

Korkea rakentaminen yleistyy – insinöörit uusien haasteiden edessä

Juha Valjus, dipl.ins., kehitysjohtaja
Sweco Rakennetekniikka Oy
juha.valjus@sweco.fi

Korkea rakentaminen on kaupunkimaisemassa alueen siluettiin ja näkymiin vaikuttavaa, ympäröivän rakennuskannan korkeuksista poikkeavaa ja kauas näkyvää rakentamista. Suomessa korkeaksi rakentamiseksi luokitellaan yleensä yli 16 kerroksiset asuin- tai toimistotornit sekä erilaiset hybridi- tai hotellikohteet, joissa kerroksia löytyy vielä enemmän.

Suunnittelulle uusia haasteita

Korkea rakentaminen on rakennesuunnittelulle erittäin haasteellista. Korkeiden rakennusten toteuttaminen kustannustehokkaasti vaatii onnistuakseen nykyistä enemmän yhteistyötä ja ymmärrystä kaikilta suunnittelun ja rakentamisen asiantuntijoilta. Haasteita tulee erityisesti luotettavien runkorakenteiden, tehokkuuden ja eri järjestelmien sekä rakentamisen nopeuden yhteensovituksessa.

Korkea rakentaminen yleistyy Suomessa ja 16 kerrosta korkeista asuinrakennuksista on tulossa melkein arkipäivää – aikaisemmin ne olivat melkoisia harvinaisuuksia. Tämän korkuisissa rakennuksissa uudet haasteet ovat vielä pieniä ja niitä ei ehkä enää kannataisikaan luokitella korkeaan rakentamiseen. Kun kurotetaan yli 100 m korkeuteen, tarvitaan jo uutta osaamista ja uusiin haasteisiin vastaamista.

Haasteita löytyy asioista, joita ei matalammissa rakennuksissa ole niin perusteellisesti tarvinnut ratkoa ja joiden vaativuutta, eikä merkitystä aiemmin ole tarvinnut tai osattu ottaa huomioon. Kokemuksien karttuessa on opittu paljon suunnittelusta, yhteistoiminnasta ja itse rakentamisesta. Oppia ja kokemuksia on järkevästi käyty hakemassa myös maista, joissa on rakennettu korkealle jo kauan.

Mitä korkeammalle kurotetaan, sitä suuremmat ovat haasteet. Kaikkien suunnittelijoiden ja rakentajien tulee olla tehtäviensä tasalla ja ymmärtää, että pelkillä rakenteiden mekaniikan perusteilla ja eurokoodien perus-

kaavoilla ei saada toimivia korkeita rakennuksia. Onneksi Suomesta löytyy riittävästi osaajia suunnitteluun ja rakentamiseen.

Ohjeistusta löytyy

Korkean rakentamisen projektinhallinta ja aikataulutukset poikkeavat tavanomaisesta rakennusprojektista tietyiltä osin. Esimerkiksi useat rakentamiseen liittyvät prosessit tulee aloittaa aiemmin kuin on totuttu ja tästä voi koitua yllätyksiä. Lisäksi korkeaan rakentamiseen liittyy teknisten haasteiden lisäksi useita kokonaisuuteen liittyviä tehtäviä kuten riskianalyytit, kolmannen osapuolen tarkastus ja muut erityismenettelyn toimenpiteet, jotka määrittävät tapauskohtaisesti projektin tarpeiden ja vaatimusten mukaisiksi.

Hyvän perustan tällaisen rakennusprojektin hallintaan ja aikataulutukseen saa perehtymällä Helsingin uusittuun julkaisuun "Korkean rakentamisen rakentamistapaohje 2018". Ohjeessa on selvitetty korkean rakentamisen edellytyksiä, tarvittavia selvityksiä ja menettelytapoja ja ohjeeseen on syytä perehtyä jokaisen korkean rakentamisen projekteihin osallistuvan.

Kalasataman REDI on korkean rakentamisen edelläkävijäkohde Suomessa

Kalasataman rannoille nousee uusi asuinalue, jonne kohoaa Helsingin ensimmäisiä reilusti yli sata metrisiä tornitaloja. REDIn kuusi asuintornia sekä toimisto- ja hotellitornit kurottavat korkeimmillaan jopa 132 metriin.

