

TEHOMUUNTAJAN BETONIBUNKKERIN BETONITÖIDEN ANALYSOINTI JA DOKUMENTOINTI

Markus Saukonoja

Opinnäytetyö
Toukokuu 2015

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Saukonoja, Markus	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 20.05.2015
	Sivumäärä 41	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Tehomuuntajan suojabunkkerin betonitöiden analysointi ja dokumentointi		
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Jukka Konttinen		
Toimeksiantaja(t) SR-Talotekniikka OY		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö kuvaa SR-Talotekniikka Oy:n rakentaman tehomuuntajan suojabunkkerin eri työvaiheiden etenemisen. Työkohde sijaitsee Valkeakoskella Lavianvuoren sähköasemalla. Opinnäytetyössä kerrotaan, miten bunkkerin toteutukseen liittyvät eri työvaiheet tehtiin ja mitä eri työmenetelmiä ne sisälsivät.</p> <p>Opinnäytetyössä käsitelty rakennusprojekti toteutettiin 1-luokan betonirakenteena. 1-luokka on kaikista vaativin rakenneluokka betonirakenteissa, minkä seurauksesta kohteen toteuttamiseen ja suunnitteluun tulee lisävaatimuksia. Opinnäytetyössä käydään läpi, mitä lisävaatimuksia ja -ehtoja tarvitaan, että voidaan suunnitella ja toteuttaa 1-luokan rakenneluokkaan kuuluvia rakenteita.</p> <p>Suomessa on siirrytty vanhoista betonirakenteiden suunnitteluohjeista eurooppalaisiin standardeihin ja eurokoodeihin. Tämä aiheuttaa muutoksia betonirakenteiden suunnitteluun. Opinnäytetyössä kerrotaan, miten uudet suunnitteluohjeet ja vanhat suunnitteluohjeet vastaavat toisiaan.</p> <p>Toimeksiantajani on erikoistunut betonirakenteiden toteutukseen. Opinnäytetyö antaa toimeksiantajalleni hyvän ohjeistuksen suunnittelunormien muutoksista. Betonibunkkerin töiden dokumentointi toimii myös hyvänä ohjeena, jatkossa vastaavia rakenteita toteuttaessa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) 1-luokka, tehomuuntaja, betonointi, raudoitus, rakenneluokka, toteutusluokka		
Muut tiedot		



Author(s) Saukonoja, Markus	Type of publication Bachelor' thesis	Date 20.05.2015
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 41	Permission for web publication: x
Title of publication Analysis and documentation of the concrete work of protection bunker for power transformer		
Degree programme Civil Engineering		
Tutor(s) Jukka Konttinen		
Assigned by SR-Talotekniikka Ltd		
Abstract <p>The thesis describes the various stages of constructing the protective bunker for a power transformer built by SR-Talotekniikka. The work site was located in Valkeakoski, in Lavianvuoris electricity station. The thesis describes how the various stages of the bunker construction were implemented and what different methods they contained.</p> <p>The construction project in the thesis was carried out in 1-class concrete. Class 1 is the most demanding structural class in concrete structures, because of which there were additional requirements needed for the design. The thesis goes through what additional requirements and conditions are needed for the design and building structures within the 1-class structure.</p> <p>Finland has shifted from old design guidelines of concrete structures to European standards and eurocodes. This causes changes in the desing of concrete structures. The thesis reports how the old and new design guidelines correspond to each other.</p> <p>The company has specialized in realization of concrete structures. The thesis gives good instructions to the company about the changes in the design standards. The documentation of the work on the concrete bunker also serves as a good instruction when carrying out similar structures in the future.</p>		
Keywords/tags (subjects) 1-class, concrete works, power transformer, structure class, realization class, reinforcement with iron		
Miscellaneous		

Sisällys

1 TYÖN LÄHTÖKOHDAT	3
1.1 Työtausta	3
1.2 SR-Talotekniikka Oy	3
1.3 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset	4
2 1-LUOKAN BETONIRAKENNE.....	5
2.1 Yleistä.....	5
2.2 Pätevyydet	6
3 BETONITÖIDEN TOTEUTUS	7
4 KOHTEEN ESITTELY	9
5 RAKENTAMINEN.....	11
5.1 Runkotyöt	11
5.2 Pohjalaatta.....	12
5.3 Vesiallas	16
5.4 Onteloiden asennus ja injektointi.....	21
5.5 Raidealusta	22
5.6 Bunkkerin seinät	27
5.7 Viimeistely	31
6 BETONILUOKAT	33
6.1 Yleistä.....	33

	2
6.2 1-luokka	34
6.3 2-luokka	34
6.3 3-luokka	34
6.4 Luokkiin tulevat muutokset	35
7 YHTEENVETO JA POHDINTA.....	37
LÄHTEET	39
LIITTEET	40
Liite 1 Seinissä käytetty suurmuotti	40
liite 2. Vesialtaan seinissä käytetty muottityyppi.....	41

1 TYÖN LÄHTÖKOHDAT

1.1 Työtausta

Opinnäytetyön aiheena oli tehdä dokumentointi Lavianvuoren sähköasemalle tulevasta sähkömuuntajan suojabunkkerista. Sähköasema oli Fingrid Oy:n ja sähkötoiden urakoinnista vastasi Empower Oy. SR-Talotekniikka teki sähköasemalle tulleet rakennustyöt aliurakalla Empower Oy:lle. Koska kyseinen bunkkeri toteutettiin 1-luokan betonirakenteena, siinä oli paljon haasteita verrattuna 2-luokan betonirakenteeseen. Opinnäytetyö käsittelee myös, mitä eri haasteita ja suunnitelmia tällainen vaativampi betonirakenne tuo verrattuna normaaliin betonirakenteeseen. Opinnäytetyössä kerrottiin, mitä vaatimuksia tällainen vaativampi betonointikohde asettaa suunnittelulle ja työn johtamiselle.

Betonirakenteiden suunnitteleminen on muuttunut sen jälkeen, kun Suomessa siirryttiin käyttämään eurooppalaisia eurokoodistandardeja. Eurokoodeilla suunnitteleminen on tuonut mukanaan haasteita betonirakenteiden suunnitteluun, koska suomalaisissa suunnitteluohjeissa olevat betonin rakenneluokat korvataan eurokoodeissa olevilla toteutusluokilla. Rakenneluokat ja toteutusluokat eivät vastaa ihan suoraan toisiaan, joten niiden tulkitseminen on ongelmallista. Opinnäytetyössä selvitetään, mikä vanhoissa suunnitteluohjeissa käytetty rakenneluokka vastaa eurokoodien ohjeissa käytettyä toteutusluokkaa.

1.2 SR-Talotekniikka Oy

SR-Talotekniikka Oy on keskisuomalainen rakennusalan yritys, joka on erikoistunut betonirakenteiden rakentamiseen. Nykyisin SR-Talotekniikka Oy keskittyy enimmäkseen Suomen voimalinjaverkostojen perustusten rakentamiseen, sekä sähköasemien rakennustöihin. Yritys tekee rakennustöitä Suomen voimasähköalan suurimmille yrityksille, joita ovat esimerkiksi: Empower Oy, Fingrid Oy ja Eltel OY

1.3 Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset

Tässä opinnäytetyössä haluttiin tuoda tarkasti esille, miten tällainen betonirakenne toteutettiin. Koko projekti kuvattiin alusta loppuun asti, sisältäen töiden suunnittelun, töiden aloituksen ja etenemisen, haasteet, sekä projektin valmistumisen. Opinnäytetyössä kerrottiin mistä työt aloitettiin ja mihin työt päättyivät. Lisäksi tuotiin esille, mitä ongelmia ja vaatimuksia tällainen massiivinen valukohde tuo mukanaan.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä SR Talotekniika Oy:lle dokumentointi suojabunkkerista, jota se voisi käyttää hyödyksi toteuttaessa samanlaisia työkohteita. Dokumentointia ei voi käyttää hyödyksi muuta kuin vastaavissa suojabunkkerin toteutuksissa, jotka on tehty samankaltaisilla suunnitelmilla.

Opinnäytetyössä selvitettiin myös, mitä eri vaatimuksia suunnittelijoilta ja työnjohtajilta vaaditaan, kun toteutetaan 1-luokan betonirakenteita. Tässä opinnäytetyössä ei käsitelty betonirakenteiden suunnittelua syvällisemmin, koska päätavoite oli tehdä dokumentointi betonointitöiden toteutuksesta. Opinnäytetyössä kerrottiin kumminakin mitä muutoksia aiheutuu, kun Suomessa on siirrytty käyttämään eurooppalaisia suunnitteluohjeita. Muutokset betonirakenteiden suunnittelupuolella heijastuvat myös työmaan toteutukseen, joten tämä asia oli hyvä tuoda esille.

2 1-LUOKAN BETONIRAKENNE

2.1 Yleistä

1-luokan betonirakenteet ovat kaikista vaativampia rakenteita. Betonirakenneluokkia on yhteensä kolme: 1-, 2- ja 3-luokka. 1-luokan rakenteella on kaikista vaativimmat suunnittelun ja työnjohdon pätevyysvaatimukset. 1-luokan rakenteiden toteutus on myös vaativampi projekti verrattuna esimerkiksi 2-luokan rakenteen toteutukseen. Tämä johtuu siitä, että 1-luokan rakenteella on tiukemmat mitoitusoleranssit kuin muilla rakenneluokilla. Lisäksi 1-luokan betonirakenteeseen tulee yleensä enemmän terästä ja terästen halkaisija on suurempi kuin muiden rakenneluokkien rakenteissa. Työn toteutuksessa tämä aiheuttaa lisätöitä, koska käytetään halkaisijaltaan suurempia betoniteräksiä. Esimerkiksi T20 on vaikeampi käsitellä ja työstää, kuin halkaisijaltaan pienemmät betoniteräkset. 1-luokan rakenteet ovat yleistymässä, koska rakenteilta vaaditaan yhä useammin parempaa kestävyyttä ja pitempää käyttöikää.

