

**JÄNNITETTYJEN PAIKALLAVALUHOIVIEN TOTEUTUS
TALONRAKENNUKSESSA**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri (AMK), Hämeenlinnan
korkeakoulukeskus
syksy, 2020
Juhani Kuittinen

Tekijä	Juhani Kuittinen	Vuosi 2020
Työn nimi	Jälkijännitettyjen paikallavaluholvien toteutus talonrakennuksessa	
Ohjaajat	Hannu Fagerlund (Hamk), Rami Tervo (Hamk), Janne Hanka (RakenneStudio Oy), Juha Mäkinen (Fira Oy)	

Opinnäytetyön tavoitteena oli koota työmaahenkilöstölle tiedot paikallavalettujen jälkijännitettyjen betonirakenteiden periaatteista, käytännön toteutuksesta sekä laadunvarmistuksesta. Paikallavaaletut jälkijännitetyt betonirakenteet mahdollistavat pitkät jännevälit sekä matalat, kevyet ja taloudelliset rakenteet. Ne soveltuvat vaativiin talonrakennuskohteisiin kuten pysäköintilaitoksiin, pihakansilaattoihin sekä kauppakeskuksiin, joissa vaaditaan hyvää kuorman kestoa, tilasuunnittelun joustavuutta sekä pitkää käyttöikää. Opinnäytetyön aineisto on kerätty Espoon Tapiolassa allianssikohteena toteutettavassa Raitinkartano-kohteessa, jonka tilaaja on Merimieseläkekassa, rakennesuunnittelija Sweco Oy ja päätoteuttaja Fira Oy. Opinnäytetyön tilaaja on Fira Oy.

Jännerakenteiden toteutus työmaalla vaatii toteutusorganisaatiolta, suunnittelijoilta, työnjohdolta ja työntekijöiltä erikoisosaamista. Suomessa talonrakennuksessa käytetään sekä tartunnattomia että tartunnallisia jälkijännitettyjä jännemenetelmiä. Tartunnallinen menetelmä antaa rakenteelle suuremman kapasiteetin, mutta on työläämpää ja hitaampaa toteuttaa kuin tartunnattomat jännemenetelmät. Jännebetonirakenteiden laadunvarmistusta ohjaavat eurooppalaiset standardit. Jännemenetelmillä ei ole harmonisoitua tuotestandardia. Jännemenetelmän ja sen osien pitää olla joko ETA-hyväksynnän, kansallisen tuotehyväksynnän tai rakennuspaikkakohtaisen selvityksen mukaisia. Jännemenetelmän ETA-hyväksynnässä voi olla vaatimuksia myös työn suorittajien pätevyyksille.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi jälkijännitettyjen paikallavalurakenteiden toteutusta varten tietopaketti, joka sisältää laadukkaan jännerakenteen aikaansaamiseksi tarvittavat teoriatiedot, kuvauksen työvaiheista sekä laadunvarmistuksen vaatimukset.

Avainsanat Työmaatekniikka, talonrakennus, tartunnattomat jälkijännitetyt jännerakenteet, tartunnalliset jälkijännitetyt jännerakenteet

Sivut 95 sivua

Author Juhani Kuittinen

Year 2020

Subject Executing the post-tensioned concrete structures in building construction

Supervisors Hannu Fagerlund (Hamk), Janne Hanka (RakenneStudio Oy), Juha Mäkinen (Fira Oy), Rami Tervo (Hamk)

ABSTRACT

The goal of this thesis was to compile information about principles, execution and quality assurance of in-situ post tensioned concrete structures for construction site personnel. Post tensioned concrete structures enable long spans, low, lightweight and economic constructions. They are used in demanding building projects as parking garages, deck slabs and shopping centers where good load bearing, flexibility in design and long working life is demanded. The material of this thesis was collected on the construction site of Raitinkartano, which is an alliance project of Merimieseläkekassa as the subscriber, Sweco Oy as the construction designer and Fira Oy as the building contractor. The commissioner of the thesis is Fira Oy.

Executing post-tensioned structures on construction site demands special know-how from proceeding organization, designers, supervisors and assemblers. In Finnish building construction both unbonded and bonded post tensioning methods are used. Bonded methods give the construction bigger capacity but are also more laborious and slower to execute than unbonded methods. Quality assurance of post-tensioned structures is guided by European standards. Post-tensioning systems don't have harmonized product standard. Post-tensioning system and its parts need to be compatible with either ETA-approval, national product approval or location-specific verification. In the ETA-approval of a post-tensioning system there can be requirements also to competence of the site personnel.

The thesis process resulted in a compiled information kit that contains essential information about theory, description of process and demands of quality assurance to execute in-situ post tensioned concrete structures of high quality.

Keywords Site technology
 Building construction
 Unbonded post-tensioned concrete structures
 Bonded post-tensioned concrete structures

Pages 95 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Jännebetonirakenteen perusteet	1
2.1	Periaate	1
2.2	Käyttökohteet	2
2.3	Esijännitetyn menetelmän tartuntajännebetoni	3
2.4	Jälkijännitetty, tartunnallinen ankkurijännebetoni	4
2.5	Jälkijännitetty, tartunnaton ankkurijänne	5
2.6	Talonrakennuksen paikallavaletut jännerakenteet	6
2.6.1	Palkkilaatta	6
2.6.2	Arinalaatta	7
2.6.3	Pilarilaatta	7
2.6.4	Siirtolaatta	9
2.7	Jännepunosten geometria	10
2.8	Jännepunosten layout	11
2.9	Laatan kutistuminen ja irrotus	12
2.10	Jälkijännitettyjen menetelmien vertailu	14
2.11	Jännitettyjen rakenteiden edut	16
2.12	Jännitettyjen rakenteiden haasteet	17
2.12.1	Pätevyysvaatimukset	17
2.12.2	Jälkikiinnitys	18
2.12.3	Jännerakenteiden palonkestävyys	19
2.13	Jänneeräkset	20
2.14	Ankkurit ja ankkurointialueet	21
2.15	Jännepunosten suojaputket	24
3	Jännebetonirakenteen toteutus	24
3.1	Case kohteen esittely	24
3.2	Suunnitelmat	26
3.3	Betoniraidotteet	27
3.4	Jännebetonirakenteen muotit	29
3.4.1	Muottien rakentaminen	29
3.4.2	Muotin tuenta	32
3.4.3	Muottien tarkastus	35
3.4.4	Maanvarainen laatta: ennen holvitöitä vai holvitöiden jälkeen?	36

3.5	Laakerit.....	36
3.6	Pystypintojen irrotukset sekä tartuntojen irrotusputket	38
3.7	Varaukset	39
3.8	Holvin alapinnan tartunnat	41
3.9	Pilareiden lävistysvahvikkeiden raudoitus.....	42
3.10	Palkin raudoitus	43
3.11	Laatan alapinnan raudoitus	45
3.12	Aktiiviankkurien asennus	45
3.13	Reunan raudoitus.....	47
3.14	Punokset.....	49
	3.14.1 Punospiirustukset.....	49
	3.14.2 Punosten käsittely ja varastointi	50
	3.14.3 Tartunnattomien punosten valmistelu asennusta varten	51
	3.14.4 Punosten tuenta.....	53
	3.14.5 Tartunnattomien punosten asennus	54
3.15	Ankkurointialueen raudoitus	56
3.16	Tartunnallisten punosten suojaputkien asennus.....	59
3.17	Tartunnallisten punosten asennus suojaputkiin.....	62
3.18	Tartunnallisten punosten valuun upotettavat passiivipäät.....	62
3.19	Laatan yläpinnan raudoitus ja tartunnat	63
3.20	Injektoitavien jänteiden suojaputkien veden- ja ilmanpoistoletkut.....	64
3.21	Pilaritartuntojen irrotusten injektointiletkut.....	65
3.22	Yläpinnan tartunnat	66
3.23	Raudoitustarkastus	67
3.24	Tarkemittaukset	68
3.25	Betonointi.....	68
	3.25.1 Betonimassan valinta	68
	3.25.2 Betonointi.....	70
	3.25.3 Väli- ja jälkihoito.....	71
	3.25.4 Puristuskoekappaleet.....	72
	3.25.5 Lujuuden kehitys ja seuranta	72
3.26	Jännitystyöt	73
	3.26.1 Jännityslujuus	73
	3.26.2 Jännitysolosuhteet	73

3.26.3	Jännitysjärjestys	73
3.26.4	Jännitystyö ja venymän mittaus.....	74
3.26.5	Venymien tarkastus ja jännityspöytäkirjan hyväksyminen.....	79
3.27	Tartunnallisten jänteiden injektointi	81
3.27.1	Injektointilaastin testaus.....	81
3.27.2	Injektoinnin työvaiheet	82
3.28	Punosten ja ankkureiden jälkityöt	86
3.29	Muottien purku	87
3.30	Tartuntojen juotos ja injektointi	88
3.31	Halkeamien injektointi	88
3.32	Jälkikiinnitys ja läpivientien poraus jälkijännitettyyn laattaan	89
4	Jännerakenteiden laatu	90
4.1	Toteuttajan laadunvarmistus.....	90
4.2	Jännitysjärjestelmästä vaaditut tiedot ja dokumentit	92
4.3	Käytettävät standardit	93
5	Johtopäätökset	95
	Lähteet.....	96

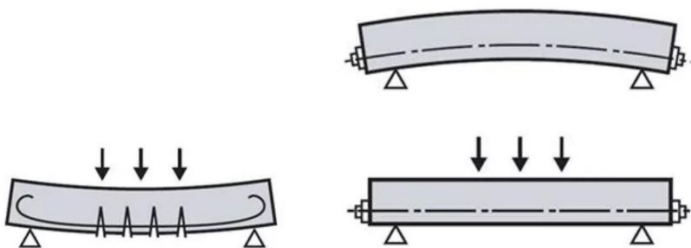
1 Johdanto

Jälkijännitetyt betonirakenteet soveltuvat vaativiin talonrakennuskohteisiin, joissa vaaditaan hyvää kuorman kestoja, tilasuunnittelun joustavuutta sekä pitkää käyttöikää. Niiden toteutus vaatii erikoisosaamista toteutusorganisaatiolta, suunnittelijoilta, työnjohdolta sekä työntekijöiltä. Tämän raportin tarkoitus on koota talonrakennuksen työmaahenkilöstölle tietopaketti jälkijännitettyjen betonirakenteiden periaatteista, käytännön toteutuksesta sekä laadunvarmistuksesta. Perusteissa esitellään, miten jännerakennejärjestelmä ja sen osat toimivat. Käytännön osuudessa käydään läpi jännitetyn holvin toteutuksen työjärjestys. Laadunvarmistuskappaleessa esitellään vaaditut laadunvarmistusdokumentit ja toteutusta ohjaavat standardit. Opinnäytetyön aineisto on kerätty Espoon Tapiolassa allianssikohteena toteutettavassa Raitinkartano-kohteessa, jonka tilaaja on Merimieseläkekassa, rakennesuunnittelija Sweco Oy ja päätoteuttaja Fira Oy, joka on myös opinnäytetyön tilaaja. Jännitettyjä holvirakenteita on toteutettu rakennuksen viiteen betoniholviin.

2 Jännebetonirakenteen perusteet

2.1 Periaate

Jännitetty betonirakenne on betonirakenne, johon on jännitetyllä raudoituksella pantu vaikuttamaan puristavia voimia edullisen jännitys- ja muodonmuutostilan aikaansaamiseksi (kuva 1) (By 201, 2018, s. 381).



Kuva 1 Jännittämätön ja jännitetty teräsbetonirakenne (Shivam, 2017).

Kun jännitetyn betonirakenteen jännepunoksilla aikaansaatuun puristusjännitystilaan yhdistetään ulkoisesta kuormituksesta aiheutuva jännitystila, pysyy poikkileikkaus puristettuna tai sellaisessa tilassa, että syntyy vain pieniä vetojännityksiä, jotka eivät aiheuta merkittävää halkeilua (By 210, 2005, s. 587). Jännebetonin tekemisessä käytetään kolmea eri tapaa sen perusteella, miten jännitysvoima välittyy rakenteeseen:

1. tartuntajännebetoni
2. ankkurijännebetoni, joita toteutetaan kahdella tavalla:
 - a. jälkijännitetty, tartunnallinen ankkurijännebetoni
 - b. jälkijännitetty, tartunnaton ankkurijännebetoni

(By 201, 2018, s. 381)

Lisäksi voidaan jännitetyt rakenteet jakaa sen mukaan, miten jännitysvoima toteutetaan, esijännitetyksi tai jälkijännitetyksi menetelmäksi. Esijännitetyssä menetelmässä jännepunokset jännitetään suunniteltuun venymään ja kiinnitetään jännityspukkiin tai muottiin, jonka jälkeen betoni valetaan jännitettyjen punosten ympärille. Jälkijännitetyssä menetelmässä vaijerit asennetaan jännittämättöminä rakenteeseen raudoitusvaiheessa ja jännitys tapahtuu valun jälkeen ja betonin kovettuttua tarpeeksi rakenteen päässä olevia ankkureita vasten. (By 210, 2005, ss. 622-623)

2.2 Käyttökohteet

Esijännitetyt tartuntajännerakenteet soveltuvat hyvin elementtien tehdasmaiseen rakentamiseen (By 201, 2018, s. 381). Jälkijännitetyt rakenteet puolestaan ovat pääasiassa työmaalla paikallavaluna toteutettavia rakenteita. Ankkurijännerakenteita käytetään etenkin suuria jännevälejä vaativissa rakenteissa, kuten pysäköintilaitosten sekä kauppakeskusten palkeissa ja laatoissa. Muita käyttökohteita ovat pihakansilaatat ja sillat sekä erikoisrakenteet, kuten jännitetyt säiliö- ja rakenteet. (Suominen, 2019, s. 5). Jännebetonirakenteita käytetään myös altaissa, padoissa, putkissa, vesitorneissa, majakoissa, laitureissa, ponttoneissa, uivissa telakoissa, öljynporauslautoissa, painesäiliöissä, ydinreaktoreiden suojarakenteissa, maa- ja kallioankkureissa (By 201, 2018, s. 388). Tartunnattomia jänteitä käytetään erityisen paljon laattarakenteiden

jännittämisessä, kun kuormat pysyvät pieninä (Tuomola, 2016, s. 4). Tartunnallisia ankkurijännemenetelmiä käytetään siltarakenteissa (kuva 2) sekä talorakenteiden erikoiskohteissa (kuva 3), joissa vaaditaan suuria määriä jännepunoksia. (By 201, 2018, s. 388), (Suominen, 2019, s. 5).



Kuvat 2-3 Tartunnallisen jännepunoksen käyttökohteita: sillat (Liikennevirasto, 2017) ja talonrakennuksen erikoiskohteet.

2.3 Esijännitetyn menetelmän tartuntajännebetoni

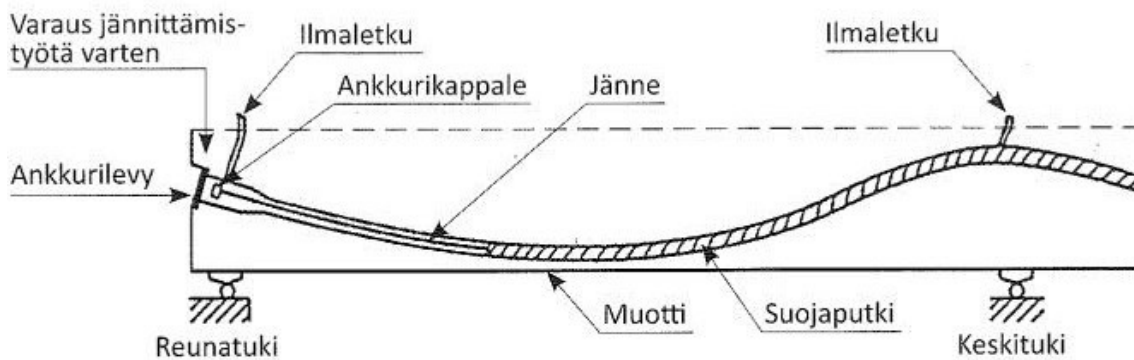
Esijännitetyn menetelmän tartuntajännebetonirakenteissa jänteet ovat suorat ja erillään toisistaan hyvän tartunnan saavuttamiseksi. Ontelolaattaelementit tehdään liukuvaluna pitkien valupetien päällä (kuva 4). Jänteet jännitetään valualustalla tai muotissa ennen valua ja ankkuroidaan alustan päissä oleviin kiinnityslaitteisiin. Kun betoni on saavuttanut riittävän suunnittelijan määrittelemän lujuuden, voidaan jänteet päästää irti kiinnityslaitteista. Elementin koko pituus sahataan halutuiksi elementeiksi. Jokaisen katkaisukohtaan syntyy ankkurointivoimia tartunnan avulla. (By 210, 2005, ss. 596, 601), (By 201, 2018, ss. 381, 442)



Kuva 4 Ontelolaattapeti elementtitehtaassa (Penttinen, 2020, s. 13).

2.4 Jälkijännitetty, tartunnallinen ankkurijännebetoni

Jälkijännitettyssä tartunnallisessa ankkurijännebetonissa on tartunnalliset jänteet eli injektointijänteet (kuva 5). Tartunnallisia jänteitä käyttäen voimat siirtyvät sekä ankkureiden (kuva 6) että tartunnan kautta rakenteeseen. Tartunnallisia jänteitä käyttämällä pystytään saavuttamaan rakenteen lopputilanteen suurempi kestävyys jänteiden tartunnan ansiosta kuin tartunnattomia jänteitä käyttämällä. (Määttä, 2018, s. 13), (Janne Hanka, henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2020) Toisaalta injektoitujen ankkurijännerakenteiden halkeamaleveysvaatimukset ovat tiukemmat verrattuna tartunnattomiin jänteisiin (SFS EN 1992, 2015, s. 118).



Kuva 5 Tartunnallinen jännebetonirakenne (By 201, 2018, s. 382).

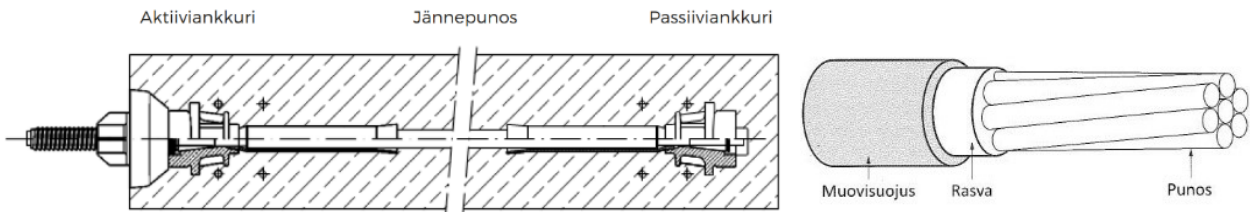
Injektoitavat jännerakenteet toteutetaan suojauputkien avulla, joilla tehdään varaukset betonirakenteeseen valun ajaksi. Jänneteräkset voidaan syöttää suojauputkiin joko ennen valua tai valun jälkeen. Yhteen suojauputkeen syötetään useita jänneteräksiä. (Suominen, 2019, s. 8) Kun betoni on kovettunut riittävästi, kanaviin pujotetut jänteet jännitetään. Jännitetyt punokset ankkuroidaan ensin kiilaamalla jännepunokset ankkurikappaleisiin ja sen jälkeen injektoimalla juotoslaastilla. Juotoslaasti välittää tartuntavoimat kaapelilta betonirakenteelle niiden välisen kitkan avulla sekä vähentää myös jänteiden korroosioitumista ja parantaa rakenteen halkeilukestävyyttä. (By 201, 2018, s. 382), (By 210, 2005, s. 623) Injektointi tapahtuu pumppaamalla injektio-laasti suojauputken sisään ankkurikappaleen päässä olevasta liittimestä.



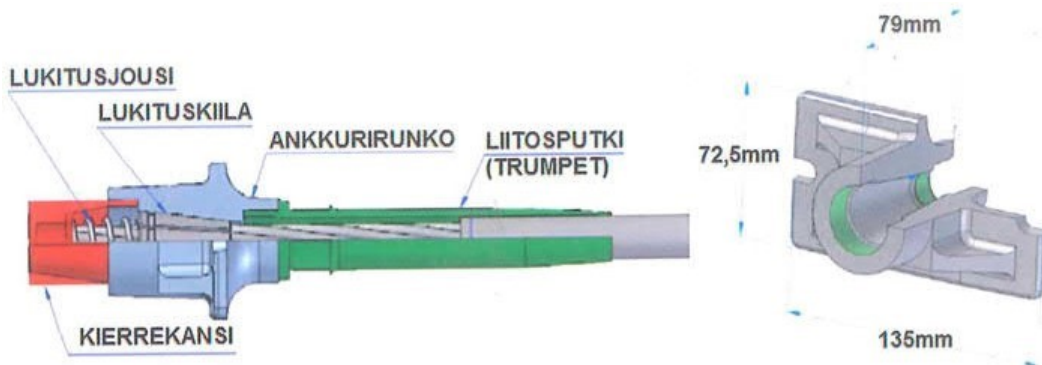
Kuva 6 Tartunnallisen jännejärjestelmän komponentteja (Kärki, 2018, s. 10).

2.5 Jälkijännitetty, tartunnaton ankkurijänne

Tartunnaton menetelmä (kuva 7-8) on Suomessa yleisin jännemenetelmä talorakenteissa (Suominen, 2019, s. 5). Tartunnattomissa jännebetonirakenteissa betonin ja jänneteräksen välinen tartunta estetään tarkoituksella. Jänneteräksen ja suojauputken välistä kitkaa pienennetään käyttämällä niiden välissä vaseliinia tai muuta rasvaa. Näin jännevoima siirtyy rakenteeseen vain ankkurin välityksellä. (By 210, 2005, s. 624) Rasvapunokset esivalmistetaan jo tehtaalla (Suominen, 2019, s. 7). Tartunnattomien jänteiden päihin sijoitetaan ankkurit: passiivi- ja aktiiviankkuri (kuva 9). Aktiiviankkuri sijoitetaan siihen päähän, jossa jännitystyö suoritetaan. Vastakkaiseen päähän sijoitetaan passiiviankkuri. Jänneteräkset jännitetään betonin kovettumisen jälkeen jännityskalustolla, joko yksitellen tai ryhmissä. Ankkurin sisällä sijaitsevalla kiilalla lukitaan jänneteräs paikoilleen jännityksen jälkeen. Jänneteräksen lukituksella ankkurikappaleen kautta voimat siirtyvät betoniin. (Määttä, 2018, s. 17)



Kuvat 7-8 Tartunnattoman järjestelmän periaatekuva (Docplayer) ja tartunnaton jännepunos (By 69, 2017, s. 17).



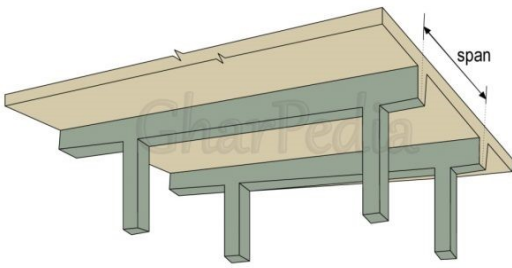
Kuva 9 Tartunnaton jänne ja ankkuri (By 69, 2017, s. 64).

2.6 Talonrakennuksen paikallavaletut jännerakenteet

Jännitettyjä vaakarakenteita voidaan suunnitella eri rakennetyypeillä: palkkilaatta, arinapalkisto, pilarilaatta tai siirtolaatta, jotka ovat yleisimmät rakennetyypit (Määttä, 2018, s. 20).

2.6.1 Palkkilaatta

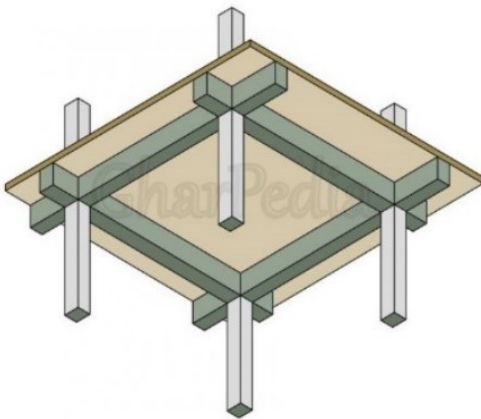
Palkkilaatta (kuva 10) on rakenne, joka koostuu vaakasuunnassa palkista sekä laatasta ja pystysuunnassa tämä rakenne tuetaan yleensä seinillä tai pilareilla. Palkkilaatat ovat yleensä hyvä vaihtoehto, kun suunnitellaan pysäköintilaitoksia. (Määttä, 2018, s. 20)



Kuva 10 Palkkilaatta (Gharpedia, 2018).

2.6.2 Arinalaatta

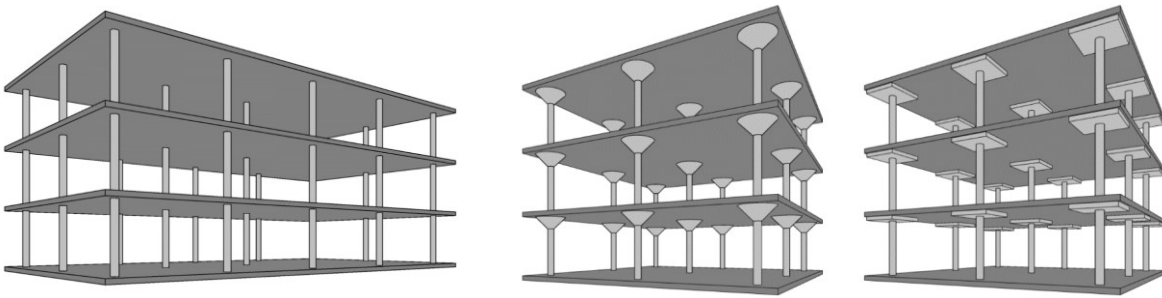
Arinapalkisto (kuva 11) syntyy isoista palkeista, jotka muodostavat yhdessä arinamaisen rakenteen. Palkkien pituudet vaihtelevat niiden sijainnin mukana. Jänteet sijoitetaan palkkeihin. Kuormat siirtyvät arinamaisen rakenteen myötä rakenteen molemmissa vaakasuunnissa. (Määttä, 2018, s. 20)



Kuva 11 Arinalaatta (Gharpedia, 2018).

2.6.3 Pilarilaatta

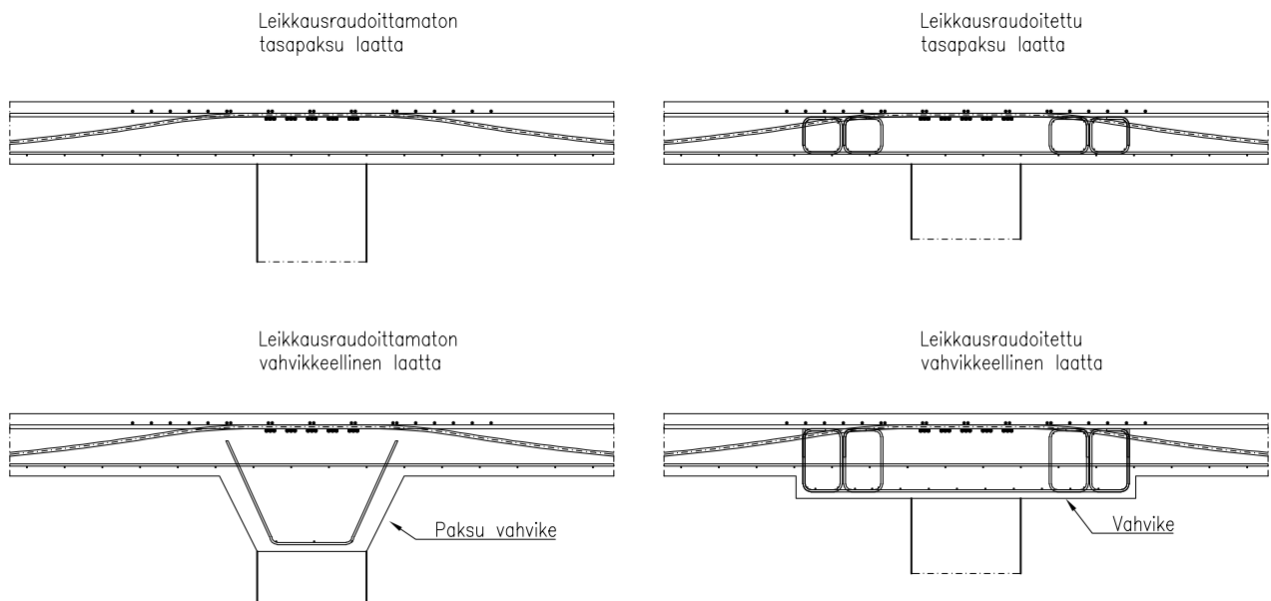
Pilarilaatalla (kuva 12) tarkoitetaan suoraan pilareihin tukeutuvaa tasapaksua tai yhdensuuntaista laatta- tai sienivahvistettua betonilaattaa (Tuomola, 2016, s. 44). Laatta raudoitetaan ja jännitetään, mutta pilarit vain raudoitetaan tavallisesti harjateräksiä käyttäen (Määttä, 2018, s. 20).



