



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

KORKEAN RAKENNUKSEN RUNGON STABI- LITEETTILASKENNAN TEHTÄVÄLUETTELO RAKENNESUUNNITTELUN ERI VAIHEISSA

Taneli Autio

Opinnäytetyö
Toukokuu 2018
Rakennustekniikka
Talonrakennustekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka
Talonrakennustekniikka

TANELI AUTIO:

Korkean rakennuksen rungon stabiliteettilaskennan tehtäväluettelo rakennesuunnittelun eri vaiheissa

Opinnäytetyö 63 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Toukokuu 2018

Tämä opinnäytetyö tehtiin Sweco Rakennetekniikalle kehittämään ja tehostamaan korkeiden rakennusten stabiliteettilaskennan prosessia. Opinnäytetyön tavoitteena oli jäsenellä rakennushankkeen stabiliteettilaskennan prosessi ja esitellä korkean rakennuksen suunnitteluun liittyvät erityispiirteet. Työn lopputuotteena toteutettiin stabiliteettilaskennan ohjekortti korkeaan rakentamiseen. Opinnäytetyössä kartoitettiin yrityksen sisäisin haastatteluin korkean rakentamisen rakennushankkeiden ongelmakohtia sekä stabiliteettilaskennan prosessin tehtäviä vaiheittain. Stabiliteettilaskennan eri vaiheiden tehtäviä kartoitettiin myös rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK12:sta.

Haastattelujen perusteella korkean rakentamisen hankkeiden ongelmaksi todettiin stabiliteettilaskennan osalta aikataulun pitämättömyys. Hankkeen yleistä aikataulua oltiin joko edellä tai jäljessä. Aikataulun edellä olemisesta aiheutuu muutoksia jo tehtyihin suunnitelmiin ja rakenteisiin. Aikataulusta myöhästymisen aiheuttaa pahimmillaan projektin viivästymisen ja kustannusten nousua.

Opinnäytetyön lopputuotteena toteutettiin ohjekortin muodossa stabiliteettilaskennan tehtäväluettelo. Ohjekortti noudatti rakenteeltaan rakennesuunnittelun tehtäväluettelon RAK12 rakennetta. Ohjekortti jäsenteli korkean rakennuksen stabiliteettilaskennan erityispiirteet ja esiteli staatikon tehtävät rakennushankkeen eri vaiheissa. Ohjekortissa käsiteltiin ehdotussuunnittelu-, yleissuunnittelu- sekä toteutussuunnitteluvaihe.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Building Construction

TANELI AUTIO:

Worklist for Stability Design of a Tall Building Frame in the Various Stages of Structural Design

Bachelor's thesis 63 pages, appendices 6 pages
May 2018

This thesis was created for Sweco Structural Engineering to develop and enhance stability designing process of tall buildings in the company. The target of the thesis was to itemize the process of stability design in building projects and present the special characteristics of tall building design. Interviews were conducted in the company to analyse to problematics encountered in tall building construction projects. The tasks done in the various phases of the stability design process, also on basis of the RAK12 guideline.

According to the interviews, inaccurate scheduling of stability design is a major problem in tall building construction projects. The stability design was either done before or after the planned time in the overall project schedule. Being ahead of the timetable causes changes to plans and structures that were already made. Being late causes project delays and some increase in prices.

A check list for the stability design process was implemented as the outcome of this thesis. The structure of the check list follows the structure of the structural design task list RAK12. The function of the check list was to itemize the special characteristics of the stability design process in tall building projects, and to present the tasks of the structural engineer in the various phases of the building project. Proposal design phase, general design phase and implementation design phase are presented on the check list.

Key words: stability, bracing, tall building

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
1.1	Työn taustat.....	8
1.2	Työn rajausta.....	8
1.3	Työn rakenne.....	9
2	KORKEAN RAKENNUKSEN SUUNNITTELUPROSESSI.....	10
2.1	Rakennushankkeen kulku ja osapuolet.....	10
2.1.1	Tarveselvitysvaihe.....	11
2.1.2	Hankesuunnitteluvaihe.....	12
2.1.3	Suunnitteluvaihe.....	12
2.1.4	Rakentaminen ja käyttöönotto.....	14
2.1.5	Rakennushankkeen osapuolet.....	14
2.2	Korkea rakentaminen ja sen erityispiirteet.....	16
2.2.1	Korkean rakennuksen määrittely.....	18
2.2.2	Korkea rakentaminen.....	19
2.2.3	Värähtely.....	21
2.2.4	Tuulitunnelikoe ja tuulisimulaatio.....	25
2.2.5	Hybridirakentaminen.....	27
2.3	Rakennusrungon stabiilitetti.....	28
2.3.1	Stabiilitetilaskennan menetelmät.....	28
2.3.2	Alustavan suunnittelun laskentamenetelmät.....	29
2.3.3	Elementtilaskentamenetelmä.....	31
2.4	Runko- ja jäykistysjärjestelmät.....	34
3	STABILITEETILASKENNAN PROSESSI.....	41
3.1	Ehdotussuunnitteluvaihe.....	42
3.1.1	Lähtötiedot.....	43
3.1.2	Suunnitteluvaihtoehdot.....	43
3.1.3	Jatkosuunnittelun reunaehdot.....	44
3.1.4	Muut tehtävät.....	45
3.1.5	Lopputulokset.....	46
3.2	Yleissuunnitteluvaihe.....	48
3.2.1	Lähtötiedot.....	48
3.2.2	Laskentatehtävät.....	49
3.2.3	Runkorakenteiden yleissuunnittelu.....	50
3.2.4	Muut tehtävät.....	51
3.2.5	Lopputulokset.....	52
3.3	Toteutus suunnitteluvaihe.....	54

3.3.1	Lähtötiedot	55
3.3.2	Rakennesakohtaiset laskelmat.....	55
3.3.3	Lopputulokset.....	56
4	OHJEKORTTI.....	59
5	POHDINTA.....	60
	LÄHTEET.....	62
	LIITTEET	64
	Liite 1. Ohjekortti	64

MÄÄRITELMÄT, LYHENTEET JA TERMIT

Määritelmät

Arkkitehti	Suunnitteluryhmän jäsen, joka vastaa rakennussuunnittelusta ja toimii yleensä hankkeen pääsuunnittelujana.
Dynaaminen kuorma	Kuorma, joka aiheuttaa rakennukseen kiihtyvyyssrasituksia.
Normi	Määritelmä siitä, miten jokin asia tulisi tehdä. Voi sisältää sekä velvoittavia, lain luonteisia määräytyksiä, että viitauksia ohjeellisiin standardeihin.
Standardi	Jonkin organisaation esittämä kirjallinen suositus siitä, miten jokin asia tulisi tehdä.
Käyttörajatila	Kuormitustila, jonka ylittämisen jälkeen rakenteelle tai rakenneosalle asetetut kelpoisuusvaatimukset eivät enää täyty.
Murtorajatila	Rakenteen kantokyvyn menettämiseen liittyvä tila.
Projektipäällikkö	Projektin johtaja, joka vastaa projektin tavoitteiden saavuttamisesta.
Staatikko	Suunnitteluryhmän jäsen, joka vastaa rakenteiden vakavuuslaskelmista.
Staattinen kuorma	Kuorma, joka ei aiheuta merkittävää rakenteen tai rakenneosan kiihtyvyyttä.
TATE-installaatio	Talotekninen valmisosajärjestelmä.
3D-malli	Kolmiulotteinen tietokoneohjelmalla muodostettu malli.

Lyhenteet

CFD	virtuaalilaskenta (engl. Computational Fluid Dynamics)
eKr	ennen Kristuksen syntymää
FEM	lujuuslaskentamenetelmä (elementtimenetelmänalyysi) (engl. Finite element method)
Hz	Hertsi
m	metri
mm	millimetri
m/s^2	kiihtyvyys
kN	kilonewton
TATE	Talotekniikka

Termit

b	rakennuksen leveys (m)
c_f	voimakerroin
E	kimmokerroin (MPa)
EI	taivutusjäykkyys (MN/m ²)
F	voimavektori (N)
$\Phi_{1,x}$	alin tuulensuuntaisen värähtelyn ominaismuoto
H	rakennuksen korkeus (m)
H_i	rakennuksen kerroksen korkeus (m)
h_2	rakennuksen jäykistävän tornin korkeus (m)
I	jäyhyysmomentti (mm ⁴)
I_v	tuulenpuuskan intensiteetti
K	rakenteen jäykkyysmatriisi
K^{-1}	rakenteen jäykkyysmatriisin käänteismatriisi
K_x	dimensioton kerroin
k_e	elementin jäykkyysmatriisi
k_p	huippuarvokerroin
$m_{1,x}$	ekvivalentti massa tuulen suuntaisessa värähtelyssä alimmalla ominaistajajuudella
n_1	rakennuksen ominaistajajuus (Hz)
P	pistekuorma rakennuksen yläreunassa käyttötilassa (kN)
q	rakennukseen vaakakuorma käyttötilassa, sisältäen tuulen ja lisävaakavoiman (kN/m ²)
q'	$b * q$ (kN/m ² /m)
ρ	ilman tiheys (kg/m ³)
R	resonanssivasteen vaikutusparametrin neliöjuuri
$\sigma_{a,x}$	kiihtyvyyden ominaisarvon keskihajonta tuulen suunnassa (m/s ²)
σ_{max}	kiihtyvyyden huippuarvo (m/s ²)
Σ	summamerkki
U	siirtymävektori (mm)
V_m	tuulennopeuden modifioitu perusarvo (m/s)
z_s	nopeuspainekorkeus (m)

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kuvata korkean rakentamisen erityispiirteet suomalaisessa rakennuskannassa ja jäsenellä korkean rakennuksen stabiliteettilaskennan prosessi. Työssä stabiliteettilaskennan prosessi on jaettu rakennesuunnittelun tehtäväluetelo RAK12 mukaisiin kolmeen eri vaiheeseen; ehdotussuunnittelu-, yleissuunnittelu- ja toteutussuunnitteluvaiheeseen.

1.1 Työn taustat

Tämä opinnäytetyö on tehty Sweco Rakennetekniikalle kehittämään ja tehostamaan korkeiden rakennusten stabiliteettilaskennan prosessia. Opinnäytetyössä on kartoitettu yrityksen sisäisten haastatteluiden perusteella stabiliteettilaskentaan liittyviä ongelmakohtia. Haastatteluissa todettiin suurimmaksi suunnitteluprosessin aikaiseksi ongelmaksi aikataulun pitämättömyys. Hankkeen alkuvaiheissa yleistä aikataulua ollaan joko edellä tai jäljessä. Hankkeen aikataulusta jälkeen jääminen aiheuttaa projektin viivästymisen ja kustannusten nousua. Yleistä aikataulua edellä oleminen aiheuttaa suurella todennäköisyydellä muutoksia jo tehtyihin suunnitelmiin.

1.2 Työn rajaus

Tässä opinnäytetyössä keskitytään Suomen rakennuskannalle tyypillisiin 16–32 kerroksisiin asuin- ja toimistorakennuksiin. Rajaus on asetettu, koska Suomessa on suhteellisen vähän osaamista ja kokemusta korkeampien rakennusten rakentamisesta ja suunnittelusta. Lisäksi rajauksen sisään menevät rakennukset on mahdollista toteuttaa Suomessa tavanomaisilla runko-, rakennus- ja jäykistysjärjestelmillä. Opinnäytetyössä oletetaan, että yli 32 kerroksisten rakennusten suunnittelussa joudutaan käyttämään tavanomaisesta suomalaisesta rakennustavasta poikkeavia runko- ja jäykistysjärjestelmiä, jotta varmistetaan rakennuksen rungon vakavuus. Lisäksi työ on rajattu koskemaan ainoastaan tasapaksuja rakennuksia. Niin sanottuja A mallisia rakennuksia ei tässä työssä käsitellä.

Suurin osa Suomessa rakennetuista ja rakennettavista korkeista asuin- ja toimistorakennuksista on jäykistetty käyttäen mastojäykistysjärjestelmää. Joissain tapauksissa mastojäykistysjärjestelmä yhdistetään kantaviin ulkoseinäelementteihin. Tässä opinnäytetyössä keskitytään kuitenkin Suomessa yleisimpään korkeiden rakennusten jäykistysjärjestelmään eli mastojäykistysjärjestelmään.

1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyö on jaettu rakenteeltaan kahteen pääosaan, jotka ovat kirjallisuusosa ja tutkimusosa. Työn kirjallisuusosassa luvussa kaksi käsitellään korkean rakennuksen suunnitteluprosessia yleisellä tasolla. Aluksi luvussa perehdytään yleisesti rakennushankkeen kulkuun ja eri vaiheisiin sekä esitellään rakennushankkeen osapuolet. Luvussa käsitellään, mitä tarkoittaa korkea rakennus ja esitellään korkean rakentamisen erityispiirteitä, joita matalassa rakentamisessa ei tavanomaisesti esiinny, eikä huomioida. Luvussa esitellään käytetyimmät stabiliteetilaskentamenetelmät sekä lopuksi luvussa tehdään kirjallisuusselvitys Suomessa korkeassa rakentamisessa yleisimmin käytetyistä runko- ja jäykistysjärjestelmistä.

Tutkimusosassa luvussa kolme käsitellään korkean rakentamisen stabiliteetilaskennan kulku vaiheittain. Luvussa esitellään stabiliteetilaskennan hankaluudet ja haasteet sekä otetaan kantaa staatikolta vaadittaviin ominaisuuksiin. Luvussa esitellään edellä mainitut stabiliteetilaskennan vaiheet, niiden määritelmät ja vaihekohtaiset staatikon työn lähtötiedot, tehtävät sekä lopputulokset.

Luvussa neljä esitellään opinnäytetyön lopputuotoksena toteutettu stabiliteetilaskennan ohjekortti. Luvussa kerrotaan ohjekortin käyttötarkoitus, rakenteeseen liittyvät erityispiirteet sekä otetaan kantaa, kenelle ohjekortti on tarkoitettu. Lopuksi luvussa viisi pohditaan työn tuloksia, tavoitteiden saavuttamista ja arvioidaan oman työn onnistumista.

2 KORKEAN RAKENNUKSEN SUUNNITTELUPROSESSI

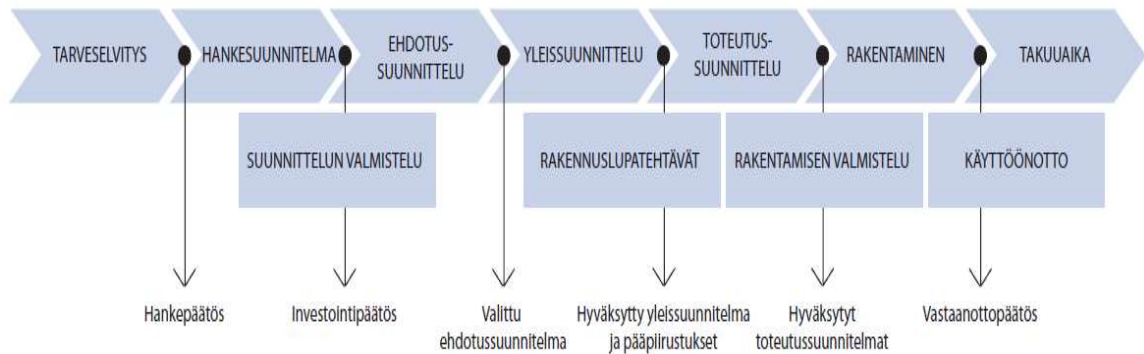
Tässä luvussa jäsenellään korkean rakennuksen suunnittelun prosessi ja määritellään korkea rakentaminen Suomessa. Aluksi käydään läpi yleisesti tavanomaisen talonrakennushankkeen kulku vaiheittain, esitellään tavanomaisimmat rakennushankkeen osapuolet ja käydään läpi eri osapuolten tehtävät rakennushankkeen aikana. Rakennushanke on jaettu tässä luvussa rakennesuunnittelun tehtäväluettelon RAK12 mukaisiin vaiheisiin. Luvussa määritellään korkean rakentamisen erityispiirteet Suomessa. Luvussa perehdytään yleisesti rakennuksen rungon stabiiliuden ja stabiiliteetin määrittämiseen sekä käsitellään yleisimmin käytettyjä stabiiliteetilaskennan menetelmiä. Lopuksi luvussa kerrotaan Suomessa rakennettujen ja rakennettavien korkeiden rakennusten yleisimmin käytössä olevista runko- ja jäykistysjärjestelmistä.

2.1 Rakennushankkeen kulku ja osapuolet

Rakennushankkeeseen ryhtyminen on usein suuri yksittäinen investointi yrityksen, yrittäjän tai yksityisen henkilön elinkaaren aikana. Tästä syystä rakennushankkeeseen ryhtyessä on selvitettävä tarkkaan rakennushankkeen tavoitteet, tarpeet ja vaatimukset, jotta lopullisen hankkeen lopputulos täyttää asiakkaan asettamat vaatimukset parhaalla mahdollisella tavalla. Rakennushankkeen tavoitteena voivat olla hyvin tapauskohtaisia ja yksilöllisiä eri hankkeiden välillä. Yhteistä kaikille rakennushankkeille on kuitenkin se, että tavoitteena on pyrkiä kehittämään tai tehostamaan yrityksen toimintaa, palveluita tai prosessia yrityksen, kuluttajan tai molempien kannalta. Rakennushanke voi olla uudisrakennuskohde tai vanhan tilan muutuskorjaamishanke, jolla pyritään vastaamaan muuttuneen toiminnan tarpeisiin.

Yleisesti rakennushanke jaetaan viiteen eri vaiheeseen. Rakennushankkeen vaiheet ovat aikajärjestyksessä tarveselvitys-, hankesuunnittelu-, rakennussuunnittelu-, rakentamis- ja käyttöönottovaihe, jonka jälkeen alkaa varsinainen rakennuksen käyttö. Lisäksi rakennussuunnitteluvaihe voidaan jakaa tarkemmin useampiin eri vaiheeseen, jotka ovat ehdotussuunnitteluvaihe, yleissuunnitteluvaihe ja toteutussuunnitteluvaihe. Rakennushankkeen vaiheittainen kulku on esitetty aikajärjestyksessä alla olevassa kuviossa (Kuvio 1).

Suunnitteluvaiheen kanssa samanaikaisesti suoritetaan suunnittelutyötä valmistelevia tehtäviä sekä rakennusluvan hankkimiseen liittyviä tehtäviä. (RT 10-11224 2016, 1.)



Kuvio 1. Talonrakennushankkeen kulku (RT 10-11224 2016, 1)

2.1.1 Tarveselvitysvaihe

Rakennushankkeen tarveselvitysvaiheessa tärkeimpänä asiana on perustella tilanhankinnan tarpeellisuus (RT 10-11128 2013, 2). Koska investointi on usein suuri, täytyy asiakkaan olla täysin varma tilojen tarpeellisuudesta. Tarveselvitysvaiheessa kuvataan hankittavissa tiloissa tapahtuvat toiminnot ja tarvittavat tilat mahdollisimman tarkasti. Toimintoilla tarkoitetaan konkreettisia tehtäviä, joita uusissa tiloissa suoritetaan. Toimintojen ja tilojen määrittäminen on tärkeää, jotta asiantuntijaorganisaatio saa riittävän tarkan käsityksen alkaa suunnitella alustavasti eri vaihtoehtoja rakenteellisille ratkaisuille. Asiakkaan kanssa on hyvä keskustella nykyisten tilojen puutteista ja vahvuuksista, jos asiakkaalla on olemassa toiminnalleen tilat jo entuudestaan. Se saa asiakkaan miettimään, mitkä asiat ovat tärkeää muuttaa tai säilyttää uusissa tiloissa. Lisäksi tarveselvitysvaiheen selvityksessä tutkitaan eri vaihtoehtot, jotka tyydyttävät asiakkaan linjaamat tarpeet ja arvioidaan eri vaihtoehtojen edullisuus. Vaihtoehtoja voi olla muun muassa uuden toimitalan rakennuttaminen tai vanhan, jo olemassa olevan toimitilan muuttaminen vastaamaan asiakkaan nykyisiä tarpeita. Tarveselvitysvaiheessa rakennesuunnittelijan tehtävät ovat luonteeltaan alustavia tehtäviä, jotka liittyvät pääasiassa erilaisten rakenneratkaisujen ja -järjestelmien alustavaan selvittämiseen (RT 10-11128 2013, 2). Lisäksi rakennesuunnittelijan tehtäviä voivat olla alustavien kustannusennusteiden määrittäminen ja oman kannan kertominen rakentamisaikatauluun rakennetekniikan kannalta. Tarveselvitysvaiheen lopputuloksena on asiantuntijaorganisaation tekemä tarveselvitys ja asiakkaan kanssa tehty päätös jatkaa tai keskeyttää hanke, eli hankepääätös. (RT 10-11128 2013, 2.)

2.1.2 Hankesuunnitteluvaihe

Hankesuunnitteluvaihe on tarkentava vaihe tarveselvitykselle, jossa pyritään hakemaan tasapainoa hankkeen tavoitteiden ja lähtötietojen välille. Hankeselvitysvaiheessa on tarkoituksena määrittää tarkasti hankkeen laajuutta, toimivuutta, laatua, kustannuksia, aikataulua ja ylläpitoa koskevat tavoitteet sekä määritellä rakennuspaikka ja käytettävä rakennustapa. ”Hankesuunnittelussa laaditaan projektiohjelma, jossa esitetään hankkeen läpiviennille asetetut tavoitteet, sekä hankeohjelma, jossa esitetään hankkeen suunnittelulle asetetut tavoitteet.” (RT 10-11128 2013, 3). Hankesuunnitelman laatii rakennuttaja käyttäen apunaan suunnitteluorganisaation asiantuntemista. Hankesuunnitteluvaiheen lopputuloksena tai -tuotoksena toteutetaan hyväksytty hankesuunnitelma ja investointipäätös, kuten kuvio 1. osoittaa. Tässä hankkeen vaiheessa asiakkaalla on vielä mahdollisuus perääntyä ja keskeyttää hankkeen eteneminen. Investointipäätöksen hyväksymisen ja allekirjoittamisen jälkeen rakennuttaja ei voi ilman seuraamuksia perääntyä hankkeesta. Perusteltuja syitä hankkeen keskeyttämiselle ovat muun muassa hankkeen tavoitteiden ja resurssien epätasapaino. Hankkeen toteuttamiseen varattu budjetti on epärealistinen suhteessa tavoitteiden laajuuteen. Tilaajalla voi olla virheellinen käsitys hankkeen todellisista kustannuksista. (RT 10-11128 2013, 3.)

