



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Ville Hyyhø

P37 ja P37K -ontelolaattojen kaarevuuserojen hallinta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

20.11.2019

Tekijä Otsikko	Ville Hyyhø P37 ja P37K -ontelolaattojen kaarevuuserojen hallinta
Sivumäärä Aika	47 sivua + 0 liitettä 20.11.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine	Rakennetekniikka
Ohjaajat	Suunnittelupäällikkö Tommi Heikkinen, Parma Oy Laboratorioinsinööri Matti Leppä
<p>Ontelolaatalle tapahtuva kaarevuus tehtaalla varastoidessa, työmaalle asennettuna ja ajan kanssa aiheuttaa ongelmia. Ongelman korjaaminen työmaavaiheessa johtaa työmaan kustannuksien nousuun ja mahdollisesti aikataulun venymiseen.</p> <p>Tutkimuksen tavoitteena oli kerätä informaatiota, kuinka ontelolaatat kaarevoituvat eri punostustavoilla, sekä verrata eri tyyleistä johtuvien punoskilojen hintoja ja kuluja ontelolaataston yläpuoliseen tasoittamiseen.</p> <p>Tutkimusmateriaaleina käytettiin valmisosatutannon eurokoodeja, jännebetonirakenteita käsittelevää kirjallisuutta, ontelolaataston suunnitteluohjeita ja Parman punossuunnittelun omaa materiaalia. Cslab-laskentasovelluksella arvioitiin kaarevuus ja verrattiin muihin eri tasojen ontelolaattoihin. Tutkimuksen perusteella tehtailla ja yhtymässä pohditaan tuotannon ja suunnittelun menetelmiä, sekä onko tarvetta tehdä muutoksia.</p> <p>Pilottikohteen tulokset olivat vaatimattomia, mutta tärkeitä yritykselle. Vertailu punostustyylien välillä osoitti sen, että ontelolaataston voi punostaa monella tavalla, mutta yksi on niistä yritykselle kannattavin. Tutkimus myös vahvisti sen, että työmaan kaarevuuserojen hallitseminen aikaisessa vaiheessa tuottaa molemmille osapuolille hyvän ratkaisun</p>	
Avainsanat	Ontelolaatta, taipuma, kaarevoituminen

Author Title Number of Pages Date	Ville Hyyh� Controlling deflection in P37 and P37K hollow-core concrete slabs 47 pages + 0 appendices 20 November 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil engineering
Professional Major	Structural engineering
Instructors	Tommi Heikkinen, Design manager Matti Lepp�, Laboratory engineer
<p>The purpose and goals of the project were to find out how a hollow-core concrete slab deflects when it is mounted at construction site. Main purpose of this bachelor's thesis is to prove if it is possible to use less prestressed steel without causing too much deflection differences between slabs. Biggest differences in deflections happen between an ordinary hollow-core concrete slab and a hollow-core concrete slab which has been reduced in height.</p> <p>The method used in the project was deflection calculation with Cslab. With Cslab calculation software we got an estimation of the deflection difference between different slabs.</p> <p>The results of the project were that the deflection differences were not as huge as expected, but they were a lot smaller.</p> <p>The pilot project proved to be quite good finding out the differences between three ways to use prestressed steel in hollow-core concrete slabs. Test proved that using prestressed steel in a certain way, deflection differences are small between slabs and it is the cost-efficient way for company and for the construction site.</p>	
Keywords	Hollow-core slab, deflection, flexure

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen taustaa	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet	1
1.3	Tutkimuksen toteutus	1
2	Ontelolaatta	2
2.1	Yleistä	2
2.1.1	Valmistus	2
2.1.2	Nosto	3
2.1.3	Kuljetus	4
2.1.4	Asennus	5
2.1.5	Ontelolaattatyypit	5
2.1.6	Kololaatta	6
2.1.7	Palolaatta	7
2.2	Kavennus	8
2.3	Reiitys	8
2.4	Punokset	9
3	Materiaaliominaisuudet ja toleranssit	10
3.1	Betoni	10
3.1.1	Sementti	10
3.1.2	Seosaineet	10
3.1.3	Puristus- ja vetolujuus	11
3.1.4	Kuivumiskutistuminen	11
3.1.5	Halkeilu	12
3.2	Jänneteräket	13
3.2.1	Relaksaatio	14
4	Käyttörajoitamisesta	16
4.1	Kuormitussuureet	16
4.2	Viruma	17

4.3	Taipuma	21
5	Taipuman määrittäminen	24
5.1	Jännevoima	24
5.2	Tehtaalla vaikuttavat asiat	26
5.3	Taipuman määrittäminen eurokoodin mukaan	27
5.4	Cslab	31
6	Kohde	36
6.1	Tiedot	36
6.2	Tasojen eroavaisuudet	37
6.3	Tulokset	39
6.3.1	Punostus	41
6.3.2	Kaarevuuden korjauksen hinta-arvio	42
7	Yhteenveto	45
	Lähteet	46

Lyhenteet

A_C	betonipoikkileikkauksen ala
a_{\max}	Taipuman määritelty raja-arvo
A_P	jännteen poikkileikkausala
E_{cm}	betonin kimmokerroin
$E_{cm}(t)$	betonin kimmokerroin hetkellä t
E_p	jännepunoksen kimmomoduuli
f_{pk}	jänneteräksen vetolujuuden ominaisarvo
$f_{p0,1k}$	jänneteräksen 0,1-rajan ominaisarvo
g_k	Pysyvät kuormat
h_0	Muunnettu paksuus
I	betonipoikkileikkauksen jäyhyysmomentti
q_k	Muuttuvat kuormat
RH	Suhteellinen kosteus
t	Aika vuorokausina
t_0	tarkastelu hetken alkaminen vuorokausina
t_T	Lämpökorjattu betonin ikä
$t_{0,t}$	betonin lämpökorjattu ikä kuormitushetkenä vuorokausina
u	Poikkileikkauksen haihtumiselle altis ympärimitta

$(1/r)$	Kaarevuus
$\beta(f_{cm})$	betonin lujuuden vaikutus kertoimena nimelliseen virumalukuun
β_H	Kuorman alkamisajan vaikutus betonissa nimelliseen virumalukuun
$\beta(t_0)$	Kuorman alkamisajan vaikutus betonissa nimelliseen virumalukuun
$\beta_c(t, t_0)$	Kuormittumisen jälkeen virumisen kehittymistä ajan kanssa kuvaava kerroin
ρ	vetoraidoitussuhde
ρ'	puristusraudoitussuhde
ρ_0	raudoitussuhteen vertailuarvo
ψ	Yhdistelykerroin
φ_0	Nimellinen virumaluku, jonka arvo lasketaan kaavasta
φ_{RH}	Kerroin, jolla otetaan huomioon kosteuden vaikutus nimelliseen virumalukuun.

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen taustaa

Tutkimuksen tilaaja on Parma Oy. Yrityksen toimialana on betonielementtien suunnittelu ja valmistus. Parma Oy kuuluu Euroopan suurimpiin kuuluvaan teräsbetonielementtien valmisosien tuottajaan, Consolis-yhtymään. Consolis-yhtymällä on useita tuotantolaitoksia ja toimipisteitä ympäri Eurooppaa.

Työmailla tasoitetaan ontelolaattojen kaarevuuseroista tulevia hammastavia saumoja. Tämä ongelma on erityisen paha, kun vieressä on kolottu kylpyhuonelaatta mielivaltaisessa paikassa. Työmaa pyrkii tasoittamaan ontelolaattojen eroja nostamalla niitä taipumakohtia ylöspäin, kuten on Parman asennusohjeessa mainittu. Pahimmissa tapauksissa joudutaan tasoittamaan ontelolaattojen saumojen välit. Kyseinen tehtävä maksaa paljon ja aiheuttaa Parmalle kustannuksia. Tavoitteena on käsitellä prosessin osuudet, jotka vaikuttavat kaarevuuden muodostumiseen ja niihin osa-alueisiin joihin ei voi vaikuttaa punostamalla. Parmalla on totuttu punostamaan laatat tietyllä tavalla, jotta kyseinen hammastus jää mahdollisimman pieneksi. Nyt kokeillaan kohteessa kolmea eri punostustyylin aiheuttamia kaarevuuseroja ja niiden tasoittamiseen meneviä kuluja. Tulosten perusteella pohditaan onko hyvä muuttaa entisiä käytäntöjä ja soveltaa muihin samaa, vai pitäydytäänkö samassa.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Opinnäytetyössä tutkitaan P37 ja P37K -ontelolaattojen kaarevuutta punostamalla kolmen kerroksen laatat eri tavalla. Tulosten perusteella pohditaan ovatko kaarevuuden ennaltaehkäisyt suunnittelussa kustannustehokkaita. Työssä perehdytään myös kaarevuuteen vaikuttaviin tekijöihin ja mitoituksessa.

1.3 Tutkimuksen toteutus

Opinnäytetyössä vertaillaan kohteen kolmen kuormitukseltaan samanlaista ontelolaatasta. Laatastoista vertaillaan laskennallisesti Cslab-laskentasovelluksella taipumia ja ylipunostuksesta syntyviä kustannuksia.

2 Ontelolaatta



Kuva 1. Ontelolaatta [28.]

Jänneteräsbetonista tehtaalla valettu elementti, jonka yleisimpänä toimintoja on toimia vaakarakenteena alapohjissa, välipohjissa tai yläpohjissa. Pystysuuntaisten uumien alaosassa on esijännitetty jänneteräs, joka jännittää rakenteen. Uumien välissä on 4-8 onteloa riippuen ontelolaattatyypistä.

2.1 Yleistä

2.1.1 Valmistus

Käyttämällä nopeasti kovettuvaa sementtiä ja höyrykarkaisua mahdollistetaan nopea lujuudenkehitys, mikä johtaa ontelolaattojen nopeaan valmistukseen lyhyellä muottikierrolla. Ontelolaatat valetaan erittäin pitkissä liukuvalumuoteissa.

Teräspintaisen valualustan molemmissa päissä sijaitsee jännepunoksien pukit, joita pitkin asetetaan punokset tarvittavalle korkeudelle ja alkujännitykselle. Massa siirtyy katossa kiinni olevaa linjastoa pitkin valukoneelle. Valukone tai kololaattakone valaa jäykkää massaa valupedille, jotta laatan muoto voi pysyä haluttuna ilman muottia. Jälkihoidon kimmovasara-testin jälkeen katkaistaan punokset lähtien reunimmaisesta, ja kiinnitetään erityisesti huomiota tapahtuuko liiallista alkuluistoa punoksissa. Luiston

tunnistaa siitä, että jos sahauksen jälkeen teräs on kiiltävä tai hieman painunut sisään. Toleranssi luistolle on 3 millimetriä. Punossuunnittelija määrää, voiko laattaa käyttää kohteessa, vaikka punos on luistanut. Punoksien katkaisun jälkeen ontelolaattaan voidaan tehdä suorat, vinot, kavennus- ja varaussahaukset. Viimeisenä tehdään CE-merkinnän mukaiset laadunvarmistuksen mittaukset ja viimeistellään ontelolaatta päätytulpilla ja vesirei'illä. Näiden toimenpiteiden jälkeen ontelolaatta siirtyy säilytykseen, jotta saadaan lujuuutta kehitettyä.[15.]

2.1.2 Nosto

Ontelolaatat nostetaan molemmista päistä ajoneuvo- tai torninosturilla haluttuun paikkaan nostosaksilla, nostopuomilla tai onteloihin sijoitettuihin nostolenkkien avulla.. Nostosaket vievät noin 900 millimetriä tilaa laatan päästä, joten noin 1800 millimetriä tarvitaan ehjää pintaa. Punossuunnittelijan vastuisiin kuuluu turvallisen noston suunnittelu. Jos ontelolaattaa on kavennettu, sijoitettu syvennyksiä tai reikiä siten, etteivät nostosaket mahdu laatan päihin metrin sisään kiinni, täytyy sijoittaa tasapainottavasti nostoelimet. Nostoelimet ovat tehtaalla erikseen valettavat osat, joihin kiinnitetään nostoluokat, joista ontelolaatta nostetaan koukuilla. Nostoketjujen haarakulma täytyy olla alle 10 astetta ja kiinteällä nostopuomilla nostaessa haarakulma saa olla enintään 60 astetta. Tarpeen vaatiessa, jos ei saa sijoitettua nostolenkkejä, ontelolaattaan suunnitellaan vahvistusvalut tai sijoitetaan vanneraudat, jotta laatan pystyy nostamaan ulokenostona. [10.][22.]

Jos ei ole mahdollista asentaa suoraan kuormasta, ontelolaatat täytyy varastoida asianmukaisesti työmaalla. Suositeltavia tapoja on laittaa elementit erillisille telineille, joissa on huomioitu elementtien asennusjärjestys. Yleinen tapa on sijoittaa aluspuiden päälle neljä kappaletta päällekkäin.[10.][22.]

2.1.3 Kuljetus



Kuva 2. Ylöspäin kaarevoitunut ontelolaatta säilytyksessä tehtaan pihalla

Ontelolaatat sijoitetaan kuorma-alustalle siten, että aluspuiden päällä on maksimissaan 4 kappaletta ja niitä on kahdessa kasassa. Sidonta tehdään pituussuunnassa ketjulla, joka vieään pinon ylimpään elementtiin asennetun s-raudan läpi. Jokainen kuorma sidotaan edestä risticsidonnalla. Sidontavälineinä toimii puolipitkähahloinen 10 millimetrin ketju varustettuna karhukiristimellä. Ontelolaatat lastataan samalle tuelle kuin tehtaalla. Valmiskuormapukeista otetaan jalat pois kuljetuksen ajaksi ja laitetaan takaisin pankkoon työmaalla. [14.][22.]

2.1.4 Asennus

Ennen asennusta täytyy tehdä muutamia valmistelevia toimenpiteitä. Laattojen paikat merkataan etukäteen alusrakenteeseen ennen asennusta. Asennuksessa käytetään asennuskorokkeita, joko yksittäin tai nippuna. Muoviset tai teräksiset korokepalat laitetaan niin paikoilleen, että ontelolaatan ja korokkeen välille muodostuu vähintään 15 mm valusauma, jotta täräyttimellä pystytään saumaamaan huolellisesti. Tarkalla suunnitellulla ja mittauksella varmistetaan onnistunut ontelolaatta-asennus. Huonosti valmisteluna voi johtaa siihen, että joutuu käyttämään enemmän lattiatasoitetta.

Suunnitteluohjeissa mainitaan tapauksista kun joudutaan käyttämään asennuksen aikaisia tuentoja. Esimerkiksi kun työmaa tarvitsee hormille suunnitteluohjeen vastaisen reiän, niin tietyissä tapauksissa täytyy ontelolaattaa tukea niin pitkään, kunnes ontelolaatasto on saumattu.

Ontelolaattojen alapinnat asennetaan samaan tasoon, vaikka mahdolliset kaarevuudet ovat syntyneet pituudesta, punosmäärästä tai rei'ityksistä. Vierekkäiset kaarevuuserot voidaan tasata käyttämällä pysty- ja poikittaista tukea jännevälin keskellä.

Ennen saumausta asennetaan saumateräkset laataston ympärille ja ontelolaattojen väliin. Tämän raudoituksen vuoksi laatasto toimii levyrakenteena, mikä vähentää laattasaumojen halkeilua ja toimii turvana onnettomuustilanteessa. Saumat betonoidaan joko käyttämällä pumppauskalustoa tai valusuppilaa, tasaisin väliajoin saumaa tiivistetään sauvatäräyttimellä. Tietyn ajan kuluttua laataston saumat saavuttavat tarvittavan lujuuden, jotta ontelolaattoja voidaan alkaa kuormittaa viiva- tai pistekuormilla. Laataston saumauksen jälkeen poistetaan nostokannakset, jos niitä on laitettu tasolla oleviin ontelolaattoihin. Nostokannakset ovat punossuunnittelijan määräämiä paikkoja ontelolaatassa jotka saadaan poistaa työmaalla vasta kun ontelolaatasto on saumattu. Tällaisia voi olla rei'itysohjeen vastaiset reiät, turvallista nostoa varten jätetyt varaukset tai riskikohdat, jotka voivat hajota matkalla tehtaalta työmaalle.[11.][22.]