- 1 Helsingin korkean rakentamisen ohjekortit
- 2 Suomen korkeimmat asuinrakennukset rakenteilla Helsingin Kalasatamassa.
- 3 Tornitaloissa rungon jäykistys hoituu rakennuksen keskelle sijoitetun betonisen hissikuilun avulla. Kiipeävä muottijärjestelmä muistuttaa hieman perinteistä liukuvalua. Uutta siinä on kuitenkin esimerkiksi se, että samalla kiipeilyperiaatteella voidaan suojata rakennettava talo kauttaaltaan ympäri. Kiipeävät suojaseinät rakennuksen ympärillä suojaavat myös tuulelta.





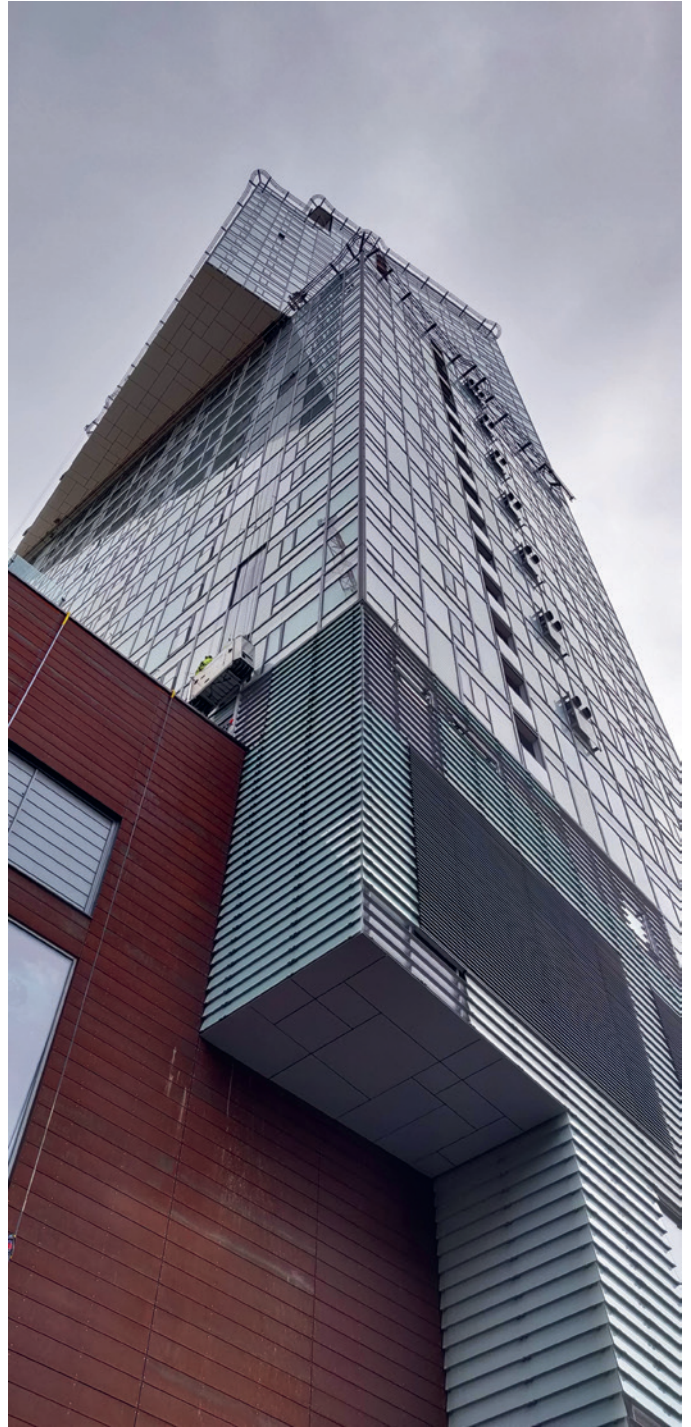
2



3



4



5

Kalasataman hybridikokonaisuus on yksi haastavimmista suunnittelukohteista Suomessa. Rakennushankkeen koko, tuulinen rakennuspaikka sekä meren läheisyys asettavat jo lähtökohtaisesti valtavat haasteet suunnittelulle. Lisäksi työmaan läpi kulkee metro ja Itäväylä, joiden suojaus ja jatkuva toiminta on huomioitava tarkasti suunnittelussa.

