

Raskasbetonia sädehoitoyksiköiden vaativiin rakenteisiin

Leena-Kaisa Simola, toimittaja
LKAB Minerals Oy

Raskasbetonilla saadaan sädehoitoyksiköiden hyvin vaativakin suojaustarve toteutettua normaalia betoniseinää huomattavasti ohuemmalla rakenteella. Hyviä kokemuksia on saatu muun muassa HUS:n syöpähoitoyksikön sekä Jyväskylässä sairaala Novan rakennusprojekteissa.

Raskasbetonin ominaisuudet tulevat runkoaineena käytettävästä raskaammasta kiviainesta, jonka tiheys voi ylittää 5 t/m³. Näin painavaa kiviainesta ei saada Suomen maaperästä, vaan se tuodaan Pohjois-Ruotsin Kiirunasta. Raskasta kiviainesta voidaan käyttää joko paikalla valettavassa betonissa tai esivalmistetuissa betonimoduuleissa.

Raskasbetonia voidaan käyttää suuren tiheydensä ansiosta esimerkiksi ydinvoimaloissa ja sairaaloissa, joissa vaaditaan voimakasta ionisoivan säteilyn suojausta. Sädehoitobunkkereiden rakenteiden tulee estää, terveydelle vaarallisen ionisoivan säteilyn pääsy bunkkerin ulkopuolelle.

Säteilysuojauksen lisäksi raskasbetonin suurta massaa voidaan käyttää hyväksi myös siltojen, tunnelien, sulkujen, patoluukkujen ja laitureiden vedenalaisissa rakenteissa. Lisäksi raskasbetonista voidaan valmistaa nostureiden ja kaivinkoneiden vastapainoja sekä merenpohjaan asennettavien öljy- ja kaasuputkien pinnoituksia.

Käyttö lisääntyy Suomessakin

Raskasbetonin käyttö ei ole vielä Suomessa kovinkaan yleistä, toisin kuin esimerkiksi Ruotsissa. Uusia kohteita tulee kuitenkin yhä enemmän.

– Syöpähoidon tarve lisääntyy syöpämäärien lisääntyessä, joten yliopistollisissa ja keskussairaaloissa uusitaan sädehoitoyksiköitä. 2010-luvulla meillä on menossa jo kolmas kohde, jossa mahdollisesti käytetään raskasbetonia,

kertoo sairaalasuunnittelun asiantuntija, arkitekhti SAFA *Heikki Laherma* Sweco Architects Oy:stä.

– Sairaalahankkeiden suunnittelussa joudutaan hoitotavoista ja -laitteista riippuen miettimään rakennusteknisiä ratkaisuja, jotka antavat riittävän suojan niin potilaille kuin henkilökunnallekin. Jokaisen suunnitteluhankkeen alussa määritellään hankkeen suojaustarve.

– Sädehoitoyksiköissä suojaustarve voi olla niin vaativa, että normaalin betoniseinän paksuus kasvaisi kohtuuttomaksi. Tällöin raskasbetonilla päästään järkevämpiin dimensioihin, Laherma lisää.

Huippuyksikkö Meilahteen

Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirissä on asenteilla sairaalakäyttöön soveltuva ensimmäinen boorineutronikaappaushoitoon perustuva laite Euroopassa. Vastaavia hoitoyksiköitä on maailmanlaajuisesti käytössä muutama Japanissa.

BNCT-hoitoyksikön myötä Suomi tulee olemaan maailman kärkeä syöpätautien hoidossa. BNCT-hoitoa käytetään alkuvaiheessa uusiutuneisiin pään ja kaulan alueen syöpiin. Myöhemmin samaa tekniikkaa voidaan todennäköisesti käyttää myös moniin muihin syöpiin.