Kuva 12 Pilarilaatta (Toriseva, 2014, s. 2).

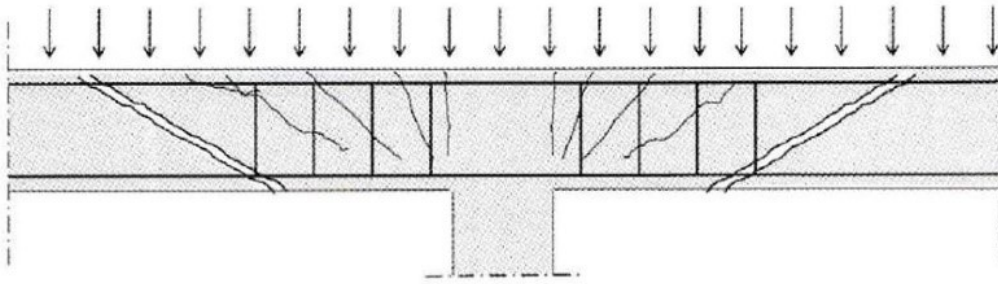
Pilarilaatan lävistysvahvike voidaan yleisesti toteuttaa seuraavin tavoin (kuva 13):

- Leikkausraudoittamaton tasapaksu laatta
- Leikkausraudoitettu tasapaksu laatta
- Leikkausraudoittamaton laatta vahvikkeella
- Leikkausraudoitettu laatta vahvikkeella. (Heiskanen, 2018, ss. 2-3)



Kuva 13 Jälkijännitetyn laatan lävistysvahvikkeet (Heiskanen, 2018, s. 3).

Leikkausraudoitetussa laatussa lävistysmurto (kuva 14) siirtyy kauemmas pilarista kasvattaen näin murtokartion piiriä sekä pinta-alaa ja parantaa näin lävistyskestävyyttä (Kallio, 2018, s. 31).

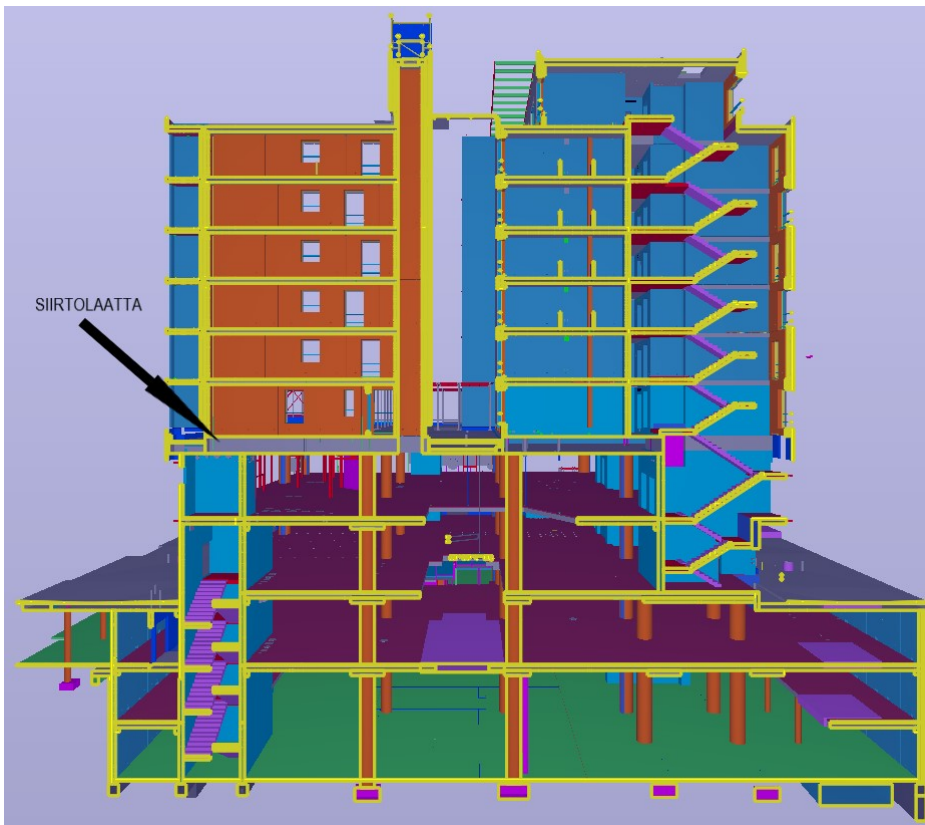


Kuva 14 Lävistysvahvikkeen murtomekanismi (Kallio, 2018, s. 31).

Suomessa pilarilaattarakennetta käytetään pääosin toimisto- ja pysäköintirakennuksissa. Pilarit riittävät harvoin yksinään pilarilaatan jäykistämiseen. Pilarilaatan jäykistys voidaan hoitaa leikkauseinillä, jäykistysristikoilla tai tukemalla koko rakenne sivuiltaan johonkin jäykistettyyn rakenteeseen. Usein pilarilaattarunkoinen toimistorakennus jäykistetään esimerkiksi porrashuoneiden ja hissikuilujen avulla. Maanalaisissa pysäköintihalleissa on tavallista korvata reunapilarit kantavilla ja jäykistävillä seinälinjoilla. Pilarilaattojen etuina voidaan nähdä muun muassa pieni rakennekorkeus, palkittomuuden tuoma selkeys esimerkiksi LVIS -tekniikan sijoitteluun, muunneltavuus sekä suunnittelun ja rakentamisen nopeus ja helppous. Rakenneteknisesti pilarilaattarungon etuja ovat lisäksi hyvä ääneneristävyys ja palonkestävyys. (Tuomola, 2016, ss. 44-45)

2.6.4 Siirtolaatta

Siirtolaatta (kuva 15) on laattarakenne, joka siirtää ylhäältä tulevat kuormat alaspäin niin, että alaja yläkerrosten pystyrakenteet eivät sijaitse samalla linjalla. (Määttä, 2018, s. 20), (Osman & Saad, 2015) Raitinkartano -kohteessa laatat ovat jälkijännitetyjä arinapalkkilaatastoja tai pilarilaatastoja ja palkit ovat jälkijännitetyjä betonipalkkeja, jotka toimivat monoliittisina rakenteina laattojen kanssa (Sweco, 2018). Monoliittisessä rakenteessa pilareiden ja palkkien väliset jäykät liitokset kytkevät rakenteen yhtenäiseksi rakenteeksi. (Kankaanpää, 2020, s. 79)



Kuva 15 Raitinkartanon siirtolaatan paksuus on 1,0 m (Sweco, 2018).

2.7 Jännepunosten geometria

Jälkijännitetty rakenne mahdollistaa kaarevan jännekulun (kuva 16). Punosten geometria tarkoittaa jänteiden pystysuuntaisen sijainnin vaihtelua. Jänteet luovat rakenteeseen nostovoimia eli niin sanottuja ohjausvoimia. Punosten sijoittelulla voidaan hallita rakenneosan pätyihin syntyvää momentin suuruutta. Kun punokset asennetaan rakenteeseen kaarevasti, pyrkivät jänteet jännittäessä suoristumaan. Punosten kaarevuudella voidaan hallita ohjausvoiman suuruutta. (Turunen, 2017, ss. 26-27, 82) Ohjausvoimilla pystytään tasapainottamaan rakenteeseen kohdistuvia ulkoisia kuormia (Suominen, 2019, s. 24).



Kuva 16 Kaareva jännegeometria (Ranua, 2014, s. 7).

Kaareva jänne voidaan sijoittaa tuilla tai kentässä lähelle pintaa, jossa jännevoima ja sen epäkeskisyydet ehkäisevät parhaiten ulkoisia momenttihuippuja. Rakenteen taipumat ja halkeilu saadaan myös paremmin hallintaan. (Tuomola, 2016, ss. 4-5) Ankkurijännerakenteiden päädyissä ennen paraabeleiden alkamista jännepunokset kulkevat suoran matkan tukien ylitse, jonka lisäksi punokset kulkevat suoraan myös laskeuduttuaan rakenteen alapintaan (kuva 17) (Suominen, 2019, s. 25).



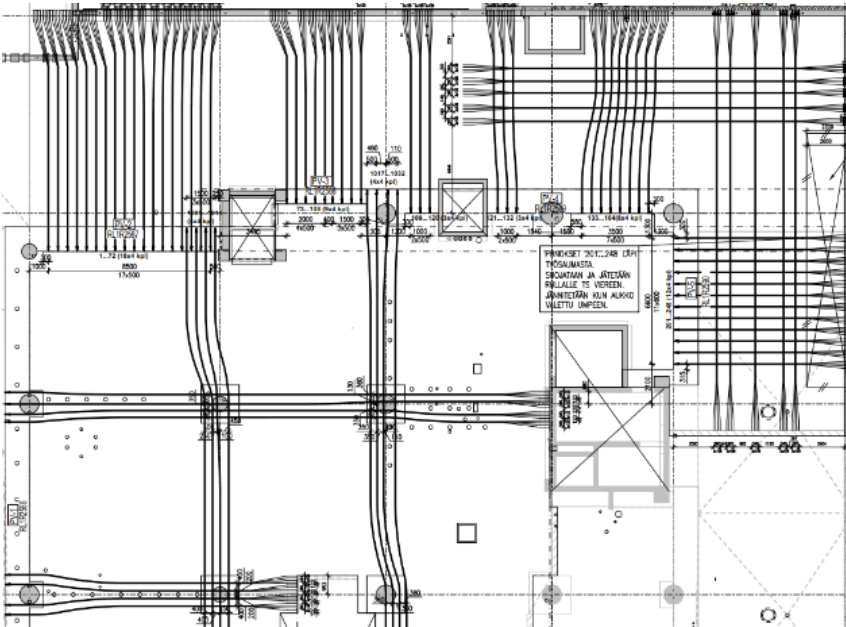
Kuva 17 Jänteet asennettuna jännegeometrian mukaisesti.

Jänteiden niputusta päällekkäin ei suositella, koska kaarevaa jännettä jännitettäessä pyrkii punos nousemaan ylöspäin. Tällöin on vaarana ylemmän suoja-putken rikkoutuminen, mikä altistaa jänteitä vaurioille. Ongelmaksi tämä muodostuu varsinkin injektoitavilla jänteillä. (Syvänen, 2019, s. 36)

2.8 Jännepunosten layout

Pilarilaatoissa suositellaan jänteet sijoitettavan toisessa suunnassa pilarikaistoille ja näihin kohtisuorassa suunnassa tasaisesti jaettuna poikkileikkauksen alueelle asennustyön helpottamiseksi (kuva 18) (By 69, 2017, s. 46). Tätä banded-distributed -sijoittelutapaa käytetään eniten. Toinen tapa järjestellä jänneteräkset pilarilaatoissa on banded-banded -järjestelytapa, jossa punokset sijoitetaan molempiin suuntiin keskitettynä pilarilinjoille. (Määttä, 2018, s. 23)

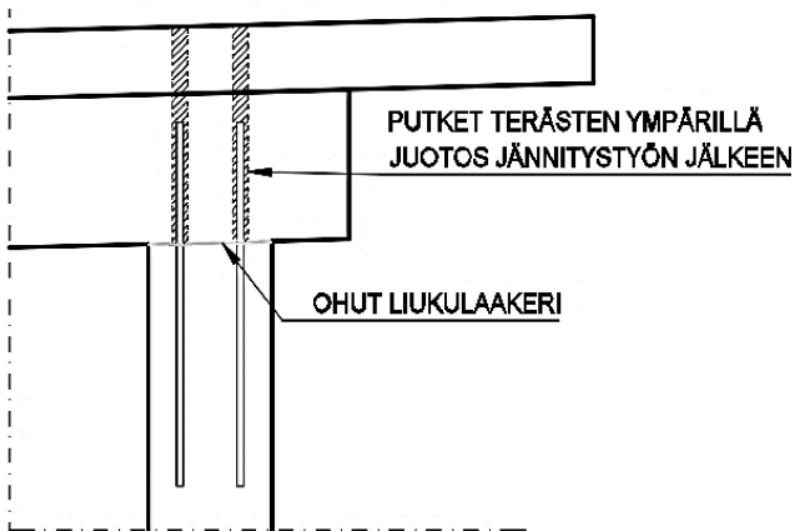
Banded-banded järjestelytapa mahdollistaa keskitettyjen kaistojen väliin jäävän laatta-alueen vapaamman rei'ittämisen jälkiporaamalla (Janne Hanka, henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2020).



Kuva 18 Raitinkartanon valualue 21:n punospiirustus (Sweco, 2018).

2.9 Laatan kutistuminen ja irrotus

Betonin kuivussa ja kovettuessa alkaa betonin kutistuma. Betonin kutistumaan vaikuttaa kaksi eri ilmiötä: kuivuminen ja hydrataatioreaktion aiheuttama sisäinen kutistuma (Määttä, 2018, s. 8). Tavanomaisissa betonirakenteissa halkeilu tasaa kutistumisvaikutuksia. Jännitetyissä rakenteissa jännevoima aiheuttaa betoniin saman suuntaisen muodonmuutoksen kuin kutistuma, joten kutistumisella on niissä suurempi merkitys (By 210, 2005, s. 612). Rakenteen kutistuman ja viruman muodonmuutoksen arvona käytetään vähintään 0,5 mm/m. Kutistumaa voidaan pienentää käyttämällä betonimassassa mahdollisimman suurta kiviainesta. Laatasto irrotetaan vähintään rakenteen lasketun muodonmuutoksen verran jäykistävästä rakenteista, jotta laatta pääsee liikkumaan (kuva 19). Irrotusaikojen pitää olla riittävän pitkiä, jotta muodonmuutokset eivät aiheuta pakkovoimia (kuva 20). Pystypintojen irrotuksina käytetään suljettusoluista polyeteenimattoa, joka kestää valupainetta (kuva 21). Irrotusajan jälkeen rakenteet ja tartuntatapit juotetaan kiinni alusrakenteeseen. (Sweco, 2018)



Kuva 19 Jäykän liitoksen työnaikaisen laakerin periaate (Kankaanpää, 2020, s. 19)



Kuva 20 Puutteellisesta laakerista johtuva halkeama pilarissa laakerin alapuolella (Kankaanpää, 2020, s. 10)

Palkkilaatasto irrotetaan pilarien yläpinnoista asentamalla pilarin ja palkin väliseen liitokseen laakeri (kuva 22). Tartuntateräkset irrotetaan holvista putkilla, jotka asennetaan terästen ympärille. Pilareiden irrotuksena käytetään pilarin kokoisia pelti-teflon-pelti laakereita (kuva 23). (Sweco, 2018)



Kuvat 21-22 Ulkonurkkien ympärille asennetaan solumuovikerroksia ja pilaritartuntojen ympärille putket, jotta laatta pääsee liikkumaan.

Rakennuslaakerit voidaan jakaa kahteen ryhmään: työnaikaisiin ja pitkäaikaisiin. Työnaikaiset laakerit sisältävät liukurasvaa kahden liukupinnan, kuten kumin, välissä. Rasvan ominaisuudet heikkenevät vanhetessaan, jolloin laakerin kitkakerroin kasvaa. Pitkäaikaisissa laakereissa on tavallisesti elastomeerista kumia ja erillinen liukulevy. Rakennusaikaiset liukulaakerit (kuva 24) ovat pari millimetriä paksuja, ja pitkäaikaisten laakereiden paksuus vaihtelee muutamasta millimetristä kymmeneen millimetriihin. Laakeria käyttäessä pilarin betonipinnan on oltava tasainen. (Kankaanpää, 2020, ss. 19, 41)



Kuvat 23-24 Pelti-teflon-pelti - sekä liukulaakereita.

2.10 Jälkijännitettyjen menetelmien vertailu

Pilarilaatat voidaan jännittää sekä tartunnallisilla että tartunnattomilla jänteillä. Tartunnattomissa ankkurijännerakenteissa taivutuskestävyys on 10–30 % pienempi kuin vastaavissa tartunnallisissa rakenteissa, koska tartunnaton jänne voi liukua betonin suhteen kuormituksen aikana. (By 210,

2005, ss. 656, 706) Tartunnallisia jännepunoksia voidaan sijoittaa useampia samaan suojaputkeen. Näin tehdäänkin usein, kun rakenteen kuormitus on suuri ja tarvittavien punosten määrä kasvaa niin suureksi, ettei tartunnattomien jänteiden sijoittaminen rakenteen poikkileikkaukseen ole enää mahdollista. (Tuomola, 2016, s. 5) Tartunnattomilla jänteillä rakenteen tehollinen korkeus saadaan suuremmaksi kuin tartunnallisilla jänteillä. Ero tehollisessa rakennekorkeudessa johtuu siitä, että tartunnattomilla jänteillä on pienempi halkaisija, joten ne voidaan sijoittaa rakenneterästen kanssa samaan tasoon. Tartunnalliset jänteet kulkevat korroosiolle alttiimpina suojaputkessa, mikä vaatii suuremman suojaetäisyyden. (Heilä, 2013, s. 42), (Ranua, 2014, s. 7) Molemmissa punostyypeissä voidaan käyttää kaarevia jänteitä. Tartunnattomat jänteet voidaan sijoittaa vapaammin rakenteeseen, jolloin ratkaisusta tulee tehokkaampi kuin tartunnallisilla jänteillä (kuva 25). (Suominen, 2019, ss. 5, 7)



Kuva 25 Kaarevat tartunnattomat jänteet.

Tartunnattomien jänteiden jännevoima tasaantuu rakenteessa, jonka vuoksi ylikuormituksen aiheuttamat halkeamat umpeutuvat, kun kuorma poistetaan. (Kankaanpää, 2020, s. 40)

Tartunnattomilla jänteillä jännitetylle rakenteelle voidaan käyttää normaalin betoniraudituksen halkeamaleveysvaatimuksia, jotka ovat lievemät kuin tartunnallisilla jänteillä. (Heilä, 2013, s. 42)

Tartunnallinen jännerakenne sietää vaurioita paremmin kuin tartunnaton rakenne.

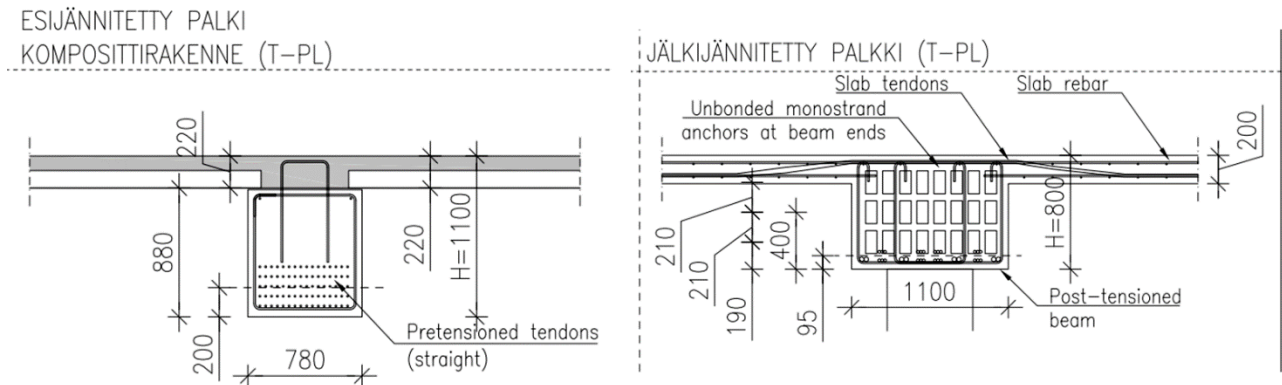
Tartunnattoman punoksen tapauksessa punoksen teho menetetään koko rakenteen pituudelta, kun tartunnallisen tapauksessa punos voi uudelleenankkuroitumisen vuoksi toimia tehokkaana

katkeamisesta huolimatta jossakin toisessa poikkileikkauksessa. Laatan vaurioituessa vahingot rajautuvat paikallisesti vaurioalueelle, koska jänteillä on tartunta betoniin koko matkaltaan. Tartunnallinen jännerakenne halkeilee punosmäärän vähentyessä, joten vaurion kehittyminen on helpompi havaita. (Asp;Tulonen;& Laaksonen, 2017, s. 3), (Mpa The Concrete Centre, 2017, s. 22) Liikenneviraston betonirakenneohjeissa ei hyväksytä tartunnattomien jänteiden käyttöä siltarakenteiden pääasiallisina jänteinä. Espoon suurpellossa kehä II:n ylittävässä sillassa on voitu kuitenkin käyttää tartunnattomia jännteitä, mutta Liikennevirasto on edellyttänyt käytönaikaisen monitorointia ja seuranta. (Heilä, 2013, s. 45) Rakenteen käyttöön päässä tartunnallisen jännepunoslaatan purku on samanlaista kuin teräsbetonin purku: betonin murtaminen jännepunoksen ympäriltä vapauttaa jännevoimat paikallisesti, vain puretulta alueelta. Tartunnattomilla jänteillä rakennetun laatan purku on monimutkaisempaa, koska jännerakenne pitää tukea ennen punosten jännityksen laukaisua. (Mpa The Concrete Centre, 2017, s. 22) Tartunnallisin jäntein tehty pilarilaatta on kustannuksiltaan huomattavasti suurempi injektio työn takia (Tuomola, 2016, s. 45). Suojaputken injektioinnin puuttuminen lisää tartunnattoman jännerakenteen tuotantonopeutta (Ranua, 2014, s. 7).

2.11 Jännitettyjen rakenteiden edut

Jännitettyjen rakenteiden hyötyjä ovat pidemmät jännevälit, pienemmät teräsmäärät, ohuemmat rakenteet ja pienempi omapaino. (By 69, 2017, s. 32) Tavalliseen teräsbetonirakenteeseen verrattuna voi betonimenekki olla 15-30 % ja teräsmenekki 60-80 % pienempi (By 201, 2018, s. 387). Materiaalikustannuksia ei kuitenkaan voida suoraan verrata toisiinsa, sillä jännitetyissä rakenteissa käytetään korkeamman lujuuden omaavaa betonia ja terästä (Suominen, 2019, s. 5). Halkeilemattomaksi jännitetty rakenne saa hyvän korroosiosuojan. Jännitetyn rakenteen muodonmuutokset ovat pienempiä kuin jännittämättömien. Esimerkiksi jännitetyn palkin taipuma on vain noin 25% vastaavan teräsbetonipalkin taipumasta. Muodonmuutokset myös palautuvat hyvin, rakenne on sitkeä. Hetkellisen ylikuorman aiheuttamat halkeamat sulkeutuvat hyvin kuorman poistuessa. Rakenteen väsytyslujuus on hyvä: se kestää hyvin vaihtelevia kuormia teräsjännitysten pysyessä lähes vakiona. (By 201, 2018, s. 387) Oikein mitoitettujen jänneteräsrakenteiden taipumat pystytään eliminoimaan ja halkeilemattoman lopputulos on vesitiivis (Turunen, 2017, s. 22). Pitkän jännevälillä etuja ovat pienempi pilarimäärä ja pienempi

perustusmäärä, joustavuus tilasuunnittelussa, mikä mahdollistaa suuren avoimen tilan. Esimerkiksi pysäköintihallissa voi olla vähemmän pilareita, mikä parantaa pysäköintihallin käytettävyyttä. (Heiskanen, 2018, s. 2), (Mpa The Concrete Centre, 2017, ss. 5, 22) Matalammat palkit ja laatat mahdollistavat myös matalamman kerroskorkeuden (kuva 26). Erityisesti monikerroksissa rakenteissa julkisivukustannukset pienenevät matalampien rakenteiden seurauksena. (Kankaanpää, 2020, s. 9)



Kuva 26 Paikallavaletuilla jälkijännitetyillä rakenteilla saavutetaan matalampi poikkileikkaus verrattuna elementtirakenteisiin (Jännitetyt betonirakenteet -kurssi 6 - 7.11.2019 DI Janne Hanka)

2.12 Jännitettyjen rakenteiden haasteet

2.12.1 Pätevyysvaatimukset

Jälkijännitetyissä pilarilaatoissa voidaan käyttää toteutusluokkaa 2 tai 3, joista luokka 3 on vaativampi, sekä toleranssiluokkaa 2, joka on vaativin toleranssiluokka. Siten materiaalin osalta voidaan käyttää pienennettyjä osavarmuuskertoimia, mutta myös työn toteutus täytyy olla tarkempaa ja huolellisempaa. (Heiskanen, 2018, s. 39), (By 69, 2017, s. 53) Jännitetyt rakenteet luokitellaan vaativaan tai poikkeuksellisen vaativaan luokkaan. Rakennesuunnittelijalta, vastaavalta työnjohtajalta sekä betonitoista vastaavan työnjohtajalta edellytetään kohteen vaativuusluokan mukaista pätevyyttä (kuva 27). Jännitettyjen rakenteiden asennustyönjohtajalta odotetaan vähintään viiden vuoden työkokemusta jännitetyistä rakenteista ja vähintään vuoden työkokemusta asianomaisen jännemenetelmän osalta. Jännemenetelmän ETA-hyväksynnässä voidaan lisäksi asettaa vaatimuksia asentajille ja asennustyönjohdolle. (By 69, 2017, ss. 50,52)

Jälkijännitysjärjestelmien asennuksesta tulee vastata riittävän kokeneet erikoisyrittäjien henkilöt.
(SFS EN 13670, 2010, s. 20)

- 1) **vaativassa** työnjohtotehtävässä kyseiseen tehtävään soveltuva, rakentamisen tai tekniikan alalla suoritettu korkeakoulututkinto, aiempi ammatillisen korkea-asteen tutkinto tai sitä vastaava tutkinto taikka aiempi teknikon tai sitä vastaava tutkinto; lisäksi hänellä tulee rakennuskohteen laatu ja tehtävän vaativuus huomioon ottaen olla riittävä kokemus ja perehtyneisyys kyseisen alan työnjohtotehtävissä;

Kuva 27 Ohje rakentamisen työnjohtajien kelpoisuudesta (Ympäristöministeriö, 2015).

2.12.2 Jälkikiinnitys

Raitinkartanotyömaan jälkijännitettävien rakenteiden toteutuksessa on havaittu, että talotekniikan läpivientien suunnittelu pitää työmaavaiheen koittaessa olla mahdollisimman valmis. Jälkikäteen porattavien läpivientien tekeminen punosalueille voi osoittautua haasteelliseksi tai mahdottomaksi, sillä punoskentät saattavat olla usean metrin levyisiä. Jälkikäteen tehtävien reikien ja punosten välille pitää myös jättää riittävää toleranssiä, jotta punokset eivät varmasti vaurioidu.

