

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# ANKKURIKONSOLIN MITOITUS

Rakennedetaljien suunnitteluperiaatteet ja tyyppirakenteiden suunnittelu

TEKIJÄ Johanna Torvinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Johanna Torvinen	
Työn nimi Ankkurikonsolin mitoitus. Rakennedetaljien suunnitteluperiaatteet ja tyyppirakenteiden suunnittelu.	
Päiväys	16.5.2022
Sivumäärä/Liitteet	45/41
Toimeksiantaja A-Insinöörit Civil Oy	
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli syventyä teräsrakenteisten tukiseinien ankkurikonsolin mitoitukseen. Ankkurikonsoli on tukiseinän rakenne, johon kohdistuu esijännitettyjen ankkureiden koevedon myötä huomattavia rasituksia, minkä vuoksi konsolirakenteen mitoitus on vaativa tehtävä ja tulee vastaan lähes jokaisessa tukiseiniä sisältävässä kohteessa. Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä normeissa ja ohjeissa esitettyihin teräsrakenteisten tukiseinien rakenneosien mitoitusmenetelmiin ja -sääntöihin sekä suunnitella toimeksiantajan käyttöön ankkurikonsolin tyyppirakenteet 4- ja 7-punoksille ankkureille tukiseinäsuunnittelun tueksi.</p> <p>Opinnäytetyössä toteutettiin konsolirakenteen mitoituslaskelmat käyttäen Mathcad Prime 7.0.0.0-ohjelmistoa. Mitoituslaskelmat tehtiin noudattaen Eurokoodeissa ja eurokoodien kansallisissa liitteissä annettuja määräyksiä ja ohjeita. Mitoituslaskelmia varten sekä laskelmista saatujen tulosten perusteella toteutettiin tyyppirakenteen piirustukset Autodesk Civil 3D 2020-ohjelmistolla. Konsolirakenteen varsinainen rakenneanalyysi toteutettiin mallintamalla rakenneosat Dlubal RFEM 5.27-ohjelmistolla Mathcad-laskelmasta saatujen tulosten mukaisesti. Rakenneanalyysi toteutettiin tässä opinnäytetyössä 7-punoksille ankkurille mitoitettulle konsolille. Rakenneanalyysin tarkoituksena oli tutkia Mathcad-laskelmien luotettavuutta, sillä konsolin mitoittaminen oli rakenteen muodon ja siihen liittyvien ilmiöiden myötä haastavaa käsin laskentamenetelmällä, joten yleensä se suositellaan toteutettavaksi FEM-analyysillä.</p> <p>Tehtyjen laskelmien ja rakenneanalyysin perusteella voitiin havaita, että käsin laskennasta saadut tulokset olivat melko yhtenäiset mallintamalla tehdyn FEM-analyysin tuloksiin. Tämän perusteella voidaan päätellä, että laskennan tuloksia voidaan pitää riittävän luotettavana, jotta laskentapohjaa voidaan jatkossa käyttää, ja edelleen kehittää toimeksiantajan käyttöön tukiseinälaskennan tueksi. Laskentapohjassa oli oletuksena, että tukiseinä on teräsponttiseinä, mutta jatkossa laskentaa voidaan soveltaa käyttäen myös porapaaluseti-seinään. Laskennan perusteella mitoitettiin tyyppirakenteet 4- ja 7-punoksisten ankkureiden konsoleille, joita voidaan tulevaisuudessa kehittää valmiiksi työkaluiksi Autodesk Civil 3D -ohjelmistolla käytettäväksi.</p>	
Avainsanat tukiseinä, teräs, punosankkuri, konsoli, kaivanto, elementtimenetelmä (FEM)	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Civil Engineering	
Author Johanna Torvinen	
Title of Thesis Dimensioning an Anchor Console. Principles of Designing and the Design of Structural Models.	
Date 16 April 2022	Pages/Appendices 45/41
Client Organisation Ains Group Civil Ltd	
<p>The aim of this thesis was to study the design of an anchor console of steel structured retaining walls. An anchor console is a structure of a retaining wall to which significant stresses are directed during the testing of pre-stressed anchors. That is the reason why the design of an anchor console is a demanding task that must be done in every project containing retaining walls. The goal of this thesis was to look into the designing methods of steel structured retaining walls presented in different standards and instructions. Another goal was to design structural models of anchor consoles for both a 4- and a 7-wire strand anchor to be used in the design of retaining walls by the client organisation.</p> <p>The dimensioning calculations were made by Mathcad Prime 7.0.0.0-software. The calculations were made by following the orders and instructions presented in Eurocodes and the national appendices of Eurocodes. The drawings of the structural models were produced by Autodesk Civil 3D 2020-software. The actual structural analysis of the console was made by Dlubal RFEM 5.27-software. The structures of the console were modelled based on the results of the calculations. In this thesis the structural analysis was made of a console dimensioned for a 7-wire strand anchor. The purpose of the structural analysis was to research the reliability of Mathcad-calculations. The manual design of a console is difficult because of the shape of the structure and all the effects concerning it, so the designing is recommended to be done by the finite-element method (FEM).</p> <p>Based on the calculations and the structural analysis it was noticed that the results of the manual design and the results of the finite-element method were quite similar. The conclusion was that the results of Mathcad-calculation can be considered reliable enough in order for the calculation to be used in the future and to be further developed by the client organisation. The assumption in the Mathcad-calculation was that the retaining wall to be used is a sheet pile wall. However, in the future the calculation can be applied also to bored pile retaining walls. The designs of the structural models of consoles for 4- and 7- wire strand anchors were made based on the Mathcad-calculations. The drawings can be further developed so that they can be used as finished Autodesk Civil 3D –software tools.</p>	
Keywords retaining wall, steel, strand anchor, bracket, excavation, finite-element method (FEM)	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
2	TUETUT KAIVANNOT .....	8
2.1	Tukiseinien käyttö .....	8
2.2	Tuetun kaivannon mitoitus .....	8
2.3	Tukiseinän vaakatuenta .....	9
2.3.1	Yleistä vaakatuennasta.....	9
2.3.2	Ulkopuolinen tuenta.....	9
2.3.3	Sisäpuolinen tuenta .....	11
2.4	Tukiseinän alapään tuenta.....	12
2.5	Teräsrakenteiset tukiseinät.....	13
2.5.1	Teräsponttiseinät.....	13
2.5.2	Porapaaluseinä.....	13
3	TERÄSRAKENTEITA KOSKEVAT NORMIT JA OHJEET.....	15
3.1	Eurokoodit.....	15
3.2	Eurokoodeissa ja kansallisissa liitteissä määritetyt ominaisuudet teräkselle.....	16
4	ANKKURIKONSOLIN RAKENNEMITOITUS.....	21
4.1	Ankkurikonsolin rakenne .....	21
4.2	Konsolirakenteen mitoitus .....	22
4.2.1	Ankkuripunosten suurin sallittu koevetovoima.....	22
4.2.2	Ankkurilevyn mitoitus.....	24
4.2.3	Poskilevyt ja lisälevyt .....	27
4.2.4	Tukiseinän selän leikkauskestävyys.....	30
4.2.5	Poskilevyn ja tukiseinän selän välinen hitsiliitos.....	30
5	RAKENNEANALYYSI .....	34
5.1	Yleistä rakenneanalyyseistä.....	34
5.2	Ankkurilevyn rakenneanalyysi .....	34
5.2.1	Mallin muodostaminen .....	34
5.2.2	Ankkurilevyn rakenneanalyysin tulokset .....	35
5.3	Poskilevyn rakenneanalyysi .....	39
5.3.1	Poskilevyn mallinnus.....	39
5.3.2	Poskilevyn rakenneanalyysin tulokset.....	40

6 POHDINTA JA TULOKSET .....	43
LÄHTEET .....	45
LIITE 1: ANKKURIKONSOLIN MITOITUSLASKELMAT MATHCAD-OHJELMISTOLLA .....	46
LIITE 2: TYYPIIRAKENNE SEITSEMÄN PUNOKSISELLE ANKKURILLE .....	83
LIITE 3: TYYPIIRAKENNE NELJÄ PUNOKSISELLE ANKKURILLE .....	85
KUVALUETTELO	
KUVA 1. Esimerkki ulkopuolelta ankkuroimalla tuetusta kaivannosta (MaaRYL 2021 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Talonrakennuksen maatyöt 2021, Kuva 16300: K1).....	10
KUVA 2. Kaivannon ulkopuolinen tuenta vetoankkureilla toteutettuna (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 59).....	11
KUVA 3. Erilaisia vaakapalkki- ja konsolivaihtoehtoja (RIL 271-2019. Teräsrakenteisten tukiseinien rakenteellinen mitoitus 2019, 75).....	11
KUVA 4. Esimerkki kaivannon sisäpuolelta puristussauvalla tuetusta kaivannosta (MaaRYL 2021 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Talonrakennuksen maatyöt 2021, Kuva 16300: K1) .....	12
KUVA 5. Esimerkki yleisimmin käytetystä konsolirakenteesta (Torvinen 2022) .....	21
KUVA 6. Kuva sylinterinmuotoisesta ankkurikappaleesta (Torvinen 2020) .....	22
KUVA 7. Esimerkki kahdelta sivulta tuetusta ankkurilevystä. Kuvassa on esitetty käsin laskentaa varten tarvittavat mitat ja yksinkertaistettu kuormitustapaus. (Torvinen 2022.) .....	24
KUVA 8. Ankkurilevyn kuormituksen jakaantuminen reiän ympärillä sekä taivutusmomentti- ja leikkausvoimakuvio (Torvinen 2022).....	25
KUVA 9. Poskilevyn z-z akselin suunta (Torvinen 2022) .....	28
KUVA 10. Eulerin nurjahdustapaukset (Torvinen 2022).....	29
KUVA 11. Pienahitsin efektiivinen a-mitta (EN1993-1-8: Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–8: Liitosten mitoitus 2005, 45) .....	31
KUVA 12. Pienahitsien laskentapoikkipinnan jännitykset (EN1993-1-8: Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus 2005, 46) .....	31
KUVA 13. Voimasuureiden jakautuminen poskilevyssä (Torvinen 2022) .....	33
KUVA 14. Rfem-ohjelmistolla muodostettu ankkurilevyn malli (Torvinen 2022).....	34
KUVA 15. Ankkurilevyn taipuma käytettäessä 61 mm paksua teräslevyä (Torvinen 2022) .....	35
KUVA 16. Pääjännitysten jakautuminen ankkurilevyssä (Torvinen 2022).....	36
KUVA 17. Ehjän poikkileikkauksen jännitysten jakauma ja keskiarvo (Torvinen 2022) .....	36
KUVA 18. Leikkausjännitysten jakautuminen ankkurilevyssä (Torvinen 2022).....	37
KUVA 19. Ankkurilevyn taipuma 19 mm paksulla teräslevyllä (Torvinen 2022).....	38
KUVA 20. Pääjännitysten jakautuminen 19 mm paksussa ankkurilevyssä (Torvinen 2022) .....	38
KUVA 21. Leikkausjännitysten jakautuminen 19 mm paksussa ankkurilevyssä (Torvinen 2022) .....	39
KUVA 22. Poskilevyn rakennemalli Rfem-ohjelmistolla tehtynä (Torvinen 2022).....	40

