



TEKNIikka JA LIIKENNE

Rakennustekniikka

Tuotantotekniikka

**PAIKALLA VALETTUJEN BETONILAATTARAKENTEIDEN JÄNNITYSTÖIDEN
LAADUNVARMISTUS TYÖMAALLA**

**Työn tekijä: Oona Paukkonen
Työn ohjaaja: Hannu Hakkarainen
Työn ohjaaja: Juha Halonen**

Työ hyväksytty: __. __. 2010

**Hannu Hakkarainen
Yliopettaja**



ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö tehtiin Lemminkäinen Talo Oy Pääkaupunkiseudulle. Haluan kiittää Lemminkäinen Talo Oy Pääkaupunkiseudun Erikoisrakentamisen johtajaa Juha Halosta ja Lemminkäinen Talo Oy:n Jännitysyksikön johtajaa Reino Hännistä. Haluan kiittää myös kouluni, Helsingin Metropolian yliopettaja Hannu Hakkarasta opinnäytetyöni valvomisesta

Helsingissä 22.4.2010

Oona
Paukkonen

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Oona Paukkonen	
Työn nimi: Paikallavalettujen betonilaattarakenteiden jännitystöiden laadunvarmistus työmaalla	
Päivämäärä: 22.4.2010	Sivumäärä: 37 s. + 6 liitettä
Koulutusohjelma: Rakennustekniikka	Ammatillinen suuntautuminen: Tuotanto
Työn ohjaaja: yliopettaja Hannu Hakkarainen	
Työn ohjaaja: Juha Halonen, Lemminkäinen Talo Oy Pääkaupunkiseutu, Erikoisrakentamisen johtaja	
<p>Tämä insinöörityö tehtiin Lemminkäinen Talo Oy Pääkaupunkiseudun erikoisrakentamisen yksikölle. Työssä selvitettiin rakennustyömaan paikallavalettavien laattarakenteiden jälki-jännitystöiden laatuun liittyviä asioita. Jännitysmenetelmistä tarkasteltiin MK4-tartunnattoman jännemenetelmän asennusta pilari-laatta- tai pilari-palkki-laattarakenteeseen. Näitä rakenteita käytetään esimerkiksi parkkihalleissa ja toimistorakennuksissa. Sillat rajattiin pois tästä työstä.</p> <p>Tässä insinöörityössä käytettiin hyväksi alan kirjallisuutta ja haastateltiin alan ammattilaisia. Työssä käytiin läpi jännitysmenetelmä MK4-tartunnattomat jänteet sekä Suomen Betoniyhdistys ry:n betoninormien mukaisia sääntöjä jännitystyölle ja mitä käytännössä rakennustyömaalla on huomioitava jännitystöissä.</p> <p>Insinöörityön tarkoituksena oli kiinnittää huomio jännitystöiden toteutuksen laadunvarmistamiseen rakennustyömaalla. Tulokseksi saatiin A4-kokoinen muistilista rakennustyömaan työjohtoa varten jännitystöiden aloituspalaveriin. Muistilistasta haluttiin tehdä mahdollisimman yksinkertainen ja sellainen että sen käyttö ei vaatisi työjohtolta lisäselvityksiä. Listassa luetellaan huomioitavat asiat lyhyesti ja ne ruksataan läpikäydyksi. Kaikki muistilistan aiheet on tarkemmin selvitetty itse insinöörityössä.</p>	
Avainsanat: jännittäminen, jälkijännitys, paikallavalettu, jännitystunkki	

ABSTRACT

Name: Oona Paukkonen	
Title: The quality assurance of the stressing works of the plaque structures that are moulded at the construction site.	
Date: 22 April 2010	Number of pages: 37 pages + 6 annexes
Department: Construction Engineering	Study Programme: Production
Instructor: Senior Lecturer Hannu Hakkarainen	
Supervisor: Juha Halonen, Lemminkäinen Talo Oy Pääkaupunkiseutu corporation, The Manager Of The Special Construction	
<p>This thesis was made for Helsinki metropolitan area department of Lemminkäinen corporation, Lemminkäinen Talo Oy Pääkaupunkiseutu. The aim of this thesis was to clarify the quality assurance of post stressing works in a cast-in-place plaque structures. The stressing method MK4 for non contagion wires was examined in a pillar- plaque and in a pillar-beam- plaque structures. These structures are used for example in parking halls and office buildings.</p> <p>The litterature on this field and the interviews of professionals of this field were used in this study. The stressing method MK4 for non contagion wires was introduced. The norms that the finnish registered association for concrete, Suomen Betoniyhdistys ry have sett for stressing works and the matters that should be noticed in practice in the stressing works at the construction site were also introduced.</p> <p>The purpose of this thesis was to pay attention to the quality of the stressingworks at the construction site. As a result, a size A4 note list was made for the supervision of the work in the beginning palaver of the stressing works at the construction site. The purpose was to make the note list as simple as possible, so that when it is been used, it would not require extra writing from the supervisor. The matters in the list are itemized shortly and after being dealt with they can be marked over. All the subjects of the note list are introduced more precisely in the thesis.</p>	
Keywords: stressing, post stressing, to mould at the construction site, stressing jack	

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	1
2	BETONILAATTARAKENTEEN VAHVISTUS JÄLKIJÄNNITTÄMÄLLÄ	1
2.1	Jälkijännittäminen	1
2.2	Tartunnallinen, jälki-injektoitava jänne MK4	3
2.3	Tartunnaton jänne MK4	3
2.4	Jännitystyökalusto	7
3	JÄNNITTÄMISEN KANNALTA TYÖMAAN MUISSA TÖISSÄ HUOMIOITAVIA ASIOITA	10
3.1	Rakennesuunnitelmien tarkastus	10
3.1.1	<i>Rakenneteräksen etäisyyksistä ja sallituista mittapoikkeamista</i>	10
3.1.2	<i>Jänneteräksen etäisyyksistä ja sallituista mittapoikkeamista (MK4)</i>	12
3.1.3	<i>Varaukset</i>	13
3.2	Muottisuunnitelma ja muotin laudoitus	14
3.3	Jänneasennuksen, raudoituksen, varauksien, sähkö- ja viemäriputkien asennuksen työjärjestys holvilla ja palkeissa	18
3.4	Betonointi	21
4	JÄNTEIDEN KATKAISU	22
4.1	Katkaisu ja paikkaus	22
4.2	Tulityö	22
4.3	Polttoleikkaus	23
4.4	Hitsausleikkaus	23
5	JÄNNITYSTÖIDEN ALOITUSPALAVERISSA HUOMIOITAVIA ASIOITA	24
5.1	Kohteen jännitystyösuunnitelma ja jänneraudoituskuvat	24
5.2	Aikataulu	26
5.3	Jännekaluston tilan tarve työmaalla	26
6	JÄNNITYSTYÖN KESTON AIKAINEN LAADUNVARMISTUS	27
6.1	1–rakenneluokan betonitöiden työjohto	27
6.2	Jännitystyön suorituksen laadunvalvonta	27

6.3	Betonin lujuuden kehitykselle sopivien olosuhteiden varmistaminen	28
6.3.1	<i>Kesä</i>	28
6.3.2	<i>Talvi</i>	29
6.4	Valetun betonin lujuuden kehityksen seuranta	31
6.5	Jännityspöytäkirja ja jännitystyökalusto	33
7	TYÖN PÄÄTTÄMINEN / TILAAJALLE LUOVUTETTAVA LAADUNVARMISTUSMATERIAALI JA MUUT LUOVUTUSASIAKIRJAT	33
8	YHTEENVETO	35
	VIITELUETTELO	36

1 JOHDANTO

Tässä insinööriyössä tutkitaan paikallavalettujen betonilaattarakenteiden jännitystöiden laadun varmistusta rakennustyömaalla. Insinööriyössä rajataan aiheesta pois sillat. Jännitetyjä laattarakenteita käytetään usein parkkihalleissa ja joskus myös toimistorakennuksissa. Rakenne voi olla pilari-laatta-rakenne tai pilari-palkki-laatta-rakenne. Jännitysmenetelmistä keskitytään vain tartunnattomiin MK4-jäniteisiin.

Jännitystyön laadun varmentamiseksi tulee käytettävästä jännemenetelmästä olla Suomen betoniyhdistys r.y:n hyväksymä käyttöseloste. Myös käytettävästä jänneteräksestä on oltava Suomen betoniyhdistyksen hyväksymä käyttöseloste. Jänneteräksen tulee täyttää Suomen standardisoimisliiton määrittelemä standardi jänneteräksen kestävydestä.[10,16,1.] Jännitetyjä betonirakenteita voi suunnitella siihen pätevyyden omaava suunnittelija [10]. Tästä eteenpäin työn laadunvalvonta tapahtuu työmaalla. Tähän työmaalla tapahtuvaan laadunvalvontaan kiinnitetään huomio tässä insinööriyössä. Erilaisista jännemenetelmistä tässä työssä tarkastellaan vain tartunnatonta, MK4-jännemenetelmää. Siitä huolimatta samanlainen työmaalla tapahtuva laadunvalvonta pätee muihinkin tartunnattomiin jännemenetelmiin.

Tietolähteinä tässä insinööriyössä on ollut alan kirjallisuus ja alan ammattilaisten haastattelut. Tässä insinööriyössä on myös käytetty esimerkkejä Lemminkäinen Talo Oy Pääkaupunkiseudun erikoisrakentamisyksikön rakentamista, vuonna 2009 valmistuneista pysäköintilaitoksista, Tilkan Parkista, joka on Tilkan sairaalan yhteydessä ja Viuhkan Parkista, joka on toimistotalo Tilkan Viuhkan yhteydessä.

2 BETONILAATTARAKENTEEN VAHVISTUS JÄLKIJÄNNITTÄMÄLLÄ

2.1 Jälkijännittäminen

Betonilaattarakennetta voidaan vahvistaa jännittämällä. Jälkijännityksessä betonilaattarakenteen sisälle tai ulkopuolelle asennettuja teräsjäniteitä vedetään hydraulisen tunkin avulla. Jälkijännityksestä puhutaan sen takia, että jännitys tapahtuu valun jälkeen. Tämä erotuksena esijännityksestä, jossa vaijerit on jo ennen betonin kovettumista jännitetty tiettyyn venymään. Esimerkiksi ontelolaatat ovat valmistusvaiheessa elementtitehtaissa esijännitetyjä. Ontelolaatoissa jännitetty vaijeri ottaa tartunnan koko matkaltaan betonista. Esijännitetty jännevaijerit ovat aina suoria sen takia, että ne jännitetään ennen betonin kovettumista [2]. Ontelolaattatehtaissa on pitkiin muottipöytiin valmiiksi asennettu jäniteitä haluttuun jännevoimaan [2]. Ontelolaatat valetaan liukuvaluna ja jännevoima vapautetaan mel-

ko pian ontelolaatan valamisen jälkeen. Pitkästä valusta leikataan halutun mittaisia ontelolaattoja [2]. Suora esijännitys aiheuttaa ontelolaatan taipumisen keskikohdastaan ylöspäin. Elementtitehtaissa voidaan valmistaa myös esim. esijännitettyjä palkkeja.

Jänneteräksen tulee olla Suomen Standardisoimisliiton standardin (SFS-EN ISO 15630-3) mukaista [1] [6]. Jänneteräs on ns. korkealujuusterästä. Sitä pystytään jännittämään 1200-2000 MPa, kun normaalia rakenneterästä vain noin 120 MPa jännitykseen asti. Jännitetyn betonirakenteen jännityshäviöt ovat noin 100-240 MPa, joten tavallisessa rakenneteräkessä ei enää tämän jälkeen olisi esijännitystä tarpeeksi. [2,s.8]. Jännityshäviöitä syntyy välittömästi jälkijännityksessä mm. betonin kimmainen kokoonpuristumisen seurauksena, jos jänteitä jännitetään peräkkäin. Jännityshäviötä aiheuttaa myös teräksen muodonmuutos, relaksaatio. Relaksaatiolla tarkoitetaan jänneteräksen jännityksen vähenemistä venymän pysyessä samana. Relaksaatiota osa tapahtuu heti jännitystyön aikana ja osa pitkän ajan kuluessa [2, 17].

Betonin kuivumisesta johtuva kutistuminen sekä ajan kuluessa tapahtuva viruminen aiheuttavat myös jännityshäviöitä. Viruminen on betonin kokoonpuristumista voiman pysyessä vakiona. Betonin sitoutumaton vesi virtaa paineen alaisena ulos sementtigeelihuokosista ja sementtigeeli tiivistyy. Suurin osa virumasta tapahtuu betonin ollessa nuorta. Kahden ensimmäisen viikon aikana kehittyy n. 25 % lopullisesta virumasta, kolmen kuukauden jälkeen n. 55 % ja vuoden jälkeen n. 7 % lopullisesta virumasta on syntynyt. Lopullinen viruma saavutetaan noin 70 vuoden kuluttua kuormituksen alkamisesta [2, s.16].

Jänneteräksestä tehdyistä jännepunoksista muodostetaan jänne. On olemassa erilaisia jännemenetelmiä, joissa käytetään omanlaisia jänteitä. Yksi jännemenetelmä muodostaa siis yhden käytettävän kokonaisuuden. Yksi jänne voi sisältää yhden tai useampia jännepunoksia, riippuen käytetystä jännemenetelmästä [8]. Jälkijännityksessä jännevaijerit voivat olla joko suojaputkiin injektoitavia, betonista tartunnan ottavia jänteitä tai muovisessa suojakuoressa ja suojarasvassa olevia tartunnattomia jänteitä. Jänneet voidaan asentaa myös rakenteen ulkopuolelle. Rakenteen ulkopuolista jännitysmenetelmää käytetään joskus esim. silloissa.

Jännittämällä voidaan toteuttaa pitkiä ja hoikkia rakenteita. Rakenne on tiivis jännityksen ansiosta, eikä siihen synny halkeamia samalla tavalla kuin ei-jännitettyyn rakenteeseen. Tiivis rakenne suojaa hyvin harjateräksiä, jolloin rakenteen käyttöikä pitenee. Pitkän käyttöajan etuja ovat vähäinen huollon ja korjausten tarve sekä edulliset käyttökustannukset. Jännitetty rakenne on kestävä pitkäaikaisia kuormia vastaan ja sillä on pienemmät lyhyt- ja pitkäaikaistaipumat kuin tavallisella teräsbetonirakenteella.[12.]

2.2 Tartunnallinen, jälki-injektoitava jänne MK4

Tartunnallinen MK4-jänne asennetaan ennen betonivalua teräksiseen kierreputkeen tai korkealujuuksiseen muoviputkeen. Valun jälkeen betonin tulee saavuttaa vähimmäislujuus K28 (=28 MPa =28 MN/m²) ennen kuin jännitys voidaan aloittaa. Yhdessä suojaputkessa on monta jänneteräspunosta, kun tartunnattomassa on vain yksi jänneteräs yhdessä jännteessä. Jännityksen jälkeen suojaputket injektoidaan täyteen laastia (vähimmäislujuus K20)[5]. Jänne ottaa siis tartunnan koko matkaltaan betonissa.

Jälki-injektoitavat, tartunnalliset jänneet pystyvät vastaanottamaan suurempia dynaamisia kuormia kuin tartunnattomat. Niitä käytetäänkin usein silloissa. Palkin poikkileikkaukseen mahtuu jälki-injektoitavalla jännemenetelmällä enemmän jänneteräksiä kuin, jos käytetään tartunnattomia jänneitä. Tartunnattomien jänneiden ankkurit vievät palkin poikkileikkauksessa tilaa, siksi ankkureita mahtuu poikkileikkaukseen vain rajoitettu määrä. Jälki-injektoitavat jänneet ovat työläämpiä ja pitkäkestoisempia asentaa kuin tartunnattomat jänneet. Tartunnattomissa jänneissä ei ole injektointivaihetta eikä erillistä jänneterästen asennusta suojaputkiin. Tartunnattomien jänneiden kalusto on myös pienempää ja kevyempää kuin tartunnallisten jänneiden. Usein suositaan tartunnattomien jänneiden käyttöä, mutta tapauskohtaisesti, esim. jos rakenteelle tulee suuria kuormia, käytetään tartunnallisia, jälki-injektoitavia jänneitä. Rakenteen kuormituksen mukaan voidaan käyttää enemmän tai vähemmän tartunnattomia jänneitä, mutta jossain vaiheessa ankkurit eivät enää mahdu rakenteen poikkileikkaukseen, esim. palkin päähän [2]. Siksi raskaammin kuormitetuissa rakenteissa päädytään käyttämään tartunnallisia jänneitä [2].

