

Riku Jylhä

WQ-palkin mitoitus liittorakenteessa

WQ-palkin mitoitus liittorakenteessa

Riku Jylhä
Opinnäytetyö
Syksy 2023
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, talonrakennustekniikka

Tekijä(t): Riku Jylhä
Opinnäytetyön nimi: WQ-palkin mitoitus liittorakenteessa
Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Design of WQ-beam in Composite Structure
Työn ohjaaja(t): Ari Oikarinen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2023
Sivumäärä: 63

Liittorakenteita käytetään paljon rakentamisessa. Etenkin kerrosrakentamisessa suositaan liittorakenteita, joissa käytetään teräksisiä palkkeja sekä niihin tukeutuvia betonilaatastoja. Ontelolaattojen kanssa liittorakenteissa ovat yleisiä WQ-palkit, sillä niistä muodostuu matalarakenteinen rakenne, joka on käyttäjäturvallinen muun muassa ulkonäkönsä vuoksi.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä erilaisiin ohjeisiin ja määräyksiin siitä, miten WQ-palkki mitoitetaan liittorakenteessa. Työn päätavoitteena oli laatia luotettava Excel-laskentapohja insinööritoimiston vaativan suunnittelun työvälineeksi. Laskentapohjasta oli tarkoitus tehdä liittorakenteiden suunnitteluun helppokäyttöinen työkalu, jossa WQ-palkki kannattelee ontelolaatasta sekä niiden päälle rakennettavaa kuorirakennetta. Laskentapohja mitoittaa liittorakenteen palkin taipumalle sekä laataston leikkausmurtumalle normaalitilanteessa muutettavien lähtötietojen perusteella.

Työhön koottiin tarvittavat laskentakaavat ja -menetelmät WQ-palkin, ontelolaataston sekä niiden liitoksen mitoittamiseen liittorakenteessa. Lisäksi työssä käydään läpi laskentapohjan toimintaa sekä käyttöohjeita sen käyttäjälle.

Opinnäytetyössä saatiin laadittua toimiva ja käyttökelpoinen mitoitus työkalu WQ-palkkien suunnitteluun toimeksiantajalle. Toimeksiantaja käyttää laskentapohjaa helpottaakseen WQ-palkin sisältävien liittorakenteiden suunnittelua.

Asiasanat: WQ-palkki, liittorakenne, rakenteiden mitoitus, Excel-laskentapohja

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Civil Engineering, Option of House Building Engineering

Author(s): Riku Jylhä
Title of thesis: Design of WQ-beam in Composite Structure
Supervisor(s): Ari Oikarinen
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2023
Number of pages: 63

Composite structures are used a lot in construction, as for example composite beams. Steel composite beams and concrete slabs that rely on them are used a lot especially in floor construction. WQ-beams are used a lot with hollow-core slabs in composite structures, as they form a low-structural structure. Low-structural structures are user-friendly due to their appearance.

The purpose of the thesis was to familiarize oneself with various instructions and regulations on how to design a WQ-beam in the composite structure. The main goal of the thesis was to create a reliable Excel based calculation tool for demanding planning for an engineering office. The calculation tool was to be made an easy-to-use tool for the design of composite structures, where the WQ-beam supports the hollow-core slabs and the shell construction to be built on top of them. The calculation tool designs the composite structure for the beam deflection and the tiled shear fracture under normal conditions, based on the data to be changed.

The necessary calculation formulas and methods for designing the WQ-beam, hollow-core slab and their joint in the composite structure have been collected and combined. In addition, the thesis goes through the operations of the calculation tool as well as user instructions for its user.

The result of the thesis was a functional and usable designing tool for designing WQ-beams for the client. The client uses the calculation tool to facilitate the design of composite structures that feature the WQ-beam.

Keywords: WQ-beam, composite structure, analysis of structures, Excel-calculator

ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö tehtiin insinööritoimisto NQE Teollisuus Oy:lle. Haluan kiittää jokaista NQE Teollisuus Oy:n työntekijää neuvomisesta ja auttamisesta tämän opinnäytetyön kanssa. Opinnäytetyöprosessi oli pitkä, mutta teiltä sain tukea ja apuja opinnäytetyön loppuun viemiseksi töiden ohessa.

Erikseen haluan kiittää toimeksiantajan puolelta työni ohjaajaa Elias Laurilaa hyvästä ohjauksesta ja hyvistä neuvoista työn aikana.

Oulussa 06.09.2023

Riku Jylhä

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	10
1.1	Työn tausta ja tavoitteet	10
1.2	Työn rajaukset.....	10
2	LIITTORAKENNE	12
2.1	Taivutusjäykkyys Steinerin säännön mukaan.....	13
2.2	Taivutusjäykkyys ensimmäisessä vaiheessa.....	14
2.3	Taivutusjäykkyys toisessa vaiheessa	16
3	WQ-PALKKI.....	20
3.1	WQ-palkin parametrit	20
3.2	Ontelolaatan tukivoiman sijainti palkin alalaipalla	21
3.3	WQ-palkin poikkileikkausluokka	22
3.3.1	WQ-palkin ylälaippa	24
3.3.2	WQ-Palkin uuma.....	24
3.3.3	WQ-palkin alalaippa.....	25
4	PALKIN MITOITUS.....	27
5	ONTELOLAATAN LEIKKAUSKESTÄVYYDEN PARANTAMINEN	30
5.1	Leikkaus- ja yksikköleikkausvuot.....	30
5.1.1	Yksikköleikkausvuon määrittäminen	31
5.1.2	Leikkausvuon määrittäminen	33
5.2	Leikkauskestävyyden pienennyskerroimet β_f , β_t ja β_b	35
5.2.1	Onteloiden lisätätön pienennyskerroin β_f	35
5.2.2	Pintabetonin vaikutus laatan kestävyteen, pienennyskerroin β_t	35
5.2.3	Rakennetyypin vaikutus, pienennyskerroin β_b	38
5.3	Palkin leikkausvaarnat.....	38
6	ONTELOLAATAN MITOITUS	42
6.1	Kriittisen leikkauksen sijainti	44
6.2	Leikkausvoimista aiheutuvat leikkausjännitykset.....	46
6.2.1	Leikkausjännitys ensimmäisessä vaiheessa	46

6.2.2	Leikkausjännitys toisessa vaiheessa.....	47
6.3	Leikkausvuosta aiheutuva leikkausjännitys	48
6.4	Ontelolaatan jännevoimien jännitykset	49
6.4.1	Jännevoiman kehittymismatka	49
6.4.2	Jännevoiman aiheuttama puristusjännitys	50
6.4.3	Jännevoiman aiheuttama halkaisujännitys.....	51
6.5	Taivutusmomentin aiheuttama jännitys	53
6.6	Laatan uuman murtoehto	55
6.7	Laatan leikkauskestävyys.....	57
7	LASKENTAPOHJA.....	58
8	YHTEENVETO	62
	LÄHTEET.....	63

SANASTO

Ensimmäinen rakennusvaihe Rakennusvaihe, jolloin ontelolaatat on asennettu ja saumattu sekä sauma on kovettunut, palkit toimivat ensi kertaa liittorakenteisina

Indeksi "1" Tarkennus, ensimmäinen rakennusvaihe

Indeksi "2" Tarkennus, toinen rakennusvaihe

Indeksi "hc" Tarkennus, ontelolaatta

Indeksi "tc" Tarkennus, pinta- sekä saumavalu

Kriittinen leikkauspiste Ontelolaatan leikkauskestävyyden kannalta kriittisin jännitysten tarkastelupiste

Leikkausvuo Leikkausvuo on jatkuvan liitoksen vaakasuora leikkausvoima rakenteen pituusyksiköllä

Liittopalkki Liittorakenteen rakenneosana, joka on pääasiassa taivutettu

Liittorakenne Kantava rakenneosana, jossa on betonista ja teräksestä valmistettuja komponentteja toisiinsa liitettynä siten, että liitoksissa betonin ja teräksen välinen pitkittäinen liukuminen samoin kuin komponenttien irtoaminen toisistaan pysyy rajallisena

Toinen rakennusvaihe Rakennusvaihe, jolloin laatastoa päälle on tehty pintarakenne ja se on kovettunut, palkit toimivat lopullisessa muodossaan liittorakenteisina hyötykuormille

WQ-palkki Teräslevyistä valmistettu leukapalkki, jolla kannatellaan laatastoja kuten ontelolaatastoja

Yksikköleikkausvuo

Yksikköleikkausvuo tarkoittaa yksikön suuruisesta liittopalkin leikkausvoimasta aiheutuvaa leikkausvuota täyden yhteistoiminnan teorian mukaan laskettuna

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Liittorakenteita käytetään todella paljon rakentamisessa, sillä monesti liittorakenteen rakenneosien poikkileikkaukset pysyvät pienempinä kuin yksiaineisilla rakenteilla. Liittopalkkeja käytetään yleisimmin kerrosrakentamisessa esimerkiksi välipohjissa tai yläpohjissa. WQ-palkin käyttö liittopalkkina muodostaa rakenteesta matalarakenteisen, joka takaa käyttäjäystävällisemmän ulkonäön liittorakenteelle. Markkinoilla on heikosti tarjolla suunnittelutyökaluja WQ-palkin mitoittamiseen etenkin liittopalkkina. Monet yritykset kehittävät omia työkaluja ja laskureita omiin tarpeisiinsa. Excel-laskentapohjat ovat kovin yleisiä rakennesuunnittelussa, esimerkiksi SKOL ry on laatinut monia eurokoodien mukaista laskentapohjaa juuri Excel-pohjaisina.

Opinnäytetyön tavoitteena on laatia ohjeiden ja määräysten pohjalta Excel-laskentapohja nopeuttamaan insinööritoimisto NQE Teollisuus Oy:n WQ-palkin sisältävien rakenteiden suunnittelua. Tavoitteena on tehdä laskentapohjasta helppokäyttöinen ja selkeä, jotta sitä voisi käyttää kaikki suunnittelijat kokemuksesta riippumatta.

Opinnäytetyön toimeksiantajana on insinööritoimisto NQE Teollisuus Oy. NQE Teollisuus on vuonna 2019 perustettu oululainen insinööritoimisto, jonka päätoimiala on betoni- ja teräsrakenteisten rakenteiden ja rakennusten rakennesuunnittelu.

1.2 Työn rajaukset

Liittorakenteen mitoituksessa on monta tarkasteltavaa ja mitoitettavaa asiaa. Jo pelkästään WQ-palkille tai laatastolle muodostuu paljon erilaisia rasituksia, jotka tulisi tarkistaa kestävyys takaa-miseksi. Näiden lisäksi molemmat tulisi vielä mitoittaa liittorakenteessa siitä aiheutuvien vaikutusten alaisina. Jotta tämä työ ei laajenisi todella suureksi ja laajaksi laskennaksi, rajattiin tarkasteltaviksi ainoastaan liittorakenteen määräävimmit mitoitukset. Tässä työssä mitoitukset tehdään normaalitilanteessa, palotilanteen tarkastelut on rajattu kokonaan pois.

Liittorakenteen kestävyden kannalta määrävin mitoitus tehdään WQ-palkille taipuman tarkasteluna. WQ-palkin taivutus-, leikkausmitoitus sekä palkin hitsien mitoitus jätetään tarkastamatta tässä työssä. Lisäksi työstä on rajattu pois reunapalkille kuuluvien laatastonsaumoisiin asennettävien vetotankojen ja palkin sisälle tulevien vääntölukkojen mitoittaminen.

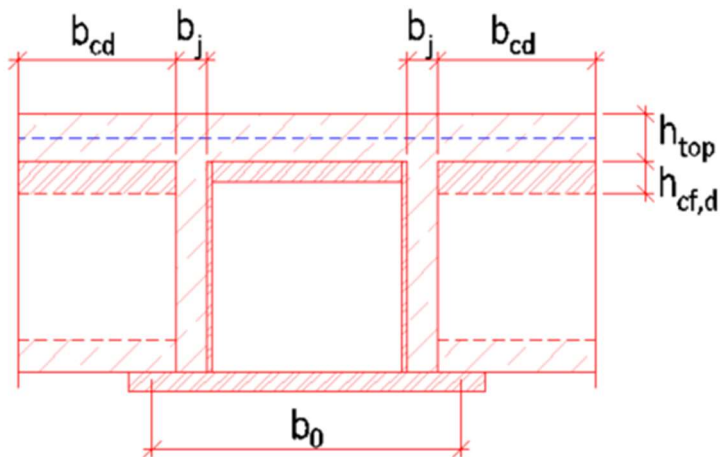
Tässä työssä liittorakenteen laatastot muodostuvat ontelolaatoista. Ontelolaatat on rajattu siten, että palkin molemmin puolin olevat laatat ovat samaa profiilia. Näin ollen palkin alalaippaan ei tarvitse mitoittaa korokepaloja. Ontelolaattojen kestävyden kannalta määrävin mitoitus tarkastelu tehdään leikkauskestävyydelle. Laatastonsaumarautoja, rengasteräksiä tai laattojen punoksia ei mitoiteta tässä työssä.

Työssä selostetaan miten liittorakenteessa toimivat WQ-palkki, sekä ontelolaatasto mitoitetaan määrävimpien kestävyksien varmistamiseksi. Työssä esitetään laskentapohjasta ja sen käytöstä esimerkkejä ja ohjeita. Varsinainen laskentapohja tulee yrityksen sisäiseen käyttöön.

2 LIITTORAKENNE

Liittorakenteella tarkoitetaan kantavaa rakenneosaa, jossa on betonista ja rakenneteräksestä valmistettuja komponentteja toisiinsa liitettyinä siten, että betonin ja teräksen välinen pitkittäinen liukuminen samoin kuin komponenttien irtoaminen toisistaan pysyy rajallisena (SFS-EN 1994-1-1 + AC 2016, 11). Tässä työssä tarkastellaan liittorakennetta, jossa on teräksinen WQ-palkki, palkkiin tukeutuvat ontelolaatat sekä laataston päälle valettava pintalaatta. Liittorakenteessa eri materiaalia olevista rakenneosista muodostuu yhtenäinen rakenne, jolle voidaan määrittää oma poikkileikkaus ja sen suuret.