2.1.5 Ontelolaattatyypit

Parmalla valmistetaan pääsääntöisesti kymmentä erityyppistä laattaa. Ontelolaatat jaotellaan korkeuksien ja onteloiden perusteella.

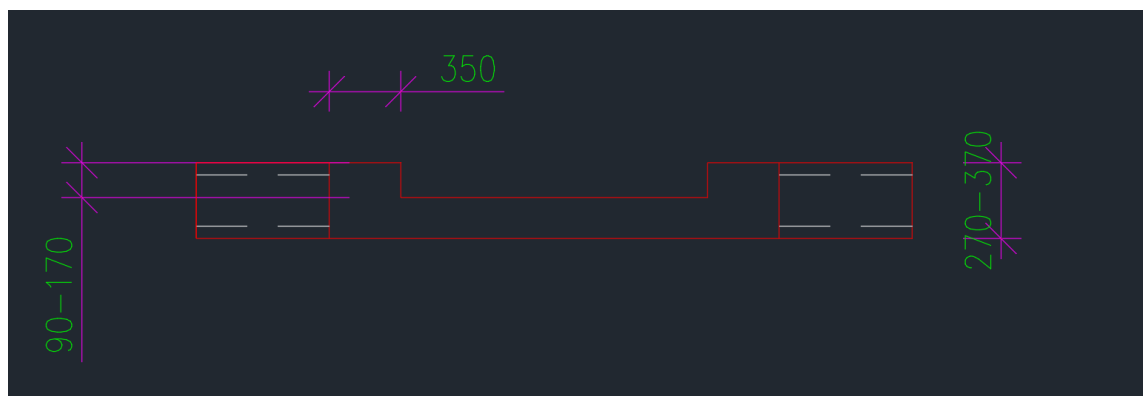
Pientalokohteisiin suositellaan käytettäväksi seitsemänteloista P18M-laattaa, kuusionteloista P20-laattaa tai viisionteloista P27-laattaa. Näistä P20-laatta on yleisin, sillä se soveltuu kaikkiin tasoihin.

Kerrostaloissa käytetään usein viisionteloista P27- tai P37-ontelolaattaa; mutta myös on mahdollista käyttää nelionteloista P32-laattaa. Näihin kolmeen ontelolaattatyyppiin saa tehtyä tehtaalla kylpyhuonesyvennyksen, mikä mahdollistaa sujuvan asennuksen LVIS-tuotteille.

Toimitilakohteisiin suositellaan käytettäväksi P27, P32, P37, P40, P40R, P50 ja P50 -ontelolaattoja. P40R ja P50R ovat viisionteloisia ontelolaattoja. Näissä 40 ja 50 laatoissa on mahdollista käyttää suuria punosmääriä, jotka eivät ole mahdollisia pienemmissä laatoissa

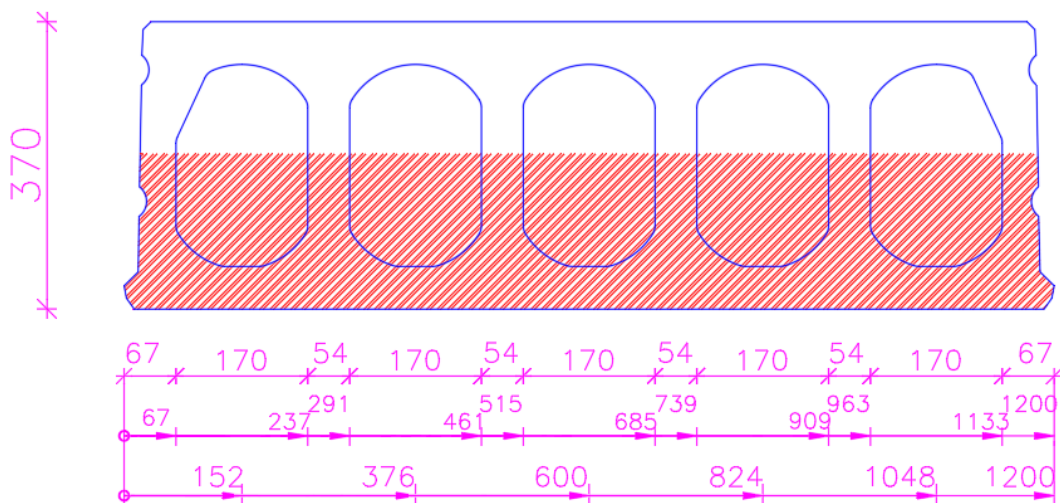
P18M-P20 laattoja käytetään useasti pientalojen ala-, väli- ja yläpohjissa, kun taas P27 ja P37 ovat hyviä valintoja asuinkerrostalojen ala-, väli- tai yläpohjissa ominaisuuksiensa vuoksi. P32, P40 ja P50 -ontelolaatat sopivat mainiosti toimistorakennuksiin tai varastotiloihin. [6.]

2.1.6 Kololaatta



Kuva 3. Poikkileikkaus kololaatasta

Kololaatta on ontelolaatta, johon on betonikoneella tampattu täysibetoninen syvennys. Täysibetonista syvennystä voi pitää massiivilaatan kaltaisena rakenteena. P27, P32 ja P37 -ontelolaattamalleihin voidaan tehdä kolous tehtaalla. Kololaatan kolottu osa on koneella ”tampattua” jonka syvyys vaihtelee 90–170 millimetrin välillä riippuen myös laattatyypistä. Laatan korkeuden kavennuksen vuoksi jännevälejä täytyy rajoittaa, sillä kantokyky heikkenee kun tehollinen korkeus pienenee verrattuna ontelolaatan korkeuteen. Kerrostalokohteissa kololaatat määrittävät usein kentän punostuksen. Pitkillä jänneväleillä normaalit laatat täytyy myös punostaa samoilla punosmäärillä, jotta laatasto toimii yhtenäisenä ja kuormat jakautuvat tasaisesti. Kololaattojen syvennykseen laitetaan useasti kylpyhuone-elementtejä tai tavanomaiset viemäriputket kaatoineen. Syvennetty osa on siis valtaosin pelkkää punosta ja betonia, minkä vuoksi se aiheuttaa ongelmia erityisesti kuormien ja taipuman kanssa, kun kololaattoja ja ontelolaattoja laitetaan vierekkäin. Mitoituksen kannalta vaihtoehtoja suuremman kapasiteetin saamiseen on kolotun osan pienentäminen.[6.]



Kuva 4. Poikkileikkaus P37K-ontelolaatasta

2.1.7 Palolaatta

Pienissä ontelolaatoissa palonkestävyys voi olla REI30 ja suuremmissa on 60. Palonkestävyyttä saadaan nostamalla punoksia korkeammalle ja antamalla niille enemmän

suojabetonikerrosta. Kun punoksia nostetaan, P27-ontelolaatasta lähtien voidaan käyttää REI120 paloluokassa. Paloeristeet alapinnassa mahdollistavat jopa REI240-luokituksen, mutta harvemmin yli kahden tunnin ontelolaattoja tarvitaan. Kerrostalokoh-teissa useasti ensimmäisen kerroksen katon laatat ovat kahden tunnin palolaattoja. Usein tulee ongelmia kapasiteetin kanssa, sillä jännitysvoima heikkenee huomattavasti ollessaan lähempänä ontelolaatan keskipistettä. Punossijoittelun vuoksi pienempiä ontelolaattoja ei voi käyttää yli REI60, mutta eristeiden lisäyksellä laatat voivat toimia tuossa luokassa. [6.][26.]

2.2 Kavennus

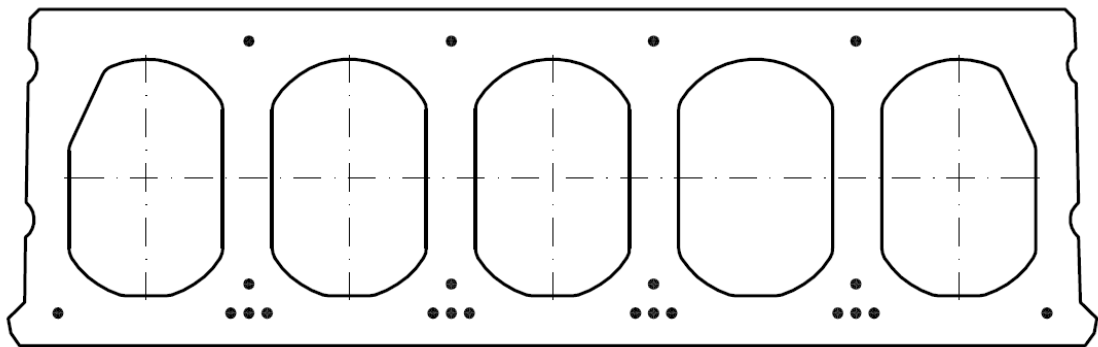
Kaikkia ontelolaattoja saa kahden uuman leveyteen asti. Poikkeuksia on säännössä nelionteloisissa laatoissa, kun jänneväli kasvaa yli 8 m. Tehtaalla tehtävän sahauksen vuoksi on turvallista noudattaa yleisiä kavennussääntöjä. Parman punossuunnittelija määrittää kaikkiin kavennettuihin laattoihin nostolenkit. Nykyään suunnitteluohjeen vastainen hormien sijoittelu kerrostalokohteiden tasoissa vaatii sen, että ontelolaataan tehtävä reikä täytyy olla rei'itysohjeen mukainen, joten laataston reunaan sijoitetaan usein kavennettu laatta sidontakoloilla. Kavennetuissa ontelolaatoissa sahauksen jälkeinen kaarevuus ilmenee huomattavasti pahempana, kuin täysileveillä ontelolaatoilla. Kun pitkän jännevälin korkeasti punostettuja ontelolaattoja varastoidaan, voi syntyä huomattavan isoa ylöspäin kaarevoitumista, mikä voi aiheuttaa laattaan halkeamia.[6.][26.]

2.3 Rei'itys

Parman ontelolaatastojen ja elementtiteollisuuden suunnitteluohjeessa sanotaan, kuinka laattoja voi tehtaalla ja työmaalla rei'ittää. Yleisesti laatastoon voi sijoittaa 3 reikää onteloiden kohdalle saumauksen jälkeen. Tehtaalla tehtävät reiät vaativat rei'itysohjeen noudattamista, jotta voidaan suorittaa turvallinen nosto. Nelionteloiisiin laattoihin saa tehdä tehtaalla 450 millimetrinen reiän keskelle tai 550 millimetrinen reiän reunaan, kun taas viisionteloiseen laattaan saa tehdä 550 millimetrinen reiän keskelle tai 450 millimetrinen reiän reunaan. Jos näitä arvoja ylitetään, voidaan tapauskohtaisesti määrittää asennustuki ontelolaatalle tai tehdä tehtaalla rei'itysohjeen ylittävälle osalle nostokannas, joka poistetaan työmaalla kun laatasto on saumattu. [6.][26.]

Reikien vaikutus ontelolaatan kaarevoitumiseen on vaikeasti tutkittava asia. Suunniteluohjeessa olevan taipumakaavion mukaan taipumaa voi tarkastella, kun laatta on rei'ittämätön. Esimerkiksi kahden uuman rikkovan reiän sijainti vaikuttaa laskennallisesti paljon, mutta ei ole käytännöllistä laskentatapaa, kuinka se todellisesti vaikuttaa lopputilanteessa.[6.][26.]

2.4 Punokset



Kuva 5. Poikkileikkaus P37-ontelolaatasta punossijoittelulla

Yllä olevassa kuvassa on P37-ontelolaatan punoksille tarkoitetut paikat. Ontelolaattatyyppistä riippumatta voi laittaa ohuita tai paksuja punoksia samaan aikaan, mutta koska valupedit ovat pitkiä, voi olla taloudellisesti kannattamatonta sijoittaa kahta eri paksuisista punosta. Punoskorkeus on säädettävissä, kuten on mainittu palolaatta-osioissa. Punokset sijaitsevat hieman yli betonisuojapeitteen yläpuolella eli 30 millimetrissä. Palotilannetta varten punoksia voidaan nostaa maksimissaan 20 millimetriä ylöspäin. Yläpunosontelolaatoissa punosten etäisyys yläpinnasta on sama kuin alarivin punoksilla alapinnassa.

P37-ontelolaatassa käytettävät punossijoittelut ovat: 6X, 8X, 6, 8, 10, 12 ja 14. X-etuliitteiset punokset ovat ohuita 9,3 millimetrin punoksia, kun taas muut ovat paksuja 12,5 millimetrisiä. Yli 10 punoksen sijoittelussa sijoitetaan punokset toiseen riviin yllä olevan kuvan mukaisesti.[6.]

3 Materiaaliominaisuudet ja toleranssit

3.1 Betoni

3.1.1 Sementti

Sementti on hienoa epäorgaanista materiaalia, joka veden kanssa sekoittaessa luo betonipastan, joka hydraatioreaktion jälkeen sitoutuu kiviainekseen. Veden ja kiviaineksen kanssa sekoitettuna, sementti mahdollistaa sidoksien muodostamisen veden ja aineksen välille. Sementti määrää betoniin tulevan lujuuden, lämmönkehityksen valettaessa ja kemiallisen kestävyuden haitallisia aineita vastaan. Ontelolaattatuotannossa käytetään eri sementtilaatuja. [8.]

3.1.2 Seosaineet

Hienojakoiset seosaineet mahdollistavat parempien ominaisuuksien syntymistä betoniin. Seosaineet ovat aina CE-merkittyjä ja niiden soveltuvuudet määritellään standardeissa. Seosaineet jakautuvat kahteen luokkaan:

- Tyyppi I
- Tyyppi II

Ensimmäiseen luokkaan kuuluvat pigmentit ja fillerikivet. Pigmentillä voidaan muuttaa kemiallisesti betonin väriä. Fillerikivet lisää hienoaineksen määrää parantaen työstettävyyttä. Toiseen luokkaan kuuluu pozzolaanisia tai hydraulisia seosaineita. Näihin kuuluvat lentotuhka, silika ja granuloitu masuunikuona. Pozzolaaniset ja hydrauliset seosaineet reagoivat sementin ja veden kanssa tiivistäen betonia ja tehden ominaisuuksistaan parempia. Lentotuhka toimii notkistimena ja reaktion hidastajana. Masuunikuonajauhe tarvitsee vähemmän vettä ja notkistaa betonia. Lisää myös betonin virumaa. Silika kasvattaa lujuutta, koossapysyvyyttä ja tiivyyttä. Näistä kolmesta silika on ainut seosaine, jota käytetään. Massaa notkistavat tuotteet eivät sovellu ontelolaatan massaan. Tehtaalla olevat reseptit ovat salaista tietoa, joten suhteutukset voivat vaihdella tehdaskohtaisesti.[8.]

3.1.3 Puristus- ja vetolujuus

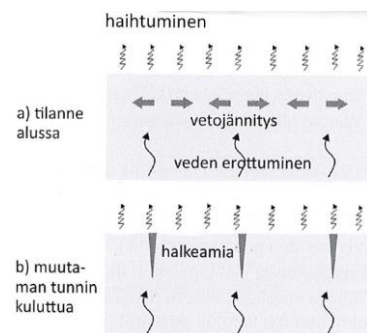
Betonia käytetään rakennusmateriaalina erityisesti sen tavasta toimia puristettuna rakenteena. Koska puristuslujuus on erinomainen, niin siihen verrattuna vetolujuus on vain kymmenesosa puristuslujuudesta.

Koska vetolujuus on betonissa heikko, rauditus toimii rakenteen vetojännitysten vastaanottajana. Kun betonirakenteeseen ilmestyy halkeamia, se on yleensä aina merkki siitä että rakenteen ylä- tai alapinnan vetolujuuden arvo on ylitetty.