2.3 Tartunnaton jänne MK4

Lemminkäinen Talo Oy:n Jännitysüksiköllä on tartunnattomista jännitysmenetelmistä käytössä MK4 tartunnattomat jänneet-jännemenetelmä. Jännemenetelmällä ja siinä käytetyllä jänneteräksellä on omat Suomen betoniyhdistyksen, By:n hyväksymät käyttöselosteet. Käyttöseloste tulee uusina kolmen vuoden välein, ellei sitä ennen ilmene jotain syytä perua käyttöseloste [4][20]. Jänneteräksen käyttöselosteessa jänneteräs tulee olla SFS:n standardin vaatimusten mukaista. Jänneteräksen käyttöselosteesta käy ilmi teräksen valmistaja ja standardit, joiden mukaan teräs on valmistettu. Siinä kerrotaan teräksen valmistusmenetelmä. Käyttöselosteessa ilmoitetaan jänneteräksen kimmomoduuli, sitkeys- ja lujuusominaisuudet eli venymät ja murtokuormat. Jänneteräs voi olla myös sertifioitu, eli terästehtaan oman laadunvalvonnan testaama ja siitä sertifikaatin saanut. Jos sertifikaatti vastaa SFS:n standardia, hyväksytään se joko jatkuvasti tai eräkohtaisesti SFS:n leimalla. Jos kelpoisuuksia ei ole, täytyy kelpoisuus todeta kokeissa Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa. [10, s.159.].

MK4-jännemenetelmän käyttöselosteessa selvitetään jännemenetelmän haltija ja jännemenetelmän ominaisuudet ja käyttöön liittyvät asiat [4].

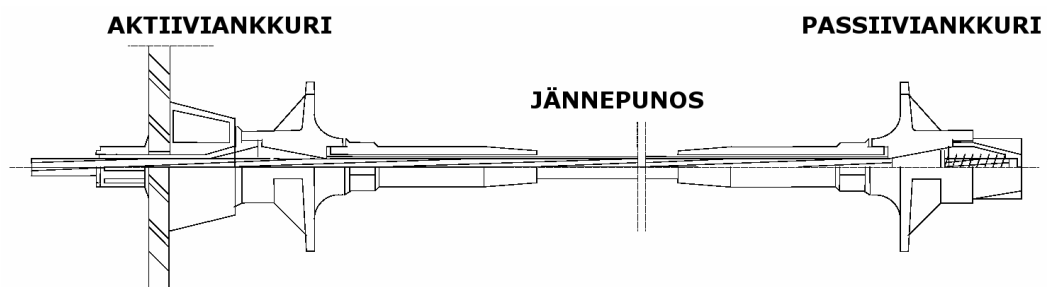
Jänneteräksestä muodostetaan jännepunos. MK4-jännemenetelmän jännepunos koostuu jänneteräslangoista; yhdestä keskuslangasta ja kuudesta ulommasta langasta. Jännepunos päällystetään suojaamaan tarkoitettulla suojamuovilla. Teräksen ja muovin välinen tyhjä tila on täytetty plastisena säilyvällä suojarasvalla [4,1]. Suojarasvan on säilyttävä plastisena kaikissa olosuhteissa, koska silloin ei pääse syntymään tyhjää tilaa kuoren ja teräksen väliin. Jännepunos ei itsessään saa tartuntaa betonista, tästä nimitys ”tartunnon jänne”.

Jännepunos toimitetaan keloina, joissa on noin yli 2000 metriä jännepunosta. Jokainen kela on erikseen numeroitu tunnuslappuun, josta voidaan myöhemmin selvittää, mistä tehtaasta valmistuserästä kela on, punostyyppi, nimellishalkaisija, relaksaatioluokka, punoksen pituus ja massa, BY-merkki ja valmistajan tunnus [20]. Kelojen toimituksen mukana tulee myös tehtaasta laadunvalvonnan testitulokset. Toimitetuista jännepunoskeloista on tarkistettava, että käytettävän teräksen nimellisarvot vastaavat suunnitelmassa edellytettäviä arvoja [4]. Tarkistus on tehtävä, koska jännepunosten nimellisarvot voivat poiketa suunnitelluista arvoista, riippuen valmistajasta ja valmistusstandardista [4, 8]. Taulukossa 1 on esitetty yleisesti käytettyjen jänneterästen testiarvoja.

Taulukko 1. Jänneteräksinä käytetään yleisesti taulukossa esitettyjä 0,6” punoksia [4].

Punos	punos 0,6"	punos 0,6"
Valmistus	keskuslanka ja 6 ulkopuolista lankaa	
Lujuusluokka	1550/1770	1640/1860
Nousu	12-16D	12-16D
Halkaisija,mm	15,7	15,7
Pinta-ala, mm ²	150	150
Pituusmassa ilman suojakuorta, kg/m	1,18	1,18
Murtokuorma Fu, kN	265,5	279
Hetkellinen jännevoima, kN	212,5	223
Jännevoima jännittämisen jälkeen, kN	186	195,5
Relaksaatio 1000h, 20C°,kuormalla 70% Fu	2,5%	2,5%
Kimmomoduuli E, N/mm ²	195000	195000

Kelalla olevasta jännepunoksesta muodostetaan jänne katkaisemalla punos haluttuun pituuteen ja liittämällä sen toiseen päähän passiiviankkuri ja toiseen päähän aktiiviankkuri. Tämä työ voidaan tehdä joko työpajalla tai suurehkoilla työmailla suoraan paikan päällä. Jännittäminen tapahtuu aktiiviankkurin päästä. Jänne jännitetään haluttuun jännitykseen hydraulisella tunkilla [3]. Jännevoima siirtyy rakenteeseen ankkurien levymäisten valuteräskappaleiden kautta [3]. MK4-tartunnattoman jännemenetelmän osat toimittaa MAKANO4 S.A. Espanjasta ja toimittajalla on ISO 9001 -sertifikaatti [1]. Menetelmään kuuluvat aktiivi- ja passiivi-ankkurit, aktiiviankkuriin liitettävät muotit, jännityksen lukitsevat kiilat ja suojakorkit katkaistulle jännteelle.



Kuva 1. MK4-tartunnaton jänne. Vasemmalla aktiiviankkuri. Oikealla passiiviankkuri.

Passiiviankkuri asennetaan muottiin niin että se jää kokonaan betonivalun sisään ja aktiiviankkurin pää asennetaan ulos laatan tai työsauman reunalta, tai palkin päästä. Ankkurilevyssä on keskiöreikä, josta jänneteräs viedään läpi ja lukitaan paikalleen ankkurin muovisten varausmuottien avulla. Aktiiviankkurin muoviset varausmuottiosat jättävät betonirakenteen reunaan syvennyksen jännitystunkkia varten. Jos rakenteessa on esim. työsauma, voidaan saumaan suunnitella käytettäväksi väliankkuria. Väliankkurina voidaan käyttää tavallista aktiiviankkuria tai ns. holkkiankkuria. Väliankkuri jää rakenteen sisään.



Kuva 2. MK4-aktiiviankkuri muottiosineen.



Kuva 3. Aktiiviankkurin oikeanpuoleiset muoviosat ovat varausmuottina tunkin kärjelle

Jänneet asennetaan muottiin tukien varaan. Tuet voivat olla teräksestä taivutettuja ja niiden ”jalat” käsitelty muovilla, jotta teräksen korroosionsuoja säilyy. Suurin sallittu tukiväli on 1200 mm [4]. Jänne asennetaan aaltoilevasti rakennussuunnitelmien mukaan. Jänneiden aaltomaisen asennuksen korot on määritelty rakennuspiirustuksissa. Kaarevasta jännevoimasta aiheutuu momentti, joka aiheuttaa taipumaa vastakkaiseen suuntaan kuin rakenteeseen normaalisti syntyvä taipuma.



Kuva 4. Yksi versio jänneen korkotuesta.



Kuva 5. MK4-jänneen lukituskiila.

Jänneankkureihin lasketaan tarvittava raudoitus ottamaan vastaan jännitetyn jänneen ankurin aiheuttamaan halkaisuvoimaa. Raudoitus ei ole vakio, vaan sen määrä lasketaan tapauskohtaisesti kyseisen rakenteen mittojen ja halkaisuvoiman perusteella [4].

Betonirakenteen valun jälkeen betonin on betoninormien mukaan saavutettava MK4-tartunnattoman jännemenetelmän kohdalla vähimmäislujuus K25 (C20/25) (=25 Mpa =25 MN/m²), jotta terästen jännitys voidaan aloittaa. Betonin suunniteltu lopullinen lujuus tulee olla jännitetyissä rakenteissa vähintään K30 (C25/30) [10].

Valun jälkeen reunamuotti (=toppari) ja aktiiviankkurin varausmuotit voidaan purkaa kun betoni on tarpeeksi kovettunut kestääkseen purkamisen (esim. valusta seuraavana päivänä). Reunamuotit ja jänneen varausmuotit lähtevät irti parhaiten betonin ollessa tuoretta, toisaalta reunamuotilla on talviaikaan lämpöä eristävä vaikutus.

Rakennesuunnittelija on laatinut jännitystyösuunnitelman, josta käy ilmi betonin vaadittu lujuus jännittämishetkellä. Vaadittu lujuus on voi olla myös enemmän kuin jännemenetelmän vaadittu minimilujuus, K25. Jännittämisajankohdan tullessa, aktiiviankkuriin, jännepunoksen ulostulon kohdalle asetetaan lukituskiila [kuva 5.] ja jänne vedetään hydraulisella tunkilla haluttuun vetovoimaan. Nestepumpun avulla pumpataan hydraulista öljyä kumiletkia pitkin tunkkiin, jossa paine muuttuu voimaksi. Jännittämisvoima mitataan tunkin

nestepumpun manometrillä baareina. Rakennesuunnittelija on kirjannut jännitystyösuunnitelmaan myös jänteiden jännittämiseen käytettävän voiman suuruuden. Rakennesuunnittelija määrittelee käytettävät voimat niin että teräksen jännitys on normien mukainen heti jännitystyön jälkeen. Sallittu jännitys perustuu teräksen myötörajaan. Teräs alkaa antamaan myöten kun vetojännitys on tarpeeksi suuri. Mk-4-tartunnattomassa jännemenetelmässä teräksen jännitys saa olla heti jännitystyön päätyttyä enintään $\sigma_{po}=0,7f_{puk}$ ja jännitys saa hetkellisesti nousta $\sigma_{po}= 0,8f_{puk}$ [16,s.8]. Rakennesuunnittelijan laskemaa voimaa vastaavat paineen arvot (bar) lasketaan ja niitä arvoja käytetään nestepumpussa.

Jänneteräksen venymä mitataan rakenteesta ulostulevasta teräksen pituudesta. Mittaus voidaan tehdä tunkin sylinterissä olevasta asteikosta, tai mittaamalla teräksen pituus ennen ja jälkeen jännityksen [4]. Mitatut lukemat kirjataan ylös jännityspöytäkirjaa varten, johon merkitään jokaisen jänteen venymät.

Kiila lukitaan tunkin kärjen avulla. Kun tunkki on lukinnut kiilan, tapahtuu jänteen passiiviankkurissa, ankkurin ja jännepunoksen liitoskohdassa ankkurointiliukumaa. MK4-tartunnattomassa jännemenetelmässä liitoskohta antaa periksi noin 5 mm verran. Kun tähän lisätään myös puristimen kiinteään männän kokoon puristumisesta aiheutuva muodonmuutos sekä vetokarana toimivan palautusmännän venymästä aiheutuva muodonmuutos, joka on 200 kN voimalla 0,4 mm, saadaan ankkurointiliukumaksi noin 6 mm [16]. Kun tunkki irrotetaan paikoiltaan kiilan lukituksen jälkeen, antaa kiila periksi noin 5 mm verran. Tätä kutsutaan lukitusliukumaksi ja sen suunta on siis vastakkainen ankkurointiliukumaan nähden. MK4-tartunnattoman jännemenetelmän kohdalla suunnittelijat ovat yleensä päätyneet siihen, että ankkurointiliukuma ja lukitusliukuma kumoavat toisensa [8]. Lukituskiilan kunnollinen kiinnittyminen on tarkistettava jänteen jännityksen jälkeen.

Kun jännitystyö on valmis, jännitystyönjohto rakennesuunnittelijan luvalla hyväksyy sen ja antaa luvan katkaista rakenteen reunasta ulostulevat jännitettyt teräsjänteet. Katkaisu tehdään polttoleikkaamalla tai sähkökatkaisupuikolla.[3.] Tämän jälkeen lukituskiilan ja katkaistun jänteen suojaksi asennetaan suojarasvaa täynnä oleva kierteinen korkki. Rakenteen reunaan jäävä syvennys puhdistetaan ja paikataan siihen sopivalla massalla.

2.4 Jännitystyökalusto

Jännitystyökalustoon kuuluu nestepumppu, tunkki ja pumpusta tunkkiin kiinnitettävät hydrauliletkut.

Nestepumppu toimii sähköllä ja sen maksimipaine on 700 bar [9]. Pumppu pumppaa hydraulioilijä säiliöstään yhtä hydrauliletkua myöten tunkin syliteriin ja toista letkua pitkin ta-

kaisin pumpun säiliöön. Pumppuja on erilaisia. Jännitystyössä helppokäyttöisin pumppu on mahdollisimman helposti liikuteltava pumppu. Pumppua siirretään jännittäessä sitä mukaa jänteeltä seuraavalle, jotta pumpun letkut riittävät tunkkiin. Pumpun on hyvä olla mahdollisimman pienikokoinen ja kevyt. Pumpun tulee silti olla riittävä öljymäärältään, paineiltaan ja tehokkuudeltaan. Kuvan 7. pumppu toimii valovirralla, mikä tarkoittaa työmaalla pienimmän ja tavallisimman 2,5 mm² jatkojohtokoon käyttämistä. Sylinterin tehollinen pinta-ala kerrottuna letkua myöten pumpatun öljyn paineella antaa jännityksessä käytettävän voiman suuruuden. Paineen määrä luetaan pumpun mittarista, manometristä. Käytettävän tunkin sylinterin tehollinen pinta-ala on tiedettävä tarkasti. Painemittarin tulee olla kalibroitu ja letkujen tulee olla moitteettomassa kunnossa. Myös letkujen liittimen/liitoskohtien tulee olla moitteettomat ja tiiviit. Rakennesuunnittelija on antanut jänteiden jännitykseen käytettävän voiman ja tästä lasketaan nestepumpussa käytettävä paine. Paine on voima jaettuna tunkin sylinterin tehollisella pinta-alalla ($p = F/A$).



Kuva 6. Nestepumppu.

MK4-tartunnattomien jänneiden jännitykseen on Lemminkäinen Talo Oy:n Jännitysyksikössä käytössä pääasiallisesti kahdenlaiset tunkit; putkitunkki ja kaksoissylinteritunkki. Näiden lisäksi on erilaisia pienempikokoisia tunkkeja, jotka mahtuvat jännittämään, jos tilaa on rajoitetusti. Yleisimmin käytetty malli kaksoissylinteritunkista on 700 mm pitkä ja männät ääri-asennossa ulkona, yhteensä 950mm pitkä. Yleisimmin käytetty malli putkitunkista on 900mm pitkä ja mäntä ääri-asennossa ulkona, yhteensä 1105 mm pitkä. Kaksoissylinteritunkki ja putkitunkki painavat mallista riippuen noin 34,5 kg. Tunkkien maksimi-voimat ovat 250-300 kN [9]. Jännitystyössä ei käytetä maksimivoimia. Suurin sallittu hetkellinen jännevoima MK4-jännemenetelmässä on 212,5 – 223 kN ja suurin sallittu jännevoima jännittämisen jälkeen on 186 -195,5 kN [taulukko 1.] [16,s.29]. Esimerkiksi Lemminkäinen Talo Oy Pääkaupunkiseudun 2008-2009 rakentamassa Tilkan Parkissa jännitysvoimana oli tartunnattomilla MK4-jännteillä 187 kN [kuva 15].



Kuva 7. Kaksoissylinteritunkki ja putkitunkki.

Putkitunkki ja kaksoissylinteritunkki vetävät teräspunosta yhdellä jännityskerralla maksimissaan noin 260 mm. Näillä tunkeilla saadaan vedettyä yhdellä kertaa maksimissaan noin 40 metriä pitkän jänne. Jänneterästä vedetään jännitettäessä noin 6-7 mm yhtä metriä kohden, joten $40 \text{ m} \times 0,0065 \text{ m} = 0,26 \text{ m} = 260 \text{ mm}$ [8]. Pienemmät tunkit eivät ole yhtä tehokkaita ja niitä käytettäessä vetäminen täytyy tehdä useaan otteeseen, jotta päästäisiin samaan tulokseen. Pienikokoisia tunkkeja käytetäänkin yleensä vain silloin, kun normaali-

kokoinen tunkki ei mahtuisi. Tällaisia tilanteita voi tulla jos rakenteen jännitettävä reuna on kovin lähellä esim. peruskalliota tai toista betonirakennetta.

Kaksoissylinteritunkin kärkiosa on halkaistu, joten sen voi asentaa suoraan jänteeseen jänteen yläpuolelta. Jänneterästä tulee olla rakenteen ulkopuolella min. 500 mm pituisesti. Putkitunkki pitää asentaa pujottamalla sen kärki jänteen päästä jänteen ympärille ja jännettä tulee olla näkyvissä min. 300 mm pituisesti [4].

Työmaalla on kaluston osalta tarkkailtava, että pumppu toimii ja pumppaa tarvittavat paineet ja, että pumpun letkut ovat ehjät. Pumpun hydraulikkaöljyt tulee vaihtaa huolto-ohjeiden mukaisesti. Tunkin kärki on kuluva osa ja se vaihdetaan jos siihen on tarvetta.