Kuvassa 1 esitetään WQ-palkin, ontelolaattojen sekä pintalaatan yhteisen liittorakenteen poikkileikkaus. Liittorakenne toimii yhdessä, joten sille tulee määrittää omat poikkileikkaussuurensa. Liittorakenteen poikkileikkauksen taivutusjäykkyys voidaan laskea esimerkiksi Steinerin säännön mukaan tai muunneltua poikkileikkausta käyttämällä. Tässä työssä päädyttiin käyttämään Steinerin säännön mukaista laskentaa.



KUVA 1. Liittorakenteen poikkileikkauksen parametrit

Kuvassa 1 esitetyt muuttujat ovat

b_0 = Ontelolaattojen tukivoimien väli

b_{cd} = Ontelolaatan puristuslaipan mitoitusleveys

b_j = Ontelolaatan ja WQ-palkin välisen sauman leveys

h_{top} = Pintalaatan paksuus

$h_{cf,d}$ = Ontelolaatan puristuslaipan paksuus

2.1 Taivutusjäykkyys Steinerin säännön mukaan

Steinerin säännön avulla voidaan laskea rakenteen poikkileikkauksen taivutusjäykkyys. Säännön mukaan poikkileikkauksen jäyhyysmomentti on yhtä suuri, kuin saman poikkileikkauksen jäyhyysmomentti oman painopisteakselinsa suhteen, kun siihen lisätään poikkileikkauksen pinta-alan ja poikkileikkauksen painopisteen sekä akselin etäisyyden toisen potenssin tulo. Kaavassa 1 esitetään Steinerin säännön peruskaava.

KAAVA 1. Steinerin säännön peruskaava

$$I = I_0 + A * e^2$$

missä

I_0 = Osa-alueen jäyhyysmomentti oman painopisteensä suhteen

A = Osa-alueen pinta-ala

e = Osa-alueen painopisteen etäisyys poikkileikkauksen painopisteakselista

Sääntöä soveltamalla voidaan laskea liittorakenteen poikkileikkauksen taivutusjäykkyys. Peruskaavaa muokataan siten, että neliömomentti korvataan osan taivutusjäykkyydellä sekä pinta-ala aksiaalijäykkyydellä. Lasketaan taivutusjäykkyys liittopoikkileikkauksen alapinnan suhteen, jolloin käytetään akselin etäisyyden muuttujassa alaindeksiä "bot". Kun referenssiviivana käytetään alapintaa, voidaan helposti laskea taivutusjäykkyys ensimmäisessä ja toisessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa laatasto on asennettu ja saumattu, toisessa vaiheessa on pintarakenne valettu ja kovettunut, jolloin rakenne on valmiissa muodossaan.

2.2 Taivutusjäykkyys ensimmäisessä vaiheessa

Lasketaan ensiksi ensimmäisen vaiheen mukainen taivutusjäykkyys kaavalla 2, joka on sovellettu Steinerin säännön peruskaavasta. Tässä vaiheessa tarvitsee tietää poikkileikkauksessa vaikuttavan WQ-palkin, ontelolaataston sekä sen saumojen poikkileikkaussuureet. Käytetään muuttujien merkintöjen perässä vaihetunnistetta "1".

KAAVA 2. Liittorakenteen poikkileikkauksen taivutusjäykkyys ensimmäisessä vaiheessa

$$(EI)_{com,1} = (EI)_{bot,1} - (EA)_{com,1} * e_{com,1,bot}^2$$

missä

$(EI)_{bot,1}$ = Poikkileikkauksen taivutusjäykkyys alapinnan suhteen ensimmäisessä vaiheessa

$(EA)_{com,1}$ = Poikkileikkauksen aksiaalijäykkyys ensimmäisessä vaiheessa

$e_{com,bot,1}$ = Painopisteen etäisyys alapinnasta ensimmäisessä vaiheessa

Poikkileikkauksen osien yhdistetty taivutusjäykkyys alapinnan suhteen ensimmäisessä vaiheessa lasketaan kaavalla 3. Lasketaan jokaisen poikkileikkauksen osan oma taivutusjäykkyys oman painopisteensä suhteen, lisäksi lasketaan jokaisen osan aksiaalijäykkyys liittopoikkileikkauksen alapinnan suhteen ja summataan kaikki yhteen.

KAAVA 3. Liittopoikkileikkauksen yhdistetty taivutusjäykkyys poikkileikkauksen alapinnan suhteen ensimmäisessä vaiheessa

$$(EI)_{bot,1} = (EI)_1 + (EI)_2 + \dots + (EI)_n + (EA)_1 * e_{1,bot}^2 + (EA)_2 * e_{2,bot}^2 + \dots + (EA)_n * e_{n,bot}^2$$

missä

$(EI)_i$ = Liittopoikkileikkauksen yksittäisen osan oma taivutusjäykkyys oman painopisteen suhteen

$(EA)_i$ = Liittopoikkileikkauksen yksittäisen osan oma aksiaalijäykkyys

$e_{i,bot}$ = Liittopoikkileikkauksen yksittäisen osan painopisteen etäisyys liittopoikkileikkauksen alapinnasta

Poikkileikkauksen osien yhdistetty aksiaalijäykkyys alapinnan suhteen ensimmäisessä vaiheessa lasketaan kaavalla 4.

KAAVA 4. Liittopoikkileikkauksen yhdistetty aksiaalijäykkyys ensimmäisessä vaiheessa

$$(EA)_{com,1} = (EA)_1 + (EA)_2 + \dots + (EA)_n$$

missä

$(EA)_i$ = Liittopoikkileikkauksen yksittäisen osan aksiaalijäykkyys

Ensimmäisen vaiheen liittorakenteen poikkileikkauksen staattinen momentti poikkileikkauksen alapinnan suhteen lasketaan kaavalla 5.

KAAVA 5. Liittopoikkileikkauksen staattinen momentti poikkileikkauksen alapinnan suhteen ensimmäisessä vaiheessa

$$S_{bot,1} = (EA)_1 * e_{1,bot} + (EA)_2 * e_{2,bot} + \dots + (EA)_n * e_{n,bot}$$

missä

$(EA)_i$ = Liittopoikkileikkauksen yksittäisen osan aksiaalijäykkyys

$e_{i,bot}$ = Liittopoikkileikkauksen yksittäisen osan painopisteen etäisyys liittopoikkileikkauksen alapinnasta

Ensimmäisen vaiheen liittorakenteen poikkileikkauksen neutraaliakselin sijainti alapinnan suhteen lasketaan kaavalla 6.

KAAVA 6. Ensimmäisen vaiheen liittopoikkileikkauksen neutraaliakselin sijainnin etäisyys poikkileikkauksen alapinnasta

$$e_{com,1,bot} = \frac{S_{com,1}}{(EA)_{com,1}}$$

missä

$S_{com,1}$ = Liittopoikkileikkauksen staattinen momentti poikkileikkauksen alapinnan suhteen ensimmäisessä vaiheessa

$(EA)_{com,1}$ = Liittopoikkileikkauksen yhdistetty aksiaalijäykkyys ensimmäisessä vaiheessa

2.3 Taivutusjäykkyys toisessa vaiheessa

Toisessa vaiheessa ensimmäisen vaiheen rakenteen lisäksi laataston päälle on valettu pintarakenne ja se on kovettunut. Tässä vaiheessa rakenne on viimeisessä ja valmiissa muodossaan. Käytetään muuttujien merkintöjen perässä vaihetunnistetta "2". Liittopoikkileikkauksen taivutusjäykkyys toisessa vaiheessa lasketaan kaavalla 7.

KAAVA 7. Liittorakenteen poikkileikkauksen taivutusjäykkyys toisessa vaiheessa

$$(EI)_{com,2} = (EI)_{bot,2} - (EA)_{com,2} * e_{com,bot}^2$$

missä

$(EI)_{com,2}$ = Poikkileikkauksen yhdistetty taivutusjäykkyys toisessa vaiheessa

$(EI)_{bot,2}$ = Poikkileikkauksen taivutusjäykkyys alapinnan suhteen toisessa vaiheessa

$(EA)_{com,2}$ = Poikkileikkauksen aksiaalijäykkyys toisessa vaiheessa

$e_{com,bot,2}$ = Painopisteen etäisyys alapinnasta toisessa vaiheessa

Poikkileikkauksen taivutusjäykkyys laskentaan toisessa vaiheessa tarvitaan pintalaatasta laatan poikkileikkaussuureet, paksuudet palkin sekä molempien ontelolaattojen päällä. Mikäli pintalaatta on eri paksuinen palkin sekä siihen tukeutuvien laatastojen päällä, lasketaan jokaiselle pintalaatan osalle omat poikkileikkaussuureet. Yhdistetty taivutusjäykkyys toisessa vaiheessa lasketaan lisäämällä ensimmäisen vaiheen yhdistettyyn taivutusjäykkyyteen pintalaatan osien taivutusjäykkyydet oman painopisteen suhteen sekä pintalaatan osien aksiaalijäykkyyksien ja painopisteen etäisyyksien poikkileikkauksen alapinnan suhteen tulot. Yhdistetty taivutusjäykkyys toisessa vaiheessa lasketaan kaavalla 8.

Pintalaatan osien tunnuksena käytetään alaindeksiä t_c , palkin päällä olevalle pintabetonin osalle ei käytetä eroavaa alaindeksiä. Alaindeksin tunniste v tarkoittaa palkin vasemmanpuoleisen laataston päällistä pintalaatan poikkileikkausta, alaindeksin tunniste o taas tarkoittaa vastaavasti oikeanpuoleisen laataston päällistä pintalaatan poikkileikkausta.

KAAVA 8. Liittopoikkileikkauksen yhdistetty taivutusjäykkyys poikkileikkauksen alapinnan suhteen toisessa vaiheessa

$$(EI)_{bot,2} = (EI)_{bot,1} + (EI)_{tc,v} + (EI)_{tc,o} + (EI)_{tc} + (EA)_{tc,v} * e_{tc,v}^2 + (EA)_{tc,o} * e_{tc,o}^2 + (EA)_{tc} * e_{tc}^2$$

missä

$(EI)_{bot,1}$ = Poikkileikkauksen taivutusjäykkyys alapinnan suhteen ensimmäisessä vaiheessa

$(EI)_{tc,v}$ = Vasemmanpuoleisen pintalaatan taivutusjäykkyys oman painopisteensä suhteen

$(EI)_{tc,o}$ = Oikeanpuoleisen pintalaatan taivutusjäykkyys oman painopisteensä suhteen

$(EI)_{tc}$ = Palkin päällä olevan pintalaatan taivutusjäykkyys oman painopisteensä suhteen

$(EA)_{tc,v}$ = Vasemmanpuoleisen pintalaatan aksiaalijäykkyys

$(EA)_{tc,o}$ = Oikeanpuoleisen pintalaatan aksiaalijäykkyys

$(EA)_{tc}$ = Palkin päällä olevan pintalaatan aksiaalijäykkyys

$e_{tc,v}$ = Vasemmanpuoleisen pintalaatan painopisteen etäisyys poikkileikkauksen alapinnasta

$e_{tc,o}$ = Oikeanpuoleisen pintalaatan painopisteen etäisyys poikkileikkauksen alapinnasta

e_{tc} = Palkin päällä olevan pintalaatan painopisteen etäisyys poikkileikkauksen alapinnasta

Poikkileikkauksen yhdistetty aksiaalijäykkyys saadaan lisäämällä ensimmäisen vaiheen yhdistetty aksiaalijäykkyyteen pintabetonin osien omat aksiaalijäykkyydet omien painopisteiden suhteen. Yhdistetty aksiaalijäykkyys toisessa vaiheessa lasketaan kaavalla 9.

KAAVA 9. Liittopoikkileikkauksen yhdistetty aksiaalijäykkyys toisessa vaiheessa

$$(EA)_{com,2} = (EA)_{com,1} + (EA)_{tc,v} + (EA)_{tc,o} + (EA)_{tc}$$

missä

$(EA)_{com,1}$ = Liittopoikkileikkauksen yhdistetty taivutusjäykkyys ensimmäisessä vaiheessa

$(EA)_{tc,v}$ = Vasemmanpuoleisen pintalaatan taivutusjäykkyys oman painopisteen suhteen

$(EA)_{tc,o}$ = Oikeanpuoleisen pintalaatan taivutusjäykkyys oman painopisteen suhteen

$(EA)_{tc}$ = Palkin päällä olevan pintalaatan taivutusjäykkyys oman painopisteen suhteen

Toisen vaiheen liittorakenteen poikkileikkauksen staattinen momentti poikkileikkauksen alapinnan suhteen voidaan laskea kaavalla 10.

KAAVA 10. Liittopoikkileikkauksen staattinen momentti poikkileikkauksen alapinnan suhteen toisessa vaiheessa

$$S_{bot,2} = S_{bot,1} + ((EA)_{tc,v} + (EA)_{tc,o} + (EA)_{tc}) * e_{tc,bot}$$

missä

$S_{bot,1}$ = Liittopoikkileikkauksen staattinen momentti alapinnan suhteen ensimmäisessä vaiheessa

$(EA)_{tc,v}$ = Vasemmanpuoleisen pintalaatan taivutusjäykkyys oman painopisteen suhteen

$(EA)_{tc,o}$ = Oikeanpuoleisen pintalaatan taivutusjäykkyys oman painopisteen suhteen

$(EA)_{tc}$ = Palkin päällä olevan pintalaatan taivutusjäykkyys oman painopisteen suhteen

$e_{tc,bot}$ = Pintalaatan painopisteen etäisyys poikkileikkauksen alapinnasta

Toisen vaiheen liittorakenteen poikkileikkauksen neutraaliakselin sijainti alapinnan suhteen voidaan laskea kaavalla 11.