– Raskasbetoni muodostaa BNCT-hoitotilan ympärille kuorirakenteen, tiiviin bunkkerin, joka suojaa ympäristöä sädehoitoprosessin aikana vapautuvalta neutronisäteilyltä. Betonin koostumus ja rakennemitoitus on

1.2 Helsingin Meilahdessa HUS:n syöpähoitoyksikön hoitotilojen väliseiniin valettiin raskasbetonia 1,10 metrin ja holviin 1,20 metrin paksuudelta. Raskasbetonin dimensioilla saavutettiin selvää tilasäästöä.



1



2



3

suunniteltu huolellisen testausmenettelyn kautta rakennesuunnittelijan ja laitetoimittajan kanssa yhteistyössä, kertoo hankkeen pääsuunnittelija, arkkitehti SAFA Arja Rahiala Swecolta.

Raskasbetonin käyttöä puolsi myös se, että hanke toteutettiin olemassa oleviin tiloihin, joiden lattiapinta oli rajallinen. Raskasbetonin dimensioilla saavutettiin selvää tilasäästöä.

Amerikkalainen laitetoimittaja asetti kovat vaatimukset materiaalille, jonka tuli olla sekä fysikaalisesti että kemiallisesti tasalaatuista. Se myös tutki raskasbetonin näyttekappaleen, jotta betoni täyttää seinien suojausominaisuuksien vaatimukset.

Betoni hihnalla muottiin

Rudus toimitti tarvittavan raskasbetonin Meilahden työmaalle. Hoitotilojen väliseiniin valettiin raskasbetonia 1,10 metrin paksuudelta ja holviin 1,20 metrin paksuudelta.

– Betonoinnin suunnittelussa tuli ottaa huomioon poikkeuksellinen tapa siirtää betoni kuljetusautosta muottiin. Tässä käytettiin hihnakuljetinta, koska raskasbetonin koostumuksen vuoksi sitä ei voitu pumpata. Koska betonoitava rakenne sijaitsi valmiin rakennuksen sisällä, kuljetusreitti ja menetelmä tuli suunnitella huolella. Myös betonoitavat rakenteen osat tuli suunnitella siten, että rakenteisiin ei syntyisi turhia työsaumoja, Peab Oy:n vastaava työnjohtaja Saku Laukkanen sanoo.

– Raskasbetonirakenteet olivat massiivisia ja itse betonin ominaispaino normaalia betonia suurempi. Näin ollen alapuoliset tukimuurit

ja perustukset tuli mitoittaa isoille kuormille. Massiiviset rakenteet kuivuvat myös kauemmin, joten pintarakenteet tuli suunnitella tuulettuvina, Laukkanen lisää.

Raskasbetonia kuljetettiin työmaalle Ruduksen Viikin betonitehtaalta kolmella autolla ja raskasbetonin painavuuden vuoksi yhdessä kuormassa oli betonia viiden kuution verran. Sillä tahdilla valettiin sata kuutiota päivässä.

– Ruduksen aikaisemmassa raskasbetonin kohteessa käytettiin betonin siirtoon nostoastiat. Halusimme kuitenkin löytää kokonaisuuden kannalta asiakkaalle paremman ratkaisun. Hihnakuljettimen käyttö liittyy myös työturvallisuuteen, sillä betonipumppujen puomit eivät kestä raskasbetonin painoa, Ruduksen valmisbetonin myyntipäällikkö Antti Mönkkönen kertoo.

– Luonnollisesti erilaisia siirtotapoja pohdittiin sekä urakoitsijan että HUS:n kanssa yhdessä. Aikataulutus työmaan ja tilaajan kanssa oli ensiarvoisen tärkeää jo senkin vuoksi, että raskasbetonivalujen aikana kyseisen tehdas oli pois muista normivalujen toimituksista, Antti Mönkkönen lisää.

– Kun oikea betonointimenetelmä oli löydetty, betonivalu sujui jopa yllättävän vaivattomasti, Saku Laukkanen toteaa.