3 JÄNNITTÄMISEN KANNALTA TYÖMAAN MUISSA TÖISSÄ HUOMIOITAVIA ASIOITA

3.1 Rakennesuunnitelmien tarkastus

Jänneraudoituksesta ja muusta raudoituksesta on omat erilliset kuvansa. Jänneraudoituskuvien tulee sopia yhteen rakenteen muiden raudoituskuvien ja varauskuvien kanssa. Eri kuvien keskinäinen yhteensopivuus on hyvä tarkistaa mahdollisimman ajoissa. Rakennesuunnitelmien tarkastuksessa tehdään yhteistyötä 1-luokan rakennesuunnittelijoiden kanssa. Vain rakennesuunnittelijat voivat muuttaa rakennepiirustuksia.

Pilari-palkki-laatta-rakenteen palkkien päihin tulee mahtua rakenneraudat sekä jännitysteräksset ankkureineen ja ankkureiden raudoituksineen. Tämä voi tuottaa joskus ongelmia. Jänneteräksien ja niiden ankkureiden sekä raudoituksen mahduttamisessa palkkeihin on otettava huomioon terästen minimietäisyydet toisistaan ja rakenteen ulkopinnasta.

3.1.1 Rakenneteräksen etäisyyksistä ja sallituista mittapoikkeamista

Minimietäisyys rakenteen pääteräksillä keskenään on vähintään 20 mm tai käytetyn teräksen halkaisija tai suurin betonissa käytetty raekoko + 3 mm (euronormeissa +5 mm) [F1,7]. Teräsnipuille minimietäisyys lasketaan samoin, mutta käyttäen niiden yhteenlaskettua keskimääräistä halkaisijaa [F1,7]. Käytännössä harjateräksen halkaisija ei ole joka kohdastaan sitä mitä on ilmoitettu, (esim. 8 mm, 10 mm, 12 mm, 16 mm, 20 mm, 25 mm, 32 mm), vaan millimetrimäärä on keskimäärin terästangon halkaisija. Vaihtelua halkaisijaan aiheuttaa terästangon noin 1-3 mm harjakset. Suuremmissa terästangoissa (20-32 mm) voi harjaksen korkeus olla paikoitellen jopa 3 mm Tämä on otettava huomioon kun tarkastellaan, mahtuuko teräsmäärä etäisyyksineen todellisuudessa palkin päähän [8].

Teräksen ja rakenteen ulkoreunaan on myös jätävä betoninormien määrittelemä minimisuoja betonikerros. Taulukko 2:ssa on Suomen kansallisen liitteen mukaiset terästä suojaavat betonipeitteen vaaditut paksuudet, joilla varmistetaan riittävä käyttöikä [11]. Tähän lisätään vielä sallittu mittapoikkeama, 10 mm [11]. Eli betonin ollessa esimerkiksi xc4, xd1, 100v, c35/45, 1-rakenneluokka, on rakenneteräksen ja rakenteen ulkopinnan välillä oltava betonikerrosta 30 mm + 5 mm -5 mm -5 mm + (sall. poikkeama)10 mm =35 mm. Rasitusluokalla xd1 on suuremmat suoja betonikerroksen vaatimukset, joten taulukkoa luetaan xd1:n kohdalta. Taulukon mukaan jänneteräksellä tulee olla suoja betonia rakenteen pintaan vähintään 45 mm.

Taulukko 2. Rakenteen riittävän käyttöiän varmistamiseksi, suoja betonikerroksen raudoitustangon ja rakenteen pinnan välillä tulee olla vähintään seuraavan taulukon mukainen + sallittu mittapoikkeama 10 mm [Suomen kansallisen liitteen mukaan].

	rasitusluokka							
kriteeri	x0	xc1	xc2, xc3	xc4	xd1	xs1	xd2	xd3,xs2,3
Betoniteräs	10	10	20	25	30	30	35	40
Jänneteräs	10	20	30	35	40	40	45	50
100-v. käyttöikä	0	0	5	5	5	5	5	5
lujuusluokka \geq	c20/25	c30/37	c35/45	c35/45	c35/45	c40/50	c35/45	c45/55
	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
RakMK B4 1-rak. Luok.	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5

Rakenneteräksen sovittamisessa esim. palkin päähän on huomioitava sen sijainnin sallitut poikkeamat. 1-luokan rakenteessa by 50:n mukaan rakenteen poikkileikkauksen ollessa tarkastellussa suunnassa tehollisen korkeuden (d) kanssa suurempi kuin 200 mm \leq 500mm, on pääraudoituksen sijainnin sallittu mittapoikkeama 10 mm. Tarkastellun poikkileikkauksen ollessa d:n kanssa suurempi kuin 500 mm ... \leq 2000 mm, on raudoituksen sijainnin sallittu mittapoikkeama 20 mm.[10]. 1-luokan rakenteen valmistajalla on laadunvarmistus siitä, että rakenteen mittapoikkeamat raudoituksessa ja poikkileikkauksessa vastaavat näitä By:n määrittelemiä sallittuja mittapoikkeamia.

Taulukko 2. Rakenteen poikkileikkauksen mittojen ja pääraudoituksen sijainnin sallitut mittapoikkeamat 1-luokan rakenteessa [By50, taulukko 4.16].

rakenneluokka	a,d \leq 200	200 < a,d \leq 500	500 < a,d \leq 2000	a,d < 2000
1	$\Delta=5\text{mm}$	$\Delta=10\text{mm}$	$\Delta=20\text{mm}$	$\Delta=30\text{mm}$

a= poikkileikkauksen mitta tarkasteltavassa suunnassa, mm
d= poikkileikkauksen tehollinen korkeus, mm

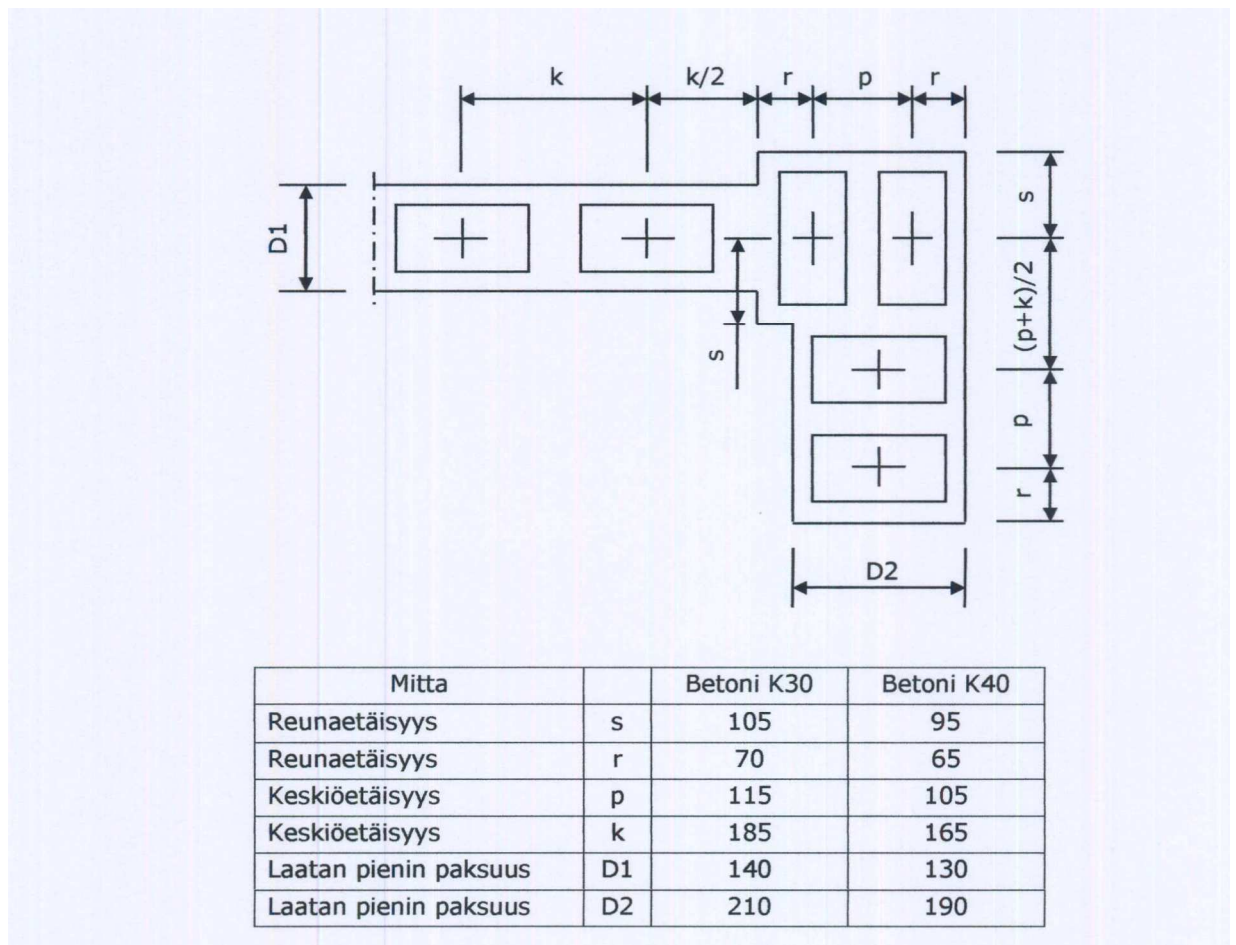
Δ = sallittu mittapoikkeama

3.1.2 Jänneteräksen etäisyyksistä ja sallituista mittapoikkeamista (MK4)

Jänneiden sovittamisessa esim. palkin päähän on huomioitava normien mukaiset jänneen sallitut sijainnin poikkeamat. Jänneiden sijainnin sallittu mittapoikkeama on laatan ollessa < 200 mm pystysuunnassa $h/40$ mm. Laatan ollessa ≥ 200 mm on pystysuunnan sallittu mittapoikkeama 5 mm. Vaakasuunnassa sallittu mittapoikkeama on 20 mm [16.]

Tartunnattomien jänneiden tai jännekimpun vapaan välin tulee olla ainakin 50mm. Jännekimpussa voi olla enintään 3 kpl, halkaisijaltaan max. 16mm teräksiä (MK4: käytetty jänneteräs halkaisijaltaan 15,7mm) [16]. Jännekimpun jänneiden tulee olla vierekkäin, jokainen jänne erikseen tukeen sidottuna [16]. Ankkurien asennusmitat tulevat esiin kuvassa 9. Kuva on MK4-jännemenetelmän käyttöselosteesta.

Jänne voidaan myös suunnitella asennettavaksi kaarevana. Jänneen pienin sallittu kaarevuussäde on 2,5 metriä [4].

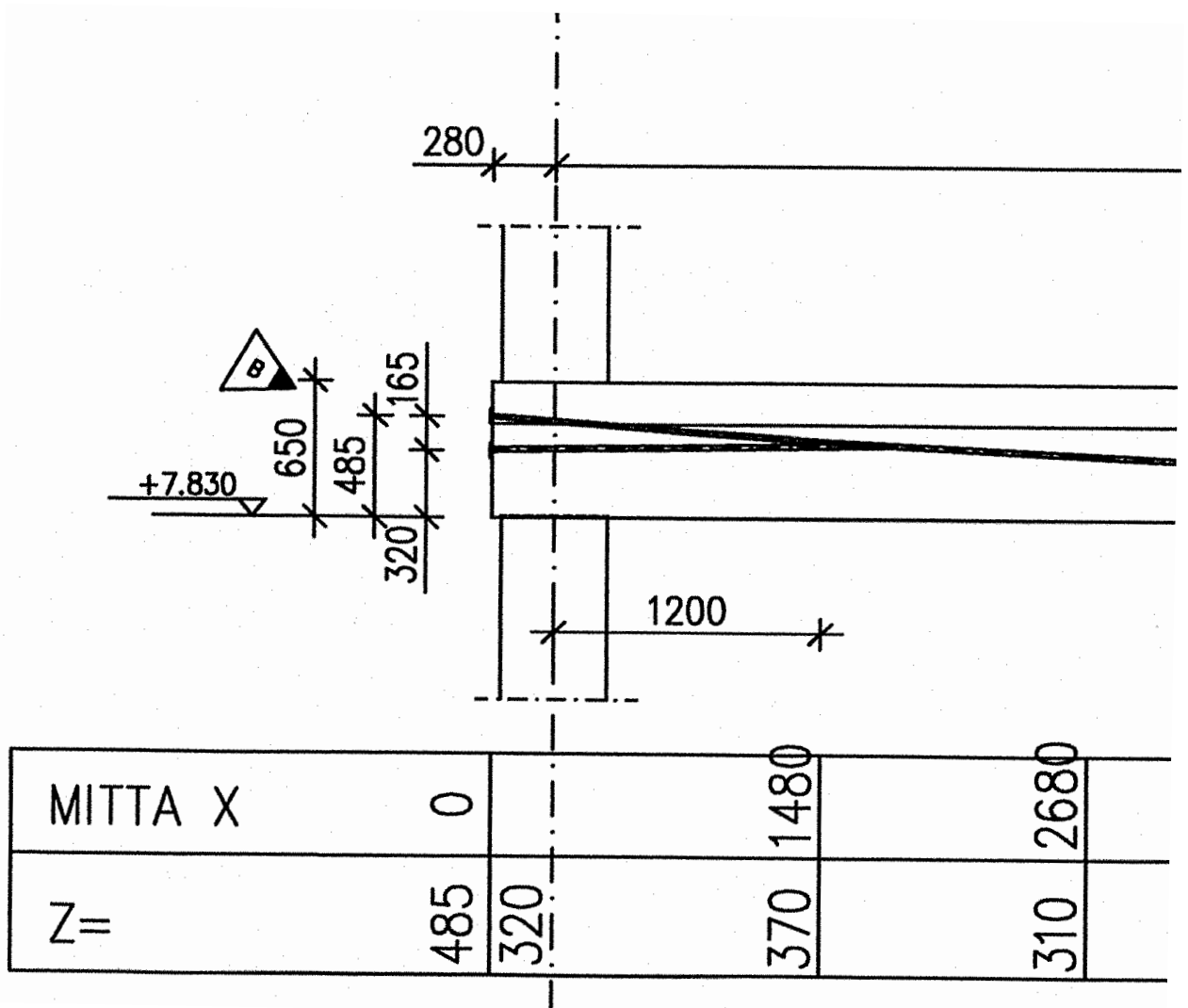


Kuva 8. Aktiiviankkureiden minimietäisyyksiä toisistaan ja rakenteen ulkoreunasta [4].

3.1.3 Varaukset

Laattarakenteeseen piirretään myös varauksia esim. LVIS-tekniikan läpiviemiseen. Varauksuvaa ja jänneraudoituskuvaava tulee verrata keskenään, jotta ne sopivat yhteen ja ettei varauksia tule liian lähelle jänneankkureita. Jännittämisessä syntyvä halkaisuvoima välittyy betoniin ankkurin laattamaisesta osasta edeten kartionmuotoisesti, 45 asteen kulmassa. Laatassa, ankkurin edessä tulee olla ainakin noin 300 mm verran tiivistä betonia kartionmuotoisesti vastaanottamaan jännevoimaa. Tähän mittaan vaikuttaa laatan paksuus, ankkurin raudoitus ja jännevoiman suuruus [24]. Jännityksen suuruus on voima jaettuna pinta-alalla, joten jännitys on suurimmillaan heti ankkurin edessä, josta se kartionmuotoisesti edetessään saan enemmän vaikutuspinta-alaa ja pienenee.

Palkin kohdalla pitää koko halkaisuvoimaraudoituksen alue olla tiiviisti betonoitu, ilman varauksia [24].



Kuva 9. Tilkan Parkin jänneankkurien korkoja palkin päässä sekä jänneteräksen laskevaa korkoa palkin pituussuunnassa.

3.2 Muottisuunnitelma ja muotin laudoitus

Muottisuunnitelmaa tehtäessä on huomioitava jännitystyön vaatima työtila laatan ja mahdollisen palkin topparireunan ulkopuolella. Työsuojeluhallinnon julkaisun mukaan suositeltava työtason leveys minimissään on 0,6 metriä (tämä siis suositus) [17].

Valtioneuvoston rakennustyön turvallisuudesta asettaman lain 30. pykälän mukaan:

”Rakennustyössä käytettävien työskentelytasojen on oltava työ ja työolosuhteet huomioon ottaen mahdollisimman tarkoituksenmukaiset.

Työskentelytasojen mitoituksen on vastattava työn luonnetta ja siihen kohdistuvia rasituksia sekä mahdollistettava työskentely ja liikkuminen turvallisesti.

Työtason leveyden on oltava riittävä. Työtason leveydessä on otettava huomioon myös tavaran sijainti, ominaisuudet ja kuljetus.

Työskentelytasoilla ja telineillä työskenneltäessä on toteutettava tarvittavat turvallisuustoimenpiteet siten, että sääolot eivät vaaranna työntekijöiden työturvallisuutta.” [19.]