KAAVA 11. Toisen vaiheen liittopoikkileikkauksen neutraaliakselin sijainnin etäisyys poikkileikkauksen alapinnasta

$$e_{com,2,bot} = \frac{S_{com,2}}{(EA)_{com,2}}$$

missä

$S_{com,2}$ = Liittopoikkileikkauksen staattinen momentti poikkileikkauksen alapinnan suhteen toisessa vaiheessa

$(EA)_{com,2}$ = Liittopoikkileikkauksen yhdistetty aksiaalijäykkyys toisessa vaiheessa

3 WQ-PALKKI

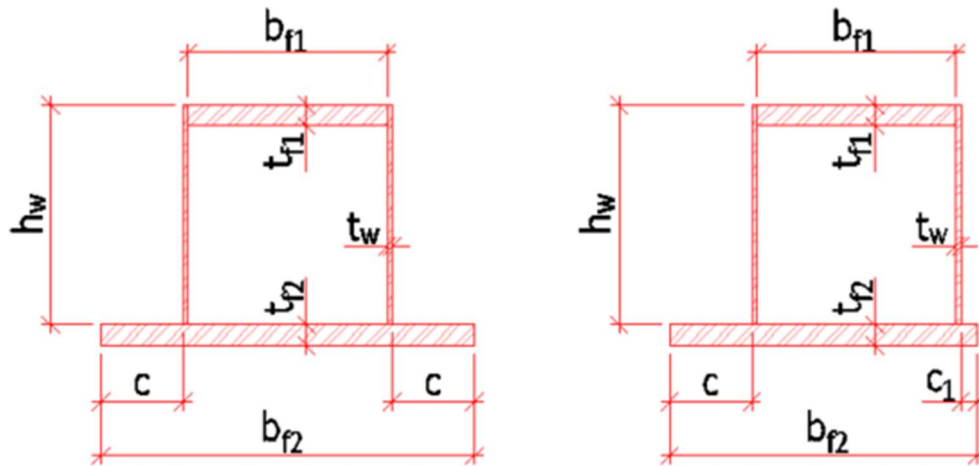
WQ-palkki on nopeasti asennettava vääntöjäykkä kotelopalkki, jota käytetään väli- ja yläpohjissa ontelolaattojen ja kuorilaattojen kanssa. WQ-palkki valmistetaan konepajalla hitsaamalla uuma- ja laippalevyt yhteen. (Rautaruukki Oyj 2009, 2.) Palkin leveä alalaippa kannattaa ontelolaattoja tai kuorilaattoja. WQ-palkkeja voidaan käyttää laataston keskellä keskipalkkeina, sekä reunoilla reunapalkkeina. (Ongelin & Valkonen 2010, 11.)

WQ-palkin korkeus valitaan yleensä ontelolaatan korkeuden mukaan. Palkin ylälaipan leveys on yleensä 190, 240, 290 tai 340 mm. Palkin muut mitat määräytyvät siihen tukeutuvien ontelolaattojen sekä palkin ja osien kestävyyksien mukaan. (Rautaruukki Oyj 2009, 3.)

3.1 WQ-palkin parametrit

WQ-palkki koostuu yhteen hitsattavista teräslevyistä. Palkin profiilissa on neljä erillistä levyosaa, ala- ja ylälaippa, sekä kaksi uumaa. Kuvassa 2 esitetään palkin profiilin parametrit. WQ-palkin profiilin tunnus muodostuu sen teräslevyjen mukaan. Keskipalkilla profiilin tunnus muodostuu seuraavasti: $WQh_w-t_w-t_{f1}Xb_{f1}-t_{f2}Xb_{f2}$, esimerkiksi WQ320-5-15X240-15X450. Reunapalkilla profiilin tunnus muodostuu seuraavasti: $WQh_w-t_w-t_{f1}Xb_{f1}-t_{f2}Xb_{f2}/c_1$, esimerkiksi WQ320X5-15X240-15X350/20. (Ongelin & Valkonen 2010, 12).

Palkin laipat ja uumat mitoitetaan kuormitusten mukaan, mutta alalaipan ulokkeen minimileveys c määräytyy ontelolaatan vähimmäistukipituuden ja haluttavan saumavalun paksuuden mukaan. Reunapalkin kuormittamattoman ulokkeen leveys c_1 on yleensä suositusarvo 20 mm, jotta uuman vaadittava hitsin mahtuu tekemään myös laipan ulokkeen puolelle. Palkin uumien korkeus valitaan yleensä kannateltavan ontelolaatan korkeuden mukaan, esim. O32-ontelolaatalle uumakorkeus olisi 320 mm. (Rautaruukki Oyj 2009, 3.)



KUVA 2. Palkin parametrit ja niiden merkinnät

Kuvassa 2 esitetyt muuttujat ovat

b_{f1} = WQ-palkin ylälaipan leveys

t_{f1} = WQ-palkin ylälaipan paksuus

b_{f2} = WQ-palkin alalaipan leveys

t_{f2} = WQ-palkin alalaipan paksuus

h_w = WQ-palkin uuman korkeus

t_w = WQ-palkin uuman paksuus

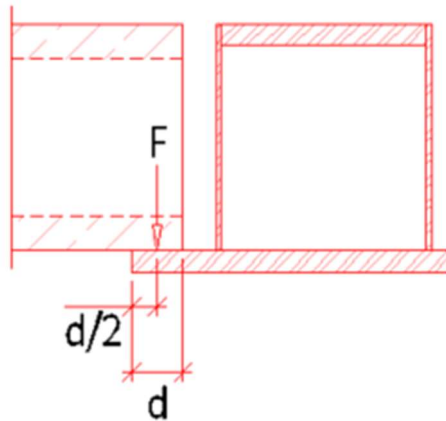
c = WQ-palkin alalaipan ulokkeen leveys

c_1 = WQ-reunapalkin kuormittamattoman ulokkeen leveys

3.2 Ontelolaatan tukivoiman sijainti palkin alalaipalla

Palkkiin tukeutuva laatasto tukeutuu palkin alalaipan ulokkeen päälle. Ontelolaatan tukivoima sijoittuu WQ-palkin alalaipalla ontelolaatan tukipinnan keskipisteeseen. (Teräsnormikortti 21/2009, 7.) Ontelolaatan tarvittava vähimmäistukipinta on määrätty ontelolaatan koon mukaan. Tiedot löytyvät esimerkiksi Elementtisuunnittelu.fi-sivustolta. Ontelolaatan määrättyyn vähimmäistukipintaan

on suositeltavaa lisätä 20 mm tilanteessa, jossa laatat tukeutuvat taipuisalle tuelle. (Elementtisuunnittelu.fi.) Kuvassa 3 esitetään ontelolaatan tukivoiman sijainti palkin alalaipalla.



KUVA 3. Ontelolaatan tukivoiman sijainti palkin alalaipalla

Kuvassa 3 esitetyt muuttujat ovat

F = Ontelolaatan tukivoima

d = Ontelolaatan tukipinta

3.3 WQ-palkin poikkileikkausluokka

Poikkileikkausluokan tarkoitus on tunnistaa, missä laajuudessa poikkileikkausten paikallinen lomahdus rajoittaa poikkileikkausten kestävyyttä ja kiertymiskykyä. Poikkileikkausluokat määräytyvät neljään eri luokkaan PL1-PL4. Poikkileikkauksen eri puristetut osat, kuten uuma ja laippa, voivat kuulua eri poikkileikkausluokkiin. (SFS-EN 1993-1-1 2005, 42.)

WQ-palkin profiilin poikkileikkausluokan määrittämistä varten tulee selvittää jokaiselle palkin osalle omat poikkileikkaukset. Profiilin poikkileikkausluokka määräytyy hoikimman osan mukaan koko palkille, eli osien suurimman poikkileikkausluokan mukaan. Poikkileikkausluokasta käytetään lyhennettä PL, esimerkiksi Poikkileikkausluokka 1 on PL1. (Teräsnormikortti 21/2009, 8.)

WQ-palkin laipat ja uuma ovat yleensä niin paksuja teräslevyjä, että palkki kuuluu poikkileikkausluokkaan 1 tai 2. Palkin poikkileikkaus voi olla kuitenkin hyvin epäsymmetrinen. Esimerkiksi alalaidan poikkipinta-ala voi olla niin suuri, että palkin poikkileikkauksen plastinen neutraaliakseli sijaitsee alalaidassa. Tässä tapauksessa palkin uumat voivat olla täysin puristettuja, jolloin ne voivat kuulua poikkileikkausluokkaan 3 tai jopa 4. (Teräsnormikortti 21/2009, 8.)

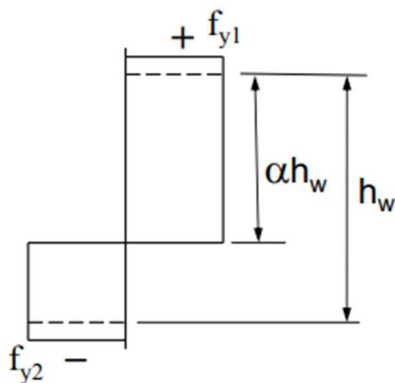
Palkin osien poikkileikkausluokan laskemista varten tarvitsee laskea vertailuarvo ε , vertailuarvo saadaan kaavasta 12 (Teräsnormikortti 21/2009, 9).

KAAVA 12. Vertailuarvo ε

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{y1}}}$$

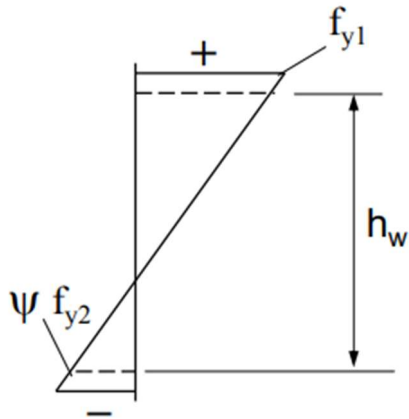
f_{y1} = Teräsosan myötölujuus

Uumien poikkileikkausluokan määrittämistä varten tarvitsee määrittää puristetun uuman suhteellinen osuus (kuva 4).



KUVA 4. Puristetun uuman suhteellinen osuus αh_w koko uuman korkeudesta h_w (Teräsnormikortti 21/2009, 9)

Lisäksi uumien poikkileikkausluokan määrittämistä varten tarvitsee tietää levyn reunajännitysuhde. Reunajännitysuhde on palkin ylä- ja alareunan jännitysten suhde (Teräsnormikortti 21/2009, 9–10). Kuvassa 5 esitetään esimerkki osan jännitys jakauman piirroksesta.



KUVA 5. Osan jännitysjauma (Teräsnormikortti 21/2009, 10)

3.3.1 WQ-palkin ylälaippa

Palkin ylälaippa kuuluu kyseiseen poikkileikkausluokkaan, jos se täyttää kyseisen ehdon (Teräsnormikortti 21/2009, 9):

Poikkileikkausluokka 1: $b_{f1}/t_{f1} \leq 33\varepsilon$

Poikkileikkausluokka 2: $b_{f1}/t_{f1} \leq 38\varepsilon$

Poikkileikkausluokka 3: $b_{f1}/t_{f1} \leq 42\varepsilon$

b_{f1} = Palkin ylälaipan leveys

t_{f1} = Palkin ylälaipan paksuus

ε = Vertailuarvo kaavan 12 mukaan

3.3.2 WQ-Palkin uuma

Palkin uumat kuuluvat kyseiseen poikkileikkausluokkaan, jos se täyttää kyseisen ehdon (Teräsnormikortti 21/2009, 9–10):

Poikkileikkausluokka 1: $kun \alpha > 0,5: h_w / t_w \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha-1}$

$$\text{kun } \alpha \leq 0,5: h_w / t_w \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$$

Poikkileikkausluokka 2: $\text{kun } \alpha > 0,5: h_w / t_w \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha-1}$

$$\text{kun } \alpha \leq 0,5: h_w / t_w \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$$

Poikkileikkausluokka 3: $\text{kun } \psi > -1: h_w / t_w \leq \frac{42\varepsilon}{0,67+0,33\psi}$

$$\text{kun } \psi \leq -1: h_w / t_w \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$$

missä

h_w = Palkin uuman korkeus

t_w = Palkin uuman paksuus

ε = Vertailuarvo kaavan 12 mukaan

α = Puristetun uuman suhteellinen osuus koko uuman korkeudesta

ψ = Levyn reunajännityssuhde

3.3.3 WQ-palkin alalaippa

Palkin alalaipan poikkileikkausluokka lasketaan eri tavalla riippuen siitä, onko kyseessä keski- vai reunapalkki. Palkin alalaippa kuuluu kyseiseen poikkileikkausluokkaan, mikäli se täyttää kyseisen ehdon: (Teräsnormikortti 21/2009, 10.)

Poikkileikkausluokka 1: $(b_{f2} - b_{f1}) / 2t_{f2} \leq 9\varepsilon$ (Keskipalkki)

$$(b_{f2} - b_{f1}) / t_{f2} \leq 9\varepsilon \quad (\text{Reunapalkki})$$

Poikkileikkausluokka 2: $(b_{f2} - b_{f1}) / 2t_{f2} \leq 10\varepsilon$ (Keskipalkki)

$$(b_{f2} - b_{f1}) / t_{f2} \leq 10\varepsilon \quad (\text{Reunapalkki})$$

Poikkileikkausluokka 3: $(b_{f2} - b_{f1}) / 2t_{f2} \leq 14\varepsilon$ (Keskipalkki)

$(b_{f2} - b_{f1}) / t_{f2} \leq 14\varepsilon$ (Reunapalkki)

missä

b_{f1} = Palkin ylälaipan leveys

b_{f2} = Palkin alalaipan leveys

t_{f2} = Palkin alalaipan paksuus

ε = Vertailuarvo kaavan 12 mukaan

4 PALKIN MITOITUS

WQ-palkin mitoitus murtorajatilassa perustuu palkin tarkasteluun teräsrakenteena. WQ-palkin ja ontelolaattojen välille syntyy yhteisvaikutusta. Tällä yhteisvaikutuksella ei ole vaikutusta WQ-palkin kestävyysvaikutukseen. WQ-palkin käyttörajatilan taipumaa laskettaessa voidaan ottaa huomioon palkin, ontelolaattojen sekä pintalaatan välinen yhteisvaikutus. (Teräsnormikortti 21/2009, 22.)

Tämän työn rajoitusten seurauksena palkki mitoitetaan ainoastaan taipumalle tämän ollessa sen määräävin mitoitusvaikutus. Liittorakenteissa teräspalkin taipumaa laskettaessa lasketaan yhteen kaikkien rakennusvaiheiden aiheuttamat taipumat. Selkeyden merkeissä taipuma kannattaa laskea erikseen jokaisen vaiheen kuormituksille sekä hyötykuormalle.

Palkin taipuman tulee pysyä määrättyjen raja-arvojen sisällä, jottei palkin liiallisesta taipumasta aiheudu suuria vääntörasituksia siihen tukeutuville laatastoille. Palkin taipumarajat riippuvat siitä, minkälaisessa rakenteessa palkki sijaitsee, esimerkiksi välipohjissa taipumarajat ovat tiukemmat kuin vesikatolla. WQ-palkin taipumarajat eri rakenteille on määrätty teräsnormikortissa 21. (Teräsnormikortti 21/2009, 6,22.) Taulukossa 1 on esitetty kyseisen normikortin mukaiset raja-arvot eri rakenteille.