Opinnäytetyössä esitetty kohde on sähköasemalle rakennettava tehomuuntajan suojabunkkeri. Bunkkeri on avonainen rakennus, jonka tarkoituksena on suojata ympäristöä mahdollisilta vaaratilanteilta. Bunkkeri joutuu jatkuvasti olemaan sään rasituksen alaisena, joten rakenteilta vaaditaan kovaa kestävyyttä. 1-luokan betonilla saadaan tehtyä säänkestävämpiä ja pidemmän käyttöiän omaavia rakenteita.

1-luokan rakenneluokan betonirakenteiden betonointityöt ovat vaativampia, kuin tavomaisten betonirakenteiden. Betonointikohteen teräsmäärä on suurempi, joten betonin tiivistykseen täytyy kiinnittää erityistä huomiota, jotta betonimassa saadaan menemään joka paikkaan terästen ympärille. Lisäksi 1-luokan rakenteisiin tuleva betonimassa on usein jäykempää, koska massassa on enemmän sementtiä ja lisäaineita. Betonointityöt saadaan kyllä toteutettua laadukkaasti, kunhan betonointityölle varataan tarpeeksi aikaa. Betonointisuunnitelmat ovatkin tärkeitä 1-luokan rakenteita tehdessä.

2.2 Pätevyudet

1-luokan betonirakenteiden betonityönjohtajalla pitää olla suoritettuna vähintään teknillisen oppilaitoksen tai ammattikorkeakoulun rakennusosaston insinööritutkinto, opintoihin pitää sisältyä betonirakenteiden suunnittelua ja toimintaa käsittelevät tarvittavat kurssit. Aiemmin tutkinnon suorittaneella täytyy olla vastaavanlaiset tiedot betonirakenteiden toteutuksesta ja suunnittelusta. (B4 Suomen rakentamismääräyskokoelma ympäristöministeriö betonirakenteet ohjeet 2005, 5.)

1-luokan betonirakenteiden työnjohtajalla täytyy olla FISE:n myöntämä pätevyys ja pätevyys myönnetään seitsemäksi vuodeksi kerrallaan. Betonitöiden johtajalla tulee olla suoritettuna insinööritutkinto tai sitä korkeampi tutkinto. Pätevyyden hakijalta edellytetään kokemusta työnjohtotehtävistä. Lisäksi riittävän monipuolista ja tehtävään soveltuvaa kokemusta betonirakenteiden valmistuksesta, yleensä vähintään kaksi vuotta. Työkokemus luetaan hyväksi vasta, kun pätevyteen vaadittu tutkinto on suoritettu. (FISE 2014.)

1-luokan betonirakenteiden suunnittelijalla pitää olla suoritettuna teknillisen korkeakoulun tai yliopiston rakennustekniikan koulutusohjelman rakennetekniikan tai vastaavan suunnan tutkinto. Tutkinnot sisältävät betonirakenteiden suunnittelun erikoiskurssit. Muussa tapauksessa tai muun tutkinnon suorittaneella tulee olla betonirakenteiden suunnittelun kannalta vastaavat tiedot. (B4 Suomen rakentamismääräyskokoelma ympäristöministeriö betonirakenteet ohjeet 2001, 5.)

1-luokan betonirakenteiden suunnittelijoilta vaaditaan AA-vaatimusluokan pätevyys. Tämä tarkoittaa sitä, että kun betonirakenteet mitoitetaan kestämään yli K40 lujuus, suunnittelijalta vaaditaan korkeampaa kokemusta ja koulutusta. Suunnittelijalla täytyy olla yleensä neljän vuoden kokemus rakennesuunnittelusta, sekä näyttää osallistumisesta AA-vaatimusluokan betonirakenteiden suunnitteluun. Lisäksi AA-luokan suunnittelijoiden täytyy käydä lisäkurseja betonirakenteiden suunnitteluun, tai täytyy todistaa osaaminen erikseen riittävällä työkokemuksella. Pätevyys myönnetään aina seitsemäksi vuodeksi kerrallaan. (FISE 2014.)

3 BETONITÖIDEN TOTEUTUS

Ennen betonirunkotöiden aloitusta, täytyy kohteesta olla suunnitelmakatselmus (YSE98, § 64). Kohteesta on oltava kaikki tarvittavat suunnitelmapiirustukset; näitä ovat rungon mittapiirustukset, leikkaus- ja detaljipiirustukset, sekä raudoituspiirustukset. Kohteesta on laadittava tarvittavat rakennus- ja työselostukset sekä muotti- ja betonointisuunnitelma. Muita tarvittavia suunnitelmia ja asiakirjoja ovat työmaan aluesuunnitelma, yleisaikataulu, rakentamisvaihe aikataulu, kustannusten tavoitearvio ja materiaalivalmistajien ohjeet. Lisäksi on oltava kohteeseen liittyvät turvallisuusohjeet ja työturvallisuussuunnitelma. (Ratu 1201-S 2002, 32.)

Betonitöitä tehdessä tulee ennen töiden aloitusta varmistaa, että kaikki tarvittavat materiaalit ja kalusto ovat työmaalta. Tärkeimpiä osa-alueita ovat muottitavarat, joita ovat suurmuotit, raudoitusvälikkeet, muottilukot, muottiöljy, pyöröteräkset sekä suurmuotteihin kuuluvat kiinnikkeet (muottisiteet ja tarraimet). Raudoitteena käytetään A500HW harjateräksiä, sidelankoja ja muottivälikkeitä. Suojausvälineinä käytetään aitoja ja lippusiimoja, joilla suojataan työskentelyalue. Lisäksi niillä varmistetaan, että ulkopuoliset eivät pääse työskentelyalueelle. Runkotöissä tarvitaan paljon erilaisia koneita. Yleisimpiä koneita ja laitteita ovat nosto- ja siirtokalusteet, Täryttimet, hiertimet, linjarit, sekä raudoitteiden katkaisu- ja taivutusvälineet. (Ratu 1201-S 2002, 32.)

Runkotyön työryhmä on kaksi rakennustyöntekijää. Mittaustyöryhmä on tarvittaessa erillinen. Työntekijät on opastettava tarvittaviin työmenetelmiin, työkohteeseen ja käytössä olevaan kalustoon. Työntekijöille selvitetään työvaiheiden laatuvaatimukset, mittatoleranssit sekä kohdekohtaiset työturvallisuusohjeet ja toimenpiteet. Työryhmällä on oltava aina käytössään uusimmat hyväksytyt työsuunnitelmat ja asiakirjat. Mikäli työmaalla hitsataan, on työnsuorittajalla oltava riittävä pätevyys ja voimassa oleva tulityökortti. Lisäksi hänellä on oltava työmaan tulityövastaavan myöntämä tulityölupa. (Ratu 1201-S 2002, 33.)

Työkohteen pitää olla suojattu, jotta runkotyöt voidaan toteuttaa turvallisesti. Tarvittaessa työskentelyalue on eristettävä muusta työmaasta lippusiimoilla ja suoja-aidoilla. Työalueen on oltava siisti ja alueella on järjestettävä sähkön- ja vedenjakelu. Työalueella on oltava turvalliset kulkureitit sekä riittävä valaistus. Työkohteeseen järjestetään jätteiden keräily puu-, metalli- ja sekajätteelle. Työmaateiden on oltava kantavuudeltaan ja leveydeltään käytettävän kuljetuskaluston vaatimusten mukaiset. Työmaateiden on oltava edellä mainitun mukaiset työmaaportilta lastausalueelle saakka. Työmaan varastointitilan on oltava riittävän suuri ja suojattu alue; tavaran siirto työalueelle tulee järjestää turvallisesti. (Ratu 1201-S 2002, 33.)

Kohteen perustustyöt on tehtävä suunnitelmien mukaisesti. Sääolosuhteet on huomioitava aina ennen töiden aloitusta. Pakkaseen varaudutaan hankkimalla työmaalle riittävä lämmitys- ja suojauskalusto. Lisäksi käytetään tarvittaessa pakkasbetonia. Saateen varalle hankitaan työmaalle riittävästi suojapeitteitä, muoveja, kiinnikkeitä ja erilaisia tukirakenteita. (Ratu 1201-S 2002, 33.)

Työturvallisuusasiat on oltava kunnossa ennen töiden aloitusta. Nostolaitteille pitää tehdä käyttöönottotarkastus aina ennen nostotöiden aloitusta. Nostojen aikana nosturin taakan alla liikkuminen on kiellettyä. Jos nosturin käyttäjä ei pysty koko ajan valvomaan taakan liikkumista, on käyttäjän apuna oltava merkinantaja. Nostinkäyttäjällä ja merkinantajalla on oltava koko ajan näkö- tai radioyhteys. Kipinöitä aiheutuvissa tulitöissä noudatetaan tulityömääräyksiä ja -ohjeita. Työkohteesta on tulitöitä tehdessä aina löydyttävä riittävä sammutuskalusto. Rakennusmiehillä on oltava työturvallisuusmääräysten mukainen suojavaarustus; suojakypärä, turvajalkineet, suojakäsineet, -vaatetus ja suojalasit. (Ratu 1201-S 2002, 33.)