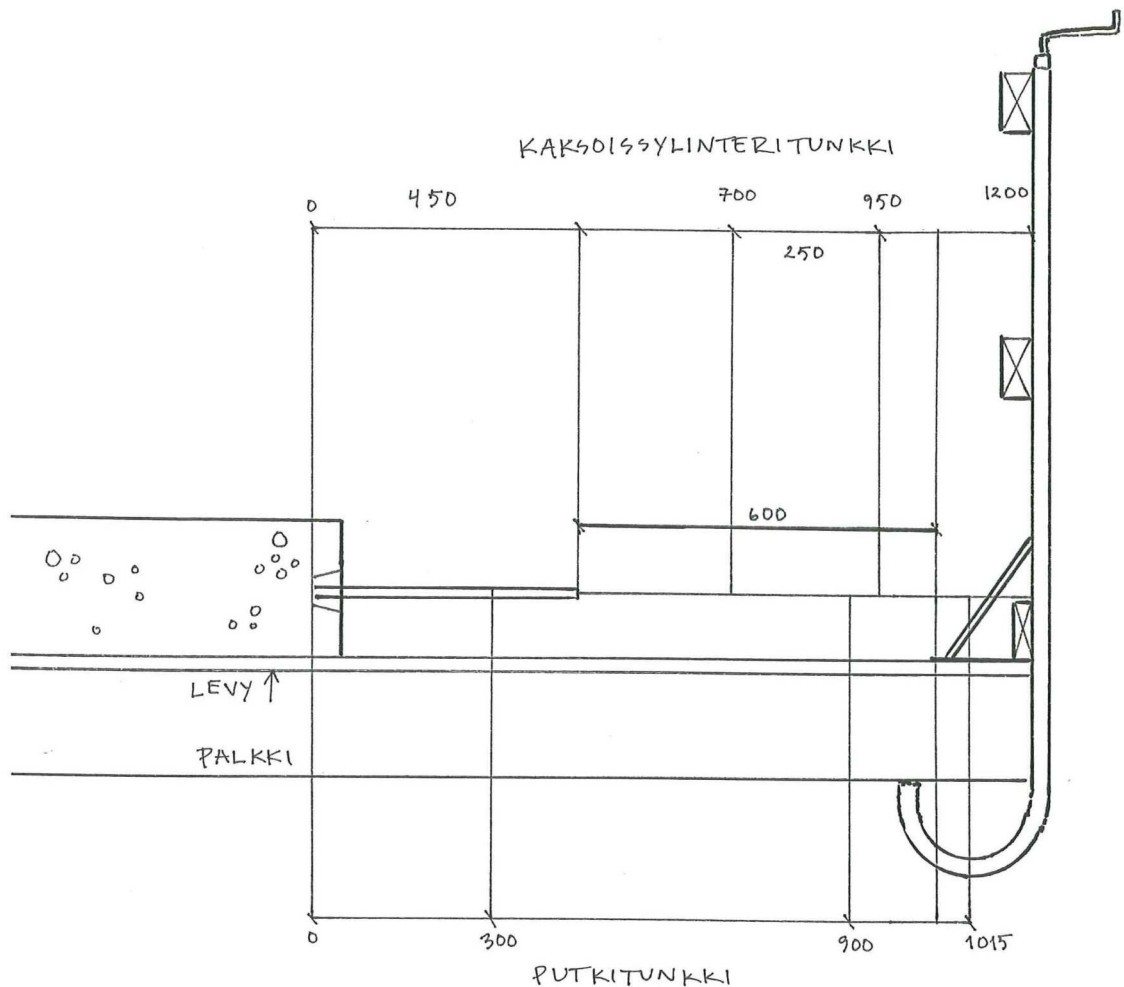
Valtioneuvoston asettaman rakennustyöturvallisuuslain mukaan kulkuteiden ja portaiden on oltava vähintään 0,6 metriä leveitä [19, pykälä 31]. Holvin topparireunan muottilippa toimii myös kulkutienä. Rauditus holvilla säilyy paikoillaan kun kaikki ”turha” kulkeminen holvilla minimoidaan, esim. juuri reunojen kulkutiellä.

Tunkin tilantarve vaihtelee riippuen käytettävästä tunkista, valmistajasta ja merkistä riippuen. Yleisimmin käytetyistä tunkeista kaksoissylinteritunkki tarvitsee tilaa oman pituutensa (700 mm) lisäksi sylinterien vetoliikkeelle (250 mm) yhteensä 950 mm vapaata tilaa taakseen (950 mm -50 mm, jänteen varauskolo +50 mm, jalkalistalauta ja niiden mahdollinen päällekkäisyys saumakohdissa). Jänneterästä tulee olla minimissään 500 mm näkyvissä valetun laatan reunan ulkopuolella, jotta kaksoissylinteritunkki saa riittävän kiinnityksen vedettävästä teräksestä. Putkitunkki tarvitsee jänneterästä näkyviin vain minimissään 300 mm. Putkitunkki asennetaan pujottamalla se jänteen ympärille jänteen päästä. Putkitunkki on 900 mm pitkä ja tarvitsee tilaa vetoliikkeelle 205 mm, yht. 1105 mm (-50 mm, varauskolo +50 mm, jalkalistan tila). Näiden mittojen perusteella kaksoissylinteritunkkia käytettäessä holvin topparilinjan yli tulisi olla minimissään 950 mm muottitilaa ja putkitunkkia käytettäessä minimissään 1015 mm muottitilaa.

Kun lasketaan laatan reunan tilaa myös siltä kannalta, että reuna toimii myös kulkutienä, tulisi vapaata kulkutilaa jäädä lain mukaan 600 mm. Kaksoissylinteritunkkia käytettäessä teräsjännettä tulee olla näkyvissä min. 450 mm (50 mm jänteen varauskolossa). Tähän lisätään 600 mm kulkutilaa ja 50 mm jalkalistan tilaa, yht:1100 mm. Tämä riittää hyvin kulkutietilaksi myös putkitunkkia käytettäessä, mutta jalkalista saattaa tulla joissain kohdissa vastaan jännitystyötä tehdessä, (esim. kaidetolpan kohdalla, jalkalistalautojen limi-

tys). 1100 mm:iin on hyvä lisätä vielä työmaavaraksi 100 mm. Näillä perusteilla laatan reunan ulkopuolelle tulisi jäädä tilaa 1200 mm.

Holvimuotin 1,20 metrin lippa kestää hyvin lipalla olevan henkilöpainon. Rakenteesta riippuen holvimuottiin saatetaan joutua tekemään lisää selkäpalkkituentaa lippaa varten. Lipan lasketaan kestävän 1,5:n kN/m^2 , mikä tarkoittaa 152,9 kiloa neliölle. Tämä on ajateltu tilanteessa, jossa holvi on juuri muotitettu ja kaideasentaja menossa reunalle työhönsä. Tällöin ei vielä ole holvin raudoitusta vastapainona lipalle.[25.]



Kuva 10. Poikkileikkaus betonilaatan reunasta. Betonilaatasta tulee ulos jännitettävä jänne. Laatan alla holvimuotti, jonka päässä yhdenlainen versio asennettavasta kaidetolpasta, koukkupääkaide. Ylemmät mitat ovat yleisimmin käytetyn kaksoissylinteritunkkimallin tilantarve ja alemmat mitat ovat yleisimmin käytetyn putkitunkkimallin tilantarve. Keskellä 600 mm kulkutie.

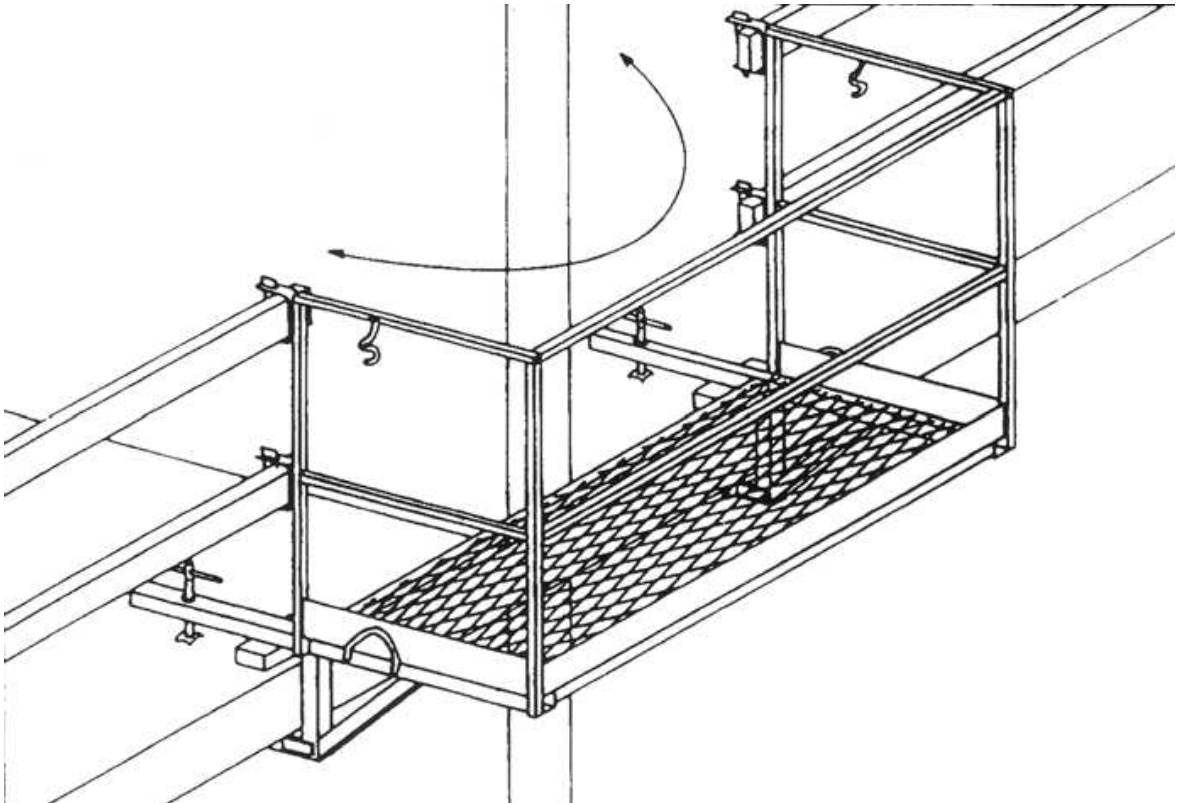
1,20 metriä pitkän lipan rakentamiseen tarvitaan kuitenkin enemmän koolauspalkkeja ja levyä kuin ilman lippaa, sekä mahdolliset lisä-selkápalkit. Lippa voi olla kapeampi, pelkäksi kulkutieksi suunniteltu niiltä sivuilta laattaa, missä ei ole aktiiviankkureita ja jännitystyötä. Lippa tulee huomioida muottisuunnitelman tekovaiheessa.

Jos työtilan tarvetta ei ole huomioitu/pystytty huomioimaan laattarakenteen muotissa, on jännitystyötä varten rakennettava teline tai käytettävä henkilönostinta, esimerkiksi nostokoriautoa. Jos maasto on tarpeeksi tasainen, voi käyttää myös kuukulkijaa, puominosturia tai saksilavaa. Työmaalla ei välttämättä ole sopivaa maastoa, tai lainkaan tilaa henkilönostinta varten. Telineen rakentaminen jännittämistä varten voi tulla yllättävän työlääksi ja aikaa vieväksi.

Jos rakenteessa on palkkeja, ne useimmiten loppuvat heti pilarien ulkoreunan linjaan tai laatan ulkoreunan linjaan. Jos palkit loppuvat pilareiden ulkoreunan linjaan, tapahtuu palkkien jännitys valetun laatan alapuolelta. Valetun laatan alapuolella tulee olla jännitystyölle tilaa vähintään 600 mm. Jännittämiseen tarvitaan laatan alla sopivan korkuinen teline ja laatan ulkoreunalla tulee olla putoamissuoja. Putoamissuoja tulee olla koko kerrosvälillä lattiatasolta ylös asti, sillä jännitystyö tapahtuu telineeltä, katon rajassa. Putoamissuoja voidaan tehdä timpurin työnä palkin päähän esim. koolingista, koukkupääkaiteista ja pressusta. Turvavaljaiden käyttö voi tulla tapauskohtaisesti tarpeelliseksi.

Jos laatussa ei ole pilarin selän jälkeen reunalle mentäessä tarpeeksi tilaa (alle 600 mm), voidaan käyttää uloketelinettä. Kuvassa 11. on esitetty yhdenlainen vaihtoehto uloketelinestä. Kyseiseen telineeseen tulee silti rakentaa putoamissuojaus katonrajaan asti jännitystyötä varten.

Jos palkit loppuvat laatan ulkoreunan kanssa samaan linjaan, ne jännitetään laatan päälliseltä puolelta. Kaidetolpat voi asentaa esim. palkkimuotin pohjalevyn alla oleviin palkkeihin. Kaide tulee asentaa palkin pohjaan, koska laatan tasossa menevä on usein liian korkealla toimimaan palkinpäänkin kaiteena. Kaiteissa tulee rakennustyöturvallisuuslain mukaan olla kaikissa tapauksissa ja kaikkialla jalkalista.



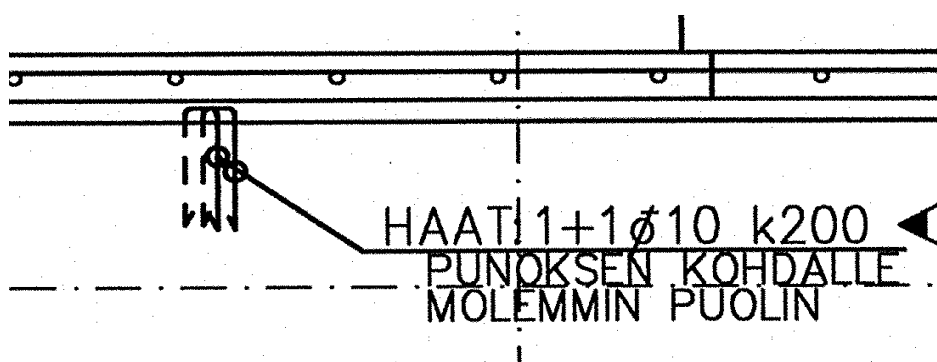
Kuva 11. Esivalmisteinen uloketeline [17].

3.3 Jänneasennuksen, raudoituksen, varauksien, sähkö- ja viemäriputkien asennuksen työjärjestys holvilla ja palkeissa

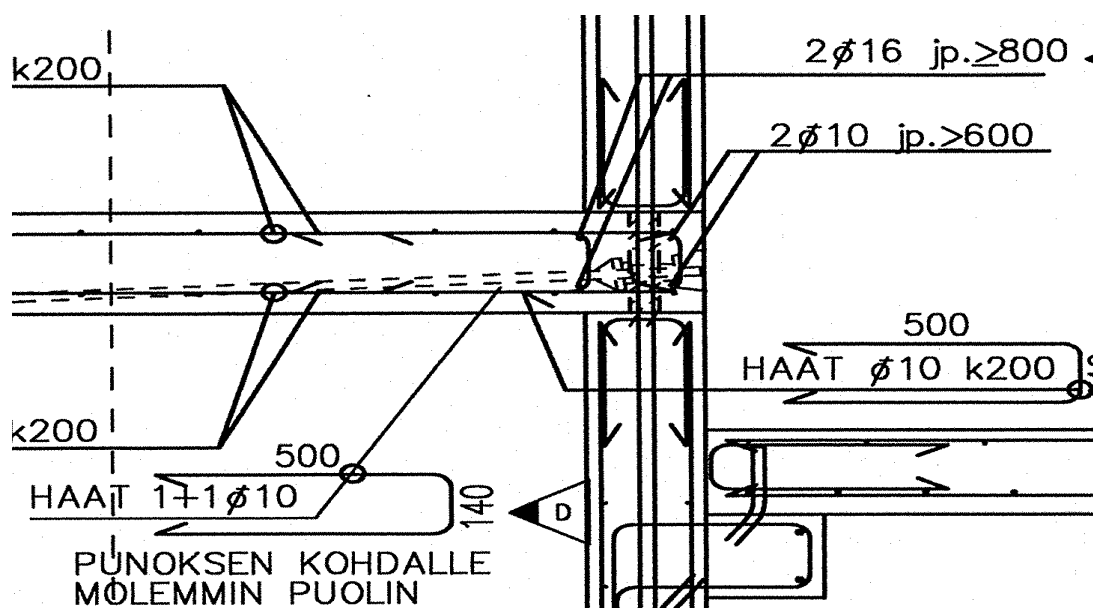
Paikalla valettavan holvirakenteen muottikierto on nopeatempoista. Muottikaluston vuokraus maksaa, joten muotteja on käytettävä tehokkaasti. Muottikalustoa on pyrittävä pitämään työmaalla vain sen ajan kun niitä tarvitaan. Tarvittava muottikaluston määrä on yleensä noin 2,5-kertainen kertavalualueeseen nähden [12]. Holvin eri töillä on oma työjärjestys, ja kun se on kaikkien osapuolien tiedossa, ei tule turhia yhteentörmäyksiä ja hidasteita. Rungon nouseminen tehokkaasti pystyyn vaikuttaa myös koko työmaan muiden töiden aikataulun pitämiseen ja koko rakennuksen valmistumiseen ajallaan. Työmaalla on hyvä osoittaa valettavan holvin rakennusaputöille oma vastuutyöntekijänsä, esim. kaiteiden asentaja, holvin raivaaja ja putsaja, holvin toppareiden, varausten ja kaivojen kiinnittäjä. Näin työ edistyy ilman hidastuksia, jotka voivat johtua uuden homman pienten niksiä opettelusta ja ajoittamisesta, jos työntekijä aina vaihtuu.