KUVA 23. Poskilevyn pystysuuntainen siirtymä kuormituksen vaikutuksesta (Torvinen 2022) .....	40
KUVA 24. Poskilevyn vaakasuuntainen siirtymä kuormituksen vaikutuksesta (Torvinen 2022).....	41
KUVA 25. Jännitysten jakautuminen poskilevyssä (Torvinen 2022).....	42

## 1 JOHDANTO

Tukiseinien ankkureihin liittyvät konsolit ovat eräitä maanrakennustyömaan raskaimmin kuormitettuja rakenneteknisiä detaljeja. Konsolien rakenneosiin kohdistuu ankkureiden jännityksen yhteydessä tehtävän koevedon myötä huomattavat rasitukset, jotka täytyy ottaa huomioon tukiseinäsuunnittelussa. Ankkurikonsolin mitoitus tuleekin vastaan lähes jokaisessa tukiseiniä sisältävässä kohteessa.

Opinnäytteen toimeksiantaja on A-Insinöörit Civil Oy, joka on yksi A-Insinöörien toimialoista. A-Insinöörit Oy on suomalainen rakennuttamiseen, rakennesuunnitteluun, yhdyskunta- ja ympäristörakentamiseen, infrasuunnitteluun ja kallio- ja ympäristösuunnitteluun erikoistunut asiantuntijayritys ja. A-Insinöörit Civil Oy:n toimenkuvaan kuuluu erilaiset pohjarakentamisen suunnittelupalvelut kuten rakennuspaikan pohjaolosuhteiden selvitykset sekä vaativienkin maa- ja pohjarakenteiden suunnittelu mukaan lukien tukiseinien mitoittaminen. A-Insinöörit Civil Oy:n pohjarakennesuunnittelun osaaminen kattaa sekä talonrakennus- että väylärakentamisen hankkeet, asuintaloista teollisuusrakennuksiin ja pikkuteistä valtavyliin. A-Insinöörit Civil Oy työllistää noin 140 henkilöä, ja sillä on toimipaikkoja Suomessa Espoossa, Tampereella, Kuopiossa ja Oulussa.

Opinnäytetyön työn ensisijaisena tarkoituksena on perehtyä, millaisia menetelmiä ja sääntöjä normeissa ja ohjeissa on esitetty teräsrakenteisten tukiseinien rakenneosien mitoittamiseen. Toissijaisena tavoitteena on suunnitella ennalta sovitut tyyppirakenteet tukiseinäsuunnittelun tueksi. Kokonaistavoite on yksinkertaistaa tukiseinäsuunnittelua detaljien osalta niin, että näille ennalta sovittujen rakenteiden toimivuudelle olisi osoitettu laskennallinen perusta.

Opinnäytetyössä toteutetaan konsolin rakenneosien mitoituslaskelma Mathcad Prime 7.0.0.0-ohjelmistoa käyttäen. Tyyppirakenteen piirustusten tekemiseen käytetään Autodesk Civil 3D 2020-ohjelmistoa. Konsolin rakenneanalyysi toteutetaan Dlubal RFEM 5.27-ohjelmistolla. Tarkoituksena on tutkia laskennasta saatujen tulosten luotettavuutta ja varmuutta vertaamalla niistä rakenneanalyysistä saatuihin tuloksiin. Mikäli tulokset ovat luotettavat, voi tilaaja myöhemmin käyttää laskentapohjaa tukiseinäsuunnittelussa.

## 2 TUETUT KAIVANNOT

### 2.1 Tukiseinien käyttö

Rakentamisen aikana joudutaan lähes poikkeuksetta tekemään kaivanto. Kaivannon syvyys ja laajuus ovat riippuvaisia rakennettavasta kohteesta. Kaivannot voidaan tehdä luiskattuina kaivantoina, tuettuina kaivantoina tai näiden yhdistelmänä. Lähtökohta kaivannolla on aina, että työskentely siellä täytyy olla turvallista ja kaivannon varmuus sortumista vastaan tulee olla riittävä riippumatta kaivantotyypistä. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 44.)

Kaivannon turvallinen toteuttaminen vaatii aina ennalta suunnittelua ja maaperän tuntemista. Ennen kaivutöiden aloittamista on maaperään tehtävä riittävän kattavat pohjatutkimukset, mikäli alueen maaperästä ei ole aiempaa kokemusta tai tietoa. Kaivannon rakennuspaikalta tulee kartoittaa esimerkiksi kunnallistekniikka, maakaapelit ja ilmajohdot sekä kaivantoon rajoittuvien rakenteiden tarkka sijainti. Maaperästä on hyvä tietää maalajien kerrosrakenteet ja -paksuudet sekä kalliopinnan sijainti ja ehjyys. Myös pohjavesipinnan taso on merkittävässä roolissa muun muassa kaivannon kuivana pidon vuoksi. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 21.)

Tuettuun kaivantoon usein päädytään silloin, kun kaivantoa ei ole mahdollista tehdä luiskattuina. Rakennuspaikan maaperä- ja pohjavesiolosuhteet voivat olla haastavat, jolloin kaivanto joudutaan tekemään tuettuina. Nykyään yhä useammin myös kaivannon vaatiman tilan vuoksi päädytään tuettuun kaivantoon. Varsinkin tiiviisti rakennetuilla kaupunkialueilla viereisten katujen ja muiden naapurirakennusten vuoksi kaivannot tehdään pääsääntöisesti tuettuina. Rakennusalueen työaikainen käyttö voi lisäksi vaatia tukiseinien käyttöä. (Jääskeläinen 2009, 180.)

Käytettävän tukiseinätyypin valintaan vaikuttavat kaivannon pohja- ja ympäristöolosuhteet, tukiseinän käyttötarkoitus, eri tukiseinätyyppien ominaisuudet sekä rakennuskustannukset ja rakennusaika. Teknisten ominaisuuksien puolesta tavanomaisiin pohja- ja ympäristöolosuhteisiin soveltuu pääsääntöisesti kaikki tukiseinätyypit, jolloin valintaperusteissa pääpaino on rakennuskustannuksilla ja –ajalla. Tukiseinältä vaadittavien ominaisuuksien merkitys kasvaa olosuhteiden vaativuuden kasvaessa. Vaativammassa olosuhteissa käytettävissä olevien tukiseinätyyppien määrä vähenee. Pohja- ja ympäristöolosuhteiden ollessa erittäin vaativat, valintaan vaikuttaa yleensä aina pelkästään tukiseinältä vaadittavat erityisominaisuudet. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 45.)

Tukiseinät voidaan jakaa suunnitellun käyttöiän perusteella tilapäisiin tai pysyviin tukiseiniin. Tukiseinän suunnitellun käyttöiän ollessa  $\leq 2$  vuotta luokitellaan se tilapäiseksi tukiseinäksi. Käyttöiän ollessa pidempi kuin kaksi vuotta, luokitellaan tukiseinä pysyväksi. Tukiseinän käyttötarkoitus ja suunniteltu käyttöikä vaikuttavat tukiseinän, sen tukirakenteiden ja siihen kohdistuvien kuormitusten mitoittamiseen. (RIL 271-2019. Teräsrakenteisten tukiseinien rakenteellinen mitoitus 2019, 13.)

### 2.2 Tuetun kaivannon mitoitus

Kaivantojen tuenta edellyttää miltei aina geoteknillistä mitoitusta (Jääskeläinen 2009, 180). Toisinaan voidaan selvittää malliratkaisulla esimerkiksi kapeiden kaivantojen tilanteissa, joissa tuentaa käytetään turvapönkityksenä varmistamassa, ettei kaivannon ulkopuolelta vyöry suuria maamassoja



alas kaivantoon. Pääsääntöisesti tukiseiniä tarvittaessa käytetään kuitenkin tapauskohtaista mitoitusta. (Jääskeläinen 2009, 180.)

Maapohjaan ja tukirakenteisiin kohdistuu rakentamisen eri työvaiheissa eri suuruisia kuormituksia. Tuetun kaivannon mitoituksen lähtökohtana on, että maapohjan ja kaivannon tukirakenteiden on kestävä niille kaikissa eri työvaiheissa kohdistuvat kuormitukset riittävällä varmuudella. Rakentamisesta aiheutuu myös ympäristöön muodonmuutoksia kuten siirtymiä ja painumia ja näiden on pysyttävä sallituissa rajoissa. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 99.)