Betonitehtaalla tehdyistä päivittäisistä isoista betonimääristä täytyy tehdä laadunvarmistusta. Tämä hoituu siten, että jokaisesta valusta tehdään kokeita varten kuutio, joka puristetaan rikki. Tällä tavalla varmistetaan siitä, että jokaisen erän betoni on laadukasta ja lujuusluokkansa täyttävää materiaalia. [25.]

Ontelolaatoissa käytetään korkealujuuksista betonia sen vuoksi, että päästään mahdollisimman nopeasti muotinpurkulujuuteen ja saadaan siten luotua nopea muottikierto.

3.1.4 Kuivumiskutistuminen



Kuva 6. Plastisen muodonmuutoksen syntyminen [16.]

Kuivuessaan betoni kutistuu ja kostuessaan laajenee. Ensimmäinen kuivuminen on tärkein, sillä jos ei varmista veden pystymistä betonissa voi johtaa siihen, että tapahtuu peruuttamattomia muodonmuutoksia eli kuivumiskutistumista. Ensimmäinen kuivumiskerta voi hallitsemattomana johtaa plastisiin tai kimmoisiin muodonmuutoksiin. Plastinen muodonmuutos ei palaudu koskaan takaisin alkuperäiseen muotoon, kuten kim-

moinen. Kuivuminen aiheuttaa veteen jännityksiä, jotka johtavat siihen että vesi imeytyy pois geelihuokosista. Mitä suurempi osuus betonimassasta on vettä ja sementtiliimaa, sitä suurempi on kutistuma. Ontelolaatat tehdään hallituissa olosuhteissa, joten on normaali käytäntö suojella betonia peittämällä muovilla.[16.][8.]

3.1.5 Halkeilu

Betonin kutistumisen kannalta ulkoiset tekijät määräävät halkeamien muodostumiset. Ontelolaatat valmistetaan sisätiloissa, joten ympäristön muodostavat olosuhteet eivät vaikuta huomasti. Halkeilun muodostumisen kannalta tärkeitä ovat suhteellinen kosteus ja ilmanlämpötila. Näistä ensimmäistä ei voida tehtaalla hallita, mutta ilmanlämpötilaa voidaan hieman säätää tehtaalla. Kesällä kostea ilma ja lämpö vaikuttavat hieman tehtaalla kuivumiseen, mutta huomattavasti enemmän on merkitystä varastoaikaisella säilytyksellä. Ylin kostuu tai kuivuu auringonvalon seurauksena eniten. Mitä nopeammin ontelolaatta saadaan tehtaalta työmaalle, sitä pienempi riski säilytyksen aiheuttamaan kuivumishalkeamaan on. Kuvassa 2 (luku 2.1.3) on ontelolaatta, joka on käyrästynyt ylöspäin oltuaan liikaa varastolla ulkona säilymässä

Esijännitettyjen rakenteiden suunnittelussa on harvoin tarpeellista laskea halkeamaleveyksiä. Rakenne muuttuu huomattavasti kun se halkeilee, joten ontelolaatan mitoituksessa tarkistetaan halkeilumomentin käyttöraja. Betonirakenteisiin muodostuu halkeamia normaalisti, mutta silmin nähtävät yli 0,2 millimetrin suuruiset halkeamat ovat liian isoja. Näitä suuria halkeamia muodostuu esimerkiksi liiallisen kuorman alla. Tuon arvon ylittyttyä halkeama voi yltää jo punoksiin asti. Betoniin muodostuu normaalisti mikrohalkeamia. Mikrohalkeamat ovat noin 0,05 millimetriä leveitä, joten niitä on vaikeaa huomata ilman mikroskooppia. Mikrohalkeilua tapahtuu myös korkeamman lujuuden omaavissa betoneissa, johtuen sisäisen kuivumisen aiheuttamasta hydraatioreaktiosta.[16.][25.]

Pienen vetolujuuden vuoksi betonin halkeilua ei voida välttää, kaikki halkeilu ei ole haitallista. Silmin nähtävät halkeamat ovat ns. makrohalkeamia, joista kaikki eivät ole rakenteellisia, eli halkeamia joiden leveys muuttuu kuormituksen mukaan.[4]

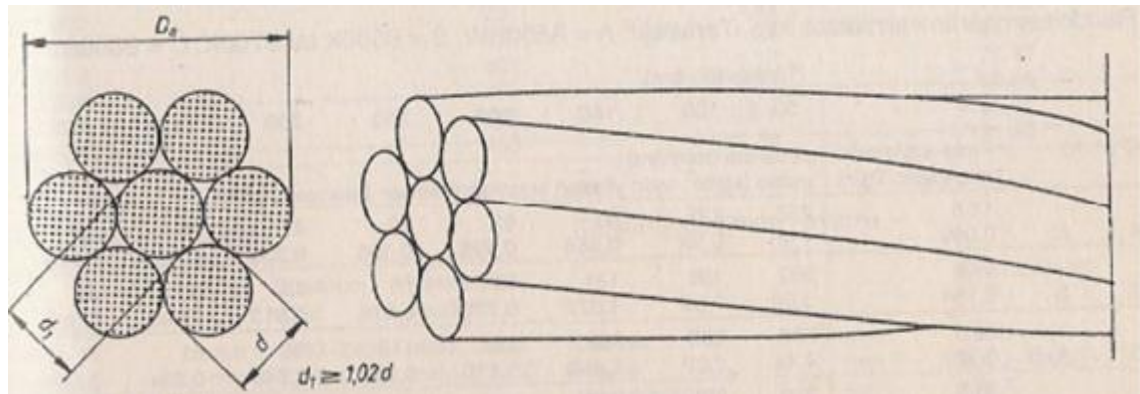
Halkeilun aiheuttaja/halkeilun tyyppi	Tunnus		Halkeilun sijainti yleensä	Ensisijainen aiheuttaja	Toissijainen aiheuttaja	Parannuskeino	Syntyaika valusta
Plastinen painuma	A	Raudoituksen päällä	Syvät rakenneosat	Liiallinen veden-erottuminen	Nopea kuivuminen, liian myöhään aloitettu jälkihoito	Vedenerottumisen vähentäminen tai jälkitärytys	10 min - 3 h lämpötilasta riippuen
	B		Pilarien päät				
	C	Paksuuden muutos	Ripalaatat, kuppiholvit				
Plastinen kutistuma	D	Diagonaalinen	Laatat	Nopea kuivuminen	Hidas haihtuvan veden korvautuminen (tiivis massa), liian myöhään aloitettu jälkihoito	Jälkihoidon aikaistaminen ja tehostaminen	30 min - 6 h lämpötilasta riippuen
	E	Satunnainen	Raudoitettut laatat				
	F	Raudoituksen päällä	Raudoitettut laatat	Nopea kuivuminen tai raudoitus lähellä pintaa			
Lämpötilamuutokset varhaisvaiheessa (jäähtyminen)	G	Ulkoisesti estetty muodonmuutos, pakkovoimat	Paksut seinät	Liiallinen lämmöntuotto	Rakenteen liian nopea jäähtyminen	Lämmön vähentäminen ja/tai eristys	1 - 3 d
	H	Sisäisesti estetty muodonmuutos, pakkovoimat	Paksut laatat	Suuret lämpötilaerot			
Kuivumis-kutistuminen	I		Ohuet laatat ja seinät	Puutteellinen kutistumissauvojen toiminta, kutistumisliikkeet estetty	Liiallinen kutistuma ja riittämätön jälkihoito	Vesimäärän pienentäminen ja jälkihoidon parantaminen	Useita viikkoja, kuukausia tai jopa vuosia
Pinta-halkeilu	J	Muotteja vasten	Seinät	Tiivis muotti	Huono jälkihoito, betonin suuri sementti ja vesimäärä	Jälkihoidon parantaminen ja viimeistely	1 - 7 d tai myöhemmin
	K	Koneellinen hierto	Laatat	Liiallinen hierto, liian aikainen hierto tai liiallinen ilma betonissa			
Pakkasrapautuminen	L	Vesi, jäätyminen ja sulaminen	Ulkobetonirakenteet	Liian vähän suojahuokosia, betoni vedellä kyllästynyt		Suojahuukosten lisääminen, lujuuden lisääminen	Useita vuosia
Raudoitteiden ruostuminen	M	Karbonatisoituminen Kloridirasitus	Pilarit ja palkit laatat, seinät jne.	Riittämätön betonipeite	Betonin huono laatu	Syiden poistaminen	Useita vuosia
Alkalikiviainesreaktiot	N			Reaktiivinen kiviaines, korkean alkalipitoisuuden sementti		Syiden poistaminen	Yli 5 vuotta

Kuva 7. Yleisimmät halkeilutavat [16.]

3.2 Jänneteräkset

Jänneteräkset ovat kylmämuovattuja teräksiä, joiden yleisimmät lujuusluokat ovat 1560/1770 N/mm² ja 1640/1860 N/mm². Näistä ensimmäinen arvo kertoo myötölujuuden ja jälkimmäinen murtolujuuden. Jänneteräkset luokitellaan neljän eri ominaisuuden

mukaisesti: 0,1-rajan arvona, relaksaation osoittavien arvojen mukaisesti, koon ja pintaominaisuuksien perusteella. Suunnittelun kannalta olennaisinta on teräksen korkea lujuus ja sitkeys. Mitä heikommat arvot ovat jänneteräksellä lujuudessa ja sitkeydessä, sitä huonommin rakenne pystyy sietämään viruman ja kutistuman aiheuttaman jännityshäviön. [2.][17.][18.]



Kuva 8. 7-lankaisen punoksen poikkileikkaus [31.]

Ontelolaattatuotannossa käytetään enimmäkseen 9,3 mm ja 12,5 mm paksuisia punoksia. Yleisesti punos muodostuu 2, 3, 7 tai 19 langasta, mutta ontelolaatoissa lankoja punoksessa on seitsemän kappaletta. Langat ryhmitetään siten, että hieman muita lankoja suuremman ns. sydänlangan ympärille kiedotaan tiukasti muut langat. Sydänlanka on vähintään 2 % suurempi halkaisijaltaan suurempi kuin ympärille kiedotut langat. Pintalanka voi olla kuvioitu tai sileä. Sileän punoksen käyttäminen pienentää riskiä jännityshalkeamien syntyyn. [17.][18.]

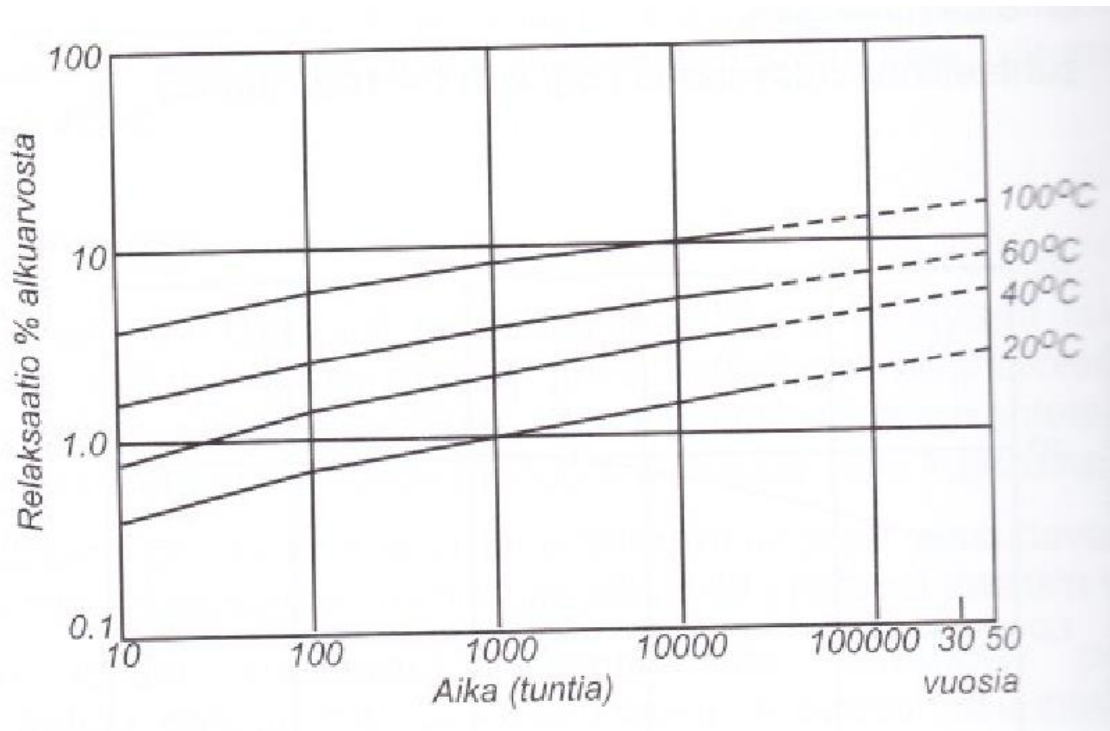
Tehtaalla käytettävä teräs on tyypiltään:

SFS 1265-3-Y1860S7-1860-9,3/12,5-7-R1-(F0)-(C0) [21.]

3.2.1 Relaksaatio

Jänneteräksessä tapahtuu ajan kanssa hiipumista esijännitysvoimasta. Esijännitysvoiman heikentäviä tekijöitä ovat teräksen valmistustapa, alkujännitys ja lämpötilan vaihtelut. Tuhat tuntia kestävässä kokeessa määritellään punoksen vetokestävyyttä kuormit-

tamalla sitä noin 70 % vetomurtokuormasta. Kokeen aikana lämpötila pysyy 20 °C:ssa. Testin perusteella saadaan määriteltyä punokselle ρ_{1000} -arvo, jolla pystytään sijoittamaan punos yhteen kolmesta luokasta. Ensimmäiseen luokkaan kuuluvat langat ja punokset joissa on määritelty noin 8 % relaksaatio. Toiseen luokkaan kuuluvat langat ja punokset joilla on 2,5 % relaksaatio. 3 luokkaan kuuluu kuumavalssatut ja muokatut teräkset, joiden relaksaatio on 4 %.[2.][21.]



Kuva 9. Relaksaation kehitys ajan kanssa [4.]

Kuten on mainittu, relaksaatio tapahtuu pitkällä aikavälillä. Ontelolaatan mitoitusohjelmissa otetaan relaksaatio huomioon. Relaksaation aiheuttama kaarevuus tapahtuu valtaosin noin 42 päivän aikana. Ontelolaatasto saumataan noin 3-4 viikon kuluttua suunnittelun aloituksesta, joten joissain tapauksissa laattaa on ehtinyt ennen asennusta muodostumaan valtaosa relaksaatiosta.

4 Käyttörajatilamitoituksesta

4.1 Kuormitussuureet

Käyttörajatilassa käytettävät kuormitusyhdistelmät vaihtelevat tarkasteltavan ajanjakson vuoksi. Kuormitusyhdistelmiä on kolmeen tarkoitukseen: ominaisyhdistelmä on tarkoitettu tavallisesti palautumattomille rajatiloille, tavallinen yhdistelmä on palautuville rajatiloille ja pitkäaikaisyhdistelmä on tarkoitettu pitkäaikaisvaikutuksille ja rakenteen ulkonäön kannalta. Pitkäaikaisyhdistelmää käytetään halkeilun, viruman ja taipuman määrittämiseen.