Raudoittaminen ja jänteiden asennus ovat valmiilla holvimuotilla suuritöisimpiä samanaikaisia ja osittain päällekkäisiä työvaiheita. Raudoituksessa ja jänteiden asennuksessa on noudatettava työjärjestystä, muuten voi olla mahdotonta saada valmista tulosta tai joudutaan purkamaan jo kertaalleen tehtyä. Jännitystöiden aloituspalaverissa voi olla myös raudoitusurakoitsijan nokkamies mukana siltä osalta kun käydään läpi kyseisen rakenteen

raudoitus- ja jänneteräsasennus- järjestystä. Kuvassa 13 on Tilkan Viuhkan pysäköintilaitoksen pilari-laatta-rakenteen MK4-jännepunoksen passiivipään kohdalle tulleet raudoitushakaset, eli kaksi 10 mm halkaisijan hakasta, 200 mm jaolla jokaisen teräspunoksen kohdalle. Hakasten ylä- ja alakulmiin tulee vaakaan min. 800 mm vaakateräs, kuten kuvassa 14. Ylempi vaakateräs on asennettavissa vasta jänneterästen asennuksen jälkeen. Hakaset voidaan sitoa paikoilleen jos esim. muotin toppariin on piirretty merkki jänneankurin paikasta.



Kuva 12. Tilkan Viuhkan parkkikannen laatan reunan jänneraudoitus.



Kuva 13. Tilkan Viuhkan parkkikannen laatan reunan jänneraudoituksen poikkileikkaus

Valmiiksi levytettyyn holvimuottialueeseen (esim. yksi palkkiväli palkkeineen tai pilariväli pilareineen) asennetaan kaiteet. Alue puhdistetaan ja öljytään. Mittamies merkitsee muottiin reunalinjat (=topparilinjat), sähkörsioiden varaukset (esim. kattolamput), lattiakaivojen paikat ja muut mahdolliset LVIS-varausten paikat. Toppareita asentavien timpureiden tulee aloittaa topparien teko mahdollisista palkeista, asentamalla aktiiviankkurien pään toppari paikoilleen. Palkin aktiivipään toppari tuetaan ja kiinnitetään niin että jänteiden asennus on mahdollista (esim. kiinnitetään vain reunoistaan koolingeilla). Topparien lopullinen tuenta tehdään jänteiden asennuksen jälkeen. Passiivipään topparin voi jättää auki ennen valua mahdollisesti tarvittavaa puhdistusta varten (roskan, purun, mahd. lumen ym. saa helposti työnnettyä veden tai höyryn avulla ulos palkista). Laatan toppareissa on hyvä aloittaa aktiiviankkurien pään toppareista (jos mahdollista), jotta sinne saadaan kiinnitettyä aktiiviankkurit.

Jänneasentaja poraa aktiiviankkurien reiät palkin toppariin ja kiinnittää ankkurit toppariin.

Raudoittaja raudoittaa palkin pään leikkausraudoituksen sekä aktiiviankkurien raudoituksen halkaisuvoimaa vastaanottamaan.

Raudoittaja raudoittaa myös palkin muun leikkausraudoituksen, eli hakaset sekä palkin alapinnassa sijaitsevat pää- eli vetoraodat.

Jänneasentaja hitsaa vaakatasoon palkin hakasiin työteräkset, jotka toimivat korkotukina jänteille. Tämän jälkeen asennetaan palkin jänteet. Korkotukina voi toimia myös teräksestä tehdyt pukit, mutta yhden vaakateräksen hitsaamisen on huomattu olevan helpompaa ja taloudellisempaa.[23.]

Raudoittaja raudoittaa palkin yläpinnan, joka voi samalla olla laatan alapinnan raudoitusta. Sähköasentaja asentaa varauksensa (esim. kattolamput) mittatimpurin mittaamille paikoille laatan muottiin. Kun raudoittajat ovat raudoittaneet laatan alapinnan raudoituksen, asentaa sähköasentaja sähköputkitukset alapinnan raudojen päälle kulkemaan. Sähköputkia eikä muitakaan varauksia saa asentaa ankkureiden eteen, koska silloin betoni ei pysty vastaanottamaan jännitysvoimia ja voi murtua. Jänneasentaja merkkää ankkurien paikat laattamuottiin, esim. toppariin. Näin raudoittajat tietävät kohdan, johon tulee jättää tila aktiiviankkurille sekä passiiviankkurien sijainnin. MK4-tartunnattoman ankkurin soikion muotoinen asennusmuotti on halkaisijaltaan noin 70 mm ja asennusmuotissa kiinni olevan aktiiviankkurin levein lattamainen osa on 116 mm leveä. Tämänkokoinen tila tulee olla laatan topparimuotissa vapaana raudoittajien reunalenkeistä.

Jänneasentaja asentaa laatan jänteet. Jänteet asennetaan kuvien mukaisiin korkoihin asennuspukkien avulla. Jänne pujotetaan aktiiviankkurin päästä, ulos rakenteesta ja passiiviankkuri sidotaan kiinni sitä ympäröivään raudoitukseen ja tarvittaessa käytetään työteräksiä kiinni sitomiseen. Joissain tapauksissa passiiviankkuriin on suunniteltu lisäraudoitus, esim. U-lenkit, ottamaan vastaan passiiviankkurin aiheuttamaa halkaisuvoimaa.

Raudoittaja raudoittaa laatan pinnan ja kaiken muun mahdollisen rakenneraudoituksen.

Ennen betonointia on työnjohdon tehtävä kirjallinen raudoitustarkastus ja puutteiden korjaus, jonka jälkeen vielä korjausten tarkastus.

LVIS-varausten yms. asennukset ovat pienimuotoisempia ja niitä tehdään samanaikaisesti raudoitus- ja jännitystöiden kanssa.

3.4 Betonointi

Ennen betonointia on muotin oltava puhdistettu roskista, sekä talvisaikaan mahdollisesta lumesta ja jäästä. Viimeisin puhdistus tehdään juuri ennen valua ja suurehkoilla alueilla sopivan matkaa edellä valua. Usein puhdistetaan valupäivää edeltävänä päivänä esimerkiksi noin puolet alueesta ja jatketaan puhdistustyötä valupäivän aamuna. Kesällä raudoitetun holvin voi puhdistaa vedellä, painepesuri on tässä huomattavasti tehokkaampi kuin pelkkä vesiletku. Apuna on hyvä olla myös vesi-imuri. Talven pakkaskeleillä saatetaan tarvita höyrytystä sulattamaan jäätä ja lunta. Talvella voidaan suojata valualue pressuilla lumisateen varalta, jolloin pressujen tulee kestää nostaminen kulmistaan kun mahdollinen satanut lumi on kuormana. Kaikki roska ei lähde vedellä pesemällä, vaan esim. ylimääräiset rautalangat on nypittävä muotinpohjalta pois käsin. Muotin pohjaan, valuun jääneet rautalangat ruostuvat ja niiden pinta-ala laajenee ruostuessa. Tämä ajan myötä rapauttaa ympärillä olevaa betonia, jolloin rakenteen suojabetonikerros ei ole enää tiivis ja täytä tehtäväänsä. Ruosteinen läikkä betonirakenteen pinnassa on myös esteettinen haitta.

Jos rakenteessa on jännitettäviä palkkeja, on niiden päissä jänneankkureiden lisäksi tiheästi raudoitusta. On varmistettava, että betoni saadaan tiiviisti myös palkin päihin. Palkin päät voidaan valaa 8 mm raekoon betonilla ja koko palkki 16 mm raekoon betonilla, riippuen siitä kuinka tiheää on palkkien raudoitukset koko palkkipituudella ja palkkien päissä. Muutoin laatta yleensä valetaan raekoolla 32. Mitä suurempi raekoko on, sitä kestävämpi rakenne. Betonin tiivistämisessä tulee erityisesti huomioida ankkurien alueen tiivistäminen. Etenkin palkkirakenteessa palkkien päät tulee täryttää huolellisesti, koska niissä on usein paljon raudoitusta ja siten suurempi riski että betoniin jäisi ilmakuplia. Täryttimen koko voidaan sovittaa palkin päässä ennen betonointia. Palkin päässä voi tulla kyseeseen

käyttää pienempikokoista tärytintä kuin muualla valualueella. Jos ilmakuplia tai -koloja jää aktiivi- tai passiiviankkurin eteen, saattaa rakenne murtua jännitettäessä. Betoni ei ilmakuplien takia pysty vastaanottamaan ankkurien halkaisuvoimaa ja murtuu. Tästä johtuen esim. sähköputkia ei saa asentaa ankkurien eteen.

4 JÄNTEIDEN KATKAISU

4.1 Katkaisu ja paikkaus

Jänne katkaistaan tarpeeksi lyhyeksi, jotta sen päähän mahtuu katkaisun jälkeen kierteellinen suojakorkki. Jännettä katkaistaessa ei kuitenkaan saa vahingoittaa/sulattaa lukituskiilaa. Jänne katkaistaan niin, että jänneterästä jää näkyviin lukituskiilan jälkeen noin 5 mm. Katkaisussa syntyvä kuona on poistettava ennen jänteen varauskolojen paikkausta ja se on helppoa poistaa heti katkaisun jälkeen. Kuona lähtee esim. puukolla rapsuttaen. Jänneiden varauskolojen paikkaus ei yleensä kuulu itse jännitysurakkaan. Kolot paikataan kutistumattomalla massalla, joka on rakenteeseen sopivaa lujuudeltaan ja rasitusluokaltaan. Esimerkiksi jos rakenteen betonin tulee olla pakkasenkestävää, tulee myös paikkausmassan kestää pakkasta.

Ennen paikkausta on tärkeää putsata varauskolo liasta ja mahdollisesta jänteen leikkauksesta jääneestä kuonasta sekä mahdollisesta suojarasvasta. Suojarasvaa saattaa levitä varauksen betoniin jännitystyön yhteydessä tai suojarasvakorkin asentamisen yhteydessä. Paikkausmassan on hyvä sisältää liima-ainetta, jotta paikkaus saa hyvän tartunnan betonista. Tällöin ei tarvitse erikseen sivellä paikattavaa varausta liima-aineella. Ennen paikkausta varaus on kostutettava runsaasti ja huolellisesti. Tähän riittää vesiämpäri ja harja. Talven pakkasilla tapahtuvan paikkauksen jälkeen on huolehdittava, että rakenteen reunassa sijaitsevat paikkaukset suojataan jäätymiseltä. Lämmitys saattaa olla rakenteen alapuolella vielä päällä, mutta rakenteen ulkoreunat ovat eniten alttiina kylmälle. Suojaus voidaan tehdä reunalle asetettavalla lämpöpeitteellä ja jos alapuolella ei ole enää lämmitystä, voidaan lämpöpeitteen alle kohdistaa lämpöpuhaltaja puhaltamaan lämmintä ilmaa.

4.2 Tulityö

Jänneiden katkaisu on tulityötä. Tulitöihin vaaditaan työmaan työnjohdon antama kirjallinen tulityölupa. Tulityössä on oltava 2 henkilöä [15]. Toinen henkilöistä toimii kipinävahtina ja toinen tekee tulityön. Jänneiden katkaisu tapahtuu ns. tilapäisellä tulityöpaikalla ja silloin on välittömässä läheisyydessä oltava alkusammutuskalusto, joka on vähintään yksi 12 kg:n 43 A 183 B-C- teholuokan (AB III-E) käsiammutin tai kaksi 6 kg:n 27 A 144 B-C- teholuokan (AB III-E) käsiammutinta [15]. Tulityön päättymisen jälkeen on tulityövartiointi-

tia jatkettava työmaakohtaisen tulitöiden valvontasuunnitelman mukaisesti tulityöluvassa määrätyn ajan, vähintään tunnin, mikä edellyttää vartijan jatkuvaa läsnäoloa tai paikan jatkuvaa silmälläpitoa.

4.3 Polttoleikkaus

Jänteiden katkaisuun polttoleikkaamalla tarvitaan asetyleeni- ja happikaasupullot, jotka on säilytettävä pullokärryissä niiden kaatumisen estämiseksi. Pullokärryissä on oltava vähintään 6 kg:n 27 A 144 B-C- teholuokan (AB III-E) käsisammutin, jolla voidaan korvata tulityöpaikalle toinen vaadittavista vastaavan kokoisista sammuttimista. Kärryissä tulee olla myös suojakinnas, jolla voidaan kiertää hätätilanteessa pullot kiinni, jos ne ovat kuumentuneet liikaa. Jos kaasupulloja on nostettava paikasta toiseen, tulee nosto tehdä kärryineen tai hirttämällä liinat pullon kyljen ympärille. Pulloja ei saa nostaa kiintokuvusta (suojakuvusta), koska se saattaa irrota.[15.]

Kaasupullojen ulosottopisteisiin tulee asentaa paineensäätöventtiilit ja sen jälkeen takaiskusuoijat. Takaiskusuoijan yksisuuntaventtiili sulkeutuu, jos syntyy yhtä suuri tai suurempi vastapaine kuin normaalisti ulos kaasupullostasta virtaava paine. Takaiskusuoijan lukkiutuva yksisuuntaventtiili lukkiutuu jos vastapaine on käyttöpainetta 0,7 bar:ia suurempi. Tämän jälkeen venttiili täytyy mekaanisesti avata takaiskun jälkeen. Takaiskusuoijassa on myös sintratusta huokoisesta metallista valmistettu liekinsammutin, joka sammuttaa liekin, jos se pääsee etenemään letkua pitkin kohti paineensäädintä. Takaiskusuoijan katkaisuventtiili sulkeutuu, jos 95 °C:n ennalta määritellyt lämpötila ylittyy takaiskusuoijassa. Takatulisuoijat tulee asentaa polttopillien ja kaasuletkujen väliin. Takatulisuoijissa on myös yksisuuntaventtiili ja liekinsammutin. Takatulisuoija estää kaasujen sekoittumisen letkuissa ja siten letkuräjähdyksen. Viallisia laitteita tai pulloja ei tule käyttää. Pulloja ei saa kolhia tai pudottaa. Hitsaus liekkiä ei koskaan saa kohdistaa pulloihin. Öljyä, rasvaa tai muuta vastaavaa ei saa käyttää kaasupullojen venttiilikierteiden voitelemiseen. [15.] Polttoleikkaajan on huolehdittava, ettei hänen työvaatteensa ole suojarasvassa, jota on jänneterästen ympärillä. Vaseliini voi syttyä räjähdysmäisesti palamaan kaasun vaikutuksesta. Polttoleikkaajalla on myös oltava tummennettu suojamaski ja suojakäsineet.

4.4 Hitsausleikkaus

Hitsauspuikoilla katkaisuun tarvitaan myös aiemmin mainittu alkusammutuskalusto, sekä henkilösuojaimet. Hitsaamalla katkaisemiseen tarvitaan esim. pikkohitsauskone ja hitsauspuikkoja. Hitsauskalusto on paljon kevyempää kuin polttoleikkauskalusto. Tyhjiin polttoleikkaus-kaasupullojen vaihtaminen täysiin on työlästä ja siinä saatetaan myös tarvita nosturia. Tyhjä ja täydet kaasupullot tarvitsevat omat varastotilansa tai -telineet, jotka

ovat suojassa auringolta. On myös olemassa muita, mutta kalliimpia hitsaamiseen perustuvia teräksen leikkausmenetelmiä, esim. laserhitsaus.

5 JÄNNITYSTÖIDEN ALOITUSPALAVERISSA HUOMIOITAVIA ASIOITA

5.1 Kohteen jännitystyösuunnitelma ja jänneraudoituskuvat

Betoninormien mukaan jännittämistöistä on laadittava erillinen, kohdekohtainen jännitystyösuunnitelma. Jännittämissuunnitelman laatiminen kuuluu kohteen rakennesuunnittelijalle ja siitä tulee ainakin käydä selville: jännemenetelmäkuvaus, asennuspiirustus, jännittämisjärjestys, jännittämisvoimat ja venymät, ankkurointiliukumat ja niiden toleranssit, muotin tukirakenteiden säätö ja purkaminen jännittämistyön aikana ja betonin lujuus jännittämistyön eri vaiheissa [10,s.132].

Jännitystöiden aloituspalaverissa on hyvä käydä läpi seuraavia asioita:

-työmaan aikataulu (luku 5.2)

- jännemenetelmä: tässä käy ilmi jännepunoksen ominaisuudet ja kokonaisen jänteen tyyppiominaisuudet.

- jänneiden asennuspiirustus: jännteillä on suunniteltu sijainti laatussa ja mahdollisissa palkeissa. Jännteillä on suunnitellut korot ja kaarevuussäteet. Suurin sallittu tukiväli on 1200 mm [4]. On tärkeää asentaa jänneet suunnitelmien mukaan kaareutumaan. Puristusvoima jännteissä, pysty- ja vaakasuunnassa, ei saa ylittää betonin puristus- tai halkaisuvoiman kapasiteettia [16].

- asennustoleranssit: ankkureilla ja jännteillä on asennustoleranssit ja minimi asennusetäisyydet toisistaan (luku 3.1.2).

