

VAATIVA LASKENTA TÄMÄN PÄIVÄN RAKENNUSSUUNNITTELUSSA

Tapio Aho

Rakenteiden mekaniikka, Vol. 39
No. 1, 2006, ss. 13-18

TIIVISTELMÄ

Tässä artikkelissa kerrotaan Espoon Keilalahteen rakennetun tornitalon rakenteista, rakennesuunnittelusta ja laskentamenetelmistä.

RAKENNUKSEN YLEISKUVAUS

Rakennus sijaitsee Espoon Keilalahdessa Nokian pääkonttorirakennuksen vieressä. Rakennus on 18 kerroksinen toimistorakennus, jonka räystäskorkeus on + 75.2 m ja bruttoala n. 10 000 m². Ensimmäinen kerros on ravintolatilaa, toinen kerros on sisääntulo-kerros ja varsinaisia toimistokerroksia on 14. Saunaosasto ja atriumterassi ovat 16. kerroksessa ja IV-konehuoneet 17.-18. kerroksessa. Ensimmäisen kerroksen tasossa torniosan ulkopuolella on yksikerroksinen osa, joka käsittää mm. teknisiä tiloja, lastaustilan ja 2 kpl S1-luokan väestösuojia.

SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHTA

Suunnittelun lähtökohtana oli korkea näyttävä torni, jossa hissiteema on vahvasti esillä. Talon tulee toimia Kone Oy:n käyntikorttina.

Talon toteutuksessa lähdettiin läpinäkyvästä lasisesta tornista, jossa näköalahissit ovat länsiväylän suuntaan talon koko korkeudella ja talosta on esteetön näkymä merelle. Toteutuksen lähtökohta asetti rakenteiden suunnittelulle ja toteutukselle vaativat erityispiirteet. Korkean ja hoikan talon tontti sijaitsee osittain täyttömaalla. Lisäksi kallio on syvällä ja sen päällä paksu moreenikerros. Pohjavesi meren läheisyydestä johtuen on lähellä maanpintaa.

KUORMITUKSET

Kuormituksen määrittelyssä noudatettiin julkaisua RIL 144-1997. Toimistokerrosten tasot on mitoitettu hyötykuormalle 4 kN/m² ja torniosan IV-konehuoneet hyötykuormalle 6 kN/m². Pihakansi on mitoitettu hyötykuormalle 15 kN/m² tai Espoon palolaitoksen ilmoittamalle nostolava-autokuormalle. Torniosan katolle sijoitettu helikopterin leijuntataso mitoitettiin Espoon palolaitoksen ohjeiden mukaan. Rakennuksen tuulenpaineen

ja sen dynaamisten vaikutusten selvittämiseksi tutustuttiin myös muiden maiden normeihin ja aiheesta kirjoitettuihin lehtiartikkeleihin.



Kuva 1. Jäykistävän kuilun liukuvalutyö käynnissä.

PALOLUOKAT

Rakennuksen paloluokka on P1. Toimistotornissa on toteutettu kerrososastointi. Kantavat rakenteet mitoitettiin luokan R 120 mukaan. Toimistokerrosten ja sisääntulokerroksen kantavien rakenteiden mitoituksen lähtökohdaksi otettiin palotekniseen laskentaan perustuva palosimulointi.

RAKENTEET

PERUSTUKSET

Talon perustukset muodostuvat koko talon alueelle sijoitetuista n. 2 – 2.5 m korkeista peruspalkkeista. Palkkien valut toteutettiin normaalivaluna kuivana pidetyssä pontatussa kaivannossa. Palkit tukeutuvat 1.2 – 1.5 m läpimitaltaan oleviin kaivinpaaluihin. Kaivinpaalujen geoteknisenä kantavuutena käytettiin arvoa 5 MN/m^2 . Tornin ulkopuolinen tekninen osa on perustettu lyöntipaalujen varaan.

RUNKORAKENTEET

Koska haluttiin esteetön näkymä merelle ja kaupunkiin, sijoitettiin kaikki talon jäykistävät rakenteet mahdollisimman hoikkina talon pohjoispäättyyn. Pohjoispäädystä oleva porrastornien ja IV-kuilun muodostama kokonaisuus toteutettiin liukuvalutekniikalla. Liukuvalutorni vastaa hoikkuudeltaan toteutettuja savupiippuja. Talon dynaaminen mitoitus edellytti, että puuskatuulen aiheuttama liikkeen kiihtyvyys ei ole häiritsevän suuri.