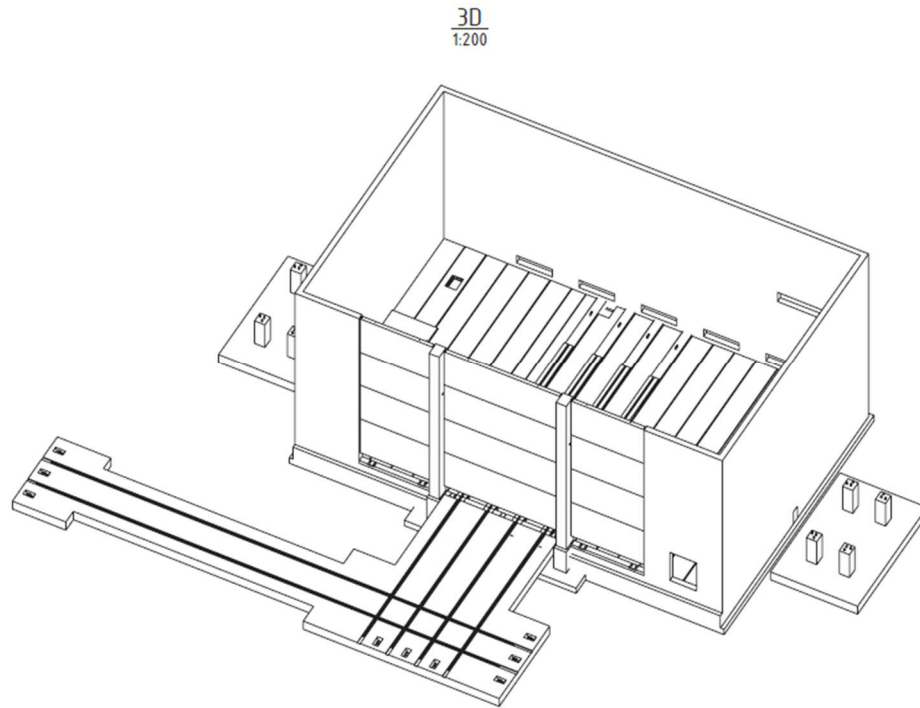
Betonitöitä tehdessä on kaikista valutyövaiheista oltava betonointisuunnitelma ja -pöytäkirja. Se on tärkeä osa tuotannon suunnittelua paikallavalukohteessa, koska se toimii hyvänä tarkistuslistana betonityön eri vaiheissa. Suunnitelmaosuus tehdään ennen töiden aloitusta ja pöytäkirjaosuutta voidaan täydentää betonitöiden aikana ja sen jälkeen. Betonointipöytäkirjan sisältö koostuu seuraavista kohdista: yleistiedot, muotit, rauditus, betoni, betonointi, koekappaleet ja jälkityöt. (by 201 2004, 210.)

4 KOHTEEN ESITTELY

Rakennuskohteena oli sähkömuuntajalle tuleva teräsbetoninen suojabunkkeri (ks. kuvio 1). Bunkkerin tärkeimpiä tehtäviä on palosuojaus muita ympärillä olevia rakenteita kohtaan ja erityisesti ympärillä olevia tehomuuntajia kohtaan. Muuntajia tulee yleensä useampi vierekkäin, joten mahdollinen useita päiviä kestävä palo halutaan estää kulkeutumasta toiseen kalliiseen komponenttiin. Suojautuminen ilkivallalta ja ulkoisilta iskuilta kuuluu myös bunkkerin merkittäviin tehtäviin. Tehomuuntaja on todella arvokas komponentti, joten se vaatii ympärilleen järeän suojan. Bunkkerissa on yleensä myös vesiallas ja tähän liittyvä viivästysallas, joiden tehtävä on hallita sadevesiä sekä mahdollisia muuntajan öljyvetoja. Altailla estetään vuotojen pääsy maaperään ja vuodot otetaan talteen viimeistään öljynerottimen avulla. (Ahonen 2015.)

Bunkkeri toteutettiin 1-luokan betonirakenteena, koska sen halutaan kestävän toiminnassa mahdollisimman pitkään. Sen suunniteltu käyttöikä on 100 vuotta. Tehomuuntaja on kallis komponentti ja sen käyttöikä on pitkä, siksi myös ympärillä olevilta rakenteilta vaaditaan pitkää käyttöikää. Lisäksi korkeilla betonin lujuuksilla ja suurilla raudotteiden määrällä pystytään toteuttamaan tarpeeksi vahva rakenne tehomuuntajalle. (Ahonen 2015.)

Tehomuuntajan tehtävä on muuntaa 400 kV:n voimalinjoilta tuleva virta 110 kV:n voimalinjoille. Toisena tärkeänä tehtävänä on tuottaa sähköä sähköaseman omiin tarpeisiin. Tehomuuntaja on sähköinen komponentti, joten sitä joudutaan huoltamaan. Tästä syystä muuntajan perustukset ja alusta on suunniteltu niin, että se voidaan tarvittaessa siirtää pois bunkkerista huoltotoimenpiteiden ajaksi.



Kuvio 1 Mallinnuskuva bunkkerista

5 RAKENTAMINEN

5.1 Runkotyöt

Bunkkerin kaikki runkotyöt tehdään 1-luokan betonitöinä, mikä lisää töihin paljon erilaisia vaatimuksia, erityisesti raudoitus- ja valutöihin. Koska kyseessä on 1-luokan betonirakenne, tulee kaikki runkovaiheen työt suunnitella hyvin etukäteen. Ennen varsinaisten töiden aloitusta täytyy tehdä kaikki tarvittavat suunnitelmat töitä koskien, sekä suunnitella työvaiheille aikataulut.

Betonirunkotöiden eteneminen on järjestelmällinen prosessi, joka tarkoittaa töiden etenemistä suunnitelmissa määrättyssä järjestyksessä. Tämän takia on tärkeää, että kaikki tilaukset materiaaleja koskien on tehty hyvissä ajoin. Materiaalin puuttuminen, erityisesti betoniteräksiä koskien, aiheuttaa merkittäviä viivästyksiä aikatauluihin. Betonirunkotyöt alkavat piirustuksiin perehtymisellä ja raudoitustyön järjestyksen suunnittelemisella. Raudoituksen tekemisen oikea työjärjestys on erityisen tärkeää. Jos jokin raudoite tehdään toisen raudoitteen tielle, se aiheuttaa lisätöitä ja aikataulun viivästymistä. 1-luokan betonirakennetta tehdessä tähän täytyy kiinnittää erityistä huomiota, koska rakenteisiin tulevan teräsmäärä on suuri ja mitoitus toleranssit ovat tiukat, joten raudoituksissa ei sallita suuria mittapoikkeamia. Jokaiselle bunkkerin rakenneosalla on omat vaatimukset betonin suhteen, riippuen sen kantavuusvaatimuksista ja säärasituksesta. (ks. taulukko 1).

1-luokan betonirakenteita tehdessä on paikalla oltava 1-luokan betonitöiden johtaja. Rakennusosien valutöitä tehdessä on aina ennen valutöiden aloittamista betonimassasta otettava laboratoriokokeita. Tässä kyseessä olevasta kohteesta massasta otettiin puristuslujuuden määrittäviä koekappaleita, sekä huokosluvun ilmoittavia koekappaleita. Betonimassasta otettujen koekappaleiden tuloksista nähdään, että toteuttaako se 1-luokan rakenneluokan vaatimukset. Kaikista betonointitöistä on oltava betonointisuunnitelma ja –pöytäkirja. Ne toimivat hyvänä tarkistuslistana ja jatkossa ne ovat osa töiden dokumentointia.

Taulukko 12. Yhteenveto eri rakenneosien betonien vaatimuksista

Rakenneosa(t)/ Rasitusluokka- yhdistelmä(t)	Suunnittelu- käyttö- ikä	Lu- juus- luokka	Vesise- ment- tisuh- teen yläraja	Betoni- peitten nimel- isarvo/ mm	Kiviai- neksen maksimi rae- koko/ mm	Huom!
Muuntajatilaa altaan betoni- rakenteet/ XC4;XF3;XA1	100 v	C40/50	0,50	35	16 ja hierto- kerros 8	Vesitiivis kohdan B mukaisesti.
Muuntajatilaa seinien betoni- rakenteet/ XC4;XF3;XA1	100 v	C40/50	0,50	35	16	
Muuntajatilaa ulkopuolisten perustusten betonirakenteet/ XC4;XF3;XA1	100 v	C40/50	0,50	35	16	
Maanvaraiset laatat XC4;XF3;XA1	100v	C-2-50		35 yp 50 ap	16 ja hierto- kerros 8	Lattiabetoni kohdan C mukaisesti.

Taulukko 1 Yhteenveto eri rakenneosien betonien vaatimuksista

5.2 Pohjalaatta

Bunkkerin rakentaminen aloitettiin pohjatöistä. Bunkkerin perustusten alta poistettiin kantamaton maa-aines, joka korvataan routimattomalla murskekerroksella. Perustusten ympärille asennettiin työpiirustusten mukaiset salaojat sekä routaeristeet. Routaeristeiden asennuksen jälkeen bunkkerin nurkkapisteet täytyi merkitä. Nurkkien merkitseminen tapahtui geoteknikon avustuksella, joka koordinaatteja käyttäen merkitsi bunkkerin nurkat routaeristeen päälle. Nurkkapisteiden avulla voitiin linjalaattia käyttäen merkitä bunkkerin linjat ja näitä apuna käyttäen voitiin aloittaa pohjalaatan raudoitus.

Bunkkerin pohjan raudoitus tehtiin 1-luokan betonirakenteen kriteerejä noudattaen, mikä tarkoittaa työn suorituksen kannalta, että raudoitteet tehtiin mittatarkasti eikä mittavirheitä saanut rautojen välillä juurikaan tulla. Mitat eivät saa poiketa toisistaan

kuin korkeintaan +5 mm /-10 mm. Betoniteräkset tilattiin tehtaalta valmiiksi mittaansa katkaistuina. Teräkset leviteltiin bunkkerin ympärille autonosturia apuna käyttäen, josta ne sitten olisi helppo asentaa paikoilleen.