-raudoitusjärjestys: asentajien kanssa on hyvä käydä jänneasennuspiirustusten lisäksi läpi rakenteen raudoituskuvatkin. Tässä vaiheessa voidaan ottaa huomioon ja suunnitella raudoitustöiden ja jännitystöiden keskinäistä järjestystä, sillä nämä kaksi ovat usein päällekkäisiä ja toisistaan riippuvaisia töitä. Jänneankkureihin suunnitellaan kohteesta ja suunnittelijasta riippuen lisäraudoituksia ottamaan vastaan jännitysvoimaa. Lisäraudoitukset eivät ole vakioita vaan tapauskohtaisesti laskettuja. Tämän vuoksi on hyvä selvittää millaiset ovat ankkurien detaljikuvat kyseisessä kohteessa ja niihin liittyvä jänneasennus- ja raudoitustyöjärjestys. Raudoittajat ja jänneasentajat joutuvat usein tekemään omia töitään osittain päällekkäin toistensa kanssa. On hyvä saattaa molemmat osapuolet tietoisiksi omien töidensä toisistaan riippuvaisuudesta ja töiden järjestyksestä.

-jännittämistyötila: sovitaan käytettävät menetelmät, jotta jännitykseen saadaan tarvittava työtila rakenteen reunan ulkopuolella

- betonin lujuus jännittämistyön eri vaiheissa: minimilujuus betonille jännitettäessä MK4-tartunnattomilla jänteillä on 25 MN/m^2 betoninormien mukaan. Suunnittelija voi määrittellä minimilujuuden kohdekohtaisesti suuremmaksikin. Tilkan Parkissa MK4-tartunnattomilla jänteillä betonin vaadittu lujuus jännittämishetkellä oli yli 32 MN/m^2 [liitteet 3,4,5].

-jännittämislupa: lupa MK4-jänteiden jännittämiseen voidaan antaa kun betonin lujuus on vähintään rakennussuunnitelmien mukainen. Luvan antaa työmaan työnjohto.

- jännittämisvoimat ja venymät: rakennesuunnittelija laskee tarvittavat voimat, jotka venyttävät jänteet suunnittelijan suunnittelemaan venymään. Lemminkäinen Talo Oy:n jännityksikössä on laskettu minkä suuruinen paine nestepumppuun tarvitaan suunnitellun voiman toteuttamiseksi. Jännitystöiden suunnitelmaan voi olla kirjattu myös suurin sallittu jännittämisvoima. Käytettävä jännittämisvoima on kuitenkin pienempi kuin suurin sallittu. Esimerkiksi Tilkan Parkin suurin sallittu jännitysvoima oli 196 kN kun käytetty jännitysvoima laatan jänteillä oli 187 kN [liitteet 3,4,5].

- jännittämisjärjestys: kohteeseen saatetaan suunnitella jänteiden jännitysjärjestys. Usein jännitysjärjestys on; mahdolliset palkit ensin, niiden sijaintijärjestyksessä. Tämän jälkeen jännitetään laatan jänteet, ilman sen tarkempaa järjestystä. Tilkan Parkissa laatan MK4-tartunnattomat jänteet oli suunniteltu jännitettäväksi joka kolmas jänne ensin ja tämän jälkeen aloituskohdasta alkaen väliin jääneet kaksi jännettä [liite 5.].

- ankkurointiliukumat ja niiden toleranssit: MK4-tartunnattomassa jännemenetelmässä ankkurointiliukuma on 5 mm (+jännityslaitteiston muodonmuutos, noin $0,4 \text{ mm}$) ja sen kumoaa vastakkaissuuntainen lukitusliukuma -5 mm .

- muotin tukirakenteiden säätö ja purkaminen jännittämistyön aikana: työmaakohtaisesti voi tulla kyseeseen esim. muotin purun aloittaminen jo niiltä osin joista se on jo jännitetty (palkit). Silloin on tärkeää kerrata mistä mihin jännitystyö etenee.

- jännityskalusto: sovitaan mahdollinen varastointitilantarve jännityskalustolle. Sovitaan minkälaista tunkkia jännitystöissä tullaan käyttämään. Joissain tilanteissa ei ole tarpeeksi tilaa putkitunkille tai kaksoissynteritunkille ja on otettava käyttöön lyhyt tunkki.

5.2 Aikataulu

Työmaan aloituspalaverissa on hyvä kerrata aikataulu, jonka mukaan rungon on suunniteltu nousevan. Paikalla valettavassa rungossa on etukäteen suunniteltu muotin teko-päivät, raudoituspäivät, valupäivät, jännitys- ja purkupäivät. Yleensä tällaisessa aikataulussa ei ole yhtään ylimääräistä aikaa. Jokaisen aliurakoitsijan ja urakkaporukan on tehtävä oma työnsä ajallaan, jotta aikataulu pitäisi. Jännittäjien on tultava asennustöihinsä silloin, kun laatan muotti on valmis tai valmistumassa. Jos rakenteessa on palkkeja, aloitetaan jänneiden asennus ja muu raudoitus niistä. Aloituspalaverissa voidaan sopia, kuinka monta jänneasennusta vaille olevaa palkkia minimissään tehdään, ennen kuin jännittäjät saapuvat työmaalle. Jänneasennus on yleensä urakkatyötä, joten ei ole tarkoituksenmukaista tulla työmaalle asentamaan esim. vain yhtä palkkia. Rakenteen kaikkien palkkien valmistumisen odottaminen ennen jänneasennusta voi taas hidastaa koko raudoituksen etenemistä.

Jännittäminen tapahtuu yleensä 3-6 päivän päästä rakenteen betonoinnista kun betoni on saavuttanut ainakin minimilujuutensa (K25, MK4:llä). Voidaan joutua varautumaan, siihen että itse jännitystyö tehdään normaalien työaikojen ulkopuolella, esim. viikonloppuna. Tällöin täytyy huomioida työturvallisuus ja telineiden tai henkilönostimen mahdollinen tarve jännityksessä sekä mahdollinen kaiteiden tarve. Yksinkertaisin ja helpoin tilanne olisi, että tilantarve on huomioitu jo laattamuotissa, eikä henkilönostimia tarvita. Täytyy myös huolehtia, että topparit on valmiiksi purettu jännitystöitä varten.

5.3 Jännekaluston tilan tarve työmaalla

Jänneet voivat tulla työmaalle joko valmiiksi mittaansa katkaistuina tai sitten kokonaisina keloina, joista ne sitten valmistetaan jänneiksi työmaalla [8]. Jänneitä voidaan valmistaa paikan päällä, eli työmaalla silloin jos kohde on tarpeeksi suuri [8]. Jänneiden valmistus työmaalla tarkoittaa toisin sanoen jänneteräksen katkaisua kelasta sopivaan mittaan ja siihen passiivi- ja aktiiviankkurin liittämistä. Aloituspalaverissa on hyvä päättää minne jännekalusto työmaalla sijoitetaan väliaikaiseen varastoon. Isoilla työmailla jännityskalustolle voidaan tarvita oma kontti. Voidaan sopia tuodaanko työmaalle esim. yhden holvin materiaalit kerrallaan vai enemmänkin. Voidaan myös sopia valmistetaanko jänneet työmaalla jänneteräskeloista vai ovatko ne valmiiksi valmistettuja ja kiepeille niputettuja ja millainen tilantarve työmaalla kussakin vaihtoehdossa on.

Valmiiksi tehdyt jänneet saattavat aiheuttaa enemmän nosturin tarvetta, koska niitä on monta erillistä nippua. Yksi jänneteräskela vaatii yhden noston holvimuotin läheisyyteen. Jänneasentajien nosturin tarve on hyvä selvittää, sillä esim. jänneteräskelan nosto vaikut-

taa koko jänneasennuksen etenemiseen ja tätä kautta koko rakenteen valun aikatauluun. Nosturin tarve on huomioitava esim. silloin kun jollekin urakkaporukalle on annettu työmaalla etuoikeus nosturin käyttöön.

6 JÄNNITYSTYÖN KESTON AIKAINEN LAADUNVARMISTUS

6.1 1-rakenneluokan betonitöiden työnjohto

Jännitetyt rakenteet ovat 1-rakenneluokkaan kuuluvia, eli niiden suunnittelu ja toteuttaminen vaatii erityistä pätevyyttä ja huolellisuutta. Työmaalla 1-luokan rakenteissa täytyy työtä olla valvomassa 1-luokan betonityönjohtaja. Tämä on vähintään suorittanut teknillisen oppilaitoksen tai ammattikorkeakoulun rakennusosaston insinööritutkinnon, johon sisältyy 1-luokan betonimestarin koulutus. Tätä alemman tutkinnon suorittaneella tulee olla vastaavat tiedot betonirakenteiden valmistuksesta ja toiminnasta. [10.]

6.2 Jännitystyön suorituksen laadunvalvonta

Jännepunosten asennustarkastus tehdään yleensä samalla kun rakenteen raudoitustarkastus. Tarkastuksen suorittaa rakennesuunnittelija tai tilaajan valvoja työmaan työnjohton kanssa ja se hyväksytään kirjallisesti. Tarkastuksessa tarkastetaan silmämääräisesti, että jänteet ovat ehjiä ja asennettu kohdilleen. Jänteiden muovisuojausten ja jänteiden liitoksien ankkureihin tulee olla ehjiä. Mahdollisen työsauman kohdalla väliankkureiden jännitystä varten väliaikaisesti poistettu muovisuojaus tulee olla jännitystyön jälkeen teipattu takaisin paikalleen. Jos teippaus on vajanainen tai muovisuojuksessa on rikkoutumia, on kohdat korjattava MK4:n käyttöselosteen mukaan [16]. MK4-käyttöselostetta noudattaen pienimmät vauriot jänteessä korjataan pelkästään teippaamalla ja suurien vaurioiden kohdalla poistetaan rikkoutunut osuus muovikuoresta, uudelleen rasvataan alue ja asennetaan päälle halkaistu muovisuoja tarpeelliselle matkalle ja teipataan se kiinni ja tiiviiksi.

Jänteiden asennuskorko ja tuenta on erityisen tärkeää tarkastaa tukien rakenteen tukien kohdilla [16]. Tukien kohdilla jänteet ovat äärikoroissaan ja äärikorot muodostavat jänteen kaarevuuden, joka juuri vaikuttaa jänteiden puristavaan voimaan. Jänteiden on siis tärkeää olla pilari(-palkki)-laatta-rakenteessa kuvien mukaisissa koroissa pilareiden kohdilla. Tämä tarkastetaan paikan päällä esim. mittaamalla mittanauhalla muotin pohjasta vastako jänteen korko korkotuen (esim. palkissa hitsattu vaakateräs korkoonsa) kohdalla kuvien mukaista lukua. Ankkureiden tulee olla kuvien mukaisiin korkoihin asennettu palkin päihin (aktiivit topparimuotissa ja passiivit palkin toisessa päässä). Tämäkin tarkastetaan mittanauhan avulla paikan päällä. Jänteiden sijainnin suhteen sallitut mittapoikkeamat on kerrottu luvussa 3.1.2.

On myös tarkastettava korkotukien maksimietäisyys (1200 mm) sekä se että betonin rasi-
tusluokasta ja suunnitellusta käyttöiästä muodostuvat jänneterästen suojaetäisyydet pitä-
vät paikkansa. Myös jänneiden keskinäinen etäisyys tulee tarkastaa (vapaa väli min. 50
mm), sekä ankkureiden etäisyydet toisistaan (kuva 8,s.12).

Tarkastuksessa ilmenneet puutteet korjataan, jonka jälkeen vielä tarkastetaan, että korja-
ukset on tehty käyttöselosteen ja betoninormien mukaisiksi [16].

Itse jännitystyössä ei työnjohto voi, eikä sen pidäkään olla valvomassa jokaista jänteen
jännittämistä. On vain huolehdittava, että työn tekee siihen koulutettu jänneasentaja. Jän-
neasentajan tulee tuntea jännityskalusto ja sen käsittely. Asentajan on huolellisesti tehtä-
vä jänneteräksen mittaaminen ennen ja jälkeen jännityksen. Hänen tulee tarkastaa, että käytet-
tävä lukituskiila on moitteeton, sekä tarkastaa lukituskiilan kunnollinen kiinnittyminen tun-
killa tehtävän lukituksen jälkeen. Asentajan on huomioitava jänneteräksen asennuksessa
aktiiviankkurin läpi suojamuovin katkaisu niin, ettei muovi mene ankkurin sisään asti kiila-
pesään. Jos näin käy, ei kiila välttämättä saa tarpeeksi tilaa lukittuakseen ja jänteen luki-
tus jännityksen jälkeen voi epäonnistua. Jännenippuja nostetaan vain liinoilla, jottei suo-
jamuovi vaurioituisi.

Jos jonkun jänteen jännitys epäonnistuu monesta yrityksestä huolimatta, on otettava yhte-
ys rakennesuunnittelijaan. Rakennesuunnittelija on yleensä suunnitellut ylimääräisiä jän-
teitä tällaisten tilanteiden varalta. Jänteen jääminen jännittämättä on kuitenkin hyvin harvi-
naista ja epätodennäköistä. Asentajan tulee myös kirjata ylös jos jonkun jänteen jännittä-
misessä ilmenee jännityspöytäkirjan suunnitelmista poikkeavia lukuja. Tämä tieto viedään
rakennesuunnittelijalle, joka päättää mahdollisista jatkotoimenpiteistä.[1.]

6.3 Betonin lujuuden kehitykselle sopivien olosuhteiden varmistaminen

6.3.1 Kesä

Betonin sisältämä vesi ei saa päästä haihtumaan siitä liian nopeasti. Kesäajan lämmin
ilma, auringonpaiste/-paahde ja tuuli lisäävät veden haihtumista valetusta betonilaatasta.
Veden haihtuminen ja liian nopea betonin kuivuminen ei anna betonille riittävää aikaa sen
lujuuden kehitykselle eikä se välttämättä täytä lopullisia laatutavoitteita. Kovettumisreaktio
voi jäädä puutteelliseksi eikä betoni saavuta lopullista puristuslujuuttaan ja taipumavetolu-
juuttaan. Veden haihtuminen aiheuttaa myös kutistumista ja saa aikaan halkeilua, etenkin
jos betonimassa on sisältänyt paljon vettä. [13.] Betonin liian nopea kuivuminen estetään
betonin jälkihoitolla. Kesällä jälkihoitona voi toimia valun hiertopintaan ruiskutettava jälki-

hoitoaine, joka muodostaa valun pintaan veden haihtumista estävän kalvon. Betonipintaa voidaan kastella esim. sadettimilla. Lisäksi valun pinta voidaan peittää suojamuovilla.

Taulukosta 3 ilmenevät suositeltavat ajat valetun betonin jälkihoitolle, jotta betoni saavuttaa tietyn prosenttimäärän loppulujuudestaan. Jälkihoitoaikasuositukset ovat riippuvaisia betonissa vallitsevasta lämpötilasta sekä betonin lujuusluokasta. Betonissa vallitsevaan lämpötilaan vaikuttaa merkittävästi betonin ympärillä vallitseva ilmasto. Betonin lämpötilan seuraaminen on tärkeää, jotta voidaan määritellä betonin lujuuden kehitystä. [10.]

Taulukko 3. Jälkihoiton suositeltavat vähimmäisajat eri kovettumisolosuhteissa normaalisti kovettuvalle betonille (by 50, taulukko 4.15) [10].

Betonin lämpötila (C °)	Aika (d) jolloin saavutetaan 60% nimellislujudesta			Aika (d) jolloin saavutetaan 70% nimellislujudesta			Aika (d) jolloin saavutetaan 80% nimellislujudesta		
	C25/30	C30/37	C40/50	C25/30	C30/37	C40/50	C25/30	C30/37	C40/50
10	11	9	7	17	15	13	26	24	22
20	6	4,5	4	9	7,5	6,5	14	12	12
30	3,5	3	2,5	5,5	4,5	4	8	7,5	7
40	2,5	2	1,5	3,5	3	3	5,5	5	5

6.3.2 Talvi

Talvibetonointia on betonointi alle 5 °C lämpötilassa. Betonin sitoutumisreaktiot ja kovettuminen hidastuu lämpötilan laskiessa ja pysähtyy alle -5 °C:ssa. Betonin jäätyessä ennen kuin se on saavuttanut 5 MPa lujuuden, betonissa on vielä kemiallisesti sitoutumatonta vettä jäljellä. Jäätynyt vesi laajenee noin 9 %. Tästä johtuva paine betonin sisällä voi vaurioittaa betonia peruuttamattomasti ja betonin loppulujuus voi jäädä merkittävästi alemmaksi ja rakenne voi sortua. Jos betoni jäätyy 5MPa:n lujuuden saavutuksen jälkeen ja pääsee sitten jatkamaan lujuuden kehitystään normaaliolosuhteissa (+5 °C ...max. 50 °C), ei pysyviä vaurioita tapahdu. Tätä sanotaan betonin jäätymislujudeksi ja se on sama 5 MPa betonin lujuusluokasta riippumatta. [13.]