2.1.3 Suunnitteluvaihe

Rakennussuunnitteluvaiheessa suunnittelun tavoitteena on saavuttaa annettujen resurssien puitteissa paras mahdollinen laatu hankkeelle. Suunnitteluvaiheessa suunnittelutehtäviä vaikeuttavia tekijöitä ja riskiaihteita ovat usein muun muassa puutteelliset tutkimukset, epätäsmälliset tavoitteet, lähtötietojen vajavaisuudet, epärealistinen aikataulu ja kiire, muutokset, tiedon kulkemisen puute, resurssipula, osaamisen puute ja huolimattomuus. Haasteita aiheuttavia tekijöitä on valtavasti. Suunnitelmien tarkkuus ja oikeellisuus tavoitteiden täyttämisen kannalta on verrannollinen lähtötietojen tarkkuuteen. Tästä syystä edellä mainitut tarveselvitys ja hankesuunnittelu ovat tehtävä erityisen huolellisesti, jotta suunnittelussa voidaan huomioida kaikki tilaajan asettamat vaatimukset.

Suunnittelutyön alkuvaiheessa, tarkemmin sanottuna suunnittelun valmisteluvaiheessa organisoidaan suunnittelu ja tehdään päätös suunnittelun aloittamisesta. Suunnittelupää-

töksen tekeminen edellyttää suunnitteluorganisaation valitsemista. Tässä suunnittelunvaiheessa järjestetään mahdolliset suunnittelukilpailut. Suunnittelusopimuksessa määritetään muun muassa suunnittelutyön laajuus ja vaativuus. Kaikissa hankkeissa, mutta erityisesti poikkeuksellisen suurissa ja haastavissa suunnitteluhankkeissa on tärkeää tarkastaa suunnittelijoiden pätevyudet. Suunnitteluorganisaatio valitaan yleensä kilpailuttamalla ja valitun suunnitteluorganisaation kanssa tehdään tässä hankkeen vaiheessa tarvittavat suunnittelusopimukset. Valitun suunnitteluorganisaation kanssa sovitaan muun muassa suunnittelun aikataulutuksesta ja suunnittelukatselmuksista. Tässä vaiheessa on tärkeää, että aiemmissa hankkeen vaiheissa määritetyt hankkeen tavoitteet ja vaatimukset tarkastetaan ja määritellään suunnitteluorganisaatiolle suunnittelun lähtötiedoiksi. (RT 10-11128 2013, 4.)

Ehdotussuunnitteluvaiheessa suunnitteluorganisaatio tarkastaa saamansa lähtötiedot oikeiksi ja päteviksi, sekä raportoi tarvittavista lähtötiedoista ja puutteista. Tässä projektin vaiheessa laaditaan asetettujen tavoitteiden täyttämiseksi vaihtoehtoiset suunnitteluratkaisut. Vaihtoehtoisia suunnitteluratkaisuja on tilaajan kanssa ennalta sovittu määrä. Tilaaja osallistuu suunnitteluratkaisun valintaprosessiin yhdessä suunnitteluorganisaation kanssa ja tekee päätöksen suunnitteluratkaisun valinnasta. Valittu suunnitteluratkaisu siirretään pohjatedoksi jatkosuunnitteluvaiheisiin. (RT 10-11128 2013, 5.)

Ehdotussuunnittelua seuraa yleissuunnittelu, jonka aikana ehdotussuunnitelmaa kehitetään toteutuskelpoiseksi yleissuunnitelmaksi (RT 10-11128 2013, 7). Yleissuunnittelun alkuvaiheessa tehdään uudelleen lähtötietojen tarkistaminen ja tarvittaessa niitä päivittäminen. Samanaikaisesti yleissuunnittelun suunnitelmien perusteella suoritetaan rakennusluvan hakuprosessia. Yleissuunnittelun lopputuotoksena on hyväksytyt yleissuunnitelma ja pääpiirustukset, joita tarvitaan rakennuslupaa haettaessa.

Toteutussuunnittelussa yleissuunnitelmien pohjalta suunnitellaan rakentamisen ja hankkeen toteuttamisen edellyttämät yksityiskohtaiset tuotemääritelmät ja suunnitelmat (RT 10-11128 2013, 11). Toteutussuunnitteluun sisältyy yksittäisten rakennusosien suunnittelu ja järjestelmäsuunnittelu. Toteutussuunnittelun tuloksena laaditaan hyväksytyt toteutussuunnitelmat, joiden perusteella urakoitsija aloittaa hankkeen rakentamisen.

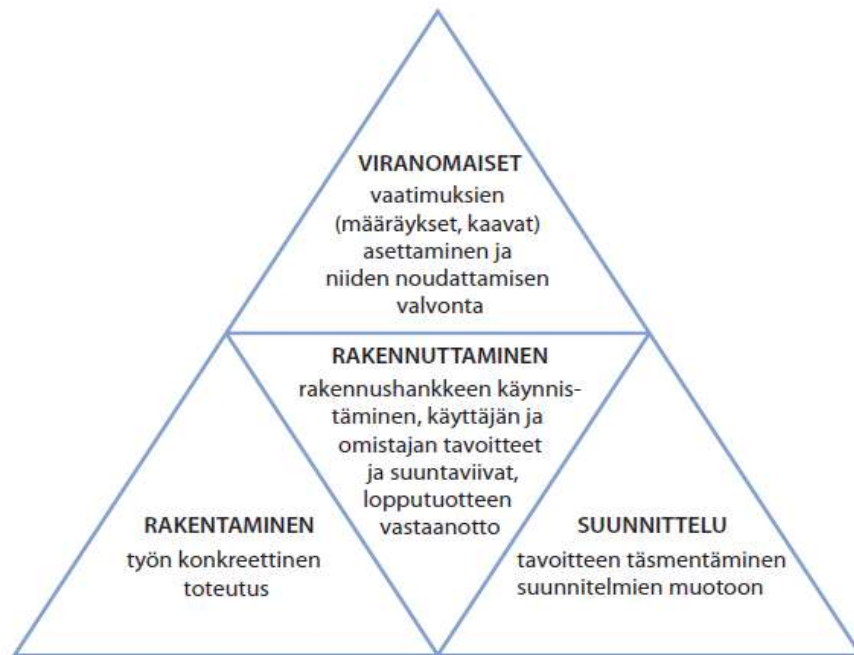
2.1.4 Rakentaminen ja käyttöönotto

Rakentamisvaiheen alkuvaiheessa organisoidaan rakentaminen ja valitaan urakoitsijat. Urakoitsijoiden valintaan liittyy sopimusneuvottelut ja urakka- ja hankintasopimusten laatiminen ja allekirjoittaminen. Rakennusvaiheessa valitut urakoitsijat rakentavat ja toteuttavat sopimusten mukaisen toteutuksen täyttäen vaaditut laatutavoitteet ja tilaajan asettamat vaatimukset. Viranomainen valvoo rakennussuoritusta koko rakennushankkeen ajan.

Käyttöönottovaiheessa varmistetaan kaikkien rakenneosien, täydennysosien ja teknisten laitteiden ja koneiden toiminta ja turvallisuus. Rakennus on oltava turvallinen ennen asiakkaiden saapumista käyttämään hankkeen tarjoamia palveluita. Jos käyttöönottotarkastuksessa huomataan jokin käyttöön liittyvä vajavaisuus, on tämä korjattava ennen käyttöönottoluvan myöntämistä. Käyttöönottotarkastuksen hyväksymisen jälkeen on rakennus valmis otettavaksi käyttöön. (RT 10-11128 2013, 27.)

2.1.5 Rakennushankkeen osapuolet

Rakennushanke on laaja projekti, joka edellyttää monien eri organisaatioiden yhteistyötä. Mitä saumattomampaa yhteistyö on, sitä sujuvampaa projektin läpivieminen on. Rakennushankkeen eri osapuolia ovat muun muassa rakennuttajaorganisaatio, omistajat, rahoittajat, lainsäätäjät ja viranomaiset, urakoitsijat, suunnittelijat, huoltomiehet ja käyttäjän tukipalveluyritykset, siivoajat sekä käyttäjät ja asiakkaat. Rakennushankkeen pääosapuolet voidaan kuvata pyramidimallin avulla neljään pääosaan jaettuna; rakentaminen, suunnittelu, rakennuttaminen ja viranomaiset. Hankkeen osapuolet on esitetty alla olevassa kuviossa (Kuvio 2.).



Kuvio 2. Rakennushankkeen osapuolet esitetty tehtäväryhmittäin (RT 10-11222 2016, 1)

Rakentaminen on hankkeen osa-alue, josta vastaavat pääurakoitsija, -urakoitsijat, sivu-urakoitsijat, aliurakoitsijat, osaurakoitsijat ja erityisalan urakoitsijat. Urakoitsijat vastaavat rakennushankkeen lopputuotteen konkreettisesta toteuttamisesta ja rakennuksen varsinaisesta rakentamisesta. On tavanomaista, että rakennushankkeessa on useita eri urakoitsijoita, joista kukin tekevät sopimusneuvotteluissa määritetyn osuuden työkokonaisuudesta. Urakkaan voi kuulua työn suorittamisen lisäksi muitakin vastuualueita, kuten suunnittelutehtäviä ja materiaalihankintoja. Yleisesti urakoitsijat valitaan järjestämällä urakkakilpailu, mutta mahdollisuus on myös käyttää neuvottelumenettelyä. Rakennushankkeen eri osapuolten välinen asema, tehtävät, vastuut ja velvollisuudet ja niiden laajuudet määritellään yksilöllisesti tehtävissä urakkasopimuksissa ja niiden liiteaineistoissa. (RT 10-11222 2016, 4–5.)

Tavallisesti rakennushankkeen suunnittelusta vastaa suunnitteluryhmä, johon kuuluu hankkeen laajuudesta riippuen tarvittavien suunnittelualojenalojen asiantuntijat. Yleisesti suunnitteluryhmään kuuluvia henkilöitä ovat muun muassa rakennesuunnittelun asiantuntija, LVI-suunnittelun asiantuntija, sähkösuunnittelun asiantuntija ja rakennussuunnittelun asiantuntija eli arkkitehti. Suunnitteluryhmän johtajana toimii pääsuunnittelija, joka on tavanomaisesti arkkitehti. Rakennushankkeessa suunnittelijat vastaavat omalla osa-alueellaan tehtävien suunnitelmien ja rakenneratkaisujen toimivuudesta ja oikeellisuudesta. (RT 10-11222 2016, 3–4.)

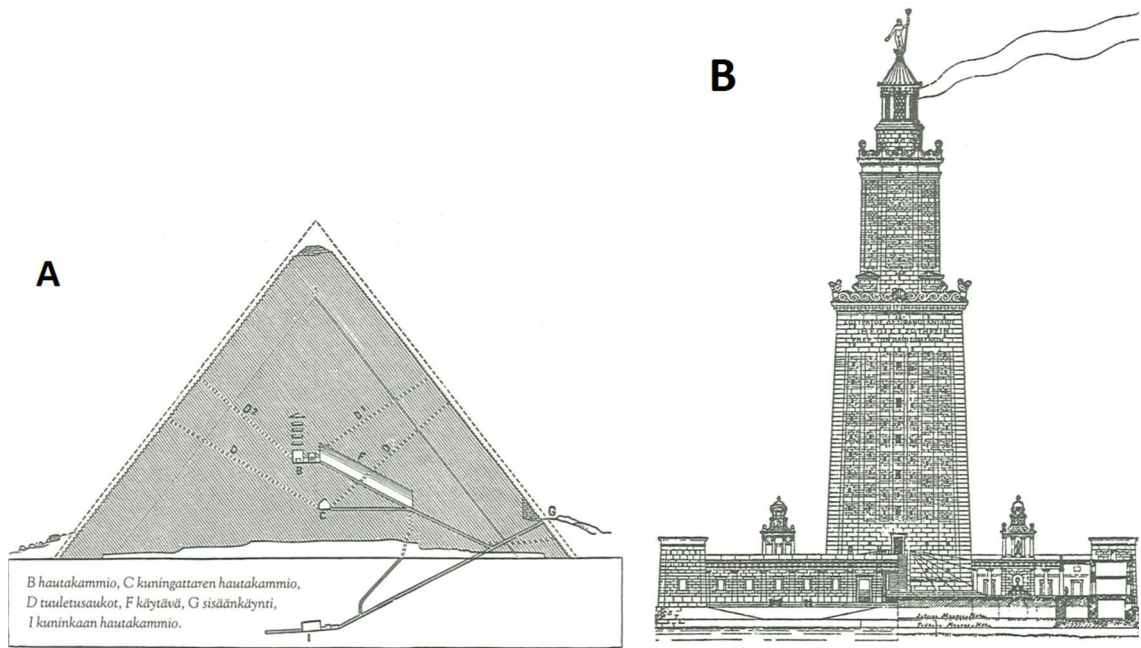
Rakennuttaja on rakennushankkeen käynnistäjä ja valmiin lopputuloksen vastaanottaja. Useimmissa rakennushankkeissa rakennushankkeen käynnistäjä, tilaaja ja rakennuttaja tarkoittavat samaa tahoja. Rakennushankkeeseen ryhtyvällä on rakennushankkeessa kaikista suurin vastuu. ”Rakennushankkeeseen ryhtyvällä tarkoitetaan viranomaisen näkökulmasta sitä luonnollista tai juridista henkilöä, jonka nimissä rakentamisen luvat haetaan.” (RT 10-11222 2016, 1.) Rakennuttajan vastuulla on muun muassa huolehtia, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan sillä hetkellä vallitsevien sääntöjen ja määräysten mukaisesti ja että, rakennussuunnittelussa ja työmaalla on pätevä henkilöstö työskentelemässä. Rakennushankkeeseen ryhtyvällä henkilöllä täytyy olla riittävät edellytykset rakennushankkeen läpiviemiseen ja toteuttamiseen. Jos rakennushankkeeseen ryhtyvä ei koe omien edellytysten täyttävän rakennushankkeen vaativuus huomioon ottaen riittäviä vaatimuksia, on rakennuttaminen mahdollista teettää kokonaan tai osin ulkoisen palveluntarjoajan apua käyttäen. (RT 10-11222 2016, 1.)

Viranomainen on hankkeessa ulkopuolinen valvoja. Viranomainen määrittelee jo rakennushankkeen alkuvaiheessa rakennuslupaa haettaessa, millaisin perustein rakennuslupa myönnetään. Rakennusvalvojaviranomainen valvoo rakennustoimintaa yleisen edun kannalta ja varmistaa, että rakentamistoiminnassa noudatetaan lain nojalla asetettuja sääntöjä, määräyksiä ja vaatimuksia. Konkreettisia valvontatehtäviä ovat muun muassa suunnittelijoiden ja työmaan johdon kelpoisuuden valvonta, suunnitelmien ennakkokatselmukset ja rakennuspaikalla rakennusaikana tehtävät katselmukset ja tarkastukset. (RT 10-11222 2016, 5.)

2.2 Korkea rakentaminen ja sen erityispiirteet

Korkeat rakennukset ovat kiehtoneet ihmisiä sivilisaation alusta alkaen. Näyttämisenhalu, imagosyyt ja kaupunkimatkailun kehittäminen ovat tuoneet maailmassa halun rakentaa korkeita rakennuksia. Korkeimman rakennuksen tittelistä jopa kilpaillaan. Maailmassa on rakennettu korkeita rakennuksia jo 1900-luvun alusta alkaen. Tällä hetkellä maailman korkeimmat rakennukset ulottuvat yli 800 metrin korkeuteen. Maailman korkein rakennus, Burj Khalifa ulottuu 828 metrin korkeuteen. Maailman historiassa korkeita rakennuksia on rakennettu jo paljon aikaisemminkin. Kheopsin pyramidi Egyptin Gizassa on rakennettu 2400 vuotta eKr, on korkeudeltaan 146 metriä ja on pystyssä edelleen. Toi-

nen historiallisesti vaikuttava rakennus oli niin ikään Egyptissä sijaitseva Faroksen majakka. Rakennuksen korkeus oli 120 metriä ja se rakennettiin noin vuonna 200 eKr. Majakka kuitenkin tuhoutui maanjäristyksessä noin vuonna 1200. On mielenkiintoista huomata, ettei Suomessa olla rakennettu tähän päivään mennessä yhtään Faroksen majakan korkuista asuinrakennusta. Kuinka kivet ja rakennusmateriaalit on tuohon aikaan siirretty 120 metrin tai 140 metrin korkeuteen? Luultavasti miesvoimin. Kuvassa 1. on esitetty havainnollistavat kuvat Kheopsin pyramidista ja Faroksen majakasta. (Meriläinen 2018.)



Kuva 1. Kuvassa A on Kheopsin pyramidi ja B on Faroksen majakka (Meriläinen 2018)

Hissin keksiminen noin vuonna 1850 oli edistysaskel korkean rakentamisen kehittymiselle. Tämän jälkeen korkea rakentaminen alkoi yleistyä maailmassa teräksen kehittymisen myötä. Suomalainen hissitekniikka on tänä päivänä maailman kehittyneintä. Suomessa korkea rakentaminen on kuitenkin vasta nyt 2000-luvulla yleistymässä. Tämä johtuu osittain kasvukeskusten väkiluvun jatkuvasta kasvamisesta ja asuntojen välittömästä tarpeesta keskustoihin ja taajamiin. Kun maa-alaa on keskustojen alueella vähän käytettävissä, on vaihtoehtona rakentaa korkeampia rakennuksia. Näin mahdollistetaan suurempien ihmismäärien asuttaminen tai työskenteleminen pienemmälle alueelle ja lähempänä palveluita. Suomessa korkeimmat asuinrakennukset kohoavat tällä hetkellä noin 100 m korkeuteen.

Kerrostalo on kerroksellinen, vähintään kaksikerroksinen, useita huoneistoja käsittävä rakennus, jossa eri huoneistojen tiloja on päällekkäin. Kaksikerroksiset pienkerrostalot voivat olla puu- tai betonirakenteisia, koska rakennuksen paloluokka on henkilömäärästä ja rakennuksen pinta-alasta riippuen P2 tai P3. Tyypillisesti pientalot kuuluvat paloluokkaan P3. Paloluokassa P2 asetetaan vaatimuksia rakennuksen kantaville rakenteille. P3 luokassa ei aseteta lainkaan vaatimuksia. Korkeammat, kuin kaksi kerroksiset kerrostalot ovat pääasiassa betonirakenteisia. Yli kahdeksan kerroksiset kerrostalot ovat aina paloluokan P1 rakenteita. Paloluokassa P1 asetetaan palonkestovaatimuksia kantaville rakenteille riippuen palokuormasta. Tästä syystä puukerrostalot eivät juurikaan ole yleistyneet Suomessa. Ei ole taloudellista rakentaa kantavia rakenteita puusta, koska ne joudutaan suojaamaan paloa vastaan. Betoni on palamaton materiaali ja toimii palotilanteessa hyvin. Kerrostalossa, joka on yli kolme kerroksinen, on oltava hissi. Lisäksi tulee olla vähintään kaksi poistumistietä.

2.2.1 Korkean rakennuksen määritelmä

Korkean rakennuksen määrittäminen on suhteellisen haastavaa, koska yksityiskohtaisia määrittystapoja ei ole. Missä menee korkean tai matalan rakennuksen raja, on tapauskohtainen tulkinta. Rakennuksen korkeus on helppo mitata tai kerroslukumäärä laskea, toisin kuin korkean rakennuksen määrittäminen. Yhtenä rajauksena korkean ja matalan rakennuksen välillä voidaan pitää, kun rakennuksen mitoitus vaatii staattisen tarkastelun lisäksi dynaamisen tarkastelun. Rakennusta voidaan myös pitää korkeana rakennesuunnittelijan kannalta siinä vaiheessa, kun rakennukseen kohdistuvien vaakakuormien suuruus rakennuksen kokonaiskuormitukseen nähden on huomattavan suuri. Esimerkiksi Helsingissä korkean rakennuksen määritelmä ei perustu mittamääriin tai laskennallisiin kerroslukuihin. Määritelmä perustuu kaupunkimaisemassa selkeään poikkeavuuteen. Korkea rakennus on kyseisellä alueella vaikuttava, ympäröivien rakennuksien korkeuksista selkeästi poikkeava tai kauas näkyvä rakennus. Suhteellisen matalakin rakennus voi näyttää sijainnistaan johtuen korkealta. (Stafford Smith & Coull 1991, 1; Korkea rakentaminen Helsingissä 2011, 5; Meriläinen 2018.)

Suomessa korkeimmat rakennukset kohoavat tällä hetkellä lähes sadan metrin korkeuteen ja ovat enintään 30 kerroksisia, eli noin 100 metriä korkeita. Tässä työssä keskitytään 16–32 kerroksisiin asuin- ja toimistorakennuksiin, koska Suomessa on suhteellisen vähän

osaamista ja kokemusta korkeampien rakennusten rakentamisesta ja suunnittelusta. Hyvin todennäköistä on, ettei suomeen tulla rakentamaan lähitulevaisuudessa yli 200 metriä korkeita rakennuksia. Lisäksi 16–32 kerroksinen rakennus on mahdollista toteuttaa Suomessa tavanomaisilla runko-, rakennus- ja jäykistysjärjestelmillä. Suomessa tavanomaisesti käytössä olleet runko-, rakennus- ja jäykistysjärjestelmät ovat esitelty alaluvussa 2.4 Runko- ja jäykistysjärjestelmät. Yli 32 kerroksisissa rakennuksissa joudutaan käyttämään tavanomaisesta poikkeavia runko- ja jäykistysjärjestelmiä, jotta varmistetaan rakennuksen vakavuus.