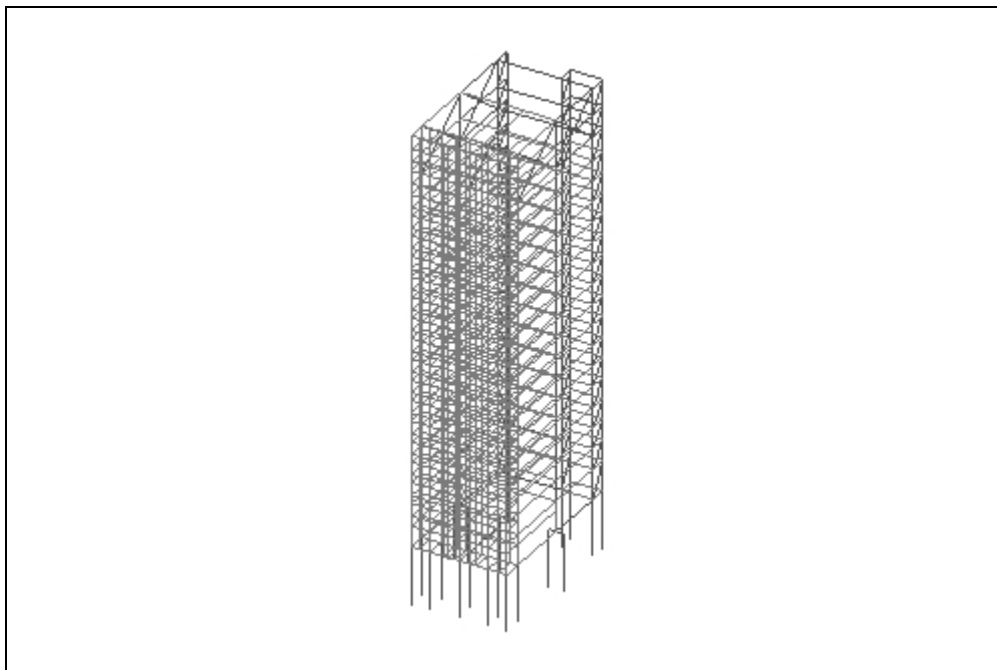
Kuva 2. Jäykistävä torni valmis, tasojen rakentaminen käynnissä.

Tästä johtuen hoikan betonikuilun riittävän jäykkyyden aikaansaamiseksi päätettiin toteuttaa torni jännitettynä rakenteena. Näin varmistettiin se, että rakenne ei halkeile ja toimii ehjän poikkileikkauksen mukaisella jäykkyydellä. Jänteinä käytettiin tartunnattomia punoksia. Ne ovat rasvalla ja sitkeällä muovikuorella päällystettyjä jännepunoksia joiden teräspinta-ala on 150mm^2 ja niihin jännitettäessä vedettävä voima noin 200kN . Tällaisia ”rasvapunoksia” käytetään yleensä rakennusten välipohja laatoissa. Suomessa niitä on eniten käytetty pysäköintirakennusten laatoissa joissa tavoitteena on vesitiiveyden saavuttaminen betonirakenteella ilman vesieristys kermejä. Punoksia sijoitettiin seiiniin yli 150 kpl lähtien perustuksista ja ulottuen n. 25 m:n korkeuteen. Rasvapunokset jälkijännitettiin liukuvalun toisen viikonlopputauon aikana. Kuhunkin jänteeseen jää häviöiden jälkeen noin 17tn :n voima yhteensä yli 2500tn .

Talon välipohjien runko toteutettiin teräs-betoni-liittorakenteena jännevälien ollessa primaaripalkeissa n. 12.5 m ja sekundaaripalkeissa 8.1 m . Talon hoikat pilarit ovat te-

räspilareita, jotka on mitoitettu 2 tunnin paloluokkaan käyttäen paikalla valettua raudoitettua betonivalutäyttöä.