Raudoitus aloitettiin välikkeiden ja työrautojen asennuksella, joiden päälle tehtiin pohjalaatan alapuolinen verkkoraudoitus (ks. kuvio 2). Teräkset oli sidottava niin tiheään kiinni, että ne eivät heiluneet tai päässeet liikkumaan mihinkään suuntaan. Ne sidottiin ruostumattomalla sidontalangalla sidontakoukkua käyttäen tai työhön kuuluvalla sidontakoneella. Pohjaverkon valmistuttua seuraavaksi raudoitettiin seinille tulevat tartuntateräkset ja keskelle tulevien kannatinpalkkien tartuntateräkset.



Kuvio 2 Pohjaverkko

Tartuntateräksien eli ns. ”raudoituspussien” asennus oli haastava toimenpide, koska pussit piti asentaa pystysuoraan eivätkä ne saaneet olla kallellaan mihinkään suuntaan. Jotta tartuntateräkset pysyisivät suorassa, ne täytyi hitsata metrin välein kiinni pohjaverkkoon. Hitsattujen ”pussien” väleihin tulevat ”pussit” sidottiin kiinni pohja-

verkkoon. Raudoituksen kasassa pysyminen varmistettiin ”pussien” yläpään sidotavalla vaakateräksellä, jonka tehtävä oli pitää koko raudoitusrivistö oikeassa paikassa.

Tartuntaraidoiteiden tullessa valmiiksi voitiin aloittaa pohjalaatan ylemmän verkon raudoittaminen. Raudoitus tapahtui asentamalla alaverkon päälle ”raudoituspukit”, joiden päälle asennettiin yläpuolisen verkon työraudoitukset. ”Pukkien” oli oltava juuri oikean kokoiset, jotta betonin suojapeite on toleranssit täyttävä. Yläpuolinen verkko sidottiin kiinni tiukasti, koska se ei saanut liikkua mihinkään. Verkon silmään oli pysyttävä vaaditussa toleranssissa. Lisäksi verkon päällä jouduttiin työskentelemään valutyön aikana, joten sidontaan oli kiinnitettävä erityistä huomiota. Kaikkien raudoitusten ollessa valmiit, asennettiin betonimuotit raudoituksen ympärille (ks. kuvio 3). Muottien asennuksen jälkeen raudoitus tarkistettiin. Tarkastuksessa ilmenneet virheet korjattiin, jonka jälkeen saatiin lupa aloittaa betonointityöt.



Kuvio 3 Pohjalaatan raudoitus valmis ja muotit asennettu

Pohjalaatan betonointityöt tehtiin viiden rakennusmiehen voimin. Betonin kokonaismäärä oli 178m^3 . Laatan valunopeus oli $32\text{ m}^3/\text{h}$ ja nousunopeus oli $8,2\text{ cm}/\text{h}$. Valun

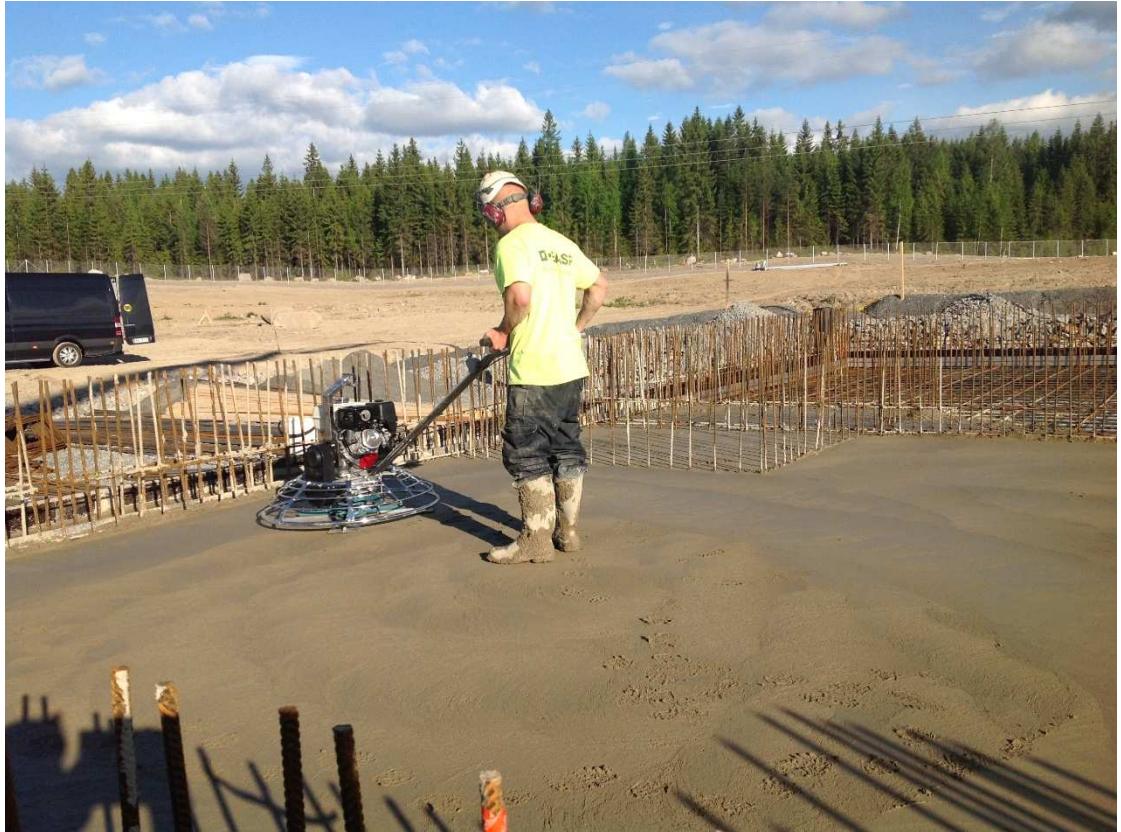
ajankohta oli kesäkuussa. Koska päivällä oleva ulkolämpötila oli liian korkea, työt voitiin aloittaa vasta iltopäivällä. Päivällä vallinnut lämpötila olisi nopeuttanut betonin kuivumista. Liian nopea kuivuminen olisi vaikeuttanut valutöitä ja lisäksi aiheuttanut mahdollisia halkeamia laatan pintaan. Rakennusmiesten työt jakautuivat valun aikana seuraavasti: yksi työntekijä levitti betonimassaa pumpun letkulla, kaksi miestä tiivisti betonimassaa sauvatäryttimiä käyttäen ja kaksi miestä tasasi massaa linjareilla (ks. kuvio 4). Valutyöt kestivät kuusi tuntia.



Kuvio 4 Pohjalaatan valu käynnissä

Pohjalaatan annettua kovettua sen verran, että sen pinta kesti kävellä, voitiin betonin pinta hiertää hierrinkoneita käyttäen. (ks. kuvio 5). Ahtaat paikat hierrettiin käsihiertimellä. Hierron jälkeen betonin pinta liipattiin vielä teräsliippaa ja hierrinkoneita käyttäen. Näin saatiin mahdollisimman tasainen, tiivis ja kestävä pinta pohjalaatalle. Lopuksi betonin pintaan ruiskutettiin jälkihoitoaine. Betonin sitoutumislämpötilaa seurataan lämpötilamittareilla. Laatan pintaa jäähdytettiin kastelemalla, jolla varmistettiin, että lämpötila ei pääse nousemaan liian korkeaksi. Liian korkea lämpötila aiheuttaisi betonin liian nopeaa kovettumista, joka voisi aiheuttaa halkeamia laattaan.

Vesijähdytystä ei yleensä pystytä käyttämään tavanomaisissa betonointikohteissa, mutta kyseessä oleva pohjalaatta toimii tulevaisuudessa vesialtaan pohjana, joten tässä tapauksessa vesijähdytys oli hyväksyttävää.



Kuvio 5 Pinnan hierto hierrinkoneella

5.3 Vesiallas

Pohjalaatan valmistuttua, kun betoni oli saavuttanut riittävän lujuuden, voitiin aloittaa vesialtaan seinien muotitus- ja raudoitustyöt. Työt aloitettiin siivoamalla ja puhdistamalla raudoitusalueet. Edellisestä valusta tulleet betoniroiskeet täytyi poistaa raudoituksista. Lisäksi raudoituksien alueella olevat irtonaiset betonipalaset ja muut epäpuhtaudet poistettiin. Raudoitukset oli puhdistettava, koska raudoitusten tartuntalujuus olisi heikentynyt niiden ollessa jo edeltävän betonin peitossa. Lisäksi raudoituksen pohja oli puhdistettava ja pestävä, jotta varmistettiin paras mahdollinen betonisaumojen tarttuminen.

Pohjalaatan ja vesialtaan seinien väliin asennettiin edellisen valun yhteydessä rosterinen teräslevy (ks. kuvio 6), jonka tarkoituksena oli varmistaa pohjan ja seinien välisen sauman vedenpitävyys. Lisäksi vuotojen ja halkeilujen varalta pellin alareunaan betonia vasten asennettiin injektointiletku, jota käytetään jos mahdollisia vesivuotoja ilmenee.



Kuvio 6 Altaan seinän ja laatan välinen rosterinen pelti

Raudoitustyöt aloitettiin raudituspiirroksia lukemalla, joiden avulla raudoitustyöt voitiin suunnitella. Suunnittelussa tarkistettiin, että kaikki teräkset ovat työmaalla. Jos puutteita oli, niin puuttuvat betoniteräkset tilattiin mahdollisimman nopeasti. Vesialtaan rauditus oli vaativa työvaihe, koska terästen määrä ja koot olivat suuria. Varsinkin tehomuuntajan alle tulevat aluspalkit olivat vaativa raudituskohde, koska ne kantavat muuntajaa ja siirtävät sen painon pohjalaatalle. Tämän vuoksi aluspalkkeihin tuli suuri määrä betoniteräksiä.