REDI:ssä on paljon erilaisia rakenteita ja rakennejärjestelmiä. Kalasataman tornit ovat niin korkeita, että kuormat alemmissa kerroksissa ovat todella suuria. Suurten kuormien takia muun muassa rakenteiden raudoitukset ovat paikoin erittäin tiheitä.

Korkeissa torneissa on huomioitava luonnollinen, yleensä tuulen aiheuttama liike ja värähtelyt. Tämä asia huomioidaan liikuntaliitoksissa.

Tornien muodot vaihtelevat alhaalta ylöspäin mentäessä, mikä vaikuttaa merkittävästi tuulikuormituksiin. Kalasataman kokonaisuudessa tuulikuormien määrittely on ollut erittäin haastavaa ja niissä onkin käytetty tuulitunnelikokeita. Lisäksi tornit ovat lähekkäin toisiaan, mikä vaikuttaa ilmavirtauksiin ja sitä kautta tornien mitoitukseen.

Helsingin Kalasataman tornit edustavat vaativinta suunnittelulta ja rakentamiselta

4,5 Kalasataman tornien julkisivuja.

6 Kalasataman tornien tuulitunnelikokeita erilaisilla rakennusjärjestyksillä kokeisiin erikoistuneen yrityksen RWDI:n toimesta.



vaadittavaa tasoa. Myös viranomaisilta edellytetään korkeaa osaamista. Rakennusten suunnittelun ja rakentamisen edistyessä onkin tornikohtaisesti pidetty useita riskienhallinnan palaveriteita (rakenteellisia sekä rakennusfysiikkaan liittyviä) ja rakennesuunnitelmien ulkopuolisten tarkastajien kanssa on lukuisissa palaveriteissa käyty läpi rakennukseen kohdistuvia voimasuureita, mitoitusperusteita rakenteille ja valittuja ratkaisuja.

Näin vaativissa kohteissa kuin Kalasataman tornit ovat, on havaittu toimivaksi ratkaisuksi laatia toisistaan kokonaan erilliset laskentamallit rakennesuunnittelijan ja tarkastajan toimesta. Näitä laskentamalleja on sitten verrattu keskenään ja mahdollisten poikkeamien ilmetessä, on selvitetty syyt niihin ja tarkennettu laskentaa. Pieniä poikkeamia syntyy helposti näin korkeassa rakentamisessa jo pienistä mallinnuseroista esimerkiksi liitoksien osalta ja myöskin eri laskentaohjelmien välillä saattaa syntyä eroja.

Kuormitukset korkeassa rakentamisessa – onko niissä jotain merkittävää muutosta matalampaan rakentamiseen?

Rakennusten, kuten myös korkeiden rakennusten, suunnittelun perustana ovat oikein määritetyt kuormitukset, joiden avulla rakenteet suunnitellaan ja mitoitetaan. Myös korkeiden rakennusten mitoittamiseen antavat eurokoodit peruskuormat ja perusmitoitushjeet. Tarvitaanko sitten jotain muuta – vai pärjätäänkö pelkillä eurokoodien kaavoilla ja



