina arkistoitavaksi. Dokumenttikansio on täten koko laskentaprosessin aikana ajan tasalla, jolloin laskentaprosessin etenemisen seuranta on helppoa.



Kuva 9. Laskentaprosessin dokumentointi

7.1 Laskentaprosessin dokumentoinnin ulkoasu ja sisältö

Rakennelaskelmat laaditaan siten, että ne ovat selkeitä ja johdonmukaisia. Henkilön, jolla on pätevyys laskelmien tarkastamiseen, on kyettävä vaikeuksista ymmärtämään laskelmien kulku ja lasketut suureet. Laskelmissa saatuja tärkeitä tuloksia tulee korostaa esimerkiksi alleviivaamalla tai kirjoittamalla ne marginaaliin. /3/

7.1.1 Ulkoasu

Jotta rakennelaskelmat ovat selkeitä, tulee niiden ulkoasuun kiinnittää erityistä huomiota. Selkeän ulkoasun saamiseksi rakennelaskelmien tulee sisältää ainakin seuraavat asiat:

- kansilehti
- päiväys ja allekirjoitus
- sisällysluettelo
- laskentaprosessin vaiheet ja tulokset.

Laskelmilla tulee olla aina kansilehti, johon tulee määräysten mukainen nimiö. Nimiöstä tulee käydä ilmi vähintään seuraavat asiat:

- kohdetiedot
- päiväys
- suunnittelijan allekirjoitus
- tarkastajan allekirjoitus (yleensä päärakennesuunnittelija)
- tarvittaessa ulkopuolisen tarkastajan allekirjoitus. /3/

Tarkastusmerkintöjä varten pitää kansilehdelle sijoittaa erillinen taulukko. Lisäksi kansilehdellä pitää olla paikka päiväykselle sekä tarvittaville allekirjoituksille.

Laskelmien sisällysluettelon pitää olla johdonmukainen ja seurata laskelmien kulkua. Laskentavaiheiden selkeä otsikointi helpottaa sisällysluettelon tekoa ja laskelmien luettavuutta. Myös taulukkomuotoiset yhteenvedot ja runsas piirrosten käyttö helpottavat laskelmien seuraamista ja luettavuutta. /3/

7.1.2 Sisältö

Laskentaprosessin myötä syntyvän dokumenttikansion sisällön tulee noudattaa seuraavaa luetteloa, joka on esitetty laskentaprosessin alaosassa (kuva 4):

1. Lähtötiedot

- kohteen kuvaus/tiedot
- suunnitteluperusteet
- asiakaskuormat
- normikuormat
- lähtötieto katselmus

2. Rakennemalli

- laskentamenetelmät
- kuormat
- rakennemalli
- rakennemallin katselmus

3. Siirtymät ja voimasuureet

- siirtymät
- voimasuureet
- siirtymien ja voimasuureiden katselmus

4. Mitoitus

- lähtötiedot
- mitoitusmalli
- mitoittaminen
 - o vaakarakenteiden mitoitus (palkit, laatat)
 - o pystyrakenteiden mitoitus (pilarit, seinät)
 - o perustusten mitoitus
 - o palomitoitus
 - o asennusaikainen mitoitus
 - o erikoisrakenteet ja täydentävät rakenteet (julkisivut, kaiteet)
- tulokset

- mitoitus katselmus

7.2 Käsinlaskenta

Käsinlaskennalla tarkoitetaan yleensä paperille käsintehtyjä laskelmia, mutta nykyään käsinlaskentaan voidaan olettaa kuuluvan myös erilaiset Excelillä ja Mathcadilla tehdyt laskelmapohjat. Excel ja Mathcad eivät varsinaisesti ole puhdasta käsinlaskentaa vaan ne ovat eräänlaisia taskulaskimia, joihin voidaan syöttää kaavoja. Nämä kaksi ohjelmaa esitellään tarkemmin luvussa 7.3. Käsinlaskentaa käytetään nykyään paljon ainostaan tarkastuslaskentaan, jolloin halutaan tarkastaa tietokoneohjelmista saatuja tuloksia. Käsinlaskentaa koskee kuitenkin samat ulkoasu ja sisältö vaatimukset kuin tietokoneohjelma avusteista laskentaakin. Suoritettaessa käsinlaskentaa tulee kiinnittää erityistä huomiota laskelmien dokumentointiin, sillä laskennassa syntyvät irtopaperit jäävät helposti arkistoimatta.