Raudoitustyöt toteutettiin niin, että ensin tehtiin muuntajan aluspalkit ja bunkkerin keskelle tuleva välipalkki. Välipalkin tehtävä oli toimia kannakkeena ontelolaatoille. Seuraavaksi raudoitettiin vesialtaan sivuseinät ja takaseinä. Viimeisenä raudoitettiin bunkkerin etuseinä. Raudoitukset tehtiin asentamalla ensimmäiseksi työteräkset vaakatasoon, jotka kiinnitettiin pohjalaatasta tuleviin tartuntateräksiin. Työraudat kiinnitettiin hitsaamalla ja sidontalangalla. Vesialtaan seiniin tulleet pääasialliset teräkset oli helppo kiinnittää työteräksiin, jotta ne saatiin oikeaan paikkaan oikealle jaolle. Näin ollen saatiin tehtyä laadukas ja mittatarkka raudoituskokonaisuus (ks. kuvio 7).

Samaa raudoitustapaa käytettiin kaikkialla vesialtaan perustuksissa ja seinissä. Altaan seinien muotitustyöt aloitettiin sisäpuolisten muottien paikkojen merkitsemisellä. Seinien sisänurkat mitattiin ja nurkkiin porattiin merkipultit, jotta nurkkien paikat pysyisivät liikkumattomina. Muottien linjat merkittiin laittamalla linjalanka pulttien väliin ja langan ääri viivoja myöten vedettiin liidulla linja betoniin, koska langat täytyi poistaa muottien asennuksen yhteydessä. Näin varmistettiin, että muotit pysyvät suorassa linjassa. Raudoituksiin täytyi kiinnittää riittävästi rauditusvälikkeitä, jotta raudoitukset saatiin pysymään mittatoleranssit täyttävällä etäisyydellä muoteista.



Kuvio 7 Vesialtaan seinien rauditus

Vesiallas muotitettiin käyttämällä PERI:n elementtimuotteja (ks. liite2) ja lisäksi puu- ja vanerirakenteisia itse valmistettuja muotteja (ks. kuvio 8). Itse valmistettuja muotteja jouduttiin käyttämään, koska muottivalmistajalta löytyi vain tietynlaiset standardikoon muotit, eivätkä ne olleet sopivia joka paikkaan. Muotit kiinnitettiin ja kasattiin muottitoimittajalta tilatuilla lukoilla ja kiinnikkeillä. Muotit nostettiin paikoilleen käyttämällä apuna kuorma-auton nosturia. Muotteja nostaessa nostotöihin liittyi aina

turvallisuusriskejä. Nostotöistä oli oltava erillinen nostosuunnitelma, jossa riskit oli otettu valmiiksi huomioon. Kun kaikki muotit oli saatu paikoilleen, kaikki lukot tarkistettiin ja käytiin läpi, että kaikkialla raudoitteen ja betonin välinen etäisyys täytti vaaditun arvon.



Kuvio 8 Vesialtaan muotit

Vesialtaan valutyöt toteutettiin kahdessa eri vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa valettiin vesialtaan ulkoseinät, välipalkki, altaan sisälle tulevat perustukset eri laitteilla ja muuntaja aluspalkit niiltä osin, että muuntaja alle tulevat kiskot jätettiin vielä valamatta kiinni. Betonointityö oli 102 m³ massiivivalu. Betonointityöt tehtiin neljän rakennusmiehen voimin (ks. kuvio 9) ja lisäksi paikalla oli työnjohtaja ja 1-luokan betonitöiden valvoja. Betonointitöihin kuuluivat betonimassan levitys, betonimassan tiivistys sauvatäryttimellä, betonimassan korkoonsa levitys sekä jälkihoito, johon kuului kastelu ja jälkihoitoaineen levitys. Betonointityöt kestivät kahdeksan tuntia ja jälkihoitotyöt noin kaksi tuntia.



Kuvio 9 Vesialtaan seinien valu

Toisessa vaiheessa asennettiin muuntajan alle tulevat raidekiskot paikoilleen. Kiskot asennettiin metallilattojen päälle, jotka oli kiinnitetty kierretankoihin; kierretangot olivat kiinni edellisessä valussa. Kierretangoissa olevilla muttereilla latat asennettiin korkoonsa ja näiden päälle asennettiin kiskot. Kiskot asennettiin oikeille paikoille oikeaan linjaa käyttämällä apuna linjalaseria. Kiskot kiinnitettiin hitsaamalla. Kiskojen valuun menevä betonimassan määrä oli 5 m^3 . Työt tehtiin kolmen rakennusmiehen voimin. Valu kesti kaksi tuntia. Kiskojen asennuksessa oli tarkkaa, että betonimassa menee joka paikkaan kiskojen alle. Tämä varmistettiin huolellisella tiivistyksellä saavatärytintä käyttämällä. Jälkihoito toteutettiin kastelemalla ja jälkihoito aineen ruiskutuksella.

Betonin saavutettua riittävän lujuutensa, muotit voitiin purkaa, puhdistaa ja pinota siisteihin pinoihin, jotta ne voitiin tulla noutamaan pois työmaalta. Kaikki lukot ja tangot tuli kasata niille tarkoitettuihin kuljetuskoreihin. Muottitavarat ovat vuokratavaraa, joten oli tärkeää että ne puhdistettiin hyvin, jotta välttyttäisiin mahdollisilta lisä-

kustannuksilta. Lisäksi kaikki osat täytyi kerätä talteen, koska puuttuvista osista las-
kutettiin. Muottilukoista jääneet reiät paikattiin suunnitelmissa ohjeistetulla paik-
kausmassalla, jotta altaan vedenpitävyys säilyisi.

5.4 Onteloiden asennus ja injektointi

Vesialtaalle tehtiin vesipainekoe (ks. kuvio 10), jolla varmistettiin altaan veden pitä-
vyys ja jolla löydettiin altaan seinissä olevat halkeamat. Vesialtaan ulkoseinistä löyty-
neet halkeamat injektointiin paineilma injektointilaitetta käyttämällä. Injektointi ta-
pahtui niin, että halkeamiin porattiin säännöllisin välein injektointitulppia. Tulppiin
pumpattiin injektointiainetta niin paljon, että se alkoi pursuamaan ulos halkeamasta
(ks. kuvio 11). Kun kaikki halkeamat oli injektoitu ja seinät oli tarkastettu, voitiin vesi
laskea pois altaasta ja aloittaa raidealustan tekeminen ja onteloiden asennus bunkke-
rin sisäpuolelle.



Kuvio 10 Vesipainekoe



Kuvio 11 Halkeamien injektointi

Ontelolaattoja asennettiin kaksi kerrosta päällekkäin niin, että ensimmäinen kerroksen ontelot asennettiin suunnitelmassa merkityin välein ja toisen kerroksen ontelot asennettiin ihan vierekkäin. Näin saatiin kestävä ja toimiva kansi vesialtaalle. Ontelot nostettiin paikoilleen ajoneuvonosturia käyttäen. Ontelolaatat valettiin kiinni onteloiden jokaisesta päästä. Tällä tavalla varmistettiin, että ne eivät pääse liikkumaan ja laatasta tulee yhtenäinen. Onteloiden päät täytyi muotittaa ja onteloissa olevat reiät tukkia, ettei massa pääsisi kulkeutumaan väärin paikkoihin. Lopuksi muotit purettiin ja vesialtaan pohja siivottiin mahdollisista betonin roiskeista.

5.5 Raidealusta

Tehomuuntaja vaatii erillisen kuljetusalustan, koska se on satoja tuhansia kiloja painava sähkökomponentti. Tehomuuntajan siirto bunkkerin sisäpuolelle tapahtuu raitteita pitkin. Muuntajan paino jakautuu neljälle raidepyörälle. Raidealusta on massiivinen betonointikohde, koska sen tehtävä on siirtää kaikki kiskoilta tuleva paino pohjalaatan kautta maaperään.

Raidealustan teko aloitettiin siinä vaiheessa, kun vesialtaan seinät oli saatu injektoidua ja seinät oli todettu vedenpitäviksi. Alustan tekeminen aloitettiin maatoista. Raidealustan pohja piti tasata oikeaan korkoonsa, jotta sisäpuolella olevat jo valmiit raiteet saatiin sopimaan yhteen ulkopuolisen raidealustan kanssa. Raidealustan pohjalle asennettiin 100 mm XPS-eristettä. Eristeen asennus tehtiin sen jälkeen, kun pohja oli saatu tasoitettua oikeaan korkoonsa. Eristeen päälle merkittiin raidealustan nurkka-pisteet, joiden merkitseminen tapahtui geoteknikon avustuksella. Raidealustan ääri-viivat merkittiin eristeen päälle. Kun ääri viivat oli saatu merkittyä, voitiin raidealustan raudoitustöiden suunnittelu aloittaa.

Raudoitus aloitettiin työterästen asennuksella. Työterästen päälle asennettiin raudoituksen pohjaverkko. Pohjaverkon teräkset tuli sitoa tiukasti kiinni, koska se toimii pohjana muulle raudoitukselle ja sen päällä jouduttiin työskentelemään, joten teräkset eivät saisi päästä liikkumaan. Pohjaverkon päälle asennettiin reunaraudoitteet, joita kutsutaan ”raudoituspusseiksi” (ks. kuvio 12). Raiteiden keskelle tulevat ”raudoituspussit” asennettiin, kun reunat oli raudoitettu valmiiksi. Raudat kiinnitettiin toisiinsa sidontalangalla kiinnittämällä ja hitsaamalla. Osa teräksistä kasattiin valmiiksi raudoituspöydällä ja nostettiin sitten kuorma-auton nostimella paikoilleen ja sidottiin kiinni. Väliverkko asennettiin ”raudoituspussien” ollessa paikoillaan, koska se sidottiin kiinni raudoituspusseihin kiinnitettyihin vaakateräksiin.