Korkeampien kuin 32 kerroksisten rakennusten haasteena on rakennuksen hoikkuuden kasvaminen ja vaakakuormitusten kasvaminen tuulikuorman johdosta. Rakennuksen tai rakenteen hoikkuudella tarkoitetaan tarkasteltavan kappaleen leveyden suhdetta korkeuteen. Vaakakuormat kasvavat myös korkean rakennuksen oman painon kasvaessa lisävaakavoiman johdosta. Lisävaakavoima on kuormitus, joka oletetaan vaikuttavaan rakenteisiin rakenteen vinoudesta, epäkeskisyyksistä ja perustusten epätasaisesta painumasta johtuen.

2.2.2 Korkea rakentaminen

Korkeiden rakennusten rakentaminen ja rakennuttaminen on tyypillisesti suhteessa kalliimpaa, kuin matalien rakennusten rakentaminen. Erikoisratkaisut, massiiviset rakenteet, näyttävä muotoilu ja arkkitehtuuri sekä suunnittelun ja rakentamisen haastavuus kohottavat kokonaiskustannuksia. Suomessa yleisenä periaatteena rakentamisessa on, ettei niin sanotusti tuhlata varoja turhaan. Suomessa on panostettu kustannustehokkaaseen rakentamiseen kautta ajan. Tänä on yksi syy siihen, miksi Suomen rakennuskanta on varsin matalaa ja arkkitehtuuriltaan linjakasta. Maailmalla rakennettujen korkeiden rakennusten tarkoituksena on olla maamerkkejä ja nähtävyyksiä. Useimmissa yli 300 metriä korkeissa rakennuksissa niin sanottu hyötykäyttöaste voi olla alle 2/3. Yli kolmannes rakennuksen korkeudesta on näyttävyyteen ja arkkitehtuuriin perustuvaa korkeutta. Tämä nostaa rakentamisen kustannuksia valtavasti. (Meriläinen 2018.)

Korkean rakennuksen rakentaminen on tavanomaisesta rakennushankkeesta poikkeava projekti. Yksinkertaisetkin työsuoritukset ja tehtävät muuttuvat haastaviksi, kun työskennellään yli 80 metrin korkeudessa. Rakentamisen turvallisuus on erityisesti huomioitava

korkeissa rakennushankkeissa. Kuva 2. havainnollistaa korkean rakentamisen poikkeuksellisia olosuhteita. Suomessa muutamat suuret rakennusyrietykset ovat keränneet kokemusta korkeiden rakennusten rakentamisesta. Tänä päivänä on mahdollista rakentaa korkeita rakennuksia osaamisen kannalta myös Suomessa.



Kuva 2. Taiwanissa sijaitsevan Taipei 101 rakentaminen käynnissä (Meriläinen 2018)

Nykypäivän arkkitehtuuri luo omat haasteensa rakentamiseen sekä suunnitteluun. Enää ei päde niin sanottu sokeritoppa malli (Meriläinen 2018). Sokeritoppa mallilla tarkoitetaan suorakaiteen muotoista ja tasapaksua rakennusta. Nykyään rakennukset ovat mitä erityisemmän muotoisia ja näköisiä. Pitkät ulokkeet ovat kiehtovia ja näyttäviä, mutta samalla erityisen haastavia toteuttaa korkeuksissa. Hyvänä esimerkkinä toimii tällä hetkellä olevat kalasataman tornitalot. Näyttävästä arkkitehtuurista johtuen rakentaminen on muodostunut tavanomaista haastavammaksi. Rakennuksen poikkileikkaus muuttuu noin 2/3 korkeudella maasta siten, että kaksi nurkkaa ovat ulokkeena. Kuvassa 3. on esitetty maisemakuva kalasataman tornitaloista. Rakentavalla yrityksellä oli haasteita kyseisten ulokkeiden toteuttamisessa. Kuinka saadaan tuettua ulokerakenne betonivalun ajaksi, kun valetaan yli 80 metrin korkeudessa? Tässä kyseisessä esimerkissä ulokkeen rakentaminen toteutettiin rakentamalla ulokkeen alapuolelle alempaan holviin tukeutuva niin sanottu laituri. Tämän tukirakenteen päältä rakennustöitä kyettiin jatkamaan.



Kuva 3. Kalasataman tornitalot (Meriläinen 2018)

2.2.3 Värähtely

Korkeaan rakentamiseen liittyy tyypillisiä erityispiirteitä, joita matalassa rakentamisessa ei ole tarpeen huomioida. Korkeiden rakennusten suunnittelussa on otettava huomioon muun muassa ihmisten herkkyydet aistia dynaamisia liikkeitä. Rakennuksen värähtely on dynaamista liikettä. Dynaamisia liikkeitä rakennuksille aiheuttavat tuulikuormat, onnettomuustilanteet kuten maanjäristykset, rakennuksen ympärillä kulkeva liikenne, koneet ja ihmisten toiminta rakennuksessa.

Rakennesuunnittelun kehittymisen sekä käytettävissä olevien materiaalien kehittymisen ja tehokkuuden kasvaminen ovat johtaneet rakennusten painon ja jäykkyyden pieneneeseen. Nykypäivän korkeissa rakennuksissa ei juurikaan käytetä raskaita muurattuja rakenteita julkisivuissa tai väliseinissä, jotka ovat aiemmin lisänneet tehokkaasti rakennuksen rungon jäykkyyttä. Nykyiset modernit rakennukset eli kevyemmät ja joustavammat korkeat rakennukset ovat alttiimpia dynaamisille kuormituksille kuin aiemmin rakennetut korkeat rakennukset. Dynaamiset jännitykset voivat olla paljon suurempia kuin staattiset

jännitysten arvot ja rakennuksen liikkeet voivat häiritä rakennuksen käyttäjiä (Stafford Smith & Coull 1991, 419). (Stafford Smith & Coull 1991, 419.)

Rakennuksen värähtelytarkastelun tarkoituksena on varmistaa, että rakennuksen värähtelyn ominaistajuus ja kiihtyvyydet ovat riittävän pienet. Rakennuksen liiallinen värähtely tekee rakennuksessa asumisesta, työskentelystä tai oleskelusta epämiellyttävää suurimmalle osaa ihmisiä. Kun värähtelylle aistiherkkä ihminen on korkeassa rakennuksessa ja tuuli puhaltaa voimakkaasti, tulee ihmiselle tunne, että rakennus heiluu, vaikka todellisuudessa liikettä ei tapahdu juuri ollenkaan.

”Liikkeet, jotka aiheuttavat psykologisia tai fysiologisia tuntemuksia käyttäjissä, voi tehdä muuten hyväksytystä rakenteesta epämiellyttävän rakennuksen asua” (Kihula 2010, 74). Ihminen aistii rakennuksen liikkeiden nopeuden ja kiihtyvyyden. Herkkä ihminen saattaa havaita $0,05\text{--}0,10\text{ m/s}^2$ kiihtyvyydellä tapahtuvan liikkeen. Suurin osa ihmisistä havaitsee $0,10\text{--}0,25\text{ m/s}^2$ kiihtyvyydellä tapahtuvan liikkeen. Tällaiselle liikkeelle pitkäaikainen altistuminen saattaa aiheuttaa altistujalle esimerkiksi pahoinvointia. Taulukossa 1. on kuvattu tarkemmin rakennuksen liikkeiden kiihtyvyyksien vaikutuksia ihmiseen. (Stafford Smith & Coull 1991, 454.)

TAULUKKO 1. Kiihtyvyyksien vaikutus ihmisiin (Stafford Smith & Coull 1991, 454)

Luokka	Kiihtyvyys [m/s^2]	Vaikutus
1	< 0,05	Ihminen ei havaitse kiihtyvyyttä
2	0,05–0,10	Herkät ihmiset saattavat aistia liikkeen, riippuvat esineet saattavat liikkua hieman
3	0,10–0,25	Suuri osa ihmisistä havaitsee liikkeen, voi vaikuttaa toimistotyöhön, pitkäaikainen altistuminen saattaa aiheuttaa pahoinvointia
4	0,25–0,40	Toimistotyö on vaikeata tai melkein mahdotonta, liikkuminen vielä mahdollista
5	0,40–0,50	Ihmiset aistivat liikkeen vahvasti, vaikeuksia kävellä normaalisti, seisova ihminen saattaa menettää tasapainonsa
6	0,50–0,60	Suuri osa ihmisistä ei pysty sietämään liikettä, kävely normaalisti mahdotonta
7	0,60–0,70	Ihminen ei pysty kävelemään tai sietämään liikettä
8	> 0,85	Tavarat alkavat kaatuilla ja ihmiset saattavat loukkaantua

Kaikkia rakennuksia ei tarvitse mitoittaa tuulikuorman dynaamisille vaikutuksilla. Suunnittelijan voi olla vaikeaa tietää suunnittelun alkuvaiheessa, tuleeko rakennus suunnitella dynaamisille kuormille (Kihula 2010, 74). ”Ohjeita annetaan esimerkiksi standardissa ASCE/SEI 7-05, missä sanotaan, että rakennus, minkä alin ominaistajuus on alle 1 Hz, pitää mitoittaa tuulen dynaamiselle vaikutukselle.” (Kihula 2010, 74.) Eurokoodissa SFS-EN 1990, A14.4. todetaan, että käyttöolosuhteissa rakennuksen käyttäjän mukavuus sekä rakenteen ja sen rakenneosien toimivuus tulee huomioida mitoituksessa. Edellä mainitussa kohdassa viitataan lisäohjeisiin EN 1991-1-1, EN 1991-1-4 ja ISO 10137. Eurokoodissa SFS-EN 1991-1-4 kaavalla F.2, voidaan määrittellä yli 50 m korkeille monikerroksisille rakennuksille alin ominaistajuuden arvo. Arvo on kuitenkin likimääräinen, eikä sen voida olettaa tuottavan riittävän oikeellista vastausta korkeiden rakennusten suunnittelussa. Kaava perustuu vuonna 1980 tehtyyn tutkimukseen ja sen virhemarginaali voi olla jopa $\mp 50\%$ (Betoniteollisuus ry. 2010a). Alla, kaavassa 1. on esitetty eurokoodin kaava F.2, jossa n_1 = ominaistajuuden likiarvo (Hz). Tyypillisesti korkeissa rakennuksissa rakennuksen ominaistajuus värähtelyssä on luokkaa 0,1–0,3 Hz (Kihula 2010, 75).

$$n_1 = \frac{46}{h} \quad (1)$$

jossa n_1 on ominaistajuus
 h on rakennuksen korkeus

Eurokoodi SFS-EN 1991-1-4 antaa valmiuden laskea tarkemman arvon tuulikuormasta aiheutuvalla kiihtyvyydelle. Kiihtyvyyden ominaisarvon keskihajonta tuulen suunnassa (m/s^2) saadaan kaavasta 2.

$$\sigma_{a,x} = \left[\frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot I_v(z_s) \cdot v_m^2(z_s)}{m_{i,x}} \right] * R * K_x * \Phi_{1,x}(z) \quad (2)$$

jossa c_f on voimakerroin
 ρ on ilman tiheys
 b on rakennuksen leveys
 $I_v(z_s)$ on tuulenpuuskan intensiteetti korkeudella $z = z_s$ maanpinnasta
 $V_m(z_s)$ on tuulennopeuden modifioitu perusarvo korkeudella $z = z_s$
 z_s on nopeuspainekorkeus

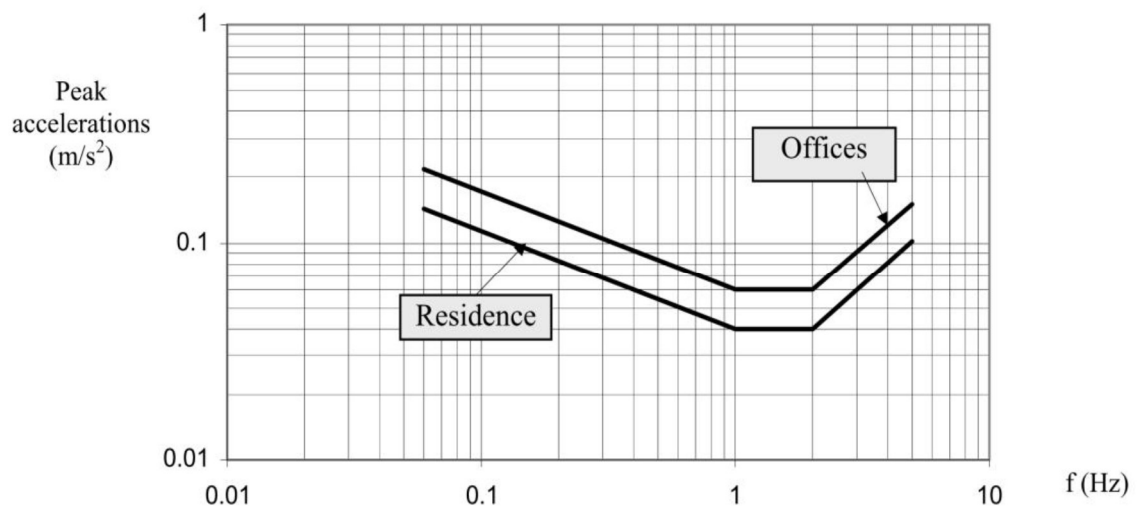
R	on resonanssivasteen vaikutusparametrin neliöjuuri
K_x	on dimensioton kerroin
$m_{1,x}$	on ekvivalentti massa tuulen suuntaisessa värähtelyssä alim- malla ominaistajuudella
$\Phi_{1,x}(z)$	on alin tuulensuuntaisen värähtelyn ominaismuoto

Kun kerrotaan kiihtyvyyden ominaisarvon keskihajonta huippuarvokertoimella, saadaan kiihtyvyyden huippuarvo kaavan 3. mukaisesti.

$$\sigma_{max} = k_p * \sigma_{a,x} \quad (3)$$

jossa k_p on huippuarvokerroin

Eurokoodissa ei ole annettu suoraan raja-arvoa värähtelylle, vaan on viitattu ISO-standardiin 10137. Kuvassa 4. on ISO-standardista 10137 löytyvä kuvaaja värähtelyn kiihtyvyyss-kriteereistä asuinkehostaloille ja toimistorakennuksille. Asuinrakennuksissa kiihtyvyyss-kriteerit ovat hieman tiukemmat verrattuna toimistorakennuksiin. Kuvaaja käyrät perus-tuvat vuosittain toistuvaan tuulennopeuteen ja siitä aiheutuvaan kiihtyvyyden huippuar-voon tietyllä ajanjaksolla. Kuvaajassa vaaka-akselilla on rakennuksen ominaistajuus (Hz) ja pystyakselilla huippuarvokiihtyvyys (m/s^2). (Kihula 2010, 76.)



Kuva 4. Värähtelyn kiihtyvyysskriteeri ISO 10137 mukaan (Kihula 2010, 76)

Korkeuden rakennusten suunnittelussa rakennuksen kokonaissiirtymät sekä kiihtyvyydet aiheuttavat usein ongelmia. Korkeassa rakentamisessa ja niiden suunnittelussa juuri värähtely ja käyttörajatilamitoitus ovatkin usein koko suunnittelun mitoittavia tekijöitä rakennuksen stabiliteetin kannalta. Rakenteiden kestävyys murtorajatilassa on huomattavasti suurempi kuin käyttörajatilamitoituksen vaatima mitoituskestävyys. Tästä syystä korkeiden rakennusten suunnittelussa värähtelymitoitus on ratkaisevassa asemassa.

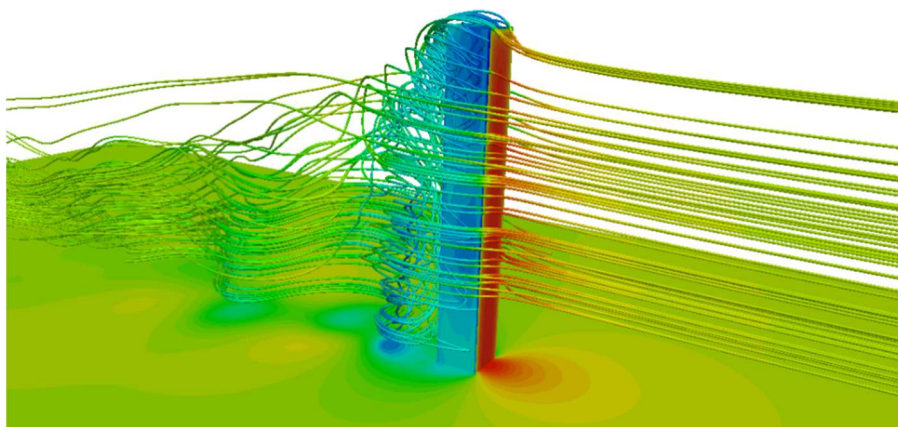
2.2.4 Tuulitunnelikoe ja tuulisimulaatio

Tuulikuorman määrittäminen perinteisellä menetelmällä korkeissa rakennuksissa on joissain tapauksissa epätarkka ja voi antaa tapauskohtaisesti liian pieniä rasituksia. Tavanomaisissa, poikkileikkaukseltaan suorakaiteen muotoisissa rakennuksissa on yleistä, että tuulitunnelikoe antaa pienempiä tuulikuorman arvoja kuin normien mukaan laskettu tuulikuorma. Tuulikuorman vaikutuksia on mahdollista tarkentaa käyttämällä apuna tuulisimulaatiota tai tuulitunnelikoetta. Esimerkiksi haastattelussa Veikko Leino (2018.) kertoi eräässä kohteessaan tuulitunnelikokeen antaneen odottamattomasti suurempia rasituksia, kuin perinteinen laskenta. Syyksi hän perusteli rakennuksen epäsymmetrisen poikkileikkausmuodon ja rakennuksen muodon muutoksen rakennuksen 2/3 korkeudella. Tuulitunnelikokeen perusteella rakennukselle aiheutui tuulikuormasta johtuen odotuksia suurempia vääntöjännityksiä. Yleisesti tavanomaisissa rakennuksissa tuulitunnelikokeen tuloksena on pienemmät tuulikuorman arvot kuin perinteisellä menetelmällä laskettaessa. (Leino 2018.)

Tuuli ja rakennuspaikan tuuliolosuhteet vaikuttavat korkeissa rakennuksissa moniin asioihin. Tuuli vaikuttaa kantavien rakenteiden mitoitukseen mitoittamiseen murtorajatilassa, esimerkiksi perustuksiin ja jäykistysjärjestelmän valintaan. Korkeissa rakennuksissa tuuli vaikuttaa rakennuksen ympärillä vallitseviin tuulusuolosuhteisiin, esimerkiksi katujen ja pihojen tuulimukavuuteen. Julkisivujen rakennefysikaalisissa ratkaisuissa on otettava huomioon tuulen aiheuttamat rasitukset, kuten paine ja viistosade. Lisäksi tuuli aiheuttama värähtely ja vääntö on otettava huomioon rakennesuunnittelussa. (Jalkonen 2018.)

Tuulisimulaatio on tuulikuorman laskentamenetelmä, jossa arvioidaan tuulen käyttäytymistä virtuaalisen mallinnusohjelman avulla. Laskennallinen CFD menetelmä on tehokas

työkalu rakennesuunnittelijan avuksi hallitsemaan rakennusten tuulikuormia (Churazova 2017). Ohjelmaan mallinnetaan tuulikuormituksen kannalta tärkeät elementit kuten maastonmuoto, ympäröivät rakennukset ja tuuliolosuhteet. CFD mallinnusmenetelmä on huomattavasti edullisempi kuin tuulitunnelikokeellinen tuulikuormienmäärittäminen. Kuvassa 5. on esitetty esimerkki CFD menetelmän tuottamasta näkymästä. CFD menetelmä ei ihan vielä ole siinä pisteessä, että sen avulla uskallettaisiin tehdä varsinaista tuulikuormaselvitystä, ainakaan Suomessa. Suomessa CFD menetelmää voidaan hyödyntää muun muassa vertailtaessa eri rakennusten muotojen vaikutusta tuulikuormiin. Lisäksi CFD menetelmällä tehdään tuulisuusselvityksiä tutkittaessa esimerkiksi katujen käyttömukavuutta korkeiden rakennusten ympärillä. (Kihula 2010, 64–65.)



Kuva 5. Tuulisimulaatio korkeasta rakennuksesta (Churazova 2017)

Tuulitunnelikoetta varten on rakennettava pienoismalli rakennuksesta. Kuvassa 6. on esitetty tuulitunnelikoe pienoismalli. Joissain tapauksissa tuulitunnelikokeellinen tuulikuormien määrittäminen on välttämätöntä. Esimerkiksi silloin, kun rakennuksen korkeus on yli 200 m. Normi kieltää soveltamisen yli 200 m korkeissa rakennuksissa. Tuulitunnelikokeen avulla voidaan ottaa suunnittelussa huomioon tuulikuorman todelliset vaikutukset rakennukseen. Vaikutuksia, joita kokeessa huomioidaan ovat muun muassa alueen sijainti, korkeussuhteet, paikalliset olosuhteet, elinkaaritarkastelu, ympäröivät rakenteet, vaarallisimmat olosuhteet ja rakennuksen geometria. Tuulitunnelikokeen avulla tutkitaan rakennuksen muodosta johtuvia kuormitushuippuja, rakennuksen dynaamisia ominaisuuksia sekä rakennuksen kokonaissiirtymiä. (Kihula 2010, 64–65.)



Kuva 6. Tuulitunnelikoetta varten rakennettu pienoismalli (Kihula 2010, 65)

2.2.5 Hybridirakentaminen

Korkean rakentamisen trendi on tuonut mukanaan rakenneterneisiä haasteita suunnittelijalle. Yksi nykypäivän haasteista on rakennuttajien halu yhdistellä eri rakennustyypppejä. Tällöin puhutaan hybridirakentamisesta. Hybridirakennuksessa voi yhdistyä esimerkiksi pysäköintitilat, asuintalo, toimistorakennus sekä hotelli.