Suunnittelussa varauduttiin jälkiporauksiin keskittämällä jänteet pilarikaistoille molemmissa kantosuunnissa, mikä mahdollistaa jälkiporaamiseen vapaasti pilarikaistojen väliin. Pilarikaistoille asennettiin myös ylimääräisiä varauksia eli niin sanottu systeemi-eritys (kuva 28). Lisäksi jälkiporauksiin varauduttiin tekemällä punoksille tarkemmitaukset. (Janne Hanka, henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2020)

Jos kaikkien tilojen käyttäjiä ei ole pystytty varmistamaan rakentamista aloitettaessa, ei käyttäjien tarpeiden mukaisia muutoksia talotekniikan reititykseen jännitetyn holvin läpi voida aina toteuttaa. Tämä aiheuttaa haasteita kireän aikataulun projekteissa, joissa rakentaminen loppupäivä ei muutu, vaikka lopullisia suunnitelmia ei alkuvaiheessa ole käytettävissä. Tämä koskee erityisesti liiketiloja. Samat haasteet ovat edessä käyttäjien vaihtuessa ja suunniteltaessa uusien käyttäjien tarvitsemia tilamuutoksia. Samoin saneerausten ja korjausten toteutuksessa

pitää jännepunokset huomioida. Kaikki jännitettyyn rakenteeseen jälkikäteen tehtävät reiät tulee hyväksyttävä rakennesuunnittelijalla ja ohjeistus jälkikiinnitykseen ja -poraukseen pitää ilmoittaa kaikille asian kanssa työmaalla työskenteleville. Rakennesuunnittelija määrittelee jälkikiinnityksissä sallitun poraussyvyyden, joka on yleensä 30–40 mm. Jos porataan syvemmälle, on vaarana osuminen punokseen. Tavallisella betoniporalla teräspunoksen vaurioituminen ei ole vaarana, mutta suojamuovi voi rikkoutua ja punosta suojaava rasva voi valua pois.



Kuva 28 Systemireikävaraukset.

2.12.3 Jännerakenteiden palonkestävyys

Palomitoituksessa teräksen kriittiset lämpötilat ovat raudoitusteräkselle 500 °C, esijännitetyille tangoille 400 °C sekä esijännitetyille vaijereille ja säikeille 350 °C (SFS-EN 1992-1-2, 2005-2019, s. 36). Jänneteräksille tulee kasvattaa taulukkojen betonipeitteiden keskiöetäisyyksien vähimmäisarvoja 15 mm johtuen alemmasta kriittisestä lämpötilasta (By 69, 2017, s. 48). Jänneteräkset sijoitetaan betoniterästen sisäpuolelle, jolloin jänneterästen todellisen suojapeitteen arvo kasvaa (Suominen, 2019, s. 8).

2.13 Jänneteräkset

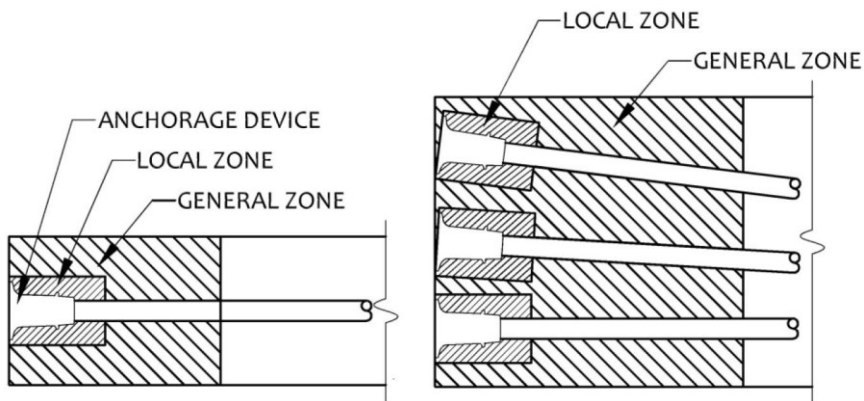
Ankkurijännteet ja niiden ankkurit liittyvät aina patentoituihin jännemenetelmiin (By 210, 2005, s. 605). Jänneteräkset ovat yleensä kylmämuovattuja ja nuorrutettuja teräksiä, joiden tavallisimmat lujuusluokat ovat 1560/1770 N/mm² ja 1640/1860 N/mm². Ensimmäinen luvuista kuvaa myötörajaa ja jälkimmäinen murtolujuutta. (Suominen, 2019, s. 6) Teräsiin voidaan vetää 3...7 %:n suhteellinen venymä (By 201, 2018, s. 382). Jännebetonirakenteet pyritään suunnittelemaan raudoitussuhteiltaan sellaisiksi, että ylikuormituksessa teräkset myötäävät ensimmäisenä ja rakenne kehittää huomattavan taipuman (By 210, 2005, s. 646). Jälkijännitetyjen betonirakenteiden jänneteräkset ovat Suomessa pääosin jännepunoksia. Jännitystankoja ja jännityslankoja käytetään harvoin Suomessa. Yleisimmin jälkijännitetyissä rakenteissa käytettävä jänneteräs on tyypiltään SFS 1265-3-Y-1860-S-7-15,7-R1, missä

- Y on jälkijännitetty teräs
- Murtolujuus $f_{pk}=1860$ MPa
- 0,1 lujuus $f_{0,1k}=1640$ MPa
- S on punos (C=lanka, H=tanko)
- 7 on lankojen lukumäärä
- Nimellishalkaisija 15,7mm
- Relaksaatioluokka R1

Jänneteräksille on ominaista, että ajan myötä niiden jännityksissä tapahtuu vähenemistä. Tätä ominaisuutta kutsutaan relaksaatioksi (Suominen, 2019, s. 7). Tartunnattomia jännteitä käytettäessä rakenne suunnitellaan niin, että vaikka yksi samassa poikkileikkauksessa oleva jänne vaurioituisi käyttökelvottomaksi, rakenteen varmuustaso säilyy edelleen riittävänä eikä haurasmurtumista tapahdu. Laattarakenteissa samaan poikkileikkaukseen katsotaan kuuluvaksi ne jännteet, jotka sijaitsevat jänneen kummallakin puolella etäisyydellä $L/3$, jossa L on laatan jänneväli. (Sweco, 2018, s. 4)

2.14 Ankkurit ja ankkurointialueet

Päätylohkojen ankkurointialueella on olemassa paikallinen ankkurointialue ja yleinen ankkurointialue (kuva 29). Paikallisen ankkurointialueen suunnittelusta vastaa jännemenetelmän ankkureiden toimittaja ja yleisestä alueesta jännebetonirakenteen rakennesuunnittelija. Paikallinen ankkurointialue on osa yleistä ankkurointialuetta. (By 69, 2017, ss. 35-36) Paikallisella alueella, ankkurin edessä, vaikuttaa suuri paikallinen puristusjännitys. Yleisellä alueella puristusjännitys levittyy vaikuttamaan koko poikkileikkaukseen. (Kärki, 2018, s. 95)



Kuva 29 Paikallinen ja yleinen ankkurointialue (Post Tensioning Institute Technical Advisory Board, 2013, s. 26).



Kuva 30 Tartunnattoman menetelmän monoankkuri.

Ankkurikappaleiden tehtävä on siirtää jänneterästen voima betoniin. Yleensä ankkurit ovat valurautaa ja niiden muoto vaihtelee riippuen niiden tarkoituksesta. Ankkurit voidaan jakaa monoankkureihin (kuva 30) ja multiankkureihin (kuva 31) niihin ankkuroitavien jänneterästen määrän perusteella. (Suominen, 2019, s. 10)



Kuva 31 Tartunnattoman menetelmän 4-ankkuri.

Monoankkuriin ankkuroidaan yksi jänneteräs ja se toimii yleensä tartunnattomien jänteiden ankkurina. Multiankkuriin puolestaan voidaan ankkuroida 2–31 jänneterästä ja niitä käytetään tyypillisesti injektoitujen jänteiden yhteydessä. Multiankkuria voidaan silti myös käyttää tartunnattomille jänteille, jolloin ankkuroitavien jänneterästen lukumäärä on 2–4 kappaletta. Jokainen jänneteräs lukitaan ankkurin kiilapesään kartiokiilalla. Pysyvään ankkurointiin käytetään kahdentyyppisiä ankkureita: aktiivi- ja passiiviankkureita. Aktiivi- eli jännitysankkuri, on ankkuri, josta rakenteen jännitys suoritetaan. Aktiiviankkurit sijoitetaan betonirakenteen reunalle tai työsaumaan. Passiiviankkureita puolestaan kutsutaan kiinteiksi ankkureiksi, sillä ne jäävät betonivalun sisäpuolelle. Tyypillisesti rakenteen toiseen päähän sijoitetaan aktiiviankkurit ja toiseen päähän passiiviankkurit, mutta esimerkiksi injektoiduilla jänteillä rakenteen molempiin päihin sijoitetaan yleensä aktiiviankkurit (kuvat 32-33), jolloin jännitys kuitenkin voidaan suorittaa vain toisesta päästä. (Suominen, 2019, ss. 10-11) Valuun upotettavat kiinteät passiiviankkurit ovat yleensä kustannuksiltaan kalliimpia sekä hitaampia asentaa, jonka vuoksi niitä pyritään suunnittelussa yleensä välttämään (Janne Hanka, henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2020).



Kuvat 32-33 Tartunnallisen menetelmän ankkuri ennen valua ja jännitystöiden valmisteluvaiheessa.

Ankkureiden aiheuttamia halkaisujännityksiä varten on asennettava ankkureiden ympärille vaaka- ja pystyterästyks (kuva 34). (Tuomola, 2016, s. 39) Rauditus toteutetaan yleensä suorilla tangoilla, umpi- tai pistohaoilla tai niiden yhdistelmällä. Tartunnallisissa ankkurijännebetonirakenteissa ankkuriin kohdistuva voima on usein huomattavasti suurempi ja raudoitteena käytetään usein jännemenetelmän mukaista spiraalimaista kierrehakaraudoitusta (kuva 35). (Kärki, 2018, ss. 7, 53)



Kuvat 34-35 Tartunnattomien ja tartunnallisten ankkureiden halkaisuraudoitusta.

Ankkureiden reunaetäisyyksille ja keskinäisille väleille on tarkat ohjeet jännemenetelmien käyttöselosteissa. Myös ankkureiden ympäristö vaatii raudituksen betonin paikallista murtumista tai halkeamista vastaan. Suominen s.11 (Suominen, 2019, s. 11) Ankkurointilaitteiden valmistajia ovat esimerkiksi Dywidag, Freyssinet, VSL, BBRV MK4, LOCK ja Macalloy (Turunen, 2017, s. 47).

2.15 Jännepunosten suojaputket

Tartunnattomat jätteet suojataan korroosiota vastaan peittämällä jänneteräs HDPE-muovilla ja korroosiosuojarasvalla koko matkalta (Määttä, 2018, s. 13). Muovisen suojakuori on vesitiivis, ja sen vesihöyrynvastus hyvä. Suojuksen halkaisija on yleensä 20 mm ja se ei saa reagoida millään tapaa betonin kanssa. Tämän lisäksi suojuksen tulee kestää betonoinnista aiheutuvat rasitukset. Tartunnattomat punokset esivalmistetaan tehtaalla, missä rasva ja suojaputki asennetaan punosten ympärille (kuva 37). Tartunnallisten jätteiden suojaputken (kuva 36) koko riippuu jänneterästen lukumäärästä. Suojaputken materiaalina käytetään yleensä teräksistä kierresaumaputkea tai korkealujuuksista, poimutettua muoviputkea, jotta jänneteräs saadaan tartunnalliseksi ympäröivään betonirakenteeseen. Matalissa rakenteissa, kuten laattarakenteissa, voi putki olla muodoltaan myös ovaalimainen. (Suominen, 2019, ss. 7-8) Ovaalin muotoinen putki on joustavaa, ja sitä voidaan käyttää, kun jänneteräs joutuu tekemään mutkia. (Lassila, 2011, s. 16)



Kuva 36-37 Tartunnallisten ja tartunnattomien jätteiden suojaputket.

3 Jännebetonirakenteen toteutus

Tässä jaksossa käydään läpi Raitinkartanon työmaalla käytettyjä toteutusratkaisuja.

3.1 Case-kohteen esittely

Raitinkartanon kohde on Espooseen rakennettava sekarunkoinen hybridirunko, joka koostuu jalustasta ja jalustaan tukeutuvasta kerrostalosta. Rakennuksen jalustassa on liiketiloja ja

torniosassa asuntoja. Liiketilöjen runko on paikallavalettu jälkijännitetty pilarilaattarunko. Asuinkerrostalon runko on seinä-laatta -runkoinen, jossa seinät ovat pääasiassa elementtejä ja kaikki tasot paikallavalua. Jalustan ja kerrostalon välissä on kuormansiirtorakenne, joka siirtää siihen kohdistuvat asuintalon kuormat jalustan rakenteille. Opinnäytetyössä keskitytään jalustan rakenteisiin, joissa oli käytetty jälkijännitettyjä rakenteita. Jalustaosan runkomateriaaliksi valittiin paikallavalettu jälkijännitetty betoni, koska se mahdollisti arkkitehtuurin vaatimukset hoikkiin ja pitkiin jänneväleihin. Jalustaosassa on myös useita kuormansiirtoja muun muassa pihakannen liittymässä (kuva 38). Muilla runkorakenteilla olisi lähes mahdotonta saavuttaa yhtä hoikkia rakenteita kuin jälkijännitettyillä rakenteilla. (Janne Hanka, henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2020)



Kuva 38 Pihakantta tukeva paikallavalettu jälkijännitetty tasoeropalkki. Tasoeropalkkia on vedetty ulospäin pilarilinjoilta mahdollistaen arkkitehtuurin vaatimukset liiketilöjen shopfronteille. Paikallavalupilariin tehty ura mahdollistaa LVI-putkien läpiviennit pilarin sisällä (lähde ja kuva: Janne Hanka, henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2020).

3.2 Suunnitelmat

Jännitettyjen rakenteiden toteutus alkaa suunnitelmiin perehtymisellä. Jännitetyn rakenteiden suunnitelmapakettiin kuuluvia toteutuksen yleisohjeita ovat

- Paikallavalettujen rakenteiden laadunvarmistussuunnitelma
- Rakenteiden suunnittelun ja toteutuksen perusteet, jälkijännitetyt rakenteet
- Jälkijännitettyjen paikallavalurakenteiden työselostus
- Jännitettyjen rakenteiden tarkastusmuistio
- Jännitettyjen rakenteiden jälkikiinnitysohje
- Paikallavalettujen tasojen jälkituentaohje

Valualuekohtaisia suunnitelmia ovat

- Tasopiirustus: Valualueet, irrotukset, detaljimerkinnot
- Valualue xx... Jännepunosluettelo (jännityspöytäkirja)
- Raudoitusedaljit
- Valualue xx... Alapinnan raudoituspierustus
- Valualue xx... Yläpinnan raudoituspierustus
- Valualue xx... Punospiirustus
- Valualue xx... Palkki PV-1... raudoituspierustus
- Taso xx Varauspiirustus
- Taso xx Tartuntapiirustus
- Taso xx jälkiporauspiirustus

Kaikki suunnitelmat tulee käydä läpi paikallavalu- sekä jännepunosurakoitsijan kanssa.

Rakennesuunnittelijan laatima toteutuseritelmä sisältää rakenteen rakennesuunnitelmat ja muut tekniset asiakirjat ja ohjeet. Toteutuseritelmän tulee olla valmis ja saatavilla ennen kyseessä olevan rakenteen töiden aloitusta. (By 69, 2017, s. 49) Toteutuseritelmässä tulee olla esitettynä:

- Jälkijännitettyjen rakenteiden suunnittelun ja toteutuksen perusteet
- jälkijännitettyjen rakenteiden työselostus

- raudoitussuunnitelmat raudoitusdetaljeineen
- Jännepunoksiin liittyvät raudoitussuunnitelmat tehdään, kun toteuttavan urakoitsijan valitsema jännemenetelmä on hyväksytty.
(Sweco, 2018)
- jännepunossuunnitelmat
- betoniterästen ja jännepunosten tuennan yleisohje
- jännityspöytäkirjat
- vaatimukset jänteiden tarkemittauksille
- toteutusstandardin vähimmäisvaatimuksien lisäksi suoritettavat tarkastukset
(By 69, 2017, ss. 49, 52)
- valettujen rakenteiden mahdollinen jälkituenta, jonka periaatesuunnitelman laatii rakennesuunnittelija ja suunnittelee muottisuunnittelija.
- mahdolliset lisävaatimukset asennukseen, erikoisyrittäykseen ja sen henkilökunnan pätevyyteen liittyen.
- seuraamusten vakavuus, toteutusluokka, rasitusluokka sekä toleranssiluokka
- jännemenetelmä ja rakennustuotteiden ominaisuuksille asetetut vaatimukset
- rakenteiden ja niiden toiminnallisten osien ja kiinnitysten sekä liitosten mitat
- toteutuksen aikaisen ja valmiin rakenteen jäykistys- ja vakavuustarkastelu
(By 69, 2017, ss. 49-54)

3.3 Betoniraudotteet

Pilarilaatassa käytetään jänneterästen lisäksi pehmeitä teräksiä rajoittamaan halkeilua ja tarvittaessa lisäämään murtokapasiteettia. Eurokoodin mukaan tartunnattomin jäntein jännitettyyn pilarilaattaan on sijoitettava tietty vähimmäisvetorautoitus. Pilarilaatan käyttötilaa noudattava raudoitus sijoittuu yleensä pääosin laatan kentissä alapintaan ja pilareiden kohdalla laatan yläpintaan. (Tuomola, 2016, s. 62) Raudoitus voidaan toteuttaa irtotankoja, verkkoja tai kaistarautoitteita käyttämällä (kuva 39) (Pietilä, 2015, s. 43).

0. LAAKERIT JA PILARI/SEINÄTARTUNTOJEN IRROTUSPUTKET
1. LÄVISTYSAVHVIKKEIDEN RAUDOITUS
2. PALKKIEN HAAT X-SUUNTA (KIRJ. MOD.)
3. PALKKIEN HAAT Y-SUUNTA (NUM. MOD.)
4. PALKKIEN AP TERÄKSET X-SUUNTA (KIRJ. MOD.)
5. PALKKIEN AP TERÄKSET Y-SUUNTA (NUM. MOD.)
6. LAATAN ALAPINTA Y-SUUNTA (NUM. MOD.)
7. LAATAN ALAPINTA X-SUUNTA (KIRJ. MOD.)
8. LAATAN REUNARAUDOITUS
9. LAATAN PUNOKSET, ANKKURIT JA ANKKUREIDEN HALKAISURAUDOITUS X-SUUNTA
10. LAATAN PUNOKSET, ANKKURIT JA ANKKUREIDEN HALKAISURAUDOITUS Y-SUUNTA
11. PALKKIEN YP TERÄKSET Y-SUUNTA (NUM. MOD.)
12. PALKKIEN YP TERÄKSET X-SUUNTA (KIRJ. MOD.)
13. LAATAN YLÄPINNAN RAUDOITUS X-SUUNTA
14. LAATAN YLÄPINNAN RAUDOITUS Y-SUUNTA

Kuva 39 Raudoitusten asennusjärjestys (Sweco, 2018).

Teollisesti esivalmistettujen raudoitteiden pitää olla Suomessa voimassa olevien vaatimusten mukaisia ja se pitää osoittaa akkreditoidun varmennuslaitoksen varmennustodistuksella.

Betoniterästen ja -teräsverkkojen pitää olla toteutuseritelmän mukaisia ja niissä pitää olla vaatimuksenmukaisuutta osoittava merkintä (kuva 40). (SFS 5975, 2019, s. 9)



Kuva 40 Tunnuslappu betoniteräskuormassa.

Raudoituksen pinnalla ei saa olla irtonaista ruostetta tai haitallisia aineita kuten öljyä, joka voisi heikentää tartuntaa. Vähäinen pintaruoste ei haittaa. Rautojen taivuttaminen kuumentamalla on sallittua vain, jos suunnitelma-asiakirjoissa on niin mainittu. Jos toteutuseritelmissä ei ole erikseen määritelty, rauditus voidaan asentaa juoksumetreinä. Limitykset tulee jakaa ja korkeintaan 25% raudoituksesta saa olla jatkettu samassa poikkileikkauksessa. Kahden vierekkäisen jatkoksen

välinen etäisyys pituussuunnassa on vähintään rakennesuunnittelijan määrittämän limituspituuden verran. (SFS EN 13670, 2010, ss. 18-19) Tankojen väli tulee olla vähintään betonin raekoko + 5mm, kuitenkin vähintään 20 mm. Teräksillä, joiden halkaisija on suurempi kuin 16 mm, pienin sallittu taivutussäde on 7 kertaa tangon halkaisija; muun kokoisilla teräksillä 4 kertaa tangon halkaisija. (SFS EN 1992, 2015, ss. 130-131) Betoniterästen sijaintien mittapoikkeamien täytyy pysyä sallituissa rajoissa (kuva 41) (By 69, 2017, s. 57).

Toleranssiluokka	$h < 150$	$h = 400$	$h \geq 2500$
1	+ 10 mm - Δc_{dev}	+ 15 mm - Δc_{dev}	+ 25 mm - Δc_{dev}
2	+ 5 mm - Δc_{dev}	+ 10 mm - Δc_{dev}	+ 20 mm - Δc_{dev}

Kuva 41 Betoniterästen sallitut mittapoikkeamat (By 69, 2017, s. 57).

Raudoituksen tuetaan raudoitusvälikkeillä, jotka valitaan suunnittelijan antaman betonipeitteen nimellisarvon mukaan. Välikkeitä on asennettava riittävä määrä alapinnan raudoituksen alle, jotta ne kestävät työnaikaisen kuormat raudoitusverkkojen päällä. (Heiskanen, 2018, s. 43) Pitkät, jatkuvat raudoitustuet, joista halkeamat voivat alkaa, eivät yleensä ole sopivia korroosiota aiheuttavissa, rasitusluokkien XS3 ja XD3 mukaisissa olosuhteissa. (SFS EN 13670, 2010, s. 43) (SFS 5975, 2019, s. 9)

3.4 Jännebetonirakenteen muotit

3.4.1 Muottien rakentaminen

Runkourakoitsija toteuttaa muotit (kuva 42-44) noudattaen muottien toimittajan tekemiä suunnitelmia, jotka rakennesuunnittelija on tarkastanut. Jännitetyn rakenteen muotit eivät juuri poikkea tavallisen betonirakenteen muoteista (Heiskanen, 2018, s. 41). Raitinkartanon työmaan kokemusten mukaan voivat jännitetyn betonirakenteen muotit olla rakenteeltaan kevyempiä kuin jännittämättömän rakenteen muotit, koska jännitetyt betonirakenteet ovat hoikempia ja kevyempiä.



Kuva 42 Holvimuottityö alkaa maanvaraisen laatan päältä.



Kuvat 43-44 Pilarivahvennoksen muottirakenteita.

Muotin koko sekä ankkureiden ja jännityksen vaatimat varaukset ovat jännitettyjen rakenteiden muottien erityispiirteitä (kuvat 45-46). Jännitystyöt vaativat tilaa punosten aktiivipäissä, joten muotti pitää tehdä tarpeeksi leveäksi.



Kuvat 45-46 Jännitysvaraus sekä talotekniikkakuilun varaus, joka toimii myös jännitysvarauksena.

Jänteiden aktiivipäät voidaan myös sijoittaa holvin keskelle, jonne rakennetaan varaukolo jännitystä varten. Jos suunnitelmissa ei ole muuta ilmoitettu, varauksen koko rakenteen reunasta on pituussuunnassa 1100 mm, sivusuunnassa 150 mm ja pystysuunnassa 100 mm.

Jännitysurakoitsijan tulee tarkastaa ennen töiden aloittamista jännitysvarausten koot, jotta käytettävä kalusto mahtuu varauksiin. Punosten ankkureita varten holvin reunassa tulee olla syvennys, jännityskuppi, jonka sisälle ankkuri mahtuu (kuvat 47-48). Jännityskupin pitää olla niin syvä, että punosten päät ja ankkurit voidaan jännitystöiden jälkeen suojata vähintään suojapeitteen paksuudelta laastilla (Kärki, 2018, s. 51).



Kuvat 47-48 Tartunnattomien sekä tartunnallisten ankkurien varaukset muotissa.

Punoskelat saattavat painaa 3 tonnia, joten holvimuotille voi tulla liikaa pistekuormaa ilman lisätukia. Punoskelaa voidaan myös kannattaa nosturilla (kuva 49).



Kuvat 49 Torninosturi kannattelee punoskelaa.

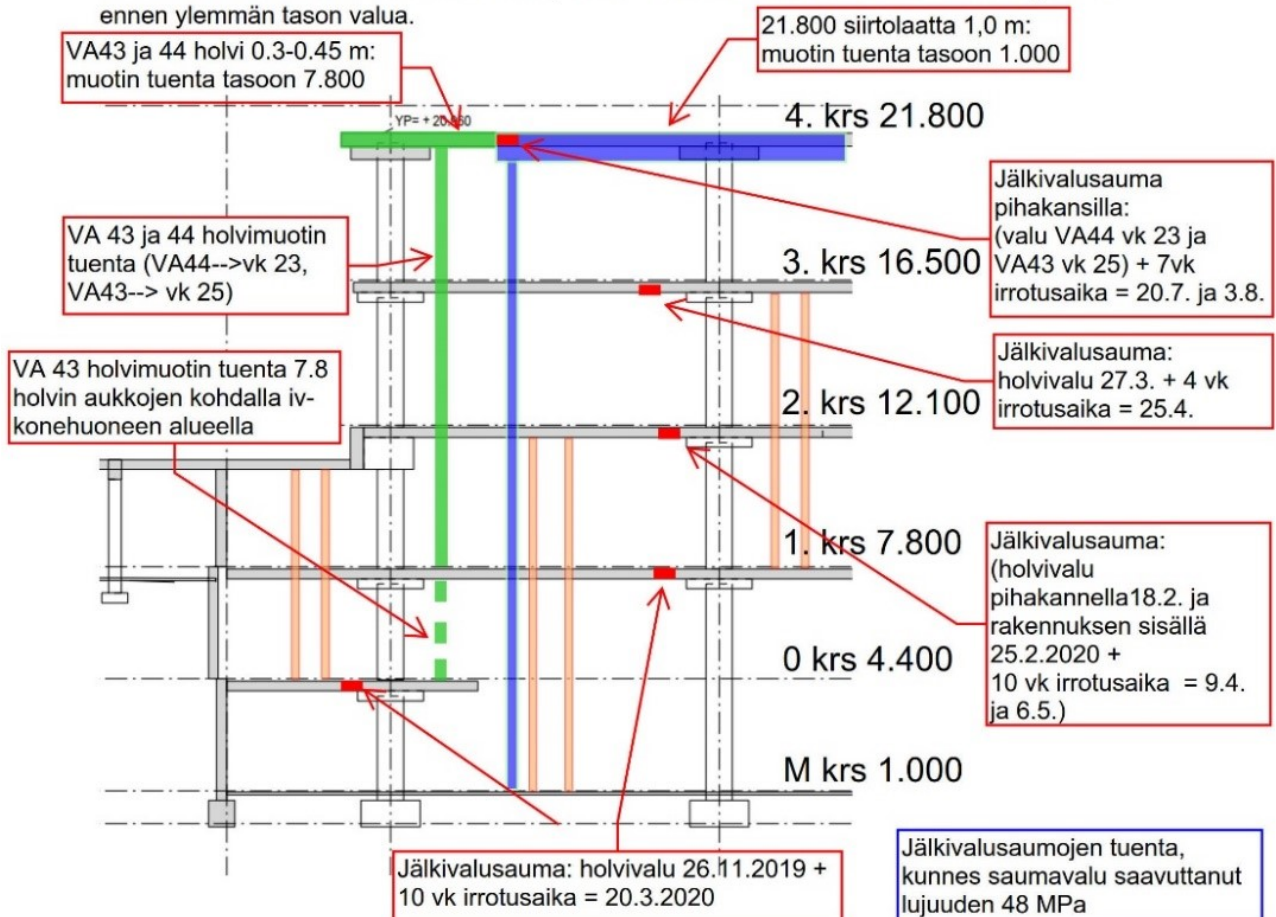
3.4.2 Muotin tuenta

Valettavan holvin kuormia ei voi jättää vain seuraavan alapuolisen holvin kannettavaksi, vaan ne pitää jakaa useammalle kerrokselle riippuen tasojen kuormituskestävyyksistä lopputilanteessa. Muottien työnaikainen tuenta alapuolisiin kerroksiin toteutetaan rakennesuunnittelijan ohjeistuksen mukaan. Tuennan korkeus riippuu muotin aiheuttamista kuormista ja alempien holvien kantokyvystä. Tuenta tehdään mahdollisimman myöhään ennen valua, jos sisätöiden aikaikkunaa halutaan pidentää mahdollisimman pitkäksi. Raitinkartanossa yleisin holvien paksuus oli 0,3 m, joiden tuenta tehtiin kahden alemaan holvin varaan tai tuentiin maanvaraiseen laattaan asti. Holvien piti olla saavuttanut 80 % suunnittelulujuudesta. Pihakansien holvit olivat paksumpia ja vaativat muotin tuennan kolmelle alemmalle tasolle. Viides jännitetty holvi oli rakennuksen asuinkerrosten kuormia siirtävä 1,0 m paksu siirtolaatta, jonka kuormat piti työn aikana tuoda maanvaraiseen pohjaan asti (kuva 50).