Kuvio 12 pohjaverkko ja reunapussit

Raidealustan betonimuotit olivat vanerista ja puutavarasta itsevalmistettuja muotteja. Muotit puhdistettiin ja öljyttiin ennen asennustöitä. Muotit nostettiin paikoilleen kuorma-auton nosturia käyttäen. Muotit kiinnitettiin toisiinsa ruuveilla. Muotien pysyminen paikoillaan varmistettiin hitsaamalla pultit rautoihin, pulteille porattiin reikä muottiin josta ne kiinnitettiin aluslevyllä ja mutterilla (ks. kuvio 13). Pultit kiinnitettiin aina samaan teräkseen. Näin ollen muotien täytyessä massalla, pultit tiukkenivat, eivätkä muotit päässeet liikkumaan. Raidealustan raudoituksen ollessa valmis, raudoitus tarkistettiin ja tarkastuksessa ilmenneet viat ja puutteet korjattiin, jonka jälkeen saatiin lupa betonointitöille.



Kuvio 13 Muottien kiinnitys pulteilla teräksiin

Betonointityöt tehtiin kolmen rakennusmiehen voimin ja lisäksi paikalla oli työnjohtaja ja 1-luokan betonitöiden johtaja. Tässäkin tapauksessa betonityöt toteutettiin kahdessa vaiheessa, koska kiskot asennettiin jälkikäteen. Raidealustan ensimmäisen valun massa määrä oli 52m^3 . Tässä valussa täytyi kiinnittää huomiota tiivistämiseen ja siihen, että kiskojen alle tulevan massan korkeus olisi sama, jotta kiskojen asennuksessa ei tulisi ongelmia. Valun jälkeen näkyviin jäävät raudat puhdistettiin, jotta niiden tartunta ei kärsisi seuraavassa valussa. Lisäksi betonin pintaa täytyi jäähdyttää kastelemalla, jottei sitomislämpötila nousisi liian korkeaksi.

Kiskojen asennuksessa käytettiin samaa asennustapaa, kuin bunkkerin sisäpuolisten kiskojen asennuksessa. Kiskot siis asennettiin lattojen päälle, jotka asennettiin oikeaan korkoonsa edellisessä valussa kiinni olevien kierretankojen mutterien avulla. Kiskojen sivuun asennettiin valun ajaksi pelti, jonka avulla kiskojen ympärille jäi juuri oikean verran tilaa (ks. kuvio 14). Pellin avulla kiskojen ympärille tuli tasainen ja siisti valupinta. Pintavaluun tilattu betonimassa määrä oli 23m^3 . Betonointitöissä erityistä huomiota tuli kiinnittää betonin täryttämiseen. Etenkin kiskojen läheisyydessä täryttäminen oli tärkeää, jotta kiskojen alaosat täytyisivät betonilla. Betonointiin liittyvät työvaiheet olivat massan levitys pumpulla, betonin tasaus korkoonsa linjaria käyttäen, betonin tärytys ja betonin hierto hierrinkoneella. Betonin hierto voitiin

tehdä, kun valupinnan oli annettu kuivua sen verran, että se kesti hierrinkoneen ja koneen käyttäjän painon. Raidealustan pintaa piti kastella valun jälkeen, ettei betoni lämpötila nousisi liian korkeaksi ja ettei pintaan tulisi halkeamia. Lopuksi pintaan ruiskutettiin jälkihoitoaine, joka varmisti betonipinnalle parhaan mahdollisen lopputuloksen.



Kuvio 14 Kiskojen reunapeltien asennusta

Muotit purettiin, kun betoni oli saavuttanut riittävän lujuutensa. Muotit piti kuljettaa pois bunkkerin läheisyydestä heti purkamisen jälkeen, koska bunkkerin ympäristöä aloitettiin täyttämään murskeella. Täytöt aloitettiin välittömästi, jotta päästiin mahdollisimman nopeasti aloittamaan bunkkerin seinien teko. Bunkkerin ympäristö ja raidealustan ympäristö siivottiin kaikesta tavarasta ja roskist., Näin ollen murskekerosten alle ei jäänyt mitään sinne kuulumatonta. Ympäristön täyttötöiden jälkeen voitiin aloittaa bunkkerin seinien rakennustyöt.

5.6 Bunkkerin seinät

Tehomuuntajan suojabunkkerin suojaseinät olivat vaativa betonointikohde, johtuen niiden korkeudesta ja seiniin tulevasta suuresta rautamäärästä. Seinien toteutuksessa olikin tärkeää kiinnittää erityistä huomiota raudoitustöihin, jotta suunnitelmassa vaaditut toleranssit saatiin toteutettua. Raudoituksen järjestyksen suunnittelu olikin yksi tärkeimmistä työvaiheista, jotta työt saatiin toteutettua halutussa aikataulussa. Rakennustyöt aloitettiin piirustuksia lukemalla ja tarkistamalla, että kaikki tilatut teräkset löytyivät työmaalta.

Bunkkerin seinät muotitettiin PERI:n valmistamilla suurmuoteilla (ks. liite 1). Bunkkerin ympärille vesialtaan yläpintaan ropattiin kiinni lankku, jonka varaan suurmuotit asennettiin. Seinät valettiin kahdessa osassa, joten muotit asennettiin vain puolelle seinäpinta-alasta niin, että takaseinän keskikohtaan tuli valusauma. Muotit koottiin maassa tehdyllä alueella. Muotteja koottiin päällekkäin neljä kappaletta, tällöin yksi muottijono voitiin nostaa kokonaisena paikoilleen. Muottien kasauksessa täytyi kiinnittää erityistä huomiota lukkojen kiinnitykseen, jotta noston aikana ei aiheutuisi vaaratilanteita. Muotit nostettiin paikoilleen autonosturia käyttäen. Muotit tuettiin vinotuilla kiinnittämällä toinen pää ontelolaattoihin ja toinen pää muotissa olevaan kiinnikekohtaan (ks. kuvio 15). Vinotuissa oli säädin, jolla muotit saatiin asennettua suoraan. Kun muotit oli asennettu ja suoristettu, voitiin raudoitus aloittaa.



Kuvio 15 Sisäpuolen muotit asennettuna

Rauditus tehtiin kahdelta saksilavanostimelta käsin (ks. kuvio 16), joten bunkkerin ulkopuolinen ympäristö oli oltava tasattu. Tasainen nostoalusta takasi sen, ettei nostotöissä tule vaaratilanteita. Seinäraudoitteen nurkat tehtiin raudoituspöydällä valmiiksi, ja nostettiin kokonaisuutena ajoneuvonosturia käyttäen paikoilleen. Rauditus aloitettiin asentamalla työteräkset bunkkerin sisäpuolen muottiin. Työteräkset kiinnitettiin muottiväliskeisiin sidontalangalla sitomalla. Välikkeet kiinnitettiin naulamalla ne kiinni sisäpuolen muottiin. Työrautoihin merkittiin varsinaisen raudoitteen jakoväli; näin raudat oli helppo ja nopea asentaa oikeille paikoilleen. Suurin osa raudoista kiinnitettiin sidontalangalla, mutta osa liitoksista myös hitsattiin. Hitsauksella varmistettiin raudoitteen kestävyys. Seinän ulkopinnan rauditusverkko tehtiin samalla tavalla kuin sisäpuolen verkko. Ulkopuolen raudoitteen työteräksille täytyi asentaa kiinnityspukit, jotta terästen etäisyys saatiin oikeanlaiseksi. Sivuseinässä ja takaseinässä käytettiin samoja rauditusmenetelmiä.



Kuvio 16 Seinän raudoitus nostureilta

Takaseinälle tulevat aukot täytyi muotittaa. Muotit olivat itse valmistettuja, vanerista ja puutavarasta tehtyjä muotteja. Lisäksi takaseinän liikuntasamaan tehtiin vanerista muotti, josta sauman tartuntaraudat työnnettiin läpi. Raudoitus tarkastettiin huolellisesti; kaikki raudat täytyi sitoa kunnolla kiinni ja raudoitusvälikkeitä kiinnitettävä riittävästi. Sidonta ja välikkeiden riittävä lukumäärä oli tärkeää, jotta raudat pysyisivät valun aikana riittävän kaukana muotista. Kun valvoja oli tarkastanut raudoituksen ja hyväksynyt sen, voitiin aloittaa muottien tuplaus.

Muottien kokoaminen tehtiin samalla tavalla kokoamalla ne maassa valmiiksi niin kuin sisäpuolen muotitkin. Muotit nostettiin muottijonoissa nosturia käyttäen paikoilleen ja kiinnitettiin sisäpuolen muottiin. Ulkopuolen muotit kiinnitettiin sisäpuolen muotteihin tangoilla, jotka kiinnitettiin molemmista pinnoista muottilukoilla. Kun kaikki muotit oli saatu nostettua paikoilleen, niin kaikki lukot ja kiinnikkeet oli tarkastettava. Muottien päälle asennettiin telineet, joilta seinän valu voitiin tehdä. Oli myös tärkeää, että telineet tarkistettiin, jotta työskentely olisi turvallista.