## 2.3 Tukiseinän vaakatuenta

### 2.3.1 Yleistä vaakatuennasta

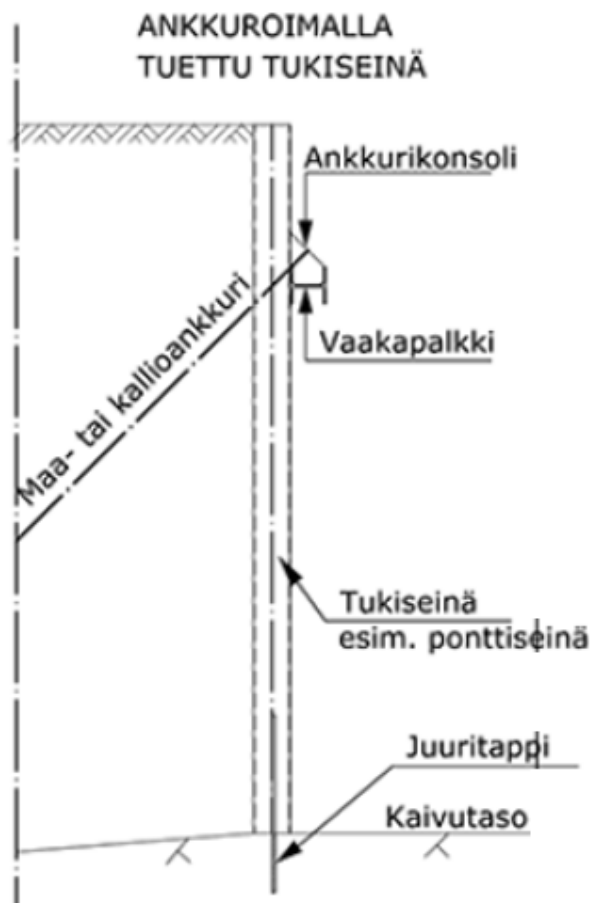
Tukiseinään kohdistuu maanpaineesta ja maapinnalla olevista hyötykuormista vaakakuormia, joita vastaan tukiseinä tulee tukea. Tukiseinän vaakatuentaan käytetään tukiseinään kiinnitettävää vaakapalkkia, joka asennetaan kohtisuoraan tukiseinää vastaan. Vaakapalkkina käytetään tyypillisesti HEB-palkkeja, I-teräspalkkeja ja U-profiileja. Vaakapalkin suunta määräytyy sen taivutuksen kannalta vahvemman suunnan mukaan siten, että vahvempi suunta on kohtisuoraan tukiseinään vaikuttavaa maanpainetta vastaan. (RIL 271-2019. Teräsrakenteisten tukiseinien rakenteellinen mitoitus 2019, 75.)

Vaakapalkin tehtävänä on jäykistää tukiseinää vaakatasossa ja siirtää kuormia tukipisteille, joissa tukeminen voidaan tehdä ulkopuolisilla vetoankkureilla, kaivannon sisäpuolelle asennettavilla puristusrakenteilla tai näiden yhdistelmillä. Tukitasoja voi kaivannon syvyydestä riippuen olla yksi tai useampi. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 59–62.)

### 2.3.2 Ulkopuolinen tuenta

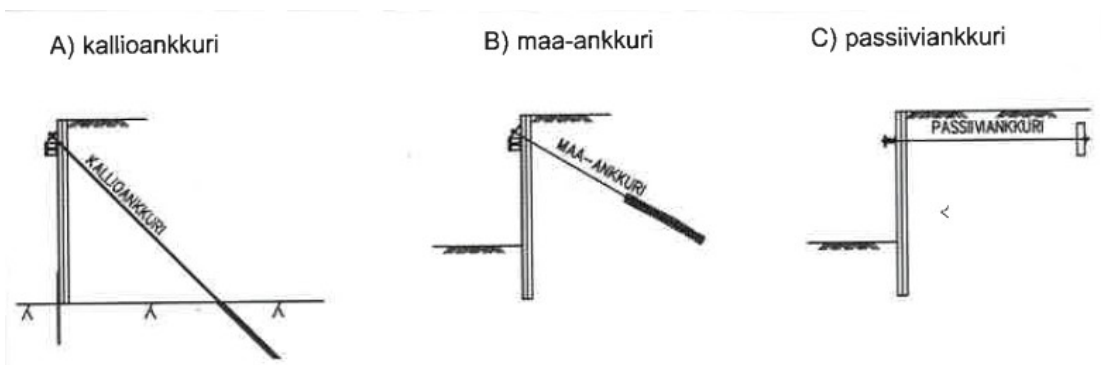
Ulkopuolista tuentaa käytetään tyypillisesti laajoissa kaivannoissa sekä syvissä, monelta tasolta tuetuissa kaivannoissa. Laajoissa kaivannoissa ulkopuolinen tuennan käyttö on teknisesti yksinkertaisempi ratkaisu kuin sisäpuolinen tuennan. Ulkopuolisen tuennan etuna on myös että, kaivantoon ei tarvitse tehdä töitä haittaavia tukirakenteita. Ulkopuolisesta tuennasta aiheutuu kuitenkin tukiseinälle vaakasuuntaisen kuorman lisäksi pystysuuntaista kuormaa, mikä voi olla joissakin tapauksessa esteenä ulkopuoliselle tuennalle. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 60.)

Tukiseinän ulkopuolinen tuenta tehdään vetoankkureilla (kuva 1). Vetoankkureiden käyttö vaatii tilaa maan alla kaivannon ulkopuolella. Ankkureiden pituus voi olla metreistä kymmeneen metriin. Maa- ja kalliopohjassa olevat mahdolliset rakenteet ja kunnallistekniikka voivat haitata tukiseinien ankkurointia. Suunnitteluvaiheessa onkin tärkeää selvittää kaikki ankkureiden ulottuma-alueella sijaitsevat esteet ja suunniteltava sijoittelu ja suuntaus niin, että ankkuroinnista ei aiheudu vahingon vaaraa ympäristölle ja rakenteille. Ankkureiden sijoittamisesta naapuritontin puolelle on myöskin aina oltava kiinteistön omistajan suostumus. Lisäksi on huomioitava, että ankkurien injektointilaastia ei pääse ympäristöön aiheuttamaan vaurioita. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 61.)



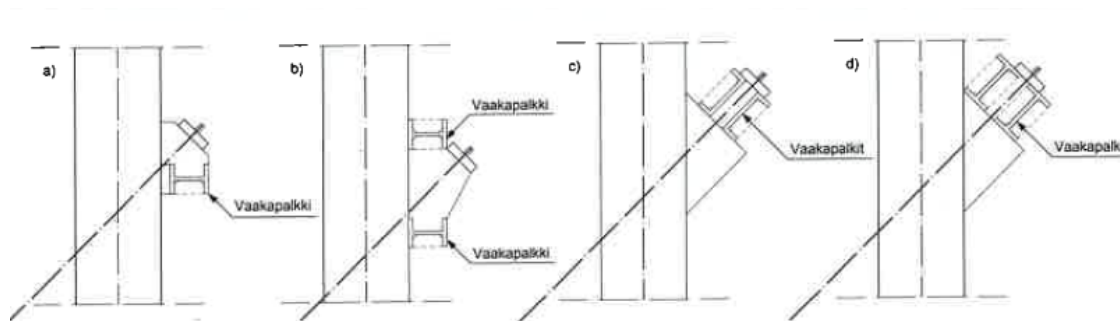
KUVA 1. Esimerkki ulkopuolelta ankkuroimalla tuetusta kaivannosta (MaaRYL 2021 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Talonrakennuksen maatyöt 2021, Kuva 16300: K1)

Ankkurityypit voidaan jakaa kallioankkureihin, maa-ankkureihin ja passiiviankkureihin (kuva 2). Kallioankkurit ankkuroidaan nimensä mukaisesti kallioon porattuun reikään injektoimalla ankkurin alapää sementtilaastilla tartuntapituuden verran. Kallioankkureiden tavanomainen asennuskulma on  $45^\circ$  vaakatasosta. Maa-ankkureiden asennuskulma voi olla  $45^\circ$  tai loivempi, tyypillisesti maa-ankkurit asennetaan  $30^\circ$  kaltevuuteen. Maa-ankkuri ankkuroituu tiiviiseen kitkamaakerrokseen ja kaltevuuskulma valitaan siten, että kitkamaakerros saavutetaan. Maa-ankkuri injektoidaan sementtilaastilla tartuntapituuden verran sitä ympäröivään maakerrokseen. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 61.) Passiiviankkuriksi kutsutaan vaakatasoon asennettavaa vetopunosta tai -tankoa, joka kiinnittyy johonkin rakenteeseen. Rakenne voi olla esimerkiksi maahan kaivamalla asennettava betonilaatta, maahan lyöty teräsponsittirakenne tai joku kuormitusta kestävä olemassa oleva rakenne. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 175.)



KUVA 2. Kaivannon ulkopuolinen tuenta vetoankkureilla toteutettuna (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 59)

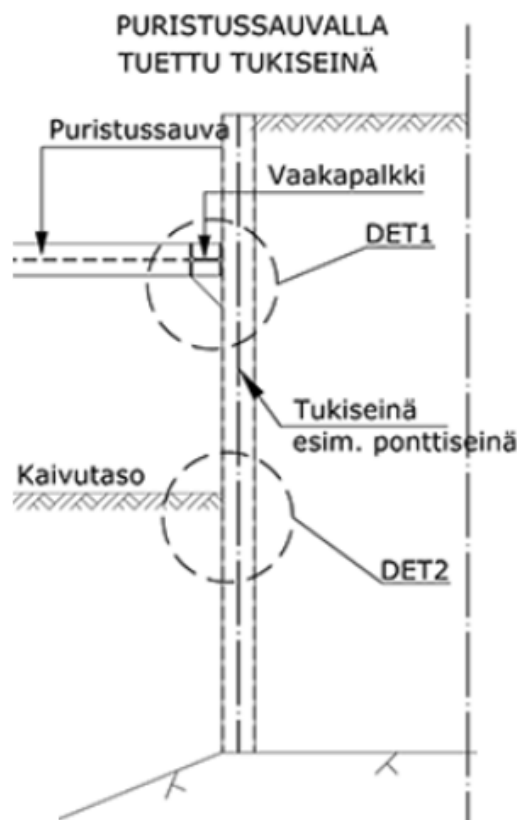
Vetoankkurit ottavat tukirakenteisiin kohdistuvat voimat vastaan vaakapalkkiin sekä tukiseinään hitatun ankkurikonsolirakenteen kautta. Konsolirakenteen suunnittelussa tulee olla erityisen huolellinen ja rakenne on suunniteltava yksityiskohtaisesti. Huonolla suunnittelulla konsolirakenteesta voi tulla tukiseinän heikoin osa, jolloin se mahdollisesti pettä ankkurin koevedon yhteydessä. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 61.) Yleisin periaate kiinnittää ankkuri, konsolirakenne ja vaakapalkki tukiseinään on kuvassa 3 oleva a vaihtoehto, mutta myös kuvan muita menetelmiä käytetään. (RIL 271-2019. Teräsrakenteisten tukiseinien rakenteellinen mitoitus 2019, 75.)