Ominaisyhdistelmä

$$\sum_{j \leq 1} G_{K,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i < 1} \psi_{0,i} Q_{K,i} \quad (1)$$

Tavallinen yhdistelmä

$$\sum_{j \geq 1} G_{K,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{K,i} \quad (2)$$

Pitkäaikaisyhdistelmä

$$\sum_{j \geq 1} G_{K,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{K,i} \quad (3)$$

Missä

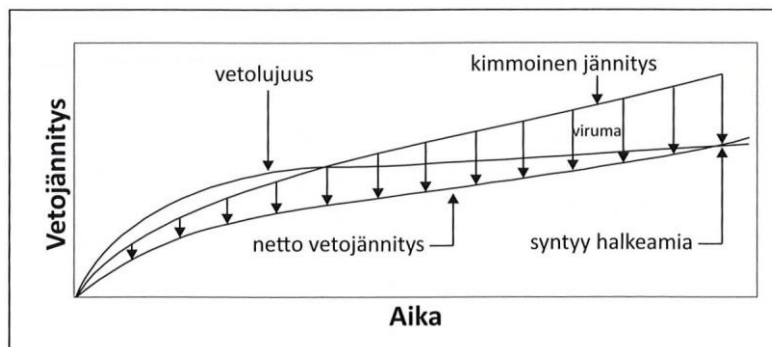
ψ	Yhdistelykerroin taulukon mukaan (kuva 11)
P	Esijännitysvoima joissain tapauksissa (P_k tai P_m)
G_k	Pysyvät kuormat
Q_k	Muuttuvat kuormat

Kuorma	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Hyötykuormat rakennuksissa, luokka (ks. EN 1991-1-1)			
Luokka A: asuintilat	0,7	0,5	0,3
Luokka B: toimistotilat	0,7	0,5	0,3
Luokka C: kokoontumistilat	0,7	0,7	0,6
Luokka D: myymälätilat	0,7	0,7	0,6
Luokka E: varastotilat	1,0	0,9	0,8
Luokka F: liikennöitävät tilat, ajoneuvon paino ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Luokka G: liikennöitävät tilat, 30 kN < ajoneuvon paino ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Luokka H: vesikatot	0	0	0
Rakennusten lumikuormat (ks. EN 1991-1-3) ¹⁾			
Suomi, Islanti, Norja, Ruotsi	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H > 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,70	0,50	0,20
Muut CENin jäsenmaat, kun sijaintikorkeus on $H \leq 1000$ m merenpinnan yläpuolella.	0,50	0,20	0
Rakennusten tuulikuormat (ks. EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Rakennusten sisäinen lämpötila (ei tulipalossa) (ks. EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
HUOM. Kertoimien ψ arvot voidaan määrittellä kansallisessa liitteessä. ¹⁾ Mikäli maata ei ole mainittu, kyseiset paikalliset olosuhteet selvitetään erikseen.			

Kuva 10. Yhdistelykertoimien arvot suunnittelukohteiden mukaisella jaottelulla [25.]

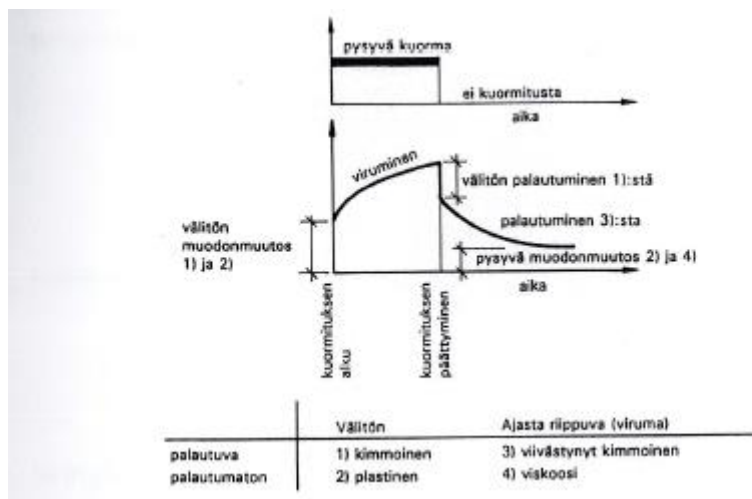
Taulukosta määritellään yhdistelykertoimien arvot yllä olevia kaavoja varten. Ensimmäinen psi-arvo tarkoittaa normaalia yhdistelykerrointa, jolla määritellään määräävä kuormitusyhdistelmä kun on enemmän hyötykuormia. Toinen ja kolmas arvo kertovat kuorman vaikutuksesta pitkällä aikavälillä. Kolmatta arvoa käytetään pitkäaikaiseen laskentaan.

4.2 Viruma



Kuva 11. Viruman vaikutus vetojännityksen kehittymiseen ja halkeaman syntyyn [17.]

Kun ontelolaattaa kuormitetaan, rakenteessa tapahtuu muodonmuutosta. Kimmoinen muodonmuutos tarkoittaa sitä, että kuormituksen jälkeen muodonmuutos palautuu alkuperäiseen tilaan. Jos palautumista ei tapahdu, muodonmuutosta kutsutaan plastiseksi. Täysin ajasta riippuvia taipumaa lisääviä ominaisuuksia betonissa on kutistuminen ja viruminen. Kutistuman muodostumista pystytään hallitsemaan tehtaalla suunnitelmalla varaukset hyvin ja suorittamalla jälkihoidot. Nämä muodonmuutokset tapahtuvat välittömästi kuormittamisen jälkeen, kun taas viruma tapahtuu ajan kanssa rakenteeseen. Betonissa olevan geelihuokosten sisällä oleva vesi virtaa pois kuormituksesta syntyvän paineen vuoksi, jolloin sementtigeeli tiivistyy. Kun sementtigeeli tiivistyy, muodonmuutos palautuu osittain vaikka vesi imeytyykin takaisin huokosiin. Muodonmuutosten kokoluokka on tiukasti riippuvainen jännitykseen, betonin lujuuteen ja koostumukseen, ikään ja kuormitusajankohtaan. [4.][8.]



Kuva 12. Viruman aiheuttamat muodonmuutokset[8.]

Ajan kuluessa kuormitus voi vaihdella ja suhteellinen kosteus voi muuttua. Pelkästään kuormitusajankohta voi vaikuttaa 15 % viruman muodostumiseen, mutta tärkeintä viruman laskemisessa on määrittää suhteellinen kosteus. Kuivissa sisätiloissa viruma on kimmoiseen muodonmuutokseen nähden noin kolminkertainen, mutta ulko-olosuhteissa yhtä suuri. Useasti virumakerroin laskentaan vain kerran, eikä useasti eri aikaväleille. Ontelolaatan valmistuksessa, säilytyksessä, matkalla työmaalle ja käyttövaiheessa on kaikissa eri suhteellinen kosteus. Tietenkin valtaosin käyttöänsä aikana suhteellinen kosteus tulee olemaan määräävä tekijä laskussa, mutta ennen sitä voi olla

muitakin vaiheita joissa suhteellinen kosteus on voinut aiheuttaa viruman kautta plastista muodonmuutosta. Parman tehtailla tehdyissä testeissä on mitattu suhteellisen kosteuden vaihtelevuuden keskiarvoksi 10 %. Tämä arvo voi olla päiväkohtaisesti korkeampi tai matalampi, riippuen vuoden ajasta ja säästä.[4.][7.][8.]

Viruma vaikuttaa taipumisen laskennassa kimmomoduuliin. Kuten taulukosta näkee, viruman vaihtelevuus tehtaalla on huomattava.

Viruma lasketaan kaavalla:

$$\varphi_{t,t_0} = \varphi_0 * \beta_c(t, t_0) \quad (4)$$

φ_0 Nimellinen virumaluku, jonka arvo lasketaan kaavasta

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} * \beta(f_{cm}) * \beta(t_0) \quad (5)$$

φ_{RH} Kerroin, jolla otetaan huomioon kosteuden vaikutus nimelliseen virumalukuun. Lasketaan kaavalla:

$$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1-RH/100}{0,1 * \sqrt[3]{h_0}} * \alpha_1 \right] * \alpha_2 \quad (6)$$

RH Vallitsevan ympäristön suhteellinen kosteus prosentteina

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} \quad (7)$$

$\beta(f_{cm})$ betonin lujuuden vaikutus kertoimena nimelliseen virumalukuun

f_{cm} Keskimääräinen puristuslujuus 28 vuorokauden iässä

$$\beta(t_0) = \frac{1}{(0,1+t_0^{0,20})} \quad (8)$$

$\beta(t_0)$ Kuorman alkamisajan vaikutus betonissa nimelliseen virumalukuun

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} \quad (9)$$

h_0 Poikkileikkauksen muunnettu paksuus

A_C Poikkileikkauksen pinta-ala

u poikkileikkauksessa haihtumiselle alttiin ympärimitan pituus

$$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{(t-t_0)}{(\beta_H+t-t_0)} \right]^{0,3} \quad (10)$$

$\beta_c(t, t_0)$ Kuormittumisen jälkeen virumisen kehittymistä ajan kanssa kuvaava kerroin

t Tarkasteluajankohtana vuorokausina betonin ikä

t_0 Kuormittumisen alkaessa betonin ikä vuorokausina

$$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012RH^{18})] * h_0 + 250\alpha_3 \leq 1500\alpha_3 \quad (11)$$

β_H suhteellisen kosteutta ja poikkileikkauksen muunnetun paksuutta kuvaava kerroin.

α_1, α_2 Betonin lujuuden vaikutus

$$\alpha_1 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,7} \quad (12)$$

$$\alpha_2 = \left[\frac{35}{f_{cm}} \right]^{0,2} \quad (13)$$

$$t_0 = t_{0,T} * \left[\frac{9}{2+t_{0,T}^{1,2}+1} \right]^\alpha \geq 0,5 \quad (14)$$

$t_{0,T}$ betonin lämpötilakorjattu ikä kuormitus hetkessä vuorokausina

α Sementin tyyppi eksponenttina. 0 Normaalissa sementissä ja 1 rapid-tyypissä

$$t_T = \sum_{i=1}^n e^{-\left(\frac{4000}{[273+T(\Delta t_i)]} \right) * \Delta t_i} \quad (15)$$

$t_{0,T}$ betonin lämpötilakorjattu ikä kuormitus hetkessä vuorokausina

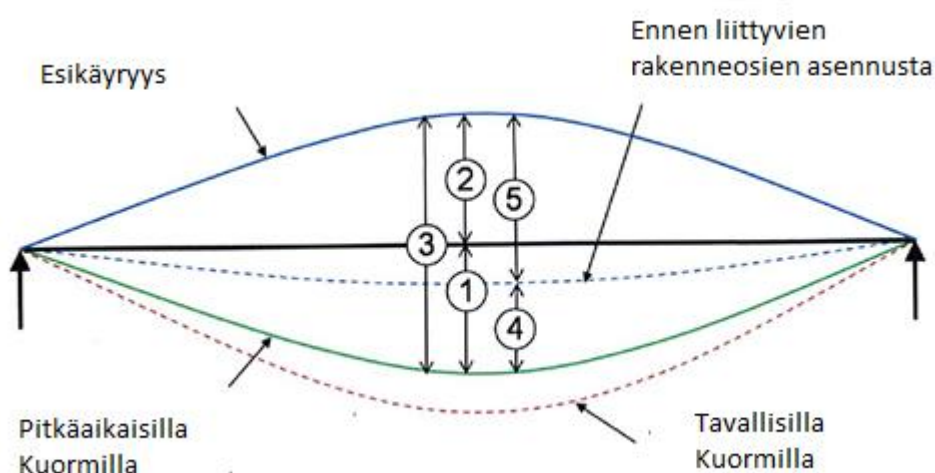
α Sementin tyyppi eksponenttina. 0 Normaalisissa sementissä ja 1 rapid-tyypissä

t_f lämpötilakorjattu betonin ikä, joka korvaa suureen t vastaavissa yhtälöissä

$T(\Delta t_i)$ lämpötila määritetyllä aikavälillä

Δt_i Aika vuorokausina, kun betoni on lämpötilassa T

4.3 Taipuma



Kuva 13. Taipuman määrittäminen[30.]

Käyttörajan suunnittelussa erityisesti taipuman hallinta on tärkeää määrittäessä ontelolaattojen poikkileikkauksien mittasuhteita. Ontelolaatoilla on taipumus olla ohuita verrattuna niiden jänneväliinsä nähden, joten tästä syystä ne ovat erittäin herkkiä taipumalle. Jäykkyys on tärkeä parametri verrattuna lujuuteen suunniteltaessa laattoja. Eurokoodit ovat määritelleet kaksi yleistä lähestymistapaa taipuman hallintaa varten. Ensimmäisessä kaavassa määritellään suhde jännevälin ja syvyyden kanssa. Kaava tuo vain pientä ohjeistusta enimmäkseen laattoihin ja palkkeihin, eikä kata jännitetyjä rakenteita. Jälkimmäisessä kaavassa käsitellään taipuman hallintaa laskemalla taipumaa tai kaarevuutta käyttäen tarpeellisia materiaalin tai rakenteellisia malleja. Laskel-

moitu taipuma ei saa ylittää taipuman ääriarvoja, jotka ovat määritelty rakenteelle ja sen käyttötarkoitukselle.[20.][27.]

On olemassa kolme erilaista taipumatyyppiä, jotka aiheuttavat jännebetonirakenteelle ongelmia:

- Liiallinen taipuma aiheuttaa esteettisiä ongelmia tai käytännöllisiä rajoitteita
- Liiallinen taipuma aiheutuu määrittelemättömästä kuormasta tai vahingosta joko kantavalle rakenteelle tai ei kantavalle osalle, joka on kiinni tai taipuvan osan vieressä.
- Pienen jäykkyyden vuoksi, dynaamiset muodonmuutokset aiheuttavat epämieluisaa oloa asukkaille. Tietyn jännevälin ja korkeuden suhde altistaa rakenteen mahdollisesti värähtelylle.

Ensimmäisessä ongelmatapauksessa tapahtuu juurikin laattojen roikkumista liiallisesti käyttäjälle häiritsevällä tavalla. Katoilla ilmenee lätäköiden muodostumisella, kerrostoissa ontelolaatan saumat erityyppisen laatan kanssa jättää raon näkyviin ja pienet erot tasoissa aiheuttavat paikallisia yhden laatan liiallisia taipumia. Näitä tapauksia saadaan ehkäistä rajoittamalla pitkäaikaistaipumaa. Kokonaistaipuma rakenteessa on lyhytaikaisten- ja aikariippuvaisten taipumien summa. [27.]

Eurokoodissa 1992-1-1 haetaan samaa lähestymissuuntaa kuin ISO 4356:ssa, jossa suositellaan rakenteen funktion muuttumista, jos laskelmoitu kaarevuus ylittää arvon jänneväli/250. Edellä mainittu arvo myös riippuu kohteen käyttötarkoituksesta, sillä kyseinen raja-arvo voi olla hyvä parkkihallille, muttei sovelias urheilusalin lattialle, sillä käytörajatilassa muodostuu ongelmia tasaisuuden kanssa.[27.]

$$a_{max} = \frac{L}{250} \quad (16)$$

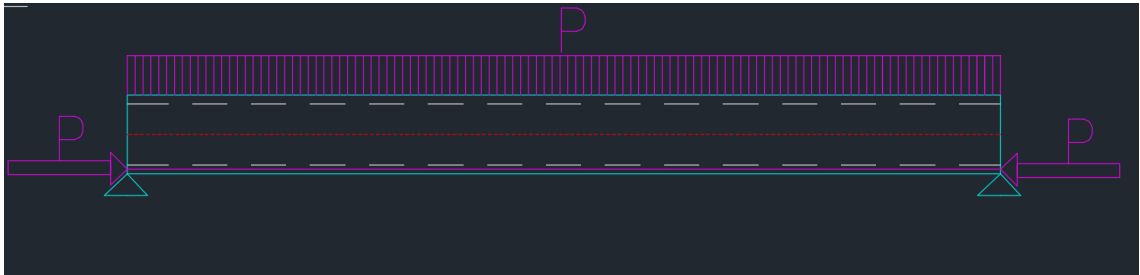
Kuten aikaisemmin käsiteltiin, L/250-arvo on absoluuttinen raja-arvo kaikelle taipumalle laattojen osalta. Tätä arvoa ei ole suositeltavaa ylittää, sillä taipuma on näkyvää ja aiheuttaa huomattavia lisäkustannuksia tasoittamiselle ja paikkaamiselle. Tuo arvo ei ole mahdollisesti rajoittava tekijä, kun laatat eivät ole näkyvissä tai rakenteen jänneväli ei ole lähellä ominaista värähtelyä. [6.][27.]

$$a_{max} = \frac{L}{500} \quad (17)$$

Tietyt käyttötarkoitukset rajaavat taipumaa tarkemmaksi. Esimerkiksi ilmanvaihtokonehuoneet voivat aiheuttaa ominaista värinää, mikä voi johtaa laattojen pienimuotoiseen värisemiseen.