Valutyöt tehtiin viiden rakennusmiehen voimin. Lisäksi paikalla oli työnjohtaja ja 1-luokan betonityönjohtaja. Betonin pumppauksessa käytettiin erillistä pumppua, johon betoniautot purkivat kuormansa (ks. kuvio 17). Seinään tilattu betonimassan määrä oli 70 m³. Valutyöt kestivät yhteensä kahdeksan ja puoli tuntia. Betonin tiivistys oli seinän valussa tärkein työvaihe, koska terästä oli paljon ja niiden välit pienet. Huolellisella tiivistyksellä varmistettiin, että betonimassa pääsee joka paikkaan muotissa. Seinässä täytyi myös kiinnittää huomiota valun nousunopeuteen, valunopeus oli määrätty betonointisuunnitelmassa. Liian nopea betonointi aiheuttaisi liikaa painetta muottien alapintaan ja tämä voisi irroittaa muotit. Tiivistys tehtiin neljän työmiehen voimin. Tiivistys tehtiin sauvatäryttimellä sekä muottitäryttimellä. Yksi työmies keskittyi massan levitykseen pumpulla yhdessä betonipumpparin kanssa. Jälkihoitotoimenpiteenä seinän pintaan ruiskutettiin jälkihoitoaine.



Kuvio 17 Seinävalu käynnissä

Bunkkerin seinien toinen puoli tehtiin samalla tavalla (ks. kuvio 18), kuin ensimmäisenkin puoli. Työt etenivät hieman nopeammin kuin ensimmäisessä puolessa, koska

sisäpuolen muotit voitiin siirtää suoraan toiselle puolelle. Rauditus-, muottien tuplaus- ja valutyöt tehtiin samalla tavalla, kuin aikaisemmassa seinävalussa. Valun jälkeen muotit purettiin mahdollisimman nopeasti, koska vuokrahinta muoteissa oli suuri. Muotit pinottiin bunkkerin viereiselle sorakentälle, josta ne oli helppo vuokrausyrityksen noutaa.



Kuvio 18 Muotit siirretty toiselle puolelle.

5.7 Viimeistely

Seinävalussa betonipintaan syntyi koloja, johtuen siitä, että betonimassa oli jossain betoniautokuormissa liian jäykkään. Vaikka betonia tiivistettiin täryttimillä, se ei valunut joka paikkaan. Seinässä olleet reiät paikattiin korjaussuunnitelman mukaisesti, sekä samalla paikattiin muottilukkojen läpätangoista aiheutuneet reiät. Kaikki betonipinnat viimeisteltiin paikkaamalla ja pinnoista hiottiin kulmahiomakoneella epätasaiset pinnat tasaisiksi.

Betonointitöiden jälkeen bunkkeriin jäi enää viimeistelyitä, joita olivat esimerkiksi: tarkastusluukkujen asennus ontelolaattoihin, bunkkerin menevän teräksisen oven maalaus, bunkkerin seinissä olevien aukkojen suojaritilöiden asennus ja seinäelementtien asennus (ks. kuvio 19), kun tehomuuntaja oli saatu ajettua bunkkerin sisälle (ks. kuvio 18).



Kuvio 18 Tehomuuntaja asennettu bunkkerin sisälle



Kuvio 19 Suojaseinäelementtien asennus

6 BETONILUOKAT

6.1 Yleistä

Betonirakenteet voidaan jakaa kolmeen rakenneluokkaan, joita nimitetään 1-, 2- ja 3-luokiksi. Näistä yleisimpiä ovat 1- ja 2-luokan rakenteet. 3-luokan rakenteet ovat harvinaisempia. Rakenteiden väliset erot muodostuvat niiden suunnittelu- ja työnsuoritusohjeista. Rakenteiden suunnittelijalla ja työnjohtajalla on oltava käytettävän rakenneluokan mukaiset pätevyydet. Rakenneluokka ilmoitetaan lujusluokan jälkeen tulevalla merkinnällä, esimerkiksi 1-luokan rakenne K50-1. (B4 Suomen rakentamismääräyskokoelma ympäristöministeriö Betonirakenteet ohjeet 2001. 2001, 5.)

6.2 1-luokka

1-luokan rakenneluokkaa käytetään kun betonirakenteelta vaaditaan parempaa kestävyyttä säätä ja rasituksia vastaan. 1-luokan rakenneluokkaa käytetään, kun rakenne on yli 8-kerroksinen, rakenteen kantavuus mitoitetaan betonin lujuudelle yli K40, rakenne on esivalmistettu ja jänneväli on yli 25 m tai rakenne on jännitetty. (FISE.2015.)

1-luokan rakenneluokassa suunnittelumateriaalien osavarmuusluvut ovat pienemmät, kuin 2-luokan rakenneluokassa. Osavarmuuslukujen ollessa pienemmät, rakenteen laskennallinen lujuuskestävyys pienenee ja rakenteeseen tarvitaan enemmän betoniteräksiä verrattuna 2-luokan rakenteeseen (ks. taulukko 2). Lisäksi 1-luokan betoniterästen betonipeite on pienempi kuin 2-luokan rakenteissa. Betonipeitteen paksuus määräytyy betonilujuuden, säärasisituksen ja pääteräksen mukaan. Koska 1-luokan rakenteissa betoninlujuus on kovempaa, niin minimi peitepaksuus voi olla pienempi.

6.3 2-luokka

2-luokan rakenteet ovat tavanomaisia rakenteita suomalaisessa rakentamisessa. Rakenne voidaan toteuttaa 2-luokan rakenteena silloin, kun siltä ei vaadita suurta lujuuden kestävyyttä ja rakenteen käyttöikä ei ylitä 50 vuotta. 2-luokan rakenteiden kantavuutta ei saa mitoitaa yli K40:n. 2-luokan osavarmuusluvut ovat suuremmat kuin 1-luokan rakenteilla (ks. taulukko 2).

6.3 3-luokka

Opinnäytetyössäni ei käsitellä 3-luokan rakenteita, koska nykypäivän rakentamisessa lähes kaikki rakenteet ovat vähintään 2-luokkaa. 3-luokan rakenteet ovat

vaatimuksiltaan kaikista alhaisin rakenneluokka.

6.4 Luokkiin tulevat muutokset

Eurokoodeilla suunnittelu on tuonut muutoksia myös betonirakenteiden suunnitteluun. 1900-luvun puolivälissä tulleet rakenneluokat perustuivat alkujaansa betonin valmistusprosessin vaativuuteen. Niihin liittyivät myös suunnittelu, valmistuksen vaativuus, rakenteen merkitys, valvonta ja osavarmuusluvut. Eurokoodeissa ja eurooppalaisissa standardeissa ei ole käytössä samanlaisia luokituksia. (Ilveskoski, O. 2012.) Eurokoodeissa osavarmuusluvut määräytyvät siitä, että mihin seuraamusluokkaan rakenne kuuluu. Seuraamusluokat ovat CC1, CC2 ja CC3. Rakenteen merkitys, eli mahdollisen vaurion seuraamukset, osoitetaan seuraamusluokilla, jotka otetaan huomioon muuttamalla kuormien osavarmuuslukuja. Suurten seuraamusten luokassa CC3 on osavarmuusluku 10 % suurempi ja vähäisten seuraamusten luokassa CC1 10 % pienempi, kuin keskimmaisessä luokassa CC2. Suunnitelmat voidaan edelleen tehdä vanhalla B-sarjalla, jolloin ei käytetä seuraamusluokkia. (Ilveskoski, O. 2012, 40.)

Toteutusluokat 1, 2 ja 3 vastaavat suomalaisia rakenneluokkia. Betonirakenteiden toteutusstandardi SFS-EN 13670 sisältää kolme toteutusluokkaa siten, että tarkastustaso kasvaa luokasta 1 luokkaan 3. Järjestys on siis päinvastainen kuin poistuvissa suomalaisissa rakenneluokissa. Toteutusluokka 1 on lähimpänä rakenneluokkaa 3. Toteutusluokkaa 1 saadaan käyttää vain seuraamusluokan CC1 rakenteille ja mitoituksessa saadaan käyttää korkeintaan betonin lujuutta C20/25. Toteutusluokka 2 on lähimpänä poistuvaa rakenneluokkaa 2. Sitä voidaan käyttää seuraamusluokkien 1 ja 2 rakenteille, mutta ei korkealujuusbetonille. Tämä tarkoittaa, että lujuuden yläraja kasvaa luokasta K40 luokkaan C50/60. Toteutusluokka 3 valitaan seuraamusluokan CC3 rakenteille ja korkealujuusbetonille. Lisäksi sitä käytetään, jos töiden toteutuksen katsotaan vaativan erityistä pätevyyttä. Lisäksi, jos rakenteellisen toiminnan varmistaminen vaatii erityistä huolellisuutta, käytetään luokkaa 3. (Ilveskoski, O. 2012, 40.)

Seuraamusluokka vaikuttaa kuormien osavarmuuslukuihin. Tämä tarkoittaa, että murtumistodennäköisyyttä säädellään tarkoituksenmukaisesti seuraamusluokan mukaan. Eurokoodeilla mitoittaessa voidaan betonille käyttää osavarmuuslukua 1,5 ja raudoitukselle 1,15. Lukuja voidaan käyttää kaikissa toteutusluokissa. Poistuvaa rakenneluokkaa 1 vastaavat pienennetyt osavarmuusluvut ovat 1,35 betonille ja 1,1 raudoitukselle. Näitä lukuja käytetään toteutusluokassa 3, kun määritellään toteutusstandardin SFSEN 13670 toleranssiluokka 2. Pienennettyjä osavarmuuslukuja voidaan käyttää betonivalmisosille, kunhan valitaan vastaava tiukennettu toleranssiluokka. (Ilveskoski, O. 2012, 41.)

Osavarmuusluvut ovat siis vastaavat kuin suomalaisissa betonirakenteiden suunnitteluhjeissa. Toleranssiluokka määrää sen, käytetäänkö normaaleja vai pienennettyjä lukuja. Yleensä 1-luokan rakenteissa, eli nykyisessä toteutusluokka 3, käytetään pienennettyjä osavarmuuslukuja.

2.4.2.4 Materiaaliosavarmuusluvut

(1) Murtorajatilojen yhteydessä käytetään materiaaliosavarmuuslukuja γ_c ja γ_s .