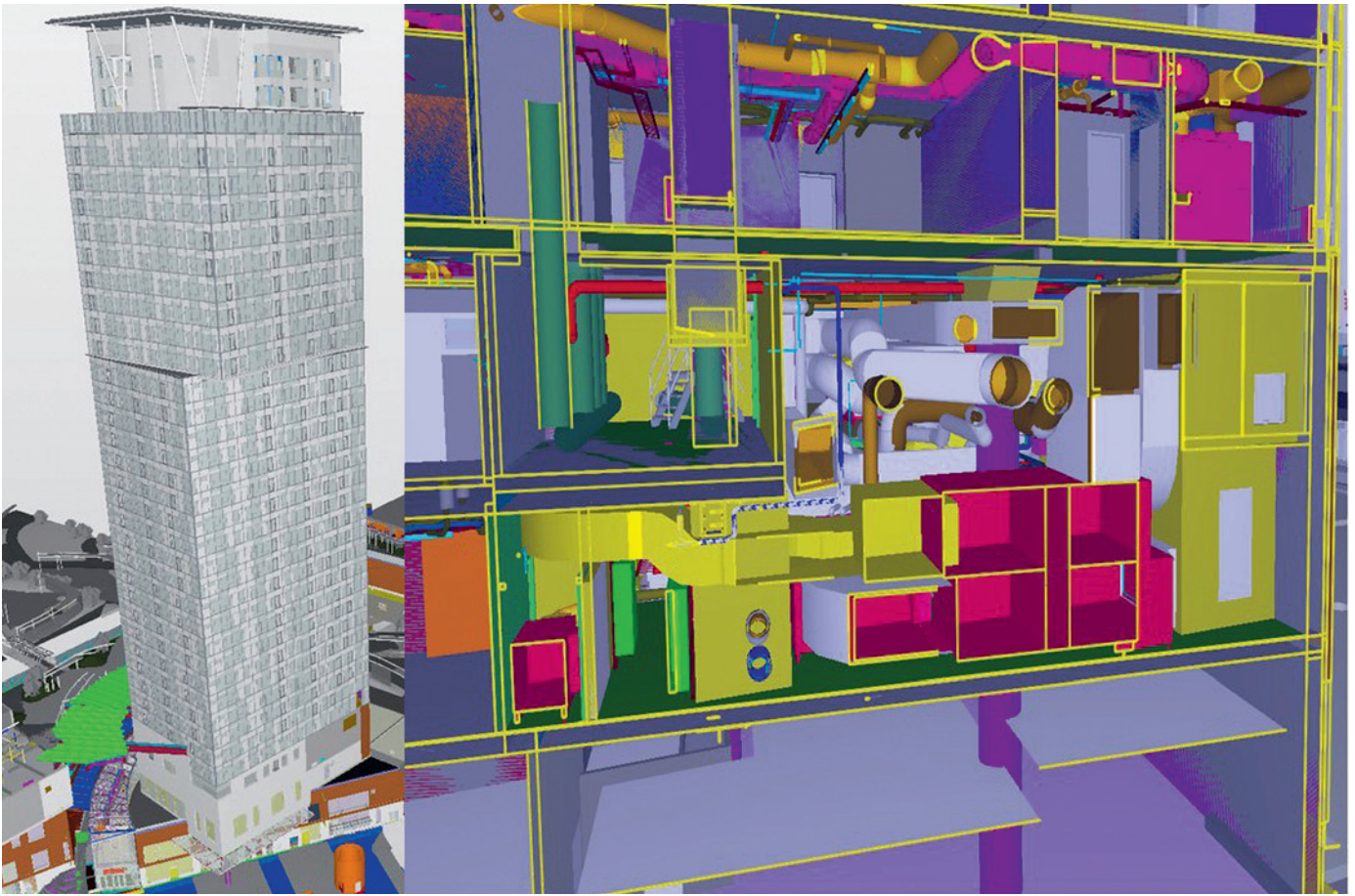
6

kuormituksilla? Aivan ei pärjätä – tuulikuormien luotettavaan määrittymiseen korkeimmissa rakennuksissa on suositeltavaa tehdä tuulitunnelikokeet.

Mikäli korkeat rakennukset sijaitsevat toisten korkeiden rakennusten läheisyydessä, vaikuttavat tornit toisten tornien tuulikuormiin. Korkeilla rakennuksilla on myös tutkittava, onko rakennusten tuulesta aiheutuva huojunta hyväksyttävällä tasolla ja tätä on miltei mahdoton selvittää ilman tuulitunnelikokeita. Huojunta on ns. käyttörajatilamitoitukseen (tässä mukavuuteen) vaikuttava suure, ei rakennuksen kestävyysvaikutusta. Rakennuksen huojunta ja havaittava vaakasuuntaisen kiih-

tyvyys arvioidaan tietyllä toistumisväillä (yleisimmin kerran vuodessa) toistuvalla tuulivoimakkuudella ja arvoja verrataan johonkin käytettävään vertailuarvoon kuten esimerkiksi standardissa ISO 10137:2007 esitettyyn.