TAULUKKO 1. Taipumien ja siirtymien raja-arvot (Teräsnormikortti 21/2009, 22)

$w_{max} = w_1 + w_2 + w_3$ Suositeltavat taipumarajat	w_{max}	$w_2 + w_3$
Katot	L/200	L/250
Välipohjat yleensä	L/250	L/300
Välipohjat, jotka kannattavat pilareita tai helposti halkeilevia seiniä kantavat rakenteet seinien asennuksen jälkeen	L/400	L/500

Taulukossa 1 esitetyt muuttujat ovat

w_{max} = Kokonaistaipuma

w_1 = Taipuma pysyvistä kuormista heti kuorman vaikutuksen alkamisen jälkeen

w_2 = Pitkäaikaistaipuma pysyvistä kuormista

w_3 = Taipuma muuttuvista kuormista

L = Palkin jänneväli

Tasaisesti kuormitetun yksiaukkoisen palkin taipuma lasketaan kaavalla 13.

KAAVA 13. Tasaisesti kuormitetun yksiaukkoisen palkin taipuma

$$w_i = \frac{5}{384} * \frac{P_{d,k} * L^4}{EI_s}$$

missä

$P_{d,k}$ = Palkille kohdistuva kuormitus

L = Palkin jänneväli

EI_s = Palkin taivutusjäykkyys

Kaavalla 14 lasketaan palkin taipuma molemmissa rakennusvaiheissa. Molempien rakennusvaiheiden aikaisten kuormien taipumaa laskettaessa tulee käyttää sen vaiheen yhdistettyä poikkileikkausta.

KAAVA 14. Palkin taipuma liittorakenteessa ensimmäisessä ja toisessa rakennusvaiheessa

$$w_i = \frac{5}{384} * \frac{P_{d,k} * L^4}{(EI)_{com,i}}$$

missä

$P_{d,k}$ = Palkille kohdistuva kuormitus

L = Palkin jänneväli

$(EI)_{com,i}$ = Poikkileikkauksen yhdistetty taivutusjäykkyys kyseisessä rakennusvaiheessa

Hyötykuorman aiheuttamaa taipumaa mitoittaessa tulee ottaa huomioon, että hyötykuormaa laskettaessa ontelolaatan puristuslaipan mitoitusleveys on eri kuin normaalitilanteessa. Kyseinen mitoitusleveys lasketaan kaavalla 15.

KAAVA 15. Ontelolaatan puristuslaipan mitoitusleveys hyötykuormaa vastaan

$$b_{cd,q} = 0,083 * b_{cd}$$

missä

b_{cd} = Ontelolaatan puristuslaipan mitoitusleveys murtorajatilassa

Tästä puristuslaipan mitoitusleveydestä johtuvan eron takia käyttörajan taipuman mitoitusta varten tulee määrittää uusi taivutusjäykkyys liittorakenteen poikkileikkaukselle. Tämän määrittäminen tapahtuu kuten normaalin liittorakenteen poikkileikkauksen määrittäminen, ainoastaan ontelolaatan puristuslaipan mitoitusleveys on eri. Kaavalla 16 lasketaan palkin taipuma hyötykuormalle.

KAAVA 16. Palkin taipuma hyötykuormalle

$$w_3 = \frac{5}{384} * \frac{P_{d,k} * L^4}{EI_q} * 0,7$$

missä

$P_{d,k}$ = Palkille kohdistuva kuormitus

L = Palkin jänneväli

EI_q = Poikkileikkauksen taivutusjäykkyys hyötykuormaa vastaan

5 ONTELOLAATAN LEIKKAUSKESTÄVYYDEN PARANTAMINEN

Palkin ja laatan yhteistoiminta aiheuttaa palkin ja laatan päiden muodostaman liittorakenteen de-
formoitua laattojen päihin rasiutusta, joiden vaikutuksesta palkin leikkausvoiman maksimin alu-
eilla olevien laattojen leikkauskestävyys pienenee niin paljon, että ilmiöstä muodostuu määräävä
näiden laattojen murtuessa ensimmäisinä (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 2). Ontelolaattaa mi-
toitettaessa siis useimmiten mitoittavaksi tekijäksi ilmenee ontelolaatan pään leikkauskestävyys.
Ontelolaatan pään poikittainen leikkausvoima on suurimmillaan palkin tuen lähellä, ja on riippuvai-
nen palkin leikkausvoimapinnasta (Teräsnormikortti 21/2009, 6).

Taipuisalle tuelle asennetun ontelolaatan leikkauskestävyyttä voidaan parantaa monella tavalla,
kuten esimerkiksi pään onteloiden lisätäytöillä tai pintalaatan raudoittamisella. Lisäksi pintalaatan
ja palkin välille voidaan asentaa leikkausvaarnoja, jotka parantavat liittorakenteen leikkausliitoksen
leikkauskestävyyttä. (Teräsnormikortti 21/2009, 6–7.) Palkin leikkausvaarnat käsitellään myöhem-
min luvussa 5.3, sillä ne mitoitetaan erikseen eivätkä ne vaikuta liittorakenteen mitoitukseen muu-
ten. Leikkauskestävyyttä parantavia rakenneratkaisuja voidaan käyttää samaan aikaan toistensa
kanssa.

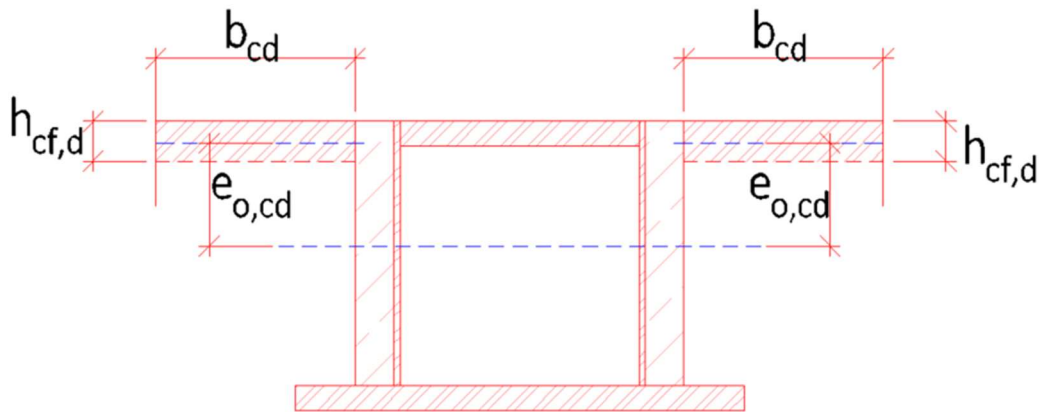
5.1 Leikkaus- ja yksikköleikkausvuo

Leikkausvuo on jatkuvan liitoksen vaakasuora leikkausvoima rakenteen pituusyksiköllä (Betoninor-
mikortti N:o 18EC 2012, 3). Leikkausliitoksen leikkausvuon laskemista varten tarvitsee määrittää
rakenteen palkin kuormitukset, rakenteen yksikköleikkausvuo, sekä mahdolliset leikkausvoiman
pienennyskertoimet.

Yksikköleikkausvuo tarkoittaa yksikön suuruisesta liittopalkin leikkausvoimasta aiheutuvaa leik-
kausvuota täyden yhteistoiminnan teorian mukaan laskettuna. (Betoninormikortti N:o 18EC 2012,
3). Yksikköleikkausvuo tulee määrittää ensiksi, jotta leikkausvuo voidaan määrittää. Sekä leikkaus-
että yksikköleikkausvuo tulee molemmat määrittää molemmissa rakennusvaiheissa erikseen.

5.1.1 Yksikköleikkausvuon määrittäminen

Yksikköleikkausvuon määrittämistä varten tarvitaan liittorakenteen ontelolaattojen puristuslaippojen aksiaalijäykkyys, niiden painopisteiden etäisyys liittorakenteen poikkileikkauksen painopisteakselista sekä lisäksi liittorakenteen poikkileikkauksen taivutusjäykkyys. Liittorakenteen puristuslaippa on liittorakenteen ontelolaatan yläkannas, josta käytetään mitoitusleveytenä mitta b_{cd} ja mitoituspaksuutena $h_{cf,d}$ (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 23). Yksikköleikkausvuo lasketaan palkin molemmille puolille, mikäli palkki on keskipalkki, mutta reunapalkilla vain laataston puolelle. Yksikköleikkausvuon yksikkö on 1/m. Kuvassa 6 esitetään liittorakenteen puristuslaippojen geometria sekä niiden etäisyys neutraaliakselista.



KUVA 6. Liittopoikkileikkauksen puristuslaippojen geometria

Kuvassa 6 olevat muuttujat ovat

$h_{cf,d}$ = Liittopoikkileikkauksen puristuslaipan mitoituspaksuus

b_{cd} = Liittopoikkileikkauksen puristuslaipan mitoitusleveys

$e_{o,cd}$ = Liittopoikkileikkauksen puristuslaipan painopisteen etäisyys liittopoikkileikkauksen painopisteakselista

Liittorakenteen poikkileikkauksen puristuslaipan mitoitusleveys lasketaan kaavalla 17.

KAAVA 17. Liittopoikkileikkauksen puristuslaipan mitoitusleveys

$$b_{cd} = k_{cd} * L_0$$

missä

k_{cd} = Puristuslaipan mitoitusleveyden kerroin, joka on vakio ja määräytyy liittorakenteen ontelolaatan sekä liittopalkin mukaan (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 23)

L_0 = Palkin momenttipinnan nollakohtien väli

Liittorakenteen poikkileikkauksen puristuslaipan mitoituspaksuus lasketaan kaavalla 18.

KAAVA 18. Liittopoikkileikkauksen puristuslaipan mitoituspaksuus

$$h_{cf,d} = h_{cf,nom} + \frac{h_{hc}}{80}$$

missä

$h_{cf,nom}$ = Ontelolaatan yläkannaksen nimellispaksuus

h_{hc} = Ontelolaatan korkeus

Liittopoikkileikkauksen puristuslaipan painopisteen etäisyys liittopoikkileikkauksen painopisteakselista lasketaan kaavalla 19.

KAAVA 19. Liittopoikkileikkauksen puristuslaipan painopisteen etäisyys liittopoikkileikkauksen painopisteakselista

$$e_{o,cd,i} = e_{com,i,top} - \frac{h_{cf,d}}{2}$$

missä

$e_{com,i,top}$ = Liittopoikkileikkauksen painopisteakselin etäisyys palkin yläpinnasta kyseisessä rakennusvaiheessa

$h_{cf,d}$ = Liittorakenteen ontelolaatan yläkuoren mitoituspaksuus

Yksikköleikkausvuoto saadaan laskettua molempiin rakennusvaiheisiin samalla kaavalla, käytetään vain kyseisen rakennusvaiheen arvoja. Yksikköleikkausvuoto haluttuun rakennusvaiheeseen lasketaan kaavalla 20.

KAAVA 20. Yksikköleikkausvuon laskukaava

$$v_{li}^1 = e_{o,cd,i} * \frac{(EA)_{cd,i}}{(EI)_{com,i}}$$

missä

$(EI)_{com,i}$ = Poikkileikkauksen yhdistetty taivutusjäykkyys

$(EA)_{cd,i}$ = Liittopoikkileikkauksen puristuslaippojen aksiaalijäykkyys

$e_{o,cd,i}$ = Liittopoikkileikkauksen puristuslaippojen painopisteiden etäisyys liittopoikkileikkauksen painopisteakseleista

i = Rakennusvaihe 1 tai 2

5.1.2 Leikkausvuon määrittäminen

Leikkausvuota määritettäessä tulee ottaa huomioon kaikki kuormitukset ja kuormat, jotka rasittavat liittorakennetta liittovaikutuksen syntymisen jälkeen. Näitä kuormia ovat esimerkiksi kuorirakenne, hyötykuormat sekä mahdolliset väliaikaiset tuennat. (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 10–11.) Väli- tai asennusaikaisia tukia saatetaan käyttää tilanteessa, jossa palkille asennetaan vain toispuoleisesti ontelolaatat. Leikkausvuon yksikkö on suuruusluokkansa takia selkein esittää muodossa N/mm.

Ennen leikkausvuon määrittämistä, tulee määrittää molempien rakennusvaiheiden aikaiset leikkausvoimat palkille. Ensimmäisen rakennusvaiheen aikainen leikkausvoima palkille saadaan kaavasta 21 sekä toisen rakennusvaiheen aikainen leikkausvoima palkille saadaan kaavasta 22.

KAAVA 21. Palkin leikkausvoima ensimmäisen rakennusvaiheen aikana

$$V_{B,1,Ed} = \gamma_g * (V_{B,top} + \alpha_F * V_{B,Rprop} + \sum V_{B,1,imp})$$

missä

$V_{B,top}$ = Pintabetonista aiheutuva palkin leikkausvoiman ominaisarvo

α_F = Kerroin väliaikaisille tuille. Arvo on 1 kun väliaikaiset tuet poistetaan ennen pintavalua, ja 0 kun väliaikaiset tuet poistetaan pintavalun kovettumisen jälkeen

$V_{B,Rprop}$ = Mahdollisten väliaikaisten tukien reaktioita vastaavasta kuormituksesta aiheutuva palkin leikkausvoiman ominaisarvo

$V_{B,1,imp}$ = Ensimmäisen vaiheen aikana syntyvistä laattojen erilliskuormista, sekä palkille suoraan olevista kuormista aiheutuva palkin leikkausvoiman ominaisarvo

KAAVA 22. Palkin leikkausvoima toisen rakennusvaiheen aikana

$$V_{B,2,Ed} = \gamma_g * (1 - \alpha_F) * V_{B,Rprop} + \sum \gamma_f * V_{B,2,imp} + \gamma_q * V_{B,q}$$

missä

$V_{B,2,imp}$ = Toisen vaiheen aikana syntyvistä laattojen erilliskuormista, sekä palkille suoraan olevista kuormista aiheutuva palkin leikkausvoiman ominaisarvo

$V_{B,q}$ = Laataston hyötykuormasta aiheutuva palkin leikkausvoiman ominaisarvo

γ_f = Kuorman $V_{B,2,imp}$ mukaan määräytyvä kerroin, joko γ_g tai γ_q

Leikkausvuon mitoitusarvo saadaan kaavasta 23.