KUVA 3. Erilaisia vaakapalkki- ja konsolivaihtoehtoja (RIL 271-2019. Teräsrakenteisten tukiseinien rakenteellinen mitoitus 2019, 75)

### 2.3.3 Sisäpuolinen tuenta

Sisäpuolista tuentaa puolestaan käytetään tyypillisesti kapeissa putki- ja kuilukaivannoissa. Erityistapauksissa sisäpuolista tuentaa voidaan käyttää myös laajemmissa kaivannoissa. Sisäpuolisen tuennan käyttäminen laajemmissa kaivannoissa edellyttää, että tukirakenteet ja työvaiheistus voidaan suunnittelemaan niin, että kaivannon sisäpuolelle tulevat tukirakenteet eivät aiheuta rakentamiselle kohtuutonta haittaa. Myös ympäristöolosuhteet voivat olla sellaiset, että ulkopuolista tuentaa ei ole mahdollista käyttää, jolloin kaivannon tukeminen täytyy tehdä sen sisäpuolelta. Ulkopuolisesta tuennasta aiheutuu tukiseinälle myös pystykuormaa, joten sisäpuolinen tuenta voi olla ainoa vaihtoehto tilanteissa, joissa tukiseinän alapään pystykantavuus ei ole riittävä ulkopuoliselle tuennalle. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 60.)



KUVA 4. Esimerkki kaivannon sisäpuolelta puristussauvalla tuetusta kaivannosta (MaaRYL 2021 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Talonrakennuksen maatyöt 2021, Kuva 16300: K1)

Sisäpuolinen tuenta voidaan tehdä vastakkaistuentana tai tukemalla tukiseinä kaivannon sisäpuoliseen rakenteeseen. Vastakkaistuennassa tukiseinät tuetaan seinien väliin asennettavilla puristussauvoilla, mutta tukiseinien väliin voidaan asentaa myös betonilaatta, joka jätetään pysyväksi rakenteeksi. Sisäpuolelta tuetun tukiseinän suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon työn toteutettavuus. Kaivannon kaivu, kaivumassojen poissiirto ja rakenteiden rakentaminen tulee voida toteuttaa siten että tukirakenteiden sijainti ei haittaa kohtuuttomasti rakentamista. Tämä voi olla haastavaa varsinkin kapeissa kaivannoissa. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 62–63.)

#### 2.4 Tukiseinän alapään tuenta

Tukiseinän alapää tulee tukea sekä pysty- että vaakakuormia vastaan. Ankkurivoimat synnyttävän tukiseinään pystykuormia, jotka siirtyvät tukiseinän alapään kautta kantavaan maakerrokseen tai kallioon. Tukiseinien kanssa eteen voi tulla tilanteita, joissa kantava maakerros on hyvin syvällä. Näissä tilanteissa ei ole välttämättä tarkoituksenmukaista lähteä upottamaan koko seinää hyvin syvälle kantavaan maakerrokseen vaan voidaan käyttää niin sanottua pystykuormien siirtorakennetta ankkurien kohdalla. Siirtorakenne voidaan toteuttaa esimerkiksi teräsponttiseinällä upottamalla ainoastaan ankkurien kohdalle tulevat pontit riittävän pystykantavuuden edellyttämälle tasolle, ja jättämällä muut pontit ylemmälle tasolle. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 64.)

## 2.5 Teräsrakenteiset tukiseinät

### 2.5.1 Teräsponttiseinät

Teräsponttiseinä on yleisin käytössä oleva tukiseinätyyppi (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 49). Teräsponttiseinä rakentuu teräsponteista, jotka upotetaan maahan lyömällä tai täryttämällä. Yhtenäinen tukiseinärakenne saadaan, kun pontit liitetään toisiinsa lukkourista. Teräspontit voidaan vaihtoehtoisesti asentaa myös limittäin ilman lukitsemista. Ilman lukitsemista toteutetun seinän jäykkyys ja vedenläpäisevyys on oleellisesti huonompi kuin yhtenäisen ponttiseinän. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 47.)

Myöskään toisiinsa lukkourista liitetyt pontit eivät sinänsä muodosta täysin vesitiivistä rakennetta. Maapohjan vedenläpäisevyys ja seinän eri puolten välinen vedenpainero vaikuttavat seinärakenteen vesitiivyyteen. Hienoainespitoisissa maissa, joissa vedenläpäisevyys on pieni ja vedenpaine-ero seinän eripuolilla kohtuullinen, vuotoveden mukana kulkeutuva hienoaines kuitenkin yleensä tukkii lukkoliitokset, jolloin teräsponttiseinästä tulee riittävän vesitiivis työnaikaisena tukiseinä. Vaikeissa pohjaolosuhteissa, joissa tarvitaan parempaa vesitiivyyttä, lukkoliitosten vesitiivyyttä voidaan tarvittaessa parantaa. Lukkourat voidaan käsitellä tiivistysmassalla ennen ponttien asennusta, jolloin vesi- vuotojen riski pienenee. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 48–49.)

Teräsponttiseinät soveltuvat useimpiin pohjaolosuhteisiin pois kiviset tai lohkareiset maakerrokset sekä hyvin tiiviit karkeat kitkamaakerrokset. Tällaisiin tiiviisiin ja kivisiin pohjaolosuhteisiin ponttien upottaminen on yleensä hyvin vaikeaa. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 47.) Tukiseinätyypin käytön yleisyyteen vaikuttaa myös sen kustannukset. Muihin tukiseinätyyppeihin verrattuna teräsponttiseinä on yleensä edullisin ja sen rakentaminen ja purkaminen on nopeaa. Hyvissä, kivettömissä pohjaolosuhteissa käytettynä teräspontit säilyvät usein hyväkuntoisina ja niitä voidaan käyttää uudelleen useita kertoja. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 49–50.)

### 2.5.2 Porapaaluseinä

Porapaaluseinä on maahan porattavista vierekkäisistä teräspaaluputkista muodostuva tukiseinärakenne. Teräspaaluputkien sivuille hitsattujen lukkoprofiilien avulla putket liittyvät toisiinsa, jolloin seinämästä tulee yhtenäinen ja melko hyvin vettä pidättävä, vaikka rakenteen lukkoliitos ei itsessään ole vesitiivis. Kuten teräsponttiseinästä myös porapaaluseinästä maapohjan vedenläpäisevyys ja seinän eri puolten välinen vedenpainero vaikuttavat seinärakenteen vesitiivyyteen. Hienoainespitoisissa maissa, joissa vedenläpäisevyys on pieni ja vedenpaine-ero seinän eripuolilla kohtuullinen, vuotoveden mukana kulkeutuva hienoaines yleensä tukkii lukkoliitokset, jolloin porapaaluseinästä tulee riittävän vesitiivis työnaikaisena tukiseinä. Porapaaluseinän lukkoliitosten vesitiivyyttä voidaan parantaa joko täyttämällä urat tiivistysmassalla ennen paaluputkien asennusta tai hitsaamalla lukkoliitos umpeen asennuksen jälkeen. Lisäksi vaihtoehtona on hitsata erillinen teräslevy lukkoliitoksen eteen paaluputkien väliin ja tarvittaessa injektoida väli vesitiiviyden saavuttamiseksi. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 51–53.)

Paalut asennetaan maahan käyttämällä poraamiseen putken halkaisijaa suurempaa avarrinkruunua. Porapaaluseinän etuna on sen laajat käyttömahdollisuudet. Porapaaluseinä soveltuu kaikkiin pohjaolosuhteisiin, myös kivisiin ja lohkareisiin maakerrokseen ja se voi toimia samanaikaisesti tukiseinä

ja kantavan rakenteena. Paaluputken halkaisijaa, seinämäpaksuutta ja teräslaatua varioimalla voidaan muuttaa seinän jäykkyyttä, taivutuskestävyyttä ja pystykantavuutta. Jäykkyyttä ja kantavuutta voidaan lisäksi parantaa myös raudoittamalla ja betonoimalla putket sisäpuolelta. Paremmalla taivutusjäykkyydellä mahdollistetaan tukitasojen sijaintien ja määrien optimointi, mikä osaltaan säästää kustannuksissa. Porapaaluseinä onkin kustannuksiltaan muita tukiseinätyyppejä kalliimpi ja sitä käytetään yleensä erittäin vaativissa kaivannoissa, joissa rakennuskustannuksiltaan edullisempia tukiseinätyyppejä ei voida käyttää. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 51–53.)

### 3 TERÄSRAKENTEITA KOSKEVAT NORMIT JA OHJEET

#### 3.1 Eurokoodit

Eurokoodit ovat kokoelma kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia standardeja, joita käytetään Euroopan unionissa ja Euroopan talousalueella sekä muutamassa muussa maassa. Eurokoodisarja koostuu tällä hetkellä 58 osasta ja ne kattavat varmuuden määrittämisperiaatteet, erilaiset kuormat kuten hyöty, lumi-, tuuli-, lämpö-, onnettomuus- ja nosturikuormat. Näiden lisäksi rakennusmateriaaleille on laadittu omat yksityiskohtaiset ohjeet. Eurokoodien käyttö ja soveltaminen eri maissa vaatii maan omien kansallisten liitteiden (NA) laatimisen. Suomessa kansallisten liitteiden laatimisesta vastaa talonrakentamisen osalta ympäristöministeriö ja siltojen osalta Väylävirasto. Suomessa ensimmäiset eurokoodien kansalliset liitteet julkaistiin vuoden 2007 marraskuussa. (Eurocodes 2021.)

Suomen standardoimisliiton (SFS) eurokoodien osa 92.093 koskee Teräsrakenteiden suunnittelua. Kyseessä on Eurokoodi 3 standardi EN 1993, jota sovelletaan teräksisten rakennusten sekä maa- ja vesirakennuskohteiden suunnittelussa koskien teräsrakenteiden kestävyyttä, käytettävyyttä, säilyvyyttä ja palonkestävyyttä. Eurooppalaisista standardeista osa on vahvistettu suomalaisiksi kansalliseksi standardeiksi, joiden määräyksiä tässä opinnäytetyössä esitettävien laskelmien tekemisessä on noudatettu ja joihin on viitattu.