Rakenteiden lujuuksien mitoituksessa käytetään sitten harvemmin toistuvia kovempia tuulia rakennuksen suunnittelukäyttöä mukaisesti kokeista määritettynä ja tuulitunnelikokeista saadaan myös murtorajatilamitoitukseen tarvittavat voimasuureet luotettavammin kuin suoraan kuormitusstandardista lukemalla. Standardit eivät esimerkiksi ota huomioon rakennusten muuttuvia poikkealeikkauksia, epäsuunnallista muotoa tms.



7

Kuvissa 4 ja 5 näkyy tornin profiilin muuttuminen rakennuksen yläosassa ja nämä tekijät pystytään tuulitunnelikokeissa ottamaan huomioon.

Kalasataman torneja tulee yhteensä kahdeksan ja ne sijaitsevat toistensa lähellä, joten kohteen rakentaja SRV on halunnut varmistaa oikeiden tuulikuormien käytön suunnittelussa ja mukavuustekijöiden toteutumisen. Kohteeseen on tehty tuulitunnelikokeet jokaiselle tornille Kanadassa kokeisiin erikoistuneen yrityksen RWDI:n toimesta. Jokaiselle tornille tehtiin mittaukset ja mittauksissa käytettiin useita erilaisia rakentamisjärjestyksiä torneille ja ympäröiville rakennuksille, jotta pystyttiin varmistamaan laskennassa käytettävien kuormien oikeellisuudesta.

RWDI määrittä tuulikuormista 24 kpl eri kuormitusyhdistelmää tuulesta kullekin tornille ja kaikki yhdistelmät tutkittiin mitoituksen yhteydessä. Kuormitukset määritetään 10 asteen välein jokaisesta tuulensuunnasta tuulitilastoja hyödyntäen.

Rakennusten huojunta on testien perusteella vaatimuksia vähäisempää ja kaikki Kalasataman tornit täyttävät vaatimukset myös mukavuustekijöiden osalta.

Tuulikuormien mittauksessa käytettiin tässä tapauksessa paineanturiteknikkaa,

jolla saatiin suoraan kussakin rakennuksen pisteessä vaikuttava tuulenpaine mitattua.

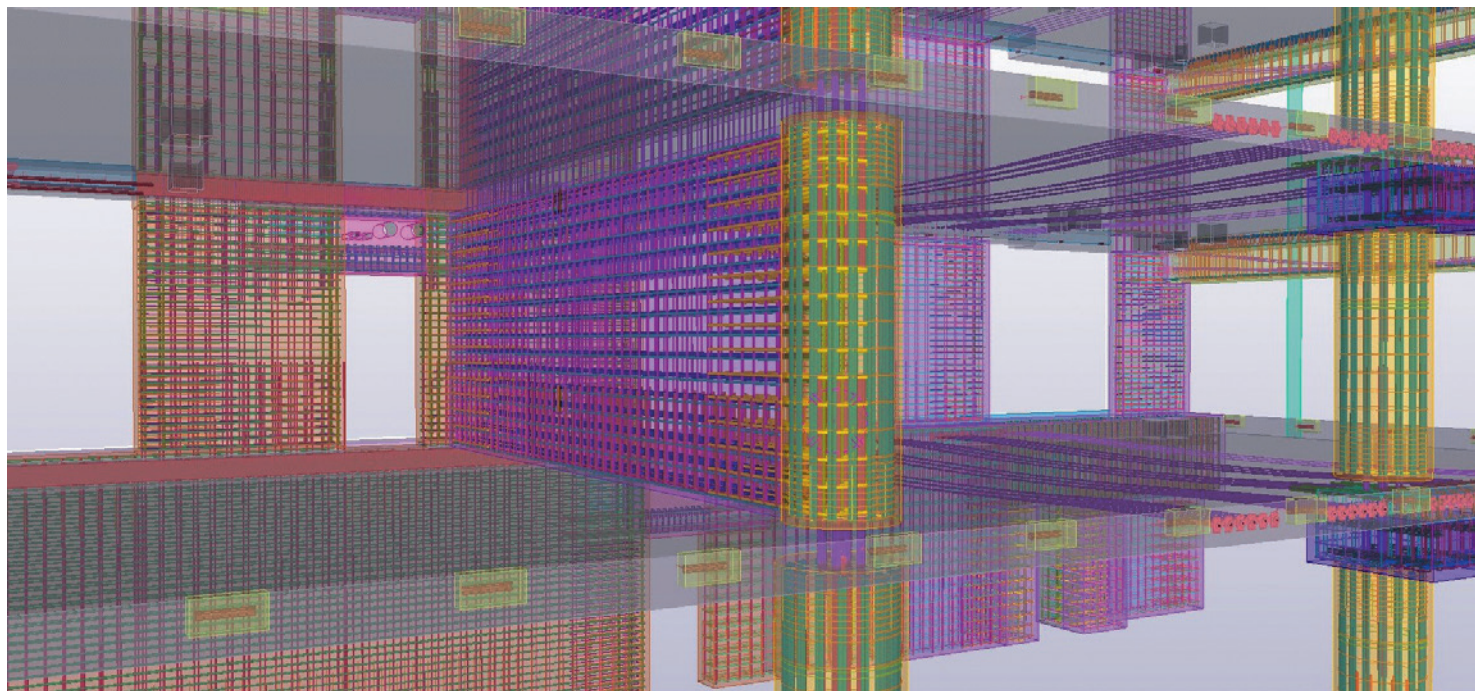
Rakenteiden laskenta- ja mitoitusmenetelmät