Paikallavalettujen tasojen jälkituentaohje

Liiketilän ja pihakannen tasot

Liiketilän välipohjien muottien tuenta on tehtävät kahden alemman tason varaan tai vaihtoehtoisesti maahan asti. Näiden tasojen tulee olla saavuttanut 80 % suunnittelulujuudesta ennen ylemmän tason valua.



Siirtolaatta

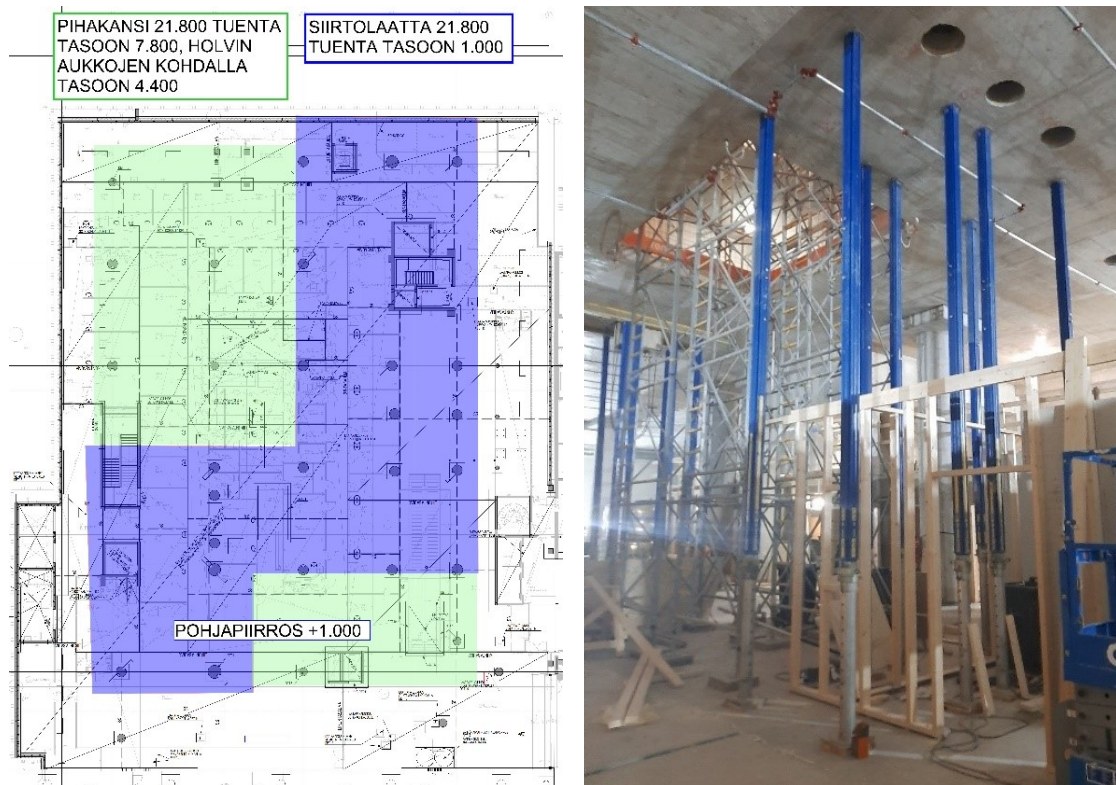
Siirtolaatan muottien tuenta on ulotettava maahan asti. Alemman kerroksen tuennoissa on siirtolaatan omanpainon ja työskentelykuorman lisäksi huomioitava alempien tasojen työnaikainen hyötykuorma.

Kuva 50 Raitinkartanon jälkituentaohje ja -aikataulu.

Holveissa olevien aukkojen kohdalla tuenta piti ulottaa niin alas, että tuentataso oli ohjeen mukainen määrä. Liukuportaiden kohdalla oli kahdessa holvissa samalla linjalla olevat aukot, joten niissä tuenta piti ulottaa alemmas kuin muualla (kuva 51). Kahden kerroksen korkeudelle ulottuvia tiloja olivat Iv-konehuone sekä kauppakeskuksen kauppakäytävä, joten tuennat piti niissäkin tuoda tarpeeksi alas. Tuenta näillä alueilla aiheutti törmäyksiä sisätöiden kanssa, koska sitä ei ollut huomioitu aikataulutuksessa (kuvat 52-53).

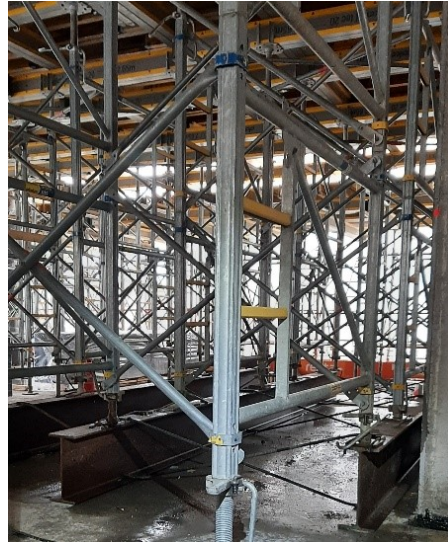
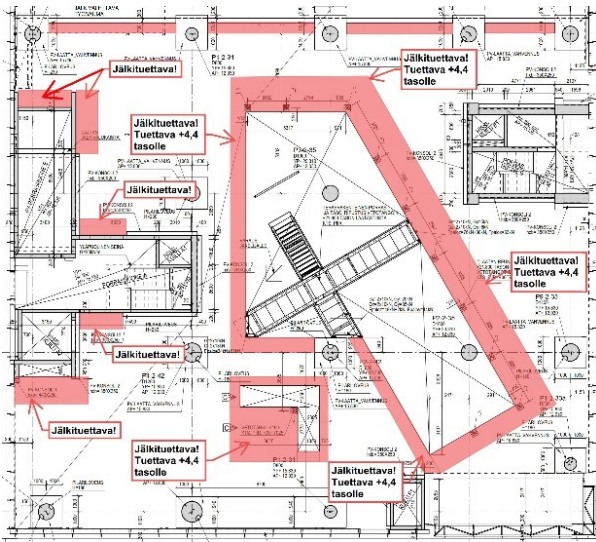


Kuva 51 Liukuporraskaukon kohdassa tuenta on ulotettu maanvaraiseen laattaan asti.



Kuvat 52-53 Jännitystunkin rikkoutumisen vuoksi tuentojen purkaminen viivästy, mutta väliseinätyöt etenivät holvituista huolimatta.

Kauppaeskuksen korkealla käytävälueella, jälkivalusaumoissa ja muilla holvin vapailla reunoilla holvi tuettiin, kunnes reuna tukevat rakenteet olivat toteutettu (kuva 54). Hissin katon kohdalla holvi oli ohuempi, eikä kestänyt muotilta tulevaa kuormaa. Kuormat siirrettiin paksulle holville teräspalkeilla (kuva 55).



Kuvat 54-55 Holvin vapaiden reunojen ja hissien katon tuenta.

3.4.3 Muottien tarkastus

Hyvässä ajoin ennen betonointia pitää tarkastaa, että muotit ovat suunnitelmien mukaiset. Holvin todellinen koko voi liittymissä vanhoihin rakenteisiin poiketa rakennesuunnitelmista, joiden mukaan muottisuunnittelija on tehnyt omat suunnitelmansa (kuva 57). Myös muottien vinotuenta pitää tarkastaa (kuva 56). Tarvittaessa kutsutaan muottisuunnittelija tekemään tarkastus.



Kuvat 56-57 Holvimuotin reunojen ja pilarin alueen vinotuenta sekä palkin pään tuenta muottisuunnitelmaa soveltaen.

3.4.4 Maanvarainen laatta: ennen holvitöitä vai holvitöiden jälkeen?

Runkoa voi alkaa rakentaa suoraan pohjan täyttöjen päältä tai vasta kun maanvarainen laatta on tehty. Kokonaisuakataulun kannalta valinta näiden välillä voi olla hyvin merkittävää, ja ratkaisu on kohdekohtaista. Rungon rakentaminen heti pohjan täyttötöiden jälkeen edellyttää, että täytöt ovat riittävän tiiviitä ja tasaisia. Myös alapohjan viemärien ja kaivonkansien pitää kestää työnaikaiset kuormat, sillä holvitukien pitää sijaita samalla pystylinjalla, joten ne eivät voi väistää viemäreitä tai kaivonkansia. Viemärit voidaan myös asentaa vasta holvitöiden jälkeen, kun tuentoja maanvaraiseen pohjaan saakka ei enää tarvita. (Möttö, 2015, ss. 4,8) Toisaalta holvintuenta maanvaraisen tai ontelolaatta-alapohjan päältä vaatii myös alapohjan rakenteilta kestävyttä muotin kuormia vastaan. Rakennesuunnittelijan vastuulla on määrittellä holvien työnaikaiset kuormat ja alapohjan kestävyys. Raitinkartanon työmaalla aloitettiin holvityöt vasta maanvaraisen laatan toteutuksen jälkeen. Vaikka runkotöiden aloitus viivästyi, mahdollisti maanvarainen laatta alimman kerroksen sisätöiden aloittamisen välittömästi holvimuottien purkamisen jälkeen. Raitinkartanon 4. kerroksen siirtolaatta edellytti holvituennan tuomista maanvaraiseen tasoon asti, joten maanvarainen laatta tuon holvin alueella olisi voitu toteuttaa vasta 6 kk kuluttua holvitöiden aloittamisesta ja sisätöiden aloitus olisi viivästynyt vastaavasti. Myös holvien jälkituennat purettiin aina holvien jännityksen jälkeen ja tuennat palautettiin vasta juuri ennen seuraavan holvin betonointia. Näin väliseinä- ja muita sisätöitä pystyttiin viemään eteenpäin pala kerrallaan holvitöiden rytmissä, kun väliseinät rakennettiin kosteuden kestävästä materiaaleista. Tällä saavutettiin merkittävää aikatauluhyötyä.

3.5 Laakerit

Muottitöiden jälkeen ja ennen raudoitustyötä pilarien ja konsolien päälle asennetaan irrotuslaakerit (kuva 60-62) irrotussuunnitelman mukaisesti (Lindroth, 2015, s. 37). Suuret betonipurseet pitää ensin hioa (kuva 58-59), jotta päälle valettavan holvin kutistumisen aiheuttamat muodonmuutokset pääsevät tapahtumaan.



Kuvat 58-59 Hiotut pilarin ja konsolin yläpinnat.



Kuvat 60-62 Laakerit pilarin ja konsolin päällä

Jos pilaari tai seinä on valettu liian korkeaksi, pystyrakenteen yläpää tarttuu holviin kiinni eikä laatta pääse liikkumaan sen päällä. Rakenteen yläpää pitää joko lyhentää oikeaan korkoon (kuva 63) tai sen ympärille pitää jättää holviin varaus, joka mahdollistaa holvin liikkeet (kuva 64).



Kuvat 63-64 Liian korkean konsolin piikkaus ja pilarin yläreunaan uretaanivaahdolla tehty varaus.

Pysyvien irrotusten tartuntojen suojaputket täytetään uretaanivaahdolla, jotta rakenteiden liikkeet ovat mahdollisia (kuva 65).



Kuva 65 Pysyvä irrotus katukansien liitoksessa: uretaanivahto irrotusputkien sisällä.

3.6 Pystypintojen irrotukset sekä tartuntojen irrotusputket

Pystypintojen irrotukset tehdään solumuovikaistoilla, koska niihin ei kohdistu kuormituksia kuten pilarien yläpäihin (kuva 66). Laatan kutistumissuunnat näkyvät irrotussuunnitelmasta. Nurkkien ja kohtien muiden ahtaiden irrotus kannattaa tehdä huolella ja tarvittaessa irrotuskaistaa pitää laittaa useampi kerros, jotta laatta ei kutistuessaan tartu niihin kiinni.



Kuva 66 Pystypinnan irrotuksena on 20 mm solumuovikerros. Tartuntatapin ympärillä on muovinen irrotusputki.

Pilareiden päissä, konsoleissa ja seinien yläpäissä olevien tartuntaterästen ympärille asennetaan irrotusputket (kuvat 67-68). Teräsputkia käytetään punosten ankkureiden läheisyydessä, mutta muualla voidaan käyttää muoviputkia. Tartuntaputket keskitetään terästen ympärille puukiiloilla tai ruuveilla, jotta liikevaraa on joka suuntaan. Puutteelliset irrotukset voivat aiheuttaa betonirakenteeseen vaurioita (kuvat 69-70).



Kuvat 67-68 Irrotusputket seinän sekä pilarin tartuntateräksissä.

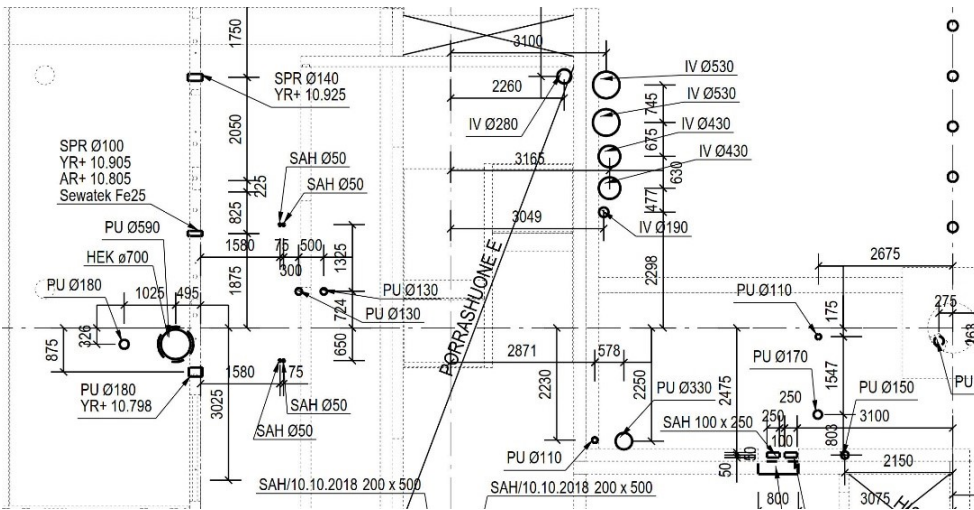


Kuvat 69-70 Puuttuvista irrotuskaistoista aiheutuneita holvin halkeamia.

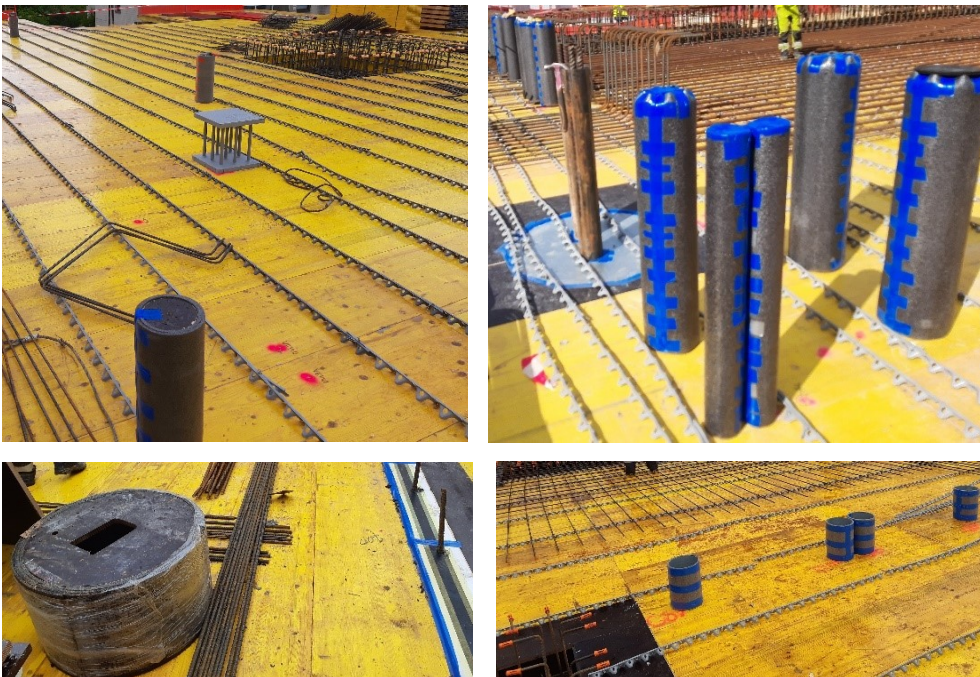
3.7 Varaukset

Teräsbetoniholviin tulevat läpivientivaraukset talotekniikkaa varten kiinnitetään holvimuotin pintaan varaussuunnitelman mukaan (kuva 71). Varaussuunnitelmasta ilmenee varauksen koko

sekä rakennusosa, jota varten varaus tehdään: sähkö, putki, ilmanvaihto ja sprinkleri. Varaukset mitataan ja kiinnitetään holvimuotin pinnalle ennen raudoituksen aloittamista (kuvat 72-75).



Kuva 71 Varaussuunnitelma.



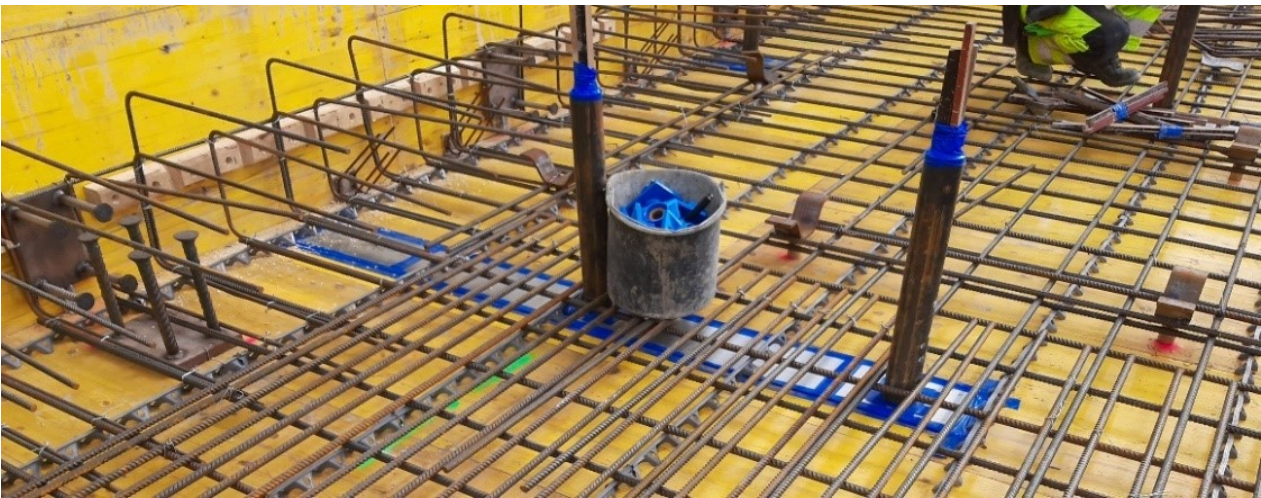
Kuvat 72-75 Varauksia kiinnitettyinä muottiin.

Varausten muottiputkina voi käyttää esimerkiksi kierresaumateräsputkiä, joita ei ole välttämätöntä poistaa paloteknisten vaatimusten vuoksi varausten aukaisun yhteydessä. Jos varausputken ympärille kiedotaan irrotusta varten solumuovieristettä eli pakkasmattoa, on

muoviputkien poistaminen helppoa. Varauksiin ei saa holvivalun aikana mennä betonia, joten niiden päät pitää suojata.

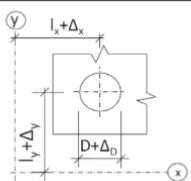
3.8 Holvin alapinnan tartunnat

Holvin alapintaan tulevat tartunnat kiinnitetään muotin pintaan. Tartunnat voivat olla esimerkiksi tartuntalevyjä, valuankkureita tai kiinnityskiskoja (76-78).

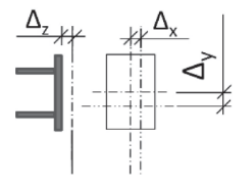


Kuvat 76-78 Holvimuotin pintoihin asennettuja tartuntoja.

Varausten ja tartuntojen sijaintien mittapoikkeamien täytyy pysyä sallituissa rajoissa (kuvat 79-80) (SFS 5975, 2019, s. 26) .

	<p><u>Reiät, varausputket, varauskolot ja syvennykset</u></p> <p>- Δ_x ja Δ_y - Δ_D</p> <p>Toleranssit koskevat myös liukuvalurakenteita.</p>	<p>± 20 mm ± 10 mm</p>	<p>± 20 mm ± 10 mm</p>
---	---	--	--

Kuva 79 Varausputkien sijaintitoleranssit toleranssiluokassa 1 ja 2 (SFS 5975, 2019, s. 26)

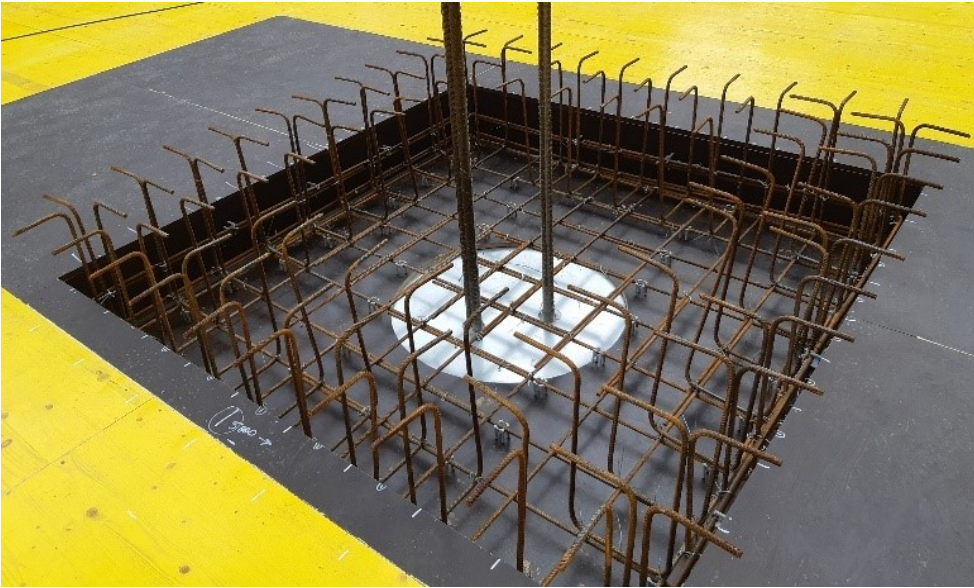
	<p><u>Kiinnityslevyt:</u></p> <p>Sivusijainti - Δ_x, Δ_y</p> <p>Syvyyspoikkeama - Δ_z</p> <p>Toleranssit koskevat myös liukuvalurakenteita</p>	<p>Noudatetaan alla olevia toleransseja, ellei toteutuseritelmässä tai tuotehyväksynnöissä ole toisin mainittu.</p> <p>± 15 mm ± 5 mm</p>	<p>Noudatetaan alla olevia toleransseja, ellei toteutuseritelmässä tai tuotehyväksynnöissä ole toisin mainittu.</p> <p>± 15 mm ± 5 mm</p>
---	---	---	---

Kuva 80 Kiinnityslevyjen sijaintitoleranssit toleranssiluokassa 1 ja 2 (SFS 5975, 2019, s. 26)

3.9 Pilareiden lävistysvahvikkeiden rauditus

Lävistysalueen raudituksen kohdalla tulee tarkastaa:

- leikkaushakojen sijainti
 - leikkaushakojen lukumäärä
 - pilarin alueen betonoitavuus
 - punosten sijoittelu ja korkoasema hakoihin nähden
 - yläpinnan terästen korkoasema
 - mahdollinen pilarin tartuntatapin irrotus ja laakerointi. (Heiskanen, 2018, ss. 40-41)
- (kuvat 81-82)



Kuvat 81-82 Pilarivahvikkeen alapinnan raudoitus ja leikkaushaat.

3.10 Palkin raudoitus

Palkki voidaan raudoittaa pitkälle esivalmistettuna, ja nostaa palkin raudoite paikalleen lähes valmiina (kuvat 83-84).



Kuva 83 Palkin haat, päätyhaat sekä alapinnan teräkset.



Kuva 84 Palkin rauditus käynnissä.

3.11 Laatan alapinnan raudoitus

Yhteen suuntaan kantavissa laatoissa tarvitaan pääraudoituksen lisäksi jakoraudoitus (kuvat 85-86). Jakoraudoitus estää betonin kutistumisesta johtuvia vaikutuksia. (Pietilä, 2015, s. 46)



Kuva 85 Laatan alapinnan raudoitus.

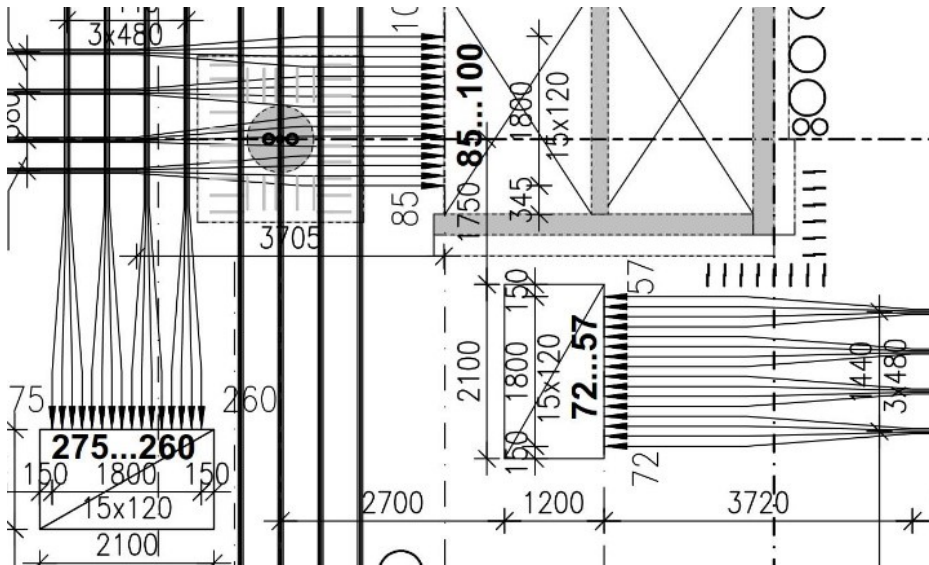


Kuva 86 Laatan alapinnan ja pilarivahvikkeen raudoitus.

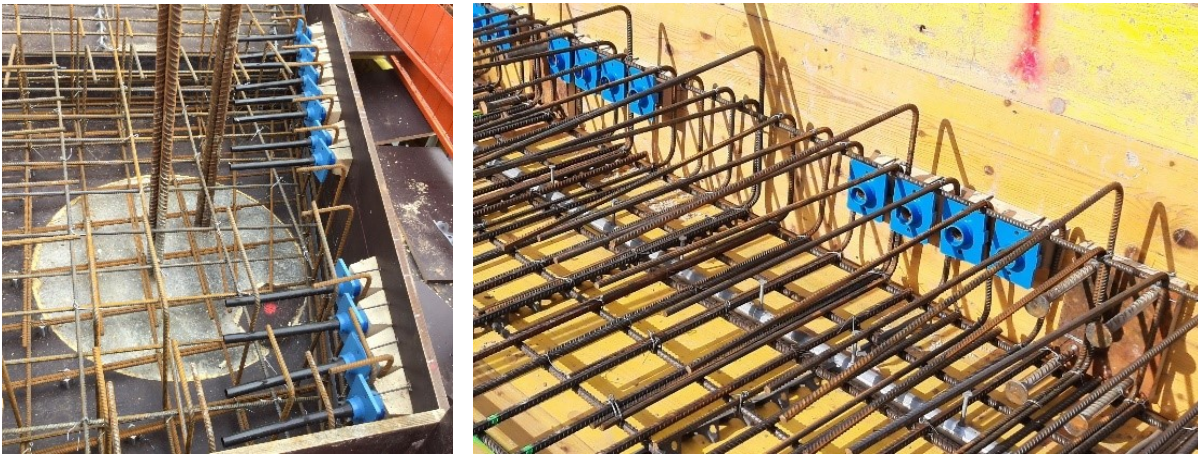
3.12 Aktiiviankkurien asennus

Jännitetystä rakenteista vastaavan urakoitsijan on tarkistettava, että ankkurit ovat ETA-hyväksynnän tai kansallisen varmennustodistuksen mukaisia (Sweco, 2018). Palkkien ja holvialueen päätytoppareihin mitataan ja porataan reiät sekä asennetaan aktiiviankkurit (kuva 87-

90) (Lindroth, 2015, s. 39). Ankkurit asennetaan rakenteeseen yleensä pystysuuntaan nähden keskeisesti (Tuomola, 2016, ss. 4-5).