Valtaisa Sairaala Nova

Jyväskylässä on rakenteilla Sairaala Nova, jonka rakentaminen alkoi syksyllä 2016 ja koko sairaala valmistuu ja luovutetaan kerralla syk-

3 Raskasbetoni siirrettiin hihnakuljettimella sujuvasti työmaalle ja liikuteltavalla hihnalla oikeaan paikkaan. Kuljettimen käyttö liittyy myös työturvallisuuteen, sillä betonipumppujen puomit eivät kestä raskasbetonin painoa.

4 Sairaala Novan sädehoitobunkkerin 3D-kuva.

5 Sairaala Novan sädehoitobunkkerin leikkaus. Jyväskylässä Sairaala Novan työmaalla käytettiin raskasbetonia noin 800 kuutiota sädehoitoyksikön valuihin.

6 Meilahden BNCT-hoitoyksikön aksonometria. Raskasbetonilla muodostettiin BNCT-hoitotilan ympärille kuorirakenne, tiivis bunker, joka suojaa ympäristöä sädehoitoprosessin aikana vapautuvasta neutronisäteilyltä.

syllä 2020. Keski-Suomen sairaanhoitopiirin tilaamaa hanketta kuvataan monella superlatiivilla, esimerkiksi bruttopinta-ala on noin 110 000 neliometriä ja kustannusarvio reilut 410 miljoonaa euroa. Valmisbetonia valetaan kaikkiaan noin 40 000 kuutiota. Siitä Lujabetoni toimittaa Muuramen tehtaaltaan valtaosan ja HB-Betoniteollisuus loput. Yhteistyöllä varmistettiin vanhojen asiakkaiden betonin toimitukset markkina-alueella.

Sairaalan N-lohkoon eli rakennuksen itäpäähän sijoittuu omana yksikerroksisena osana noin 330 neliön sädehoitoyksikkö.

– Suomen mittakaavassa suurempia sädehoitoyksiköitä rakennetaan harvoin. Sairaala Nova oli ensimmäinen kohde, jossa päädyimme toteutusvaiheessa käyttämään raskasbetonia. Raskasbetoni on kilpailukykyinen, kun kyseessä on suuret säteilymäärät, projektipäällikkö Sami Kolari sanoo Ramboll Finland Oy:stä. Ramboll Finland Oy toimii projektissa rakennesuunnittelijana.

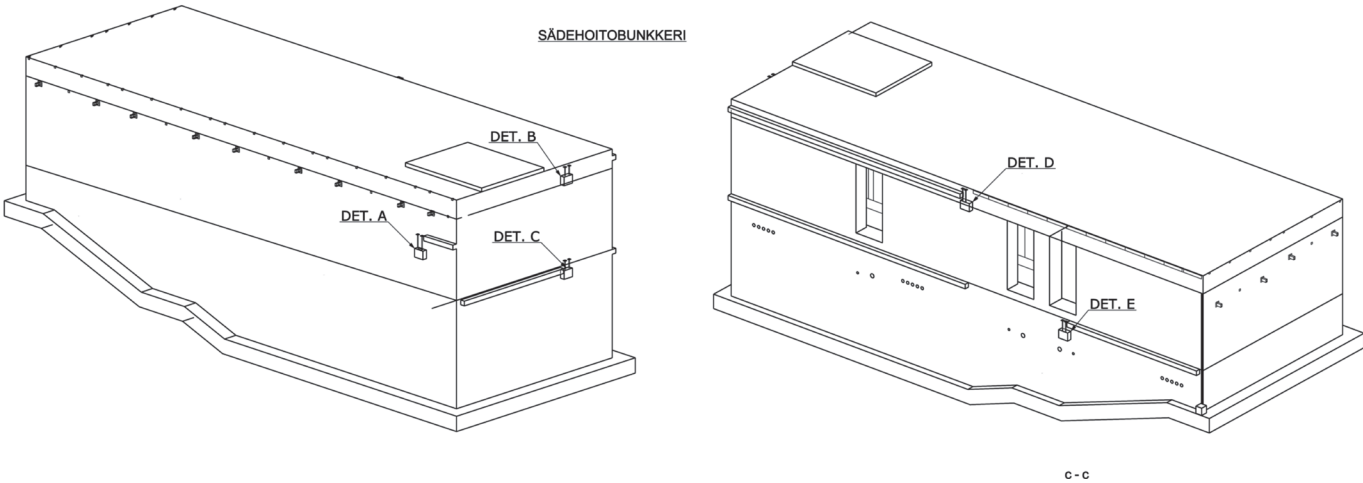
– Seinien paksuudessa säästettiin parhaassa tapauksessa metri, kun rakenteena käytettiin raskasbetonin ja säteilysuojaharkkojen yhdistelmää.