Korkeiden rakennusten rakenteiden rasitukset lasketaan miltei poikkeuksetta erilaisilla FEM-ohjelmilla (elementtimenetelmä) ja vähintään tärkeimpien kantavien rakenteiden osalta tehdään tarkistuslaskenta toisella ohjelmalla toisen laskijan toimesta. Usein tämän tarkistuksen tekee ulkopuolinen rakennesuunnitelmien tarkastaja ja tuloksia verrataan keskenään. Kalasataman tornien tapauksissa pääosa tornien voimasuureista on Sweco Rakennetekniikan toimesta laskettu RFEM-ohjelmalla ja ulkopuolinen tarkastaja SITOWISE Oy on tehnyt vastaavan laskelman käyttäen ETABS-ohjelmistoa. Tämä tarkastustoiminta on aloitettava riittävän aikaisessa vaiheessa projektin sujuvan etenemisen varmistamiseksi. Kalasataman tornien tapauksessa yhteistyö on ollut saumatonta rakentajan, rakennesuunnittelijan ja laskelmien tarkastajien kanssa. Kaikkien osapuolten hyvä yhteistoiminta korostuu voimakkaasti tällaisissa hankkeissa.

Laskentaohjelmissa on kuitenkin tiettyjä puutteita ja korkea rakentaminen itsessään aiheuttaa lisähaasteita laskentaan, joten tärkeimmät asiat tarkistetaan myös taulukkolas-

7 Kuvia Kalasataman tornien yhdistelmämallista.

8 Kalasataman tornin raudoitusta jäykistävässä rakenteissa.



8

kentaa tai vastaavaa käyttäen ns. käsin laskentana. Tätä tarkastusta tehdään myös kaikkein korkeimmille pilvenpiirtäjille ja useissa maissa on edellytetty jo säännöksissä tällaista varmistustoimintaa.

Pätevyyksiä edellytetään

Korkean rakentamisen projektit ovat poikkeuksetta asetuksessa määriteltyjä Poikkeuksellisen vaativia kohteita- rakentamisen ja suunnittelun osalta. Tämä asettaa tietyt pätevyys- ja kokemusvaatimukset osallistuville henkilöille. Rakennusvalvonnalla onkin suuri rooli, kun tarkastetaan hankkeeseen osallistuvien kelpoisuutta toimia hankkeessa. Pätevien suunnittelijoiden tulisi olla mukana hankkeessa jo mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta voidaan välttää myöhempiä hankaluuksia, kun on valittu vääriä rakenneratkaisuja, rakennukset huojuvat liikaa tms.