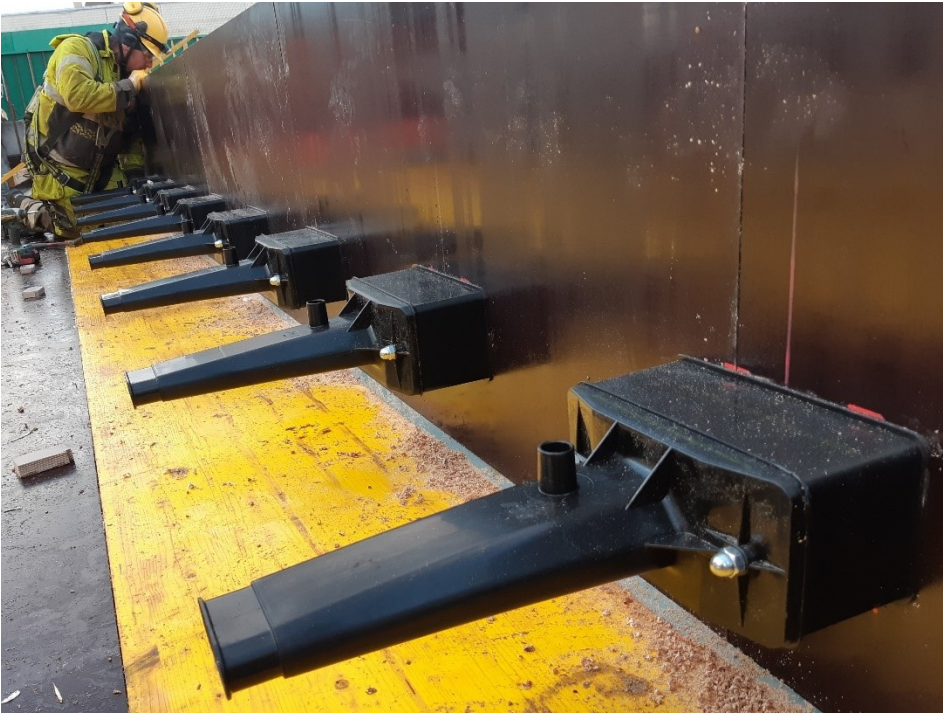


Kuva 87 Punokset jännitetään aktiiviankkurien suunnasta (Sweco, 2018).

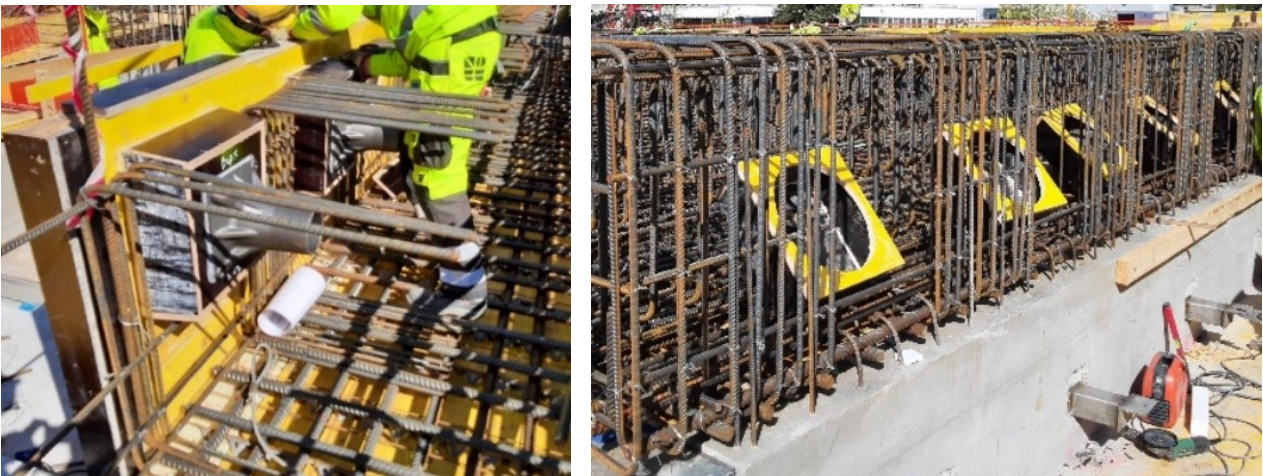


Kuvat 88-89 Tartunnattomat monoankkurit aktiivipäässä.

Ankkurikappaleiden sijainnin toleranssi on ± 10 mm (By 69, 2017, s. 58). Ankkurikappaleet voivat olla hyvin tiiviisti sijoitettuna. Jännemenetelmän ETA-hyväksynnässä on määritelty ankkureiden sallitut reuna- ja keskiöetäisyydet. (Kärki, 2018, s. 45) Tartunnallisten punosankkurien aktiivi- ja passiivipäässä käytetään samoja ankkureita, joiden ankkurihatut ja kiilat asennetaan valun jälkeen (kuva 91-92)(Sweco, 2018).



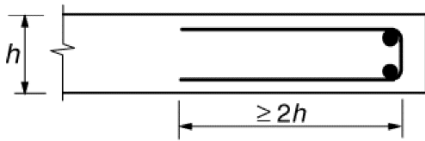
Kuvat 90 Tartunnattomat aktiivimultiankkurit.



Kuvat 91-92 Tartunnallisen menetelmän ankkurien asennus.

3.13 Reunan raudoitus

Laattojen vapailla eli ilman tukea olevilla reunoilla tulee olla pitkin reunaa kulkeva pitkittäis- ja poikittaisraudoitus, eli nurkkateräkset sekä niitä ympäröivät reunahaat (kuvat 92-93) (Pietilä, 2015, s. 44).

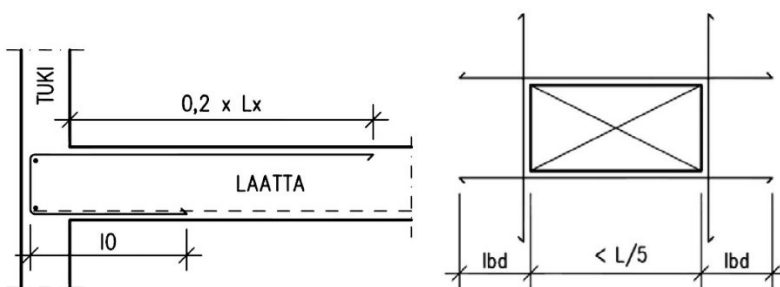


Kuva 93 Laatan reunan raudoitus (Pietilä, 2015, s. 44)



Kuva 94 Laatan raudoitus reunalla. Lisäksi reunassa myös korkeammat D-haak pihakannen kallistuksia varten.

Laatan tuetulla reunalla kaikki alapinnan teräkset tuodaan tuelle ja ankkuroidaan D -teräksillä, jotka limitetään jatkospituuden verran kenttäraudoitukseen (kuva 95) (Pietilä, 2015, s. 45).



Kuvat 95-96 Laatan raudoitus reunatuella sekä aukon reunan raudoitus (Pietilä, 2015, ss. 45-46)

Rakennesuunnittelija määrittelee laattaan tulevien aukkojen reunojen raudoituksen (kuva 96). Pientä aukkoa raudoitettaessa periaate on, että ehyestä laatasta katkeava raudoitus aukon kohdalla siirretään aukon vastakkaisiin pieiin. Raudoitus siirretään tasan, eli puolet kummallekin pielelle sekä laatan jänteen suunnassa että poikittaisessa suunnassa. Siirrettävä raudoitus tulee

ulottaa vähintään ankkurointipituuden verran aukon reunan yli. (Pietilä, 2015, s. 46) Laatan tuella olevan reunan tartuntaterästen taakse asennetaan sidontaraudat (kuva 97).



Kuva 97 Tartuntaterästen taakse asennettu B-teräkset ja nurkkaan vinoteräkset estämään halkeilua.

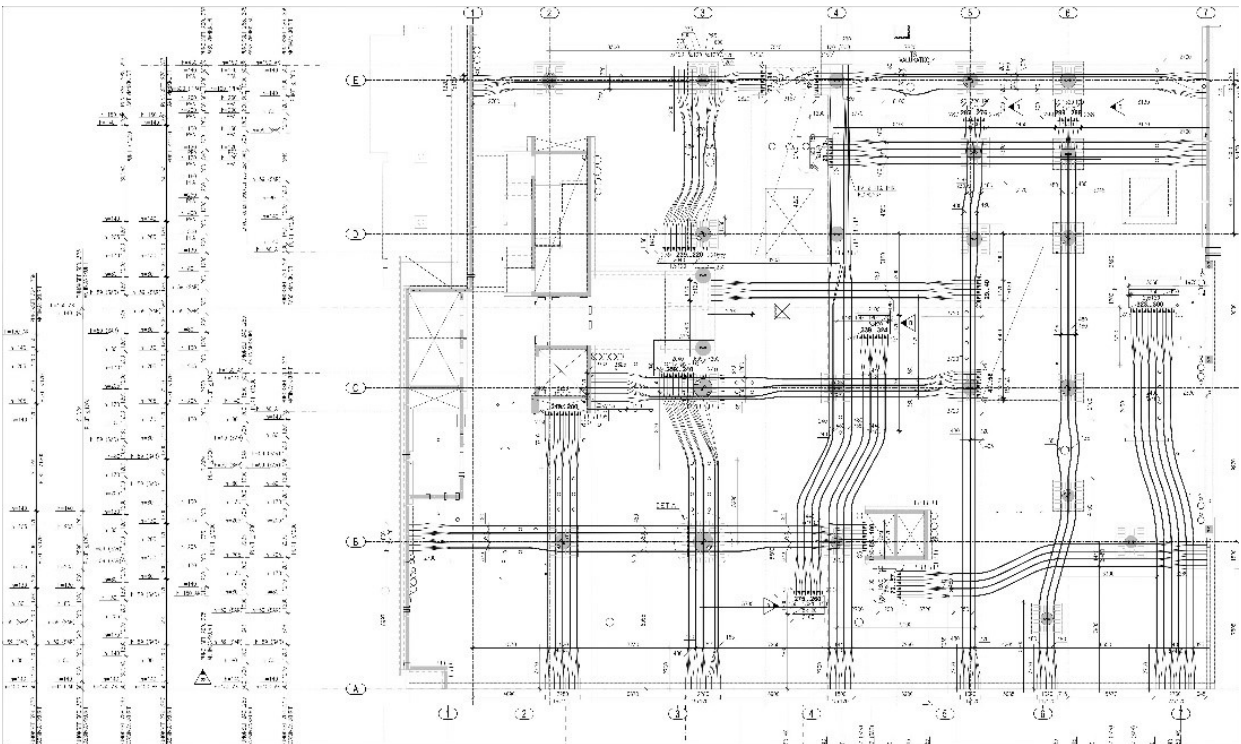
Nurkkien kohdalle ja varausten ympärille sidotaan ala- ja yläpinnan teräksiin kiinni vinot teräkset estämään betonin halkeilua.

3.14 Punokset

3.14.1 Punospiirustukset

Jännepunospiirustuksessa (kuva 98) on esitettyinä

- jännepunosten vaakageometria mitoitettuna moduulilinjoista tai rakenteen reunoista
- jännepunosten tuentapukkien sijainti ja korko muotin pohjasta jännepunoksen alapintaan
- jännepunosten numerointi
- jänteiden tyyppi ja koko
- jännityssuunnat ja jännitysjärjestys
(By 69, 2017, s. 51)
- jänneankkurien keskiön etäisyys muotin alapinnasta
(Janne Hanka, henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2020)



Kuva 98 Raitinkartanon valualueen 12 punospiirustus.

3.14.2 Punosten käsittely ja varastointi

Jännitetyistä rakenteista vastaavan urakoitsijan on tarkistettava, että muovisuojukset ja rasva ovat ETA-hyväksynnän tai kansallisen varmennustodistuksen mukaisia (Sweco, 2018). Punosten toimituserää koskevissa koetodistukset pitää tarkastaa. Niissä pitää ilmetä punosten kimmokertoimen arvo (By 69, 2017, s. 14). Punoskelassa tulee olla tunnuslappu, jonka perusteella valmistuserä pystytään tunnistamaan (kuva 99).



Kuva 99 Punoskelan tunnuslappu.

Jänteet, ankkurointiosat ja jatkokset on suojattava haitallisilta vaikutuksilta kuljetuksen ja varastoinnin aikana sekä myös rakenteeseen asennettuina ennen pysyvää suojausta (kuva 100) (By 69, 2017, s. 54).



Kuva 100 Rikkoutunut punoksen suojaputki.

Tartunnallisten jänneterästen ei tulisi olla kosketuksissa maaperään tai sateelle alttiina. Ne varastoidaan ensisijaisesti suljetuissa tiloissa, joiden suhteellinen kosteus on alle 60%.

Jännitysjärjestelmän vähäinen ruostuminen on yleensä sallittua, jos ruoste voidaan poistaa pehmeällä kankaalla. Enemmän ruostetta voidaan hyväksyä ankkurointivalujen ulkopuolella. (SFS EN 13670, 2010, s. 44)

3.14.3 Tartunnattomien punosten valmistelu asennusta varten

Tartunnattomat punokset katkaistaan 500 mm pitemmiksi ja tartunnalliset punokset 1500 mm pitemmiksi kuin suunnitelmiin merkitty tehokas pituus eli pituus ankkurista ankkuriin (kuva 101) (Sweco, 2018).



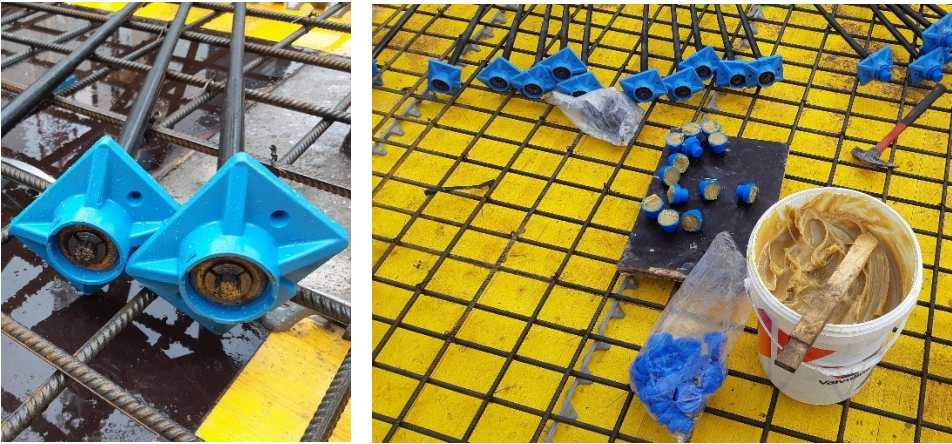
Kuva 101 Punosten katkaisu.

Tartunnattoman menetelmän passiiviankkurit voi kiinnittää punoksiin katkaisun jälkeen (kuva 102-103).



Kuva 102-103 Passiiviankkuri kiinnitetään punokseen puristamalla kiilat hydraulisella tunkilla.

Ankkureiden kiinnityksen jälkeen passiiviankkurit suojataan rasvalla ja suojakannella (kuva 104-105).



Kuva 104-105 Ankkureiden suojaus.

3.14.4 Punosten tuenta

Jänneteräkset tuetaan tuentapukeilla, jotka kiinnitetään raudoitukseen hitsaamalla tai solmimalla (kuva 106). Jänneteräksen tuenta tulee tehdä suunnitellun punosgeometrian mukaisesti. (Määttä, 2018, s. 24)



Kuva 106 Jännepunokset tuetaan pukeilla.

Tuentavälin suositusarvo on 1,2 metriä. Rakenteen päissä ja välitukien kohdalla voidaan tihentää tuentaväliä. Tuentapukit voidaan kiinnittää raudoitteeseen hitsaamalla tai sitomalla. (By 69, 2017, ss. 38, 41)

3.14.5 Tartunnattomien punosten asennus

Betonipeitteen paksuus, jännepunosten sijainnin toleranssi, punosten ja betoniterästen väli, punosten ryhmittely sekä punosten keskinäinen väli (kuva 107-108) määritellään suunnitelmassa. Betoniterästen betonipeitteen vähimmäisarvovaatimukset koskevat myös jänneterästen ankkureita, ellei niitä ole korroosiosuojattu rasiusluokkaa vastaavasti (By 69, 2017, s. 17).



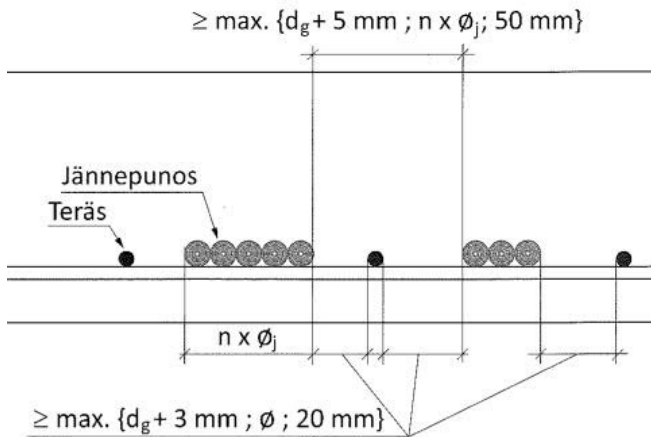
Kuvat 107-108 Tartunnattomat punokset vedettynä palkkiin ja laatalle odottamaan kiinnitystä.

Jänneteräkset tulee sitoa kiinni tukipukkeihin luotettavasti (By 69, 2017, s. 41). Jännepunosten sijainnin sallitut mittapoikkeamat toleranssiluokassa 1 ja 2 ovat rakenteen paksuuden (h) mukaan:

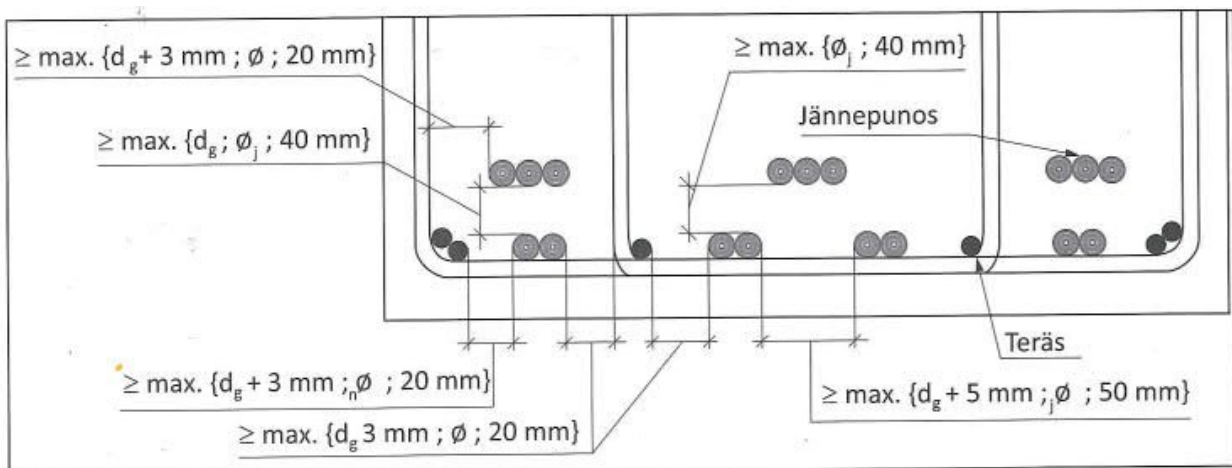
$h \leq 200\text{mm}$	$\pm 6\text{ mm}$
$200\text{ mm} < h < 1000\text{ mm}$	$\pm 0,03 \times h$
$h \geq 1000\text{ mm}$	$\pm 30\text{ mm}$

(By 69, 2017, s. 34)

Palkissa ja laatussa punosten ryhmittely ja punosten välit tulee olla sallituissa rajoissa (kuvat 109-110) (By 69, 2017, s. 34).



Kuva 109 Jännityspunosten sallitut sijaintipoikkeamat laatussa. (By 69, 2017, s. 34).



Kuva 110 Jännityspunosten sallitut mittapoikkeamat palkissa (By 69, 2017, s. 34).

Tartunnattomat jänteet voidaan ryhmitellä laatussa (kuvat 111-112) enintään 5:n ja palkeissa enintään 3:n kappaleen ryhmiin. 4:n ja 5:n punoksen ryhmiä ei saa sijoittaa kerroksittain rakenteeseen. Punosryhmien väliin pitää jäädä vähintään (suurin arvo valitaan):

- 50 mm
- betonin raekoko + 5 mm
- punosryhmän leveys $n \times D$ (By 69, 2017, s. 34)

Jänteen tulee olla suora ja ankkurin akselin suuntainen ankkurista ensimmäiselle tuelle (Sweco, 2018).



Kuvat 111-112 Ryhmitellyt punokset.

3.15 Ankkurointialueen raudoitus

Ankkurointialueelle tarvitaan raudoitus halkeilun hallitsemiseksi sekä sitomaan paikallinen ankkurointialue osaksi yleistä ankkurointialuetta. Jos jännevoima on suuri, tarvitaan lisäksi puristuslujuutta parantavaa raudoitusta (kuvat 113-114).

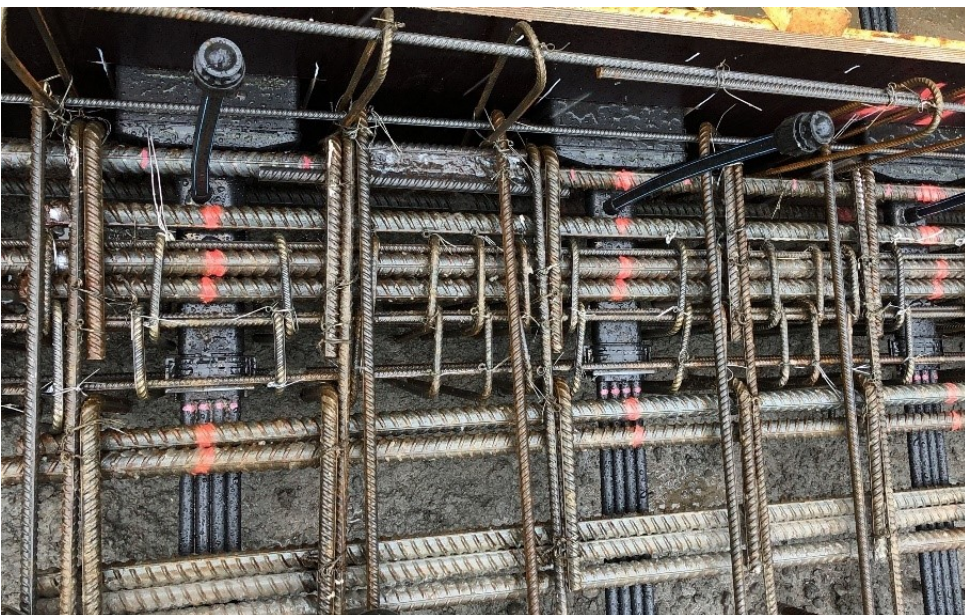


Kuvat 113-114 Tartunnattomien monoankkureiden raudoitus. Aktiivipää raudoitetaan ennen punosten asennusta.

Tartunnattomissa ankkurijännebetonirakenteissa paikallisen ankkurointialueen raudoituksena käytetään yleensä U-mallin hakaraudoitusta (kuvat 115-116) jännemenetelmän mukaisesti. (Kärki, 2018, ss. 7,51)



Kuva 115 Palkin päässä punokset kahdessa kerroksessa.

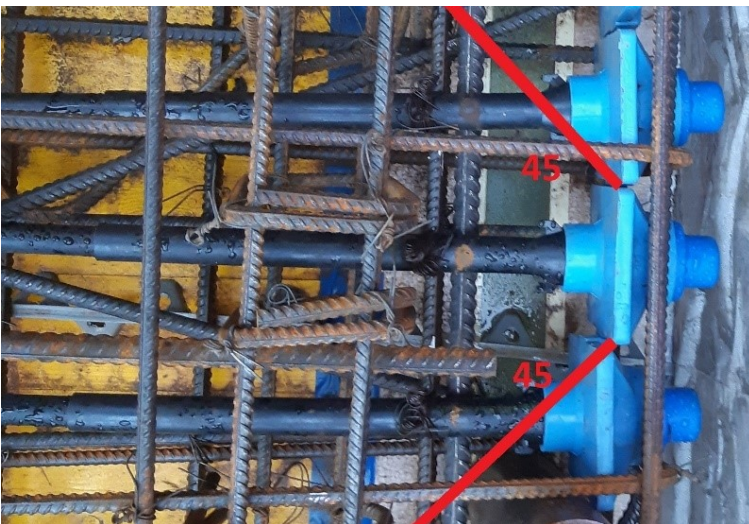


Kuva 116 Multiankkureiden raudoitus.

Tartunnallisissa ankkurijännebetonirakenteissa käytetään usein jännemenetelmän mukaista spiraalimaista kierrehakaraudoitusta (Helix-raudoitus) (kuvat 117-118), joka asennetaan ennen suojaputkia (Kärki, 2018, s. 7).



Kuvat 117-118 Tartunnallisen ankkurin raudoitus.



Kuva 119 Ankkurit eivät saa olla toistensa kanssa limittäin.

Ankkurit asennetaan ja sidotaan paikalleen niin, että ne eivät ole toistensa kanssa limittäin (kuva 119). Ankkureiden välittämä voima jakaantuu $33,7^\circ$ kulmassa (EN 1992 1-1 s.148). Työmaaohjeena käytetään 45 astetta, jolloin viereisten ankkurien pitää olla tuon kiilan ulkopuolella. Jos ankkureille ei ole tilaa, niitä voidaan porrastaa syvyysuunnassa suunnittelijan ohjeen mukaan (kuva 120).



Kuva 120 Ankkureita siirretty syvyysuunnassa.

Jänteiden muovisuojaus ja muovisuojuksen liitokset ankkureihin ja jatkoksiin tarkastetaan ennen betonointia. Jos punoksen suojamuovi on rikkoutunut, se voidaan korjata punoksen ETA-hyväksynnässä tai kansallisessa varmennustodistuksessa ja annettujen ohjeiden mukaisesti. Korjaukset tarkastetaan ja dokumentoidaan. Jänteiden asema ja tuenta on tarkastettava erityisesti rakenteen tukien kohdalla. (Sweco, 2018)

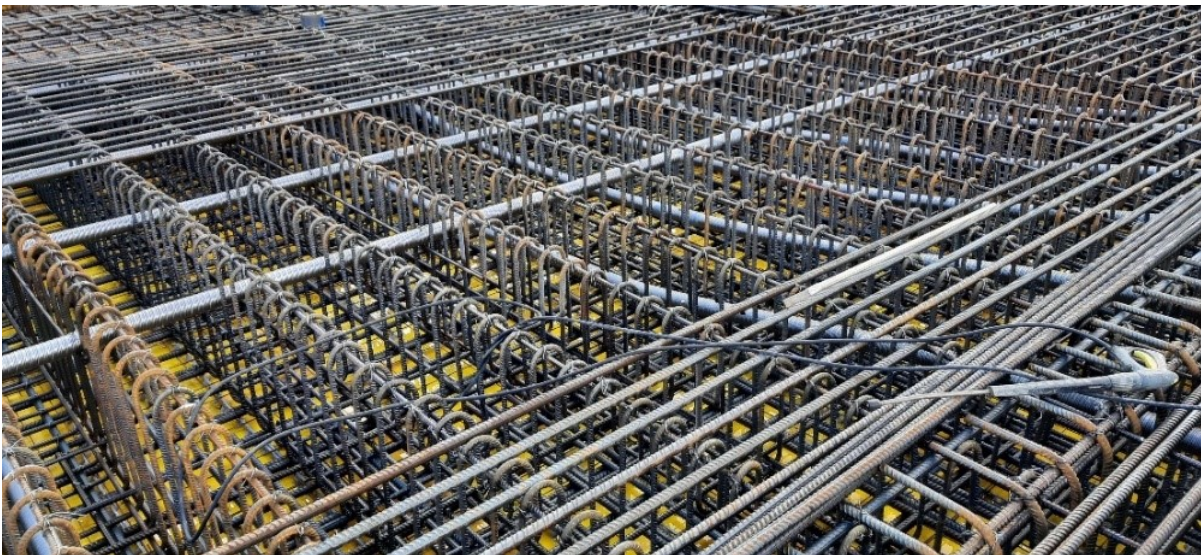
3.16 Tartunnallisten punosten suojausputkien asennus

Suojausputkien kuljetusnipusta pitää tarkistaa kuorman tunnuslappu (kuvat 121-122), jossa tulee olla standardin määrittämät tiedot: valmistajan tunnusmerkki tai tuotenimi, standardin tunnus EN523, kohdan 4 mukainen luokka, nimellinen sisähalkaisija ja tarvittaessa suojausputken tyyppi (SFS EN 523, 2004, s. 8).