Tyypillisesti eri rakennustyypeille soveltuu tietynlaiset runko ja rakenneratkaisut. Hybridirakentamisessa pyritään yhdistämään eri rakennetyypit toisiinsa. Esimerkiksi, tulevaisuudessa voidaan rakentaa kohteita, joissa rakennusten alimmissa kerroksissa on toimistotiloja ja parkkitilat, keskivaiheilla asuntoja ja ylimmissä kerroksissa hotelleja. Tällaiset vaatimukset aiheuttavat hankaluuksia suunnittelijalle. Asuin- ja hotellikerrostaloissa tyypillinen runkojärjestelmä on kantavat ulkoseinät ja laatta järjestelmä. Toimistorakennuksissa tyypillinen runkojärjestelmä on pilari-palkit-laatta -järjestelmä. Runkojärjestelmien yhdistäminen korkea rakennuksen eri osien käyttötarkoituksesta johtuen aiheuttaa haasteita. Suomessa tyypillisissä hybridikohteissa eri toiminnallisuudet, kuten kaupat, hotellit, kylpylät, toimistot ja pysäköintitilat yhdistyvät usein toisiinsa suunnittelussa. Suuret kauppakeskushankkeet ovat hyvä esimerkki tällaisista kohteista, joissa yhdistellään eri runkojärjestelmiä.

2.3 Rakennusrungon stabiilitteetti

Nykypäivänä yleistynyt korkea rakentaminen tarkoittaa Suomessa rakentamisen tehokkuuden lisäämistä ja rakennuksen kerrosluvun kasvattamista. Nämä ovat johtaneet siihen, että rakennusten stabiilitteettiin ja vakavuuteen on alettu kiinnittämään entistä enemmän huomiota. Rakennusten ja eri rakenneosien hoikkuuden kasvamisen johdosta stabiilitteetti-ilmiö ja sen tarkastaminen on tullut yhä tärkeämmäksi osaksi rakennuksen rakennesuunnitteluprosessia.

Stabiilitteetti ja stabiili tarkoittavat tasapainoa. Stabiilin vastakohta on labiili, joka tarkoittaa epävakaaata. Stabiilitteetilaskennassa stabiilius tarkoittaa tasapainoa rakennukseen vaikuttavien ulkoisten kuormitusten ja niitä vastaan suunniteltujen jäykistävien rakenteiden jäykkyyden ja kestävyyksien välillä. Kuormituksia rakennukselle aiheutuu rakennuspaikalla vallitsevista ulkoisista olosuhteista, rakennuksen omasta painosta ja rakennuksen käytöstä. Kuormia laskettaessa on otettava huomioon rakennuksen suunniteltu elinkaari ja sen pituus. Stabiilitteetilaskennan tarkoituksena on valita suunnitteluratkaisut ja yksittäiset rakennusosat siten, että saavutetaan riittävän suuri varmuus rakennukseen kohdistuvia kuormituksia vastaan (Stafford Smith & Coull 1991, 11).

Stabiilitteetin menettämällä tarkoitetaan tilannetta, jossa rakennukseen kohdistuvat kuormitukset ja niiden yhteisvaikutukset saavat aikaan yksittäisessä rakenneosassa liiallisen muodonmuutoksen tai pahimmassa tapauksessa yksittäisen rakenneosan murtumisen. Stabiilitteetin menettämällä tarkoitetaan myös sitä, jos rakennus menettää kokonaisstabiilitteettinsa. Kokonaisstabiilitteetinmenettämällä tarkoitetaan tilannetta, jossa rakennuksen vaakasiirtymät, kiertymät, liukumät tai painumat ylittävät niille asetetut raja-arvot. Stabiilitteetin menettäminen voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa rakennuksen kallistumista tai kaatumisen. (Leino 2018.)

2.3.1 Stabiilitteetilaskennan menetelmät

Tässä alaluvussa esitellään Suomessa käytetyimmät stabiilitteetilaskennan menetelmät. Yleisin stabiilitteetilaskennan menetelmä perustuu elementtimenetelmän periaatteeseen. Yleisimmät lujuuslaskentaohjelmat käyttävät elementtimenetelmä periaatetta. Tyypilli-

simpiä lujuuslaskentaohjelmia ovat FEM-laskentaohjelmat. Elementtimenetelmän periaate ja FEM-mallintamisen erityispiirteet esitellään alaluvussa 2.3.3. Muut stabiliteettilaskenta menetelmät ovat tyypillisesti alustavia laskentamenetelmiä. Alustavat laskentasuoritukset ovat suuntaa antavia, eikä niiden varaan voi perustaa korkean rakennuksen suunnittelua. Alaluvussa 2.3.2 annetaan esimerkkejä alustavan stabiliteettilaskennan määrittelytavoista.

2.3.2 Alustavan suunnittelun laskentamenetelmät

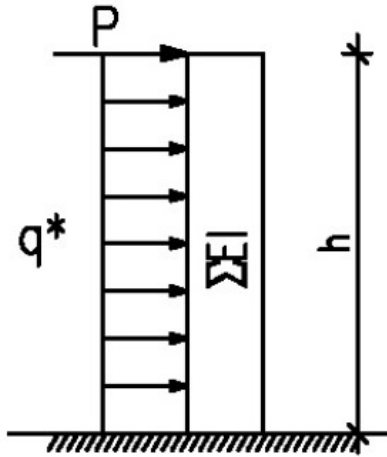
Tähän alalukuun on kerätty alustavassa suunnitteluvaiheessa suoritettavia alustavia laskentasuorituksia. Alustavan suunnittelun tarkoituksena ei ole määrittellä lopullisia rakenteita tai rakenneratkaisuja vaan todeta ja varmistaa rakenteiden riittävyys sekä antaa lähtökohdat jatkosuunniteluun.

Rakennuksen jäykkyys on tarkastettava mahdollisimman varhaisessa vaiheessa rakennesuunnittelussa. Suunnittelun alkuvaiheessa rakennuksen jäykkyyttä voidaan alustavasti arvioida kaavan 4. avulla. Kaavan 4. havainnollistava kuva on esitetty alla olevassa kuvassa (kuva 7.). Kaavaa 4. käytettäessä tulee olla tarkkana yksiköiden kanssa. Kaavassa $\sum EI$ tulee olla yksikössä MN/m^2 ja epäyhtälön toinen puoli yksikössä kN/m^2 . Tällöin epäyhtälön avulla on mahdollista arvioida rakennuksen jäykistyksen riittävyyttä. (Betoniteollisuus ry. 2010b.)

$$\sum EI \geq \frac{q' * h^3}{8} + \frac{Ph^2}{3} \quad (4)$$

jossa	q'	on $b * q$
	h	on rakennuksen korkeus (m)
	P	on pistekuorma rakennuksen yläreunassa käyttörajatilassa (kN)
	b	on rakennuksen leveys laskentasuuntaa vasten kohtisuorassa (m)
	q	on rakennukseen vaakakuorma käyttörajatilassa, sisältäen tuulen ja lisävaakavoiman (kN/m ²)

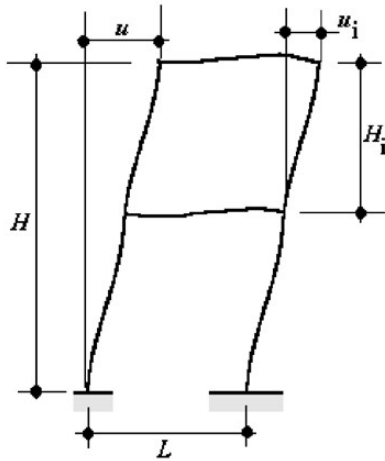
ΣEI	on tarkasteltavassa suunnassa toimivien jäykistysrakenteiden taivutusjäykkyyksien summa (MN/m^2)
E	on kimmokerroin (MN/m^2)
I	on jäyhyysmomentti (m^4)



Kuva 7. Alustavan jäykistyslaskennan merkinnät havainnollistavassa kuvassa (Betoniteollisuus ry. 2010b)

Käytettäessä ydinkuilujärjestelmää alustavissa suunnitelmissa on hyvä tarkistaa jäykistönin hoikkuus. Tässä vaiheessa tulisi jäykistävien kuilujen osalta pyrkiä minimissään $h/10$ hoikkuuteen. Hoikkuudella tarkoitetaan jäykistävän kuilurakenteen sivusuhdetta. Structure magazine lehden artikkelissa Zils ja Viise määrittävät sivusuhteeksi rakennuksen jäykistävän kuilun kokonaiskorkeuden suhteen seinän minimi leveyteen vaikuttavassa suunnassa (Zils & Viise 2003, 15). (Zils & Viise 2003, 13.)

Alustavassa suunnitteluvaiheessa tulee tarkastaa rakennuksen siirtymä. Eurokoodissa ei kuitenkaan anneta selvää taipumarajaa rakennuksen vaakasiirtymälle. Alustavassa mitoituksessa rakennuksen yläpään kokonaissiirtymän raja-arvona voidaan käyttää $H/400$ kerran 50 vuodessa tapahtuvalle tuulen vaikutukselle muut rakennukselle kohdistuvat vaakakuormitukset huomioiden (Betoniteollisuus ry. 2010a). Lisäksi alustavassa suunnittelussa tulisi tarkistaa, että rakennuksen yhdellä kerrosvälillä tapahtuva siirtymä ei ylitä $H_i/400$ raja-arvoa. Rakennuksen siirtymät on määritetty kuvassa 8. jossa u on rakennuksen kokonaisvaakasiirtymä rakennuksen korkeudella H ja u_i on vaakasiirtymä rakennuksen kerroksen korkeudella H_i . (Betoniteollisuus ry. 2010a; SFS-EN 1990 2006, 96.)



Kuva 8. Rakennuksen vaakasiirtymät (SFS-EN 1990 2006, 96)

Eurokoodin SFS-EN 1991-1-4 mukaisella kaavalla 5. voidaan laskea tuulesta aiheutuvan tuulen suuntaisen siirtymän suuruus. (SFS-EN 1991-1-4, 204.)

$$y_{F,max} = \frac{1}{St^2} * \frac{1}{Sc} * K * K_w * c_{lat} * b \quad (5)$$

jossa	St	on Strouhalin luku
	Sc	on Scrutonin luku
	K	on ominaismuodon kerroin
	K_w	on tehollisen korrelaatiopituuden kerroin
	c_{lat}	on poikittaisvoimakerroin
	b	on rakennuksen leveys kohtisuoraan tuulta vastaan

2.3.3 Elementtilaskentamenetelmä

Rakennuksen jäykistyksen riittävyyden voi melko luotettavasti selvittää nykypäivä laskentaohjelmien avulla. FEM-laskentaohjelmien laskentatulokset perustuvat elementtimenetelmän perusteoriaan. Elementtimenetelmä onkin yleisin käytetty stabiliteettilaskentamenetelmä korkeiden rakennusten suunnittelussa. Elementtimenetelmä numeerinen analyysimenetelmä, jota sovelletaan muun muassa rakenteiden stabiliteetin ja dynaamisten ongelmien ratkaisuun. Elementtimenetelmässä tarkasteltava rakenne jaetaan pieniin osiin, joita nimitetään elementeiksi. Erilliset elementit liittyvät toisiinsa solmujen välityksellä. Elementtimenetelmässä jokaiselle erilliselle elementille määritetään jäykkyydsmatriisi k_e . Elementtien jäykkyydsmatriisi k_e koostuu termeistä, jotka on mahdollista selvittää

tasapainoyhtälöillä. Kaikkien elementtien jäykkyysmatriisit yhdistetään koko rakenteen jäykkyysmatriisi K . Kun rakenteen kuormitukset ovat tiedossa, pystytään elementtimenetelmän yhtälöryhmän avulla selvittämään elementtien siirtymien kautta rakenteen venymät ja rakenteessa vallitsevat jännitykset. FEM-laskentaohjelmat suorittavat elementtimenetelmän laskentasuoritukset automaattisesti.

Kaavassa 6. on esitetty elementtimenetelmän yhtälöryhmä.

$$F = KU \quad (6)$$

jossa F on voimavektori,
 K on koko rakenteen jäykkyysmatriisi,
 U siirtymävektori.

Kaavan 6. yhtälöryhmä ratkaistaan määrittämällä rakenteen kokonaisjäykkyysmatriisin K käänteismatriisi K^{-1} kaavasta 7. Tällöin päästään käsiksi siirtymävektorin lukuarvoon ja todellisiin siirtymiin.

$$U = K^{-1}F \quad (7)$$

Rakennesuunnittelu yrityksillä on usein käytettävissä jokin FEM-laskenta ohjelma. Laskentaohjelmaa käytettäessä korkeiden rakennusten jäykistys suunnitteluun, on kuitenkin selvitettävä, huomioiko laskentaohjelma esimerkiksi leikkausmuodonmuutokset korkeissa mastoseinissä ja voidaanko käytettävässä laskentaohjelmassa huomioida tarvittaessa toisen kertaluvun laskentaa. Joissain tapauksissa laskennassa on otettava huomioon jäykkyyden pieneneminen rakenteiden halkeilusta johtuen. Korkeiden rakennusten suunnittelussa tämä huomioidaan käyttämällä kahta muuten identtistä mallia, joista toisessa halkeilu ja jäykkyyden pieneneminen otetaan huomioon ja toisessa ei. Näin ratkaistaan rasiusten ylä- ja alaraja-arvot. (Betoniteollisuus ry. 2010b.)

Laskettaessa FEM-laskentaohjelmalla rakennuksen jäykistystä, mallinnetaan koko rakennus 3D-malliksi. Mallia muodostettaessa on huomioitava eri rakenteiden ja rakenneosien rakenteelliset ominaisuudet ja liitokset rakenneosien välillä. Staatikon on ymmärrettävä jäykistysjärjestelmän toimintaperiaate, jotta hän tietää, miten kukin yksittäinen liitos toi-

mii rakennekokonaisuudessa. Rakenneosien jäykkyydet ja liitosten vapausasteet on mallinnettava vastaamaan todellista rakennetta. Muussa tapauksessa laskentaohjelma voi antaa virheellisiä laskentatuloksia, jotka eroavat rakenteen todellisesta toiminnasta. Korkeissa rakennuksissa FEM-laskentamallin oikeellisuus korostuu. Korkeissa ja monimutkaisissa rakennuksissa pienetkin mallinnusvirheet kertaantuvat ja voivat aiheuttaa todellisuudesta poikkeavia tuloksia. (Betoniteollisuus ry. 2010b.)

Valmiin FEM-laskentamallin tuloksia tulkittaessa on oltava kriittinen. Laskentaohjelma on lähtökohtaisesti yksinkertainen, joka saattaa siirtää kuormituksia todellisuudesta poikkeavasti, vaikka liitokset olisikin mallinnettu oikein (Leino 2018). Tästä syystä korkeissa ja vaativissa kohteissa on hyvä tehdä tarkistuslaskelmia FEM-laskennan lisäksi jollain muulla laskentamenetelmällä.

Alle on listattu asioita, jotka on hyvä huomioida mallinnettaessa FEM-laskentaohjelman 3D-mallia (Betoniteollisuus ry. 2010b):

- Pilarien ja sauvarakenteiden liitokset ovat mallinnettava oikein.
- Levyrakenteiden liitokset ovat mallinnettava oikein. Esimerkiksi, jos kahden levyseinän tai laatan ja levyseinän välinen liitos on nivel, on laskentamalliin mallinnettava todellisuuden mukainen nivelliitos.
- Valmiista laskentamallista on tarkistettava, ettei yksittäisten rakenneosien lasketa välittävän sellaisia kuormituksia, joita kyseinen rakenneosa ei kykene välittämään.
- Korkeissa ja haastavissa rakennuksissa tulee pohtia, kuinka kantavien seinien väliin tulevan laattarakenteen välinen liitos mallinnetaan laskentaohjelmaan. Seinä ottaa kapasiteettinsa verran momenttia ja laatan yläpintaan voi vaikuttaa vetorasitus liitoksessa, vaikka periaatteessa liitos on niveellinen.
- Kuilu- ja kotelorakenteiden kulmiin liittyvien laattarakenteiden rasitukset on tarkastettava nurkan läheisyydessä. Ohjelmat voivat olettaa laattarakenteiden siirtävän sellaisia kuormituksia, joita todellisuudessa ne eivät pysty välittämään.
- Liitosdetaljit ovat tarkastettava laskennallisesti. Täytyy varmistua siitä, että liitokset kykenevät todellisuudessa välittämään laskentaohjelman osoittamat kuormitukset. Esimerkiksi seinien pystyliitokset.
- Ulkoseinille saattaa kertyä laskentamallissa sellaisia kuormituksia pienten pilari-kannasten kohdalla, joita ne eivät kestä.
- Mallinnettaessa laskentaohjelman 3D-mallia, on varmistettava materiaaliominaisuuksien oikeellisuus. Esimerkiksi lujuus ja betonirakenteissa viruma.

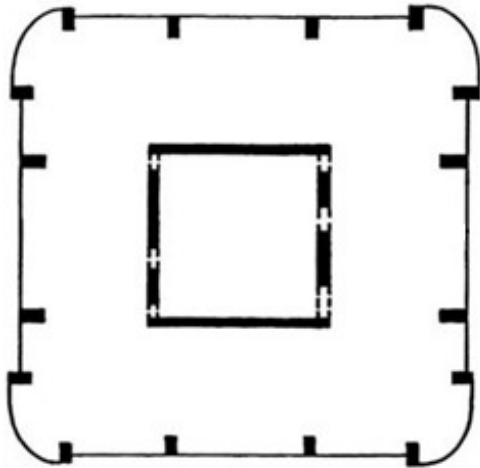
- Laattarakenteiden kantavuus on mallinnettava oikein. Esimerkiksi ontelolaatta on yhteen suuntaan kantava laatta.

2.4 Runko- ja jäykistysjärjestelmät

Suomessa matalassa asuin- ja toimistotalorakentamisessa yleisimmin käytössä olevat runkojärjestelmät ovat kantavat seinät- laatta runko, pilari- palkkirunko ja monikerros pilarirunko tai yhdistelmärunko edellä mainituista. Asuintalorakentamisessa yleisin edellä mainituista on seinät- laatta runkojärjestelmä ja toimistotalorakennuksissa pilari- palkkirunko. Yleisimmät vaakarakenteet ovat joko elementtirakenteisia ontelolaattarakenteita tai massiivilaattarakenteisia tai paikallavalettuja massiivibetonirakenteisia laattarakenteita. Välipohjarakenteissa voidaan käyttää myös teräksen ja betonin liittorakennetta. Matalalla rakentamisella tarkoitetaan alle 16 kerroksisia kerrostaloja. (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995b, 10,18–19.)

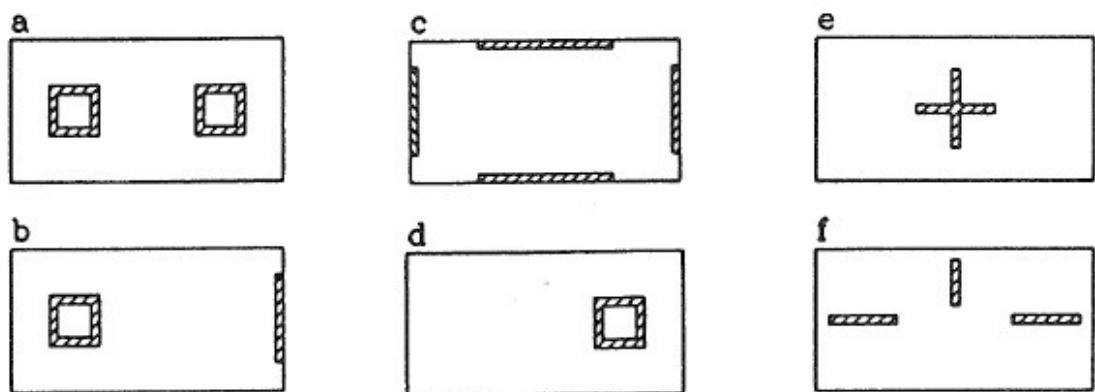
Rakennuksessa käytettävän runkojärjestelmän tai runkojärjestelmien valintaan vaikuttavat muun muassa rakennuksen ulkomuoto, rakennuksen julkisivumateriaalit, rakennuksen pohjaratkaisut ja talotekniset rakennukseen kohdistuvat vaatimukset. Rakennuksen muotoon liittyvät suunnitelmat voivat aiheuttaa automaattisesti jonkun runkojärjestelmän valinnan. Suunnitteluprojektin arkkitehdin vaatimuksilla on tästä syystä suuri painoarvo. Arkkitehti suunnittelee rakennuksen ulkomuodon ja julkisivumateriaalit sekä pohjaratkaisun tilaratkaisut asiakkaan kannalta järkevästi. Staatikko vastaa rakennuksen runkojärjestelmän valinnasta. Tämä korostuu etenkin korkeissa rakennuksissa. Rakennuksen runkojärjestelmäksi sopii yksi tai useampi eri runkojärjestelmä. Joskus ajatellaan, että korkeissa rakennuksissa pitäisi mennä enemmän rakenteen ehdoilla verrattuna tavanomaiseen matalaan rakennukseen.

Korkeassa rakentamisessa runkojärjestelmät eroavat matalan rakentamisen runkojärjestelmistä. Suomessa korkeassa rakentamisessa tavanomaisimmin käytetty runkojärjestelmä on ydin järjestelmä tai yhdistelmärunkojärjestelmä ydin järjestelmästä ja kantavat seinät järjestelmästä. Kuvassa 9. on esitetty ydin järjestelmän vaakaleikkauskuva. ”Ydin järjestelmän etuna on, että se kestää leikkausvoimia ja taivutusmomenttia kahdesta suunnasta sekä myös vääntö rasiusta.” (Kihula 2010, 24.)