Standardi EN 1993 on tarkoitettu käytettäväksi yhdessä Eurokoodien EN 1990–EN1999 kanssa, kun viitataan teräsrakenteisiin tai teräksisiin rakennuksiin. Teräsrakenteiden suunnittelua koskeva standardi EN 1993 koostuu kuudesta osasta, joista jokainen sisältää yhden tai useamman alaosan.

Tässä opinnäytetyössä on käytetty seuraavia EN 1993 -standardin osia:

*SFS-EN 1993-1-1: Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt* – standardissa esitetään suunnittelua koskevia perussääntöjä, kun teräksen ainevahvuus  $t \geq 3$  mm. Lisäksi standardissa esitetään myös lisäsääntöjä teräksestä tehdyille rakennuksille.

*SFS-EN 1993-1-8: Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus* – standardi käsittelee staattisesti kuormitettujen liitosten mitoitusmenetelmiä, kun teräslaji on S235, S275, S355 tai S460.

*SFS-EN 1993-5 + AC: Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 5: Paalut* –standardissa esitetään teräksestä valmistettujen ja ponttiseinien rakennesuunnittelua koskevat periaate- ja soveltamissäännöt. Standardissa esitetään myös esimerkkejä perustus- ja tukiseinärakenteiden yksityiskohtien suunnittelusta. Lisäksi standardissa esitetään tukiseinien juoksujen, jäykisteiden ja ankkurointien

Eurokoodien osa 92.097 koskee geoteknistä suunnittelua. Tämä osa on eurokoodi 7 standardi EN 1997, johon kuuluu kaksi osaa. Standardia käytetään rakennusten sekä maa- ja vesirakennuskohteiden geotekniseen suunnitteluun. Standardia EN 1997 käytetään yhdessä EN 1990:2002:n kanssa, joka määrittelee periaatteet ja vaatimukset turvallisuudelle ja käyttökelpoisuudelle, kuvaa suunnitteluperusteet ja todentamisen sekä antaa ohjeet rakenteelliseen luotettavuuteen liittyvissä näkökohdissa. Standardi käsittelee rakenteiden lujuudelle, stabiiliteetille, käyttökelpoisuudelle ja säilyvyydelle asetettuja vaatimuksia.

*SFS-EN 1997-1: Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt* – standardissa esitetään mitoitusohjeet ja kuomat rakennusten sekä maa- ja vesirakennuskohteiden geotekniseen suunnitteluun. Standardi EN 1997-1 on tarkoitettu käytettäväksi yhdessä standardien EN 1990... EN 1999 kanssa.

*SFS-EN 1997-2 + AC: Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 2: Pohjatutkimus ja koestus* – standardi koskee puolestaan pohjatutkimuksia ja koestusta. Standardi on tarkoitettu käytettäväksi yhdessä standardin EN 1997-1 kanssa.

Standardin EN 1997 molempiin osiin on lisäksi olemassa Ympäristöministeriön laatimat Suomen rakentamismääräyskokoelmassa julkaistut kansalliset liitteet, joihin on koottu säännökset ympäristöministeriön asetuksesta geoteknisen suunnittelun yleisistä sääntöjä koskevista kansallisista valinnoista.

*SFS-EN 1537:2013. Pohjarakennustyöt. Maa- ja kallioankkurit* – standardi on geotekniikan ja pohjarakenteiden toteutusstandardi, joka on tarkoitettu käytettäväksi yhdessä standardin EN 1997-1 kanssa.

### 3.2 Eurokoodeissa ja kansallisissa liitteissä määritetyt ominaisuudet teräkselle

Teräsrakenteita mitoitettaessa tarvitaan erilaisia teräslaaduille annettuja materiaaliominaisuuksia. Keskeisimmät materiaaliparametrit ovat teräksen myötölujuus  $f_y$  ja teräksen vetomurtolujuus  $f_u$ . Sivulla 17 olevassa taulukossa 1 on annettu kuumavalssatuille rakenneteräksille käyttötarkoituksen mukaiset myötölujuuden ja vetomurtolujuuden nimellisarvot. Standardin EN 10025 osa 2 on seostamattomille rakenneteräksille, osa 3 normalisoiduille ja normalisointivalssatuille hitsattaville hienoraerakenneteräksille, osa 4 termomekaanisesti valssatuille hitsattaville hienoraerakenneteräksille, osa 5 ilmastokorroosiota kestäville rakenneteräksille ja osa 6 nuorrutetuille lujille rakenneteräslevytuotteille. (Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus: Eurocode 3 -oppikirja 2020, 49.)



TAULUKKO 1. Kuumavalssattujen rakenneterästen myötörajan  $f_y$  ja vetomurtolujuuden  $f_u$  nimellisarvot (EN1993-1-1: Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt, 2005).

Standardi ja teräslaji	Nimellispaksuus t [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
<b>EN 10025-3</b>				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
<b>EN 10025-4</b>				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
<b>EN 10025-5</b>				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
<b>EN 10025-6</b>				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

Teräsponttien- ja osien mitoituslaskelmissa teräksen osavarmuuslukuina käytetään taulukon 2 mukaisia arvoja. Taulukossa 2 olevat arvot koskevat mitoitusta murtorajatilan mukaan. Käytettävä  $\gamma_M$ -arvo valitaan mitoittavan rakenteen mukaisesti. (RIL 271-2019. Teräsrakenteiden tukiseinien rakenteellinen mitoitus 2019, 12.)

TAULUKKO 2. Teräsosien ja teräsponttien osavarmuusluvut (EN1993-1-1: Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt, 2005; EN1993-1-8: Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus, 2005)

<i>Poikkileikkausten kestävyys poikkileikkausluokasta riippumatta</i>	$\gamma_{M0}$	1,00
<i>Sauvojen kestävyys stabiiliuden suhteen, kun laskelmat tehdään sauvan tarkastuksena</i>	$\gamma_{M1}$	1,00 <sup>1)</sup>
<i>Poikkileikkausten kestävyys vetomurtumisen suhteen</i>	$\gamma_{M2}$	1,25
<i>Liitosten kestävyys</i>	$\gamma_{M5}$	1,00

<sup>1)</sup> Teräsrakenteosille kerroin  $\gamma_{M1} = 1,00$  ja teräsponttien nurjahdustarkastelussa käytetään  $\gamma_{M1} = 1,10$

Konsolirakenteen teräosat liitetään toisiinsa sekä tukiseinän selkään ja vaakapalkkiin hitsaamalla. Hitsiliitos mitoitetaan standardin EN 1993-1-8 mukaan. Hitsin kestävyden laskennassa tarvitaan

korrelaatiokerrointa, joka määritellään standardin ja käytetyn teräslajin mukaan alla olevasta taulukosta 3.

TAULUKKO 3. Pienahitsien korrelaatiokerroin  $\beta_w$  (EN1993-1-8: Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus 2005, 47)

Standardi ja teräslaji			Korrelaatiokerroin $\beta_w$
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

Maa- ja kallioankkureiden kestävyysluvut osavarmuusluvut määritetään sen mukaan, onko ankkuri tilapäinen vai pysyvä ankkuri. Ankkuri määritellään tilapäiseksi, jos sen suunniteltu käyttöikä on kaksi vuotta tai vähemmän ja pysyväksi, jos sen suunniteltu käyttöikä on yli kaksi vuotta. (EN1537:2013: Pohjarakennustyöt. Maa- ja kallioankkurit 2013, 9.) Ympäristöministeriön julkaisemassa Eurokoodin SFS-EN 1997-1 kansallisessa liitteessä on määritelty taulukossa 4 olevat osavarmuusluvut esijännitetyille ankkureille. (Rakenteiden lujuus ja vakaus. Pohjarakenteiden suunnittelu 2018, 41.)

TAULUKKO 4. Esijännitettyjen ankkurointien osavarmuusluvut (Rakenteiden lujuus ja vakaus. Pohjarakenteiden suunnittelu 2018, 41)

Kestävyys	Merkintä	Sarja R2
Tilapäinen	$\gamma_{a,t}$	1,25
Pysyvä	$\gamma_{a,p}$	1,5

Standardin EN 1993-5 + AC. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 5: Paalut mukaan vetoankkureissa materiaalina käytetään korkealujuuksista terästä, jonka määritelty vähimmäismyötöraja  $f_{y,spec}$  on enintään  $f_{y,spec,max}$ . Standardin mukaan  $f_{y,spec,max}$ :n arvo voidaan esittää kansallisessa liitteessä ja suositeltava arvo tälle on 500 N/mm<sup>2</sup>. Suomessa tälle ei ole määritelty erillistä arvoa standardin kansallisessa liitteessä, joten Suomessa käytetään  $f_{y,spec,max} = 500$  N/mm<sup>2</sup>. Alla olevassa taulukossa 5 on annettu tyypillisesti käytössä oleville ankkuriteräksille myötörajat ja vetomurtokestävyydet. Myötörajat on annettu 0,1 % ja 0,2 % venymäpituuksille. Punoksilla käytetään ainoastaan 0,1 % venymäpituudelle annettua myötörajaa, sillä materiaalilla ei ole selkeää myötörajaa. Edellä mainitussa standardissa todetaan myös, että käytettäessä muusta kuin korkealujuuksisia teräksestä valmistettuja

ankkureita, materiaaliominaisuudet tulee valita noudattaen standardin EN 1993-1-1 kohtia 3.2.1 ja 3.2.2 sekä standardin EN 1993-5 kohtaa 3.9. (EN1993-5: Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 5: Paalut 2007, 25.)

TAULUKKO 5. Teräksen myötörajat ja vetomurtokestävyydet tyypillisillä ankkuriteräksillä. Taulukossa annetut arvot ovat minimiarvoja. (RIL 271-2019. Teräsrakenteiden tukiseinien rakenteellinen mitoitus 2019, 96.)