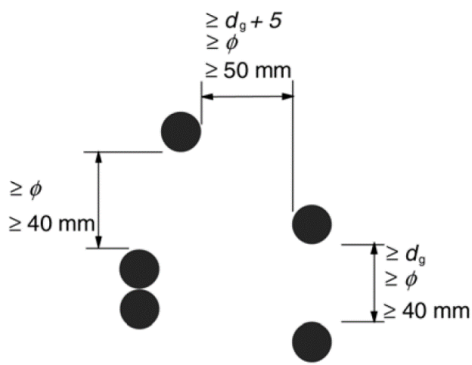


Kuvat 121-122 Tartunnallisten suojaputkien kuorman tunnuslappu (kuvat: Janne Hanka).

Punosten suojaputkien sijainnin toleranssi, punosten ja betoniterästen väli, punosten ryhmittely sekä punosten keskinäinen väli määritellään suunnitelmissa (kuva 123). Ankkurijänneiden suojaputket suunnitellaan ja sijoitetaan rakenteeseen niin, että betoni pystytään valamaan vaurioittamatta suojaputkia. Suojaputket eivät saa olla liian lähekkäin, koska betonin pitää kestää kaarevien suojaputkien kautta välittyvät ankkurijänneiden voimat (kuva 124). (Kärki, 2018, s. 46).



Kuva 123 Tartunnalliset suojaputket leikkausraudoitetussa laatasta ennen yläpinnan terästen asennusta.



Kuva 124 Suojaputkien välisen vapaan tilan vähimmäisarvo (SFS EN 1992, 2015, s. 145).

Kaksi suojaputkea voi eurokoodin mukaan niputtaa päällekkäin, mutta se ei ole suositeltavaa (Kärki, 2018, s. 46). Kaikki suojaputkien, ankkureiden ja jatkosten saumat on tiivistettävä siten, että vesi ei pääse saumoihin (kuvat 125-126) (SFS EN 13670, 2010, s. 21). Injektoitavien punosten suojaputkien kunto ja kaikki liitokset putkissa sekä liitokset ankkureissa tulee tarkistaa ennen betonointia.



Kuvat 125-126 Suojaputkien päät tiivistetään ankkuriin.

Betonoinnin aikana pitää varmistaa, että suojaputket eivät vaurioidu betonoinnin aikana. Mikäli betonoinnin aikana tapahtuu vaurioita, pitää ne paikata välittömästi betonointityön aikana. (Sweco, 2018) Valun aikana suojaputkeen saattaa valua betonimassasta erottunutta vettä putken

liitosten ja vaurioiden kautta. Suojaputken notkoihin kerääntyneen veden emäksisyys häviää nopeasti karbonatisoitumisen vuoksi. Jänneteräkset ovat alttiina voimakkaalle korroosiolle, kunnes ne on jännitetty ja injektoitu. (Asp;Tulonen;& Laaksonen, 2017, s. 24)

3.17 Tartunnallisten punosten asennus suojaputkiin

Jänneteräkset kannattaa asentaa suojaputkiin ennen betonointia. Jos betonia on betonoinnin aikana päässyt suojaputkeen, saattaa olla mahdollista saada putki auki liikuttamalla jännettä. Tartunnalliset punokset pujotetaan suojaputkiin käyttämällä siihen tarkoitettua konetta (kuva 127). Punosten asennuksessa tulee käyttää sopivaa punoksen syöttölaitetta, koska punoskela voi vapautua hallitsemattomasti ja purkautua vaarallisesti (kuva 128) (Matt, 1989, s. 4).



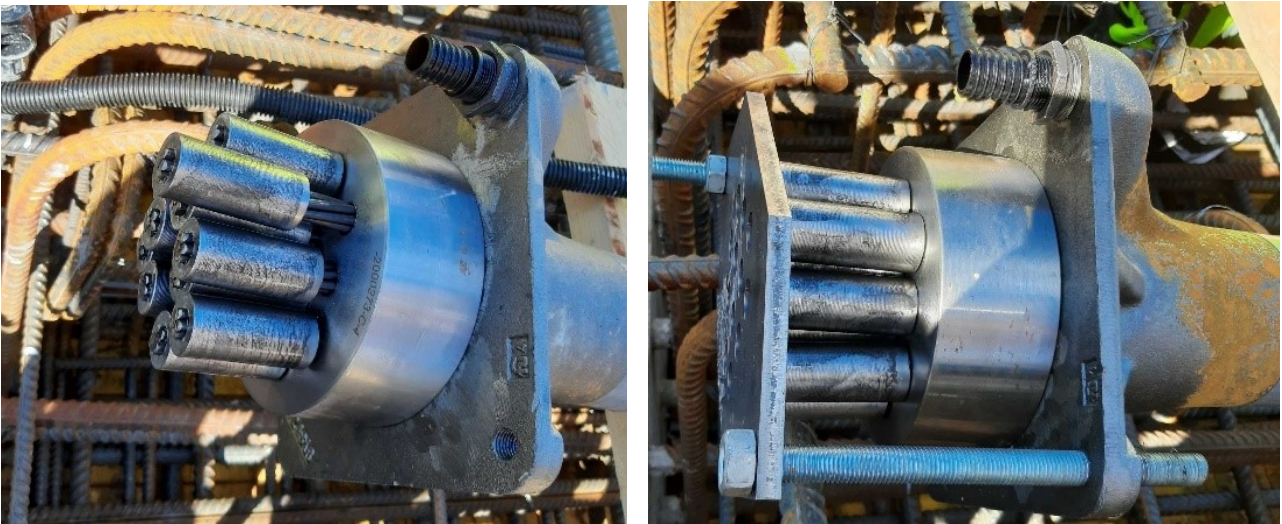
Kuvat 127-128 Tartunnallisten punosten syöttäminen suojaputkeen.

3.18 Tartunnallisten punosten valuun upotettavat passiivipäät

Tartunnallisten punosten molemmissa päissä käytetään ensisijaisesti aktiiviankkureita. Jos tartunnallisen järjestelmän punosten päät pitää upottaa valuun, voidaan passiivipäänä käyttää punoksen päästä puristimella muotoiltuja sipuliankkureita (kuva 129). Valuun upotettavaa passiiviankkuria voidaan käyttää, jos voidaan varmistaa, että ankkurihattu + kiilat pysyvät paikallaan valun ajan (kuva 130-131). (Sweco, 2018)



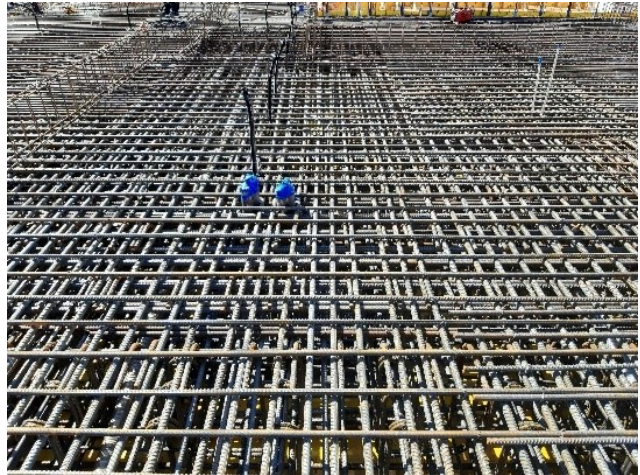
Kuva 129 Punoksen päähän muovattu sipuliankkuri (Made-in-China.com, ei pvm).



Kuvat 130-131 Valuun upotettava tartunnallisen menetelmän passiiviankkuri.

3.19 Laatan yläpinnan raudoitus ja tartunnat

Lopuksi asennetaan laatan yläpinnan raudoitteet, jotka voivat olla puristus- tai vetoteräksiä sen mukaan, miten laattaa rasittavat voimat jakautuvat (kuvat 132-133). Raudoituksen päällä liikkumisen helpottamiseksi betonointityön aikana yläpintaan voidaan asentaa verkko koko laatan alalle. Jos holviin tulee talotekniikan asennuksia, ne tehdään ennen yläpinnan terästen asennusta.



Kuvat 132-133 Yläpinnan raudoitus.

Muotti puhdistetaan ennen betonointia huolellisesti. Vedellä pestessä roskat kerääntyvät muotin alimpiin kohtiin kuten pilarivahvennoksiin, jotka pitää lopuksi myös puhdistaa.

3.20 Injektoitavien jänteiden suojausputkien veden- ja ilmanpoistoletkut

Suojausputket varustetaan ilmanpoistoputkilla, jotta ilma pääsee injektointivaiheessa väistymään suojausputkesta pois laastin tieltä (kuvat 134-135) (Suominen, 2019, s. 9). Vedenpoistoputket asennetaan jokaisen suojausputken alimpiin kohtiin ja ilmaletkut rakenteen päihin sekä kaikkiin ylimpiin lakipisteisiin (Sweco, 2018).



Kuvat 134-135 Suojausputkien ilmanpoistoletkut.

Suojaputket ja ilmanpoistoletkut pitää kiinnittää niin, että ne kestävät betonin valun ja tiivistyksen (SFS EN 13670, 2010, s. 21). Kaikki sisäänmenot, ulostulot sekä niiden sijainti suhteessa jänteeseen tulee merkitä niin, että jänne ja siihen liittyvät osat voidaan tunnistaa valun jälkeen (SFS EN 446, 2008, s. 8).

3.21 Pilaritartuntojen irrotusten injektointiletkut

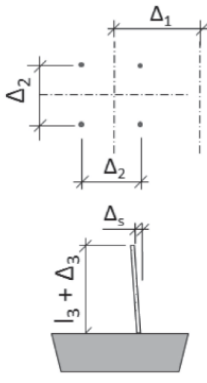
Pilarin päiden tartuntaterästen jokaiseen suojaputkeen asennetaan injektointiletku, jonka kautta tartunta injektoidaan suunnitelmien mukaisen irrotusajan jälkeen (kuva 136). Injektointiletkuissa pitää huomioida injektointimassan vaatima putken paksuus ja injektoinnin aiheuttama paine. Raitinkartanon työmaalla käytettiin sisämitaltaan 25 mm paksua putkea.



Kuva 136 Injektointiletkut ja ilmaletkut asennettuna pilarin irrotusputkiin.

3.22 Yläpinnan tartunnat

Yläpinnan raudoituksen päälle mitataan ja asennetaan tarvittavat tartunnat: tartuntalevyt- ja pultit sekä kiinnityskiskot (kuva 138). Tartuntojen sijaintien tulee olla sallituissa rajoissa (kuva 137) (SFS 5975, 2019, s. 26).

	<p><u>Ankkuripultit yms. tartunnat:</u></p> <p>Pulttien ja pulttiryhmän sivusijainti - Δ_1</p> <p>Pulttien välinen sijainti ryhmässä - Δ_2</p> <p>Korkeusasema - Δ_3</p> <p>Kaltevuuskulma - Δ_s</p> <p>Toleranssit koskevat myös liukuvalurakenteita</p>	<p>Noudatetaan alla olevia toleransseja, ellei toteutus-eritelmässä tai tuotehyväksynnöissä ole toisin mainittu.</p> <p style="text-align: center;">± 5 mm</p> <p style="text-align: center;">± 2 mm</p> <p style="text-align: center;">± 5 mm</p> <p>Suurempi seuraavista: (korkeusmitta l_3 [mm])</p> <ul style="list-style-type: none"> • ± 5 mm tai • $\pm l_3 / 200$ 	<p>Noudatetaan alla olevia toleransseja, ellei toteutus-eritelmässä tai tuotehyväksynnöissä ole toisin mainittu.</p> <p style="text-align: center;">± 5 mm</p> <p style="text-align: center;">± 2 mm</p> <p style="text-align: center;">± 5 mm</p> <p>Suurempi seuraavista: (korkeusmitta l_3 [mm])</p> <ul style="list-style-type: none"> • ± 5 mm tai • $\pm l_3 / 200$
--	---	---	---

Kuva 137 Ankkuripulttien sijaintitoleranssit toleranssiluokissa 1 ja 2 (SFS 5975, 2019, s. 26)



Kuva 138 Kiinnityskiskoja.

3.23 Raudoitustarkastus

Tarkastuksessa tarkastetaan koko alueen raudoitus huolellisesti ja siitä tehdään tarkastuspöytäkirja. (Heiskanen, 2018, s. 40) Raitinkartanon työmaan kokemusten mukaan rakennesuunnittelijan ensimmäinen raudoitustarkastus on hyvä tehdä jo ennen yläpinnan raudoituksen asennusta, sillä muutosten tekeminen on silloin helpompaa.

Raudoitustarkastuksessa tarkastetaan:

jänneterästen suunnitelmien mukaisuus

- punosten maksimäärä nipussa
- punosten keskinäinen etäisyys ja betonoitavuus
- punosten korkeusasema
- punosten ankkureiden raudoitus

harjaterästen suunnitelmien mukaisuus:

- raudoituksen koko
- raudoituksen sijainti
- raudoituksen jako
- terästen keskinäinen etäisyys ja betonoitavuus
- laatan reunojen raudoitus
- raudoitus tuella

raudoituksen suojabetonietäisyys:

- alapinnan raudoitus
- yläpinnan raudoitus
- sidonta, välikkeet

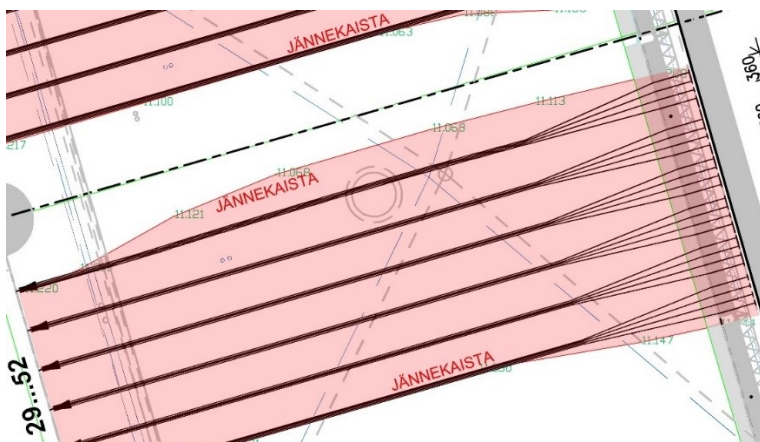
muuta:

- laakereiden, liikuntasauvojen ja irrotuskaistojen suunnitelmien mukaisuus

(By 69, 2017, s. 134)

3.24 Tarkemittaukset

Punosten sijainnit mitataan, sillä sekä rakentamisen että käytön aikana rakennusrunkoon voi olla tarve tehdä uusia porauksia tai läpivientejä. Laattarakenteiden punosten sivusijainti tarkemmitataan suorilla osuuksilla punosten suunnassa 2.4 metrin välein ja kaarevilla osilla 0.6 metrin välein (kuva 139). Palkkien punoksia ei mitata. (By 69, 2017, s. 53)



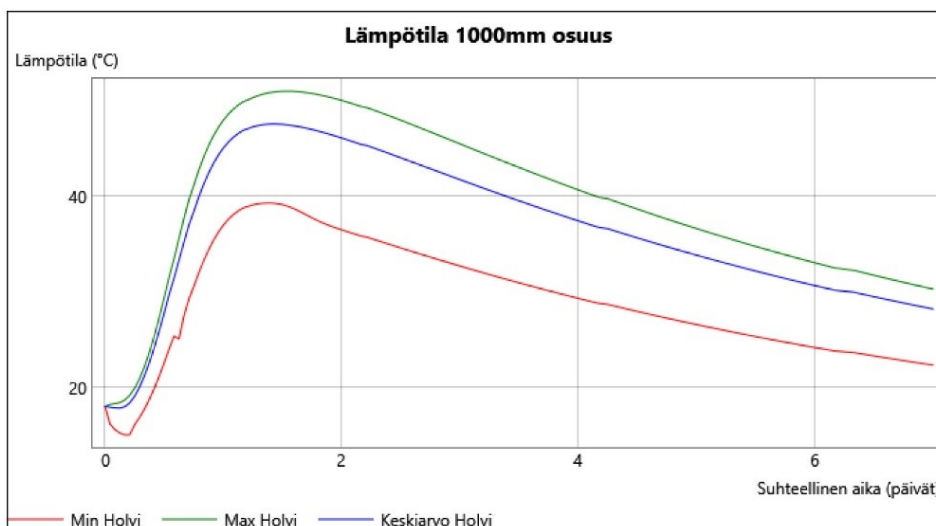
Kuva 139 Jännekaistan tarkemittauksessa näkyy, että ulommainen jänne on siirretty väistämään pihakannen kaivovarausta.

3.25 Betonointi

3.25.1 Betonimassan valinta

Käytettävän betonin edellytetään olevan vähintään jännemenetelmän eurooppalaisessa teknisessä hyväksynnässä määritellyn vähimmäisarvon suuruinen. Ankkurijännerakenteissa käytettävän betonin lujuusluokka on melko yleisesti C35/45. Ankkurijännerakenteiden betonille suositellaan käytettäväksi korkeampia lujuusluokkia, koska silloin betoni saavuttaa nopeasti jännityslujuuden, jolloin muottikierto nopeutuu. (Suominen, 2019, s. 12) Korkeamman lujuusluokan betonilla on pieni vesisementtisuhde, mikä vähentää betonin kutistumista (By 201, 2018, s. 90). Betonin kutistumaa voidaan pienentää myös käyttämällä mahdollisimman suurta kiviainesta (Sweco, 2018). Betonin kutistuma kasvaa, mitä enemmän massassa on vettä, sementtiliimaa tai

masuunikuona. (By 201, 2018, s. 90) Betonin tiivistämisen kannalta haastavin alue on ankkurialueet, minkä vuoksi betonin maksimirakokoa voidaan pienentää ankkurialueilla (Määttä, 2018, s. 41), (By 69, 2017, s. 57). Myös betonin notkeus valitaan sopivaksi, jotta muotti täyttyy kunnolla. Lämpötilaero betonirakenteen eri kohdissa ei saisi nousta yli 20 celsiusasteen, jotta lämpötilaerojen aiheuttamat vetojännitykset eivät aiheuttaisi halkeilua rakenteeseen (By 201, 2018, s. 546). Massiivisia rakenteita betonoitaessa ja kuumissa olosuhteissa on vaarana liiallinen lämpötilan nousu. Betonin kovettumisvaiheessa lämpötila ei saisi nousta yli 60°C, koska lämpökäsittely heikentää betonin säilyvyyttä ja lisää halkeamia. (By 210, 2005, s. 53) Toisaalta kylmänä vuodenaikana betonin hydrataatiolämmön ylläpitäminen on erittäin tärkeää, sillä jos valettu betoni pääsee jäähtymään, sen kovettuminen hidastuu huomattavasti ja hydrataation kiihdyttäminen voi olla mahdotonta. Muotin lämmittäminen lämmittämällä alapuolisia tiloja sekä lämpösuojauksen levittäminen valualueelle mahdollisimman pian pinnan hierron jälkeen ovat olennaisia apukeinoja. Ohuita rakenteita lämmitetään betonin kovetuskaapeleilla. Betonin hydrataatiolämmön kehittymistä ja massan betonoitavuutta voidaan hallita betonin koostumusta muuttamalla (kuva 140).



Kuva 140 1,0 m paksun laatan lämpötilankehityksen ennakkolaskelma.

Ennen haastavia valukohteita betonitehtaan, pumppausurakoitsijan, runkourakoitsijan, valurakoitsijan sekä vastuullisen betonityönjohtajan tulee keskustella kohteen ominaispiirteistä, sopivimmasta betonilaadusta, betonin toimituksesta ja pumppauksesta.

3.25.2 Betonointi

Betonimassa valetaan normaalisti maksimissaan 0,3-0,5 metrin kerroksina. Betonimassa sijoitetaan kerrallaan oikeaan paikkaan ja massan siirtämistä täryttimellä tulee välttää, jotta massa ei erotu. Pudotuskorkeus pitää olla mahdollisimman pieni, korkeintaan 1-1,5 metriä. Betoni tiivistetään huolellisesti täryttämällä siten, että massa tiivistyy kauttaaltaan ja jokainen uusi massakerros liittyy hyvin aikaisempaan kerrokseen. Liiallinen tiivistys voi saada massan erottumaan. (By 201, 2018, s. 335) Valun paksuuden tulee pysyä sallituissa rajoissa (kuva 141) (By 69, 2017, s. 57)

Toleranssiluokka	h < 150	h = 400	h ≥ 2500
1	± 10 mm	± 15 mm	± 30 mm
2	± 5 mm	± 10 mm	± 30 mm

Kuva 141 Poikkileikkauksen sallitut mittapoikkeamat (By 69, 2017, s. 57).

Tärytintä ei saa pitää liian lähellä punosten suojaputkia, jotta putkien sijainti ei muutu (kuva142). Punosten kaarevuus vaikuttaa jännepunosten venymään (Turunen, 2017, s. 94).



Kuva 142 Pilarivahvikkeen alueen betonointia.

Etenkin suuriin betonivaluihin, jotka on tehtävä yhtäjaksoisesti, on syytä varautua varakalustolla ja -henkilöstöllä. Ylimääräisen betonipumpun kustannus on pieni verrattuna siihen, että valu jää kesken ja joudutaan kalliisiin purkutöihin.

3.25.3 Väli- ja jälkihoito

Betonin väli- ja jälkihoito tehdään aina olosuhteiden vaatimalla tavalla (kuva 144). Suositeltu jälkihoitoluokka on luokka 4 eli jälkihoitoa jatketaan siihen asti, kunnes kovettumisaste on 70 % ominaispuristuslujuudesta (By 69, 2017, s. 57), (SFS EN 13670, 2010, s. 26). Jälkihoitoluokka määritellään suunnitelma-asiakirjoissa (kuva 143).

	Jälkihoitoluokka 1	Jälkihoitoluokka 2	Jälkihoitoluokka 3	Jälkihoitoluokka 4
Aika (tuntia)	12 ^a	Ei käytetä	Ei käytetä	Ei käytetä
Kovettumisaste prosentteina määritellystä 28 vrk:n ominaispuristuslujuudesta	Ei käytetä	35 %	50 %	70 %
^a Edellyttäen, että sitoutuminen kestää korkeintaan 5 tuntia ja betonin pintalämpötila on vähintään 5 °C.				

Kuva 143 Betonin jälkihoitoluokat (SFS EN 13670, 2010, s. 26)



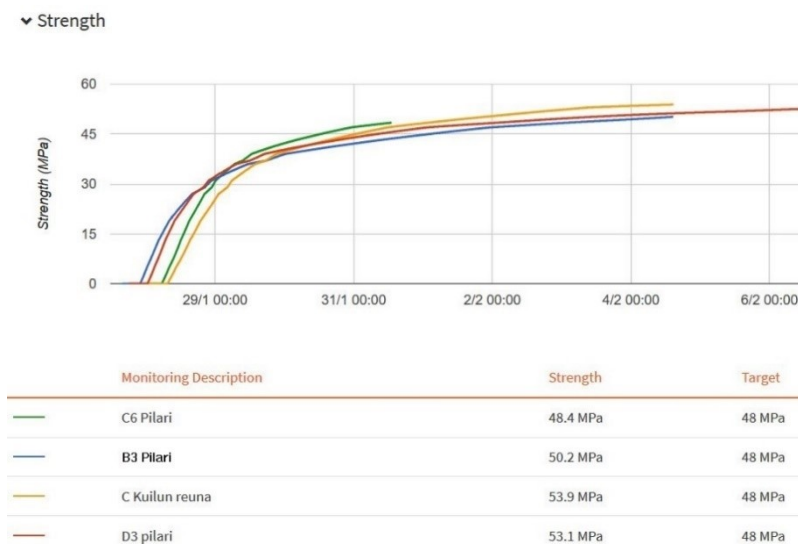
Kuva 144 Välihoitoaineen levitetään heti betonin tasoituksen jälkeen.

3.25.4 Puristuskoekappaleet

Puristuskoekappaleita ja ilmamäärän mittausta tehdään rakennesuunnittelijan määrittelemistä kriittisistä rakenneosista. Raitinkartanon työmaalla koekappaleita otettiin perustusten, pilarien, palkkien, laattojen sekä seinien ensimmäisistä massaeristä kolme kpl ja sen jälkeen laatoissa 200 m³ välein ja muissa rakenneosissa 75 m³ välein. Ilmamäärää ja tiheyttä mitattiin kerran jokaisena holvi- tai kuiluvalupäivänä.

3.25.5 Lujuuden kehitys ja seuranta

Lujuuden arviointi perustuu lämpötilan seurantaan ja betoninlaadun ominaiseen lujuudenkehitysdataan. Lämpötila-anturit tulee sijoittaa valettavan rakenteen kylmiin paikkoihin: erillisiin nurkkiin tai pintoihin, jotka ovat vasten kalliota tai kylmiä betonipintoja, jotka on valettu aiemmin. Jos halutaan tarkkailla valetun rakenteen lämpötilaeroja, laitetaan antureita myös rakenteen massiivisiin kohtiin, joissa lämpötila nousee korkeimmalle. Antureita asetetaan useita, koska anturijohdot voivat vahingoittua valun aikana (kuva 145).



Kuva 145 Lujuudenkehityskäyrät neljältä mittarilta. Tavoitelujuudeksi on asetettu jännityslujuus.

Lämpötilan mittari ja lähetinyksikkö on hyvä sijoittaa niin, ettei sitä tarvitse heti irrottaa valua seuraavien töiden vuoksi. Esimerkiksi holvimuotin topparit puretaan ensimmäisenä jännitystöitä varten, joten niihin kiinnitetyt mittaritkin joudutaan samalla irrottamaan.

3.26 Jännitystyöt

3.26.1 Jännityslujuus

Rakennesuunnittelija määrittelee betonin jännityslujuuden. Jännityslujuus voi vaihdella valualueittain ja se pitää tarkastaa asianomaisesta suunnitelmasta. Raitinkartanon työmaalla eri valualueilla suunnitelmissa määritelty punosten jännityslujuus oli 50-70% rakenteen betonin suunnittelulujuudesta (Sweco, 2018). Käytännössä jännityslupa annettiin, kun betoni oli saavuttanut lujuudenkehityksen seurannan perusteella 80% suunnittelulujuudestaan.

3.26.2 Jännitysolosuhteet

Jännitystyön aikana betonin lämpötilan on oltava vähintään +5°C. Ympäristön lämpötilan tulee olla minimissään -10°C. Kylmän rakenteen jännitystyö vaatii erityistä huolellisuutta, koska jännevoiman tasaantuminen vie aikaa. Jännitystyössä on huomioitava, että paine on tasaantunut ennen punoksen kiilausta. (By 69, 2017, s. 54) Rakennesuunnittelija määrittelee tartunnallisten punosten vaaditut jännitysolosuhteet. Jännittämistyön aikana betonin lämpötilan on oltava vähintään +5 °C. Ympäristön lämpötilan tulee olla yli -10 °C (Tiehallinto, 2005, s. 70).