5 Taipuman määrittäminen

5.1 Jännevoima



Kuva 14. Ontelolaatan kuormat punosten sahaamisen jälkeen

Jännitetyt betonirakenteet sisältävät ominaisuuksia, joita muilta betonirakenteilta puuttuu. Esijännitetty rakenne saadaan pysymään käyttörajatilassa halkeilemattomana, sillä rakenteessa on puristava alkujännitystila. Myös jos rakenne on hyvin suunniteltu, niin kuormien vaikutus ei riitä muuttamaan tätä tilaa siten, että murtovenymä ylitettäisiin.

Linearisessa kimmoteoriassa oletetaan, että erilaisten voimasuureiden vaikutukset poikkileikkauksessa voidaan laskea erikseen ja kokonaisvaikutus on osavaikutuksien summa.[9.]

$$\sigma_N = \frac{N}{A} \quad (18)$$

,missä

σ_N on jännitystila

A on pinta-ala

N on normaalivoima

Poikkileikkauksessa pystysuorassa vaikuttavan taivutusmomentin aiheuttamana syntyy lineaarisesti muuttuva jännitystila.

$$\sigma_M(y) = \frac{M}{I} y \quad (19)$$

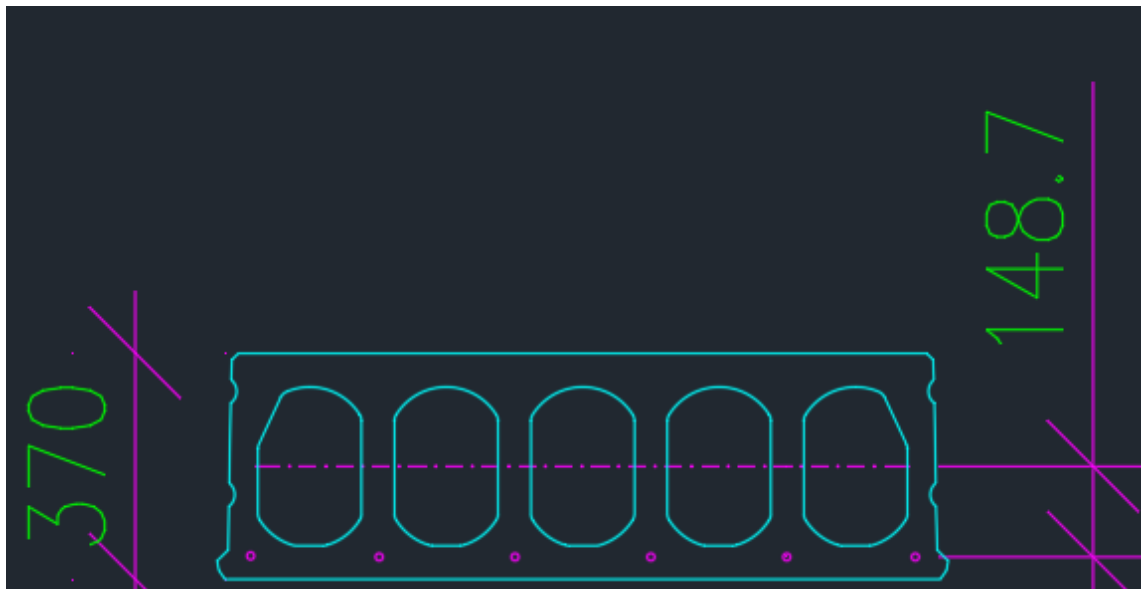
,missä

$\sigma_M(y)$ on lineaarisesti muuttuva jännitystila

I on poikkileikkauksen jäyhyysmomentti vaakasuoran painopiste akselin mukaisesti

y on koordinaatti mitattuna poikkileikkauksen painopisteestä ja se on positiivinen painopisteestä alaspäin

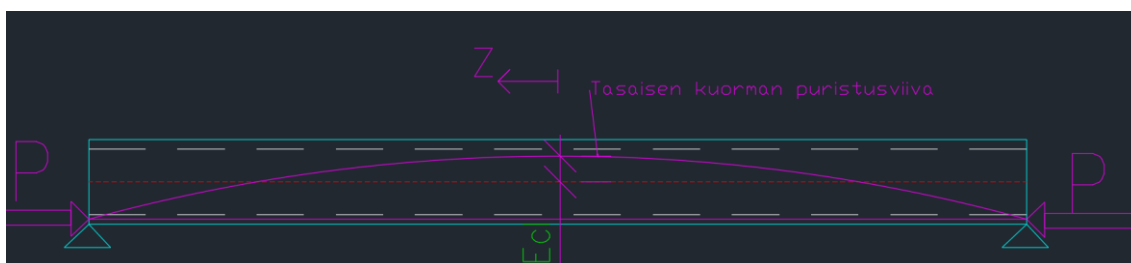
M Momentti



Kuva 15. Punosten etäisyys P37-ontelolaatan keskipisteeseen

Puristusviiva kertoo sen resultanttivoiman kohdan, joka yksin aiheuttaa poikkileikkauksessa vallitsevan jännitystilän. Muut kuormat vaikuttavat vaikutuspisteen paikkaan, kuten myös ulkoinen momentti. [9.]

Taipuman laskennan kannalta ongelmaksi muodostuu nopeasti pisteiden laskeminen eri kuormien vaikutuksen alaisena. Jänneteräksen jännitysten muutokset aiheuttavat myös satunnaista vaihtelua tuloksiin.



Kuva 16. Puristusviivan muodostuminen tasaisesta kuormasta

Yksinkertaistuksena voidaan pitää, että jännevoima aiheuttaa momentin laatan päähän. Taipuman laskeminen pistekohtaisesti on erittäin työlästä ja aikaa kuluttavaa. Sillä jännevoiman, omapainon, punoksen sijainnin, kuormat, relaxaatio ja jännevoiman häviö vaikuttavat laskuun erittäin paljon. Näitä kaikkia muutoksia täytyy laskea tiheillä x-suuntaisina koordinaatteina. Tämän vuoksi käytämme Eurokoodeihin perustuvaa laskentaohjelmaa.

5.2 Tehtaalla vaikuttavat asiat

Aikaisemmin käsittelin valmistusprosessia hieman läpi. Valmistuksen aikana voi tapahtua muutamia asioita, jotka voivat muuttaa ontelolaatan kaarevuutta. Näistä tärkeimmät ovat betonin massan laatu, alkujännitysvoiman varmistus ja oikeaoppinen päästö, ontelolaatan sijainti valupedillä, punostusmäärä ja varastoaikaisen säilytyksen pituus ja säilytyspaikka.

Betonimassassa käytettävä sementti ja veden ja sementin suhde ovat tärkeimmät asiat, jotka alkuvaiheessa voivat vaikuttaa muodostuvaan kaarevuuteen. Liiallinen vesimentti suhde mahdollistaa heikon lujuuden kehittymisen ja jänneteräksiltä tulevan jännevoiman paikallapitämisen.

Tehtaalla alkujännitysvoiman tarkka määritys jokaiselle valulle on tärkeää. Tarkka laadunvalvonta mahdollistaa onnistuneet kappaleet. Viitaten toisessa luvussa esiintyneeseen kuvaan 2, jossa on ontelolaatta, joka on käyristynyt ylöspäin oltuaan liikaa varastolla ulkona säilymässä, kuten myös halkeillut luiston vuoksi.

Standardeihin perustuvat materiaalilujuudet ja laadunvarmistusohjeet määrittävät toimintatapoja tehtaalla. Yksittäiset työvaiheet voivat pelkästään vaikuttaa huomattavasti ontelolaattaan syntyvään kaarevuuteen. Valusta varastoon päivämäärinä voi tapahtua asioita, jotka vaikuttavat taipumaan eikä niille ole laskennallisia malleja olemassa. Valussa käytetyn betonin laatu, jälkihoidot, tehtaalla tehtävän sahauksen esikorotus ja laskennallisen esikorotuksen arvot vaihtelevat tai tietyn valun ongelmat vaikuttavat koko valulla tehtävään ontelolaattamäärään, kuten valukoneen käytön nopeus tai toimintakunto.

5.3 Taipuman määritys eurokoodin mukaan

Eurokoodin mukaan on määritelty maksimiarvo taipumalle. Jos jännevälin ja korkeuden suhde eivät vastaa oikealla puolella yhtälöä olevia arvoja taipuma täytyy laskea. Suunnittelija määrittää itse raja-arvot rakenteilleen.

$$a_{max} = \frac{L}{250} \quad (20)$$

Taipuma herkille rakenteille

$$a_{max} = \frac{L}{500} \quad (21)$$

Taipuma tarkastetaan laskennallisesti jännemitan ja korkeuden perusteella eurokoodin mukaisesti käyttäen jännevälin ja korkeuden rajasuhdetta. Jos alla oleva tarkastelu osoittautuu oikeaksi, ei tarvitse tarkastaa laskennallisesti taipumaa.

$$\rho \leq \rho_0$$

$$\frac{l}{d} \leq k \left[11 + 1,5\sqrt{f_{cK}} \cdot \frac{\rho}{\rho_0} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{cK}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1\right)^{3/2} \right] \quad (22)$$

$$\rho \geq \rho_0$$

$$\frac{l}{d} \leq K \cdot \left[11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{cK}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \cdot \sqrt{f_{cK}} \cdot \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \quad (23)$$

,missä

l/d on jännemitan ja korkeuden rajasuhde

K on kerroin, jonka avulla otetaan huomioon erilaiset rakennejärjestelmät

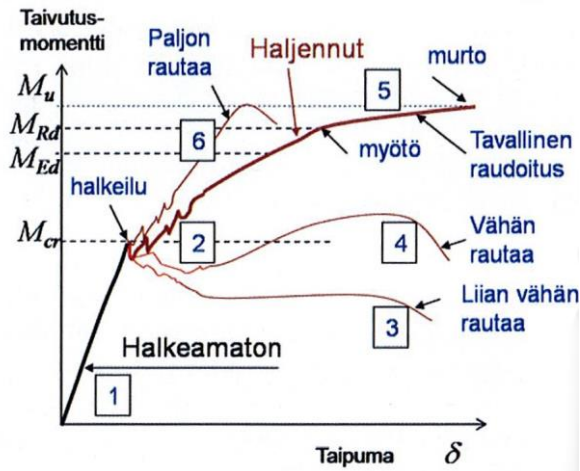
ρ_0 on raudoitussuhteen vertailuarvo $10^{-3} * \sqrt{f_{ck}}$

ρ on jännevälille aiheutuva momentin edellyttävä vetoraudoitussuhde

ρ' on jännevälille aiheutuva momentin edellyttävä puristusraudoitussuhde

f_{ck} on betonin lieriölujuuden ominaisarvo[2.]

Käyttörajatilamitoituksen mukaisesti etsitään kuormitushistoriasta suurin mahdollinen kuormitusyhdistelmä. Yleisesti tavanomaisessa kentässä ontelolaatalla tämä on omapainon, pysyvän kuorman ja hyötykuorman yhdistelmä. Kolotussa laatassa tulee lisäksi kolouksen päälle tuleva betonivalu ja mahdollisesti kuormittavat ei kantavat väliseinät. Huomioon täytyy ottaa kololaatassa sen kolouksen poikkileikkaus.[21.]



Kuva 17. Taivutusmomentin ja taipuman suhde riippuen raudoituksesta [30.]

Ontelolaatan taipuman mitoituksessa on tärkeää, ettei ylitetä halkeilumomenttia, sillä muuten joudutaan laskemaan halkeamattoman ja haljenneen poikkileikkauksen, kuten myös kutistuman aiheuttama taipuma. Toiseksi tärkeintä on ottaa huomioon esijännitysvoiman tekemän kaarevuuden vaikutus rakenteeseen. Esijännitysvoima aiheuttaa alapintaan puristusta, joten halkeamamomenttia ei ylitetä niin helposti kuin tavanomaisessa laatussa. Esijännitysvoiman laskeminen käsin on huomattavan työlästä ja vaikeaa, sillä esijännitysvoiman muutos johtuen jännityshäviöistä johtaa siihen, että pitäisi laskea useassa pisteessä lyhyilläkin matkoilla voiman tuomaa kaarevuuden muutosta. Sen vuoksi suositellaan laskea käyritysmää koneiden kautta.

Lasketaan taivutusmomentin aiheuttama käyritysmää $\xi = 0$, sillä $M_{Cr} > M_{ek}$

$$\frac{1}{r} = \frac{M_K}{E_{e,ef} \cdot I_c} \quad (24)$$

Taipuman ääriarvo tasaisesti kuormitetussa laatussa on:

$$V_{Max} = \frac{5}{384} * \frac{pl^4}{E_{cm} * I} \quad (25)$$

Joten

$$V_{Max} = \frac{5}{384} * \frac{(g_k + q_k) * L^4}{E_{cm} * I} \quad (26)$$

,missä

g_k Omapaino ja pysyvä kuorma MN/m

q_k Muuttuva kuorma MN/m

E_{cm} Kimmokerroin MN/m²

L Jänneväli m

I Jäyhyysmomentti m⁴

Luvussa 5.1 käsiteltiin jännevoiman vaikutusta taipumaan. Jännevoima nostaa ontelo-laattaa ylöspäin, joten

$$V_{Max} = \frac{5}{384} * \frac{(g_k + q_k) * L^4}{E_{cm} * I} + \frac{1}{8} * \frac{M_P * L^4}{E_{cm} * I} \quad (27)$$

5.4 Cslab

Headers And Titles	Main Data	Slab Data	Concrete	Strands	Loads
Control data of calculation					
Code	EC2_FIN				
Structure type	Floor				
Element type	Slab				
Iteration					
No iteration	<input checked="" type="checkbox"/>				
Iteration of load	<input type="checkbox"/>				
Iteration of reinforcement	<input type="checkbox"/>				
Periods [d]					
Time at transfer	1				
Installation time of slab	48				
Grouting time of topping 1	50				
Grouting time of topping 2	0				
Installation time of props	49				
Removal time of props	55				
Time of live load	80				
Time of first capacity check	80				
Factors for actions					
Factors for actions K _{if}	1.0				
Allowed deflections					
Allowed deflection in final phase [L /]	250				
Allowed deflection in stockyard [L /]	1000				
Exposure conditions					
Relative humidity in stockyard [%]	70				
Relative humidity during construction [%]	70				
Relative humidity at final phase [%]	50				
Temperature in stockyard [°C]	20				
Temperature during construction [°C]	20				
Temperature at final phase [°C]	20				
Fire resistance [R]	60				
Exposure class	X0				
Serviceable limit state (SLS)					
Bottom layer					
Crack width with quasi-permanent load [mm]	0				
Crack width with frequent load [mm]	0.1				
Top layer					
Crack width with quasi-permanent load [mm]	0				
Crack width with frequent load [mm]	0.1				
Top layer of the topping					
Crack width with quasi-permanent load [mm]	0.1				
Crack width with frequent load [mm]	0.2				
Reinforcement of topping					
Strength of rebars [MPa]	500				
Safety coefficient of reinforcement [mm]	1.15				
Location of rebars from the top layer [mm]	25				
Reinforcement amount [mm ² /m ² unit]	0				

Kuva 18. Kuvakaappaus yleistiedot-sivulta

Ensimmäisellä välilehdellä määritellään arvot taipumalle. Tilannekohtaisesti voi vaihtaa arvoa, jos on tarvetta tiukemmalle raja-arvolle. Ensimmäisessä sarakkeessa voidaan säätää asennusaikaa, valupäivää, muuttuvan kuorman päivää ja asennusaikaiset tuet. Kaikkiin nämä arvot ovat lujuuden kehityksen kannalta mahdollisen aikaisia päiviä. Keskimmäisessä sarakkeessa määritellään altistustekijät viruman laskentaa varten. Käyttörajatilaa varten on määriteltä halkeamien leveydet.