KAAVA 23. Leikkausvuon mitoitusarvo

$$v_{tw} = \beta_b * (v_{l1}^1 * V_{B,1,Ed} + \beta_t * v_{l2}^1 * V_{B,2,Ed})$$

missä

β_b = Pienennyskerroin kohdan 5.2.3 mukaan

v_{l1}^1 = Ensimmäisen vaiheen yksikköleikkausvuo

β_t = Pienennyskerroin kohdan 5.2.2 mukaan

v_{12}^1 = Toisen vaiheen yksikköleikkausvuo

5.2 Leikkauskestävyyden pienennyskertoimet β_f , β_t ja β_b

5.2.1 Onteloiden lisätäytön pienennyskerroin β_f

Ontelotäytön peruspituus on 50 mm, joten sitä ei katsota lisätäytöksi vaan kaikki sitä suuremmat täytöt ovat lisätäyttöjä. Lisätäyttöjen pituutena voi käyttää esimerkiksi ontelon korkeuden mittaa. Leikkausjännityksen maksimipienennys saadaan, kun käytetään lisätäytön pituutena laatan ontelon korkeutta. (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 11.) Tässä työssä ei käsitellä ontelon lisätäytön tehollista pituutta suurempana kuin ontelon korkeuden verran.

Lisätäyttöjä käytettäessä laatan leikkausjännitystä kerrotaan sitä pienentävällä pienennyskerroimella. Mikäli onteloissa käytetään pelkästään perustäyttöä, on silloin pienennyskerroimen β_f arvo 0. Kun käytetään lisätäytön pituutena ontelon korkeutta, on silloin pienennyskerroimen β_f arvo 0,7. (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 8–9, 11.)

$\beta_f = 0$, mikäli $l_f = 50$ mm

$\beta_f = 0,7$, mikäli $l_f > 50$ mm

5.2.2 Pintabetonin vaikutus laatan kestävyteen, pienennyskerroin β_t

Mikäli liittorakenteeseen valetaan betonista ontelolaataston päälle pintalaatta, se lisää palkille aiheutuvaa leikkausvuota tehollisen laatan yläkuoren paksuuden kasvaessa. Palkkia rasittavasta leikkausvuosta aiheutuu ontelolaatan uumaan leikkausjännitystä, joka kasvaa lisääntyneen leikkausvuon päästessä välittymään suoraan laatan uumaan. Pintalaatta voidaan raudoittamaa jatkuvalla raudoituksella palkin yli, jolloin laatan raudoitus välittää osan leikkausvuosta palkin yläosaan ja laatan uumalle välittyvä leikkausvuo pienenee pienennyskerroimella β_t . Pienennyskerroin on pintalaatan raudoitussuhde. (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 12.)

Pienennyskerrointa varten tarvitsee määrittää ontelolaatan yksittäisen uumakannaksen nimellinen leikkauskestävyys, uumakannaksen suoran osan ulkopuolelle jäävä pinta-ala, sekä pintabetonin leikkauskestävyys $F_{tc,l,Rk}$.

Uumakannaksen suoran osan ulkopuolelle jäävä pinta-ala lasketaan kaavalla 24.

KAAVA 24. Uumakannaksen suoran osan ulkopuolelle jäävä pinta-ala

$$A_{vl} = (h_{hc} - h_{ct}) * \sum b_{w,i}$$

missä

h_{hc} = Ontelolaatan kokonaiskorkeus

h_{ct} = Ontelolaatan uumakannaksen suoran osan korkeus

$b_{w,i}$ = Ontelolaatan yhden uumakannaksen leveys

Ontelolaatan yksittäisen uumakannaksen nimellinen kestävyys lasketaan kaavalla 25.

KAAVA 25. Ontelolaatan yksittäisen uumakannaksen nimellinen kestävyys

$$F_{w,l,Rk} = \frac{2}{3} * \frac{A_{vl}}{b_{hc}} * \frac{f_{ctk,hc}}{\beta_f}$$

missä

A_{vl} = Uumakannaksen suoran osan ulkopuolelle jäävä pinta-ala

b_{hc} = Ontelolaatan nimellisleveys

$f_{ctk,hc}$ = Ontelolaatan betonin ominaisvetolujuus

β_f = Onteloiden lisätäytöstä aiheutuva pienennyskerroin

Pintabetonin leikkauskestävyys lasketaan kaavalla 26.

KAAVA 26. Pintabetonin leikkauskestävyys palkin pituusyksikköä kohden

$$F_{tc,l,Rk} = A_{sv} * f_{sk}$$

missä

A_{sv} = Pintabetonin laatan suuntaisen raudoituksen poikkipinta-ala palkin pituusyksikköä kohden

f_{sk} = Pintabetonin raudoituksen ominaislujuus

Pintabetonin laskettua leikkauskestävyyden arvoa raudoituksen kautta tulee kuitenkin verrata pintabetonin omaan lujuuteen (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 12).

$$F_{tc,l,Rk} \leq 0,15 * h_{c,top} * f_{ck,tc}$$

missä

$h_{c,top}$ = Pintabetonin paksuus

$f_{ck,tc}$ = Pintabetonin ominaislieriölujuus

Pintabetonin vaikutuksen pienennyskerroin β_t lasketaan kaavalla 27.

KAAVA 27. Pienennyskerroin β_t

$$\beta_t = \frac{F_{w,l,Rk}}{F_{w,l,Rk} + F_{tc,l,Rk}}$$

missä

$F_{w,l,Rk}$ = Ontelolaatan yksittäisen uumakannaksen nimellinen kestävyys

$F_{tc,l,Rk}$ = Pintabetonin leikkauskestävyys

5.2.3 Rakennetyypin vaikutus, pienennyskerroin β_b

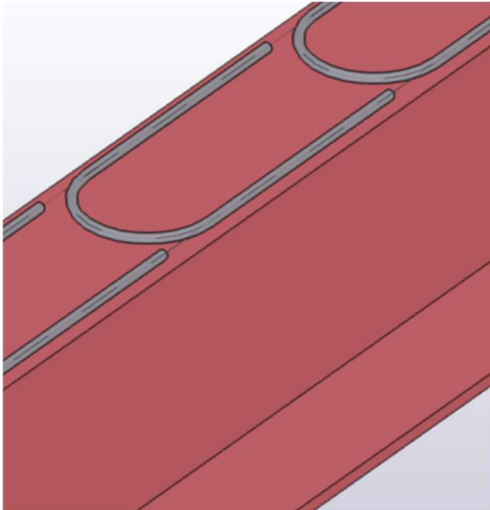
Pienennyskerroin β_b määräytyy tarkasteltavan rakenteen rakennetyypin mukaan. Mikäli rakenne toteutetaan matalarakenneratkaisuna, on pienennyskerroimen arvo 1. Matalarakenneratkaisuisissa yleensä rakenneosat ovat sisäkkäisiä eli samassa korossa, eivätkä päällekkäin. Matalarakenneratkaisuisissa laatasto tukeutuu yleensä palkin vedettyyn laippaan. (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 13.)

Mikäli liittorakenteen teräksisen palkin yläpinnan päälle tukeutuu laatastot, tulee tarkistaa tietyt ehdot betoninormikortista 18 kohdasta 3.5.3. Mikäli ehdot täyttyvät, pienennyskerroimen arvo on 0,8 muuten 1. (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 13.)

5.3 Palkin leikkausvaarnat

Leikkausvaarnat ovat kuvan 7 kaltaisia betoniteräksestä taitettuja U:n mallisia liittimiä, jotka hitsataan palkin yläpintaan kiinni liittimen päistä. Liittintä ei hitsata kuitenkaan lenkin puolen päästä lainkaan. Pintavalua raudoitettaessa palkin päällä olevien liittimien hitsaamattomat lenkkipäät taitetaan ylös vähintään raudoitusten tasoon.

Mikäli pintabetonin raudoitusta hyödynnetään ontelolaatan pään leikkauskestävyyden parantamiseksi, täytyy palkin yläpintaan suunnitella leikkausvaarnat. Nämä vaarnat välittävät palkin ylälaipasta leikkausvuon, joka siirtyy pintabetonissa puristuskomponentteina raudoituksesta pintabetoniin. (Tekniset julkaisut 2–2021, 6.)



KUVA 7. Esimerkkikuva Tekla Structuresista WQ-palkin leikkausvaarnoista

Kun rakenteeseen kohdistuu tasan jakautunut kuormitus, leikkausvaarnat mitoitetaan pintalaatan leikkaus- sekä puristuskestävyyden summalle riittäväksi (Tekniset julkaisut 2–2012, 11). Leikkausvaarnojen yhteenlaskettu vaadittava kestävyys lasketaan kaavalla 28.

KAAVA 28. Leikkausvaarnojen vaadittava kestävyys

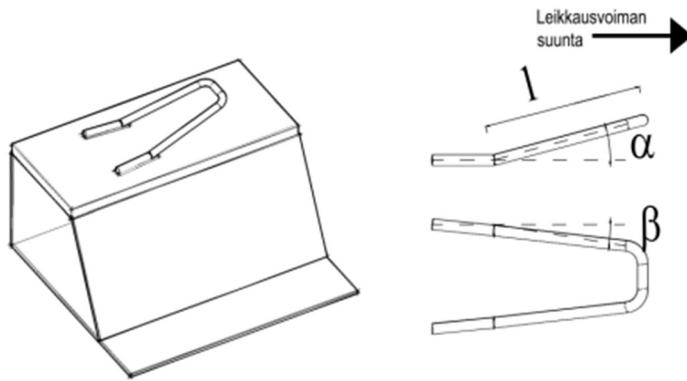
$$V_{Rd} = V_{Rd,vas} + V_{Rd,oik} + \frac{N_{c,Rd}}{L \div 4}$$

$V_{Rd,vas/oik}$ = Ontelolaatan päällä olevan pintabetonin leikkauskestävyys

$N_{c,Rd}$ = Pintabetonin puristuskestävyys palkin päällä

L = Palkin jänneväli

Ennen yksittäisen leikkausvaarnan kestävyysmitoitusta, tulee valita leikkausvaarnan kuvan 8 mukaiset parametrit, kuten esimerkiksi liittimen halkaisija, sekä liittimen muodosta ja asettelusta riippuvat kulmat (Tekniset julkaisut 2–2021, 14). Yksittäisen liittimen kestävyys P_{Rd} voidaan laskea kaavalla 29.



KUVA 8. Leikkausvaarnan parametrejä (Tekniset julkaisut 2–2021, 14)

Kaava 29. Yksittäisen leikkausliittimen kestävyys

$$P_{Rd} = \frac{A_s * f_{yd}}{\sqrt{1 + \sin^2 \alpha}} * \cos \beta$$

missä

A_s = Liittimen poikkipinta-ala

α = Palkin pituussuunnan ja liittimen välinen kulma pystysuunnassa

β = Palkin pituussuunnan ja liittimen välinen kulma vaakasuunnassa

Leikkausliittimen riittävän ankkuroinnin varmistamiseksi pintabetoniin, tulee liittimen geometrian täyttää seuraavat ehdot (Tekniset julkaisut 2–2021, 12):

Ehto 1: $r \geq 7,5 * d$

Ehto 2: $l \geq 4 * r$

Ehto 3: $c \geq 3 * d$

missä

r = Liittimen taitosten kaarevuussäde

d = Liittimen halkaisija

l = Liittimen hitsaamattoman osan pituus

c = Betonipeite pintabetoniin

Leikkausliittimien määrä määritetään niiden maksimietäisyyden mukaan, joka lasketaan kaavalla 30.

Kaava 30. Leikkausliittimien maksimietäisyys

$$s = \frac{P_{Rd}}{V_{Rd}}$$

missä

P_{Rd} = Yksittäisen leikkausliittimen kestävyys

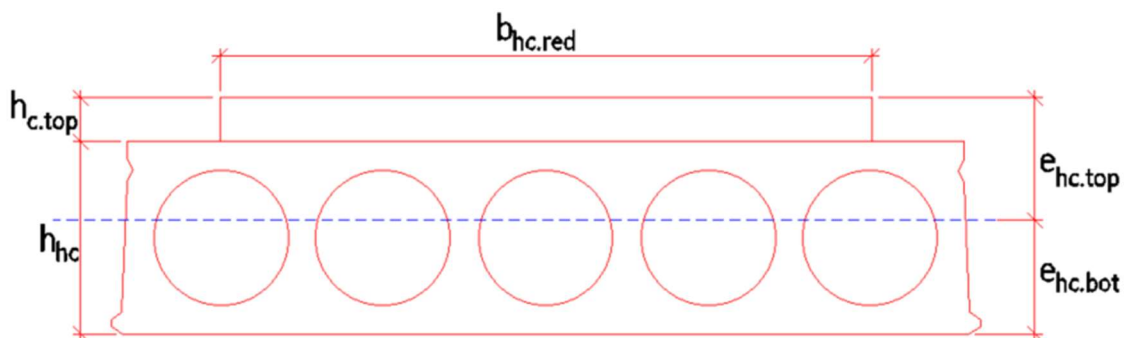
V_{Rd} = Liitoksen kokonaisleikkausvoima

6 ONTELOLAATAN MITOITUS

Liittorakenteessa ontelolaatan ja palkin yhteistoiminta aiheuttaa liittorakenteen deformoituessa ontelolaatan päähän lisärasituksia, joiden vaikutuksesta suurimman leikkausvoiman alueella ontelolaatan määrävimmäksi tekijäksi osoittautuu ontelolaatan leikkauskestävyys (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 2).

Tässä työssä laatta mitoitetaan laatan pään leikkauskestävyyden suhteen, missä leikkausrasitus on suurimmillaan. Laatan pään leikkauskestävyyden mitoittamiseen käytetään pään murtumisen mekaanista mallia sekä lasketaan uumakannaksen kestävyys uuman murtoehdon dimensiottomassa muodossa. Keskipalkkiin tuetut ontelolaatat voidaan molemmat laskea samoilla kaavoilla molemmille puolin palkkia. Reunapalkkiin tuettu ontelolaatta lasketaan siten, että palkin toiselle puolelle ei tule ontelolaattaa, jolloin toisen puolen arvot ovat 0.