Yhteisellä se sujuu – yhteistyön määrä kasvaa

Korkeissa rakennuksissa suunnittelu aikaistuu ja muuttuu osin kaikilla samanaikaiseksi poiketen perinteisemmästä suunnittelun kulusta. Suurin muutos on ehkä talotekniikan suunnittelun siirtyminen aikaisemmaksi tietyiltä osin ja tämä aiheuttaa tietysti talotekniikan suunnittelijoille isoja haasteita, kun pitää suun-

nitella ja ei välttämättä tiedetä suunniteltujen tilojen käyttötarkoitusta. Talotekniikan suunnittelun osat täytyy aikaistaa, koska tarvitaan hyvin aikaisessa vaiheessa tiedot jäykistäviin rakenteisiin tulevista varauksista ym.

Korkeassa rakentamisessa mallinnus on itsestäänselvyys ja yhteensovitukset tehdään 3D -maailmassa.

Rakenne- ja materiaalitekniisiä haasteita

Rakennesuunnittelussa kohdataan haasteita, joita ei matalammissa rakennuksissa aina ole tarvinnut ottaa huomioon.

Uusia tai kovempia haasteita rakenne- suunnittelussa korkealle kurotettaessa ovat esimerkiksi:

- Todella suuret kuormitukset alimmissa kerroksissa, tuulesta ja pystykuormista.
- Materiaalina on usein käytettävä todella kovia betonilaatuja ja C50/60 on pikeminkin perusbetonikuin poikkeus ja C80 lujuusluokan betonia voidaan joutua käyttämään erikoiskohdissa.
- Tuulen aiheuttama huojunta ja kiihtyvyydet yläkerroksissa.
- Rakenteiden halkeilun ottaminen huomioon mitoituksessa ja siirtymien laskennassa.
- Erilaisten liitosten suuret kuormat.
- Betoniseinién nurjahduskestävyyksien

pieneneminen leikkausrasitusten johdosta jäykistävässä rakenteissa, joissa esiintyy merkittävästi halkeilua.

- Erilaiset materiaalien rajapinnat, kuten raskeasti kuormitettujen suuren lujuusluokan pilareiden liitokset heikommasta betonista tehtyihin laattoihin.
- Raudoitukset muodostuvat usein jäykistävässä rakenteissa tiheiksi ja betonivalujen onnistumiseen tulee haastavaksi ja erityistä ammattitaitoa vaativaksi.

Kalasataman torneissa rakennetaan tornit lisäksi toimivan kauppakeskuksen päälle ja tornien suuret kuormat siirretään ns. kuorman-siirtorakenteilla kauppakeskuksen pilareille.

Kalasataman torneissa on jatkuvasti kehitetty helpommin valettavissa olevia rakenteita, muottitekniikoita ja raudoitusten sijoittelua.

Jatkuvan sortuman estäminen

Kalasataman tornit ovat seuraamusluokkaa CC3b eli vaativimpaan luokkaan kuuluvia ja niissä on tehty tarkastelut rakennuksen pysyvässä pysymiseksi, kun jokin kantava rakenneos poistetaan kokonaan. Tarkasteluista voi mainita esimerkkinä tapauksen, jossa tornin T4 ulkonurkassa oleva pilari poistetaan ja on laskelmin osoitettu, että ei synny jatkuvaa sortumaa, eikä koko rakennus sorru.



9

Julkisivut

Rakennusten korkeus ja tuulinen sijainti aiheuttavat kovia haasteita julkisivujen tiiviyn suunnittelulle ja toteutukselle.

Julkisivuihin kohdistuu korkeissa torneissa kovia rakennusfysikaalisia haasteita. Vesi tulee vaakasuoraan ja tuulenpaineet ovat kovia. Lisäksi julkisivujen tulee olla kevyitä, helposti asennettavia ja käyttöältään riittäviä. Julkisivujen tiiveys on Kalasataman torneissa testattu täysimittakaavaisilla ilman- ja vedenpitävyysskojeilla, jotta voidaan varmistua niiden toimivuudesta.