Kuva 9. Vaakaleikkaus ydin järjestelmästä (Kihula 2010, 24)

Ydin järjestelmässä on aina yksi tai useampi, perustuksista rakennuksen huipulle asti ulottuva yhtenäinen rakenneosa. Rakenneosa on usein kotelomainen kuilu tai torni, esimerkiksi hissikuilu tai muu talotekniikan kuljetuskuilu. Yhtenäinen rakenne voi olla myös useasta seinästä koostuva epäsymmetrinen rakenne. Mahdollisuuksien mukaan ydin tai ytimet on hyvä sijoittaa symmetrisesti rakennuksen poikkileikkaukseen nähden, kuten kuvassa 10. on osoitettu. Staaticko osallistuu suunnitteluun ja huolehtii jäykistävien rakenteiden riittävydestä ja oikeasta sijoittelusta, jotta symmetria säilyy ja liiallista kiertymää ei pääse rakennukseen tapahtumaan. Rungon jäykistävät rakenteet sijaitsevat yleensä rakennuksen sisällä, mutta niitä on mahdollista sijoittaa myös rakennuksen ulkopuolelle. Kuvassa 11. on Malmössä sijaitseva Turning Torso, jossa jäykisteristikko on sijoitettu rungon ulkopuolelle. Suomessa tämä ei kuitenkaan ole yleistä asuin- tai toimistotalorakentamisessa. Teollisuusrakennuksissa jäykistävät rakenteet ovat usein rungon ulkopuolella.



Kuva 10. Suositeltavia jäykistysseinien sijoitteluita kuvissa a, b ja c. Ei suositeltava jäykistysseinien sijoittelu kuvissa d, e ja f (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995a, 37)



Kuva 11. Malmön Turning Torso (The Skyscraper Center)

Ydinjärjestelmässä vaakarakenteet toimivat osana jäykistysjärjestelmää. Vaakarakenteiden tehtävänä on siirtää rakennukseen kohdistuvat vaakakuormat jäykistäville seinälinjoille ja sitä kautta rakennuksen perustuksille. Vaakarakenteet on mitoitettava vastaanottamaan vaakakuormituksia, joita rakennukseen kohdistuu. Vaakakuormia, joita rakennukselle aiheutuu ovat muun muassa tuulikuorma, rakenteiden vinoudesta ja epäkeskisyydestä johtuvat kuormat, maanpaine kuormat, lämpötilasta johtuvat kuormat, betonirakenteissa kutistumasta ja virumasta johtuvat kuormat sekä toisen kertaluvun huomioimisesta johtuvat kuormat. Lisäksi erityistilanteissa rakennukseen voi kohdistua vaakakuormitusta törmäys- sekä jarrutuskuormista. Staatikko määrittää rakennuksen vaakarakenteiden rakennetyypit ja materiaalit sekä varmistaa, että vaakarakenne kykenee välittämään sille tulevat kuormat. (Betoniteollisuus ry. 2010b.)

Rakennusrungon jäykistysjärjestelmälle on asetettu tiettyjä perusvaatimuksia. Perusvaatimuksia ovat muun muassa, että rakennusrungon jäykistyksen on pystyttävä kantamaan sille tulevat vaaka- ja pystykuormat ja sen on jäykistettävä rakennusrunko. Erityisesti vaakakuormitusten siirtäminen pystyrakenteille ja sitä kautta maaperään on jäykistysjärjestelmän tärkein tehtävä. Jäykistysjärjestelmän on pystyttävä rajoittamaan koko rakennuksen ja yksittäisten rakenneosien taipumia, halkeilua ja heilahtelua. Lisäksi jäykistys-

järjestelmän on varmistettava riittävä jäykistysvaikutus onnettomuustilanteessa ja asennusvaiheessa. Jäykistysjärjestelmän on siirrettävä kuormat luotettavasti perustuksille ja sitä kautta maaperään. Rakennusrungon jäykistysjärjestelmän ja jäykistävien yksittäisten rakenteiden riittävä kapasiteetti varmistetaan staatikon toimesta vakavuuslaskelmilla. (RTT Rakennustuoteteollisuus ry 1995a, 5.)

Rakennuksen runko on mahdollista jäykistää usein eri tavoin ja järjestelmin. Rakennuksen jäykistysjärjestelmän valintaan vaikuttavat useat eri tekijät, joiden perusteella valitaan jokaiseen rakennukseen järkevin ja käytännöllisin tai joissain tapauksissa ainoa mahdollinen vaihtoehto. Tekijöitä, jotka vaikuttavat jäykistysjärjestelmän valintaan ovat esimerkiksi rakennuksen runko- ja rakennejärjestelmät, mittasuhteet ja dimensiot, kustannustehokkuus, vaatimukset rakennuksen muuntojoustavuudelle, rakennuspaikan ominaisuudet, arkkitehtuuri ja rakennuksen muoto sekä käyttötarkoitus. Mahdollisia rakennusrungon jäykistysjärjestelmiä ovat mastojäykistys, kehäjäykistys, ristikkojäykistys, levyjäykistys ja kahden tai useamman järjestelmän yhdistelmäjäykistys. (Betoniteollisuus ry. 2010b.)

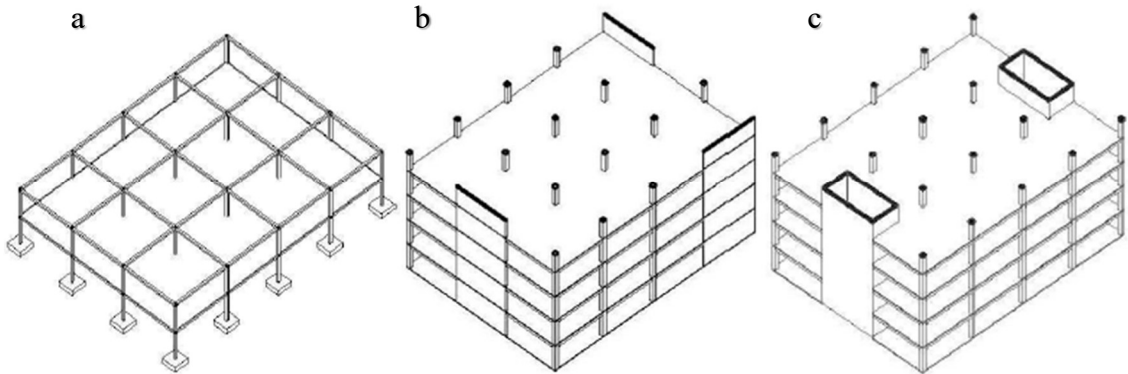
Jäykistävien rakenteiden sijoittelulla symmetrisesti rakenteen poikkileikkaukseen pyritään vähentämään ja minimoimaan rakenteen kiertymiä. Vaakavoimat kuten tuulikuorma aiheuttavat rakennukselle kiertymistä ja vääntymistä. Erityisesti korkeissa ja haastavissa rakennuksissa tämä ilmiö on otettava huomioon. Kiertyminen pyrkii tapahtumaan jäykistävien rakenteiden sijoittelun perusteella muodostuvan kiertokeskiön ympäri. Kierto keskiö muodostuu pisteeseen, jossa rakennuksen jäykistävät rakenteet tai jäykistävien rakenteiden jatkeet leikkaavat toisensa. Esimerkiksi kuvan 10. kohdassa e. rakennuksen jäykistävät rakenteet leikkaavat toisensa rakennuksen keskellä, joten rakennus pyrkii kiertymään keskipisteensä ympäri. Tällainen tilanne on erittäin epäedullinen ajatellen rakennuksen jäykistystä. Kuvan 10. kohdassa c. taas on jäykistävät linjat sijoitettu symmetrisesti rakennuksen sivuille. Rakennusrungon kiertyminen on tällaisessa tilanteessa hyvin vähäistä. Tällainen jäykistävien linjojen sijoittelu on kuitenkin aina lähes mahdotonta. Arkkitehti tuskin hyväksyy tällaista ratkaisua, jossa ikkunoiden sijoittelu rakennuksen sivuille on mahdotonta. Rakennuksen jäykistävien linjojen sijoittelu onkin usein kompromissi ratkaisu.

”Jos rakennuksessa on useampi kuin yksi jäykistävä pystyrakenne, jakautuvat rakennukseen kohdistuvat vaajavoimat jäykistäville pystyrakenteille niiden jäykkyyksien suhteessa.” (Kihuja 2010, 34.) Kuvassa 10. on osoitettu taloudellinen jäykistävien rakenteiden sijoittaminen rakennuksen poikkileikkaukseen nähden. Korkeiden rakennusten kohdalla on olennaista käyttää FEM-laskentaohjelmia apuna selvittäessä eri rakenneosien jäykkyyksiä. Epäsymmetristen jäykistävien rakenteiden jäykkyyksien määrittäminen käsin laskennalla on hidasta ja työlästä, joten on taloudellista käyttää FEM-laskentaohjelmaa apuna. (Betoniteollisuus ry. 2010b.)

Suomessa suurin osa rakennetuista ja rakennettavista korkeista asuin- ja toimistorakennuksista on jäykistetty käyttäen mastojäykistysjärjestelmää yhdistettynä kantaviin ulkoseinäelementteihin, joten tässä työssä keskitytään tämän kaltaisiin rakenteisiin ja rakenejärjestelmiin. Korkeita asuinkerrostalona on kuitenkin mahdollista jäykistää myös käyttämällä kantavia väliseiniä ja tarvittaessa ulkoseiniä hyödyksi. Asuinkerrostaloissa on huoneistojaosta johtuen paljon kantavia väliseiniä, joita on mahdollista hyödyntää staattisessa mielessä, toisin kuin toimistorakennuksissa. Toimistorakennuksien huoneistojärjestelyt perustuvat usein mahdollisimman suurien tilojen järjestämiseen. Hyvänä esimerkkinä suuret avokonttorit. Toimistotaloissa ei siis voi olla samaan tapaan kantavia väliseiniä. Ainakaan määrällisesti yhtä paljoa, kun asuinkerrostaloissa. Tästä syystä toimistorakennuksissa rakennuksen jäykistäminen toteutetaan mastojäykistysjärjestelmää hyödyntämällä. Mastojäykistysjärjestelmä onkin yleisimmin käytetty jäykistysjärjestelmä Suomessa rakennetuissa korkeissa rakennuksissa. (Betoniteollisuus ry. 2010a.)

Mastojäykistysjärjestelmä pitää sisällään mastopilarijäykistysjärjestelmän, mastoseinäjäykistysjärjestelmän sekä jäykistystornijärjestelmän. Suomessa korkeissa rakennuksissa yleisin jäykistysjärjestelmä on juuri jäykistystornijärjestelmä. Jäykistetorni- tai mastoseinäjärjestelmää käytettäessä korkeiden rakennusten hoikkuus on yleensä suhteellisen suuri ja vetojännityksiä voi muodostua jäykistävävään rakenteeseen rakennuksen alimmissa kerroksissa. Tällaista tilannetta tulee välttää. Jos vetojännityksiä kuitenkin jäykistävien rakenteiden alimmissa kerroksissa, on ankkurointia mitoittaessa otettava veto kuormitus huomioon. ”Alustavassa suunnittelussa tulisi minimissään pyrkiä jäykistävän kuilun hoikkuuteen $h/10$, missä h on rakennuksen korkeus.” (Betoniteollisuus ry. 2010a.) Tällaisin toimenpitein voidaan suunnittelun alkuvaiheessa arvioida rakenteen vakavuus riittäväksi. Jäykistävien kuilujen ja seinien aukotukset vaikuttavat rakenteen vakavu-

teen. Esimerkiksi hissikuiluun ja talotekniikkakuiluihin tulee väistämättä aukkoja. Tilanteet, joissa aukkoja esiintyy, on tarkasteltava erikseen. Kuvassa 12. on esitetty suomen rakennuskannan yleisimmät rungon jäykistysjärjestelmät.



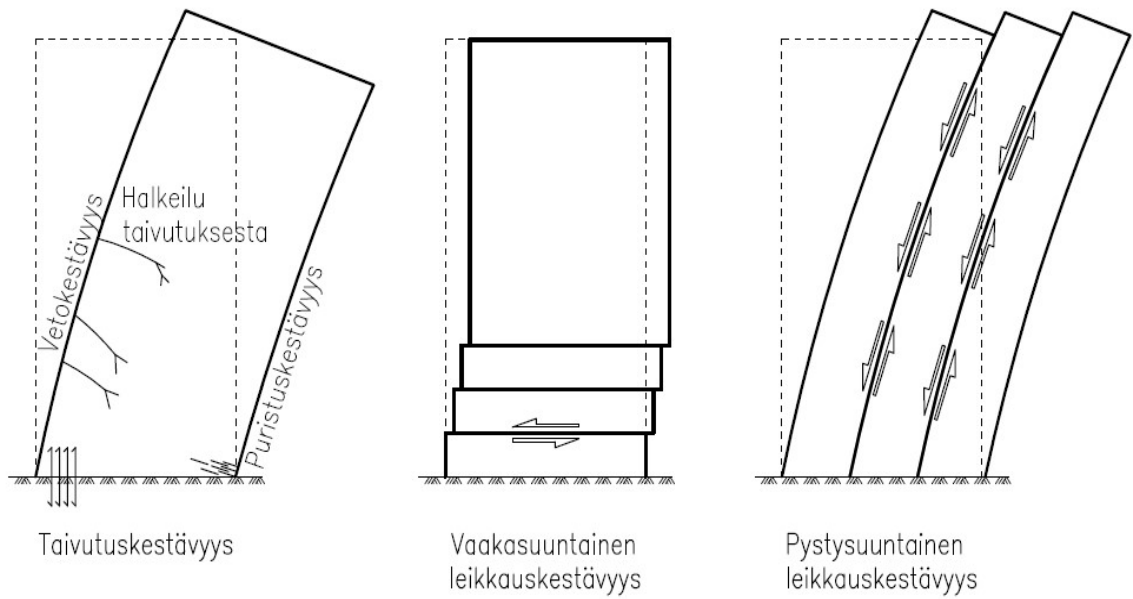
Kuva 12. Periaatekuva mastopilarijärjestelmästä a, mastoseinäjärjestelmä b ja jäykistystornijärjestelmä c (Betoniteollisuus ry. 2010b)

Rakennuksen runkojärjestelmä ja jäykistysjärjestelmä kulkevat käsikädessä. Tietyn runkojärjestelmän kanssa on rakenteellisessa mielessä järkevää ja taloudellista käyttää tiettyä tai tiettyjä jäykistysjärjestelmiä. Korkeissa rakennuksissa tulee vastaan tilanne, jossa on rakennuksen dimensioista johtuen valittava runkojärjestelmäksi ydinjärjestelmä ja jäykistysjärjestelmäksi jäykistystornijärjestelmä tai jokin yhdistelmäjärjestelmä. Jos rakennuksessa on hissi tai porrashuonerakenteita, on luonnollista käyttää niitä hyväksi rakennuksen jäykistämässä.

Jäykistetornijärjestelmässä tornit ovat perustuksista rakennuksen vesikattorakenteisiin ulottuvia yhtenäisiä rakenteita, jotka toimivat rakenteellisessa mielessä ulokepalkkeina. Torni tulee olla jäykästi kiinnitettynä perustuksiin, jotta rakenne toimii ulokkeena. Jäykistetornijärjestelmä on tehokas jäykistysjärjestelmä, koska neljän erillisen levyseinän yhteenlaskettu jäykkyys on huomattavasti pienempi, kuin neljästä seinästä koostuvan kotelomaisen rakenteen kokonaisjäykkyys. Kun käytetään jäykistetornirakennetta, on muistettava mitoittaa tornirakenteen eri seinien liitokset liitoksissa vaikuttaville leikkausvoimille, jotta tornirakenne toimii monoliittoisesti yhdessä. Tornirakenne on mahdollista tehdä myös paikallavalurakenteisena, jolloin rakenne on entistä jäykempi. (Betoniteollisuus ry. 2010b.)

Kuvassa 13. on esitetty leikkausvoimat, jotka vaikuttavat elementtirakenteiseen mastojäykisterakenteeseen. Rakenne voi olla kotelomainen jäykistetorni tai mastoseinä. Kuva

13. havainnollistaa myös, kuinka mastojäykistejärjestelmän jäykistävät pystyrakenteet toimivat niin sanottuna ulokepalkkina.



Kuva 13. Elementtirakenteiseen jäykistetorniin vaikuttavat leikkausvoimat (Tikkanen 2014, 69)

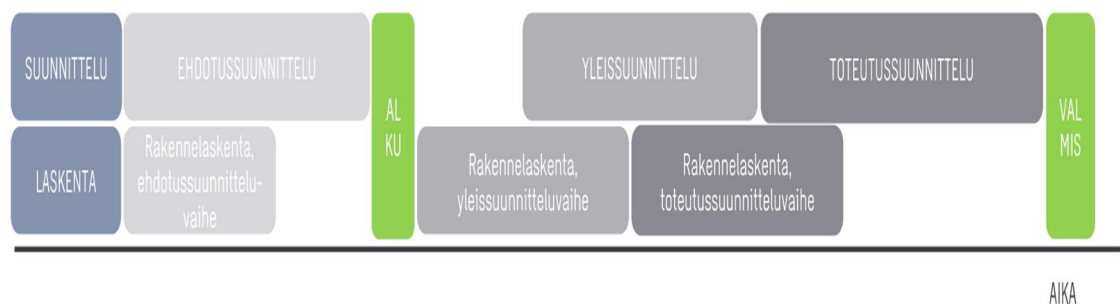
3 STABILITEETILASKENNAN PROSESSI

Tässä luvussa käydään läpi korkean rakennuksen stabiliteetilaskennan prosessi projektin alkumetreistä suunnittelutyön valmistumiseen saakka. Tässä opinnäytetyössä stabiliteetilaskennan prosessi on jaettu rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK12 mukaisiin kolmeen eri vaiheeseen; ehdotussuunnittelu-, yleissuunnittelu- ja toteutussuunnitteluvaiheeseen. Aluksi tässä luvussa käydään läpi stabiliteetilaskentaan liittyviä hankaluuksia ja ongelmia, joita on havaittu aiempien todellisten projektien aikana sekä esitellään staatikolta vaadittavia ominaisuuksia. Luvussa keskitytään hankkeen jokaisen suunnitteluvaiheen tavoitteisiin, määriteltäviin ja päätettäviin yksityiskohtiin, tärkeisiin laskentatehtäviin sekä suunnitteluvaiheen lopputuloksiin ja loppulausuntoon.

Rakennushankkeen suunnittelutyön onnistuminen edellyttää kaikkien suunnitteluryhmän osapuolten ammattitaitoa. Lisäksi suunnittelutyön onnistuminen vaatii jokaisen suunnitteluryhmän osapuolen oikeanaikaista suunnittelun edistämistä. Tehdään siis oikeita asioita oikeaan aikaan. Stabiliteetilaskennan yleinen ongelma on, että tehdään liian pitkälle meneviä suunnitelmia liian aikaisessa vaiheessa projektia. Pahimmassa tapauksessa tämä johtaa siihen, että joudutaan tekemään suunnitelmiin muutoksia tai kokonaan uusia suunnitelmia rakennuksen dimensioiden tai ulkomuodon muuttuessa. Toinen ongelmia aiheuttava tekijä stabiliteetilaskennassa on, jos ollaan yleistä suunnittelu-aikataulua jäljessä. Tällaisessa tilanteessa muut suunnitteluorganisaation osapuolet joutuvat kärsijän rooliin. Muut suunnittelijat joutuvat tekemään suunnitelmiinsa muutoksia tai uusia piirustuksia stabiliteetilaskennan viivästyksistä johtuen. Suunnittelutyön kokonaisvaltaisen onnistumisen kannalta on tärkeää tehdä selkeät rajaukset työtehtävien välille riittävän aikaisessa vaiheessa, jotta jokainen suunnitteluorganisaation osapuoli tietää tehtävänsä kussakin suunnittelun vaiheessa. Näin on mahdollista välttyä aikatauluun liittyviltä ongelmilta suunnitteluprosessin aikana. (Leino 2018.)

Stabiliteetilaskenta ja siihen liittyvät tehtävät rytmittyvät muuhun suunnittelutyöhön nähden hieman eri tavalla. Laskenta on koko suunnitteluprosessin ajan hieman edellä muuta suunnittelua. Tämä perustuu siihen, että stabiliteetilaskennan lopputulokset toimivat osittain muun suunnittelun lähtötietoina. Esimerkiksi toteutussuunnitteluvaiheessa on tärkeää, että staatikko on tehnyt valtaosan määritelmistään ennen kuin muu suunnittelu

aloittaa suunnittelutyönsä. Kuten kuviossa 3. on havainnollistettu aikajanalle stabiliteettilaskennan ja muun suunnittelun rytmittyminen prosessia aikana.



Kuvio 3. Laskennan ja suunnittelun rytmittyminen hankkeen suunnittelun aikana (Laskenta ja sen rytmittäminen muuhun suunnitteluun 2017)

Stabiliteettilaskennan prosessissa konkreettisista laskentasuoristuksista vastaa staatikko. Staatikko on suunnitteluryityksen palveluksessa oleva henkilö, jonka tehtävänä on varmistaa kohteen staattinen tasapaino. Staatikko toimii tiiviissä yhteistyössä suunnittelu-prosessin eri vaiheessa projektipäällikön kanssa. Staatikolta vaadittavia ominaisuuksia on muun muassa tarvittava koulutus työn osoittamiin tehtäviin, riittävä tietoteknisten ohjelmien käyttöön liittyvä osaaminen ja tärkeimpänä kaikista ominaisuuksista staatikolla on käsitys rakennuksen ja yksittäisen rakenneosan toimintaperiaatteesta. Staatikon täytyy hahmottaa kuinka voimat ja kuormat siirtyvät ja rakenteissa rakenneosalta toiselle ja lopulta maaperään. (Leino 2018.)

3.1 Ehdotussuunnitteluvaihe

Ehdotussuunnitteluvaiheessa suunnitteluprosessiin ja suunnitteluryhmään liittyy mukaan staatikko. Ehdotussuunnitteluvaiheessa on pääsääntöisesti aina käsittelyssä useita eri vaihtoehtoja rakenteellisen vakavuuden varmistamiseksi. Tässä suunnitteluvaiheessa laaditaan vaihtoehtoiset suunnitteluratkaisut hankkeelle asetettujen tavoitteiden täyttämiseksi (RT 10-11128 2013, 5). Veikko Leinon (2018) mukaan tässä suunnitteluvaiheessa tavoitteena on määritellä hanke toteuttamiskelpoiseksi. Toteuttamiskelpoisuudella Leino (2018) tarkoittaa realistista rakennetta ja rakennusta, joka on staatikon näkemyksen mukaan toteutettavissa.