Teräslaatu	Teräslaatua koskeva standardi	$f_{t0,1k}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{t0,2k}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{tk}$ N/mm <sup>2</sup>	
BSt 500 S	B500B acc. to EN 10080 +EN1993-1-1:2005 + AC:2008 Annex C	-	500	550	Vahviketeräs, jossa on köysikierre
S 555/700	-	-	555	700	Terästanko, jossa on köysikierre
S 670/800	-	-	670	800	Terästanko, jossa on köysikierre
St 835/1030	Y1030 acc. to FprEN 101038	835	-	1030	Esijännitettävät teräkset, joissa on köysikierre
St 950/1050	Y1050 acc. to FprEN 101038	950	-	1050	
St 1080/1230	Y1230 acc. to FprEN 101038	1080	-	1230	
St 1570/1770	Y1770 acc. to FprEN 101038	1500	-	1770	Punokset
St 1660/1860	Y1860 acc. to FprEN 101038	1600	-	1860	

$f_{tk}$ =vetomurtokestävyys  $f_{uk}$

$f_{t0,1k}$  ja  $f_{t0,2k}$  ovat molemmat teräksen myötörajoja 0,1% ja 0,2% venymäpituudella

Ankkuriterästen valmistajat antavat yleensä tuotteidensa materiaaleille käytettyjä teräslaatua koskevat ominaisuudet. Tässä opinnäytetyössä on laskelmissa käytetty esimerkkinä Dywidagin 0,62" jännepunosankkureita, joissa on käytetty korkealujuuksisia standardien Y1770 ja Y1860 mukaisia teräslaatuja. Laskelmat tehdään käyttäen vahvemman St 1660/1860 teräslaadun arvoja, jolloin laskelmat ovat varman puolella myös käytettäessä St 1570/1770 teräslaatuja. Kyseisen teräspunoksen pinta-ala on 150 mm<sup>2</sup>. (Dywidag 2021.)

Ankkureille on kolme erilaista testaustyyppiä: tutkimuskoe, soveltuvuuskoe ja hyväksyntäkoe. Jokaiselle käytettävälle ankkurille on tehtävä hyväksyntäkoe ennen ankkurin käyttöönottoa. Hyväksyntäkokeen tarkoituksena on osoittaa, että ankkuria voidaan vetää sille suunnitellulla koevetovoimalla, ja varmistaa, että ankkuriin voidaan jättää suunniteltu jättövoima. Lisäksi maa-ankkureilla tarkoituksena on selvittää ankkurin vapaa pituus ja tarvittaessa määrittää maa-ankkurin käyttörajatilan mukaiset hiipuma- ja kuormitushäviöparametrit. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 102.)

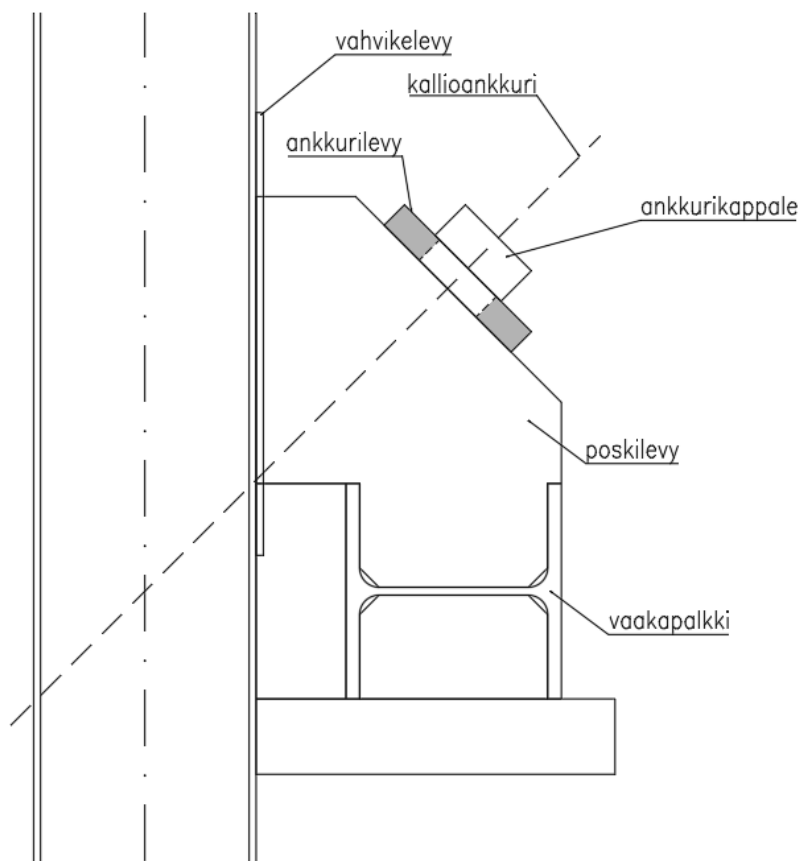
Eurokoodeissa ankkureilta vaaditaan lisäksi tutkimuskokeita ja soveltuvuuskokeita. Tutkimuskokeilla testataan, että ankkurin rakenne ja sen rakenneosat kestävät hyväksytysti ne rasitukset, jotka ankkurin valmistaja on ilmoittanut niiden kestävän. Soveltuvuuskokeiden tarkoituksena on varmistaa, että ankkuri on käyttökelpoinen ja soveltuu vallitseviin olosuhteisiin. Maa-ankkureiden osalta soveltuvuuskokeilla määritetään hyväksyntäkokeita varten hiipumat- tai kuormahäviöparametrit ja ankkurin jänneen vapaa pituus. Soveltuvuuskokeet on pyrittävä tekemään lopullisia ankkuripituuksia käyt-

täen olosuhteissa, jotka vastaavat käyttöolosuhteita. Kun vetoankkureina käytetään tyypillisiä ankkurityyppejä, joista Suomessa on laajaa aiempaa kokemusta ja joilla on jo asetusten vaatimat hyväksynät, tutkimuskokeita ei ole tarpeen tehdä. Lisäksi kallioankkureille yleensä riittää, että niille tehdään vain hyväksyntäkokeet. (RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014, 102.)

## 4 ANKKURIKONSOLIN RAKENNEMITOITUS

### 4.1 Ankkurikonsolin rakenne

Ankkurin kiinnitys rakenne eli ankkurikonsoli on teräsosista hitsaamalla koottu rakenne, jonka tarkoituksena on siirtää ankkurin tukivoima vaakapalkille. Kuvassa 5 on esitetty yleisimmin käytetty konsolirakenne, joka koostuu ankkurilevystä ja ankkurilevyn alla olevista poskilevyistä. Suurilla ankkurivoimilla ankkurilevyä voidaan tarvittaessa tukea poskilevyjen lisäksi lisälevyillä niin, että ankkurilevy on neljältä sivulta tuettu. Varsinkin teräsponsittiseinässä, mutta myös porapaaluseinässä huomioiden porapaalun seinämäpaksuus, voi olla tarpeellista käyttää seinää vasten tulevaa vahvikelevyä. Ankkuri porataan seinän läpi, jolloin seinän taustan jäykkyys heikkenee ankkurireiän läpäisykohdan ympäriltä. Tämä on myös se kohta, johon kohdistuu suurin rasitus poskilevyjen välityksellä. Konsolirakenne kiinnitetään tukiseinään tai tukiseinään kiinnitettyyn vahvikelevyyn hitsaamalla. (RIL 271-2019. Teräsrakenteisten tukiseinien rakenteellinen mitoitus 2019, 91–92.)



KUVA 5. Esimerkki yleisimmin käytetystä konsolirakenteesta (Torvinen 2022)

Edelle mainittujen lisäksi rakenteeseen kuuluu ankkurikappale (kuva 6), joka on sylinterinmuotinen lukkorakenne, jonka tehtävänä on siirtää voimat ankkuripunoksilta ankkurilevylle. Ankkurikappaleen koko vaihtelee käytettävien ankkuripunosten määrän sekä valmistajan mukaan.



KUVA 6. Kuva sylinterinmuotoisesta ankkurikappaleesta (Torvinen 2020)

## 4.2 Konsolirakenteen mitoitus

Ankkurikonsoli on useasta osasta koostuva rakenne, jonka kestävyys ja stabiilitetti riippuu monesta eri tekijästä. Konsolin tulee kestää ankkurin koevedosta aiheutuva kuormitus sekä ankkuriin jätettävä jättövoima. Rakenteen mitoittaminen käsin laskentamenetelmällä on haastavaa ja rakenteesta tulee tällä tavalla mitoitetuna helposti epätaloudellinen. Kirjassa RIL 271-2019 Teräsrakenteisten tukiseinien rakenteellinen mitoitus (2019, 92–93) on joillekin konsolirakenteen rakenneosille määritetty laskentakaavat, joilla rakenteita voi mitoittaa. Kyseisen teoksen mitoitusmerkkeissä ei kuitenkaan oteta huomioon kaikkia ilmiöitä, joita rakenteisiin kohdistuu. Raiskinmäki (2018) on diplomityössään lähestynyt konsolirakenteen mitoittamista hieman tarkemmin, ja tässä opinnäytetyössä konsolirakenteen mitoittamisessa sovelletaan näiden molempien lähteiden mitoitusmerkkejä yhdessä Eurokoodien kanssa. Mathcad-laskenta on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 1 ja laskelmissa käytetyt kaavat on esitetty alla olevissa luvuissa 4.2.1–4.2.5. Konsolirakenteen mitoittamiseen suositellaan FEM-laskentaa, jolloin kiinnitysrakenteen osien toimintaa voidaan tarkastella tarkemmin ja rakenne saadaan mitoitetua taloudellisemmin. Luvussa 5 on esitetty Mathcad-laskelmiin pohjautuva Dlubal RFEM 5.27-ohjelmistolla tehty rakenneanalyysi konsolirakenteen osista. (RIL 271-2019. Teräsrakenteisten tukiseinien rakenteellinen mitoitus 2019, 92; Raiskinmäki 2018, 82–83.)

### 4.2.1 Ankkuripunosten suurin sallittu koevetovoima

Ankkurikonsolin mitoittaminen aloitetaan tyypillisesti määrittelemällä tukiseinälaskennan perusteella saatu suunnittelukuorma. Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus mitoittaa esimerkkirakenne, johon ei ole laskettu suunnittelukuormaa, joten rakenteen mitoitusta varten on tarpeen laskea ankkuripunosten suurin sallittu koevetovoima, jonka mukaan konsolirakenne mitoitetaan.