Lisäksi rakennusfysikaalista laskentaa joudutaan tekemään myös esimerkiksi lämpötiloista.

Elementtirakentamisen mahdollisuudet, kun mennään korkealle

Elementtitekniikalla pystytään nopeuttamaan rakentamista myös korkealle rakennettaessa kunnes vastaan tulee nosturikapasiteetti. Torneissa rakentamisnopeutta säätelee usein nostettavien kappaleiden määrä, sillä korkealle nosturi pystyy nostamaan vain tietyn määrän kappaleita aikayksikössä.

Melbournessa elementtitekniikalla on toteutettu nopealla rakennusaikataululla 66 kerroksinen asuinkerrostalo. Tässä tapauksessa ratkaisuna oli tehdä 30 tonnin painoiset laattaelementit, joissa oli mukana maassa valmiiksi asennetut julkisivut.

Kalasataman torneissa julkisivut ovat elementtejä ja soveltuvien osien jäykistävät väliseinät. Haasteena elementtitekniikassa on liitosten toteuttaminen välittämään suuret voimat. Kuvassa 9 on yksi tapa liittää pilarit toisiinsa kerroksittain. Elementissä on 16 kpl karhennettuja juotosreikiä ja vastaavasti alemmassa elementissä 16 kpl 32 mm betoniterästankoja noihin koloihin – tämä vaatii tarkat asennus- ja valmistustoleranssit.

Korkea rakentaminen vaatii saumatonta yhteistyötä

Korkealle rakennettaessa on paljon mahdollisuuksia ja on luotavissa näyttäviä ja hyvin käyttökelpoisia rakennuksia. Näiden kohteiden toteutuksessa ja suunnittelussa korostuu kaikkien osapuolten ammattitaito ja osaaminen – soitellen ei tässäkään kannata lähteä sotaan.

Korkeassa rakentamisessa korostuu suunnittelijoiden ja eri toimijoiden saumatonta yhteis-

9 Järeitä pilvenpiirtäjän pilarelementtejä.

10 Julkisivun asennusta Kalasataman tornissa.

työ. Se on hankkeen onnistumiselle ehdoton edellytys. Tietomallintamisen laaja käyttö niin suunnittelussa, toteutuksessa kuin valmis- tuksessakin helpottavat hankkeen kaikkia osapuolia.

Teknologian kehittäminen ja käyttöönotto on korkeassa rakentamisessa keskeisessä asemassa, jotta kaikki mahdollinen asiantuntemus saadaan helposti kaikkien toimijoiden käyttöön.

Increasing popularity of high-rise construction results in new challenges to engineers

In Finland, high-rise construction is usually considered to cover residential and office blocks higher than 16 storeys, as well as various types of hybrid or hotel projects with even more storeys. Buildings up to 16 storeys cause only minor new challenges to structural engineering. With buildings rising above 100 metres new competence is required and new challenges must be overcome.

In Helsinki, one of the first tower blocks rising to clearly more than a hundred metres is under construction in the old fish harbour area of Kalasatama. REDI, which comprises six residential towers as well as towers accommodating office facilities and a hotel, will stand at 132 metres at its highest.

High-rise construction is extremely complex in terms of structural engineering. Cost-efficient implementation of high-rise buildings can only be successful through a higher level than today of cooperation and understanding among all the experts of engineering and construction. Challenges are faced particularly in ensuring the compatibility of reliable frame structures,

efficiency, different systems and speed of construction.

Some aspects of project management and scheduling differ in high-rise construction from conventional building projects. For example, many processes related to construction must be started at an earlier phase than what we are used to. In addition to technical challenges, high-rise construction involves many subareas of the overall project, such as risk analyses, third-party inspections and other special procedures which are defined separately in each case based on project-specific needs and requirements.

Seamless cooperation between the designers and the different operators is emphasised in high-rise construction. It is an absolute necessity for the successful implementation of the project. Extensive use of Building Information Modelling (BIM) in design, implementation and manufacture is of assistance to all the parties to the project.

The development and utilisation of technology plays a key role in high-rise construction, making all possible expertise easily accessible to all the operators.



10