7.3 Tietokoneohjelmat

Pääosa rakennelaskelmista tehdään tietokoneohjelmilla, joko mallinnusohjelmiin integroidulla statiikkaohjelmalla tai erillisillä mitoitusohjelmilla. Tulosteita syntyy suuri määrä ja laskelmien laatijan on koottava oleelliset kohdat arkistoitaviin laskelmiin. Graafista tulostusta on pyrittävä käyttämään tulosten havainnollistamiseen sekä tulosten sivumäärän rajoittamiseen. Arkistoitavien tietokonetulosten on oltava A4-koossa, suuremmat tulostusarkit on pienennettävä tai taitettava tähän kokoon. /3/

Vaativissa kohteissa on usein syytä virallisten laskelmien lisäksi tehdä kattavampi tulostus, jossa ovat laskelmien kaikki lähtötiedot ja tulokset mahdollista myöhempää käyttöä varten. /3/

Tietokoneohjelmia käytettäessä on laskelmista lisäksi käytävä ilmi:

- käytetyt ohjelmat
- ohjelmien soveltuvuusalueet ja käyttörajoitukset
- ohjelmien käyttämät laskentateoriat (vähintään viittaus ohjelman käyttöohjeeseen)
- laskentamalli
- laskennassa käytetyt rakenteen tuentoja, liitosten ja kuormitusten yksinkertaistukset
- laadut, merkkisäännöt ja tulosten tulkintaohjeet. /3/

Pöysälä & Sandbergillä käytetään seuraavanlaisia ohjelmia rakennelaskelmien tekemiseen.

Excel

Excel on taulukkolaskentaohjelma johon voidaan syöttää kaavoja, jotka laskevat taulukkoihin kirjoitettuja lukuja. Alkuperäiseen kaavaan vaikuttavan tiedon muuttuessa muuttuu lopputuloskin automaattisesti. Taulukoiden tiedot voidaan esittää graafisesti havainnollistavilla kuvaajilla. Kaavojen yhteyteen voidaan liittää erilaisia havainnollistavia kuvia.

Mathcad

Mathcad ei varsinaisesti ole laskentaohjelma vaan se on tietokoneessa oleva eräänlainen ruutupaperi, jonka sisään on integroitu laskin. Mathcadissa käytettävä visuaalinen laskentatapa saa laskelmat näyttämään aivan samalta kuin paperilla, koska siinä käytetään oikeita matemaattisia kaavoja. Kaavat näyttävät ja toimivat kuten oikeat matemaattiset kaavat, joita kirjoitetaan paperille. Mathcadilla pystytään luomaan kaavat helposti ja ne pystytään ymmärtämään välittömästi. Mathcadiä voidaan käyttää laskelmien luontiin, dokumentointiin ja jakamiseen. /17/

STAAD.Pro

STAAD.Pro on kolmiulotteisten rakenteiden laskentaohjelmisto, jossa koko rakenne tai sen osa analysoidaan todellisen muotoisena. STAAD sisältää kaikki välineet laskentamallin luomiseksi, kuormitusten määrittämiseksi ja rakenteen analysoimiseksi ja mitoittamiseksi. STAAD:ia käytettäessä suunnittelija ei yksinkertaista rakennetta liikaa esimerkiksi tasokehäksi tai ristikoksi saadakseen sen laskettua. /8/

STAAD:lla voidaan analysoida ja mitoitaa esimerkiksi talorakenteet, tehtaot, toimitukset, julkiset ja yksityiset rakennelmat, ristikot, siilot, mastot, kuljettimet ja nosturit. Analysoinnissa voidaan käyttää muun muassa staattisia ja dynaamisia kuormituksia, liikkuvia ja tuulikuormia ja niiden yhdistelyjä. Värähtelyjen ja rakenteen vasteen analysointi on myös mahdollista. /8/