Kolarin mukaan rakenteiden merkittävästi suurempi oma paino on huomioitava lopullisen rakenteen suunnittelussa ja etenkin muottikaluston valinnassa.

– Rakenteen massa on huomattavan suuri valutilanteissa painavan massan ja suuren rakennepaksuuden vuoksi. Sisäinen lämmön tuotto eli hydrataatiolämpö on raskasbetonin

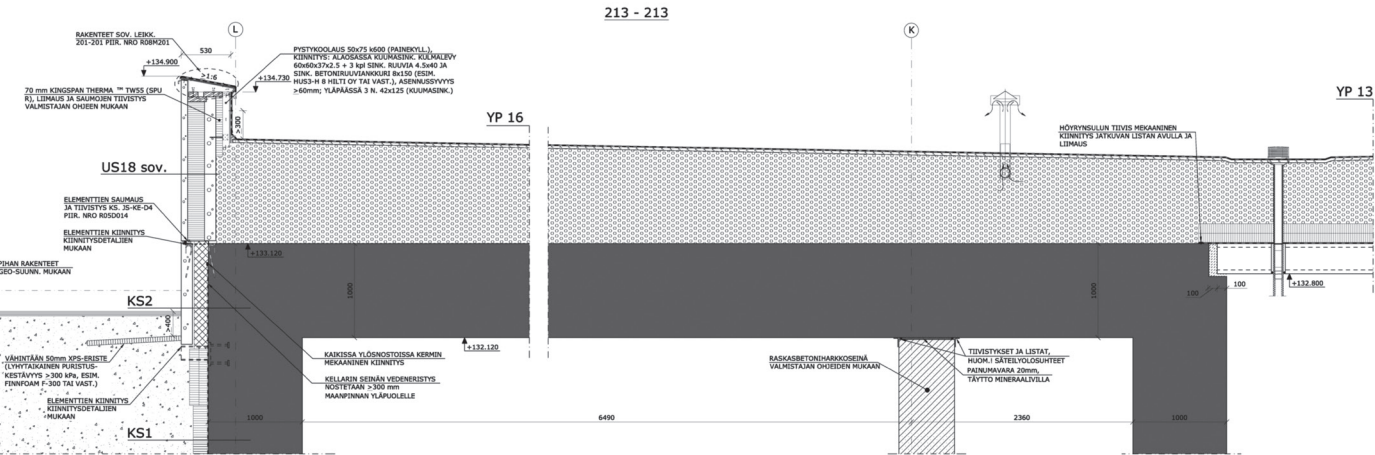
Ramboll Finland Oy

4



Ramboll Finland Oy

5



Sweco Architects Oy

6





7



8

7 Raskasbetonin ominaisuudet tulevat runkoaineena käytettävästä raskaammasta kiviaineesta, jonka tiheys voi ylittää 5 t/m³. Näin painavaa kiviainesta ei saada Suomen maaperästä, vaan se tuodaan Pohjois-Ruotsin Kiirunasta.

Kun normaali valmisbetoni painaa noin 2,5 tonnia kuutiolta, raskasbetoni painaa tonnin enemmän.

8 Sairaala Novan sädehoitoyksikön seinien paksuudessa säästettiin parhaassa tapauksessa metri, kun rakenteena käytettiin raskasbetonin ja säteilysuojaharkkojen yhdistelmää.

nilla vähäisempää kuin normaalilla betonilla. Massiivisen betonirakenteen sisäisen rakene-kosteuden poistuminen on huomioitava tilasuunnittelussa ja rakenteen pinnoitteita valitessa, Kolari kertoo raskasbetonisen raken-teen suunnittelusta.