Headers And Tiles	Main Data	Slab Data	Concrete	S
Number of spans and cantilevers Number of spans: <input type="text" value="1"/> Left Cantilever: <input type="checkbox"/> Yes / No Right Cantilever: <input type="checkbox"/> Yes / No		Slab type Select Slab type: <input type="text" value="20"/> New X-Section [Name]: <input type="text"/> Preview: <input type="checkbox"/>		
Span 1 Span 2				
Slab Data (Field 1)		Cross Section		
Left Cantilever [mm]	<input type="text" value="0"/>	Nominal width of the slab [mm]	<input type="text" value="1200"/>	
Span (centre to centre of supports) [mm]	<input type="text" value="10975"/>	Depth of the slab [mm]	<input type="text" value="370"/>	
Right Cantilever [mm]	<input type="text" value="0"/>	Width of the bottom layer [mm]	<input type="text" value="1164"/>	
Topping 1 Depth [mm]	<input type="text" value="0"/>	Width of the top layer [mm]	<input type="text" value="1154"/>	
Topping 2 Depth [mm]	<input type="text" value="0"/>	Depth of the flange under the void [mm]	<input type="text" value="55"/>	
Width of left support [mm]	<input type="text" value="0"/>	Depth of the flange above the void [mm]	<input type="text" value="55"/>	
Width of right support [mm]	<input type="text" value="0"/>	Y Cnt	<input type="text" value="119"/>	
Length of left support [mm]	<input type="text" value="60"/>	CC-distance of the voids [mm]	<input type="text" value="224"/>	
Length of right support [mm]	<input type="text" value="60"/>	Number of edge voids	<input type="text" value="2"/>	
Bathroom recess	<input type="text" value="0"/>	Number of middle voids	<input type="text" value="3"/>	
Distance from slab end [mm]	<input type="text" value="0"/>	Total width of webs	<input type="text" value="313"/>	
The length of the recess [mm]	<input type="text" value="0"/>	Calculation of loading curves		
The depth of the recess [mm]	<input type="text" value="0"/>	First span (to be calculated) [mm]	<input type="text" value="10975"/>	
Supports during storing	<input type="text" value="0"/>	Last span (to be calculated) [mm]	<input type="text" value="10975"/>	
Distance of left support from the slab end [mm]	<input type="text" value="200"/>	Step [mm]	<input type="text" value="1000"/>	
Distance of right support from the slab end [mm]	<input type="text" value="200"/>			

Kuva 19. Kuvakaappaus laatan informaatio -välilehdeltä

Laatan tiedot sivustolla valitaan ontelolaattatyyppi ja asetetaan pituus. Jos on tarvetta voi määrittää ulokkeen ontelolaatalle, liittovaluna toimivan betonin korkeuden, tukipi-tuudet varastossa tai työmaalla ja ontelolaatan leveyden jos ontelolaatta on kavennet-tu. Toiseksi tärkein ominaisuus on kylpyhuonesyvennyksen pituuden ja syvyyden mää-rittäminen, kuten myös syvennyksen sijainnin laatan päästä.

Headers And Titles	Main Data	Slab Data	Concrete	Strands	Loads
Concrete of the unit					
Concrete strength [MPa]	50				
Strength at transfer [MPa]	30				
Safety coefficient	1.35				
Additional safety factor	1.0				
Tensile strength coefficient	1.4				
Creep factor	1				
Shrinkage factor	1				
Density [kN/m ³]	25				
Filled void					
Number of filled voids	0				
Filling length [mm]	0				
Reinforcement [mm ² /void]	0				
Location of reinforcement from top [mm]	0				
Structural topping					
Concrete strength [MPa]	20				
Safety coefficient	1.5				
Creep factor	1				
Shrinkage factor	1				
Density [kN/m ³]	25				
Location of topping 1 from slab soffit	370				
Propping					
Props of left cantilever	0				
Props of span	0				
Props of right cantilever	0				
Pre cambers					
Pre camber of left cantilever	0				
Pre camber of span [V]	-1000				
Pre camber of right cantilever	0				
Shear reinforcement at interface					
Cohesion	0.2				
Friction	0.6				
Shear reinforcement at interface	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No				
Characteristic strength of reinforcement [MPa]	0				
Safety factor of reinforcement	1.15				
Reinforcement [mm ² /m/unit]	0				
Location of reinf. from the slab end [mm]	0				
Flexible					
Shear flow before hardening of topping concrete	0				
Shear flow after hardening of topping concrete	0				
Filling length [mm]	0				
Adjacent reinforcement [mm ² /m]	0				
Reduction factor of shear flow	0				
Shear flow before hardening of topping concrete	0				
Shear flow after hardening of topping concrete	0				
Filling length [mm]	0				
Adjacent reinforcement [mm ² /m]	0				
Reduction factor of shear flow	1				

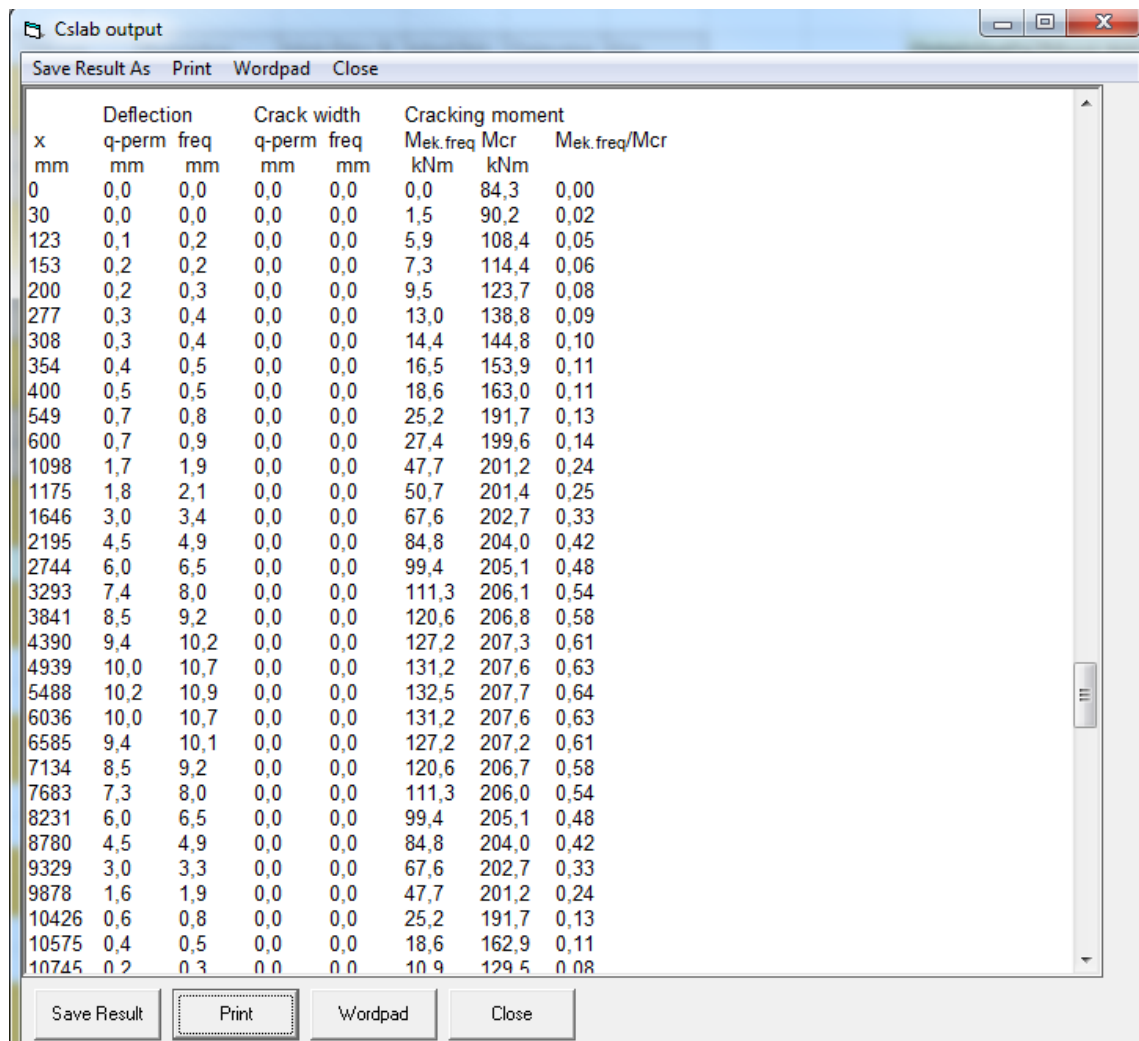
Active File: C:\Users\CNSV\HYV\Desktop\Gslab\laskelmat\11111.dat

Kuva 20. Kuvakaappaus betoni-välilehdeltä

Betonin materiaalin ominaisuudet -sivulla määritetään ontelolaattaan liittyvät betonin ominaisuudet. Betonin lujuus ja turvakertoimien määrittäminen ovat tärkeimmät asiat mitä tällä sivulla voi tehdä. Jos on tekemässä ontelolaattaan liittovalua, täytyy määrittää keskimmaisessä sarakkeessa betonin lujuus ja ominaisuudet. Myös oikealla puolella on raudoituksen tartuntaan liittyviä tarkennuksia. Alhaalta löytyy asennusaikaisten tukien etäisyydet ja myös esikorotus, nämä eivät ole olennaisia asioita ontelolaatan mitoituksen kanssa, mutta kuorilaatassa tärkeitä.

Kuva 22. Kuvakaappaus kuormitukset-sivulta

Viimeisellä sivulla määritellään ontelolaattaan kohdistuvat kuormat. Valikosta löytyy useita vaihtoehtoja kuormitustapauksille. Viiva- ja tasaiselle kuormalle löytyy myös osittaiset vaihtoehdot. Kun kuormitustapaukset ovat liian isoja jänneväliille tai punoksille, taulukon palkit ovat punaisia.



x mm	Deflection		Crack width		Cracking moment		
	q-perm mm	freq mm	q-perm mm	freq mm	Mek.freq kNm	Mcr kNm	Mek.freq/Mcr
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	84,3	0,00
30	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	90,2	0,02
123	0,1	0,2	0,0	0,0	5,9	108,4	0,05
153	0,2	0,2	0,0	0,0	7,3	114,4	0,06
200	0,2	0,3	0,0	0,0	9,5	123,7	0,08
277	0,3	0,4	0,0	0,0	13,0	138,8	0,09
308	0,3	0,4	0,0	0,0	14,4	144,8	0,10
354	0,4	0,5	0,0	0,0	16,5	153,9	0,11
400	0,5	0,5	0,0	0,0	18,6	163,0	0,11
549	0,7	0,8	0,0	0,0	25,2	191,7	0,13
600	0,7	0,9	0,0	0,0	27,4	199,6	0,14
1098	1,7	1,9	0,0	0,0	47,7	201,2	0,24
1175	1,8	2,1	0,0	0,0	50,7	201,4	0,25
1646	3,0	3,4	0,0	0,0	67,6	202,7	0,33
2195	4,5	4,9	0,0	0,0	84,8	204,0	0,42
2744	6,0	6,5	0,0	0,0	99,4	205,1	0,48
3293	7,4	8,0	0,0	0,0	111,3	206,1	0,54
3841	8,5	9,2	0,0	0,0	120,6	206,8	0,58
4390	9,4	10,2	0,0	0,0	127,2	207,3	0,61
4939	10,0	10,7	0,0	0,0	131,2	207,6	0,63
5488	10,2	10,9	0,0	0,0	132,5	207,7	0,64
6036	10,0	10,7	0,0	0,0	131,2	207,6	0,63
6585	9,4	10,1	0,0	0,0	127,2	207,2	0,61
7134	8,5	9,2	0,0	0,0	120,6	206,7	0,58
7683	7,3	8,0	0,0	0,0	111,3	206,0	0,54
8231	6,0	6,5	0,0	0,0	99,4	205,1	0,48
8780	4,5	4,9	0,0	0,0	84,8	204,0	0,42
9329	3,0	3,3	0,0	0,0	67,6	202,7	0,33
9878	1,6	1,9	0,0	0,0	47,7	201,2	0,24
10426	0,6	0,8	0,0	0,0	25,2	191,7	0,13
10575	0,4	0,5	0,0	0,0	18,6	162,9	0,11
10745	0,2	0,3	0,0	0,0	10,9	129,5	0,08

Kuva 23. Ote laskelman taipumaosiosta

Ohjelman tuloste on 9-sivuinen. Siihen kuuluu ontelolaatan materiaaliarvot, valmistus- ja asennusajan kuormitukset ja taipuma. Murtorajatilan ja käyttörajatilaan liittyvät laskelmat. Tärkeimmät näistä on halkeamamomentti, taipuma, käyttörajatilan arvot ja palkonkestävyys, sillä niitä arvoja ei näe edelliseltä välilehdeltä. Tulosteesta löytää taipuman välilehdeltä lopullisen taipuman määriteltynä ontelolaatalle. Ohjelma laskee useassa pisteessä taipuman, jännevoiman häviöt ja halkeilumomentin.

6 Kohde

Opinnäytetyössä tutkitaan kolmessa kuormiltaan samoissa kerroksissa kolmea erilaista punostustyyliä. Kohde on kuviteltu versio todellisesti tapahtuneesta pilottikohteesta, jossa on pohdittu punostusta samalla tavalla.

6.1 Tiedot

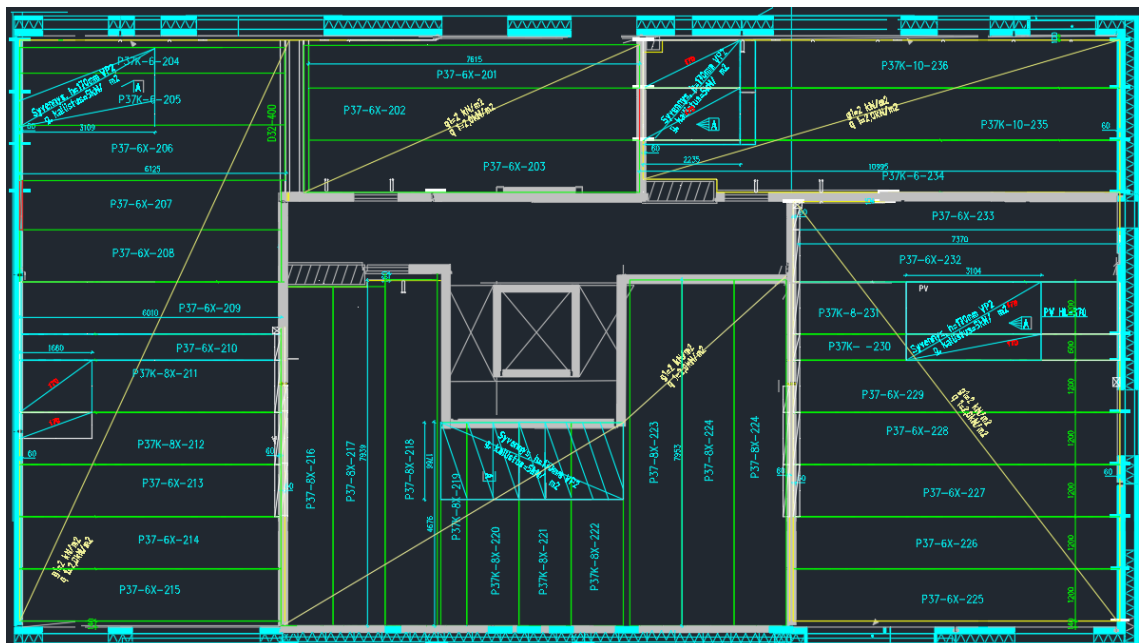
Käyryyden kannalta ongelmallisin kohta tulee muodostumaan paikkaan, joka on merkittävän kuormituksen alla tai jäykkyydeltään eroaa muista rakenteista. Normaalisti kuorman alla ontelolaataston saumaamisen jälkeen kuormat jakautuvat levyvaikutuksen vuoksi tasaisesti muutaman laatan päähän. Suunnitteluohjeessa on määritelty kertoimet piste- ja viivakuormien jakautumiselle laatastossa. Näiden aiheuttamia käyryksiä on mahdollista arvioida tismalleen sillä kaikki kuormat tulevat juurikin saumauksen jälkeen. Tässä vaiheessa tulee kololaatan muodostamat ongelmat esiin. Normaalissa kerrostaloasutuksen huoneistossa voi olla millä tahansa mitalla olevia kolottuja laattoja. Kolottu osuus vaihtelee, esimerkiksi pahin mahdollinen paikka koloukselle on laatan keskellä, sillä sinne kohdistuu suurin kenttämomentti. Kun muuttujina ovat tasolle kohdistuvat tasaiset kuormat, pistekuormat, viivakuormat ja kolouksen mielivaltainen sijainti, on vaikeaa päätellä todellisesti muodostuvaa kaarevuutta. Kolouksien paikka vaihtelee usein, joten laskennalliset arvot eivät usein ole samaa kuin todellisuus.