Robot Millennium

Robot Millennium on ohjelma, joka tarkoitettu rakenteiden lujuusanalyysiin ja mitoitukseen. Ohjelmalla voidaan käsitellä ja analysoida kaikentyyppisiä rakenteita, esimerkiksi sauva-, levy-, kuori-, laatta- ja tilavuuselementtejä. Ohjelmalla voidaan mitoitaa teräs-, puu- ja betonirakenteita. Suunnittelijan tulee määrittellä käyttämänsä materiaalit, mikäli niitä ei löydy ohjelman tietokannasta. Ohjelmassa on lisäksi laajat materiaalikirjastot sekä maarakenne- ja kuormatietokannat. /7/

Finnsap-ohjelmisto

Finnsap-lujuuslaskentaohjelmisto koostuu seuraavista ohjelmista:

- Finngen (FEM-mallin generointi)
- Finnsap (FEM-analyysi ja -laskennan tulostiedostot)

- Finndraw (FEM-jälkikäsitteily ja -laskennan graafiset tulostiedostot)
- Finnpro (palkkien poikkipintasuuressa laskenta)
- Finndyn (dynaamisten vasteiden analyysi ja tulostiedostot)
- Ffatig (väsymisanalyysi ja tulostiedostot). /11/

Finngen on FEM-mallin generointi ohjelma, jolla luotu elementtimalli voidaan analysoida Finnsapin avulla. Finnsap on FEM-analyysiohjelma, jolla suoritetaan varsinainen FEM-laskenta. Finndraw on FEM-jälkikäsitteilyohjelma, jolla Finnsap-ohjelman laskentamalli sekä tulokset voidaan esitellä. Finnpro-ohjelma laskee Finngenillä tehtyjen elementtimallien avulla palkkien poikkipintasuuressa. Finndyn on ohjelma, jonka avulla voidaan suorittaa dynaamisten vasteiden analyysi Finnsapin ominaisarvotehtävän ratkaisun pohjalta. Rakenteiden väsymisanalyysien suorittamiseen voidaan käyttää Ffatig-ohjelmaa. Laskennassa Finnsap-ohjelmistoa voidaan käyttää erilaisten rakenteiden mitoittamiseen, esimerkiksi ristikoiden sekä palkki- ja kehärakenteiden laskentaan. /10/

Tekla Structures

Tekla Structuresin analyysi- ja mitoitusohjelmiston avulla voidaan kolmiulotteisia rakenteita tulkita helposti. Tekla esittää tulokset graafisessa muodossa, mutta numeerisia raportteja voidaan tulostaa tarvittaessa. Rakenneanalyysin osana voidaan näyttää jännitykset, voimat ja taipumat. Lisäksi mallista voidaan tarkastella kaikkia yksityiskohtia esimerkiksi liitoskohtia. Teklan analyysi- ja mitoitusohjelmistoon kuuluu STAAD.Pro, joten rakennuskuormat voidaan helposti siirtää malliin. Teklaa voi samanaikaisesti käyttää useampi suunnittelija, joka mahdollistaa kohteen eri osien samanaikaisen suunnittelun. /15/

Pupax

Pupax on laskentaohjelma jolla voidaan mitoittaa moniaukkoisia palkkeja. Ohjelmalla voidaan mitoittaa muun muassa sahatavara-, liimapuu-, kertopuu- ja valssattuja teräs-

profiileja sekä Rautaruukin suorakaide- ja pyöreitä putkipalkkeja. Ohjelmaan voidaan kuormituksiksi asettaa tasainen kuorma, kolmio- tai pistekuorma sekä momentti. /13/

Tuoteohjelmat

Pöysälä & Sandbergillä on käytössä muun muassa seuraavanlaisia tuoteohjelmia rakennelaskelmien tekemiseen:

- WinRami (putkipalkista ja/tai hitsatuista I-profiileista tehtyjen kehien ja ristikkorakenteiden mitoitusohjelma)
- WQBeam (välipohjapalkin mitoitusohjelma)
- Profiili (putkipalkkien ja hitsattujen I-profiilien mitoitusohjelma)
- JOINT (liitosten mitoitusohjelma)
- Ratapalkki (nosturin ratapalkin mitoitusohjelma)
- ColGraph (betonitäytteen liioppilarin sähköiset paranetroidut kapasiteettitaulukot)
- ComBeam (liioppalkin mitoitusohjelma)
- Comcol (liioppilarin mitoitusohjelma)
- ComSlab (liittolaatan mitoitusohjelma)
- Poimu (profiilipeltien mitoitusohjelma)
- ProfBeam (kylmämuokattujen avoprofiilien mitoitusohjelma)
- Orsi (katto- ja seinäorsien mitoitusohjelma)
- PurCalc (katto- ja seinäorsien mitoitusohjelma)
- TrayPan (Rannilan seinäkasetin ja Panelin mitoitus)
- Section Wizard (erikoisten poikkileikkausten arvojen mitoitusohjelma)
- Profis anchor (Hiltin ankkurimitoitusohjelma).