Standardin EN ISO-22477-5:2018 mukaisesti kaikille maa- ja kallioankkureille on tehtävä hyväksyntäkoee. Hyväksyntäkoeksessa käytettävä yhden punoksen koevetovoima määräytyy edellä mainitun standardin mukaisesti niin että valitaan pienempi arvo kaavoista 1 tai 2:

$$F_{koe.max} \leq 0,80 * P_{tk} \quad (1)$$

, missä  $P_{tk} = f_{tk} * A_{pp}$

$$F_{koe.max} \leq 0,95 * P_{t0,1k} \quad \text{tai} \quad F_{koe.max} \leq 0,95 * P_{t0,2k} \quad (2)$$

, missä  $P_{t0,1k} = f_{t0,1k} * A_{pp}$  ja  $P_{t0,2k} = f_{t0,2k} * A_{pp}$

$A_{pp}$	<i>ankkuripunoksen poikkileikkaus</i>
$P_{tk}$	<i>ankkurin vetomurtokestävyys</i>
$f_{tk}$	<i>ankkuriteräksen vetomurtokestävyuden ominaisarvo</i>
$P_{t0,1k}, P_{t0,2k}$	<i>ankkurin myötöraja</i>
$f_{t0,1k}, f_{t0,2k}$	<i>ankkuriteräksen myötöraja 0,1 % ja 0,2 % venymällä</i>

Koevetovoima n määrälle punoksia määritellään kertomalla yhden punoksen suurin sallittu koevetovoima ankkuripunosten lukumäärällä (3).

$$F_{koe.n} = n * F_{koe.max} \quad (3)$$

Konsolirakenteen mitoittava voima  $F_{ed}$  saadaan kertomalla suurin sallittu koevetovoima osavarmuuskerroimella  $\gamma_f$  (4).

$$F_{ed} = F_{koe.n} * \gamma_f \quad (4)$$

#### Suunnittelukuorma n määrälle punoksia

Yleensä ankkurit mitoitetaan siten, että tukiseinälaskennasta saatuun suunnittelukuormaan F (=ankkurin mitoitusarvo) kohdistetaan ankkureiden kestävyuden osavarmuusluku, jolloin saadaan määritettyä ankkurilta vaadittu koevetovoima työnaikaiselle tai pysyville tukiseinille (5).

$$F_{koe.n} = \gamma_a * F \quad (5)$$

, missä  $\gamma_a =$

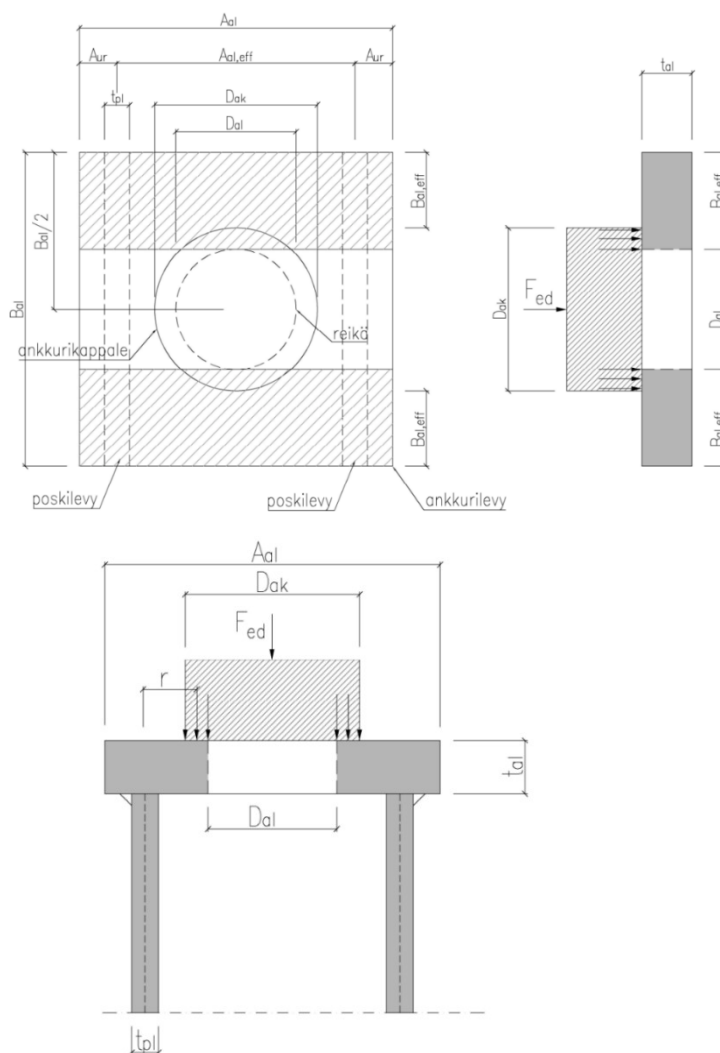
$\gamma_{a,t} = 1,25$	väliaikaisille tukiseinille
$\gamma_{a,p} = 1,50$	pysyville tukiseinille

Kaavasta 5 saadaan määritettyä tukiseinälaskennassa laskettava suurin mahdollinen suunnittelukuorma F, jolle mitoittettavaa konsolirakennetta voidaan käyttää (6).

$$F = \frac{F_{koe.n}}{\gamma_a} \quad (6)$$

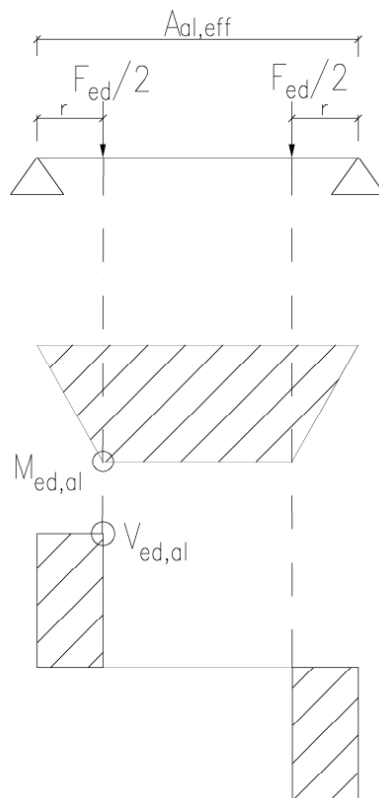
#### 4.2.2 Ankkurilevyn mitoitus

Ankkurilevy on kahdelta tai neljältä sivulta tuettu nelikulmainen teräslaatta, jonka keskellä on reikä ankkuripunoksia varten. Ankkurilevyn tukirakenne muodostuu konsolirakenteen kahdesta poskilevystä sekä suurilla ankkurivoimilla käytettävistä kahdesta lisälevystä. Ankkurilevy kiinnitetään konsolin poskilevyihin hitsaamalla ulkopuolisilta sivuilta. Vaikka osat hitsataan toisiinsa kiinni, voidaan liitoksen olettaa olevan korkeintaan osittain jäykkä johtuen ankkurilevyn jäykkyyden suhteesta siihen liittyviin levyihin. Tästä syystä ankkurilevy mitoitetetaan nivelellisesti tuettuna. Ankkurilevyn ja poskilevyjen välinen liitos toimisi vielä varmemmin nivelellisenä, mikäli ne hitsattaisiin toisiinsa kiinni ulkopuolen sijaan sisäpuolelta, mutta hitsauksen toteutettavuuden vuoksi tämä olisi hyvin haastavaa. Voidaan kuitenkin olettaa riittävän luotettavasti, että liitos toimii nivelellisenä myös pelkästään ulkopuolelta hitsattuna. Ankkurilevyn keskellä oleva reikä määräytyy asennettavan ankkurin koon mukaan, ollen tyypillisesti 45–162 mm. Ankkurilevyn mitoittamisessa tulee ottaa huomioon levyn taivutusmomenttikestävyys, mutta myös ankkurikappaleen mahdollinen lävistyminen ankkurilevystä. (Raiskinmäki 2018, 84.) Alla olevissa kuvissa 7 ja 8 on esitetty ankkurilevyn mitoittamiseen tarvittavat mitat, kuormitustapaus sekä taivutusmomentti- sekä leikkausvoimakuviot.



KUVA 7. Esimerkki kahdelta sivulta tuetusta ankkurilevystä. Kuvassa on esitetty käsin laskentaa varten tarvittavat mitat ja yksinkertaistettu kuormitustapaus. (Torvinen 2022.)





KUVA 8. Ankkurilevyn kuormituksen jakaantuminen reiän ympärillä sekä taivutusmomentti- ja leikkausvoimakuvio (Torvinen 2022)

#### Ankkurilevyn taivutusmomenttikestävyys

Mitoitusehdon (7) mukaan ankkurilevyn kimmoteorian mukainen taivutusmomenttikestävyys tulee olla suurempi tai yhtä suuri kuin ankkurilevyn taivutusmomentin.

$$M_{Ed.al} \leq M_{el.Rd.al} \quad (\text{SFS-EN 1993-1-1}) \quad (7)$$

Ankkurilevyn taivutusmomentti  $M_{Ed.al}$  lasketaan kaavalla (8).

$$M_{Ed.al} = \frac{F_{ed}}{2} * r \quad (8)$$

$$, \text{ missä } r = \frac{A_{al,eff} - 0,75 * \left( \frac{D_{ak} + D_{al}}{2} \right)}{2}$$

$F_{ed}$  = Konsolirakenteen mitoittava voima

$r$ :n laskennassa on kertoimella 0,75 huomioitu, että kuormitus jakautuu puoliympyrän kehälle, jolloin mitoittava poikkileikkaus ei sijoitu aivan keskelle levyä ja ympyrän halkaisijaa.

$$M_{Ed.al} = \frac{F_{ed}}{2} * \frac{A_{al,eff} - 0,75 * \left( \frac{D_{ak} + D_{al}}{2} \right)}{2}$$

Kimmoteorian mukainen taivutusmomenttikestävyys  $M_{el.Rd.al}$  lasketaan kaavalla (9).

$$M_{el.Rd.al} = \frac{W_{el.al} * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (\text{SFS-EN 1993-1-1}) \quad (9)$$