Ehdotussuunnitteluvaiheessa staatikon tehtäviä ovat alustavat laskentatehtävät, suunnitteluvaihtoehtoihin liittyvät tehtävät ja jatkosuunnittelun reunaehtojen määrittämiseen liittyvät tehtävät. Tässä alaluvussa eritellään staatikon tehtävät tehtäväkokonaisuuksittain. Tehtäväkokonaisuudet, jotka alaluvussa käsitellään ovat suunnitteluvaihtoehtoihin liittyvät tehtävät sekä jatkosuunnittelun reunaehtojen määrittämiseen liittyvät tehtävät. Lisäksi luvussa esitellään vaiheen lähtötiedot, staatikon muut tehtävät ja vaiheen lopputulokset.

3.1.1 Lähtötiedot

Ehdotussuunnitteluvaiheessa staatikon työtehtävien lähtötietona toimivat hankkeen edeltävien vaiheiden pöytäkirjat, joissa hankkeen täsmälliset tavoitteet on määritetty. Tilaaja asettaa hankkeelle toiminnalliset tavoitteet, kuten rakennuksen ja eri tilojen käyttötarkoitukset ja tila vaatimukset. Lisäksi tilaaja osallistuu hankkeen elinkaari- ja käyttöikätaivoitteiden määrittämiseen. Kohteen muunneltavuus ja laajennettavuus vaikuttavat hankkeen elinkaareen merkittävästi. Staatikon työn lähtötietona toimivat myös arkkitehdin tekemä luonnos tai luonnokset kohteesta. Ehdotuksissaan arkkitehti on ottanut tilaajan asettamat tavoitteet ja vaatimukset huomioon. Hankkeelle kohdistetut vaatimukset ja tavoitteet vaihtelevat kohdekohtaisesti. Asuin- ja toimistokerrostaloissa arkkitehdille asetettuja vaatimuksia voivat olla rajoitettu huoneistoala tai kerroslukumäärä (Leino 2018). Arkkitehdillä voi olla useita eri vaihtoehtoisia suunnitelmia kohteen kiinteästä perusosasta, että muuttuvasta tila-alue suunnittelusta. Lisäksi staatikon lähtötietona toimivat rakennuspaikkaan ja rakentamisolosuhteisiin liittyvät lähtötiedot ja tutkimustulokset. Rakennuspaikkakunta vaikuttaa muun muassa lumikuorman määrittämiseen ja tontin maantieteellinen sijainti maastoluokkaan. Ympäröivät rakennukset vaikuttavat tuulen virtasnopeuksiin ja rakennuspaikalla vallitsevat pohjaolosuhteet vaikuttavat perustusrakenteisiin. Maaperän kantavuus ja pohjaolosuhteet selvitetään pohjatutkimuksilla, joita on rakennuspaikalla tehty.

3.1.2 Suunnitteluvaihtoehdot

Ehdotussuunnitteluvaiheessa staatikon keskeinen tehtävä on määrittellä vaihtoehtoiset rakenneratkaisut suunnitteluvaihtoehdoille. Arkkitehdillä voi olla useampi vaihtoehtoinen

luonnossuunnitelma. Staatikon määrittämät vaihtoehtoiset rakenneratkaisun voivat perustua eri runkomateriaalien, runkojärjestelmien tai jäykistysjärjestelmien käyttämiseen. Staatikko voi määrittellä jokaiselle suunnitteluratkaisulle ennalta sovitun määrän eri rakennejärjestelmävaihtoehtoa. Staatikon tekemät vaihtoehdot pitävät sisällään perustusrakenteet sekä runkorakenteet. Rakennejärjestelmävaihtoehdot voivat olla perustusten osalta esimerkiksi perustusten toteuttaminen paaluttamalla tai jatkuva antura. Runkorakenteiden osalta vaihtoehtoisia rakennejärjestelmiä voivat olla esimerkiksi teräsrakenteinen tai betonielementtirakenteinen runkoratkaisu. Vaihtoehtoisia ratkaisuita on mahdollista laatia myös pienemmistä kokonaisuuksista, kuten välipohjarakenteesta. Vaihtoehtoina voi olla esimerkiksi elementtirakenteinen välipohja sekä teräs-betoni liittorakenteinen välipohjarakenne.

Suunnitteluvaihtoehtojen osalta staatikon tärkeä tehtävä on suorittaa eri suunnitteluratkaisujen vertailu. Vertailu suoritetaan muun muassa rakenneratkaisujen kantavuuden, kestävyuden, rakenteellisen turvallisuuden, muunneltavuuden, laajennettavuuden käyttöiän sekä kustannusten välillä. Staatikolla on näkemys parhaasta vaihtoehdosta, jota suositella. Lopullisen suunnitteluvaihtoehdon ja rakenneratkaisun valinnan tekee tilaaja, jota lähdetään viemään eteenpäin hankkeessa. (RT 10-11128 2013, 6.)

3.1.3 Jatkosuunnittelun reunaehdot

Staatikon tavoitteena ehdotussuunnitteluvaiheessa on antaa mahdollisimman tarkat reunaehdot hankkeen jatkosuunnittelulle. Arkkitehti haluaa tietää suuntaa antavasti kantavien ja jäykistävien rakenteiden mahdolliset materiaalit, seinien paksuuksia ja dimensioita, pilareiden ja palkkien sijainnit ja välipohjarakenteiden paksuudet. Esimerkiksi, jos välipohjarakenteena käytetään laattapalkki rakennetta, on olennaista osata arvioida mahdollisimman tarkasti palkin lopulliset dimensiot. Ajatellaan, että rakennuksessa on 35 kerrosta ja välipohjarakenteen palkin korkeus muuttuu 100 mm, koska staatikko on arvioinut palkin korkeuden alakanttiin. Arkkitehdin voi olla vaikeaa hyväksyä rakennuksen kokonaiskorkeuden kasvu jatkosuunnitteluvaiheissa. Tässä esimerkissä rakennuksen kokonaiskorkeus kasvaisi 3,5 metriä välipohjarakenteen korkeuden muuttumisesta johtuen. Ehdotussuunnitteluvaiheessa hankaluuksia aiheuttava tekijä voi myös olla kuormien selvittäminen. (Leino 2018.)

3.1.4 Muut tehtävät

Ehdotussuunnitteluvaiheessa kaikki laskentatehtävät ovat luonteeltaan alustavia ja suuntaa antavia laskelmia (RT 10-11128 2013, 5). Lopullisia laskelmia ei tässä suunnitteluvaiheessa tehdä. Laskentatehtävät, joita ehdotussuunnitteluvaiheessa tehdään, perustuvat pääsääntöisesti hankkeen vaihtoehtoisten rakenneratkaisujen määrittämiseen ja vertailuun sekä jatkosuunnittelua varten esitettävien reunaehtojen määrittämiseen.

Ehdotussuunnittelussa selvitetään rakennukseen kohdistuvat kuormat alustavasti, jotta staatikko saa käsityksen jäykistävien vaaka- ja pystyrakenteiden dimensioista. Pystykuormia rakennukselle aiheutuu hyötykuormasta, lumikuormasta ja rakenteiden omasta painosta. Rakennusrungolle kohdistuvat vaakavoimat ovat mainittuna luvussa 2.5 Runko- ja jäykistysjärjestelmät. Erityisesti korkeissa rakennuksissa tuulikuorman alustava määrittäminen voi aiheuttaa jatkosuunnitteluvaiheissa haasteita, jos sitä ei huomioida oikein. Haastavan mallisien ja erityisen korkeiden rakennusten kohdalla tuulikuorma voi aiheuttaa muun muassa poikkeuksellisen kovia vääntömomenteja, joita on haasteellista huomioida alustavassa mitoituksessa.

Staatikon tehtävänä on tarkastaa alustavasti rakennuksen jäykkyys ehdotussuunnitteluvaiheessa. Korkean rakennuksen alustavassa jäykistysuunnittelussa staatikon tulee selvittää seuraavat asiat (Betoniteollisuus ry. 2010a):

- Staatikko arvioi onko rakennus riittävän jäykkä, ts. kantavien rakenteiden riittävyys kokonaisvakavuuden kannalta.
- Arvioida pystyrakenteiden riittävyys jänneväliden kannalta
- Kiertyykö rakennus? Kiertymät aiheuttavat lisärasituksia jäykistysjärjestelmälle.
- Arvioida rakennusta värähtelyn ja siirtymien kannalta
- Staatikko arvioi liikuntasauvojen tarpeen ja vaikutus jäykistysjärjestelmään.
- Arvioida syntyykö jäykistäviin rakenteisiin vetorasituksia? Staatikko selvittää tilanteen ja määrittää ratkaisut. Jos vetorasituksia syntyy jäykistäviin rakenteisiin, on rakenteet ankkuroitava kalliooperään. Tavanomaisissa rakenteissa tulee ankkurointia välttää, koska ankkurointi on kallis operaatio.

Muita staatikon tehtäviä ehdotussuunnitteluvaiheessa on antaa arvio rakennuksen toimivuus onnettomuustilanteessa ja valita onnettomuustilanteen rakennemalli (RT 10-11128

2013, 6). Onnettomuustilanteen tarkasteluun riskiarvion tekeminen. Lisäksi staatikon tehtävänä on tutkia taloteknisten järjestelmien ja tilavarausten yhteensopivuus suunniteltuihin kantaviin rakenteisiin. Tärkeää on saada tietää, missä talotekniikkasuunnittelijan pääputkireiitit ja tekniikkakuilut sijaitsevat. Kantaviin rakenteisiin on jälkikäteen vaikea, joissain tapauksissa mahdotonta tehdä suuria reikiä ja läpivientejä.

3.1.5 Lopputulokset

Ehdotussuunnitteluvaiheessa ei varsinaisia laskentaraaportteja kirjoiteta ollenkaan. Lopputuloksena on dokumentoidut rakennejärjestelmävaihtoehdot, rakennejärjestelmäselostus ja valintapäätös valitusta ehdotussuunnitelmasta. Dokumentti rakennejärjestelmävaihtoehdoista pitää sisällään perustusten ja runkorakenteiden periaatteelliset rakennejärjestelmäkaaviot, joissa määritetään päädimensiot, ratkaisun ominaisuudet ja käyttöikään liittyvät perusteet. Rakennejärjestelmäselostuksessa määritellään eri suunnittelumenetelmät, rakennukseen kohdistuvat alustavat kuormitukset, arvioitu kokonaisvakavuus, eri rakennejärjestelmät sekä esitetään riskiarviot. (RT 10-11128 2013, 6.)

Alla on esitetty ote opinnäytetyön lopputuloksena tuotetusta ohjekortista. Kuvissa 14. esitetään ohjekortin osa A, jossa on eritelty ehdotussuunnitteluvaiheen lähtötiedot, tehtävät ja lopputulokset.

A. EHDOTUSUUNNITTELU

"Ehdotussuunnittelussa laaditaan vaihtoehtiset suunnitteluratkaisut asetettujen tavoitteiden täyttämiseksi."

Vaiheen lopputuloksena syntyy riittävän yksityiskohtaiset lähtötiedot sekä suunnitteluratkaisu jatkosuunnittelun pohjaksi.

A.1 Lähtötiedot

Tunnus	Lähtötieto
A.1.1	Tilaaajan asettamat vaatimukset kohteelle
	<ul style="list-style-type: none"> - Tarkistetaan saadut lähtötiedot - Toiminnalliset tavoitteet; käyttötarkoitus, tilat ja tilavaatimukset - Elinkaari- ja käyttöikätaavoitteet - Kuormitukset - Hankkeen aiempien vaiheiden pöytäkirjat
A.1.2	Arkkitehdin luonnos
	<ul style="list-style-type: none"> - Arkkitehdin tekemä ehdotus tai ehdotukset
A.1.3	Sijaintiin ja olosuhteisiin liittyvät lähtötiedot
	<ul style="list-style-type: none"> - Rakennuspaikkakunta - Rakennuspaikalla vallitsevat maasto-olosuhteet ja maastoluokka - Ympäröivät rakennukset - Pohjatutkimukset

A.2 Staatikon tehtävät ja lopputulokset

Tunnus	Tehtävä	Lopputulos
A.2.1	Kuormat	
	<ul style="list-style-type: none"> - Määrittää alustavat kuormitukset 	
A.2.2	Suunnitteluvaihtoehdot	
	<ul style="list-style-type: none"> - Selvittää eri rakennejärjestelmävaihtoehdot - Laatia ehdotukset eri vaihtoehdoista - Suorittaa vaihtoehtoisten ehdotusten vertailu; kantavuus, kestävyys, rakenteellinen turvallisuus, muunneltavuus, laajennettavuus, käyttöikä 	Rakennejärjestelmävaihtoehdot (perustukset, runko); periaatteelliset rakennejärjestelmäkaaviot (päädimensiot, ominaisuudet, käyttöikä)
A.2.3	Jatkosuunnittelun reunaehdot	
	<ul style="list-style-type: none"> - Arvioida soveltuvat runkomateriaalit - Arvioida millaisin rakennejärjestelmin rakennus on toteutettavissa - Varmistaa jäykistävien rakenteiden sijoittuminen järkevästi rakennuksen poikileikkauksessa - Arvioida pystyrakenteiden riittävyys jännevälien kannalta - Arvioida jäykistävien rakenteiden riittävyys kokonaisvakavuuden kannalta - Arvioida liikuntasauojen tarve (miten vaikuttavat jäykistämisen kannalta) - Arvioida rakennuksen toimivuus onnettomuustilanteessa - Valitaan onnettomuustilanteen rakennemalli - Arvioida syntykö vetorasituksia jäykistäviin rakenteisiin - Arvioida rakennusta värähtelyn, kiertymien ja siirtymien kannalta - Alustava jäykistysuunnittelu - Tutkitaan taloteknisten järjestelmien yhteensopivuus kantaviin rakenteisiin 	Rakennejärjestelmäselostus; suunnittelumenetelmät, kuormitukset, kokonaisvakavuus, rakennejärjestelmät, riskiarvio

Kuva 14. Ehdotussuunnitteluvaiheen lähtötiedot, staatikon tehtävät ja lopputulokset

3.2 Yleissuunnitteluvaihe

Yleissuunnitteluvaihe on stabiliteettilaskennan kannalta merkittävä vaihe. Tässä vaiheessa määritetään alustavista arvioista lopullisia lausuntoja. Yleissuunnitteluvaiheessa valitusta ehdotussuunnitelmasta kehitetään toteutuskelpoinen yleissuunnitelma (RT 10-11128 2013, 7). Yleissuunnitteluvaiheessa suunnittelu keskittyy rakennuksen kiinteään perusosaan, että muuttuvaan tila-alue suunnitteluun.

Staatikon tehtävät liittyvä rakennuksen kiinteään perusosaan, rakennuksen runkoon ja perustuksiin. Tässä suunnitteluvaiheessa on käynnistymässä myös rakennusluvan haku-prosessi, johon liittyvät lupa-asiakirjat on valmisteltava. Tässä aluvuossa on eritelty staatikon tehtävät laskentatehtäviin, runkorakenteiden yleissuunnitteluun sekä muihin tehtäviin. Lisäksi aluvuossa esitellään vaiheen lähtötiedot sekä lopputulokset.

3.2.1 Lähtötiedot

Yleissuunnitteluvaiheessa lähtötietoina toimii ehdotussuunnitteluvaiheen valittu suunnitteluratkaisu, rakennejärjestelmävaihtoehdot sekä rakennejärjestelmäselostus. Yleissuunnitteluvaiheen lähtötietoina toimii arkkitehdin tekemä päivitetty luonnos rakennussuunnittelusta, jossa on huomioitu ehdotussuunnitteluvaiheessa määritetyt reunaehdot staattisesti merkityksellisten rakenteiden kohdilla. Lisäksi lähtötietoina toimivat tilaajan hyväksymät suunnitteluperusteet, sekä ehdotussuunnitteluvaiheessa suoritettavat alustavat laskelmat ja laskelma-asiakirjat. Alustavia laskelmia ovat muun muassa laskelmat rakennukseen vaikuttavista kuormituksista, laskelmat jäykistävästä rakenteista ja laskelmat alustavista siirtymistä ja kiihtyvyyksistä. Laskenta-asiakirjoja ovat mahdolliset raportit laskentasuorituksista. Lisäksi yleissuunnitteluvaiheen lähtötietoja päivittää talotekniikkasuunnittelijoiden näkemykset ja arviot taloteknisten järjestelmien vaatimista tilavarauksista. Mahdollisen tuulitunnelikokeen tulokset toimivat myös staatikon työn lähtötietona.

3.2.2 Laskentatehtävät

Staatikon tehtävänä yleissuunnitteluvaiheessa on tarkistaa kantavien rakenteiden varmuustaso. Staatikko määrittelee jäykistävien rakenteiden riittävyden siirtymien, kiertymien, värähtelyn ja kiihtyvyyden perusteella pahimmassa mahdollisessa kuormitusyhdistelmässä. Rakenteiden varmuustason on hyvä olla jonkin verran varmalla puolella, koska tyypillisesti rakenneosakohtaiset kuormitukset kasvavat, kun kuormituksia lasketaan ja määritetään tarkemmin.

Staatikon laskentatehtävät yleissuunnitteluvaiheessa perustuvat jäykistävien rakenteiden määrittämiseen. Rakennuksen ulkomuodon varmistuttua arkkitehtisuunnitelmista, staatikon on mahdollista täsmentää rakennukseen vaikuttavat kuormitukset. Tässä staatikko hyödyntää mahdollisen tuulitunnelikokeen tuloksia.

Staatikon tehtävien toteuttaminen edellyttää FEM-laskentamallin tekemistä ja rakennuksen rakennemallin määrittämistä. Jos ehdotussuunnitteluvaiheessa on laadittu laskentamalli, voidaan tätä hyödyntää. Arkkitehti on tehnyt suunnitelmiinsa muutoksia, jotka täytyy huomioida tarkoissa laskennoissa. Rakennusten stabiliteettisuunnittelu on tehokkaampaa silloin, kun apuna on FEM-laskentaohjelma. Korkean rakennuksen suunnittelu edellyttää FEM-laskentaohjelman käyttöä. Staatikon tehtävänä on laatia rakennuksen kokonaisvakavuuslaskelmat hyödyntäen rakennemallia. Staatikko laatii yleissuunnitteluvaiheessa myös onnettomuustilanteen kokonaisvakavuuslaskelman ehdotussuunnitteluvaiheessa valitun onnettomuustilanteen rakennemallin mukaan.

Yleissuunnitteluvaiheessa staatikon tehtävänä on laskea kohde läpi pahimmassa mahdollisessa kuormitusyhdistelmässä. Tämä tarkoittaa keskeisten perustus- ja runkorakenteiden ja pääliitosten periaatteellisia rakennelaskelmia. Keskeisiä runkorakenteita ovat muun muassa pilarit, palkit, kantavat seinälinjat, hissi- ja porrastornit ja välipohjarakenteet. Vaikka rakenteiden dimensiot ovat lähestulkoon lopullisia, on mahdollista, että muutoksia tullaan tekemään. Pahimmalla kuormitusyhdistelmällä tarkoitetaan tilannetta, jossa rakennukseen kohdistuvat kuormat aiheuttavat pahimman yhteisvaikutuksen yksittäiselle rakenneosalle. (Leino 2018; RT 10-11128 2013, 8.)

Kun on kyseessä korkean rakennuksen stabiliteetilaskenta, staatikko käyttää useita eri malleja. Yleismallia, johon on mallinnettu kaikki rakennuksen kantavat rakenteet, kutsutaan globaalimalliksi. Muut staatikon käyttämät mallit ovat yksittäismalleja. FEM-malleja on käytössä useita, koska globaalimallilla ei pysty mitoittamaan kaikkia rakenteita riittävän tarkasti. Ja jos samalla mallilla pyrittäisiin mitoittamaan rakennuksen kaikki rakenteet, kasvaisi mallitiedoston koko niin suureksi, ettei useimmat tietokoneet kykenisi prosessoimaan tietoa riittävällä nopeudella. Globaalimallin avulla staatikko määrittää rakennuksen perustuskuormat, pilarikuormat ja rakennuksen jäykistävien rakenneosien rasitukset. Lisäksi globaalimallista staatikko määrittää rakennuksen jäykistävien rakenteiden riittävyyden kokonaisstabiliteetin kannalta. Rakennuksen kokonaissiirtymät tulee pysyä sallituissa rajoissa ja kiihtyvyydet riittävän pieninä. Yksittäismallit ovat esimerkiksi välipohjalaattojen tai vastaavien yksittäisten rakenteiden yksityiskohtaista mitoitusta varten laadittavia malleja. (Leino 2018.)

3.2.3 Runkorakenteiden yleissuunnittelu

Yleissuunnitteluvaiheessa on tärkeää saada lyötyä lukkoon rakennuksen ulkomuotoon liittyvät tekijät, kuten rakennuksen muoto ja korkeus. Kun ulkomuoto on lopullisesti päätetty, on mahdollista toteuttaa muita yleissuunnitteluvaiheen tehtäviä, kuten rakennukseen vaikuttavien kuormitusten tarkistaminen ja täsmentäminen. Erityisesti tuulikuorman tarkka määrittäminen on kiinni rakennuksen ulkomuodosta (Leino 2018). Tuulitunnelikoe tai tuulisimulaatio on mahdollista järjestää vasta siinä vaiheessa, kun rakennuksen ulkomuoto on muuttumaton. Tuulikuorman määrittämisestä tuulitunnelikokeen tai tuulisimulaation avulla on kerrottu lisää kappaleessa 2.2.3 Tuulitunnelikoe ja tuulisimulaatio. Projektin johto tekee päätökset, suoritetaanko tuulitunnelikoetta tai tuulisimulaatiota kyseessä olevan kohteen kohdalla.