8 CASE YLIVIESKA

Case Ylivieska on hyvin tyypillinen projekti Insinööritoimisto Pöysälä & Sandberg Oy:lle. Pöysälä & Sandberg vastaa kohteen rakennesuunnittelusta, jolloin projektin laskenta voidaan toteuttaa käyttämällä laskentaprosessia. Projektin päätoteuttajana ja rakennuttajana toimii Rautaruukki Oyj, jonka Ruukki Construction Ylivieskan konepajan tiloja laajennetaan rakentamalla olemassa olevan tuotantohallin yhteyteen laajennusosa. Laajennettavan osan pinta-ala on 3160 m^2 ja tilavuus 40000 m^3 . Kohde sijaitsee Ylivieskan keskustaajaman alueella.

Kohteen runko toteutetaan teräsrakenteisena ja se perustetaan betonisilla pilarianturoilla kantavan perusmaan varaan. Laajennettavan osan kantavat rakenteet muodostuvat teräspilareista ja katon pääkannattajista. Jäykistesauvat ovat teräsputki-profiileja ja valssattuja avoprofiileja. Katon sekundäärirakenne muodostuu katto-orsina toimivista valssatuista I-profiileista. Hallin seinän alaosat ovat lämpöeristettyjä betonielementtejä ja yläosiltaan poimulevypintaisia c-kasettiseiniä.

Koska hallissa tullaan käsittelemään raskaita teräsosia, niiden siirtelyyn hallissa tarvitaan kolme 16 tonnin nosturia sekä olemassa olevan hallin puolelle lisätään yksi 30 tonnin nosturi. Lisäksi laajennusosan katolle sijoitetaan IV-konehuone, mitat ovat $12 \times 10 \times 4$ metriä (lxbxh).

Rakennustyöt kohteessa pyritään aloittamaan huhtikuussa 2007. Laajennusosa tullaan ottamaan tuotannolliseen käyttöön syyskuun alusta 2007.

Case Ylivieskassa sovellettiin tutkintotyön mukaista laskentaprosessia jo aikaisemmin tehtyihin rakennelaskelmiin. Mitoitusosiossa rajoitettiin esimerkkien määrä kahteen. Laskelmat tehtiin perustuksesta ja pilarista. Case Ylivieska jo yksinään osoitti sen, että prosessimaisella toteutustavalla päästään aikaisempaa parempaan lopputulokseen.

9 YHTEENVETO

Tutkintotyö valmistui projektin alussa asetetussa aikataulussa, joka mahdollistaa myös projektin seuraavien vaiheiden toteutumisen suunnitellussa aikataulussa. Projektin viitoittamat tavoitteet tutkintotyölle täyttyivät mielestäni hyvin lukuun ottamatta sitä, että esimerkkinä toimiva Case Ylivieska jäi alkuperäistä suunnitelmaa hieman suppeammalle tasolle.

Case Ylivieskan avulla saatiin kokemuksia alustavan laskentaprosessin soveltuvuudesta käytäntöön. Suurin osa kokemuksista oli positiivisia, sillä prosessin myötä syntyvät asiakirjat saatiin dokumentoitua kansioon loogiseen järjestykseen, josta ne projektin aikana sekä myöhemmin löytyvät helposti. Osa kokemuksista osoitti kuitenkin, että prosessissa oli vielä puutteitakin. Projektin aikana havaitut puutteet prosessissa käytiin läpi kokouksissa, joiden jälkeen korjaus tehtiin sekä prosessiin että esimerkkiin.

Vasta laskentaprosessin käyttö erilaisissa projekteissa osoittaa sen kaikki puutteet ja ansiot, sillä tehdyssä esimerkissä ei kaikkia laskennan erikoisuuksia käyty läpi. Esimerkkiä tullaan kuitenkin laajentamaan siten, että se ottaa huomioon erikoisemmatkin ratkaisut, vaikka tutkintotyö on saatu päätökseen.