Taulukko 2.1N: Murtorajatilojen materiaaliosavarmuusluvut

1-luokan rakenteet

Mitoitustilanteet	betonin γ_c	betoniteräksen γ_s	jänneteräksen γ_s
Normaalisti vallitseva ja tilapäinen	1,35	1,1	1,1
Onnettomuus	1,2	1,0	1,0

2-luokan rakenteet

Mitoitustilanteet	betonin γ_c	betoniteräksen γ_s	jänneteräksen γ_s
Normaalisti vallitseva ja tilapäinen	1,5	1,15	1,15
Onnettomuus	1,2	1,0	1,0

Taulukko 2 Materiaalin osavarmuusluvut (by 60 2009, 17)

7 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä SR-Talotekniikka Oy:lle mahdollisimman kattava ja selkeä dokumentointi suojabunkkerin rakennustöistä. Lisäksi kun kyseinen kohde toteutettiin 1-luokan betonirakenteena, haluttiin selvittää, mitä tämä käytännön ja suunnittelun tasolla tarkoittaa. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, miten eurooppalaiseen suunnittelu standardeihin ja eurokoodeihin siirtyminen vaikuttaa suomalaisten betonirakenteiden suunnitteluun.

Onnistuin mielestäni toteuttamaan johdonmukaisen dokumentoinnin suojabunkkerin töiden etenemisestä. Dokumentista selvisi hyvin, miten eri työvaiheet toteutettiin ja missä järjestyksessä eri rakenneosat tehtiin. Toimeksiantajani voi mielestäni hyvin käyttää dokumenttia työohjeena vastaavia betonirakenteita tehdessä. Se antaa hyvän käsityksen siitä, miten mikäkin työvaihe toteutettiin. Lisäksi dokumentista selviää kuinka paljon tarvittiin työntekijöitä ja työkoneita mihinkin työvaiheeseen. Opinnäytetyössä selvitettiin, mitä suunnitelmia ja erityistoimenpiteitä täytyi tehdä, kun kyseessä oleva kohde tehtiin 1-luokan betonirakenteena. 1-luokan betonirakenteen toteuttaminen on paljon vaativampi prosessi, kuin tavanomaisen betonirakenteen toteutus. Tästä johtuen suunnitteluun ja töiden toteutukseen oli kiinnitettävä huomiota ja varattava tarpeeksi aikaa.

Opinnäytetyössä selvitettiin miten 1-luokan betonirakenteen toteuttaminen eroaa tavanomaisesta 2-luokan betonirakenteesta. Suurimmat erot olivat suunnittelun ja työnjohtamisen puolella, mutta myös työn toteutuksessa oli eroavaisuuksia. 1-luokan rakenteet edellyttävät työntekijöiltä erityistä huolellisuutta ja ammattitaitoista työskentelyä. Suunnittelijoilta vaadittiin työkokemusta 2-luokan betonirakenteiden suunnittelusta vähintään neljä vuotta ja lisäksi heillä täytyi olla näyttöä osallistumisesta vaativampien betonirakenteiden suunnitteluun. Suunnittelijoilta vaaditaan AA-luokan pätevyys. Työnjohtajajilla täytyi olla kokemusta työnjohtotehtävistä. Lisäksi työnjohtajilta edellytettiin riittävän monipuolista ja tehtävään soveltuvaa kokemusta betoni-

rakenteiden valmistuksesta vähintään kaksi vuotta. Suunnittelijoiden sekä työnjohtajien pätevyyden totetaan FISE. FISE:n pätevyyttä täytyy hakea erikseen ja se myönnetään seitsemäksi vuodeksi kerrallaan.

Betonirakenteiden suunnittelussa eurokoodeihin siirtyminen on aiheuttanut muutoksia betonirakenteiden suunnitteluun. Opinnäytetyössäni olen selvittänyt miten vanhat suomalaiset suunnitteluohjeet ja uudet eurooppalaiset ohjeet vastaavat toisiaan. Betonirakenteiden suunnittelussa ei olla vielä täysin siirrytty käyttämään eurokoodeja, koska vielä saadaan suunnitella suomalaisilla betonirakenteiden suunnitteluohjeilla. Eurokoodeilla suunnittelemiseen siirtyminen ei ole selkeä asia, koska suomalaiset rakenneluokat ja eurooppalaiset toteutusluokat eivät ihan suoraan vastaa toisiaan. Ne ovat kyllä todella lähellä toisiaan, mutta eroavaisuuksia löytyy. Opinnäytetyössäni ei kuitenkaan ollut tarkoitus keskittyä betonirakenteiden suunnittelupuolen tutkimiseen, koska pääasiallinen tarkoitus oli tutkia betonirakenteiden toteutusta. Mutta mielestäni oli kuitenkin tärkeää kertoa suunnitteluun tulleista muutoksista, koska ne vaikuttavat myös rakenteiden toteutukseen.

Onnistuin mielestäni pitämään opinnäytetyöni rajauksen sisäpuolella ja keskityin pääsääntöisesti betonirakenteen toteutukseen. Opinnäytetyöstä olisi tietenkin voinut tehdä laajemman ja avata enemmän suunnittelupuoleen liittyä seikkoja, mutta se ei ollut tämän opinnäytetyön tarkoitus.

LÄHTEET

Ahonen, M. 2014. Voimajohtoasian tuntija. Fingrid Oy. Sähköposti haastattelu 5.12.2014.

B4 Suomen rakentamismääräys kokoelma ympäristöministeriö betonirakenteet ohjeet. 2005. Ympäristöministeriö

B4 Suomen rakentamismääräys kokoelma ympäristöministeriö betonirakenteet ohjeet. 2001. Ympäristöministeriö

by 60. 2009. suunnitteluohje EC 2 osat 1-1 ja 1-2. neljäs painos. suomen betoniyhdisty ry

by 201. 2004. Betonitekniikan oppikirja. Viides painos. Suomen Betoniyhdistys. Jyväskylä. Gummerus

AA-vaatimusluokan betonirakenteiden suunnittelijan pätevyysvaatimukset. 2014. FISE Oy, verkkosivut

1-Luokan betonirakenteiden työnjohtajan pätevyysvaatimukset. 2014. FISE Oy, verkkosivut.

Ilveskoski, O. 2012. Johdatus betonirakenteiden suunnitteluun eurokoodin SFS-EN 1992-1-1 ja 2 mukaan. Julkaisu. Hämeen ammattikorkeakoulu.

Ratu 1201-S. 2002 Runkorakenteet. Paikalla rakennettavat Helsinki: Rakennusteollisuus RT ry.

LIITTEET

Liite 1 Seinissä käytetty suurmuotti

TRIO-kasettimuotit



Nopeaa seinämuottityötä pienellä määrällä erilaisia osia

Työmaan korkeat työkustannukset vaativat yhä helpompia ja nopeampia muottijärjestelmiä. Poikkeuksetta, mitä vähemmän osia tarvitsee käsitellä sitä nopeampaa muottityö on. TRIO-seinämuotteja kehitettäessä PERIn suunnittelijat pitivät muottityöhön käytettävän ajan vähentämistä yhtenä tärkeimpänä tekijänä.

Näin ollen kehitettiin monipuolinen muottijärjestelmä mahdollisimman pienellä määrällä erilaisia osia. Mitä vähemmän yksittäisiä osia käytetään sitä nopeampaa muottityö on.

TRIO on monipuolinen kasettimuottijärjestelmä kaikenlaisiin projekteihin. Se sopii niin pienille kuin suurillekin työmaille.

TRIO	Monipuolinen kasettimuottijärjestelmä
TRIO-L Alu	Kevyt alumiininen muotti täydentämään PERI TRIO:n teräsmuotteja
TRIO 330	Kasettimuottijärjestelmä teolliseen rakentamiseen
TRIO Housing	Nopein TRIO-versio

liite 2. Vesialtaan seinissä käytetty muottityyppi

DOMINO Kasettimuottijärjestelmä



Kevyt ja käsin siirrettävä järjestelmä seiniin ja anturoihin

PERI DOMINO on kevyt kasettimuottijärjestelmä, jossa muotit ovat tehty teräksestä ja alumiinista. Muotit soveltuvat hyvin pientaloprojekteihin sekä suuriin teollisuuden kohteisiin.



DOMINO muotit ovat helppokäyttöisiä perustusten muottamisessa. Erityisesti 1.25 m korkeat muotit, joissa on lisäreiät sidontaa varten, ovat käyttökelpoisia perustuksissa. DOMINO DLS reikävanne voi korvata alemman sidepultin ja DOMINO DAH yläsidetuki mahdollistaa muotin yläpuolisen sidonnan portaattomasti.



Sallittu betonipaine:

2.50 m valukorkeuteen asti järjestelmä on suunniteltu täyttämään hydrostaattisen paineen vaatimukset DIN 18202, Taulukko 3, Viiva 7 (teräsmuotit) mukaan. Korkeampiin valuihin, 60 kN/m² betonipaine on sallittu DIN 18202, Taulukko 3, Viiva 6 (teräsmuotit) mukaan.

Edut

- **Vähän muottikokoja**

PERI DOMINO -järjestelmässä on vain 4 muottileveyttä. 1.00 m, 0.75 m, 0.50 m ja 0.25 m soveltuvat kaikenlaisiin pohjapinta-aloihin. 0.75 m leveä muotti on saatavana myös monikäyttömuottina, jossa on sidepultin reikiä 5 cm jaolla.

- **DRS-kiinnike**

DRS-kiinnike - vain yksi liitososa kaikkiin liitoksiin

- **Nopeat ja helpot perustusten muottityöt**

Sidepultin reikien sopivat sijainnit sekä muutama lisäosa mahdollistavat perustusten nopean ja yksinkertaisen laudoituksen.

- **Helppo puhdistaa**

Pulverimaalattun rungon ansiosta, muotit on helppo puhdistaa.