Ennen ontelolaatan pään mitoittamista tulee ontelolaatta ja sen päällä oleva pintalaatta muuttua yhtä ja samaa ainetta olevaksi. Ontelolaatan ja pintalaatan betonit ovat eri laatuja, jolloin niistä muodostetaan yhtenäinen samaa betonia oleva laatta "sulauttamalla" pintalaatta ontelolaattaan (kuva 9). Käytetään jatkossa selkeyttämiseksi yhdistetystä ontelolaatasta ja pintalaatasta termiä muunnettu laatta. Muunnetulle laatalle tulee määrittää sen poikkileikkaussuureet ja jäykkyydet samalla periaatteella kuin liittorakenteellekin tämän raportin luvussa 2. Laskennassa ontelolaatan poikkileikkaussuureina voidaan käyttää valmistajan ilmoittamia arvoja.



KUVA 9. Muunnetun laatan poikkileikkauksen parametrit

Määritetään seuraavaksi muunnetulle laatalle tarvittavat poikkileikkaussuureet kaavoilla 31–34.

KAAVA 31. Muunnetun laatan tehollinen leveys

$$b_{hc,red} = \frac{E_{c,top}}{E_{c,hc}}$$

KAAVA 32. Muunnetun laatan painopisteen etäisyys poikkileikkauksen alapinnasta

$$e_{hc,bot} = \frac{A_{hc} * h_{hc} : 2 + b_{hc,red} * h_{c,top} * (h_{hc} + h_{c,top} : 2)}{A_{hc} + b_{hc,red} * h_{c,top}}$$

KAAVA 33. Muunnetun laatan staattinen momentti

$$S_{hc+tc} = S_{hc} + (h_{hc} - e_{hc,bot} + h_{c,top} : 2) * b_{hc,red} * h_{c,top}$$

KAAVA 34. Muunnetun laatan jäyhyysmomentti

$$I_{hc+tc} = I_{hc} + A_{hc} * \left(\frac{h_{hc}}{2} - e_{hc,bot} \right)^2 + b_{hc,red} * \frac{h_{c,top}^3}{12} + b_{hc,red} * h_{hc,top} * \left(h_{hc} - e_{hc,bot} + \frac{h_{c,top}}{2} \right)^2$$

kaavoissa 31–34

$E_{c,top}$ = Pintabetonin kimmokerroin

$E_{c,hc}$ = Ontelolaattabetonin kimmokerroin

A_{hc} = Ontelolaatan poikkileikkauksen pinta-ala

h_{hc} = Ontelolaatan paksuus

$b_{hc,red}$ = Muunnetun laatan tehollinen leveys

$h_{c,top}$ = Pintalaatan paksuus

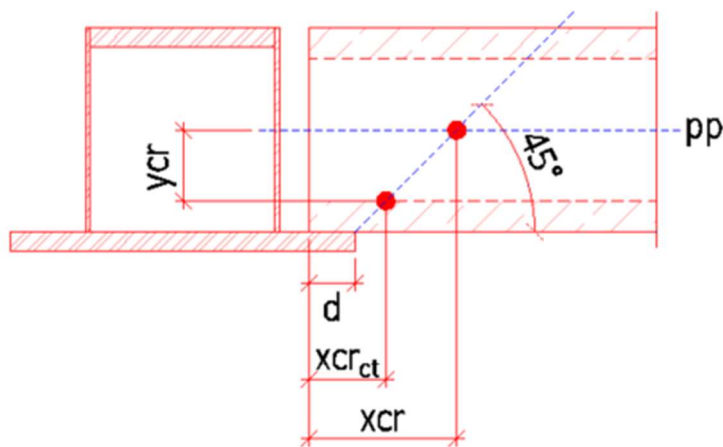
S_{hc} = Ontelolaatan staattinen momentti

$e_{hc,bot}$ = Muunnetun laatan painopisteen etäisyys poikkileikkauksen alapinnasta

I_{hc} = Ontelolaatan jäyhyysmomentti

6.1 Kriittisen leikkauksen sijainti

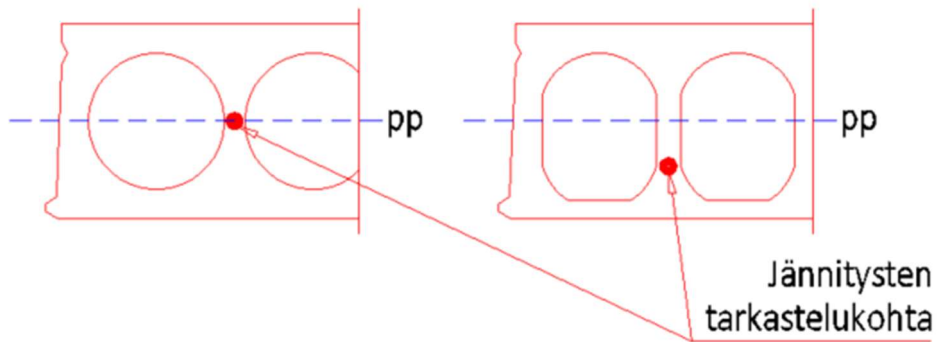
Kriittisellä leikkauspisteellä tarkoitetaan ontelolaatan leikkauskestävyyden kannalta kriittisintä jännitysten tarkastelupistettä. Tässä pisteessä tarkastellaan määräävimpiä leikkausjännityksiä. Kriittinen leikkauspiste sijaitsee tuen reunalta 45° kulmassa kulkevan linjan sekä jännitysten tarkastelukohdan leikkauspisteessä (kuva 10). (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 10.)



KUVA 10. Ontelolaatan kriittisen leikkauspisteen sijainti

Ontelolaatan kestävyys tarkastelua varten tulee määrittää laatan kriittisen leikkauksen sijainti. Leikkauspisteen etäisyys määritetään laatan pituussuunnassa tuen reunasta x_{cr} sekä pystysuunnassa laatan painopiste akselista y_{cr} . Painopiste akseli voidaan karkeasti olettaa tässä tilanteessa keskelle ontelolaatan poikkileikkausta.

Ontelolaatan koon mukaan joissakin ontelot ovat täysin pyöreitä, kun taas toisissa soikean mallisia lyhyellä suoralla uumalla. Yleensä pienemmissä laatoissa on pyöreät reiät, kun taas isommissa soikeat. Pyöreäreikäisissä laatoissa jännityksien tarkastelukohda on painopiste akselin korkeudella, jolloin $y_{cr}=0$. Soikeareikäisissä laatoissa jännityksien tarkastelukohda sijaitsee ontelon uumakanaksen suoran osuuden alareunan kohdalla (kuva 11). (Elementtisuunnittelu.fi lisäohje 2008, 2–3).



KUVA 11. Jännitysten tarkastelukohdan sijainti ontelolaatassa

Kriittisen leikkauspisteen etäisyydet riippumatta ontelolaatan onteloiden geometriasta voidaan laskea kaavoilla 35 ja 36.

KAAVA 35. Kriittisen leikkauspisteen etäisyys painopisteakselista

$$y_{cr} = \frac{h_{ct}}{2}$$

missä

h_{ct} = Ontelolaatan ontelon kannaksen suoran osuuden korkeus, pyöreissä rei'issä arvo on 0

KAAVA 36. Kriittisen leikkauspisteen etäisyys ontelolaatan päästä

$$x_{cr} = \frac{h_{hc}}{2} + d$$

missä

h_{hc} = Ontelolaatan paksuus

d = Ontelolaatan tuen pituus, laskussa käytetään laatan nimellistukipituutta

6.2 Leikkausvoimista aiheutuvat leikkausjännitykset

Ontelolaatan ja palkin liittorakenteen liittovaikutuksesta aiheutuu laatan suuntaisia leikkausvoimia, joista aiheutuu leikkausjännityksiä. Ontelolaatan vaakasuoran poikittaisen leikkausjännityksen suuruus riippuu laatan pään poikittaisesta leikkautumisesta. Yleissääntö on, että kaikki tekijät, jotka kasvattavat leikkausjännitystä, heikentävät laatan kestävyyttä. (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 7, 25–26.)

Leikkausjännitykset lasketaan molemmissa rakennusvaiheissa erikseen. Leikkausjännityksen laskemista varten tarvitsee siis määrittää ensiksi ontelolaattaa rasittavat leikkausvoimat molemmissa rakennusvaiheissa. Leikkausvoimat lasketaan palkin rasitetuille puolille.

6.2.1 Leikkausjännitys ensimmäisessä vaiheessa

Ensimmäisessä vaiheessa laatastoa kuormittaa ontelolaattojen omat painot sekä saumaukset. Ensimmäisen vaiheen leikkausvoima voidaan laskea kaavalla 37, minkä jälkeen voidaan laskea ensimmäisen vaiheen leikkausjännitys kaavalla 38. Kyseisillä kaavoilla voidaan laskea leikkausvoimat sekä -jännitykset palkin molemmin puolin.

KAAVA 37. Ontelolaatan leikkausvoima vaiheessa yksi

$$V_{hc,1,Ed} = \gamma_g * (g_{k,hc} + g_{k,tc}) * \frac{(L_{hc} - b_0 + d: 2 - 2 * x_{cr})}{2}$$

missä

$g_{k,hc}$ = Ontelolaatan betonin paino

$g_{k,tc}$ = Ontelolaatan saumabetonin paino

L_{hc} = Palkkiväli

b_0 = Palkkiin tuettujen ontelolaattojen tukipisteiden väli

d = Ontelolaatan tuen pituus

x_{cr} = Kriittisen leikkauspisteen etäisyys laatan päästä

KAAVA 38. Ontelolaatan leikkausjännitys vaiheessa yksi

$$\tau_{hc,1} = \frac{V_{hc,1,Ed} * S_{hc}}{I_{hc} * b_{w,hc}}$$

missä

S_{hc} = Ontelolaatan staattinen momentti

I_{hc} = Ontelolaatan jäyhyysmomentti

$b_{w,hc}$ = Palkkiin tuettujen ontelolaattojen reunojen etäisyys toisistaan

6.2.2 Leikkausjännitys toisessa vaiheessa

Toisessa vaiheessa laatastoa kuormittaa ontelolaattojen omat painot, saumaukset, pintalaatta sekä mahdolliset lisäkuormat kuten hyötykuormat ja muuttuvat lisäkuormat. Toisessa vaiheessa ei enää lasketa pelkän laatan parametreillä, vaan käytetään muunnetun laatan parametrejä ja suureita. Toisen vaiheen leikkausvoima voidaan laskea kaavalla 39, minkä jälkeen voidaan laskea toisen vaiheen leikkausjännitys kaavalla 40. Kyseisillä kaavoilla voidaan laskea leikkausvoimat sekä -jännitykset palkin molemmin puolin.

KAAVA 39. Ontelolaatan leikkausvoima vaiheessa kaksi

$$V_{hc,1,Ed} = (g_k * \gamma_g + q_k * \gamma_q) * \frac{(L_{hc} - b_0 + d : 2 - 2 * x_{cr})}{2}$$

missä

g_k = Rakenteeseen kohdistuva pysyvä lisäkuorma

q_k = Rakenteeseen kohdistuva hyötykuorma

KAAVA 40. Ontelolaatan leikkausjännitys vaiheessa kaksi

$$\tau_{hc,2} = \frac{V_{hc,2,Ed} * S_{hc+tc}}{I_{hc+tc} * b_{w,hc}}$$

missä

S_{hc+tc} = Muunnetun laatan staattinen momentti

I_{hc+tc} = Muunnetun laatan jäyhyysmomentti

$b_{w,hc}$ = Ontelolaatan onteloiden välisten uumakannasten kokonaisleveys yhdessä laatassa

Lopullinen laatan leikkausjännitys lasketaan kaavalla 41.

KAAVA 41. Ontelolaatan lopullinen leikkausjännitys

$$\tau_{hc} = \tau_{hc,1} + \tau_{hc,2}$$

6.3 Leikkausvuosta aiheutuva leikkausjännitys

Liittorakenteena toimivan palkin leikkausvuosta aiheutuu laatan uumakannaksiin vaakasuora poikittainen leikkausvoima, jota esiintyy vain taipuisalle tuelle tuetuissa laatoissa (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 7). Leikkausvuosta aiheutuva leikkausjännitys tulee laskea palkin kuormitetuille puolille, eli keskipalkilla molemmille puolille ja reunapalkilla vain kuormitetulle puolelle. Kaavalla 42 lasketaan leikkausvuosta aiheutuva leikkausjännitys.

KAAVA 42. Leikkausvuosta aiheutuva leikkausjännitys

$$\tau_{vl} = 1,5 * \beta_f * v_{lw} * \frac{b_{hc}}{A_{vl}}$$

missä

β_f = Onteloiden lisätäytön pienennyskerroin

v_{lw} = Liitoksen leikkausvuoto

b_{hc} = Ontelolaatan nimellisleveys

A_{vj} = Uumakannaksen suoran osan ulkopuolelle jäävä pinta-ala

6.4 Ontelolaatan jännevoimien jännitykset

Ontelolaatta on esijännitetty betoninen laattaelementti (Elementtisuunnittelu.fi). Puristusjännitys riippuu laatan poikkileikkauksesta, jännevälisestä, sekä jännevoiman kehittymispituudesta. Jännevoiman kehittymispituus määritetään laatan jännitysten tarkastelupisteessä, eli etäisyydellä x_{cr} laatan päästä sekä etäisyydellä y_{cr} laatan painopisteakselista. Jännevoima aiheuttaa myös ontelolaattaan halkaisujännityksen τ_{cp} , joka lasketaan samassa jännevoimien tarkastelupisteessä. Jännevoiman aiheuttama puristusjännitys lisää uuman leikkauskestävyyttä, mutta halkaisujännitys heikentää sitä. (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 9, 35.)

Yleensä jännevoima vaikuttaa laattaan edullisesti, jolloin jännevoimalle voidaan käyttää osavarmuuslukua $\gamma_{p,fav} = 0,9$. Edullisessa tilanteessa käytetään jännevoiman kehittymispituuden laskentaan kerrointa 1,2. Tietyissä tilanteissa laatan jännevoimat vaikuttavat laattaan epäedullisesti, kuten esimerkiksi halkaisujännitystä laskettaessa. Tässä tilanteessa jännevoimalle käytetään kerrointa $\gamma_{p,unfav} = 1,2$, sekä jännevoiman kehittymispituuden laskennassa kerrointa 0,8. Laskennassa olisi hyvä tarkistaa laatan kestävyys jännityksille niin edullisilla kuin epäedullisillakin kertoimilla. (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 35.)