– Massiivisten rakenteiden läpiviennit vaa-tivat huolellista suunnittelua ja reittivalintojen tarkkaa läpikäyntiä.

Eron huomaa työmaalla

Sairaala Novan työmaalle toimitettiin raskas-betonia noin 800 kuutiota keväällä 2018.

– Lujabetoni on toimittanut aikaisemmin raskasbetonia Joensuussa sillan vastapainoon ja Kuopion sairaaloiden työmailla. Tietysti koke-mus auttoi, vaikka raskasbetonin valmistus ja toimitus ei suunnattomasti poikkea normaa-lista, kun prosessit on kunnossa ja suunnitte-lee asiat hyvin, kehityspäällikkö *Perttu Ruuska* Lujabetonilta toteaa.

Kaikki Lujabetonin raskasbetonitoimitukset on pumpattu. Pumpkausurakoitsijoiden kanssa suunniteltiin asiat etukäteen läpi myös ottaen työturvallisuus huomioon.

– Raskasbetonin tärkeimmät laatuvaati-mukset olivat sen tiheys, jonka tuli olla enem-män kuin 3 500 kiloa kuutiolta ja betonin piti olla työstettävää. Normaalin ja raskaanbetonin suurin ero näkyy eniten työmaalla, koska ras-

kasbetoni on vaikeammin työstettävää kuin normaalit betonilaadut. Massan tulee näin ollen olla notkeampaa.

Lujabetonin Muuramen tehtaalle tuotettiin raskasbetonia varten 70 rekkakuormallista rautamalmia.

– Kiirunasta tulivat toimitukset aina valu-kohtaisesti ja kulloinkin tarvittava määrä varas-toitiin tehtaan pihalla. Kakki valut tehtiin sulan maan aikaan, koska raskaan kiviaineksen sulat-taminen olisi saattanut olla mahdoton tehtävä.

Raskasbetoni korvaa

kallioankkuroinnit Ruotsin Täbyn kunnantalon pysäköintitasolla

Pysäköintitaso Täbyn kunnantalolla, Ruotsissa, sijaitsee pohjavesirajan alapuolella. Pohjaveden aiheuttama noste voi siirtää koko rakenteen pois paikaltaan, jos sitä ei ankkuroida peruskal-lioon. Perinteinen ratkaisu tässä tapauksessa olisi kallioankkurointi. Täbyn tapauksessa rakennesuunnittelijat ja urakoitsija valitsivat kuitenkin innovatiivisen ratkaisun käyttää raskasbetonia. Heidän valintansa tarkoitti lyhyempää rakennusaikaa ja alhaisempia raken-nuskustannuksia.

Peter Hniopek, Skanskan projektipäällikkö, kertoo : – Koska perustukset ovat pohjavesi-rajaa alapuolella, aiheuttaa pohjavesi nosteen koko rakenteelle. Rakennuksen yläosassa