Tässä tutkimuksessa kokeillaan kolmen eri punostustyylin vaikutusta laattojen kaarevuuseroihin. Punossuunnittelussa on kehitelty eri toimenpiteitä millekin eri kuormitustapaukselle, jotta varmistetaan mahdollisimman pieni eroavaisuus. Normaalisti tasot punostetaan kustannustehokkaasti ja kestävästi kuorma sallittujen murto- ja käyttörajatilaimitoitusten tekemien raamien sisään. Tasoissa, joissa esiintyy edellä mainittuja kuormia tai kolouksia on punostettu eri sääntöjen mukaan. Määrääväksi tekijäksi on aina muodostunut tasossa oleva ontelolaatta, jolle on kohdistunut eniten kuormia. Kuormitus aiheuttaa taipumaa lopputilanteessa ja johtaa siihen, että tulevaisuudessa viruman vuoksi ontelolaatan alapinta tulee matalammaksi kuin vierellä olevien. Tekeillä ontelolaatasta jäykemmän yksinkertaisesti parantaa sen mitoitettua käyttöikä. Määräävän ontelolaatan viereen punostetaan ontelolaattatyyppille yksi matalampi punosmäärä, vaikka ontelolaattaan ei muodostu merkittäviä kaarevuutta aiheuttavia teki-

jöitä. Tämä tulee olemaan erittäin suuri kuluerä esimerkiksi tilanteissa kun viereinen laatta onkin jäykempi kuin kuormitettu kololaatta..

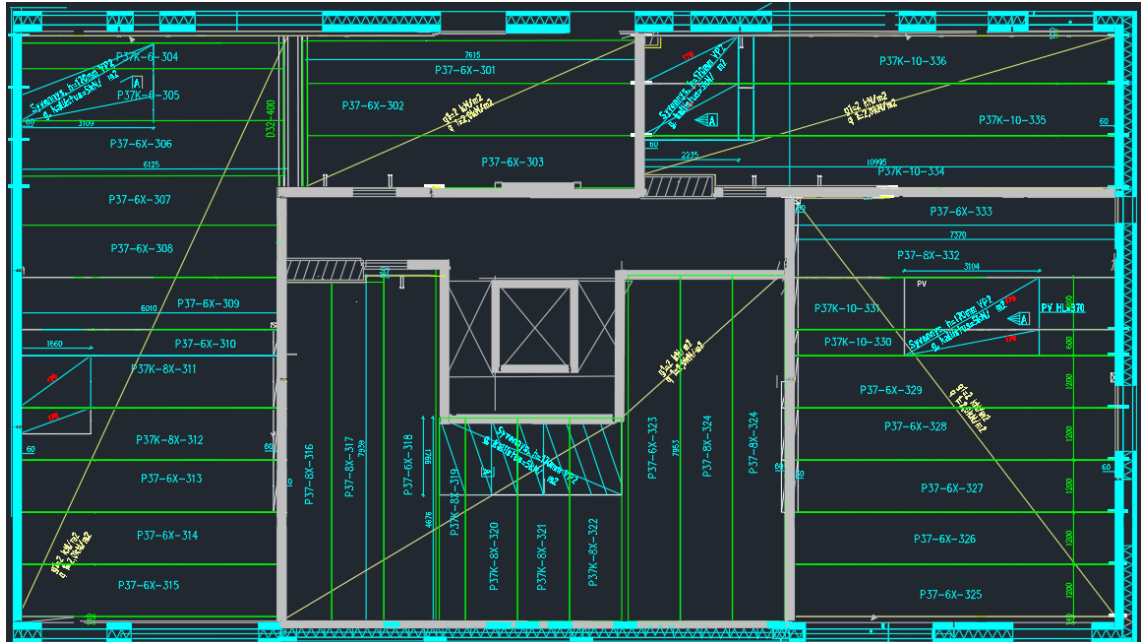
6.2 Tasojen eroavaisuudet

Alla olevissa kuvissa on kohteen ontelolaatatastojen tasokuvia. Neljän eri asunnon mukaan on muodostettu omat laatastot. Laatastot numeroidaan vasemmalta oikealle. Ensimmäisessä asunnossa on 6,2 metriä pitkä kololaatta, jossa on 3,2 metriä pitkä kolous laatan päässä. Samassa asunnossa on alempana myös 6,1 metriä pitkä kololaatta, jonka kolous on 1,7 metriä pitkä. Toisessa asunnossa on 4,7m kololaatta keskellä asuntoa, minkä kolous on 1,8 metriä pitkä. Viereinen laatta on noin kahdeksan metriä pitkä. Kolmannessa asunnossa on ylempänä keskeltä kolottu laatta. Laatan pituus on 7,37 metriä, minkä kolottu osa on 2,5 metrin etäisyydellä päästä. Kolottu osa on noin 3,1 metriä pitkä. Neljännessä asunnossa on 11 metrin kololaattoja, joista päästä on kolottu 2,2 metriä. Huomioitavia kaarevoitumiseen liittyviä asioita ovat keskimmäisen asunnon kolotun laatan ja normaalin laatan pituuserot, kuten myös kolmannessa asunnossa keskeltä kolottu kololaatta. Taseon kohdistuu pysyvinä kuormina 2 kN/m^2 pintarakenteista ja $5,0 \text{ kN/m}^2$ kallistusvalujen muodossa kolotuissa kohdissa. Muuttuvaksi kuormaksi on merkitty kuormaluokka A:han kuuluva hyötykuorma arvoltaan $2,0 \text{ kN/m}^2$.



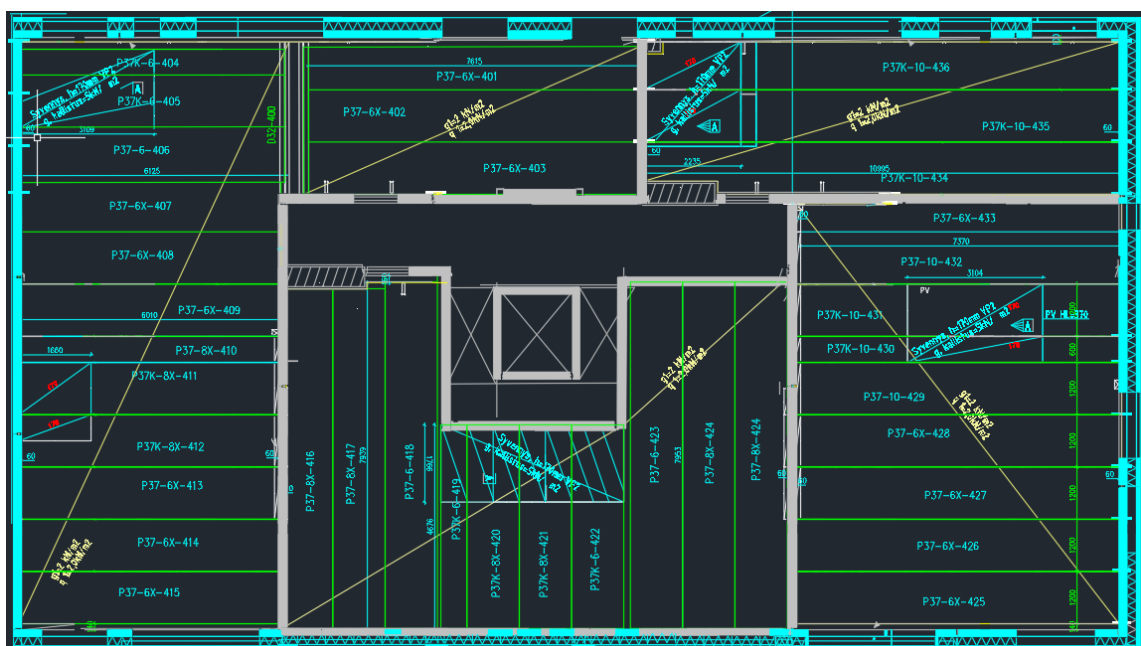
Kuva 24. Taso 1

Ensimmäinen taso on punostettu siten, että kololaatan tarvitsema punosmäärää yksi alempi punosmäärä laitetaan viereiseen laattaan. Tämä johtaa siihen että laatastolle kohdistuvat kuormat huomioidaan punosmäärien porrastamisella.



Kuva 25. Taso 2

Toiseen tasoon on laitettu kololaatan viereen sallittu punosmäärä. Tämä johtaa siihen, että ontelolaatat on mitoitettu niille tarkoitetulle kuormalle, välttämättä siitä, kuinka viereinen laatta kaarevoituu.



Kuva 26. Taso 3

Kolmannessa tasossa mitoittavan kololaatan perusteella viereinen laatta on punostettu samalla punosmäärällä.

6.3 Tulokset

Kolmeen taulukkoon on tilastoitu tasokohtaisesti tärkeimpien laattojen pituus, punostus, ja taipuma. Vierekkäiset laatat ovat laitettu samalla värillä. Oikeassa reunassa näkyy molempien laattojen laskennalliset taipumat ja niiden erotus.

<i>Ontelolaattatunnus</i>	<i>Pituus</i>	<i>Punostus</i>	<i>Taipuma</i>	<i>Ero</i>
P37K-6-205	6125	6	3	
P37-8X-206	6125	8X	-4	7
P37K-8X-211	6010	8X	-2	
P37-6X-210	6010	6X	-1,6	0,4
P37K-8X-219	4680	8X	-2,5	
P37-6-218	7940	6	0,2	2,7
P37K-8X-222	4680	8X	-2,5	
P37-6-223	7940	6	-1,8	1,2
P37K-10-230	7370	6	10,5	
P37-8X-229	7370	8X	0,2	10,3
P37K-10-231	7370	8	10,5	
P37-6-232	7370	6	-5,6	16,1
P37K-10-235	10975	10	0,1	
P37-8-234	10975	8	4,7	4,8

Kuva 27. Ensimmäisen tason tiedot

Ensimmäisessä tasossa ei ole merkittäviä eroja laattojen kaarevuuden välillä. Merkittävät erot syntyvät kolmannen asunnon keskeltä kolotusta laatasta ja 8X-punostuksella varustetusta ontelolaatasta.

Ontelolaattatunnus	Pituus	Punostus	Taipuma	ero
P37K-6-305	6125	6	3	
P37-6X-306	6125	6X	-1,3	4,3
P37K-8X-311	6010	8X	-2	
P37-6X-310	6010	6X	-1,6	0,4
P37K-8X-319	4680	8X	-2,5	
P37-6X-318	7940	6X	3,6	6,1
P37K-8X-322	4680	8X	-2,5	
P37-6X-323	7940	6X	3,6	6,1
P37K-10-330	7370	6	10,5	
P37-6X-329	7370	6X	1,2	9,3
P37K-10-331	7370	8	10,5	
P37-8X-332	7370	8X	0,5	10
P37K-10-335	10975	10	0,1	
P37-6-334	10975	6	15,6	15,7

Kuva 28. Toisen tason tiedot

Keskimääräisesti kaikkien asuntojen taipumaerot kasvoivat. Matalasti punostettu P37-6X-329 taipuu hieman enemmän, joten kaarevuusero pieneni hieman. Neljännessä asunnossa selkeästi pienempi punostus johtaa siihen että muodostuu isompi kaarevuusero.

Ontelolaattatunnus	Pituus	Punostus	Taipuma	Ero
P37K-6-405	6125	6	3	
P37-6-406	6125	6	-6	9
P37K-8X-411	6010	8X	-2	
P37-8X-410	6010	8X	-3,4	1,4
P37K-6-419	4680	6	-2,5	
P37-6-418	7940	6	-4,5	2
P37K-6-422	4680	6	-2,5	
P37-6-423	7940	6	-4,5	2
P37K-10-430	7370	6	10,5	
P37-10-429	7370	6	-14,6	25,1
P37K-10-431	7370	8	10,5	
P37-10-432	7370	8	-14,6	25,1
P37K-10-435	10975	10	-6,2	
P37-10-434	10975	10	-11,5	5,3

Kuva 29. Kolmannen tason tiedot

Erot pienenevät kaikissa muissa laatoissa paitsi kolmannen asunnon ontelolaattojen ylipunostus aiheuttaa liiallista kaarevuutta. Ensimmäisen asunnon ylin kolottu laatta myös kasvatti eroa sillä viereinen on myös punostettu liian ankarasti jänneväliinsä nähden.