3.26.3 Jännitysjärjestys

Jälkijännitetyissä ankkurijännerakenteissa on kitkaa punosten ja betonin välillä. Viimeiseksi jännitettäviin punoksiin kohdistuu enemmän kitkaa, koska punosten kaarevissa muodoissa aiemmin jännitetyt punokset painavat myöhemmin jännitettäviä punoksia. (By 210, 2005, ss. 618-619) Jälkijännitetyissä rakenteissa ensimmäinen jännitettävä jänne lyhenee eniten seuraavien jänteiden voimasta ja viimeisenä jännitettävä ei lyhene lainkaan. Tämä otetaan tavallisesti huomioon siten, että ensimmäisiin jänteisiin tuotetaan sallittu ylijännitys, joka kompensoi betonin kimmoisen kokoonpuristuman ja jänteiden keskinäiset voiman vaihtelut. (By 210, 2005, s. 610) Jänneteräokset jännitetään rakennesuunnittelijan määräämässä järjestyksessä (kuva146). Jännittäminen voidaan toteuttaa vaiheittain esimerkiksi niin, että teräokset jännitetään aluksi esimerkiksi 50 % suunnitellusta ja myöhemmin lopulliseen jännevoiman arvoon. Tartunnattomat rasvapunokset jännitetään usein kerralla suunniteltuun jännevoimaan, koska yhdessä punoksessa

vaikuttava voima on pieni. Pitkät tartunnalliset jännerakenteet voidaan jännittää jänteen molemmista päistä samanaikaisesti. Palkkirakenteissa ankkureiden jännitys aloitetaan yleensä keskimmäisistä ankkureista. Laattarakenteissa jännittäminen voidaan aloittaa rakenteen reunalla sijaitsevista ankkureista. Ensimmäisen ankkurin jännittämisen jälkeen voidaan jännittää viereiset ankkurit edeten kohti rakenteen reunoja. Vaihtoehtoisesti ensimmäisen ankkurin jännittämisen jälkeen, voidaan jännittää joka toinen tai kolmas ankkuri ja sen jälkeen jäljellejääneet ankkurit. (Kärki, 2018, s. 44)

JÄNNITYSVOIMA: 210kN/ANKKURI KUN LUJUUS \geq C25/30
 JÄNNITYSJÄRJESTYS: 1. JOKA TOINEN LAATAN PUNOS
 2. LOPUT LAATAN PUNOKSISTA

Kuva 146 Raitinkartanon valualue 1:n jännityslujuus ja -järjestys. Rakenteen suunnittelulujuus oli C35/45. (Sweco, 2018)

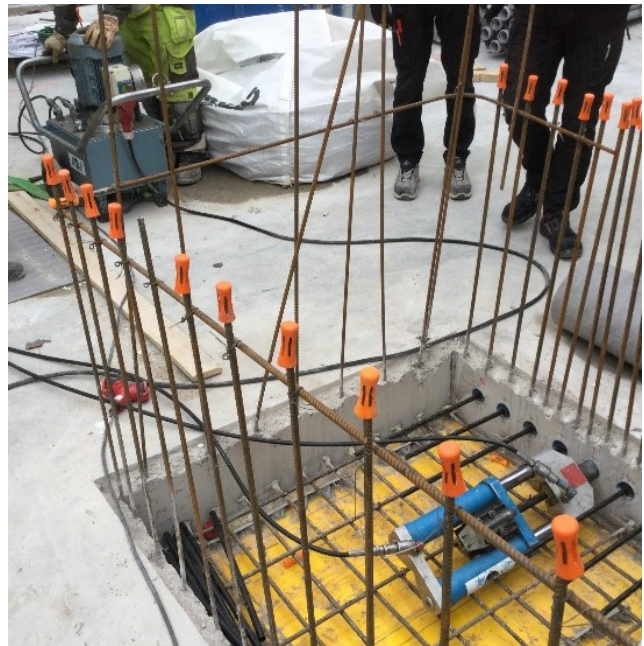
3.26.4 Jännitystyö ja venymän mittaus

Jännitystöiden valmistelu alkaa muottien pystytopparien ja ankkurien varauskolojen muottirakenteiden purkamisella (kuva 147). Betonirakenne tarkastetaan, ettei siinä ole betonoinnista johtuvia vaurioita (Tiehallinto, 2005, s. 70).

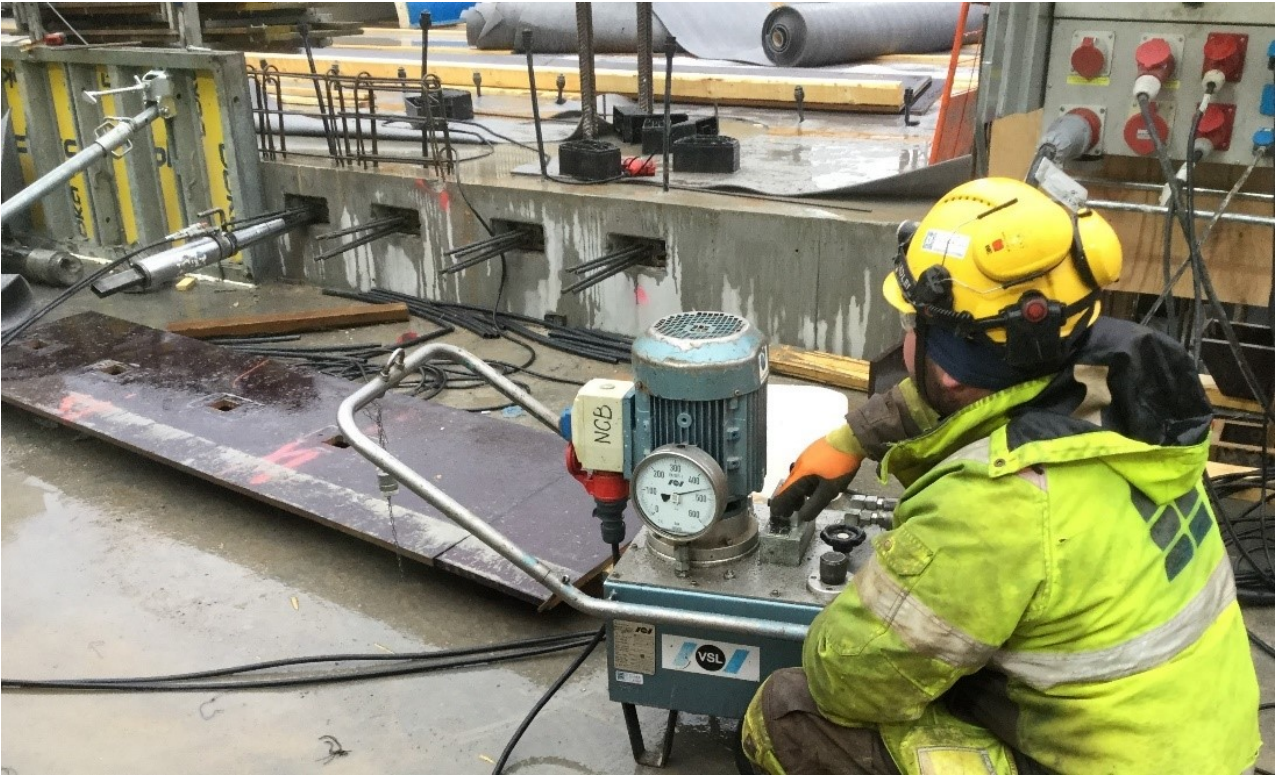


Kuva 147 Tartunnallisten jännerakenteiden muotti osittain purettuna.

Jännepunokset jännitetään aktiiviankkureista hydraulisella vetolaitteella eli jännitystunkilla, jonka paine kehitetään korkeapainepumpulla (kuva 149-154). Tunkit on kehitetty jotakin tiettyä jännemenetelmää varten, joten niitä ei voi käyttää toisen jännemenetelmän kanssa ilman tunkin keulaan tehtävää sovitetta. Tunkki lukitsee ankkurit työntämällä punosten kiilat (kuva 148) paikalleen, mutta lukitsemiseen voi olla myös erilliset työkalut. Mitä enemmän jänneteräksiä yhteen ankkuriin menee, sitä suurempi kalusto tarvitaan. Lisäksi kalustoon tarvitaan mittauslaitteet, joilla voidaan mitata voima ja venymät. (Suominen, 2019, ss. 12-13) Jännityslaitteiston tulee olla eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukainen. Jännityslaitteiston, tunkin ja mittarin tulee olla kalibroituja suhteessa toisiinsa. Voimassa olevan kalibrointitodistuksen tulee olla saatavilla työmaalla. Kalibrointitodistus on voimassa yhden vuoden. (By 69, 2017, s. 54)



Kuvat 148-149 Tartunnattoman punoksen ankkurin kiilat työnnetään ankkurikappaleen sisään ja punos jännitetään.



Kuva 150 Tartunnattoman multiankkurin jännitys.



Kuvat 151-152 Tartunnallisessa menetelmässä kruunu työnnetään punosten läpi.



Kuvat 153-154 Yhden jännekanavan kaikki jännteet jännitetään samalla kertaa.

Jänneurakoitsijan on syytä varmistaa suunnittelijalta, miten jännityspöytäkirjaan (kuva 155) määritetyt laskennalliset venymät on laskettu, erityisesti kun käytetään injektoituja jännteitä. Tartunnattomien jänneiden venymät (=pituuden muutos) mitataan yleensä jänneiden lukitsemisen ja jännitystyön jälkeen. Tällöin lasketussa venymässä on huomioitu passiivi- ja aktiiviankkurien lukitusliukumat. Injektoiduissa jännteissä jänneiden pituuden muutos mitataan ennen jänneiden lukitsemista, eli jännitystyön aikana. Lisäksi injektoiduissa ankkurijännteissä venymän mittaus aloitetaan, kun 10...20% tunkkausvoimasta on tunkissa. Tällä tavalla injektoiduista jännteistä otetaan "löysät pois". (Janne Hanka, henkilökohtainen tiedonanto 26.11.2020)

JÄNNEMENETELMÄ: Tartunnattomat jänteet

KAAPELITYYPPI: **SFS 1265-3-Y-1860-S-7-15,7-R1**

Ap = **150 mm²**

Aktiiviankkurin lukitusliukuma= **6 mm** Pas.ankk.liukuma= **5 mm**
 Kitkakerroin= **0,06** Aaltoisuusluku= **0,01 rad/m**
 Kokoonpuristuma= **1 mm** Häntä= **500 mm**

ALKUJÄNNITYS Po = **0 kN / Punos**
 LOPULLINEN JÄNNITYS Po = **210 kN / Punos**
 Jännityslujuus ≥ **C25/30**

Venymät on laskettu esikiristysvoimasta P = **0 kN**

Listassa ilmoitetut venymäarvot ovat lukitusliukuman jälkeisiä arvoja.
 Venymäarvoissa on huomioitu passiivi- ja aktiiviankkurin lukitusliukumät
 sekä rakenteen keskimääräinen kimmoinen kokoonpuristuma.
 Venymän mittatoleranssi: ± 5 mm

JÄNTEIDEN LKM: 192 kpl

ANKKURIT: PASSIIVI (P) / AKTIIVI (A) / JATKOS (C) 384 kpl

TEHOKAS PITUUS YHTEENSÄ: 3021,2 m

KATKAISUPITUUS YHTEENSÄ: 3030,8 m

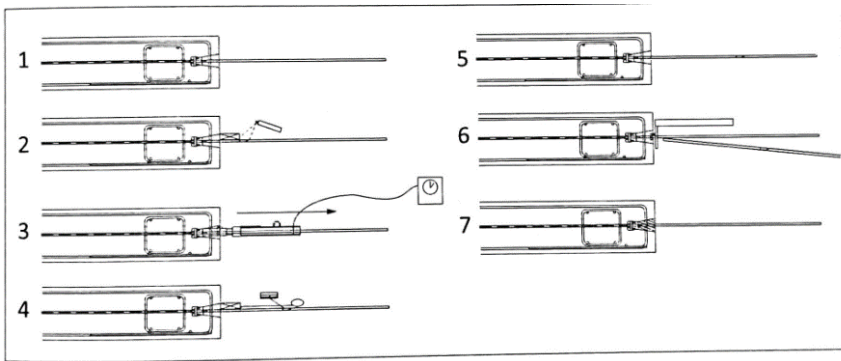
PUNOSTEN NUMEROINTIPERIAATE PALKKILAATASTOSSA:

LAATAN PUNOKSET	1	-	104
LAATAN PUNOKSET	201	-	288
PALKIN PUNOKSET	4001	-	4016

Kuva 155 Raitinkartanon valualueen 11 jännityspöytäkirja (Sweco, 2018).

Tartunnattomien jänteiden venymän mittausohje tyypillisesti (kuva 156):

1. Merkitään punoksen mittauskohta spraymaalilla 50x100 puukapula stopparina.
2. Jännitetään punokset suunnitelmissa esitettyyn voimaan kalibroidulla mittarilla.
3. Mitataan puukapulaa apuna käyttäen punoksen venymä ja kirjataan se jännityspöytäkirjaan. Jännityspöytäkirja toimitetaan hyväksyttäväksi rakennesuunnittelijalle
4. Punoksen maalimerkki on koko ajan näkyvillä ja punoksen venymä on aina tarkistettavissa. (By 69, 2017, s. 55)



Kuva 156 Venymän mittaus (By 69, 2017, s. 55)

Jännitystyön turvallisuudesta pitää huolehtia. Tunkin linjalla ei saa olla, sillä jos jänne irtoaa, saattaa tunkki lähteä liikkeelle jännityksen lauuetessa. (Matt, 1989, s. 8) Hydraulipumpun letkun mahdollinen rikkoutuminen voi myös aiheuttaa vaarallisen öljysuihkun, joka voi lävistää ihon.

3.26.5 Venymien tarkastus ja jännityspöytäkirjan hyväksyminen

Toteutuneita venymiä verrataan jännityspöytäkirjan teoreettisiin arvoihin työn aikana. Mikäli havaitaan poikkeamia, tulee jännitystyö keskeyttää ja ottaa yhteyttä suunnittelijaan, joka tekee tarvittaessa uuden jännityssuunnitelman. Jänneiden venymien mittaustoleranssi on ± 3 mm. (By 69, 2017, ss. 54-55), (By 50, 2012, s. 135) Tartunnattomien punosten toleranssit ovat samassa poikkileikkauksessa oleville jännepunoksille $+3\%$ ja yksittäiselle jännepunokselle $+5\%$, ei kuitenkaan pienempi kuin ± 7 mm. (By 69, 2017, s. 55), (SFS 5975, 2019, s. 12) Venymien poikkeamia voi aiheuttaa esimerkiksi epätarkkuus jännepunosten asennustyössä, punoksen suojuoren vauriot tai väärä jännitysvoima. Lisäksi pitää tarkastaa materiaalitodistuksista kelakohtaisesti, että käytetyn jännepunoksen kimmokertoimen arvo ja poikkileikkauksala ovat suunnitelmien mukaiset. Jos näistä löytyy poikkeamia, suunnittelija voi tarkastaa omat laskelmansa todellisilla materiaaliarvoilla ja -pituuksilla. Yksittäisen punoksen osalta voidaan jännitys poistaa ja punos jännittää uudelleen ja tarkistaa toteutunut venymä toisella kalibroidulla tunkilla. Uudelleen jännityksen yhteydessä tulee huomioida, että osa venymästä jää palautumatta kitkan takia. (By 69, 2017, ss. 55-56). Jännityspöytäkirjoissa tulee olla esitettyinä seuraavat asiat (rakennesuunnittelija):

- jännemenetelmän nimi ja voimassa olevan hyväksynnän tunnus

- jätteiden tyyppi ja koko
- jätteiden numerot, jotka vastaavat piirustuksissa esitettyjä numeroita
- jätteiden pituudet (tehokas- ja katkaisupituus)
- jätteiden teoreettinen venymä lukitusliukuman jälkeen kimmainen kokoonpuristuma huomioiden ja yksittäisen punoksen venymän sallitut minimi- ja maksimiarvot
- jännitysvoimat
- betonin vähimmäislujuus jännityshetkellä

Jännitysurakoitsija ja rakennesuunnittelija allekirjoittavat jännityspöytäkirjan (kuva 157) toteutuneen jännitystyön (kuva 157) hyväksynnän osoittamiseksi. Suunnittelijan hyväksynnän jälkeen jätteiden hännät saa katkaista ja muottien purku voidaan aloittaa. Täytetyt jännityspöytäkirjat suositellaan arkistoitavan myös rakennusvalvonnan arkistoon (By 69, 2017, ss. 51, 54, 56).

KOY RAITINKARTANO TASO +7.800 VA11				V E N Y M Ä T (mm)				dL = (delta L)				KOK δL	HUOM!
KAAP. NRO	VÄRI- KOODI	ANKKU- RIT	JÄNTEEN PITUUS(m)	LASKETTU		MITATTU 0%		MITATTU 100%					
				δL	IDEAL	Ftunkk	kN	Ftunkk	kN				
				Max	Min	s	N/mm ²	s	N/mm ²				
59		A / P	19,2 / 19,3	136		484		616		132			
60		A / P	19,2 / 19,3	136		495		625		130			
61		A / P	19,2 / 19,3	136		485		614		129			
62		A / P	19,2 / 19,3	136		481		611		130			
63		A / P	19,2 / 19,3	136		460		597		137			
64		A / P	19,2 / 19,3	136		418		548		130			
65		A / P	19,2 / 19,3	136		442		577		135			
66		A / P	19,2 / 19,3	136		456		588		132			
67		A / P	19,2 / 19,3	136		469		603		134			

Kuva 157 Toteutuneet venymät jännityspöytäkirjassa (Sweco, 2018).

3.27 Tartunnallisten jätteiden injektointi

3.27.1 Injektointilaastin testaus

Injektoinnin tarkoitus on suojata jätteitä korroosiolta, saada aikana jätteiden ja jännekanavien välinen tartunta, siirtää puristusjännitykset rakenteessa sekä täyttää kaikki tyhjät tilat, joihin vesi voi kerääntyä ja aiheuttaa betonille pakkasvaurioita (SFS EN 447, 2008, s. 4). Ulkotiloihin jäävien rakenteiden Injektointilaastin tulee olla pakkasenkestävää. (By 201, 2018, s. 385) Raitinkartanon työmaan laastiresepti oli:

- Plussementti CEM I 42,5R
- Vesi (vesisementtisuhte 0,42)
- paisuntalisäaine Daragrout 191 (0,75% sementin määrästä)

Injektointilaastin lisäainepakkaus tulee tarkastaa. Siinä pitää olla merkittynä

- lisäainetyypin nimi jollakin EU:n jäsenvaltion kielellä
- standardin tunnus: EN 934-4:2009
- lisäainetyyppi (injektointilaastin lisäaine tai injektointilaastin paisuttava lisäaine, EN 934-4)

Lisäksi pakkauksessa pitää olla tiedot eränumerosta, tuotantolaitoksesta sekä viimeisestä käyttöpäivästä. (SFS EN 934-4, 2009, s. 7)

Käytettävälle injektointilaastille tehdään työmaalla soveltuvuuden alkutestaus. Testi pitää tehdä, ellei vastaavanlaisesta injektointilaastista ole jo olemassa korkeintaan 3 kuukautta vanhoja testejä. Testi tehdään myös, kun laastin suhteutus on uusi, materiaalissa on muutos tai olosuhteiden lämpötila-alueella ei ole aiemmin tehty alkutestejä. Testissä arvioidaan injektointilaastin tasa-aineisuus, juoksevuus, vedenerottuminen, tilavuuden muutos, puristuslujuus sekä tiheys. (SFS EN 447, 2008, ss. 9-10)

Testi EN 445 ²⁾ mukaisesti	Soveltuvuuden testaus	Testien lukumäärä
Seulonta	–	1 testi
Juoksevuus	–	1 testi heti sekoittamisen jälkeen 2 testiä 30 min kuluttua sekoittamisesta
Kalteva putki	Vaaditaan ainoastaan, jos ei ole tehty alkutestausta samantyyppisellä sekoittimella, jota on suunniteltu käytettäväksi projektissa	1 testi jos vaaditaan
Sydänlankatestin vedenerottuminen ¹⁾	–	3 testiä
Tilavuudenmuutos ¹⁾	–	3 testiä
Puristuslujuus	–	3 testiä
Tiheys	–	1 testi
¹⁾ Vedenerottumis- ja tilavuudenmuutostestit tehdään samalle näytteelle. ²⁾ Muita testausmenetelmiä voidaan käyttää, jos on korrelaatio tai varma suhde näiden menetelmien ja standardin EN 445 mukaisten vertailumenetelmien välillä.		

Kuva 158 Injektointilaastin soveltuvuuden testauksen laajuus (SFS EN 446, 2008, s. 8)

Ellei rakennesuunnittelija määrittele toisin, Injektointilaastin koekappaleiden keskimääräinen lujuusvaatimus on 27 MPa 7 vuorokauden iässä ja 30 MPa 28 vuorokauden iässä. (SFS EN 447, 2008, s. 8)

3.27.2 Injektoinnin työvaiheet

Punosten injektoinnin aikana rakenteen lämpötilan tulee olla vähintään +5 C astetta tai +2 C valmistajan määrittelemää lämpötilaa korkeammalla 48 tunnin ajan. Injektoitavan rakenteen lämpötila ei saa olla yli + 35 C astetta tai yli valmistajan vahvistaman lämpötilan. (SFS EN 446, 2008, s. 9) Säkitetyn laastin lämpötila-alue pitää ilmoittaa pakkauksessa tai mukanaolevissa asiakirjoissa (SFS EN 447, 2008, s. 7). Injektointilaastin materiaalit pitää säilyttää työmaalla kosteudelta suojattuna (SFS EN 13670, 2010, s. 21). Jännekanavien riittävä tiiviys tarkastetaan ennen injektointia puhaltamalla niihin paineilmaa (SFS EN 446, 2008, s. 8). Samalla suojaputkiin mahdollisesti päässyt vesi lähtee pois kanavista (kuvat 159-160).



Kuvat 159-160 Suojaputket puhalletaan paineilmalla tyhjiksi.

Injektointi suoritetaan pumppaamalla vesimenttiseos erityisellä siihen suunnitellulla injektointiasemalla (kuva 161) jänteeseen ankkurikappaleen päässä olevan reiän läpi. Ilmanpoistoputket suljetaan laastin noustessa niihin. (Lassila, 2011, s. 18)



Kuva 161 Injektointiasema työmaalla.

Jänne tulee injektoida keskeytyksettä ja käytettyjen materiaalien määrä tulee kirjata. Laasti pitää käyttää 30 minuutin tai sen ajan kuluessa, jossa valmistaja on vahvistanut. Injektointia jatketaan, kunnes ulostuloista virtaava laastin juoksevuus on sama kuin injektoitavan laastin juoksevuus. Jänneen pään puoleisen ulostulon kohdalla laastin tiheys saa poiketa korkeintaan 3 % verrattuna sekoittimesta otettavaan laastiin. Kun kaikki ulostulot suljetaan, laastin painetta tulee ylläpitää noin minuutin ajan sen tarkastamiseksi, että laastia ei vuoda väärään paikkaan, esimerkiksi viereiseen jännekanavaan. Pian injektoinnin jälkeen kaikkien sisäänmenojen, ulostulojen ja ankkurin suojabetoni (kuva 162) tulee tarkastaa olevan täynnä kevyesti koputtelemalla. (SFS EN 446, 2008, s. 9) Injektointityöstä tehdään pöytäkirja, johon merkitään seuraavat asiat:

- injektointikohteet
- laastin koostumus
- rakenteen, laastin ja ilman lämpötila
- laastilla tehdyt kokeet kuten notkeus, vedenerottuminen, tilavuudenmuutos, puristuslujuus
- työaika, työpaine
- laastinmenekki injektointikohteittain
- muut tarpeelliset tiedot. (By 50, 2012, s. 135)



Kuva 162 Tartunnallinen ankkuri injektoituna. Ankkurikupin valumuotti odottaa asennusta.

Jos Injektointia ei voida tehdä ajallaan jännittämisen jälkeen, on ryhdyttävä väliaikaisiin suojaustoimenpiteisiin, joilla ei saa olla haitallista vaikutusta teräkseen tai injektointilaastiin. Toimenpiteillä ei saa heikentää tartuntaa haitallisesti. (SFS EN 13670, 2010, s. 22) Injektointi pitää tehdä 12 viikon kuluessa jännityksestä, jos veden tunkeutuminen suojaputkiin voidaan estää. Jos suojaputkiin pääsee vettä, injektointi on tehtävä suotuisissa ympäristöolosuhteissa 4 viikon kuluessa jännityksestä ja ankarissa olosuhteissa 2 viikon kuluessa. Jos jännittämisen ja injektoinnin väli on edellä mainittua pitempi, saattaa hyväksytyjen vesiliukoisten öljyjen käyttö tai jännekanavien huuhtelu kuivalla ilmalla sopivin väliajoin olla sopiva suojausmenetelmä. (SFS EN 13670, 2010, s. 45) Injektoinnin työvirheiden vuoksi suojaputkeen voi jäädä tyhjiä tiloja, joissa jännekerästen korroosiosuoja ja tartunta jäävät vaillinaiseksi (kuva 163).



Kuva 163 Suojaputken injektointi on jäänyt vajaaksi (Federal Highway Administration Research and Technology, 2014).

Ongelmat saattavat johtua injektointimassan ominaisuuksista: massa saattaa erottua suojaputkessa, voi olla liian jäykkää, tiivistymisestä voi aiheutua putken vajaatäyttöö tai massa voi virrata liiallisesti väärään suuntaan. Myös suojaputkesta voi aiheutua ongelmia: putki voi olla liian jyrkillä mutkilla, putki voi olla tukkeutunut tai litistynyt, veden- ja ilmanpoistoletkut voivat olla väärissä paikoissa. Myös liian pieni tai suuri putki punosten määrään nähden saattavat aiheuttaa injektoinnin epäonnistumisen. Injektointilaastin kloridipitoisuus voi myös aiheuttaa punosten korroosiota. Injektointilaastiin voi päätyä klorideja mm. seuraavista syistä:

- kloridien käyttäminen kiihdyttävänä lisäaineena injektointilaastissa

- kloridien ja metallipölyn käyttäminen paisuttavana lisäaineena injektointilaastissa
- kiviaines on kloridipitoista
- injektointilaastin valmistamisessa on käytetty suolapitoista vettä

(Asp;Tulonen;& Laaksonen, 2017, ss. 24-25)

3.28 Punosten ja ankkureiden jälkityöt

Aktiivipään jännityshäntien katkaisu, rasvakorkkien asennus ja ankkurivarauskolojen paikkaus (kuva 165) tulee suorittaa kahden viikon kuluessa, suotuisissa olosuhteissa neljän viikon kuluessa. Jännitysuraakoitsijan pitää laatia paikkausta varten erillinen työohje. Paikkauslaastin pitää olla kutistumatonta ja rasitusluokkavaatimuksiltaan muuta rakennetta vastaavaa. Paikkauslaasti ei saa sisältää klorideja tai muita jänneteräkselle haitallisia aineita eikä metalleja. (By 69, 2017, s. 57) Injektoinnin jälkeen rasvan häviö suoja-putkista estetään sulkemalla jännekanavat paineen alaisina (SFS EN 13670, 2010, s. 23). Jännityskupit täytetään rasvalla ja ankkuriin kuuluvalla kannella. Raitinkartanossa käytetyssä multiankkurimenetelmässä suojarasva injektointiin ankkurirakenteen sisälle (kuva 164). Betonityönjohtajan tehtävänä on tarkastaa ja dokumentoida, että kaikki ankkurit on suojattu huolellisesti.



Kuvat 164-165 Raitinkartanossa käytetyissä multiankkureissa suojarasva injektointiin ankkurirakenteen sisälle. Ankkurikupit täytettiin juotosbetonilla.

3.29 Muottien purku

Muottien purku voidaan aloittaa heti, kun jännitystyöt on hyväksytty. Poikkeuksena ovat jälkituettavat holvin ja aukkojen reunat sekä jälkivalettavat työsaumat (kuva 166). Niiden tuentaa tulee jatkaa, kunnes irrotusaika on kulunut loppuun ja tartunnat ja jälkivalusaumat on betonoitu. Betonin pitää myös saada lujuutta suunnittelijan määrittelemän vähimmäislujuuden verran, minkä jälkeen rakenneosan riittävä jäykkyys on vasta saavutettu.