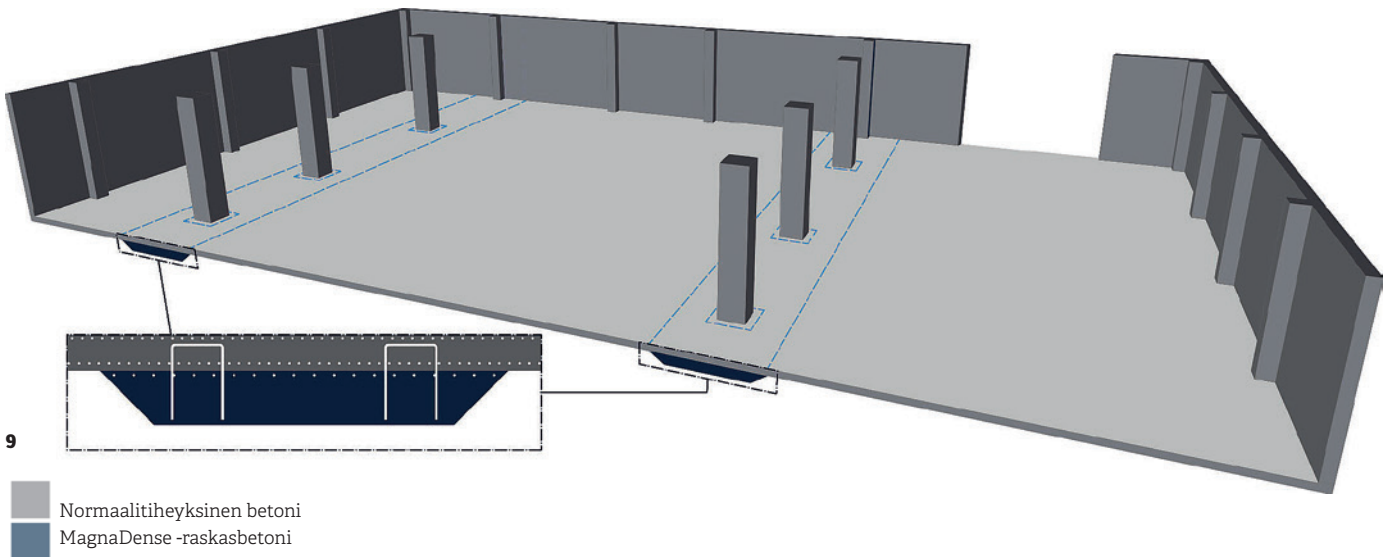
sijaitsee toimistotaso, jonka leveys on suu-rempi kuin kahden pysäköintitason leveys ja tilan keskiosa on avoin. Tämä tarkoittaa, että kahdelle pylväsriville pysäköintitasolla ei tule riittävästi kuollutta massaa kompensoimaan pohjaveden nostetta. Näin ollen perustuslaatta tulisi kohoamaan pylväsrievien kohdalta. Noste kumottiin nyt sijoittamalla oikea määrä ras-kasbetonia pylväsrievien alle.

Vaihtoehto vakioratkaisulle

Perinteinen ratkaisu samanlaisissa tilanteissa on kallioankkurointien käyttäminen. Ongel-man aiheutti kuitenkin se, että rakennuksen alle oli porattu maajäähdytysjärjestelmä. Rat-kaisu löytyi kun Swecon projektitiimin jäsenenä oli aikaisempaa kokemusta raskasbetonin käy-töstä. *Peter Hniopek* kertoo: – Huomasimme, että raskasbetonilla saamme tarvittavan kuol-leen painon ilman, että joutuisimme käyttä-mään suuria määriä betonia ja lisäksi tämä olisi selkeästi nopeampi rakennusratkaisu. Pysyisimme sovitussa rakennusaikataulussa.

Kuin valaisimme isoa laivaa

Daniel Kedland, Skanskan tuotantopäällikkö perustustöissä selventää: – Perustuslaatta ja seinät valetaan pohjavesirajan alapuolelle. Aivan kuin olisimme rakentamassa valtavan kokoista laivaa! Päätimme valaa kaksi kaista-



9 Pysäköintitaso Täbyn kunnantalolla, Ruotsissa, sijaitsee pohjavesirajan alapuolella.

10 Täbyn kunnantalo.



10



11

letta raskasbetonia varsinaisen perustuksen alle, jolloin saimme aikaan riittävästi painoa kompensoimaan pohjaveden aiheuttaman nosteen.