Käytännössä rakennustyömaalla betonia ei päästetä missään vaiheessa jäätymään ja talvibetonoinnissa tarvitaan aina lämmitystä. Laattarakenteen betonimenekki on suuri, joten taloudellisinta on käyttää betonitehtaalla normaaliin tapaan talvella lämmitettyä betonia ja huolehtia työmaalla valun jälkeen rakenteen lämmittämisestä. Laattarakenteen lämmitetään alapuolelta. Laattarakenteen lämmitysmenetelmänä on yleensä säteilylämmitys tai lämminilmapuhaltimet [13].

Lämmittämisessä tulee huomioida, ettei betonia saa lämmittää liikaa. Lujuuden kehittymisen liian korkeassa lämpötilassa (yli 50 C° lämpökäsittely betoni) voi laskea betonin lopulujuutta jopa 30 % suunnitellusta lujuudesta [13]. Korkeat lämpötilat kasvattavat teräksen relaksaatiota. Jos betonin lämpötila alkaa olla lämmitettäessä 40 C° ja siitä ylöspäin, vaikuttaa se jo teräksen lyhytaikaiseen relaksaatioon [2,s.17]. Tämäkin tulee huomioida jännitettävissä rakenteissa.

Betonirakenteen eri kohtiin, kuten pintaan ja keskiosaan ei tulisi muodostua liian suuria lämpötilaeroja, koska ne synnyttävät halkeamia. Turvallinen raja lämpötilaeroille on 15-25 C° [13]. Rakenteen sisäisiä lämpötilaeroja voidaan tasata eristämällä laatan pintaa ja ulko-reunoja lämpöpeitteillä. Valettavan laattarakenteen alempi kerros eristetään esim. kevytsuojapeitteillä omaksi tilakseen, joka lämmitetään. On tärkeää, että tila saadaan tiiviiksi suojapeitteillä. Pienikin aukko alkaa helposti tuulen ja lämpötilaerojen takia repeytyä suuremmaksi ja lämmityksen teho pienenee. Päältä betoni suojataan kevytpeitteillä tai painavammilla lämpöpeitteillä, sitten kun betoni kestää peitteen painon. Laatan päällispuolen suojaus toimii lämmön eristämisen lisäksi myös suojana, ettei vesi haihdu liian nopeasti kovettuvasta betonista pois. Talvella liian nopeaa betonin kuivumista voi aiheuttaa kylmän ilman alhainen suhteellinen kosteus, tuuli ja liian kova lämmitysteho [13].

Lämmityslaitteet voivat olla sähkö-, polttoöljy- tai nestekaasukäyttöisiä [13]. Nestekaasutuottaa kiloa kohden 30 % enemmän energiaa (12,8 kWh) kuin polttoöljy. Nestekaasulämmitin on myös kevyempi kuin polttoöljylämmitin [14]. Esimerkiksi 55 kW:n suorapolttainen nestekaasulämmitin painaa noin 20 kg ja vastaava polttoöljylämmitin painaa noin 145 kg. 7,7 kW:n infrapunalämmitin painaa noin 3 kg [14]. Nestekaasu ei nokea, eikä siitä tule rikki-, raskasmetalli- tai myrkkypäästöjä kuten polttoöljystä. Nestekaasun palamistuotteet ovat vesihöyry ja hiilidioksidi. Polttoöljyn käytön energian lähteenä lämmittämiseen ei anna hyvännäköistä kuvaa rakennustyömaasta ainakaan kaupunki-/taajama-alueella. Pöri-sevä ja mustaa savua tuottava polttoöljymoottori työmaalla yötä päivää käynnissä olevana ei ole hyvää mainosta. Suoran sähköön käyttäminen suurella rakennustyömaalla lämmitykseen voi kuormittaa liikaa työmaan käyttösjähkolinjaa. Sähköllä lämmittäminen vaatisi oman sähkölinjan.

Nestekaasun käyttöön tulee tehdä selvitys paloviranomaiselle jos työmaalla on käytössä/varastossa yli 200 kg nestekaasua. Tällöin nestekaasun teknisestä käytöstä, käsittelystä ja/tai varastoinnista on tehtävä ilmoitus kunnan palopäällikölle, Helsingissä palotarkastajalle. Palotarkastajan on käytävä tarkastamassa kohde kolmen kuukauden kuluessa nestekaasun varastoinnin/käytön alkamisesta. Yli 5000 kg:n nestekaasun varastointiin tarvitaan erillinen lupa.[27.]

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös nestekaasuasetuksen soveltamisesta 21.4.1997/344:

Enintään 5000kg:n nestekaasumäärän varastoiminen tulee olla:

min. 5 metrin päässä toisen tontin rajasta, yleisestä liikenneväylästä, nestekaasuvaraston toimintaan kuulumattomista rakennuksista

min. 15 metrin päässä asuinrakennuksista, liikenteen solmukohdista

min. 25 metrin päässä kouluista, hotelleista, kerrostaloalueista, suuren väkijoukon kokoontumiseen tarkoitetuista rakennuksista (esim. suurmyymälät)

Kiinteän nestekaasusäiliön alla oleva ja sitä ympäröivä maa tulee olla tasattua ja puista ja kasvillisuudesta putsattua vähintään 3 metrin säteellä.[26.]

6.4 Valetun betonin lujuuden kehityksen seuranta

MK4-tartunnatonta jännemenetelmää käytettäessä betonin lujuuden tulee olla vähintään 25 MPa (=25 MN/m²) ennen kuin jännittämistyö voidaan aloittaa. Betonin lujuuden kehitys pystytään laskemaan sen iän ja siinä sillä hetkellä vallitsevan lämpötilan mukaan. Betonin lujuuden kehitykseen vaikuttaa mm. betonin koostumus. Betoni saavuttaa lopullisen lujuutensa noin 28 päivän ikäisenä, mutta se on tarpeeksi lujaa jännittämistä varten noin 3-7 päivän ikäisenä. Betoni saavuttaa noin 20 °C:ssa, 3-7 päivän ikäisenä 60...70 % 28 päivän lujuudestaan [21, s.111]. Betonitehtaassa tehdään käytettävästä betonista lujuuden kehityskäyrä. Puristuslujuuskokeiden perusteella lasketaan betonin suhteellinen lujuus nimellislujuudesta tietyn ikäisenä, tietyssä lämpötilassa. Eli kuinka monta prosenttia nimellislujuudestaan betoni on saavuttanut esim. kahden päivän ikäisenä. Lujuudenkehityskäyrän pystyakselille merkitään saavutettu lujuus nimellislujuudesta prosentteina ja vaakakselille lämpöastevuorokausisumma. Lämpöaste vuorokausisumma lasketaan kaavasta. [22, s.178].

$$N = \sum (T_b + 10) \Delta t$$

jossa: N=lämpöastevuorokausisumma, T_b = betonin lämpötila (vain lämpötilat yli 0 °C), Δt = kovettumisaika vuorokausina (d) ko. lämpötilassa. [22,s.178].

Kaavassa ei oteta huomioon alle 0 °C:n lämpötiloja. Tämä siksi että betonia ei yleensä päästetä alle 0 °C. Jännitetyssä rakenteessa muotin kiertoaika on lyhyt. Betonin on koveuttava lämpimässä, jotta suunniteltu muotinkiertoaika toteutuisi. Kaavaa käytettäessä on huomioitava, että betonin lujuus todellisuudessa kehittyy 0...20 °C:n lämpötilassa hitaammin kuin kaava antaa olettaa.[22,s.178.]

Tilkan Parkissa rakennussuunnitelmien mukaan betonin jännittämistöiden aloittamiseksi vaadittu lujuus oli K32 ja betonin lopullinen lujuus oli K40. Jos tämä betoni kehittäisi lujuuttaan 30 °C:ssa, saavuttaisi se yleisportlandsementtibetonille tehdyn käyrän mukaan K32 lujuuden noin 7,5 päivän ikäisenä [22,s.179, kuva 6.]. Tämä pätee siis normaalille betonille, mutta betonitehdaskohtaisesti on erilaisia betonisuhteutuksia, jolloin betonin lujuudenkehitystä saadaan nopeammaksi. Jännitetyissä rakenteissa käytettävä betoni on yleensä saavuttanut jännittämiseen tarvittavan lujuutensa keskimäärin 4 päivän ikäisenä [8]. Betonin lujuudenkehitystä voidaan nopeuttaa mm. lämmittämällä sitä. Tämä tapahtuu yleensä talvella, koska betonia lämmitetään sen jäätyksen estämiseksi. On kuitenkin huolehdittava siitä ettei betonia lämmitetä yli 50 °C, koska silloin sen lopullinen lujuus alenee (=lämpökäsittely).

Kun betonitehtaassa on käytetystä betonista tehty lujuudenkehityskäyrä, voidaan arvioida valetun betonin lujuus tietyllä hetkellä. Työmaalta tarvittava tieto on betonin ikä ja lämpötila samalla hetkellä. Tieto saadaan esim. asentamalla valettavaan rakenteeseen lämpötilamittareita eli dataloggereita, jotka on ohjelmoitu tallentamaan mitattu lämpötila esim. tunnin välein. Betonin lämpötilaan vaikuttaa myös betonin oma lämmönkehitys [18]. Iso rakenne, esim. palkki kehittää sisälleen lämpöä enemmän kuin esim. 20 cm paksu laatta. Betonin lämmönkehitykseen vaikuttaa myös vallitseva säätila (tuuli, lämpötila), sekä mahdollinen lisälämmitys talvella.

Mittaustulosten perusteella lasketaan betonin lämpöastevuorokausien määrä, ja lujuudenkehityskäyrästä pystytään arvioimaan betonin sen hetkinen lujuus. Dataloggerit asennetaan niin, että saadaan lämpötilatietoa jokaisesta rakenteen erilaisesta alueesta; rakenteen reuna-alueista, jänneankkureiden edustoista ja viimeisimpänä valetusta alueesta. Dataloggerit asennetaan palkki-laattarakenteessa palkkiin sekä laattaan. Palkissa dataloggeri asennetaan palkin päähän, sillä siihen kohdistuvat suurimmat jännitysvoimat jännittäessä. Palkin pään lujuudenkehityksen seuranta on siis tärkeää. Dataloggerit asennetaan mahdollisimman eri puolille valua ja ainakin viimeisenä valettavan palkin päähän sekä viimeisenä valettavan laatan osuuden ulkoreunaan, jänneankkurin eteen. Usein dataloggeriin asennetaan kolme johtoa, yksi mittaamaan ankkurin edustan lämpötilaa, toinen rakenneraudan lämpötilaa ja kolmas mittaamaan ulkoilman lämpötilaa. Kolmannen piuhan annetaan olla siis vapaasti ulkoilmassa.

Jos rakenne valetaan pakkas-aikaan, on lisälämmittämisessä tarkkailtava, ettei betonin lämpötila nouse yli 50 °C:n tai laske alle 5 °C:n. Tämä käy käytännössä niin, että dataloggerien näyttämää lämpötilaa käydään tarkistamassa usein ja arvioidaan sen mukaan lisälämmityksen tehon käyttömäärä. Samaan aikaan on myös seurattava sää- ja tuulien-

nusteita. Näiden perusteella arvioidaan valun jälkeinen lämmitysteho esimerkiksi yön yli aamuun. Aamulla käydään taas tarkistamassa betonin lämpötila.[18].

6.5 Jännityspöytäkirja ja jännitystyökalusto

Jännitystyöstä pidetään pöytäkirjaa, johon merkitään jänteenvoima ja kimmainen venymä jännittämisyksittain [10]. Jännityspöytäkirjaan merkitään jokainen jänne numeroituna ja jänteen pituus. Siihen merkitään myös rakennesuunnittelijan suunnittelemat voimat jokaisesta jännestä kohden, voimaa vastaava painemäärä, sekä näistä syntyvä teoreettinen kokonais- venymä ja sen suurimmat sallitut poikkeamat. Suurin sallittu poikkeama saa olla $\pm 5\%$ teoreettisesta venymästä [10]. Jännityspöytäkirjaan merkitään jännitystyövaiheessa jokaisen jänneteräksen rakenteesta ulos tuleva pituus, pituus jännittämisen jälkeen ja näiden erotus, joka on jänneteräksen venymä. Jännityspöytäkirjasta käy myös ilmi jännitystyön päivämäärä, rakenteen betonointipäivämäärä, betonin lujuus jännitettäessä, tunkin sylinterin pinta-ala (=tehollinen ala) ja painemittarin numero. [liitteet 4,5]

Jännittämispöytäkirjasta tulee käydä selville mm. jännepunoksen muovisuojausten tarkistus ja mahdolliset muovisuojausten korjaukset sekä jänteen aseman tarkistus kentässä ja tuella [16]. Nämä asiat tarkastetaan ennen valua, usein raudoitustarkastuksen yhteydessä.

Jännitystyökalusto tulee olla huolto-ohjeiden mukaisesti huollettu ja nestepumpun mittari, eli manometri kalibroitu ja siitä tulee olla kalibrointitodistus. Jännitystyön aikana tarkkailaan, että jännitystyökalusto toimii moitteettomasti

7 TYÖN PÄÄTTÄMINEN / TILAAJALLE LUOVUTETTAVA LAADUNVARMISTUSMATERIAALI JA MUUT LUOVUTUSASIAKIRJAT

Rakennekuvat

Tilajalle luovutetaan kaikki rakennusta koskevat kuvat. Näiden mukana ovat myös rakenneraudoituskuvat ja jänneteräskuvat.

Käyttöselosteet

Tilajalle annetaan kohteen luovutuksen yhteydessä jännitetyn rakenteen osalta käyttöseloste käytetystä jännemenetelmästä. Jänneteräksestä annetaan jänneteräksen käyttöseloste ja/tai jänneterästoimituksen yhteydessä tulleet, sertifioidut tehtaan omat jänneteräksen kestävyyskokeiden tulokset.

Kalibrointitodistus

Nestepumpun mittarin, eli manometrin tarkkuus on todistettava kalibroimalla. Kalibrointi on uusittava tarpeen mukaan [10,s.132]. Lemminkäinen Talo Oy:n Jännitysyksikön painemittarit kalibroidaan vähintään vuoden välein [1] [kuva 13].

Jännityspöytäkirjat

Kohteen kaikki jännityspöytäkirjat luovutetaan tilajalle. Niihin merkitään jokaisen jänteen suunniteltu vetojännitys ja venymä, sekä jännitystyössä toteutunut venymä, jolla on $\pm 5\%$ sallittu tarkkuus, eli toleranssi [10, s.132].

Huolto-ohjeet

Jäniteitä ei tarvitse varsinaisesti huoltaa millään lailla. Ohjeita voidaan antaa jos jälkeempäin tulisikin tarve tehdä rakenteeseen läpivientejä. Rakennetta ei saa timanttitorata, sillä timanttitorata saattaa katkaista jänteen. Palkkien läpi ei pidä jälkeempäin suunnitella läpivientiä pystysuuntaan. Palkeissa on jäniteitä hyvin tiheästi, joten olisi mahdotonta tehdä läpivientiä katkaisematta jännettä. Rakenteen laatasta tehtävä läpivienti jälkeempäin tehdään seuraavasti:

Katsotaan kuvista jänneiden teoreettinen sijainti. Valitaan tuleva reikä niin että se teoreettisesti osuu kohtaan, jossa ei ole jänneterästä. Valitaan reiän kohta niin, että reikä ei tule liian lähelle, noin 30 cm alueelle ankkurin edustaa. Tämä, koska ankkuri välittää jännitysvoimaansa heti eteensä kartionmuotoisesti leviävänä, ankkurin kulmasta 45 asteessa etenevänä. Heti ankkurin edessä voima on suurimmillaan. Reikä tehdään piikkaamalla. Piikkaustyö tulee suorittaa varovasti ja koko ajan tarkkaillen tuleeko esiin jänteen muovisuojus. Jos muovisuojus vahingossa rikkoutuu, tulee se alue puhdistaa ja teipata umpeen, voida kyseeseen myös piikata varovasti rikkoutuneen kohdan ympäriltä kokonaan betoni pois, jotta teippi saadaan kierrettyä kokonaan jänteen ympäri. Reikä tehdään sivummalle jänneestä ja paljastuneen jänteen alue puhdistetaan ja valetaan takaisin umpeen.

8 YHTEENVETO

Tämän insinööriyön tulokseksi saatiin muistilappu jännitystyön aloituspalaverissa läpikäytävistä asioista rakennustyömaalla.

Lemminkäinen Talo Oy Pääkaupunkiseudun jännitysyksikkö yleensä urakoi jännitystyöt Lemminkäisen omissa jännitettävissä kohteissa ja toimii siis työnjohtona jännitysurakoissa. Rakennustyömaan työnjohto organisoi koko työmaan toimintaa. Tässä insinööriyössä käytiin läpi asioita, joita rakennustyömaan työnjohto voi huomioida jännitystöiden laadun varmistamiseksi.