6.4.1 Jännevoiman kehittymismatka

Jännevoiman kehittymismatka on matka, jonka aikana jännevoima kasvaa nollasta maksimiarvoonsa (Elementtisuunnittelu.fi lisäohje 2008, 3). Jännevoiman kehittymismatka riippuu ontelolaatan punostuksesta. Ontelolaatassa käytettävät jännepunokset ovat kokonaishalkaisijaltaan joko 9,3 mm tai 12,5 mm. Ohuemmassa punostyypissä jännevoiman kehittymismatkan perusarvo on pienempi kuin paksummassa.

$$\emptyset = 9,3 \gg l_{pt} = 477mm$$

$$\emptyset = 12,5 \gg l_{pt} = 641mm$$

l_{pt} = Jännevoiman kehittymismatkan perusarvo

Jännevoiman kehittymismatkalle ilmoitetusta perusarvosta voidaan nyt laskea haluttu todellinen kehittymismatka jännitysten laskemista varten. Jännityksiä laskiessa edullisessa tilanteessa käytetään kehittymismatkan yläarvoa $1,2 \cdot l_{pt}$, kun epäedullisessa tilanteessa kehittymismatkan ala-arvoa $0,8 \cdot l_{pt}$ (Elementtisuunnittelu.fi lisäohje 2008, 1).

$$l_{pt.1} = 0,8 * l_{pt} \quad \text{Kehittymismatkan ala-arvo}$$

$$l_{pt.2} = 1,2 * l_{pt} \quad \text{Kehittymismatkan yläarvo}$$

6.4.2 Jännevoiman aiheuttama puristusjännitys

Jännevoimasta aiheutuvaan puristusjännitykseen vaikuttaa punosten koko, määrä sekä ontelolaatan koosta riippuva kriittisen leikkauksen sijainti. Puristusjännitystä laskettaessa voidaan käyttää jännevoiman kehittymismatkan yläarvoa, sillä puristusjännitys parantaa laatan leikkauskestävyyttä. (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 9, 35). Puristusjännitys on negatiivista jännitystä.

Ontelolaatan kokonaispuristusjännitystä varten tulee valita punokset ja niiden määrä, sekä määrittää niiden yhteisjännitys. Punosten jännitysten laskentaan käytetään kehittymismatkan yläarvoa.

Oletetaan punosten alkujännitysarvoksi 1 000 MPa, sekä jännityshäviöksi 20 %. Nämä arvot ovat kovin yleisiä ontelolaatoissa, mutta halutessaan valmistajalta voi varmistaa heidän kyseiset arvot. Kaavalla 43 voidaan laskea laatussa olevien punosten yhteenlaskettu jännitys. Kaavoilla 44 ja 45 voidaan laskea jännevoima sekä sen aiheuttama puristusjännitys.

KAAVA 43. Punosten yhteenlaskettu jännitys

$$P_n = A_p * 1000 * 0,8 * \gamma_{p,i} * n - 1$$

missä

A_p = Yksittäisen punoksen poikkipinta-ala

$\gamma_{p,i}$ = Jännevoiman edullinen tai epäedullinen osavarmuuskerroin

n = Punosten määrä ontelolaatassa

KAAVA 44. Jännevoima ajan hetkellä t tarkastelupisteessä

$$P_{xt} = \frac{x_{cr}}{l_{pt,i}} * P_n$$

missä

x_{cr} = Kriittisen leikkauspisteen etäisyys laatan päästä

$l_{pt,i}$ = Jännevoiman kehittymismatka

P_n = Punosten yhteenlaskettu jännitys

KAAVA 45. Jännevoiman aiheuttama puristusjännitys

$$\sigma_{cP} = \frac{-P_{xt}}{A} + \frac{-P_{xt} * e_p * y_{cr}}{I}$$

missä

P_{xt} = Jännevoima hetkellä t tarkasteltavassa pisteessä

A = Ontelolaatan poikkileikkauksen pinta-ala

e_p = Punoksen etäisyys laatan painopisteakselista

y_{cr} = Kriittisen leikkauspisteen etäisyys painopisteakselista

I = Ontelolaatan poikkileikkauksen jäyhyysmomentti

6.4.3 Jännevoiman aiheuttama halkaisujännitys

Jännevoiman kasvaessa maksimiarvoonsa sen kehittymismatkalla aiheutuu normaalijännityksen muutos laatan pituusyksikköä kohti. Tästä seurauksena ontelolaatan uumakannaksiin muodostuu

halkaisujännitystä, joka rasittaa laattaa. (Elementtisuunnittelu.fi lisäohje 2008, 3). Halkaisujännitys on yleensä suuruusluokaltaan huomattavasti pienempi kuin jännevoimasta aiheutuva puristusjännitys.

Jännevoimasta muodostuvan halkaisujännityksen rasittaessa laattaa se lukeutuu epäedullisiin jännityksiin. Tämän takia käytetään jännevoiman epäedullista osavarmuuskerrointa sekä jännevoiman kehittymismatkan ala—arvoa jännitystä laskettaessa. (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 35.) Kaavalla 46 voidaan laskea jännevoiman aiheuttama halkaisujännitys.

KAAVA 46. Jännevoiman aiheuttama halkaisujännitys

$$\tau_{cP} = \frac{\frac{dN_{cP}}{dx} - \frac{dP_{2t}}{dx}}{b_w}$$

missä

$\frac{dN_{cP}}{dx}$ = Laatan esijännityksestä aiheutuvan kriittisen leikkauspisteen yläpuolella olevan jännitysresultantin muutos

$\frac{dP_{2t}}{dx}$ = Kriittisen leikkauspisteen yläpuolella olevien jänneterästen jännevoiman muutos

b_w = Ontelolaatan onteloiden välisten uumakannasten kokonaisleveys yhdessä laatassa

Ontelolaatan esijännityksestä aiheutuvan kriittisen leikkauspisteen yläpuolella olevan jännitysresultantin muutos lasketaan kaavalla 47 sekä kaavalla 48 lasketaan kriittisen leikkauspisteen yläpuolella olevan laattapoikkileikkauksen staattinen momentti laatan painopiste akselin suhteen.

KAAVA 47. Esijännityksestä aiheutuvan kriittisen leikkauspisteen yläpuolella olevan jännitysresultantin muutos

$$\frac{dN_{cP}}{dx} = \left(\frac{A_{cp}}{A} - \frac{S_{cp}}{I} * e_p \right) * \frac{-P_{Edt}}{l_{pt}}$$

missä

A_{cp} = Tarkasteltavan kohdan yläpuolella olevan laattapoikkileikkauksen pinta-ala

A = Ontelolaatan poikkileikkauksen pinta-ala

S_{cp} = Tarkasteltavan kohdan yläpuolella olevan laattapoikkileikkauksen staattinen momentti laatan painopiste akselin suhteen

I = Ontelolaatan poikkileikkauksen jäyhyysmomentti

e_p = Jännevoiman etäisyys laatan painopiste akselista

P_{Edt} = Jännevoima hetkellä t jännevoiman kehittymismatkan päässä

l_{pt} = Jännevoiman kehittymismatkan perusarvo

KAAVA 48. Kriittisen leikkauspisteen yläpuolella olevien jänneterästen jännevoiman muutos

$$\frac{dP_{2t}}{dx} = \frac{P_{Ed2}}{l_{pt,2}}$$

missä

P_{Ed2t} = Kriittisen leikkauksen yläpuolella olevien jänneterästen jännevoima hetkellä t jännityksen kehittymismatkan päässä

$l_{pt,2}$ = Jännevoiman kehittymismatkan yläarvo

6.5 Taivutusmomentin aiheuttama jännitys

Ontelolaattaan aiheutuu taivutusmomenttia sitä rasittavista ulkoisista kuormista. Tästä taivutusmomentista aiheutuu laattaan vetojännitystä. (Elementtisuunnittelu.fi lisäohje 2008, 3). Ulkoisia kuormia ovat esimerkiksi pintarakenteesta aiheutuvat kuormat sekä kaikki pysyvät ja muuttuvat lisäkuormat. Tämän takia taivutusmomentti täytyy laskea molemmissa rakennusvaiheissa.

Lasketaan ensiksi molempien rakennusvaiheiden taivutusmomentit kaavoilla 49 ja 50.

KAAVA 49. Ensimmäisen vaiheen taivutusmomentti

$$M_{hc,1,Ed} = \gamma_g * (g_{k,hc} + g_{k,tc}) * b_{hc} * (L_{hc} - b_0 - x_{cr}) * \frac{x_{cr}}{2}$$

KAAVA 50. Toisen vaiheen taivutusmomentti

$$M_{hc,2,Ed} = (\gamma_g * g_k + \gamma_q * q_k) * b_{hc} * (L_{hc} - b_0 - x_{cr}) * \frac{x_{cr}}{2}$$

kaavoissa 49 ja 50

$g_{k,hc}$ = Ontelolaatan betonin paino

$g_{k,tc}$ = Ontelolaatan saumabetonin paino

g_k = Rakenteeseen kohdistuva pysyvä lisäkuorma

q_k = Rakenteeseen kohdistuva hyötykuorma

b_{hc} = Ontelolaatan nimellisleveys

L_{hc} = Palkkiväli

b_0 = Palkkiin tuettujen ontelolaattojen tukipisteiden väli

x_{cr} = Kriittisen leikkauspisteen etäisyys laatan päästä

Laatan taivutusmomenttien avulla lasketaan kaavalla 51 momenteista aiheutuva laatan vetojännitys.

KAAVA 51. Taivutusmomentin aiheuttama vetojännitys

$$\sigma_{cM} = \frac{M_{hc,1,Ed}}{I_{hc}} * (e_{hc,bot} - y_{cr,bot}) + \frac{M_{hc,2,Ed}}{I_{hc+tc}} * (e_{hc+tc,bot} - y_{cr,bot})$$

missä

$M_{hc,1,Ed}$ = Ensimmäisen vaiheen taivutusmomentti

I_{hc} = Ontelolaatan poikkileikkauksen jäyhyysmomentti

$e_{hc,bot}$ = Ontelolaatan painopiste akselin etäisyys poikkileikkauksen alapinnasta

$y_{cr,bot}$ = Kriittisen leikkauspisteen etäisyys laatan poikkileikkauksen alapinnasta

$M_{hc,2,Ed}$ = Toisen vaiheen taivutusmomentti

I_{hc+tc} = Muunnetun laatan poikkileikkauksen jäyhyysmomentti

$e_{hc+tc,bot}$ = Muunnetun laatan painopisteakselin etäisyys poikkileikkauksen alapinnasta

6.6 Laatan uuman murtoehto

Ontelolaatan leikkausmurtuminen tapahtuu, kun laatan uuman murtoehto toteutuu. Murtoehto on laatan uuman päävetojännitysehto, joka laatan murtuessa tarkoittaa, että päävetojännitys on uuman mitoitusvetolujuuden suuruinen (Betoninormikortti N:o 18EC 2012, 7). Laatat, jotka eivät ole taivutushalkeilleet, voidaan mitoittaa kyseisellä päävetojännitysehdolla (Elementtisuunnittelu.fi lisäohje 2008, 2–3). Mitoitusehto tulee tarkistaa palkin ontelolaatoilla rasitetuilta puolilta erikseen, eli keskipalkilla molemmin puolin olevilta laatastoilta.

Laatan mitoitusehto päävetojännityksen suhteen kuuluu siis:

$$\sigma_1 \leq f_{ctd}$$

500 mm paksulla laatalle päävetojännitystä laskettaessa ulkoisen kuorman leikkausvoimasta aiheutuva leikkausjännitys kerrotaan luvulla 1,1 (Elementtisuunnittelu.fi Lisäohje 2008, 4). Laatan uuman päävetojännitys lasketaan kaavalla 52.

KAAVA 52. Laatan uuman päävetojännitys

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{cP} + \sigma_{cM}}{2} + \sqrt{\frac{(\sigma_{cP} + \sigma_{cM})^2}{4} + (\tau_{hc} + \tau_{cP})^2 + (\beta_f * \tau_{vl})^2}$$

missä

σ_{cP} = Jännevoiman aiheuttama puristusjännitys

σ_{cM} = Taivutusmomentin aiheuttama vetojännitys

τ_{hc} = Leikkausvoimista aiheutuva leikkausjännitys

τ_{cP} = Jännevoiman aiheuttama halkaisujännitys

β_f = Onteloiden lisätäytön pienennyskerroin

τ_{vl} = Leikkausvuosta aiheutuva leikkausjännitys

Ontelolaatan uuman mitoitusvetolujuus saadaan kaavasta 53. CE-merkityillä ontelolaatoilla voidaan käyttää betonin osavarmuuskertoimena arvoa 1,35 (Elementtisuunnittelu.fi Lisäohje 2008, 1).

KAAVA 53. Ontelolaatan uuman mitoitusvetolujuus

$$f_{ctd,hc} = \frac{f_{ctk,hc}}{\gamma_{c,hc}}$$

missä

$f_{ctk,hc}$ = Ontelolaatan betonin vetolujuus

$\gamma_{c,hc}$ = Ontelolaattabetonin osavarmuuskerroin

Laatan päävetojännitysehto voidaan esittää myös dimensiottomassa muodossa, jonka avulla voidaan myös tarkistaa ontelolaattojen murtoehto. Käytetään murtoehtofunktiota F_{fail} :

$$F_{fail} = \left(\frac{\tau_{cP} + \tau_{hc}}{f_{ctd,hc}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{vl}}{f_{ctd,hc}} \right)^2 - \frac{\sigma_{cP} + \sigma_{cM}}{f_{ctd,hc}} \leq 1$$

missä

τ_{cP} = Jännevoiman aiheuttama halkaisujännitys

τ_{hc} = Leikkausvoimista aiheutuva leikkausjännitys

$f_{ctd,hc}$ = Ontelolaatan uuman mitoitusvetolujuus

τ_{vl} = Leikkausvuosta aiheutuva leikkausjännitys

σ_{cP} = Jännevoiman aiheuttama puristusjännitys

σ_{cM} = Taivutusmomentin aiheuttama vetojännitys

6.7 Laatan leikkauskestävyys

Ontelolaatan leikkauskestävyys voidaan laskea päävetojännityksen kaavaan perustuvalla kaavalla 54. Leikkauskestävyyttä tarkastellessa kannattaa silti muistaa tarkistaa myös laatan uuman murtoehdon toteutuminen. 500 mm paksulla laatalle leikkauskestävyys kerrotaan luvulla 0,9 (Elementti-suunnittelu.fi Lisäohje 2008, 4).