Kedland kertoo, että tavoitteena oli 3,57 mt/m³ (35 kN) raskasbetonitiheys, jotta täytettäisiin vaatimukset. Tavallisen betonin tiheys on noin 2,3 mt/m³. Saavuttaaksemme korkeamman painon samalla tilavuudella, tarvittiin raskasta kiviainesta betonin runkoainekseksi. LKAB Mineralsin markkinoima MagnaDense, rautamalmituote, on jalostettu soveltuvaksi sekä tämän tyyppiseen käyttöön että käytettäväksi irtopainolastina rakenteissa. Tuotteen ominais-
tiheys ylittää 5 mt/m³ ja sitä on saatavilla 0–2 mm, 0–8 mm ja 2–20 mm karkeuksissa, jotka ovat hyviä raskasbetonin valmistukseen. Skans-

kan betoni sekoitettiin 3,7 mt/m³ tiheyteen, mikä täytti vaatimukset reilulla marginaalilla.

Normaalin betonin työstettävyys

Daniel Kedland lisää: – En ollut koskaan aikaisemmin käyttänyt raskasbetonia. Olin huolissani siitä, että betonista tulisi hyvin jäykkää. Pelkäsin, että sen valaminen tulisi olemaan vaikeaa ja että joutuisimme työstämään massaa paljon. Massa käyttäytyi kuitenkin täsmälleen kuten normaali betoni ja työ edistyi nopeasti.”

Kun rakenteessa käytettiin MagnaDense-kiviainesta raskasbetonissa, pystyimme toteuttamaan suunnitelmat ilman kallioankkurointeja. Lisäksi, koska raskasbetonia pystyttiin käsittelemään samalla tavoin kuin normaalibetonia, pysyimme hyvin aikatauluissa ja ratkaisu oli kokonaistaloudellisesti edullinen.

11 Raskasbetonia käsitellään samalla tavalla kuin normaalitiheyksistä betonia ja valussa käytetään samaa vakiokalustoa.

BNCT-hoitoyksikköhanke, Helsinki

Rakennuttaja: HUS-Kiinteistöt Oy
Projektipäällikkö: Tomi Virolainen
Urakoitsija: Peab Oy
Vastaava työnjohtaja: Saku Laukkanen
Laitesuunnittelija: Neutron Therapeutics, Inc.
Arkkitehti- ja pääsuunnittelu: Sweco Architects Oy
Pääsuunnittelija: Arja Rahiala
Projektiarkkitehti: Merike Tiainen
Rakennesuunnittelu: Raksystems Oy
Rakennesuunnittelija: Paavo Pirttilä

Keski-Suomen Sairaala Nova, Jyväskylä

Rakennuttaja: Keski-Suomen sairaanhoitopiirin kuntayhtymä
Projektinjohtourakoitsija: SRV Rakennus Oy
Arkkitehtisuunnittelu: JKMM Arkkitehdit Oy
LVI- ja KSL-suunnittelu: Granlund Oy
Rakennesuunnittelu: Ramboll Finland Oy
Sähkösuunnittelu: Ramboll Finland Oy ja Easytec Oy
Rakennuttajakonsultti: Ramboll CM Oy

Täbyn kunnantalo, Ruotsi

Arkkitehtitoimisto: White Arkitekter
Rakennesuunnittelu: Sweco
Perustusurakointi: Skanska
Perustustyöt: 2014
Valmis: 2015
Raskasbetoni: 200 m³, tiheys 3,7 t/m³
MagnaDense faktat:
Yhteensopivuus standardien kanssa: Hyväksytty betonin kiviaines EN 12620, hyväksytty säteilysuojausbetonin kiviainekseksi DIN 6847-2
Partikkelitiheys (kuiva) : 4,8 – 5,1 t/m³
H₂O imeytyminen: <0,3 %
Partikkelin muoto: Kulmikas
Pinta: Karkea

12 Raskasta betonia tai kiviainesta voidaan käyttää osassa rakenteita tai kaikissa rakenteissa. Ilmeisenä etuna on tällöin se, että tarvittava omapaino voidaan usein saavuttaa lisäämättä volyyymia suuremmaksi kuin rakenteen kantokyvyltä mitoitettujen rakennekuormitusten osalta vaaditaan.

Raskasbetonia käsitellään samalla tavalla kuin normaalitiheyksistä betonia ja valussa käytetään samaa vakiokalustoa.