Projekti etenee siten, että seuraavan toteutusvaiheen tehtävänä on tuottaa aineistoa Pöysälä & Sandbergin toimintajärjestelmään. Tämän jälkeen käyttöönottovaiheessa tuotetaan koulutusaineisto, jonka avulla toimeenpannaan vaiheittainen henkilöstön koulutus sekä prosessin käyttöönotto. Projektisuunnitelman mukaan projektin viimeinen vaihe tulee saada päätökseen vuoden 2007 aikana, jonka jälkeen ainoastaan seurataan käyttöönoton etenemistä.

Tutkintotyötä tehdessäni syntyi kokonaiskuva siitä, mitä laskentaprosessi pitää sisällään ja miten tämän prosessin tulee toimistossa edetä. Suurimpana haasteena tulee varmasti olemaan laskentaprosessin käyttöönotto, sillä sen tuomat muutokset laskennan kulkuun voivat vanhoihin rutiineihin tottuneille suunnittelijoille olla aluksi vaikei-

ta. Tämän vuoksi koulutusaineiston laatuun on panostettava, jotta kaikkien suunnittelijoiden siirtyminen uuden järjestelmän pariin olisi mahdollisimman joustavaa.

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet

1. Anttila, Pirkko, Käsityön ja muotoilun teoreettiset perusteet. Minerva 1996.
2. Rakenteiden suunnitteluperusteet SFS-EN 1990. Suomen Standardoimisliitto SFS ry 2002.
3. RIL 229-1-2006 Rakennesuunnittelun asiakirjaohje tekstiosa. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2006.
4. Särkijärvi, Jouni, Suomen rakentamismääräyskokoelma A2 rakennuksen suunnittelijat ja suunnitelmat. Ympäristöministeriö 2002.

Painamattomat lähteet

5. Jyrkkä, Risto, Auditointiraportti kehitystoimia varten. Pöysälä & Sanberg Oy. Oulu 2006
6. Tourula, Tuomo, Projektisuunnitelma peruslaskenta. Pöysälä & Sanberg Oy. Oulu 2007

Sähköiset lähteet

7. A&S Virtual Systems Oy. [Www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: <http://www.virtualsystems.fi/fin/robot.htm>
8. A&S Virtual Systems Oy. [Www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: <http://www.virtualsystems.fi/fin/staad.htm>
9. Eurokoodi help desk. [Www-sivu]. [viitattu 22.11.2006] Saatavissa: <http://www.eurocodes.fi/index.fi>
10. Isomäki, Mika, Matala-asteisia kolmioelementtejä kuoritehtäville. [Pdf -tiedosto]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: http://math.tkk.fi/~jakke74/WebFiles/MI_DT_2004.pdf
11. Kotkanen, Jukka, Suunnittelussa käytettyjen ohjelmistojen kuvaukset. [Www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: <http://www.kolumbus.fi/jukka.kotkanen/dippa/dwapp1.html>

12. Käkelä, Minna, Toiminnan kuvaaminen kehittämisen lähtökohtana. [Power point-esityelmä]. Oulun yliopisto. [viitattu 1.1.2007] Saatavissa:
<http://www oulu.fi/docs/Toiminnan%20kuvaaminen%20kehittamisen%20lahtokoh tana.ppt>
13. Närhi, Pauli, Ohjelmat. [Www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa:
<http://www.inspnarhi.fi/>
14. Sormunen, Raimo, Siltojen rakennelaskelmat. [Pdf -tiedosto]. Tielaitos 1992. [vii-
tattu 2.1.2007] <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/silral92.pdf>
15. Tekla Oyj. [Www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa: <http://www.tekla.com>
16. Tuurala, Timo, Prosessit, prosessiorganisaatio ja prosessinohjaus. [Www-sivu].
Laatuakatemia. [viitattu 14.1.2007] Saatavissa:
<http://www.kotiposti.net/tuurala/prosessit.htm>
17. Zenex Computing Oy. [Www-sivu]. [viitattu 10.4.2007] Saatavissa:
<http://www.mathcad.fi>