Staatikko osallistuu yleissuunnitteluvaiheessa rakennuksen kiinteän osan määrittämiseen. Rakennuksen perustukset ovat osa rakennuksen kiinteää osaa. Varsinaisen perustussuunnittelun tekee rakennesuunnittelija. Staatikko määrittelee perustuskuormat ja laatii perusrakenteiden yleissuunnitelman rakennesuunnittelijoiden lähtötiedoksi. Rakennuksen runko on myös osa rakennuksen kiinteää osaa. Yleissuunnitteluvaiheessa staatikko osallistuu runkorakenteiden yleissuunnitelman laatimiseen muiden suunnitteluorganisaation

osapuolten kanssa. Runkorakenteiden yleissuunnitelmassa määritetään jännevälit, rakenneosakohtaiset dimensiot, päädetaljit ja palosuojausperiaatteet. Lisäksi staatikon tehtävänä on täydentää ehdotussuunnitteluvaiheessa laadittu rakennejärjestelmäselostus. Selostus päivittyy tässä suunnitteluvaiheessa palotilanteen, kuormitusten ja riskien hallinnan osalta. Yleissuunnitteluvaiheen rakennejärjestelmäselostus sisältää kuormitukset, kokonaisvakavuuden, eri rakennejärjestelmät, onnettomuustilanteen, palotilanteen ja riskienhallinnan. (RT 10-11128 2013, 8–9.)

3.2.4 Muut tehtävät

Yleissuunnitteluvaiheessa staatikon on hyvä ottaa huomioon talotekniikkasuunnittelijoiden tarpeet. Rakennuksen sijoitettavat, taloteknisten ratkaisujen vaatimat kuilurakenteet ja niiden sijainnit ovat tärkeää huomioida kokonaisstabiliteettia laskettaessa. Taloteknisten laitekokonaisuuksien kuormat voivat myös olla pahimmillaan erittäin suuria. Esimerkkinä ilmastointikoneet. Tästä syystä staatikko osallistuu TATE-installaatioiden tila-varaussuunnitteluun. Talotekniikan vaatimusten on otettava huomioon myös ajatellen huoneistojen ja tilojen huonekorkeuksia. Mahdollisimman aikaisessa vaiheessa suunnitteluprosessia on tiedettävä paljonko talotekniset järjestelmät vaativat korkeussuunnassa tilaa vapaan tilavaatimuksen ja kantavan vaakarakenteen välissä. Alaslaskettu kattorakenne mahdollistaa taloteknisten johtojen, sähköjohtojen, putkien, ilmastointijärjestelmien, sprinklerijärjestelmien, varoitinjärjestelmien ja muiden järjestelmien kuljettamisen katseelta piilossa. Staatikon työn ja rakennuksen stabiliteetin kannalta tärkeä tieto on myös taloteknisten suurikokoisten putkien putkireitit jotka voivat aiheuttaa reikiä kantaviin rakenteisiin. Kantavissa rakenteissa reiät ja reikien kohdat on suunniteltava yksityiskohtaisesti, riippuen reiän paikasta ja muodosta. (Leino 2018; Laskenta ja sen rytmittäminen muuhun suunnitteluun 2017.)

Staatikon tehtäviä voivat yleissuunnitteluvaiheessa olla myös erilaiset erikseen tilattavat tehtävät, jotka eivät välttämättä liity rakenteen jäykistämiseen millään tavalla. Tällaisia tehtäviä voivat olla muun muassa määrien ja kustannusten hallintaan liittyvien laskelmien, selvitysten ja luetteloiden tekeminen, värähtelytarkastelut ja dynaamiset kuormitustarkastelut sekä muita hankekohtaisia erityisvaatimuksia edellyttäviä tehtäviä, kuten korkean rakentamisen rakentamistapaohje. (RT 10-11128 2013, 9.)

3.2.5 Lopputulokset

Lopputuloksena yleissuunnitteluvaiheessa ovat staatikon kirjalliset laskentareportit ja laskenta-asiakirjat, yleissuunnitelma sekä periaatteelliset liitosdetaljipiirustukset. Yleissuunnitelma sisältää perusrakenteiden osalta perustusten yleissuunnitelman ja perustuskuormakaaviot sekä runkorakenteiden osalta tasokaaviot, tartuntapiirustukset, yleisleikkaukset, rakenneosakohtaiset periaatepiirustukset, tyypilliset ja periaatteelliset liitosdetaljipiirustukset sekä palosuojausperiaatteet. Laskentasuoritusten lopputuloksia ovat kuormitusselostukset ja kuormituskaaviot, rakennemalli kokonaisvakavuuslaskelmat, onnettomuustilanteen kokonaisvakavuuslaskelmat, periaatteelliset rakennelaskelmat perustus- ja runkorakenteista. On tärkeää, että laskentamalli ja rakennemalli tehdään huolellisesti, koska ne tarkastetaan kolmannen osapuolen tarkastajan toimesta. (RT 10-11128 2013, 8.)

Staatikon lopputulosasiakirjojen tarkoituksena on helpottaa rakennesuunnittelijoiden työntekoa. Esimerkiksi perustussuunnittelija haluaa mahdollisimman selkeät laskentareportit perustuskuormista ja perustuksiin liittyvistä rakenteista.

Staatikko raportoi laskentasuorituksistaan projektipäällikölle. Projektin sujuvan onnistumisen kannalta on tärkeää, että tieto staatikon tekemistä ratkaisuista siirtyy myös muille suunnitteluorganisaatioille. Esimerkiksi talotekniikkasuunnittelijat ja sähkösuunnittelijat ovat kiinnostuneita tietämään rakennuksen taloteknisten vaatimusten kannalta, missä palkkilinjat kulkevat. (Leino 2018.)

Alla on esitetty ote opinnäytetyön lopputuloksena tuotetusta ohjekortista. Kuvissa 15. ja 16. esitetään ohjekortin osa B, jossa on eritelty yleissuunnitteluvaiheen lähtötiedot, tehtävät ja lopputulokset.

B. YLEISSUUNNITELU

"Yleissuunnittelussa valittu ehdotussuunnitelma kehitetään toteutuskelpoiseksi yleissuunnitelmaksi."

Vaiheen lopputuloksena saadaan keskeisten rakenteiden ja liitosten rakennesuunnitelmat ja -laskelmat sekä kolmannen osapuolen tarkastukseen vaadittavat laskentamallit.

B.1 Lähtötiedot

Tunnus	Lähtötieto
B.1.1	<ul style="list-style-type: none"> - Rakennejärjestelmäselostus (A.2.3) - Rakennejärjestelmävaihtoehdot (A.2.2)
B.1.2	- Päätös valitusta rakennejärjestelmästä
B.1.3	- Tarvittavat lisätutkimukset, esim. tuulitunnelikokeet
B.1.4	- Täsmennetyt kuormitukset (A2.1)

B.2 Staatikon tehtävät ja lopputulokset

Tunnus	Tehtävä	Lopputulos
B.2.1	Rakennuksen kiinteiden osien määrittäminen	
	<ul style="list-style-type: none"> - Laatia perusrakenteiden yleissuunnitelma ja määrittää perustuskuormat 	Perusrakenteiden yleissuunnitelma, perustuskuormat
	<ul style="list-style-type: none"> - Osallistua runkorakenteiden yleissuunnitelman laatimiseen. Määrittää rakenneosakohtaiset dimensiot, betonilaadut, päädetaljit ja palosuojausperiaatteet. 	1. Runkorakenteiden tasokaaviot, tartuntapiirustus, yleisleikkaukset 2. Rakenneosakohtaiset periaatepiirustukset (pilarit, seinät, palkit, laatat, jne.) 3. Tyypilliset ja periaatteelliset liitosdetalji- ja piirustukset 4. Palosuojausperiaatteet
	<ul style="list-style-type: none"> - Täsmentää ehdotussuunnittelun rakennejärjestelmäselostus (kuormitukset, kokonaisvakavuus, eri rakennejärjestelmät, onnettomuustilanteet, palotilanne ja riskien hallinta) 	Rakennejärjestelmäseloste
	<ul style="list-style-type: none"> - Varmistaa kantavien rakenteiden varmuustaso 	

Kuva 15. Yleissuunnitteluvaiheen lähtötiedot ja staatikon tehtävät

B.2.2	Laskentatehtävät	
-	Täsmentää kuormitukset	Kuormitusselostus ja/tai kuormituskaavio
-	Laatia rakennemalli ja kokonaisvakavuuslaskelmat	Rakennemalli ja kokonaisvakavuuslaskelmat
-	Laatia onnettomuustilanteen rakennemalli ja kokonaisvakavuuslaskelmat	Onnettomuustilan kokonaisvakavuuslaskelmat
-	Suorittaa tuulien aiheuttaman värähtelyn värähtelytarkastelu	Värähtelylaskelmat
-	Laatia keskeisten perustus- ja runkorakenteiden sekä liitosten periaatteelliset rakennelaskelmat (murto-, käyttö- ja onnettomuustila)	Periaatteelliset rakennelaskelmat
B.2.3	Talotekniikka	
-	Osallistua TATE- installaatioiden tilavaraussuunnitteluun	
-	Tarkistaa järjestelmien reititykset rakenteiden kannalta	
-	Tarkistaa taloteknisten järjestelmien ja kantavien rakenteiden yhteensopivuus	
B.2.4	Erikseen tilattavat tehtävät	
-	Määrien ja kustannusten hallintaan liittyvät laskelmat, selvitykset, luettelot	
-	Dynaamiset kuormitustarkastelut	
-	Hankekohtaisten erityisvaatimusten edellyttämät lisätehtävät (esim. korkean rakentamisen rakentamistapaohje)	

Kuva 16. Yleissuunnitteluvaiheen staatikon tehtävät

3.3 Toteutussuunnitteluvaihe

Rakennuksen varsinainen rakennusosakohtainen suunnittelu tapahtuu toteutussuunnitteluvaiheessa. ”Toteutussuunnitteluvaiheessa yleissuunnitelmasta kehitetään rakentamisen ja hankinnan edellyttämiksi mitoitetuiksi suunnitelmiksi tuotemäärittelyiksi.” (RT 10-11128 2013, 11).

Toteutussuunnitteluvaiheessa staatikon tehtävien tarkoituksena ja tavoitteena on asettaa lähtötiedot ja reunaehdot rakennesuunnittelijoiden suunnittelutyölle. Toteutussuunnitteluvaiheessa rakennuksen jokainen yksittäinen rakenneosaa mitoitetaan ja suunnitellaan. Toteutussuunnittelu alkaa yleisesti ottaen rakennusluvan saamisen jälkeen. Kun virallinen lupa rakennuksen rakentamiseen on saatu, voidaan tarkat rakenneosakohtaisen suunnitelmat laatia. Projektin tässä vaiheessa staatikon tehtävät alkavat vähentyä ja rakennesuunnitteluorganisaatiossa suurimmassa roolissa ovat suunnittelijat, piirtäjät ja mallinta-

jat. He tekevät lopulliset tuotesakohtaiset piirustukset kaikista rakennukseen sijoitettavista rakenneosista. Staatikon laskentatehtävien lisäksi tässä alaluvussa esitellään ehdotussuunnitteluvaiheen lähtötiedot sekä lopputulokset.

3.3.1 Lähtötiedot

Toteutussuunnitteluvaiheessa lähtötietona toimivat yleissuunnitteluvaiheessa laaditut tietomallit, arkkitehdin työpiirustukset, TATE-lähtötiedot, yleissuunnitelma sekä suunnittelupakettien laajuudet, sisällöt ja aikataulut. Suunnittelupakettien aikataulu määrää yleissuunnitteluvaiheen aikataulun. Arkkitehdin työpiirustukset toimivat lähtötietona niiltä osin mitä on valmiina. Tiukasta aikataulusta ja resurssien puutteesta johtuen arkkitehti laatii työpiirustuksiaan osittain samanaikaisesti staatikon tehdessä toteutussuunnitelmia. Tästä johtuen kaikki työpiirustukset eivät todennäköisesti ole valmiina yleissuunnitteluvaiheen alussa. Tämä aiheuttaa usein muutoksia ja korjauksia staatikon tekemiin laskelmiin, arkkitehdin tehdessä muutoksia suunnitelmiin. (RT 10-11128 2013, 11; Leino 2018.)

Talotekniset vaatimukset tulee olla tässä suunnitteluvaiheessa selvillä ja lukkoon lyötynä. Talotekniikan vaatimat kuilut ja ilmanvaihtolinjat, järjestelmät, putkilinjat, lämmitysjärjestelmät ja valaistuksen järjestäminen ovat lopullisesti päätetty. Toteutussuunnitteluvaiheessa taloteknisten järjestelmien muutosten tekeminen on haasteellista.

3.3.2 Rakenneosakohtaiset laskelmat

Toteutussuunnitteluvaiheessa staatikon tehtävät perustuvat rakennesuunnittelijoiden työn lähtötietojen määrittämiseen. Lähtötietoja, joita rakennesuunnittelijat tarvitsevat ovat muun muassa betonirakenteiden rakenneosakohtaiset teräsmäärät ja betonilaadut sekä teräs- ja puurakenteiden lopulliset profiilit.

Staatikon tehtävänä toteutussuunnitteluvaiheessa on täydentää yleissuunnitteluvaiheessa laaditut kantavien ja jäykistävien rakenteiden rakennelaskelmat. Yleissuunnitteluvaiheen

laskelmissa tulee ottaa huomioon työnaikainen tilanne, käytönaikainen tilanne, palotilanne ja onnettomuustilanteet. Lisäksi yleissuunnitteluvaiheessa laaditaan täydentävien rakenneosien rakennelaskelmat. (RT 10-11128 2013, 22.)

Staatikko määrittelee toteutussuunnitteluvaiheessa yksityiskohtaiset rakenneosakohtaiset lähtötiedot rakennesuunnittelijoille. Paikallavalurakennesuunnittelulle lähtötiedoiksi staatikko määrittelee betonilaadun, raudoitusperiaatteet, raudoitusmäärät, tartunnat liittyviin rakenteisiin, tartunta määrät sekä liitosperiaatteet ja saumatyypit. Lisäksi paikallavalurakenteiden kohdalla staatikko määrittää ohjeet muottien ja tuentojen purkamisesta. Elementtirakennesuunnittelulle staatikko määrittää lähtötiedoksi käytettävät betonilaadut, raudoitusperiaatteet ja raudoitusmäärät, liitosperiaatteet ja saumatyypit, liitin määrät ja liitosdetaljit sekä liitoskaaviot. Teräsrakennesuunnitteluun ja konepajasuunnitteluun staatikko määrittää lähtötiedoiksi käytettävät teräsprofiilit, teräslaadut, hitsausvaatimukset, liitostyypit ja liitosdetaljit sekä esikorotukset. Puurakenteiden suunnitteluun staatikko määrittelee lähtötiedoiksi käytettävien puurakenteiden profiilit, liitostyypit ja liitosdetaljit. Lisäksi staatikko määrittelee rakennesuunnittelijoille aukkojen maksimi koot, niiden mahdolliset sijainnit ja raudoitusperiaatteet rakenneosakohtaisesti.

Staatikon on varmistettava laskentaraaporttien tekemisen jälkeen, että rakennesuunnittelijat ovat ymmärtäneet rakenteiden toiminnan periaatteet. Staatikon on hyvä käydä rakeneosiin liittyvät detaljit ja mallit läpi projektin johtajan sekä rakennesuunnittelijoiden kanssa. Lisäksi staatikon täytyy valvoa ja kontrolloida rakennesuunnittelijoiden työtä ja työn laatua osallistumalla suunnitelmien tarkastamiseen. Tarkastusten perusteella staatikko varmistuu rakennesuunnittelijoiden tulkinneen ohjeita ja vaatimuksia oikein. Rakennesuunnittelija tekee aina oman tulkintansa rakenneosan toiminnasta staatikon tekemän raportin perusteella. (Leino 2018.)

3.3.3 Lopputulokset

Toteutussuunnitteluvaiheen lopputuloksena saadaan hankkeen rakentamisen ja hankinnan edellyttämät mitoitetut rakennepiirustukset jokaisesta yksittäisestä rakenneosasta. Staatikon laskentatyön lopputuloksena on kantavien ja jäykistävien rakenteiden dokumentoidut rakennelaskelmat johdonmukaisena kokonaisuutena. Kantavien ja jäykistävien rakenteiden laskentakokonaisuudessa kokonaisvakavuuslaskelmat, olennaisten kantavien

rakenneosien laskelmat ja erilaiset kuormitustilanteet on käsitelty. Lisäksi täydentävien rakenneosien rakennelaskelmat esitetään vastaavanlaisena dokumentoituna kokonaisuutena. Tässä kokonaisuudessa esitetään olennaiset kantavat rakenneosat sekä kuormitustilanteet. Staaticon suunnittelutyön lopputuotoksena esitetään myös paikallavalurakenteiden tartuntapiirustukset ja periaatteelliset tasopiirustukset, betonirakenteiden liitosdetaljit ja liitoskaaviot, teräsrakenteiden liitosdetaljit ja liitoskaaviot sekä puurakenteiden tyypilliset liitosdetaljit ja liitoskaaviot.

Alla on esitetty ote opinnäytetyön lopputuloksena tuotetusta ohjekortista. Kuvissa 17. ja 18. esitetään ohjekortin osa C, jossa on eritelty toteutussuunnitteluvaiheen lähtötiedot, tehtävät ja lopputulokset.

C. TOTEUTUSSUUNNITTELU

”Toteutussuunnittelussa yleissuunnitelma kehitetään rakentamisen ja hankinnan edellyttämiksi mitoitetuiksi suunnitelmiksi ja tuotemäärittelyiksi.”

Staatikko tarkastaa omalta osaltaan, että toteutusvaiheen rakennesuunnitelmat täyttävät asetetut vaatimukset. Vaiheen lopputuloksena riittävän yksityiskohtaiset lähtötiedot ja reunaehdot rakennesuunnitteluun.

C.1 Lähtötiedot

Tunnus	Lähtötieto
C.1.1	- Suunnitelmapakettien laajuudet, sisällöt ja aikataulut
C.1.2	- Tietomallit
C.1.3	- Arkkitehdin työpiirustukset
C.1.4	- Yleissuunnitelma

Kuva 17. Toteutussuunnitteluvaiheen lähtötiedot

C.2 Staतिकon tehtävät ja lopputulokset

Tunnus	Tehtävä	Lopputulos
C.2.1	Rakennelaskelmat	
	<ul style="list-style-type: none"> Täydentää kantavien ja jäykistävien rakenneosien rakennelaskelmat ottaen huomioon työaikainen tilanne, käytönaikainen tilanne, palotilanne ja onnettomuustilanteet Laatia täydentävien rakenneosien rakennelaskelmat 	<p>Dokumentoidut rakennelaskelmat johdonmukaisena kokonaisuutena, jossa kokonaisvakavuus, olennaiset kantavat rakenneosat ja erilliset kuormitusilanteet on käsitelty</p> <p>Dokumentoidut rakennelaskelmat riittävässä laajuudessa</p>
C.2.2	Paikallavalurakenteet	
	<ul style="list-style-type: none"> Määrittää paikallavalurakenteiden lopulliset rauditusperiaatteet, rauditusmäärät, tartunnat ja tartuntamäärät. Ohjeistaa muottien ja tuentojen purkaminen 	Paikallavalurakenteiden suunnittelulähtötiedot
C.2.3	Elementtirakenteet	
	<ul style="list-style-type: none"> Määrittää elementtirakenteiden lopulliset rauditusperiaatteet, rauditusmäärät, liitosperiaatteet, liitosdetaljit ja liitoskaaviot. 	Elementtirakenteiden suunnittelulähtötiedot
C.2.4	Teräsrakenteet	
	<ul style="list-style-type: none"> Määrittellä teräsrakenteiden lopulliset teräsprofiilit, esikorotukset, liitostyypit ja liitosdetaljit 	Teräsrakenteiden suunnittelulähtötiedot
C.2.5	Puurakenteet	
	<ul style="list-style-type: none"> Määrittellä piirakenteiden lopulliset profiilit, liitostyypit ja liitosdetaljit 	Puurakenteiden suunnittelulähtötiedot

Kuva 18. Toteutussuunnitteluvaiheen staतिकon tehtävät ja lopputulokset

4 OHJEKORTTI

Tämän opinnäytetyön lopputuotoksena toteutetaan ohjekortin muodossa muistilista korkeiden rakennusten stabiliteetilaskennan tehtäviin ja huomioitaviin asioihin. Ohjekortti toteutetaan Sweco Rakennetekniikan käyttöön. Ohjekortin tarkoituksena on jäsenellä luvussa 3. (Stabiliteetilaskennan prosessi) määritellyt korkean rakennuksen rungon stabiliteetilaskennan eri vaiheet, erityispiirteet ja staatikon tehtävät. Ohjekortissa on huomioitu ainoastaan rakennelaskentaan ja rakennuksen rungon suunnitteluun liittyvät tehtävät ja toimenpiteet. Suunnitteluprosessin läpiviemiseen kuuluu lukuisia muita tehtäviä, joihin ei tässä ohjekortissa oteta kantaa. Ohjekortin tarkoituksena on toimia staatikon apuvälineenä ja muistilistana stabiliteetilaskennan prosessin eri vaiheissa. Ohjekortti on kokonaisuudessaan esitetty liitteenä (Liite 1.).

Ohjekortissa stabiliteetilaskennan prosessi on jaettu luvun 3. (Stabiliteetilaskennan prosessi) mukaisesti rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK12 mukaisiin kolmeen eri suunnitteluvaiheeseen. Vaiheet ovat ehdotussuunnittelu-, yleissuunnittelu- ja toteutus-suunnitteluvaihe. Jokainen suunnitteluvaihe on jaettu ohjekortissa kahteen eri alalukuun. Alaluvuissa käsitellään suunnitteluvaiheen lähtötietoja, staatikon yleisiä tehtäviä suunnitteluvaiheissa sekä suunnitteluvaiheen lopputuloksia ja lopputuotoksia. Kunkin suunnitteluvaiheen staatikon tehtävät ja lopputulokset on sijoitettu samaan taulukkoon havainnollistamisen parantamiseksi. Lisäksi taulukkomuotoisen ohjekortin ulkoasu mukailee rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK12:sta ulkoasua. Tällä pyritään vähentämään ohjekortin väärinymmärryksiä.