Raskas kiviaines muissa rakenteissa

Lämmönvarastointikapasiteetti

Suuremman lämmönvarastointikapasiteetin ansiosta voidaan varastoida enemmän lämpöä tai kylmää tilavuusyksikköä kohti. Tällä on merkitystä etenkin silloin, kun tietty tilavuus on pidettävä tietyssä lämpötilassa, lämpimänä tai kylmänä, ja tilavuuden ulko-reunat altistuvat toistuvasti suurille lämpötilanvaihteluille. Suuren lämmönvarastointikapasiteetin ansiosta lämmittämisen tai jäädyttämisen tehontarve vähenee. Käyttökohteita ovat esimerkiksi lattialämmitys, energian varastointi ja jäädytetyt rinteet. Niin ikään kovettuessa lämpötilan nousu ja

lämpötilagradientti jäävät matalammiksi. Käytettävissä olevilla laskentavälineillä suoritettujen laskelmien mukaan poikkeileikkauksen ytimen ja pinnan välinen ero 124 tunnin jälkeen on alle kymmenen astetta raskaan betonin ja yli 25 astetta tavallisen betonin kohdalla. Tällöin halkeamien muodostumisriski on pienempi, ja jäähdytysilmukoiden tarve voi olla vähäisempi.

Säteilysuoja

Gammasäteilyn fotonien energian vaimennus on sitä tehokkaampaa mitä suuremmista atomeista materiaali koostuu ja

mitä enemmän raskaita atomeita on. Juuri rautamalmissa on paljon suhteellisen raskasta alkuainetta rautaa (Fe), mikä näkyy aineen tiheydessä ja siten kyvyssä vaimentaa gammasäteilyä. Käytetään sairaaloissa, tutkimuslaitoksissa sekä ydinvoimalaitoksissa ja ydinjätteen käsittelylaitoksissa.

Äänen- ja värinänvaimennus

Tiheydestä on etua myös värinän ja äänen tehokkaassa vaimennuksessa. Tätä on hyödynnetty muun muassa Lontoon Cross Rail-projektissa.

Heavy concrete for heavy-duty structures of radiotherapy units

The protection level required in radiotherapy units can be accomplished with considerably thinner structures when using heavy concrete than with conventional concrete walls. Good experience has been gained in Finland e.g. at the oncology unit of Helsinki University Hospital (HUS) as well as in the construction projects of Nova Hospital in Jyväskylä.

The properties of heavy concrete are based on the heavier aggregate used in it. The density of the aggregate can be more than 5 t/m³. Aggregate of this type is not found in the Finnish soil, but has to be imported from Kiruna in Northern Sweden. Heavy aggregate can be used in both cast-in-situ concrete and pre-cast concrete products.

Applications for heavy concrete include, for example, nuclear power plants and hospitals

where efficient protection against ionising radiation is required. In addition to radiation protection, the heavy weight of heavy concrete can be taken advantage of also in the underground structures of bridges, tunnels, dams, lock gates, and piers. Heavy material is a suitable material also for counterweights of cranes and diggers, as well as for covers of oil and gas pipes laid on the sea bottom.

The use of heavy concrete has gradually increased also in Finland. On the worksite of HUS, for example, heavy concrete was poured in the partition walls of treatment rooms in a thickness of 1.10 m, and in the vault in a thickness of 1.20 m. This allowed a reduction in wall thickness of up to 1 m.

A total of ca. 800 cubic metres of heavy concrete was supplied to the worksite of Nova Hospital. The biggest difference between normal and heavy concrete is visible on worksites in

that heavy concrete is more difficult to work with than normal concrete grades. Because of this, the fresh concrete needs to be more fluid.

In Sweden, the use of heavy concrete is already extensive. In the Täby council building project, for example, the foundations of the parking platform located below the groundwater level were implemented using heavy concrete instead of a rock anchorage system. The uplift force of groundwater was cancelled by placing the correct amount of heavy concrete under the column rows. This solution both made the construction time shorter and reduced construction costs.