Välipohjien teräsbetoni-liittorakenteeseen päädyttiin lähinnä korkean talon luontevan toteutustekniikan johdosta. Välipohjan teräsrakenteet ja muottina toimiva pelti voitiin esikoota maassa suuriksi kokonaisuuksiksi ja kertonostolla nostaa paikoilleen. Lisäksi teräsrakenteeseen voitiin toteuttaa palkkien esikorotus siten, että laattojen ja rungon rakennusaikaisen painuman jälkeen välipojat asettuvat vaakatasoon eikä erillisenä työvaiheena tehtävää tasausbetonia tarvita.



Kuva 3 Rakennuksen FEM malli.

JULKISIVUT

Toimistorakennuksen ulkoseinät ovat pääosin kaksoislasiseiniä. Uloimpana lasina on karkaistu lasilevy. Lasilevy tukeutuu sinkittyyn runkorakenteeseen, jonka varassa on myös lasien välitilan ritilärakenteinen huoltotaso. Eteläinen julkisivu muodostuu neljän hissien lasisesta hissikuilusta. Pohjoisjulkisivu on alumiini-aaltolevypintainen umpijulkisivu.

RUNGON RAKENNEMALLI JA LASKENTA

Rakenteesta tehtiin LUSAS ohjelmapaketilla FEM-malli, jossa oli mallinnettu kaikki rakenteen osat kaivinpäälusta räystäälle asti. Mallissa oli 4060 solmua ja vapausasteita vastaavasti 24360. Elementtityyppinä käytettiin neljä solmuisia levyelementtejä ja kaksi solmuisia sauvaelementtejä, yhteensä elementtejä oli 3455 kappaletta. Koska runkoa jäykistävä betonikuilu on erittäin hoikka ja sijaitsee rakenneteknisesti aivan väärässä

paikassa haluttiin laskennalla selvittää normaalien voimasuureiden lisäksi myös rakennuksen dynaamiset ominaisuudet. Jäykistävän kuilun sijainnin takia taivutusvärähtelytaajuuksien lisäksi kiinnostivat myös kiertovärähtelytaajuudet.

Lähdekirjallisuuden mukaan ihminen on erittäin herkkä havaitsemaan kiihtyvyyksiä ja liikkeitä jalkojensa alla. Alle kymmenen Herzin taajuuksilla käyttömukavuuden kriteerinä on kiihtyvyys ja suuremmilla taajuuksilla liikenopeus. Koska rakennuksen jäykistävä osa on erittäin hoikka ja sillä on kuitenkin huomattava värähtelevä massa on rungon alimmat ominaistajuudet alle 10 Herzin, eli suunnittelukriteerinä on tässä tapauksessa kiihtyvyys. Herkimmät havaitsevat jo kiihtyvyyden joka on vain 0,4% maan vetovoiman kiihtyvyydestä g, selvästi havaitaan kiihtyvyys 1,25% ja useimmat tuntevat epämiellyttäväksi värähtelyn jonka kiihtyvyys on 4% g:stä.

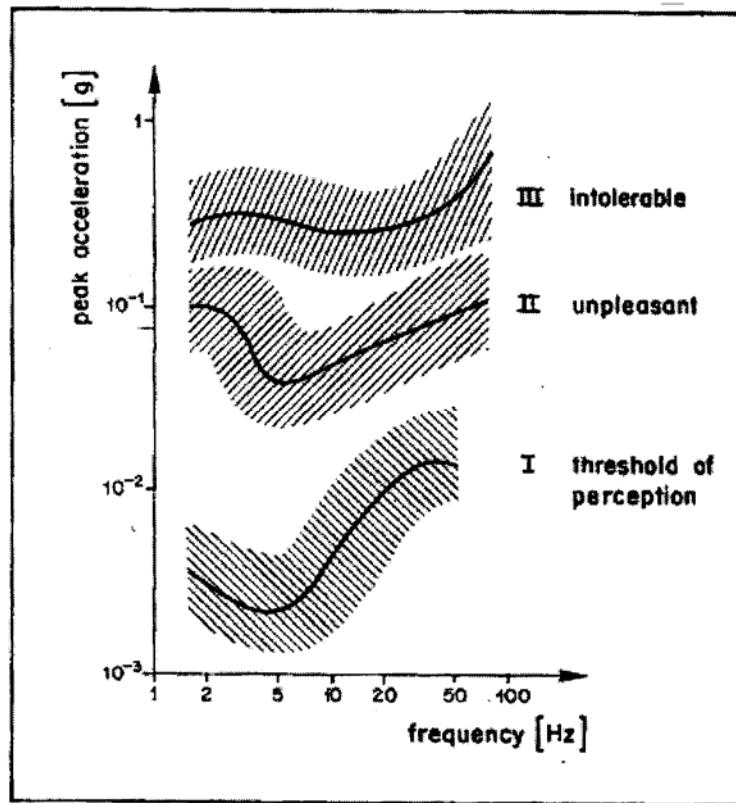
Lehtiartikkeleista löytyi mm. tarina Australiassa sijaitsevasta korkeasta toimistotalosta, jossa värähtely on tietyissä tuuliolosuhteissa häiritsevää.. Värähtely vaikuttaa siten, että kun toimistojen työntekijät lähtevät puolenpäivän jälkeen lounaalle, eivät he enää ilta-päivällä palaakaan töihin koska tuntevat olonsa epämukavaksi.