5 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli jäsenellä korkean rakennuksen stabiliteetilaskennan vaiheittainen prosessi sekä toteuttaa aiheesta toimeksiantajayritykselle ohjekortti. Lisäksi tavoitteena oli kuvata korkean rakennuksen rakennushanke ja esitellä korkean rakentamisen erityispiirteet Suomalaisessa rakennuskannassa. Työssä ja ohjekortissa stabiliteetilaskennan prosessi jaettiin rakennesuunnittelun tehtäväluettelon RAR12 mukaisiin kolmeen vaiheeseen. Vaiheet olivat ehdotussuunnittelu-, yleissuunnittelu- ja toteutus-suunnitteluvaihe.

Opinnäytetyössä käytettiin aineistona kirjallisuuslähteitä, toimeksiantajayritykseen tehtyjä diplomitöitä sekä haastatteluita. Haastattelut suoritettiin yrityksen sisäisinä haastatteluin. Haastatteluiden tarkoituksena oli kartoittaa korkean rakentamisen erityispiirteitä ja stabiliteetilaskennan haasteita. Rakenteeltaan työ on selkeä kokonaisuus ja jakautuu kirjallisuusosaan ja tutkimusosaan. Kirjallisuusosassa luvussa 2. keskityttiin kirjallisuuslähteiden perusteella kartoitettuun tietoon korkean rakentamisen erityispiirteistä. Tutkimusosassa luvussa 3. jäseneltiin korkean rakennuksen stabiliteetilaskennan prosessi haastatteluiden perusteella. Lopputuloksena toteutettu ohjekortti on ikään kuin tiivistelmä luvussa 3. käsitellyistä asioista. Tärkeimmät asiat tiivistettynä taulukkomuotoon.

Opinnäytetyön tekemisen aikana tehdyt haastattelut osoittautuivat merkittäväksi ja antoisiksi ajatellen työn lopputulosta. Ammattitaitoiset ja kokeneet korkeanrakennuksen asiantuntijat Veikko Leino ja Teuvo Meriläinen olivat suurena apuna työn aikana. Pidän haastatteluita tärkeimpänä yksittäisenä osana opinnäytetyötäni sekä omaa oppimistani ja kehittymistäni työn tekemisen aikana. Haastattelut tuovat työhön osaltaan palan todellisista kohteista ja stabiliteetilaskennan hankaluuksista. Haastatteluita olisi voinut olla jopa enemmän. Toinen tärkeä asia opinnäytetyön onnistumisen takana oli kattavat kirjallisuuslähteet yrityksen sekä koulun puolesta. Niiden perusteella oli helppo omaksua korkean rakentamisen periaatteet sekä saada käsitys stabiliteetilaskennan prosessin kulusta.

Yrityksen sisäisten haastatteluiden perusteella stabiliteetilaskennan prosessin ongelmaksi todettiin aikataululliset haasteet. Lisäksi haastatteluiden perusteella todettiin värtelytarkastelun olevan tärkeässä roolissa korkean rakennuksen suunnittelussa. Nämä edellä mainitut asiat tulevat selkeästi esille opinnäytetyössä ja ohjekortissa. Ohjekortin

avulla pyrittiin toteuttamaan työkalu stabiliteetilaskijalle, joka vähentäisi mahdollisia aikatauluongelmia hankkeen suunnittelun aikana. Ohjekortti toimii myös muistilistana, jotta kaikki korkealle rakennukselle vaadittavat toimenpiteet huomioidaan ja suoritetaan oikeaan aikaan. Yleisin haaste suunnitteluprosessin aikana on liian pitkälle suunnittelu liian aikaisessa vaiheessa. Toinen haaste on aikataulusta jälkeen jääminen.

Toimeksiantajan puolesta ohjekortti täyttää sille asetetut vaatimukset. Ohjekortti on tiivis ja selkeä kokonaisuus korkean rakennuksen stabiliteetilaskennan lähtötiedoista, tehtävistä sekä lopputuloksista. Ohjekortti esiteltiin toimeksiantajaorganisaatiolle ja siitä pyydettiin kommentteja alan asiantuntijoilta. Kommenttien perusteella ohjekorttiin tehtiin joitain pieniä muutoksia. Varsinaista testiä ohjekortille ei vielä ole suoritettu. Ohjekortti on tarkoitus ottaa yrityksen sisällä käyttöön. Mikäli käyttöönottovaiheessa ohjekortin käytössä ilmenee ongelmia, tullaan korttia muokkaamaan niiltä osin.

Työssä käsitellään korkean rakentamisen tyypillisiä rakenteita ja rakenneratkaisuita suomalaisessa rakennuskannassa sekä korkean rakentamisen erityispiirteitä verrattuna tyypilliseen matalaan rakentamiseen. Lisäksi opinnäytetyössä keskitytään tarkasti stabiliteetilaskentaa ja sen rytmittymistä stabiliteetilaskennan prosessia aikana. Mahdollisia ja hyödyllisiä jatkotutkimusaiheita ja kohteita voisi olla esimerkiksi rakennuksen vaakasiirtymän rajoittaminen, tuulesta aiheutuvan rakennuksen värähtelyn rajoittaminen, tilankäyttö ja toiminnalliset vaatimukset korkeissa rakennuksissa, korkean rakennuksen rakennettavuus, korkean rakennuksen rungon materiaalien vertailu ja rakennejärjestelmäkohtaisten kustannusten vertailu.

LÄHTEET

Churazova, A. 2017. How to Predict Wind Loads on Buildings via the Web Browser. [Blogi]. [Verkkolähde]. Luettu 26.1.2018.

<https://www.simscale.com/blog/2017/05/wind-loads-buildings/>

Betoniteollisuus ry. 2010a. Korkean rakennuksen jäykistys. [Verkkolähde]. Tulostettu 7.2.2018. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/Haku?term=korkean%20rakennuksen%20j%c3%a4ykistys>

Betoniteollisuus ry. 2010b. Jäykistejärjestelmät. [Verkkolähde]. Tulostettu 11.1.2018. [www.elementtisuunnittelu.fi/Download/22083/Jäykistysjärjestelmät.pdf](http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/22083/J%C3%A4ykistysj%C3%A4rjestelm%C3%A4t.pdf)

Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnitteluvirasto. 2011. Korkea rakentaminen Helsingissä.

Jalkanen, J. Tuulisuusselvitykset. 2018. Helsinki. Sweco Rakennetekniikka Oy.

Kihula, J. 2010. Korkeiden rakennusten suunnitteluperusteet. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Leino, V. Rakennesuunnittelija. DI. Suunnittelupäällikkö. 2018. Haastattelu 12.1.2018. Haastattelija Autio, T. Helsinki. Sweco Rakennetekniikka Oy.

Meriläinen, T. Rakennesuunnittelija. DI. Erityisasiantuntija. Skol luokka E. 2018. Haastattelu 15.2.2018. Haastattelija Autio, T. Helsinki. Sweco Rakennetekniikka Oy.

RT 10-11222. 2016. Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen osapuolet. Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki. Rakennustieto Oy.

RT 10-11224. 2016. Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen vaiheet ja osittelu. Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki. Rakennustieto Oy.

RT 10-11128. 2013. Rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK12. Asunto-, toimitila- ja rakennuttajaliitto RAKLI ry ja Rakennustietosäätiö RTS. Helsinki. Rakennustieto Oy.

RTT Rakennustuoteteollisuus ry. 1995a. Elementtirakennuksen jäykistys. Helsinki. Suomen Betonitieto Oy.

RTT Rakennustuoteteollisuus ry. 1995b. Rakennussuunnittelu ja rakennusjärjestelmät. Helsinki. Suomen Betonitieto Oy.

SFS-EN 1990. 2006. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Helsinki: Suomen Standardiliitto SFS. [Verkkolähde]. Luettu 15.2.2018. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SFS-EN 1991-1-4. 2011. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Standardiliitto SFS. [Verkkolähde]. Luettu 15.1.2018. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

Stafford Smith, B. & Coull, A. 1991. Tall Building Structures. Analysis and Design. USA: A Wiley-interscience publication.

Sweco. 2017. Laskenta ja sen rytmittäminen muuhun suunnitteluun. Helsinki. Sweco Rakennetekniikka Oy.

The Skyscraper Center. Turning Torso. [Verkkolähde]. Luettu 21.3.2018.

<http://www.skyscrapercenter.com/building/turning-torso/1979>

Tikkanen, E. 2014. Betonielementtirakentamisen soveltaminen korkeisiin rakennuksiin. Konetekniikan koulutusohjelma. Oulun yliopisto. Diplomityö.

Zils, J. & Viise, J. 2003. An Introduction to High-Rise Design. Structure magazine. [Ar-

tikkeli]. [Verkkolähde]. Luettu 9.4.2018. <http://www.structuremag.org/wp-content/uploads/2014/10/highrise.pdf>

LIITTEET

Liite 1. Ohjekortti

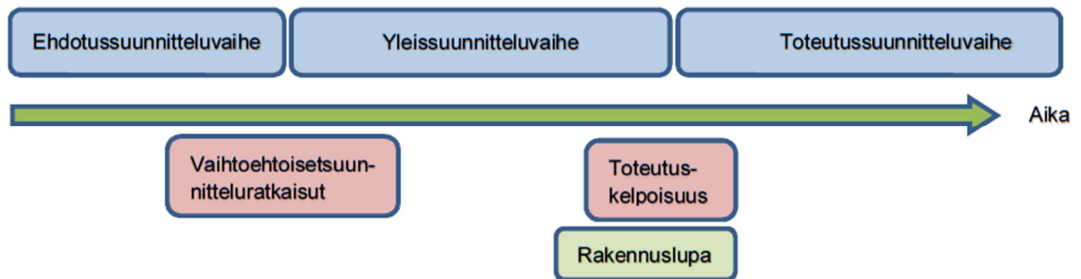
1 (6)



KORKEAN RAKENTAMISEN SWECO OHJEKORTTI XX

2018-03-16

Korkean rakennuksen rungon stabiliteettilaskennan tehtäväluettelo rakennushankkeen eri vaiheissa



Taneli Autio

memo03.docx, 2012-

Sweco
Askonkatu 2
FI-15100 Lahti,
p. +358 (0)207 393 000

www.sweco.fi

Sweco Rakennetekniikka Oy
2635439-2
Reg. Office Helsinki

Sweco Groupin jäsen

Taneli Autio

taneli.autio@sweco.fi

AT c:\users\fitana\documents\01_taneli autio\lank_taneli\opinnytetyo\opinnytetyo2018\tyo\ohjekortti\ohjekortti sweco 13.docx

Sisällys

JOHDANTO	2
A. EHDOTUSUUNNITTELU	3
A.1 Lähtötiedot	3
A.2 Staatikon tehtävät ja lopputulokset	3
B. YLEISSUUNNITTELU	4
B.1 Lähtötiedot	4
B.2 Staatikon tehtävät ja lopputulokset	4
C. TOTEUTUSSUUNNITTELU	5
C.1 Lähtötiedot	5
C.2 Staatikon tehtävät ja lopputulokset	6

Korkean rakennuksen rungon stabiileettilaskennan tehtäväluettelo rakennushankkeen eri vaiheissa

JOHDANTO

Tämän ohjekortin tarkoituksena on jäsenellä korkean rakennuksen rakennusrungon stabiileettilaskennan erityispiirteet sekä staatikon tehtävät rakennushankkeen eri vaiheissa. Ohjekortti on tarkoitettu apuvälineeksi ja muistilistaksi stabiileettilaskentaan.

Ohjekortti sisältää korkean rakennuksen rakennushankkeen stabiileettilaskennan prosessin eri vaiheet, vaiheiden lähtötiedot, staatikon tehtävät eri vaiheissa ja vaiheiden lopputulokset. Tässä ohjekortissa hankkeen suunnittelu on jaettu rakennesuunnittelun tehtäväluettelo RAK12 mukaisiin kolmeen vaiheeseen; ehdotussuunnitteluvaihe, yleissuunnitteluvaihe ja toteutussuunnitteluvaihe.

Ohjekortti on tarkoitettu käytettäväksi 16–32 kerroksisten asuin- ja toimistotalorakennuksien stabiileettilaskennan muistilistana. Tätä korkeampien rakennusten staattinen suunnittelu vaatii lisäselvityksiä, joita tässä ohjekortissa ei ole käsitelty.

A. EHDOTUSUUNNITTELU

"Ehdotussuunnittelussa laaditaan vaihtoehtiset suunnitteluratkaisut asetettujen tavoitteiden täyttämiseksi."

Vaiheen lopputuloksena syntyy riittävän yksityiskohtaiset lähtötiedot sekä suunnitteluratkaisu jatkosuunnittelun pohjaksi.

A.1 Lähtötiedot

Tunnus	Lähtötieto
A.1.1	Tilaaajan asettamat vaatimukset kohteelle
	<ul style="list-style-type: none"> - Tarkistetaan saadut lähtötiedot - Toiminnalliset tavoitteet; käyttötarkoitus, tilat ja tilavaatimukset - Elinkaari- ja käyttöikätaavoitteet - Kuormitukset - Hankkeen aiempien vaiheiden pöytäkirjat
A.1.2	Arkkitehdin luonnos
	<ul style="list-style-type: none"> - Arkkitehdin tekemä ehdotus tai ehdotukset
A.1.3	Sijaintiin ja olosuhteisiin liittyvät lähtötiedot
	<ul style="list-style-type: none"> - Rakennuspaikkakunta - Rakennuspaikalla vallitsevat maasto-olosuhteet ja maastoluokka - Ympäröivät rakennukset - Pohjatutkimukset

A.2 Staatikon tehtävät ja lopputulokset

Tunnus	Tehtävä	Lopputulos
A.2.1	Kuormat	
	<ul style="list-style-type: none"> - Määrittää alustavat kuormitukset 	
A.2.2	Suunnitteluvaihtoehdot	
	<ul style="list-style-type: none"> - Selvittää eri rakennejärjestelmävaihtoehdot - Laatia ehdotukset eri vaihtoehdoista - Suorittaa vaihtoehtoisten ehdotusten vertailu; kantavuus, kestävyys, rakenteellinen turvallisuus, muunneltavuus, laajennettavuus, käyttöikä 	Rakennejärjestelmävaihtoehdot (perustukset, runko); periaatteelliset rakennejärjestelmäkaaviot (päädimensiot, ominaisuudet, käyttöikä)
A.2.3	Jatkosuunnittelun reunaehdot	
	<ul style="list-style-type: none"> - Arvioida soveltuvat runkomateriaalit - Arvioida millaisin rakennejärjestelmin rakennus on toteutettavissa - Varmistaa jäykistävien rakenteiden sijoittuminen järkevästi rakennuksen poikileikkauksessa 	Rakennejärjestelmäselostus; suunnittelumenetelmät, kuormitukset, kokonaisvakavuus,



- Arvioida pystyrakenteiden riittävyys jännevälien kannalta	rakennejärjestelmät, riskiarvio
- Arvioida jäykistävien rakenteiden riittävyys kokonaisvakavuuden kannalta	
- Arvioida liikuntasauvojen tarve (miten vaikuttavat jäykistämisen kannalta)	
- Arvioida rakennuksen toimivuus onnettomuustilanteessa	
- Valitaan onnettomuustilanteen rakennemalli	
- Arvioida syntykök vetorasituksia jäykistäviin rakenteisiin	
- Arvioida rakennusta värähtelyn, kiertymien ja siirtymien kannalta	
- Alustava jäykistysuunnittelu	
- Tutkitaan taloteknisten järjestelmien yhteensopivuus kantaviin rakenteisiin	

B. YLEISSUUNNITELU

"Yleissuunnittelussa valittu ehdotussuunnitelma kehitetään toteutuskelpoiseksi yleissuunnitelmaksi."

Vaiheen lopputuloksena saadaan keskeisten rakenteiden ja liitosten rakennesuunnitelmat ja -laskelmat sekä kolmannen osapuolen tarkastukseen vaadittavat laskentamallit.

B.1 Lähtötiedot

Tunnus	Lähtötieto
B.1.1	- Rakennejärjestelmäselostus (A.2.3) - Rakennejärjestelmävaihtoehdot (A.2.2)
B.1.2	- Päätös valitusta rakennejärjestelmästä
B.1.3	- Tarvittavat lisätutkimukset, esim. tuulitunnelikokeet
B.1.4	- Täsmennetyt kuormitukset (A2.1)

B.2 Staatikon tehtävät ja lopputulokset

Tunnus	Tehtävä	Lopputulos
B.2.1	Rakennuksen kiinteiden osien määrittäminen	
	- Laatia perustusrakenteiden yleissuunnitelma ja määrittää perustuskuormat	Perustusrakenteiden yleissuunnitelma, perustuskuormat
	- Osallistua runkorakenteiden yleissuunnitelman laatimiseen. Määrittää rakenneosakohtaiset dimensiot, betonilaadut, päädetaljit ja palosuojausperiaatteet.	1. Runkorakenteiden tasokaaviot, tartuntapiirustus, yleisleikkaukset 2. Rakenneosakohtaiset periaatepiirustukset (pilarit, seinät, palkit, laatat, jne.) 3. Tyypilliset ja periaatteelliset liitosdetaljiirustukset 4. Palosuojausperiaatteet

4 (6)

KORKEAN RAKENTAMISEN SWECO OHJEKORTTI XX
2018-03-16

	<ul style="list-style-type: none"> - Täsmentää ehdotussuunnittelun rakennejärjestelmäselostus (kuormitukset, kokonaisvakavuus, eri rakennejärjestelmät, onnettomuustilanteet, palotilanne ja riskien hallinta) - Varmistaa kantavien rakenteiden varmuustaso 	Rakennejärjestelmäseloste
B.2.2	Laskentatehtävät	
	<ul style="list-style-type: none"> - Täsmentää kuormitukset - Laatia rakennemalli ja kokonaisvakavuuslaskelmat - Laatia onnettomuustilanteen rakennemalli ja kokonaisvakavuuslaskelmat - Suorittaa tuulien aiheuttaman värähtelyn värähtelytarkastelu - Laatia keskeisten perustus- ja runkorakenteiden sekä liitosten periaatteelliset rakennelaskelmat (murto-, käyttö- ja onnettomuustila) 	Kuormitusselostus ja/tai kuormituskaavio Rakennemalli ja kokonaisvakavuuslaskelmat Onnettomuustilan kokonaisvakavuuslaskelmat Värähtelylaskelmat Periaatteelliset rakennelaskelmat
B.2.3	Talotekniikka	
	<ul style="list-style-type: none"> - Osallistua TATE- installaatioiden tilavarauksuunnitteluun - Huomioida TATE- installaatioiden painot rakenteiden kannalta - Tarkistaa järjestelmien reititykset rakenteiden kannalta - Tarkistaa taloteknisten järjestelmien ja kantavien rakenteiden yhteensopivuus 	
B.2.4	Erikseen tilattavat tehtävät	
	<ul style="list-style-type: none"> - Määrien ja kustannusten hallintaan liittyvät laskelmat, selvitykset, luettelot - Dynaamiset kuormitustarkastelut - Hankekohtaisten erityisvaatimusten edellyttämät lisätehtävät (esim. korkean rakentamisen rakentamistapaohje) 	

C. TOTEUTUSSUUNNITTELU

"Toteutussuunnittelussa yleissuunnitelma kehitetään rakentamisen ja hankinnan edellyttämiksi mitoitetuiksi suunnitelmiksi ja tuotemääräittelyksi."

Staatikko tarkastaa omalta osaltaan, että toteutusvaiheen rakennesuunnitelmat täyttävät asetetut vaatimukset.

Vaiheen lopputuloksena riittävän yksityiskohtaiset lähtötiedot ja reunaehdot rakennesuunnitteluun.

C.1 Lähtötiedot

Tunnus	Lähtötieto
C.1.1	- Suunnitelmapakettien laajuudet, sisällöt ja aikataulut
C.1.2	- Tietomallit
C.1.3	- Arkkitehdin työpiirustukset
C.1.4	- Yleissuunnitelma

C.2 Staatikon tehtävät ja lopputulokset

Tunnus	Tehtävä	Lopputulos
C.2.1	Rakennelaskelmat	
	<ul style="list-style-type: none"> Täydentää kantavien ja jäykistävien rakenneosien rakennelaskelmat ottaen huomioon työaikainen tilanne, käytönaikainen tilanne, palotilanne ja onnettomuustilanteet Laatia täydentävien rakenneosien rakennelaskelmat 	<p>Dokumentoidut rakennelaskelmat johdonmukaisena kokonaisuutena, jossa kokonaisvakavuus, olennaiset kantavat rakennosat ja erilliset kuormitustilanteet on käsitelty</p> <p>Dokumentoidut rakennelaskelmat riittävässä laajuudessa</p>
C.2.2	Paikallavalurakenteet	
	<ul style="list-style-type: none"> Määrittää paikallavalurakenteiden lopulliset rauditusperiaatteet, rauditusmäärät, tartunnat ja tartuntamäärät. Ohjeistaa muottien ja tuentojen purkaminen 	Paikallavalurakenteiden suunnittelulähtötiedot
C.2.3	Elementtirakenteet	
	<ul style="list-style-type: none"> Määrittää elementtirakenteiden lopulliset rauditusperiaatteet, rauditusmäärät, liitosperiaatteet, liitosdetaljit ja liitiskaaviot. 	Elementtirakenteiden suunnittelulähtötiedot
C.2.4	Teräsrakenteet	
	<ul style="list-style-type: none"> Määrittellä teräsrakenteiden lopulliset teräsprofiilit, esikorotukset, liitostyypit ja liitosdetaljit 	Teräsrakenteiden suunnittelulähtötiedot
C.2.5	Puurakenteet	
	<ul style="list-style-type: none"> Määrittellä piirakenteiden lopulliset profiilit, liitostyypit ja liitosdetaljit 	Puurakenteiden suunnittelulähtötiedot

6 (6)

KORKEAN RAKENTAMISEN SWECO OHJEKORTTI XX
2018-03-16