KAAVA 54. Laatan leikkauskestävyys

$$V_{Rd,hc} = \frac{I_{hc} * b_w}{S_{cP}} * \left(\sqrt{f_{ctd,hc}^2 - f_{ctd,hc} * (\sigma_{cP} + \sigma_{cM}) - (\beta_f * \tau_{vl})^2} - \tau_{cP} \right)$$

missä

I_{hc} = Ontelolaatan poikkileikkauksen jäyhyysmomentti

b_w = Ontelolaatan onteloiden välisten uumakannasten kokonaisleveys yhdessä laatasta

S_{cP} = Tarkasteltavan kohdan yläpuolella olevan laattapoikkileikkauksen staattinen momentti laatan painopisteakselin suhteen

$f_{ctd,hc}$ = Ontelolaatan uuman mitoitusvetolujuus

σ_{cP} = Jännevoiman aiheuttama puristusjännitys

σ_{cM} = Taivutusmomentin aiheuttama vetojännitys

β_f = Onteloiden lisätätön pienennyskerroin

τ_{vl} = Leikkausvuosta aiheutuva leikkausjännitys

τ_{cP} = Jännevoiman aiheuttama halkaisujännitys

Laatan leikkauskestävyyden ehtona on, että laatan leikkauskestävyys on suurempi kuin laattaan kohdistuva leikkausrasitus:

$$V_{Rd,hc} \geq V_{Ed}$$

7 LASKENTAPOHJA

WQ-palkin mitoittaminen liittorakenteessa on työläs sekä monimutkainen laskenta, minkä vuoksi sitä ei kannata alkaa käsin laskemaan. NQE Teollisuus Oy käyttää paljon Excel-laskentapohjia, jonka takia tämäkin haluttiin luoda Excel-pohjaksi. Excel-pohjaiset laskentapohjat ovat helppoja ja nopeita käyttää silloin, kun ne on ohjelmoitu mahdollisimman pitkälle automaattisiksi. Tämä tarkoittaa sitä, että laskentapohja laskee ja mitoittaa palkin mahdollisimman vähillä käyttäjän muuttamalla lähtöarvoilla.

Laskentapohjasta oli tarkoitus tehdä mahdollisimman selkeä ja helppokäyttöinen. Tavoitteena oli saavuttaa laskentapohjaa käyttämällä ajansäästöä WQ-palkkien suunnittelussa. Näistä syistä pohjasta pyrittiin luomaan sellainen pohja, johon tarvitsisi käyttäjän mahdollisimman vähän puuttua kirjoittamalla. Tämä tarkoittaa sitä, että pohjassa on useita valintasoluja lähtötiedoille, joista valitaan hiirellä haluttu asia kyseiseen kohtaan. Esimerkiksi WQ-palkkiin tukeutuvien ontelolaattojen profiili (kuva 12). Laskentapohjan käyttäjälle jää kirjoittamalla annettaviksi lähtötiedoiksi rakenteiden dimensiot, sekä kuormitukset.

Vasen puoli	
Ontelolaatta	O27
Betonin laatu	O15 O20
Palkkiväli, $L_{hc,v}$	O27
Betonin lujuus, f_{ck}	O32 O37
$E_{c,hc,v}$	O40
Täyttömituus, $l_{c,v}$	O50

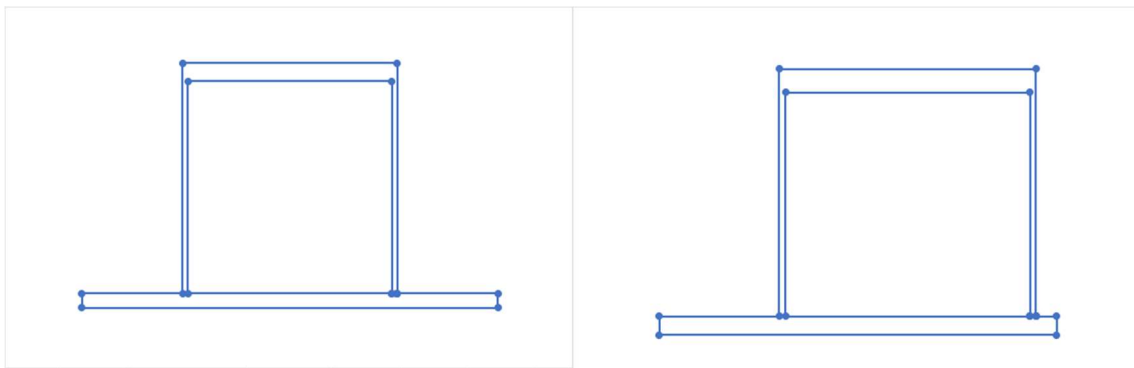
KUVA 12. Vasemmanpuoleisten ontelolaattojen profiilin valintaikkuna

Laskentapohjalla mitoitetaan WQ-palkki sen sijaitessa joko laataston keskellä tai reunalla. Selkeyden vuoksi näille molemmille palkeille laadittiin laskentapohjaan omat välilehdet (kuva 13).



KUVA 13. Palkkityypin mukaiset välilehdet

Laskentapohjassa alkuun on rakenteen lähtötiedot, jotka käyttäjä täyttää/valitsee mitoitettavan rakenteen mukaisiksi. Näitä lähtöarvoja ovat kaikki rakenteen kuormitukset, WQ-palkkiin, ontelolaastoihin sekä pintalaattaan liittyvät osarakennekohtaiset lähtöarvot. Esimerkiksi WQ-palkin parametrit kirjoitetaan palkin lähtötietoihin, joiden mukaan pohja määrittää palkin geometrian sekä laskee sen poikkileikkaussuureet. Laskentapohja piirtää lisäksi WQ-palkille parametrien mukaan sen poikkileikkauksesta havainnekuvan nurkkapistekoordinaattien mukaan (kuva 14). Palkille määrätään myös sallittu taipumaraja, jonka perusteella pohja määrittää palkille sallitun taipuman ja vertaata tätä palkin laskettuun todelliseen taipumaan.



KUVA 14. WQ-palkin poikkileikkauksen havainnekuva

Ontelolaatoille valitaan kaikki vaadittavat lähtötiedot, kuten esimerkiksi profiili, betonilaatu, punosten paksuus sekä määrä. Ontelolaattojen lähtötietojen mukaan pohja määrittää laatoille poikkileikkaussuureet, joita pohja käyttää myöhemmin laskuissa. Pintabetonille käyttäjä määrittää betonilaadun, paksuuden sekä raudoituksen (kuva 15).

Pintabetoni	
Betonin laatu	C25/30
Paksuus vasemman laatan päällä, hv	C20/25
Paksuus oikean laatan päällä, ho	C25/30
Paksuus palkin päällä, hp	C30/37
Betonin lujuus, f_{ck}	C35/45
f_{cd}	C40/50
	C45/55
	C50/60

KUVA 15. Pintabetonin betonilaadun valintaikkuna

Laskentapohjaan on ohjelmoitu rakenteen mitoituksen laskenta kokonaisuudessaan näiden edellä mainittujen käyttäjän täyttämien lähtötietojen mukaan. Laskenta etenee kuten tässä raportissa on

selostettu luvuissa 2–6. Laskennan lopussa tarkastetaan ontelolaatan leikkauskestävyyden käyttöaste laatan uuman kestävyys päävetojännityksen suhteen. Käyttöasteen mukaan pohja ilmoittaa, kestäkö laatta leikkauksen vaiko ei (kuva 16).

Ontelolaatan leikkauskestävyyden käyttöaste			
	vasen	70,5 %	OK
	oikea	103,0 %	Laatta ei kestä leikkausta!

KUVA 16. Ontelolaatan leikkauskestävyyden käyttöasteen tarkastelu

Laskentapohja ilmoittaa ontelolaattojen lähtötietoihin kyseisten laattojen leikkauskestävyyden käyttöasteen mukaan tarvittavan ontelotäytön pituuden. Aluksi uuden rakenteen lähtötietoja määrittäessä ontelotäytöksi kannattaa ensin kokeilla perustäyttöä. Mikäli ontelolaatat kestävätkä leikkauksen eli käyttöaste pysyy rajoissa, ohjeistaa pohja käyttämään ontelotäyttöä pelkästään perustäyttöä. Jos kuitenkin ontelolaatat eivät kestä leikkausta perustäytöllä kokeiltuna, ohjeistaa pohja käyttämään ontelotäyttöä kyseisen laatan ontelon korkeutta. Esimerkiksi kuvan 16 mukaisten käyttöasteiden mukaan pohja ohjeistaa kuvien 17 ja 18 mukaisesti ontelotäyttöjen lähtöarvot laskentaan.

Täyttöpituus, l_{fv}	50 mm	Käytetään perustäyttöä 50 mm
------------------------	-------	---------------------------------

KUVA 17. Vasemmanpuoleisten ontelolaattojen ontelotäytön pituuden ohjeistus

Täyttöpituus, l_{fo}	50 mm	Täyttöpituus ontelon korkeuden verran 185 mm
------------------------	-------	---

KUVA 18. Oikeanpuoleisten ontelolaattojen ontelotäytön pituuden ohjeistus

Mikäli laattoja ei saada kestäväksi leikkausta ontelotäyttöjen lisäyksillä, täytyy koittaa jotain muuta keinoa vahvistaakseen ontelolaattojen leikkauskestävyyttä. Keinoja, joilla ontelolaatan leikkauskestävyyttä voidaan parantaa, on selostettu tämän raportin luvussa 5.

Laskentapohjan lopussa voi tarvittaessa määrittää palkin pintaan asennettavat leikkausvaarnat liittoksen leikkauskestävyyden parantamiseksi. Leikkausliittimien lähtöarvot kirjoitetaan niille tarkoitettuihin lähtötietosoluihin (kuva 19). Määritettyjen lähtötietojen mukaan pohja mitoittaa yhden liittimen kestävyden ja niiden maksimivälin.

Leikkausliitin	
Φ	12 mm
α	5 °
β	0 °

KUVA 19. Leikkausliittimen lähtötietosolut

Lisäksi laskentapohja tekee leikkausliittimen ankkuroinnille asetettujen vaatimusten tarkastelun ja ilmoittaa mikäli jokin ehdoista ei täyty, jolloin käyttäjä tekee tarvittavat muutokset ehtojen täyttämiseksi (kuva 20).

Liittimien ankkuroinnin vaatimusten tarkastelu	
Taitosten kaarevuussäde, r	90
l	360 mm
Betonipeite, c	36 mm

KUVA 20. Leikkausliittimen ankkuroinnin vaatimusten tarkastelu

8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä ohjeisiin ja määräyksiin sekä laatia niiden pohjilta Excel-laskentapohja WQ-palkin mitoitukselle liittorakenteessa. Pää tavoitteena oli luoda tarkka ja toimiva laskentapohja insinööritoimiston käyttöön. Laskentapohjasta oli tarkoitus tehdä varma ja luotettava apuväline vaativan suunnittelun tueksi. Laskentapohjalla oli tarkoitus pystyä mitoittamaan liittorakenteessa olevan WQ-palkin ja ontelolaataston liitoksen kestävyys. Tarkemmin tarkasteltiin WQ-palkin taipumaa sekä ontelolaataston leikkauskestävyyttä.

Laskentapohjaa kokeiltiin toimeksiantajan toimesta ja se todettiin onnistuneeksi. Laskentapohjalla onnistuttiin mitoittamaan WQ-palkki sekä ontelolaatasto liittorakenteessa. Laskentapohjan rajauksista huolimatta sillä onnistuu mitoittamaan monia erilaisia liittorakenteita erilaisissa rakenteissa.

Laskentapohjan laatimiseen jouduin tekemään paljon rajauksia, jotta opinnäytetyön laajuus ei leviäisi mahdottoman laajaksi. Tämä oli mielestäni hyvä ratkaisu, sillä tämänkin laskentapohjan tekeminen vaati todella paljon asiaan perehtymistä ja uuden opettelua minulta. Pelkän mitoittamisen lisäksi opinnäytetyö vaati perehtymistä Excelin jouhevan käytön sekä laskennan oikeinsaamisen saavuttamiseksi.

Laskentapohjassa on vielä paljon kehitys- ja laajennusmahdollisuuksia. Siihen esimerkiksi voisi täydentää WQ-palkin sekä ontelolaattojen täydellisen mitoituksen, jotka jouduttiin rajaamaan pois opinnäytetyön laajuuden kurissa pitämiseksi. Lisäksi palomitoituksen voisi laatia laskentapohjan normaalimitoituksen lisäksi. Laskentapohjan helppokäyttöisyyden lisäämiseksi siihen voisi lisätä enemmän tarkempia ohjeita itse pohjaan tai laatia erillinen käyttöopas pohjan käyttöön.

LÄHTEET

1. Betoninormikortisto. 2012. Betoninormikortti N:o 18EC: Palkkiin tuetun ontelolaataston suunnittelu. (Versio 05/2012). Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.
2. Elementtisuunnittelu.fi. Ontelolaatat. Hakupäivä 4.9.2023
<https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/laatat/ontelolaatat>.
3. Elementtisuunnittelu.fi. 2008. Lisäohje: Jännitettyjen ontelolaattojen CE-merkinnän mukainen suunnittelu eurokoodien mukaan
4. Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1993-1-1. 2005 Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.
5. Ongelin, Petri & Valkonen, Ilkka 2010. Hitsatut Profiilit EN 1993 -käsikirja. Uudistettu 3. painos. Hämeenlinna: Rautaruukki Oyj
6. SFS-EN 1993-1-1. 2005. Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
7. SFS-EN 1994-1-1 + AC. 2016. Eurokoodi 4: Betoni-teräs-liittorakenteiden suunnittelu. Osa 1–1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Helsinki: Suomen standardoimisliitto.
8. Teräsnormikortti 21/2009: WQ-palkin poikkileikkauksen mitoitus normaali- ja palotilanteessa. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.
9. Tekniset julkaisut 2–2021: Lisäohje Betoninormikortin 18EC mukaiseen mitoitukseen, Ontelolaatan pään leikkauskestävyyden parantaminen joustavalla tuella. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.
10. Rautaruukki Oyj. 2009. Ruukki, WQ-palkkijärjestelmä. Ohjelehti.