VIITELUETTELO

- [1] Lemminkäinen Talo Oy:n Jännitysyksikön jännitystöiden laadunvarmistus-suunnitelma, Jännitysyksikkö – Prestressing Unit, Upokaskuja 6-8 D, 01450, Vantaa, Finland, tel +35820715002, fax +358207156115
- [2] Marttila Ulla, diplomityö, Jännitettyjen betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan, Tampereen Teknillinen Yliopisto, rakennustekniikan koulutusohjelma, 2008-09-03
- [3] Lemminkäinen Talo Oy Jännitysyksikkö, Jännitettyjen rakenteiden suunnittelu- ja asennusohje, 2003
- [4] BY 3B Jännemenetelmän käyttöseloste, Jännemenetelmä: MK4 tartunnattomat jänteet, käyttöseloste n:o 91, 2009
- [5] BY 3B Jännemenetelmän käyttöseloste, Jännemenetelmä MK4, käyttöseloste n:o 92, 2009
- [6] Suomen Standardisoimisliitto SFS, STANDARDI, SFS-EN ISO 15630-3, Betoni- ja jänneteräkset. Koemenetelmät. Osa 3: Jänneteräkset
- [7] Nykyri Pekka, TkL, yliopettaja, Oulun seudun ammattikorkeakoulu, Betonirakenteet, EC2
- [8] Hänninen Reino, jännitysyksikön johtaja, Lemminkäinen Talo Oy Jännitysyksikkö, haastattelu 2010
- [9] jännitystunkit, pumput, www.Powerteam.com, www.osatek.fi,
luettu 22.4.2010
- [10] Betoninormit 2004, by 50 Suomen Betoniyhdistys ry, kustantaja Suomen betonitieto Oy, Helsinki 2009
- [11] Betonirakenteiden Käyttökäsuunnittelu 2007, by 51, Suomen Betoniyhdistys ry, kustantaja Suomen betonitieto Oy, Espoo 2007
- [12] Paikallavalettu jälkijännitetty pysäköintirakennus, Kestävä kivitalo-projekti, kustantaja Suomen Betonitieto Oy, Helsinki 2005
- [13] By 205, Jukka Uusitalo, Jouko Ihanamäki, Raimo Rajala, Olavi Vallin, Betonityöt, kustantaja Rakennustieto Oy, 1990
- [14] nestekaasu, www.aga.fi, luettu 22.4.2010
- [15] Suomen pelastusalan keskusjärjestön julkaisu, Tulitöiden turvallisuus, Tammer-Paino Oy, Tampere 1999
- [16] Suomen Betoniyhdistys ry, by 27, Tartunnattomat jänteet, Karisto Oy:n kirjapaino, Hämeenlinna 1988
- [17] Työsuojeluhallinto, Työsuojeluoppaita ja ohjeita 32
- [18] Betoplus-suunnittelu, www.kivitalo.fi, luettu 22.4.2010

- [19] Finlex 205
- [20] BY2B Jänneteräksen käyttöseloste, Käyttöseloste nro 297, Helsinki 2007
- [21] RIL 149-1983 Betonityöohjeet
- [22] RIL 149-1995
- [23] puhelinhaastattelu helmikuu 2010, Heikkinen Andrei, jänneasentaja, Etelä-Suomen Jänneraudoitus Oy
- [24] puhelinhaastattelu 2010, Vainio Juha, päärakennesuunnittelija, Ramboll
- [25] puhelinhaastattelu 2010, Tuulensuu Ville, myyntipäällikkö, Doka Finland Oy
- [26] www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/19970344, luettu 22.4.2010
- [27] Nestekaasuasetus, 26.7.1993/711, www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/19930711

MUISTILISTA JÄNNITYSTÖIDEN ALOITUSPALAVERIIN

- JÄNNITYSTÖIDEN AIKATAULU
Suunnitellut asennuspäivät, valupäivät, jännityspäivät
- VALMIIN ASENNUSTILAN MÄÄRÄ
Esim. montako asennettavaa palkkia saadaan valmiiksi kerrallaan
- JÄNTEIDEN ASENNUSPIIRUSTUKSET
Jänteiden kaarevuus, korot ja asennustoleranssit
- JÄNTEISIIN LIITTYVÄT RAUDOITUSPIIRUSTUKSET
Ankkureiden mahdolliset raudoitukset ja niihin liittyvät raudoitusjärjestykset
- RAUDOITTAJIEN JA JÄNNEASENTAJIEN TÖIDEN KESKINÄINEN TYÖJÄRJESTYS
- NOSTURIN TARVE
- JÄNNITYSKALUSTON SÄILYTYSTILANTARVE TYÖMAALLA
- TYÖNJOHDON TEKEMÄ KIRJALLINEN JÄNNERAUDOITUS-TARKASTUS ENNEN BETONOINTIA
- JÄNNITTÄMISTYÖTILA
- JÄNNITTÄMISLUPA JA TULITYÖLUPA
- BETONIN VAADITTU LUJUUS ENNEN JÄNNITTÄMISEN ALOITUSTA
- JÄNNITTÄMISVOIMAT JA VENYMÄT
- JÄNNITTÄMISJÄRJESTYS
- JÄNNITYSPÖYTÄKIRJA
- MAHDOLLINEN MUOTIN TUKIRAKENTEIDEN SÄÄTÖ TAI PURKU JÄNNITYSTYÖN AIKANA
- JÄNTEIDEN KATKAISUMENETELMÄ
- OMIEN ROSKIEN LAJITTELU JÄTEASTIOIHIN

TRENZAS Y CABLES DE ACERO PSC, S.L.

Test and analysis Laboratory
QUALITY CONTROL



TRENZAS Y CABLES
DE ACERO PSC, S.L.
Nueva Montaña s/n
38011 Santandreu
CANTABRIA - ESPAÑA
Telf: +34 942 310 310
Fax: +34 942 202 201

TEST CERTIFICATE FOR SEVEN-WIRE STRAND

CUSTOMER OY ALFRED A. PALMBERG AB
DELIVERY N° 26538003
OUR ORDER 16509912
NOM. CROSS SECTION 150,00 MM2
DESIGNATION STRAND 1630/1660 S7 150,0 mm2/Certificate 254

MATERIAL PC-s.unb. 15.70 right h.lay greas.unb.
NET WEIGHT 24,881 KG
NOM. DIAMETER 15.70 MM
LAY right hand lay

Coil N°	Heat N°	Gross Section mm2	Mass g/m	Breaking Load N/mm2	Proof 0,01% N/mm2	Proof 0,1% N/mm2	Proof N/mm2	Min. Load 1% Elong. N/mm2	Modulus Elasticity kN/mm2	Elongation. Max.Load %	Length. M	Net Weight KG
	Minimum	147,00	1163,96	1860,0			1630,00		186,00	3,50		
	Maximum	156,00	1224,60						206,00			
00765240	G506273701	149,71	1175,20	1864,3	1638,87		1668,01		196,40	5,30	2,287	2,074
00765241	G506273701	148,75	1175,50	1865,0	1603,22		1694,24		201,20	5,10	2,276	2,060
00765242	G506273701	148,73	1175,40	1867,1	1604,05		1695,35		201,20	5,10	2,327	3,030
00765288	G506273701	148,76	1175,60	1870,2	1606,42		1700,77		201,30	5,20	2,322	3,022
00765288	G506273701	148,76	1175,60	1865,8	1635,00		1702,10		198,70	5,20	2,263	2,945
00765313	G506273701	149,72	1175,30	1863,5	1634,65		1701,77		198,50	5,10	2,112	2,748
00765331	G506273701	148,76	1175,50	1869,6	1633,11		1703,88		198,70	5,30	2,281	2,988
00765352	G506273701	148,77	1175,70	1876,5	1662,72		1709,84		198,60	5,20	2,131	2,774
00765384	G506273701	148,76	1175,60	1876,2	1642,87		1709,41		197,70	5,30	1,122	1,460

CHEMICAL COMPOSITION

Heat N°	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)
G506273701	0,186	0,550	0,301	0,022	0,013

This certificate has been validated through our Information System

Suunnittaja Ramboll Finland Oy		JÄNNITTÄMISTÖIDEN SUUNNITELMA Yleinen osa		Lomake 1	Sivu 1
Kohde KOY Tiikan sairaala, Tiikan Parkki				Liittyi piirustukseen nro H15721-R++K3RO28	
1	Jännittemenetelmä	MK4 tartunnattomat jänteet			
2	Jänteet ja niiden laskenta-arvot	Jänteetyppi 1	0,6° S (15,7 mm)	Pinta-ala	150 m ²
		Jänteetyppi 2		Pinta-ala	m ²
		Jänteetyppi 3		Pinta-ala	m ²
		Jänteetyppi 4		Pinta-ala	m ²
		Lujakuusika		Nimeskerois	m ²
		St	1570/1770	Ep	195000
		Rakenteen		Antokausku	
		β	0,05	β	0,02
		Relatiivista 1000:		Lopullinen	
		<input checked="" type="checkbox"/> ζ	≤2,5 %	<input type="checkbox"/> ζ	%
3	Betonin väcittu lujuus jännittämisselkeillä	Kt ≥32 MPa ^c			
4	Jännittämisselkestys	<input checked="" type="checkbox"/> Lomakkeen 2 mukaan <input type="checkbox"/> liitteen n:o _____ mukaan			
5	Suurin sallittu jännittämisselkeinä	Suurin sallittu jännittämisselkeinä P _{max} on 1,05-kertainen laskettu voima P _s tai P _g P _s = 0,198 MN			
6	Esikriestysvoima	Esikriestysvoimana käytetään <input type="checkbox"/> P _____ MN <input checked="" type="checkbox"/> 0,1 PA ankkurilla A, 0,1 PB ankkurilla B Venyvät liitetään ja mitataan silloin <input type="checkbox"/> Esikriestysvoimasta <input type="checkbox"/> Vuonesta P=0			
7	Venymin sisältyvät muodonmuutokset	Lomakkeesta 2 annettuihin venymiin A ja B sisältyy Ankkurikappaleen ja puristimen uuttimen venymä _____ mm Jännittämisselkeisten muodonmuutos _____ mm Kiinteän ankkurin muodonmuutos _____ mm Jänteen osuus rakenteen kimmelisestä kokoepuristumasta _____ mm Vuu _____ mm päästö _____ mm _____ mm _____ mm Σ 0 mm Jännittämisselkeiden kikkahäviö _____ mm ja se on huomioitu arvoissa AA ja AB lomakkeessa 2			

B04 © Rakentajan Kustannus Oy puh. 90-848133

JÄNNITYSLISTAT ON KIRJOITETTU
UUELLEEN PUNOSKOHTAISINA.

Leino Anttonen

PAAP OY ALFRED A. PALMBERG AB

Jännitysvalvonta, Upseerikatu 6 - 5 D, 01400 VANTAA (Tuusula)
Puh. 02071 5002 Fax 02071 56115
esoinmi.suominen@palMBERG.com

JANNITYSPOYTTAKIRJA

KOY Tilkan sairaala, Tilkan parkki, Helsinki

K2:n katto A-C/1-9, laattajälteet 1D15,7

RAK H15721
LIITTYY PIIRUSTUKSEEN R++K2R029

JÄNNEMENETELMÄ:	MK4	BET. LUVUUS JÄNNITETTÄESSÄ:	Y1 32 Mpa
BETONONTIPÄIVÄMÄÄRÄ:	22.7.2008	JÄNNITYSPÄIVÄMÄÄRÄ:	25.7.2008
TUNNIN SYLINTERI [cm²]:	40,08 (MK4-Artow)	MITTARIN NUMERO:	1003047
AKTIVIAIKK. LUKITUSLUKUMA:	5 mm		
PASSIIVIAIKK. LUKITUSLUKUMA:	5 mm		

Alfred A. Palmberg

Vastava jännitystyön johtaja:

Mittarun paineen ja jännevoiman vastaavuuksista vastaa jännitysvalvontaja

VENYMÄ MITATAAN JÄNNITYSTYÖN PÄÄTTYÄ. -> PÖYTÄKIRJASSA OLEVA KOKONAISVENYMÄ - VENYMÄ + PASS-ANKKURIN LUKITUSLUKUMA - AKT,ANKKURIN LUKITUSLUKUMA JÄNNITTÄMISJÄRJESTYS ON ESITETTY TALUKON OIKEASSA REUNASSA.	YHTEENVETO PUNOKSISTA 155 kpl 4805 jn
---	---

20.7.2008

KOHDE: KOY Tikon sairaala, Tikon parkki, Helsinki
K2:n katto A-C/1-9, laattajäljät 1D15,7

LOHKO:

PUNOS N:o	PITUUS [mm]	VOIMA [kN]	PAINE [bar]	KOKONAISVENYMÄ		VENYMÄ 20%-100% ennen luk. luk. jälk.	MITTAUS (kaiken Po=0 tai 20%) aku ennen luk. luk. jälk. erotus		YHTEENVETO erotus [%] ok?	JÄNN.- JÄRJ.
				min	teor. max		aku	erotus		
C-E/1-8										
1	44630	187	471	254	267	280	397	685	268	1
2	44632	187	471	254	267	280	423	704	281	135
3	44542	187	471	253	266	279	489	740	271	134
4	44434	187	471	253	266	279	462	736	274	2
5	44478	187	471	252	265	278	442	720	278	133
6	44431	187	471	252	265	278	388	661	273	132
7	44334	187	471	251	264	277	398	669	271	3
8	44333	187	471	251	264	277	415	690	275	131
9	44238	187	471	250	263	276	435	711	276	130
10	44256	187	471	250	263	276	438	705	269	4
11	44211	187	471	250	263	276	487	772	275	129
12	44158	187	471	250	263	276	424	698	274	128
13	44112	187	471	250	263	276	416	692	276	5
14	44065	187	471	250	263	276	385	655	269	127
15	44020	187	471	249	262	275	441	712	271	126
16	43974	187	471	249	262	275	381	650	269	6
17	43929	187	471	249	262	275	385	650	265	125
18	43882	187	471	249	262	275	373	641	268	124
19	43836	187	471	249	262	275	342	604	262	7
20	43790	187	471	249	262	275	373	638	265	123
21	43762	187	471	248	261	274	347	619	272	122
22	43734	187	471	248	261	274	378	646	268	8
23	43706	187	471	248	261	274	425	693	268	121
24	43678	187	471	248	261	274	368	641	273	120
25	43650	187	471	248	261	274	409	672	269	9
26	43622	187	471	248	261	274	357	621	264	119
27	43594	187	471	247	260	273	384	662	268	118
28	43566	187	471	247	260	273	365	635	270	10

JPK K2 katto, laattajäljät KORJATTU VERSIO EUGENY.ai

2 (6)

Kalibrointitodistus LYTH 23712/02

Yksilötunnus 160100

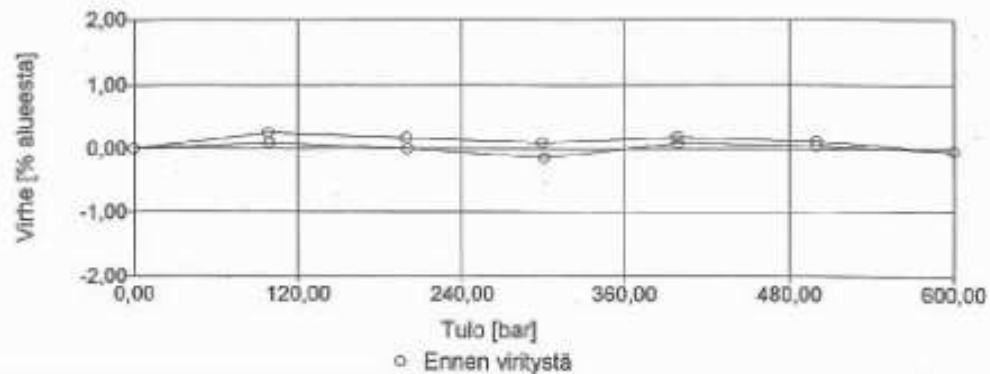
Mallin nimi

Asiakkaan tilaus N:o 6003/JÄMMITYSTYÖT

Toiminnon nimi	Painemittari	Sarjanumero	160100
Positiotunnus		Tulon alue	0...600bar(g)
Asiakas	OY ALFRED PALMBERG AB	Lähdön alue	0...600bar(g) Lineaarinen
Valmistaja		Maksimivirhe virityksen jälkeen	% alueesta

KALIBROINTITIEDOT

Tulon kalibraattori	PC 104P S/N 1928	Kalibrointipäivä	18.2008 8:57:34
Tulon moduuli 1	XPM500 S/N 69477	Ympäristön lämpötilä	24 °C
Tulon moduuli 2		Ympäristön kosteus	46 %
Lähdön kalibraattori	PC 104P S/N 1928	Maksimivirhe ennen viritystä	0,2467 % alueesta
Lähdön moduuli 1		Maksimivirhe virityksen jälkeen	
Lähdön moduuli 2			



KALIBROINTITULOKSET: Ennen viritystä(1)

Tulo [bar(g)]	Lähdön alue [bar(g)]	Lähdön virhe [bar]	Lähdön virhe [% alueesta]	Hyväksytty
0,00	0,00	0,0000	0,0000	
99,50	100,00	0,5000	0,0833	
200,00	200,00	0,0000	0,0000	
300,85	300,00	-0,8500	-0,1417	
399,50	400,00	0,5000	0,0833	
499,75	500,00	0,2500	0,0417	
600,3	600,00	-0,3000	-0,0500	
499,30	500,00	0,7000	0,1167	
398,90	400,00	1,1000	0,1833	
299,45	300,00	0,5500	0,0917	
199,00	200,00	1,0000	0,1667	
98,52	100,00	1,4800	0,2467	
0,00	0,00	0,0000	0,0000	

Kalibroija

Teesa Hujanpää

LYTH-INSTRUMENT OY AB