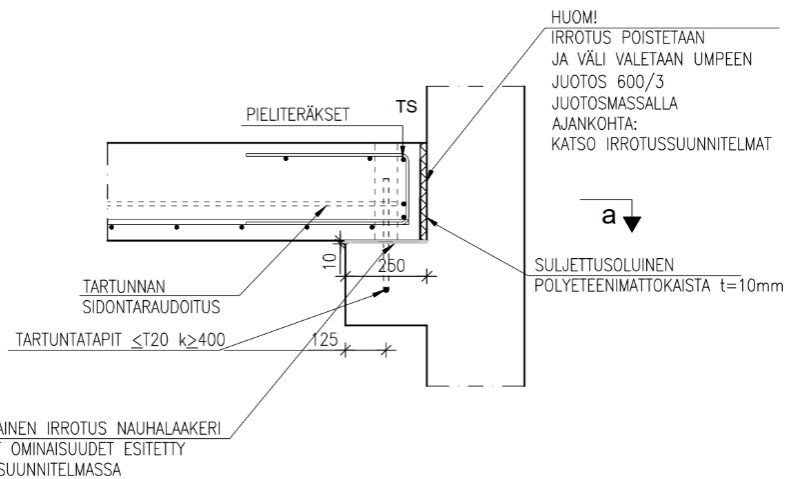


Kuva 166 Jälkivalusauman tuenta.

Työnaikaiset kuormat, kuten raudoite- tai elementtivarasto, voivat kuitenkin ylittää suunnitellut hyötykuormat, joten näillä alueilla pitää olla tarvittaessa jälkituenta.

3.30 Tartuntojen juotos ja injektointi

Kun valetut betonirakenteet ovat saaneet kutistua suunnitelmassa määritetyn ajan, pitää pilari-, konsoli- ja seinätartunnat (kuva 167) juottaa kiinni. Konsoli- ja seinätartunnat, joiden kohdalla ei seuraavassa kerroksessa ole samalla linjalla olevaa seinää, voidaan juottaa puhdistamalla tartuntavaraus ja betonoimalla se juotosbetonilla. Laatan ja seinien väliin jäänyt rako juotetaan myös kiinni (kuva 168). Irrotuskaistana käytetty valumatto eli pakkasmatto poistetaan, ja rakoon valutetaan juotosbetonia. Runkourakoitsija tekee juotokset.



Kuvat 167-168 Seinätartunnat odottavat juottamista. Detaljikuvassa irrotukset ja jälkivalut (Sweco, 2018).

Pilaritartuntojen juottamisen tekee injektointiurakoitsija. Tartunnat injektoidaan valuun asennettujen injektointiletkujen avulla, joiden kautta tartuntamassaa saadaan oikeaan paikkaan.

3.31 Halkeamien injektointi

Rakenteisiin mahdollisesti syntyneiden halkeamien laajuus ja suuruus selvitetään yhdessä jännitettyjen rakenteiden suunnittelijan kanssa ja halkeamat injektoidaan (kuva 169) (Sweco, 2018). Halkeamien injektointiin käytetään epoksimassaa. Injektiomateriaalien tulee olla rakennesuunnittelijan hyväksymiä. Urakoitsija tekee injektoinneista pöytäkirjan, jossa näkyy injektointien sijainnit.



Kuva 169 Holvin halkeamien injektointia.

3.32 Jälkikiinnitys ja läpivientien poraus jälkijännitettyyn laattaan

Talotekniikan kannakointi on välttämätöntä myös punosalueilla, joten rakennesuunnittelija määrittelee sallitun jälkikiinnityssyvyyden. Raitinkartanon työmaalla syvyys oli 35 mm, ja porauksessa piti käyttää myös syvyysrajoitinta. Jälkikäteen holvin läpi porattavien läpivientien tekeminen tutkimatta porattavaa paikkaa saattaa aiheuttaa vahinkoa rakenteelle (kuva 170-171). Varma tapa tarkastaa jälkiporausta vaativat läpiviennit on dokumentoida talotekniikan porauspyynnöt valokuvaamalla ja merkitsemällä pohjapiirrokseen, viestittää rakennesuunnittelijalle, dokumentoida vastaus ja merkitä poraajalle annettavaan työtilaukseen rakennesuunnittelijan hyväksyntä.



Kuvat 170-171 Jälkiporaus tehty tutkimatta punospiirustuksia. Punos säilyi onneksi ehjänä.

4 Jännerakenteiden laatu

4.1 Toteuttajan laadunvarmistus

Jännitetyt rakenteet luokitellaan vaativaan tai erittäin vaativaan luokkaan. Vastaavalta työnohtajalta edellytetään kohteen vaativuusluokan mukaista pätevyyttä. Betonitöitä johtavalla henkilöllä tulee olla rakenteiden ja toteutuksen vaativuutta vastaava betonityönohtajan pätevyys. Jännitettyjen rakenteiden asennustyönohtajalta odotetaan vähintään viiden vuoden työkokemusta jännitetyistä rakenteista ja vähintään vuoden työkokemusta asianomaisen jännemenetelmän osalta. Jännemenetelmän ETA-hyväksynnässä voidaan lisäksi esittää vaatimuksia asentajille ja asennustyönohdolle. (By 69, 2017, s. 52), (By 201, 2018, s. 181) Betonitöistä vastaava työnohtaja valvoo rakenteiden toteuttamisen aikana, että betonirakenteiden valmistusta koskevia suunnitelmia ja ohjeita noudatetaan ja että töistä laaditaan asiaankuuluvat dokumentit (Ympäristöministeriö, 2019, s. 8). Oleellisten työvaiheiden aikana betonityönohtaja on joko itse paikalla tai varmistaa muilla keinoin, että työ toteutetaan ammattitaitoisesti ja suunnitelmien mukaisesti. (By 201, 2018, s. 181) Injektointityöstä vastuussa olevan työnohtajan tulee olla työhön koulutettu ja hänen tulee olla paikalla koko injektointityön ajan. Injektoinnin toteuttava urakoitsija tarkastaa materiaalien ominaisuudet ja injektointityön toteutuksen. Tarkastus pitää dokumentoida. Injektointityön tarkastusluokka on 2 tai 3, ja se

määritellään toteutuseritelmässä. (SFS EN 446, 2008, s. 10) Työn toteutuksen laatusuunnitelman jälkijännitettyjen rakenteiden osalta tulisi sisältää seuraavat asiat:

- toteuttajan hankeorganisaation kuvaus vastuuhenkilöineen
- toteuttajan osaamisen ja resurssien arviointi asetettuihin vaatimuksiin nähden
- tarkastuksen periaatteet vastuineen
- suunnitelma laadunvalvonnan toimenpiteistä ja tallenteista
- betonointisuunnitelma
- jännemenetelmän eurooppalainen tekninen hyväksyntä, tyyppihyväksyntä tai rakennuspaikkakohtainen hyväksyntä
- jännepunoksen tyyppihyväksyntä tai rakennuspaikkakohtainen hyväksyntä
- jännittämistöitä koskeva työturvallisuussuunnitelma
- menetelmäkuvaus, joka sisältää toteutukseen liittyvät erityispiirteet liittyen jännemenetelmään ja työn toteuttamiseen
- käytetyn jännityskaluston kalibrointitodistukset voimassaoloaikoineen

(By 69, 2017, s. 52)

Jälkijännitetyissä pilarilaatoissa voidaan käyttää toteutusluokkaa 2 tai 3, joista luokka 3 on vaativampi, sekä toleranssiluokkaa 2, joka on vaativin toleranssiluokka. Siten materiaalin osalta voidaan käyttää pienennettyjä osavarmuuskertoimia, mutta myös työn toteutus täytyy olla tarkempaa ja huolellisempaa. (Heiskanen, 2018, s. 39), (By 69, 2017, s. 53)

Toteutusluokan 2 ja 3 rakenteissa betonitöitä sekä jokaista rakenneosaa varten laaditaan dokumentoitu betonityösuunnitelma. Vastaavan betonityönjohtajan allekirjoittama suunnitelma tulee hyväksyttäväksi valvojalla ja rakennesuunnittelijalla ennen sen toteuttamista. Ennen betonitöiden tai yksittäisten vaativien betonitöiden aloittamista pidetään dokumentoitu betonitöiden aloituskokous. Aloituskokoukseen osallistuvat tarvittavat osapuolet, esimerkiksi tilaaja, rakennesuunnittelija, pääurakoitsija, betonityöstä vastaava urakoitsija, betonin toimittaja ja betonin pumppauksesta vastaava urakoitsija. (SFS 5975, 2019, ss. 12-13) Punosurakoitsijan tulee toimittaa rakennesuunnittelijalle ja rakennuttajalle menetelmäkuvaus, jossa kerrotaan työvaiheet ja niihin liittyvät tarkastus- ja laadunvalvontatoimenpiteet (Sweco, 2018).

Toteutusluokissa 2 ja 3 kaikki työvaiheet tarkastetaan järjestelmällisesti ja säännöllisesti, ja tarkastuksista tehdään aina tarkastusraportti. Tarkastuksen tekee työn suorittanut henkilö sekä työn toteuttavan yrityksen sisäinen säännöllinen tarkastusjärjestelmä. Lisäksi suunnitelma-asiakirjoissa voidaan edellyttää toteutusorganisaation ulkopuolisten henkilöiden suorittamia tarkastuksia. (SFS 5975, 2019, s. 8) Toteutusluokan 2 rakenteiden sisäiseen järjestelmälliseen tarkastukseen sisältyy kantavien rakenneosien kuten pilarien ja palkkien kaikki betoni- ja raudoitustyöt. Toteutusluokan 3 rakenteille sisäiseen järjestelmälliseen tarkastukseen sisältyy kaikki betonityöt, joilla on merkitystä rakenteen kantokykyyn ja säilyvyyteen. Tähän kuuluvat muottien, raudoituksen, muottien puhdistuksen, betonin, valun ja jälkihoidon, jännityksen, injektoinnin jne. tarkastaminen. (SFS EN 13670, 2010, s. 40) Suunnitelma-asiakirjoissa määritellään lisäksi rakennesuunnittelijan tarkastukset (By 69, 2017, s. 53).

4.2 Jännitysjärjestelmästä vaaditut tiedot ja dokumentit

Rakennustuotteen kelpoisuus on osoitettava suoritustasoilmoitukseen (DoP) ja CE-merkintään perustuen, mikäli tuotteelle on olemassa harmonisoitu tuotestandardi (hEN). CE-merkintää edellytetään myös tuotteelta, jolle on myönnetty eurooppalainen tekninen arviointi (ETA=European Technical Approval). CE-merkityn rakennustuotteen kelpoisuus todetaan vertaamalla tuotteen suoritustasoilmoituksessa ja esimerkiksi ETA-hyväksynnässä annettuja tietoja rakennuspaikan vaatimuksiin. (By 69, 2017, s. 7)

Jännitetystä rakenteista vastaavan urakoitsijan on tarkistettava, että ankkurit, liitoskappaleet, muovisuojuukset ja rasva ovat ETA-hyväksynnän tai kansallisen varmennustodistuksen mukaisia. Lisäksi rakennesuunnittelijalle ja työmaalle tulee toimittaa mallikappaleet tai ohjeet työn oikeasta suorittamisesta. (Sweco, 2018) Punosten toimituserää koskevissa koetodistuksissa pitää esittää punosten kimmokertoimen arvo. (By 69, 2017, s. 14) Tartunnallisten jänteiden suojaputkiin tai kuljetusnippuun tulee kiinnittää etiketti, jossa on suojaputkien tiedot. Merkinnässä tulee olla valmistajan tunnusmerkki tai tuotenimi, standardin tunnus EN523, kohdan 4 mukainen luokka, nimellinen sisähalkaisija ja tarvittaessa suojaputken tyyppi. (SFS EN 523, 2004, s. 8) Teräsnauhasta valmistettujen suojaputkien on oltava standardin EN 523 mukaisia. Muusta materiaalista kuin teräksestä valmistettujen suojaputkien on oltava jännitysjärjestelmiä koskevan eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaisia. Jänneterästen on oltava standardin EN 10138 ja

toteutuseritelmän mukaisia. Injektointilaastin tulee olla standardien EN 446 ja EN 447 mukaisia. (SFS EN 13670, 2010, s. 20) Injektointilaastin lisäainepakkauksessa pitää olla merkittynä standardin EN 934-4:2009 mukaiset tiedot (SFS EN 934-4, 2009, s. 7).

Jännemenetelmillä ei ole harmonisoitua tuotestandardia, mutta jännemenetelmille on mahdollista hakea eurooppalainen tekninen hyväksyntä (ETA). Ennen rakennustuoteasetuksen voimaantuloa haettujen ETA-hyväksyntöjen osalta CE-merkintä on vapaaehtoinen. Kuitenkin tällöin on luotettavasti osoitettava, että tuotteen tai järjestelmän olennaiset tekniset ominaisuudet ovat pysyneet muuttumattomina. Jännemenetelmän ja sen osien pitää siis olla joko ETA-hyväksynnän, kansallisen tuotehyväksynnän tai rakennuspaikkakohtaisen selvityksen mukaisia.

Jännemenetelmän ETA-hyväksynnässä voi olla myös vaatimuksia työn suorittajien pätevyyksille.

Jänneteräksille ei ole olemassa CE-merkintään velvoittavaa harmonisoitua tuotestandardia.

Suomen betoniyhdistys on ennen B4 Betonirakenteet -rakennusmääräyskokoelman kumoamista myöntänyt jänneteräksille ja -menetelmille varmennettuja käyttöselosteita, mutta ne eivät ole enää voimassa. Betoniyhdistys on antanut epävirallisia jännemenetelmien käyttöselosteita, joita voi käyttää rakennuspaikkakohtaisessa kelpoisuuden osoittamisessa. (By 69, 2017, ss. 7-9)

4.3 Käytettävät standardit

Rakenteiden toteutusta ja tarkastusluokkia määrittelevät standardit:

- SFS EN 13670 Betonirakenteiden toteutus
- Rakenteiden toteutus SFS EN 5975 Betonirakenteiden toteutus. Standardin SFS-EN 13679 käyttö Suomessa

Betonin ominaisuuksia määrittelevä standardi:

- SFS-EN 206 Betoni. Määrittely, ominaisuudet, valmistus, vaatimuksenmukaisuus

Jänneteräksiä ja -punoksia määrittelevät standardit:

- SFS EN 1265_1 Prestressing steels Part 1 General requirements

- SFS EN 1265_3 Prestressing steels Part 3 Strand
- prEN 10138 Prestressing steels

Tartunnattomien punosten suojarasvaa ja -muovia määrittelevät standardit:

- ETAG 013 -dokumentti Post tensioning kits for prestressing of structures.

Tartunnallisten punosten suojausputkia määrittelevä standardi:

- SFS EN 523 Teräsnauhasta valmistetut jänneterästen suojausputket

Injektointimenetelmiä, -laitteita ja testausta määrittelevät standardit:

- EN 445 Ankkurijänteiden injektointilaasti. Testausmenetelmät
- EN 446 Ankkurijänteiden injektointilaasti. Injektointimenetelmät
- EN 447 Ankkurijänteiden injektointilaasti. Perusvaatimukset.

Betoniteräksiä ja raudoitteita määrittelevät standardit:

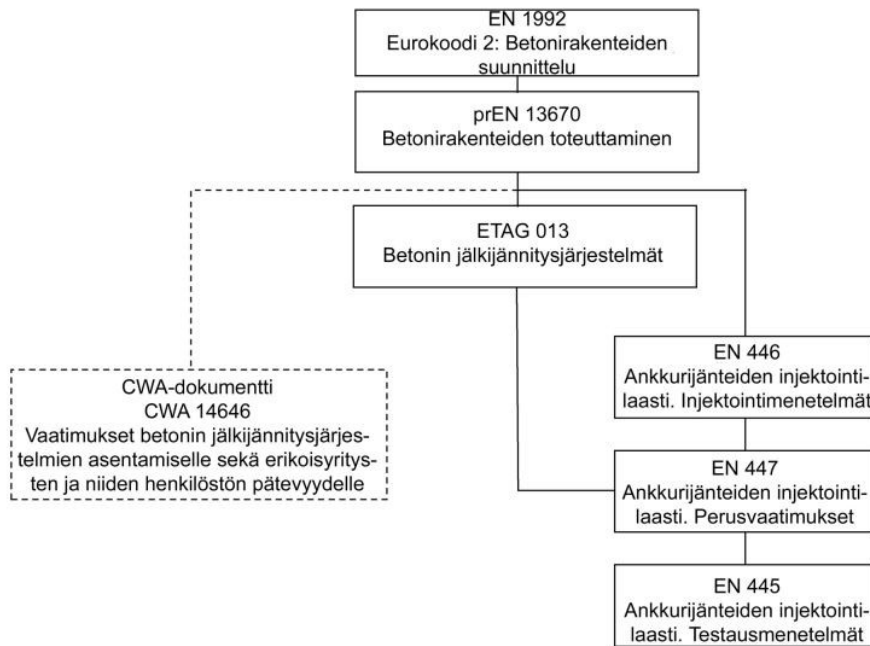
- Betoniteräkset: EN 10080 Hitsattavat betoniteräkset
- Betoniraudotteet: SFS 1267 Betoniraudotteet. Teräsbetonirakenteissa käytettävät raudotteet
- Hitsaus: SFS EN 17660 Hitsaus. Betoniterästen hitsaus osa 1 Voimaliitokset
- Hitsaus: SFS EN 17660 Hitsaus. Betoniterästen hitsaus osa 2 Kiinnitysliitokset

Betonielementtejä määrittelevä standardi:

- SFS EN 13369:2018 Betonivalmiskosten yleiset säännöt

Jälkijännitysjärjestelmän toteutus henkilöstön pätevyyttä määrittelevä standardi:

- CWA 14646 SFS EN 13369:2018 Betonivalmiskosten yleiset säännöt



Kuva 172 Jälkijännitysjärjestelmien suunnittelu-, toteutus- ja materiaalistandardit (SFS EN 446, 2008, s. 4)

5 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tuloksena saatiin talonrakennuksen työmaahenkilöstön käyttöön jälkijännitettävien paikallavalurakenteiden toteutusta varten työkalu, joka sisältää tarpeelliset tiedot laadukkaasti jännerakenteen aikaansaamiseksi. Jännitettyjen rakenteiden perusteiden tuntemiselle rakentuu taito ymmärtää rakenteiden toiminta ja kyky ratkoa käytännön ongelmia työvaiheen tarkastusta tehtäessä tuulessa ja räntäsateessa talven pimeydessä. Toteuttavan organisaation, työnjohdon ja henkilöstön tulee tietää työn sisältö ja vaiheet kuin omat taskunsa, jotta nurkan takana vaanivat sudenkuopat voidaan ennakoita. Jälkijännitettävissä betonirakenteissa on paljon erityispiirteitä ja työn jatkuva sekä huolellinen seuranta on välttämätöntä. Laadunvarmistuksen kivijalkana ovat eurooppalaiset standardit, joiden pohjalta betoninormit ja oppikirjat on laadittu. Tärkeintä on, että työnjohto tietää, mistä löytää tietoa sekä ratkaisuja ja pystyy reagoimaan muuttuviin tilanteisiin. Rakentaminen on yhteistyötä, jossa jokaisen osapuolen panos vaikuttaa. Onnistuneen lopputuloksen edellytyksiä ovat hyvä suunnittelu, vaatimusten mukaiset materiaalit ja osaavat tekijät.

Lähteet

- Asp, O.;Tulonen, J.;& Laaksonen, A. (2017). *Jännepunosvaurion vaikutus betonisen sillan rakenteelliseen turvallisuuteen 51/2017*. Liikennevirasto. Haettu 17. 10 2020 osoitteesta https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2017-51_jannepunosvaurion_vaikutus_web.pdf
- By 201 Betoniteknikan oppikirja*. (2018). Suomen Betoniyhdistys ry.
- By 210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2005*. (2005). Suomen betoniyhdistys ry.
- By 50 Betoninormit*. (2012). Suomen Betoniyhdistys ry.
- By 69 Tartunnattomat jänteet betonirakenteissa*. (2017). Suomen betoniyhdistys ry.
- Docplayer. (ei pvm). *Jännepunos käyttöseloste*. Haettu 8. 9 2020 osoitteesta Nedri Spanstaal Bv tartunnattomat jänteet jännementelmän käyttöseloste: <https://docplayer.fi/5562227-Jannepunos-kayttoseloste.html>
- Federal Highway Administration Research and Technology. (2014). *An FHWA Special Study: Post-Tensioning Tendon Grout Chloride Thresholds*. Haettu 21. 11 2020 osoitteesta <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/bridge/14039/005.cfm>
- Gharpedia. (2018). *What is One-way Slab?* Haettu 22. 11 2020 osoitteesta <https://gharpedia.com/blog/one-way-slab/>
- Heilä, S. (2013). Suurpeltoon siltoja. *Betoni*, 2013(2), 42-45. Haettu 18. 10 2020 osoitteesta <https://betoni.com/betonilehti/22013/>
- Heiskanen, A. (2018). *Jälkijännitetyn pilarilaatan lävistysvahvikkeen suunnittelu eurokoodien mukaan*. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Haettu 20. 04 2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201805168369>
- Kallio, S. (2018). *Pilarilaattojen rakennesuunnittelu*. Turun ammattikorkeakoulu. Haettu 14. 10 2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019060314286>
- Kankaanpää, P. (2020). *Jälkijännitetyn betonipalkin pilariliitoksen toiminta pysäköintirakennuksessa*. Tampereen yliopisto. Haettu 16. 10 2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202004284133>
- Kärki, J. (2018). *Ankkurointialueen suunnittelu jälkijännitetystä betonirakenteesta*. Tampereen teknillinen yliopisto. Haettu 11. 11 2020 osoitteesta <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/26221/K%C3%A4rki.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

- Lassila, H. (2011). *Jännitettyjen rakenteiden suunnittelu- ja asennusohjeen päivitys*. Metropolia ammattikorkeakoulu. Haettu 29. 10 2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201104134237>
- Liikennevirasto. (2017). *NCCI 2 Eurokoodin soveltamisohje Betonirakenteiden suunnittelu*. Väylävirasto. Haettu 5. 9 2020 osoitteesta https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-31_ncci2_web.pdf
- Lindroth, J. (2015). *Jälkijännitetyn paikallavalulaatan työvaihekuvaus*. Hämeen ammattikorkeakoulu. Haettu 16. 10 2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201505148080>
- Made-in-China.com. (ei pvm). *Kaifeng Dafang Prestressed Co., Ltd*. Haettu 1. 10 2020 osoitteesta Yh Series Prestressed PC Strand Bond Head Machine Onion Jack: <https://kfdzgz.en.made-in-china.com/product/UXsxdSLZkiYM/China-Yh-Series-Prestressed-PC-Strand-Bond-Head-Machine-Onion-Jack.html>
- Matt, P. (1989). *Thomas Telford London*. Haettu 17. 10 2020 osoitteesta Prestressed concrete: safety precautions in post-tensioning: <https://books.google.fi/books?id=a2NYHR7sjqC&printsec=frontcover&hl=fi#v=onepage&q&f=false>
- Mpa The Concrete Centre. (2017). *Post-tensioned Concrete Floors*. Haettu 5. 15 2020 osoitteesta <https://www.concretecentre.com/Publications-Software/Publications/Post-tensioned-Concrete-Floors.aspx>
- Määttä, S. (2018). *Jälkijännitetyn pilarilaatan suunnittelu pilarilinjoille keskitetyillä punoskaistoilla*. Novia Ammattikorkeakoulu. Haettu 20. 4 2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201804044075>
- Möttö, M. (2015). *Jälkijännitetyn laatan toteutus*. Metropolia Amk. Haettu 9. 10 2020 osoitteesta <https://www.theseus.fi/handle/10024/86908>
- Osman, A.;& Saad, T. (2015). *Progressive Collapse in High-rise Buildings with Transfer Plate System*. Giza, Egypt: Cairo University. Haettu 17. 4 2020 osoitteesta Progressive Collapse in High-rise buildings with Transfer Plate System: https://www.researchgate.net/publication/284654806_Progressive_Collapse_in_High-rise_Buildings_with_Transfer_Plate_System/download

- Penttinen, J. (2020). *Lean-ajatteluun perustuva tuotannon tehostaminen betonielementtituotannossa*. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Haettu 5. 11 2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020052714405>
- Pietilä, E. (2015). *Betonirakenteiden raudoittaminen eurokoodin mukaisesti*. Joensuu: Karelia ammattikorkeakoulu. Haettu 15. 10 2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201505066404>
- Post Tensioning Institute Technical Advisory Board. (2013). *Post Tensioning institute: Post Tensioning Terminology*. Haettu 17. 10 2020 osoitteesta post-tensioning.org/Portals/13/Files/PDFs/Publications/131120-PTI-PTT.pdf
- Ranua, R. (2014). *Jännebetonirakenteen halkeilun hallinta tartunnattomia jätteitä käytettäessä*. Tampereen teknillinen yliopisto. Haettu 20. 4 2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201412051591>
- SFS 5975:2019 *Betonirakenteiden toteutus. Standardin SFS-EN 13670 käyttö Suomessa*. (2019). Suomen standardisoimisliitto SFS.
- SFS EN 13670 *Betonirakenteiden toteutus*. (2010). Suomen standardisoimisliitto SFS.
- SFS EN 1992-1-1+A1+AC Eurokoodi 2: *Betonirakenteiden suunnittelu: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt*. (2015). Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS EN 1992-1-2:2005 + A1:2019 + AC:2008 *Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleiset säännöt. Rakenteiden palomitoitus*. (2005-2019). Suomen standardisoimisliitto SFS.
- SFS EN 446 *Ankkurijänteiden injektointilaasti: Injektointimenetelmät*. (2008). Suomen standardisoimisliitto SFS.
- SFS EN 447 *Ankkurijänteiden injektointilaasti. Perusvaatimukset*. (2008). Suomen standardisoimisliitto SFS.
- SFS EN 523 *Teräsnauhasta valmistetut jänneterästen suojaputket. Terminologia, vaatimukset, laadunvalvonta*. (2004). Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS EN 934-4 *Betonin, lastin ja injektointilaastin lisäaineet. Osa 4: Ankkurijänteiden injektointilaastin lisäaineet. Määritelmät, vaatimukset, vaatimuksenmukaisuus ja merkintä*. (2009). Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- Shivam, S. (2017). *Civil Engineering*. Haettu 11. 09 2020 osoitteesta <https://sonamshivam123.wixsite.com/civilengg-notes/single-post/2017/01/10/Prestressed-Concrete>

- Suominen, K. (2019). *Jälkijännitetyn ankkurijännerakenteen välittömien häviöiden ja venymien laskenta*. Metropolia ammattikorkeakoulu. Metropolia ammattikorkeakoulu. Haettu 20. 10 2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201904024226>
- Sweco. (2018). *Koy Raitinkartano Rakennesuunnitelmat*. Sweco rakennetekniikka oy.
- Syvänen, J.-P. (2019). *Vanhojen teollisuusrakennusten betonipalkkien ja -laattojen vahvistaminen jälkijännittämällä*. Tampereen yliopisto. Haettu 1. 10 2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-201910213969>
- Tiehallinto. (2005). *Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset betonirakenteet - SYL 3*. Väylävirasto. Haettu 5. 10 2020 osoitteesta https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/syl/syl3_2005v.pdf
- Toriseva, T. (2014). *Pilarilaattojen suunnittelu eurokoodien mukaan*. Tampereen teknillinen yliopisto. Haettu 15. 09 2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201405131157>
- Tuomola, J. (2016). *Tartunnattomien jänteiden jännitetyn pilarilaatan mitoitus eurokoodin mukaan*. Haettu 18. 10 2020 osoitteesta Trepo Tampereen yliopiston avoin julkaisuarkisto: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/23742/tuomola.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Turunen, S. (2017). *Tartunnattomien jälkijännitettyjen betonirakenteiden suunnittelu- ja laskentaohje eurokoodin mukaan*. Oulun ammattikorkeakoulu. Haettu 10. 5 2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017121821784>
- Ympäristöministeriö. (2015). *Ympäristöministeriön ohje rakennustyön suorituksesta ja valvonnasta*.
- Ympäristöministeriö. (2019). *Rakenteiden lujuus ja vakaus Betonirakenteet*.