Laskenta suoritettiin normaalilla pöytä PC:llä, jossa käyttömuistia oli 512Mt. Mallin dynamiikan laskenta ajo kesti noin 10 minuuttia. Suunnittelun aikana laskentoja tehtiin kymmeniä kun etsittiin toteutettavaa rakennemallia ja haluttiin tietää eri ratkaisujen vaikutukset tarkasti.

Mitoittavana puuskatuulen nopeutena käytettiin 60 m/s, alimmat taivutusvärähtelytaajuudet olivat x-suuntaan 0,38Hz ja y-suuntaan 0,71Hz, alin kiertovärähtelytaajuus on 1,31Hz ja maksimi taipuma puuskatuulesta on 100mm. Suurimmat kiihtyvyydet jäivät alle 2%:n g:stä, jota voidaan pitää toimistotalossa riittävän hyvänä arvona.. Ilmatieteen laitoksen tuulitilastojen perusteella arvioitiin, että kelejä joilla herkimmät havaitsevat rakennuksen värähtelyn esiintyy pari kertaa vuodessa. Saavutettuja ominaisuuksia voidaan pitää kohtalaisen hyvinä senkin perusteella, ettei ainakaan suunnittelijalle asti ole kantautunut moitteita talon epämukavuudesta näiden parin vuoden aikana jotka rakennus on ollut käytössä.

NUMEERISESTA LASKENNASTA MM:N TOIMISTOSSA YLEENSÄ

Tyypillisiä tehtäviä joissa käytetään elementtimenetelmään perustuvia ohjelmistoja ovat rakennusrunkojen ja koneperustusten dynaamiset analyysit sekä kompleksit 3D statiikkaa vaativat runkojen mallinnukset. Toinen sektori jossa FEM-malleja käytetään on rakenneosien detaljien kolmiulotteiset mallit. Esimerkkejä tällaisista ovat elementtipilarin teräksisen pulttikengän kapasiteetin laskennallinen selvitys tai teräksisen parvekekanakkeen mallinnus. Teetämme myös mahdollisuuksien mukaan diplomi- ja insinööritöitä joissa hyödynnetään FEM-laskentaa. Tällaisia töitä on ollut esimerkiksi paaluilla tuetun pengerlaatan analyysi ja rakennusrungon jäykistäminen kehärakenteella. Hyödyllisten aiheiden lisäksi töiden motiivi on kasvattaa nuoria insinöörejä joilla on jonkin FEM-paketin käytännön osaaminen hallussa kun he siirtyvät suunnitteluprojekteihin.



Kuva 4. Ihmisen havaitsema värähtelyn kiihtyvyys eri taajuuksilla.

Toimistollamme on käytössä LUSAS ohjelman lisäksi StaadPro niminen elementtiohjelmistopaketti. Ohjelmistot ovat toimistossa suunnittelijoiden vapaasti käytettävissä. StaadPro on enemmän käytössä ilmeisen helppokäyttöisyytensä ansiosta ja myös siksi, että ohjelman käyttöä opetetaan tiede- ja ammattikorkeakouluissa.

Tapio Aho, dipl.ins.

Insinööritoimisto Magnus Malmberg Oy
Lauttasaarenmäki 4
00200 Helsinki
email: tapio.aho@magnusmalmberg.fi