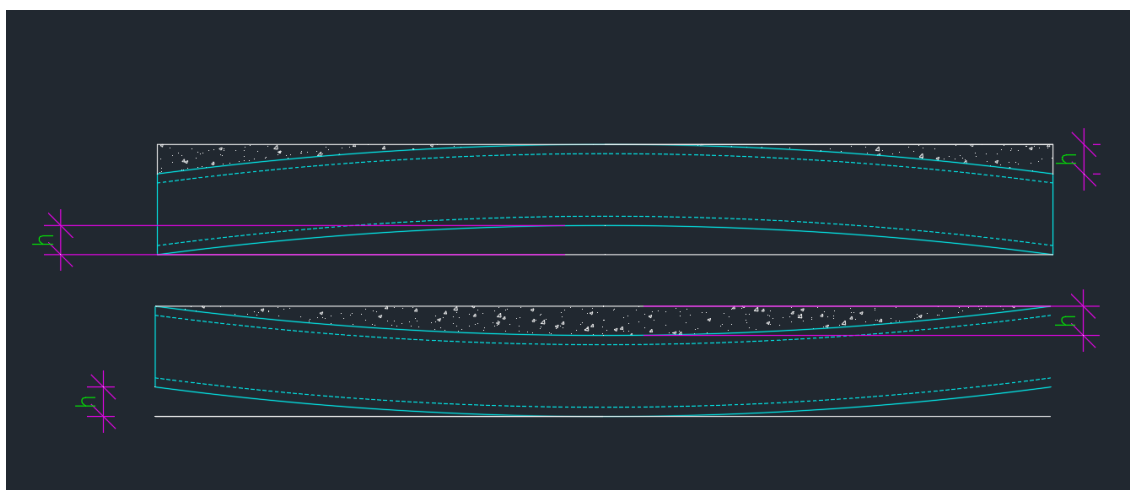
6.3.1 Punostus

Ontelolaatta	Pituus mm	Punostus	Ap mm ²	Σap mm ²	m ³	Kg	€	ero	Halvimmalla
P37K-6-205	6125	6	93	558	0,00342	24,26603	24,266025		
P37K-6-305	6125	6	93	558	0,00342	24,26603	24,266025		
P37K-6-405	6125	6	93	558	0,00342	24,26603	24,266025	0	0
P37-8X-206	6125	8X	52	416	0,00255	18,0908	19,89988		
P37-6X-306	6125	6X	52	312	0,00191	13,5681	14,92491		
P37-6-406	6125	6	93	744	0,00456	32,3547	32,3547	19,0519	57,155553
P37K-8X-211	6010	8X	52	416	0,0025	17,75114	19,52625		0
P37K-8X-311	6010	8X	52	416	0,0025	17,75114	19,52625		0
P37K-8X-411	6010	8X	52	416	0,0025	17,75114	19,52625	0	0
P37-6X-210	6010	6X	52	312	0,00188	13,31335	14,644687		0
P37-6X-310	6010	6X	52	312	0,00188	13,31335	14,644687		0
P37-8X-410	6010	8X	52	416	0,0025	17,75114	19,52625	4,53	13,59
P37K-8X-219	4680	8X	52	416	0,00195	13,82285	15,205133		0
P37K-8X-319	4680	8X	52	416	0,00195	13,82285	15,205133		0
P37K-6-419	4680	6	93	558	0,00261	18,54122	18,541224	0	0
P37-6-218	7940	6	93	558	0,00443	31,45669	31,456692		0
P37-6X-318	7940	6X	52	312	0,00248	17,58869	19,347557		0
P37-6-418	7940	6	52	558	0,00443	31,45669	31,456692	14,14	42,42
P37K-8X-222	4680	8X	52	416	0,00195	13,82285	15,205133		0
P37K-8X-322	4680	8X	52	416	0,00195	13,82285	15,205133		0
P37K-6-422	4680	6	93	558	0,00261	18,54122	18,541224	4,81	14,43
P37-6-223	7940	6	93	558	0,00443	31,45669	31,456692		0
P37-6X-323	7940	6X	52	312	0,00248	17,58869	19,347557		0
P37-6-423	7940	6	93	558	0,00443	31,45669	31,456692	14,14	42,42
P37K-6-230	7370	6	93	558	0,00411	29,19847	29,198466		0
P37K-6-330	7370	6	93	558	0,00411	29,19847	29,198466		0
P37K-6-430	7370	6	93	558	0,00411	29,19847	29,198466	0	0
P37-8X-229	7370	8X	52	416	0,00307	21,76803	23,944835		0
P37-6X-329	7370	6X	52	312	0,0023	16,32602	17,958626		0
P37-6-429	7370	6	93	558	0,00411	29,19847	29,198466	13,13	39,39
P37K-8-231	7370	8	93	744	0,00548	38,93129	38,931288		0
P37K-7-331	7370	8	93	744	0,00548	38,93129	38,931288		0
P37K-8-431	7370	8	93	744	0,00548	38,93129	38,931288	8,73	26,19
P37-6-232	7370	6	93	558	0,00411	29,19847	29,198466		0
P37-8X-332	7370	8X	52	416	0,00307	21,76803	21,985712		0
P37-8-432	7370	8	93	744	0,00548	38,93129	38,931288	16,73	50,19
P37K-10-235	10975	10	93	930	0,01021	72,46793	72,467925		0
P37K-10-335	10975	10	93	930	0,01021	72,46793	72,467925		0
P37K-10-435	10975	10	93	930	0,01021	72,46793	72,467925	0	0
P37-8-234	10975	8	93	744	0,00817	57,97434	57,97434		0
P37-6-334	10975	6	93	558	0,00612	43,48076	43,480755		0
P37-10-434	10975	10	93	930	0,01021	72,46793	72,467925	29	87
Summa	220740		2257	17224	0,17475	1240,727	976,82049	95,2619	372,785553

Kuva 30. Taulukko, jossa ontelolaatan pituudella, punoksen pinta-alalla ja määrällä lasketaan teräksen tiheyden kautta punoksen paino. Painolla määritetään keskinertainen punoksen hinta per laatta.

Ontelolaatat on jaoteltu tasoista vastaavan kappaleen kanssa. Pituudella ja punosmäärällä lasketaan keskiverto tilavuus laatan jänneteräkselle. Teräksen tiheydellä saadaan selville keskimääräinen jänneterästen paino. Painolla määritellään teräkseen kulunut raha. Ohuemmat punokset maksavat noin euron per kilo ja paksummat ovat euron kilolta. Näillä lasketaan punoksiin kulunut raha. Taulukkoon on merkattu vihreällä matalin arvo. Huomataan, että ensimmäinen ja toinen punostustyyli käyttää vähemmän punoksia ja siten säästää eniten rahaa. Valtaosa taulukosta on näyttää vihreää sen vuoksi, koska jännevälit niillä alueilla olivat lyhyitä, eikä punoksia voi vähentää. Näillä tiedoilla säästö on 372.78€ jos punostaa laatat toisen punostustyylin mukaisesti.

6.3.2 Kaarevuuden korjauksen hinta-arvio



Kuva 31. Ontelolaatan kaarevoituminen ali- tai ylipunostettuna

Alapuolen tasoitus on tarpeellista, jos liiallisia kaarevuuseroja on laattakohtaisesti. Jos koko taso on samalla tavalla symmetrisesti 20 millimetriä alaspäin, niin sitä ei huomaa, mutta kun kaarevuuseroa on yli 20 millimetriä, niin sen voi huomata. Alapuolelta tasoitus hoituu yleensä kipsillä. Näistä tapauksista ei ole tarpeeksi tietoa, sillä usein työmaat tasoittavat nämä kertomatta toimittajalle ja ilmaisee asian vasta loppuselityksessä.

Yläpuolen tasoitus tehdään usein kerrostaloissa plaanolla. Plaano on nopeasti kuivuva ja sopiva sementtipohjainen lattiatasoite betonipintojen tasaukseen. Plaanoa suositellaan käyttämään maksimissaan 50 millimetriä ontelolaatan päälle, sillä paksumpi kerros kuivuu hitaasti ja hidastaa työmaata. Keskimääräisesti yksi kilo tasoitetta maksaa 0,5€. Ontelolaatta kaarevoituu kahdella eri tavalla, joten alla oleva kaava laskee hie- man liikaakin kustannusta. [32.]

$$2500 * \frac{kg}{m^3} * 0,5€ * b * h * a \quad (28)$$

,missä

2500 kg/m³ on betonin tiheys

b on ontelolaatan leveys

h on ontelolaatan pituus

a on taipuma

Parman suunnitteluohjeessa laattojen toleransseista. P37-ontelolaatassa voi olla korkeudessa heittoa 7 millimetriä ja taipuma saa heittää 6 millimetriä. Pelkästään näillä toleransseilla ontelolaatan korkeus voi keskimääräisesti vaihdella maksimissaan 26 millimetriä. Yllä olevalla kaavalla on laskettu taipuman vaikutus plaanoon ja noin 10 millimetrin vaikutus toleransseissa plaanoon. Kun taipuman toleranssit ovat noin 6 millimetriä, arvoja pitäisi vielä vähentää tai lisätä riippuen viereisen laatan taipumasta. Ilman sitäkin, noin kolmannesosa toleranssin ääriarvosta aiheuttaa työmaalle enemmän kustannuksia, kuin punoskokeilu.[6.]

m ³	Kg	€	ero	Halvimmalla	Taipuma	Plaano	Toleranssi
0,00342	24,266025	24,266025			3	27,5625	59,7188
0,00342	24,266025	24,266025			3	27,5625	59,7188
0,00342	24,266025	24,266025	0	0	3	27,5625	59,7188
0,00255	18,0908	19,89988			-4	55,125	59,7188
0,00191	13,5681	14,92491			-1,3	55,125	59,7188
0,00456	32,3547	32,3547	19,0519	57,155553	-6	55,125	91,875
0,0025	17,751136	19,52625		0	-2	18,03	90,15
0,0025	17,751136	19,52625		0	-2	18,03	90,15
0,0025	17,751136	19,52625	0	0	-2	18,03	90,15
0,00188	13,313352	14,644687		0	-1,6	30,651	90,15
0,00188	13,313352	14,644687		0	-1,6	30,651	90,15
0,0025	17,751136	19,52625	4,53	13,59	-3,4	30,651	90,15
0,00195	13,822848	15,205133		0	-2,5	20,358	70,2
0,00195	13,822848	15,205133		0	-2,5	20,358	70,2
0,00261	18,541224	18,541224	0	0	-2,9	20,358	70,2
0,00443	31,456692	31,456692		0	0,2	53,595	119,1
0,00248	17,588688	19,347557		0	3,6	53,595	119,1
0,00443	31,456692	31,456692	14,14	42,42	-4,5	53,595	119,1
0,00195	13,822848	15,205133		0	-2,5	17,55	70,2
0,00195	13,822848	15,205133		0	-2,5	17,55	70,2
0,00261	18,541224	18,541224	4,81	14,43	-1,8	17,55	70,2
0,00443	31,456692	31,456692		0	-1,8	53,595	119,1
0,00248	17,588688	19,347557		0	3,6	53,595	119,1
0,00443	31,456692	31,456692	14,14	42,42	-4,5	53,595	119,1
0,00411	29,198466	29,198466		0	10,5	116,0775	110,55
0,00411	29,198466	29,198466		0	10,5	116,0775	110,55
0,00411	29,198466	29,198466	0	0	10,5	116,0775	110,55
0,00307	21,768032	23,944835		0	0,2	161,403	110,55
0,0023	16,326024	17,958626		0	1,2	161,403	110,55
0,00411	29,198466	29,198466	13,13	39,39	-14,6	161,403	110,55
0,00548	38,931288	38,931288		0	10,5	116,0775	110,55
0,00548	38,931288	38,931288		0	10,5	116,0775	110,55
0,00548	38,931288	38,931288	8,73	26,19	10,5	116,0775	110,55
0,00411	29,198466	29,198466		0	-5,6	161,403	110,55
0,00307	21,768032	21,985712		0	0,5	161,403	110,55
0,00548	38,931288	38,931288	16,73	50,19	-14,6	161,403	110,55
0,01021	72,467925	72,467925		0	0,1	102,0675	164,625
0,01021	72,467925	72,467925		0	0,1	102,0675	164,625
0,01021	72,467925	72,467925	0	0	-6,2	102,0675	164,625
0,00817	57,97434	57,97434		0	4,7	256,815	164,625
0,00612	43,480755	43,480755		0	15,6	256,815	164,625
0,01021	72,467925	72,467925	29	87	-11,5	256,815	164,625
0,17475	1240,7273	976,82049	95,2619	372,785553		3570,93	4082,93

Kuva 32. Punostuksen aiheuttaman suurimman taipuman vertaus toleranssien sisällä olevaan tasoituskuluun

7 Yhteenveto

Punoskiloja vähentäessä ei kannata punostaa pitkiä jännevälejä pienemmillä punosmäärillä, mutta silloin kun taso on selkeästi symmetrinen ja ei ole muutoksia kuormissa kannattaa yhtenäisyyden vuoksi harkita matalampaa punosmäärää vaikka kaarevoituksikin. Ontelolaatat pyritään suunnittelemaan kuitenkin siten, ettei muodostuisi kaarevuuseroja. Plaano-meneekistä voidaan päätellä että kaarevoituminen aiheuttaa lisää tasoitettavaa. Kololaatan viereisiä laattoja ei ole suotavaa punostaa samalla määrällä, tämä aiheuttaa kaarevoitumista yläpinnassa jota on kallista tasoittaa. Ontelolaatassa olevat toleranssit ovat isoja, verrattuna viereisten laattojen pieniin kaarevuuserojen aiheuttamiin kustannuksiin plaanon muodossa. Täytyy painottaa vielä työmaan osuutta ontelolaatan asennuksessa. Työmaan velvollisuuksiin kuuluu kaarevuuserojen tasaus, kuten mainittu asennus-luvussa. Kohteesta saa hyviä ideoita punossuunnittelun kehitystä varten. Eurokoodin mukaisesti lasketut taipumat, niiden erot viereisten ontelolaattojen ja kololaattojen kanssa eivät täysin vastaa sitä mitä laskelmat väittää olevan. Tämä opinnäytetyö liittyy vain P37 ja P37K-ontelolaattaan, muihin laattoihin täytyy tehdä samankaltainen kokeilu. Yli 370 millimetrisissä ontelolaatoissa punosmäärät ovat huomattavasti isompia ja jännevälit ovat pidempiä, joten näissä täytyisi kokeilla kuinka kaarevuuden ilmiö näissä tapahtuu. Tässä kohteesta sai selkeästi kolmen eri punostustyylin erot selville ja harkintaan tulevaisuutta varten.

Lähteet

1. SFS-EN 1168 + A3 2012. Betonivalmisosat. Ontelolaatat. 2012. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki
2. SFS-EN 1992-1-1- + A1 AC. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. 2015. Suomen standardisoimisliitto SFS. Helsinki
3. SFS-EN 13369 Betonivalmisosien yleiset säännöt. 2018. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki
4. By 210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2005. 2005. Matti V. Leskelä, Suomen betoniyhdistys. Helsinki
5. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/laatat/ontelolaatat>. Ei päiväystä.
6. Parma ontelolaatat-suunnitteluohje. 2018. Parma Oy. Nummela
7. The deflection of prestressed hollow core slabs. 2016. Anique Smeets Huissen.
8. BY 201 Betonitekniikan oppikirja 2004. 2005. Suomen Betoniyhdistys.Helsinki
9. BY 211-2 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja osa 2 2014. 2015. Suomen Betoniyhdistys. Helsinki
10. Betonielementtien nostot. 2010. Betoniteollisuus Ry.
11. Betonielementtien turvallinen asennus.2008. Betonikeskus Ry. Porvoo
12. Betonielementtien saumavalut. 2008. Betonikeskus RY. Forssa.
13. Betonielementtien toleranssit 2011. Betoniteollisuus Ry. Kotka.
14. Betonielementtien kuljetusohje. 2007. Betonikeskus Ry. Porvoo.
15. Ontelolaatan valmistuksen työvaihekuvaus. 23.5.2013. Hämeenlinna
16. SFS-EN 206:2014 + A1:2016. Betoni. Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus. 2016. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki.
17. BY69 Betonin kutistuman ja halkeilun hallinta 2016. 2016. Suomen betoniyhdistys ry. Helsinki

18. BY113 Jännitetyt rakenteet.1981.Suomen betoniyhdistys ry. Helsinki
19. BY131 Jännebetonirakenteiden mekaniikka ja mitoitus. 1986. Suomen betoniyhdistys ry. Helsinki
20. BY204 Betonirakenteiden mitoitustehtäviä ratkaisuihin. 1982.
21. SFS 7016 Esijännitetyiltä ontelolaatoilta eri käyttökohteissa vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot.2016.Suomen standardisoimisliitto SFS
22. SFS 1265-3 Prestressing steels.2014.Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki
23. PARMAperustukset:asennus- ja työmaaohje. 2016 Parma Oy. Nummela
24. SFS-EN 1991-1-7 + A1 + AC rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleiset kuormat, tilavuuspainot, oma paino ja rakennuisten hyötykuormat. 2002. Suomen standardisoimisliitto SFS. Helsinki
25. SFS-EN 1990 + A1 + AC Rakenteiden suunnitteluperusteet. 1990. Suomen standardisoimisliitto SFS. Helsinki
26. BY 65 Betoninormit 2016. 2017. Suomen betoniyhdistys Ry, helsinki
27. Ontelolaataston suunnitteluohje.2012. Betoniteollisuus Ry. Helsinki
28. Design of Prestressed Concrete to Eurocode 2.2017.Raymond Ian Gilber, Neil Colin Mickleborough, Gianluca Ranzi, Florida
29. https://www.rakentaja.fi/artikkelit/3903/parma_ontelolaatta.htm, luettu 27.10.2019
30. BY211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja osa 1. 2013. Suomen betoniyhdistys. Helsinki
31. Rakentajan kalenteri 2008.2007. Rakennustieto Oy. Helsinki
32. Lattiatasoitemenekin optimointi ontelolaatta- ja paikallavalukohteissa.2019. Miikka Kangas. Helsinki