Ankkurilevyn ehjän poikkileikkauksen kimmoteorian mukaisen taivutusvastuksen  $W_{el.al}$  laskemiseen käytetään alla olevaan kaavaa (10).

$$W_{el.al} = \frac{b * h^2}{6} \quad (10)$$

$$\text{, missä} \quad b = 2 * B_{al.eff}$$

$$h = t_{al}$$

Kaavoista 7–10 johdetaan kaava (11) ankkurilevyn paksuudelle  $t_{al}$

$$t_{al.1} = \sqrt{\frac{3 * \gamma_{M0} * F_{ed} * (A_{el.eff} - 0.75 * (0.5 * D_{ak} + 0.5 * D_{al}))}{2 * f_y * (B_{al} - D_{al})}} \quad (11)$$

### Ankkurilevyn lävistyskestävyys

Ankkurilevyn lävistymiskestävyden laskemiseen voidaan käyttää ruuvin ja mutterin lävistymiskestävyyskaavaa (12).

$$B_{p.Rd.al} = 0,6 * \pi * D_{ak} * t_{al} * \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (\text{SFS-EN 1993-1-8}) \quad (12)$$

$$\text{, missä} \quad D_{ak} = \text{ankkurikappaleen halkaisija}$$

$$t_{al.2} = \text{levyn paksuus lävistyskestävyydelle mitoitetuna}$$

$$f_u = \text{levyn murtokestävyys}$$

$$\gamma_{M2} = \text{liitoksissa käytettävä osavarmuusluku}$$

Mitoitusehdon mukaan ankkurilevyn lävistyskestävyyden  $B_{p.Rd.al}$  tulee olla yhtä suuri tai suurempi kuin ankkurikonsolin mitoittavan voiman  $F_{ed}$ . Mitoitusehtoa käyttämällä saadaan lävistyskestävyyden kaavasta johdettu kaava (13) ankkurilevyn vaaditulle vähimmäispaksuudelle.

$$B_{p.Rd.al} \geq F_{ed}$$

$$F_{ed} \leq 0,6 * \pi * D_{ak} * t_{al.2} * \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$t_{al.2} = \frac{F_{ed} * \gamma_{M2}}{0,6 * \pi * D_{ak} * f_u} \quad (13)$$

Mitoittava levyn paksuus on pienempi arvo kaavoista (11) ja (13).

$$t_{al} = \min(t_{al.1}, t_{al.2})$$

### 4.2.3 Poskilevyt ja lisälevyt

Poskilevyt toimivat tavallisesti puristettuina ja taivutettuina sauvoina (Raikinmäki 2018, 84). Poskilevyjen paksuudet mitoitetaan tyypillisesti niiden nurjahduskestävyyden mukaan. Poskilevyjen tarkoituksena on ottaa vastaan ankkurilevyn välityksellä vetoankkureilta tulevat ankkurivoimat. Suurilla ankkurivoimilla voidaan poskilevyjen lisäksi asentaa voimia jakamaan lisälevyt, jolloin ankkurivoima jakautuu ankkurilevyn kaikille neljälle sivulle. Poskilevyt kiinnittyvät ankkurilevyn lisäksi vaakapalkin laippoihin ja uumaan sekä teräspontin selkään tai selkään kiinnitettyyn vahvikelevyyn. Kaikki liitokset toteutetaan hitsaamalla. (Raikinmäki 2018, 84.)

Poskilevyjen mittasuhteet on taloudellisinta valita niin, että ankkurointi ei aiheuta vaakapalkille vääntörasitusta. Poskilevyn geometria on tyypillisesti sellainen, että se kuuluu poikkileikkausluokkaan 1, 2 tai 3. Poskilevyjen välinen etäisyys on teoriassa ankkurilevyn jänneväli, joten poskilevyjen vapaa etäisyys tulisi mitoittaa mahdollisimman lyhyeksi ankkurilevyn taipuman minimoimiseksi. Poskilevyjen väliseen etäisyyteen vaikuttaa myös rakenne johon poskilevy kiinnitetään eli ponttiseinän laipan leveys tai porapaaluseinän paalun halkaisija. Poskilevyjen välinen etäisyys tulee olla kuitenkin riittävän suuri, jotta ankkuri voidaan asentaa levyjen välistä ja poskilevyt hitsata kiinni tukiseinärakenteeseen. (RIL 271-2019. Teräsrakenteisten tukiseinien rakenteellinen mitoitus 2019, 91.) Tässä opinäytetyössä tarkastellaan konsolirakenteen kestävyyttä niin, että vaakapalkkia ja sen kiinnityslevyjä ei huomioida rasitusten välittymisessä.

#### Poskilevyn mitoitus

Yhden poskilevyn nurjahduskuorman  $N_{ed}$  laskeminen (14).

$$N_{ed} = \frac{F_{ed}}{2} \quad (14)$$

Poskilevyn tulee täyttää mitoitusehto (15).

$$N_{ed} \leq N_{b,Rd} \quad (15)$$

, missä  $N_{ed}$  = poskilevyn nurjahduskuorma  
 $N_{b,Rd}$  = poskilevyn nurjahduskestävyys

Poskilevyn nurjahduskestävyyden mitoitusarvo  $N_{b,Rd}$  lasketaan kaavalla (16).

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (16)$$

, missä  $\chi$  = nurjahduksen pienennystekijä  
 $A_{pl}$  = poskilevyn poikkileikkauksen pinta – ala  
 $f_y$  = teräksen myötöraja  
 $\gamma_{M1}$  = teräksen osavarmuusluku

Pienennystekijän  $\chi$  suuruus riippuu määrävästä nurjahdusmuodosta ja on sauvan muunnetun hoikkuuden  $\lambda$  funktio (17).

$$\chi = \min \left( \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}, 1 \right) \quad (17)$$

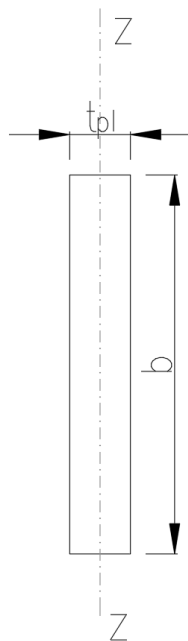
$$\text{, missä} \quad \phi = 0,5 * (1 + \alpha * (\lambda - 0,2) + \lambda^2)$$

Sauvan muunnettu hoikkuus  $\lambda$  lasketaan kaavalla (18).

$$\lambda = \sqrt{\frac{f_y * A_{pl}}{N_{cr}}} \quad \text{, kun sauvan poikkileikkaus kuuluu luokkaan 1, 2 tai 3} \quad (18)$$

$$\text{, missä} \quad N_{cr} = \text{määrävään nurjahdusmuotoon liittyvä kimmoteorian mukainen nurjahduskuorma, joka lasketaan käyttäen sauvan brutto-poikkileikkausta}$$

Konsolirakenteen poskilevyn mitoitetaan taivutusnurjahdukselle, jota kutsutaan yleisesti myös Eulerin nurjahdukseksi. Eulerin nurjahduksessa sauva menettää kantokykynsä taipumalla pääakselinsa suhteen, jonka suuntainen taivutusjäykkyys on  $EI$ . Yleisessä tapauksessa taivutusnurjahdus on tarkastettava pääakselin kummankin, suuremman ja pienemmän jäykkyyden suhteen. Poskilevyn mitoittamisessa tarkastellaan nurjahdus pienemmän jäykkyyden eli z-z akselin suhteen (kuva 9).



KUVA 9. Poskilevyn z-z akselin suunta (Torvinen 2022)

Kriittinen nurjahduskuorma  $N_{cr}$  lasketaan Eulerin nurjahdustapauksen mukaisella nurjahduspituuden  $L_{cr}$  ja bruttoleikkauksen jäyhyysmomentin  $I$  funktiona (19).

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * (E * I)}{L_{cr}^2} \quad (19)$$

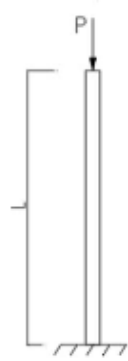



, missä  $I =$  jäyhyysmomentti  
 $E =$  kimmokerroin  
 $L_{cr} =$  sauvan nurjahduspituus

Jäyhyysmomentin laskentaan käytetään kaavaa (20).

$$I = \frac{b * h^3}{12} \quad (20)$$

, missä  $b =$  ankkurilevyn ja poskilevyn liitospinnan pituus  
 $h = t_{pl} =$  poskilevyn paksuus

Poskilevyn nurjahduspituus  $L_{cr}$  riippuu tarkasteltavaan taivutussuuntaan liittyvistä sauvan päiden voima- ja siirtymäreunaehdoista. Konsolissa poskilevy on alapäästään jäykästi tuettu hitsaamalla molemmilta reunoilta. Yläpäästä rakenne on hitsattu kiinni ainoastaan toiselta sivulta, joten yläpään oletetaan olevan nivelellisesti tuettu. Tällä olettamuksella saadaan tulos, joka on laskennallisesti varmalla puolella. Eulerin nurjahdustapaus III:ssa (kuva 10) tuenta on jäykkä-nivel, joten nurjahduspituus (21) lasketaan tämän mukaan.

N:o	I	II	III	IV
				
Tuenta	jäykkä - vapaa	nivel - nivel	jäykkä - nivel	jäykkä - jäykkä
$L_n$	$2L$	$L$	$0,699L$	$0,5L$

$L =$  sauvan pituus  
 $L_n =$  nurjahduspituus

KUVA 10. Eulerin nurjahdustapaukset (Torvinen 2022)

Määritetään nurjahduspituus  $L_{cr}$  Eulerin nurjahdustapaus III mukaan

$$L_{cr} = 0,699 * L \quad (21)$$

#### 4.2.4 Tukiseinän selän leikkauskestävyys

Tukiseinän selkä voidaan vahvistaa erillisellä vahvikelevyllä, jos tukiseinän selkä ei yksinään kestä konsolirakenteelta tulevia kuormia. Tukiseinän selän paksuus ei välttämättä riitä yksinään kestäämään ankkurin kiinnitysrakenteelta sille välittyviä rasituksia ja lisäksi tukiseinän selkää heikentävät myös ankkuria varten tehtävä reikä sekä teräsponttiseinässä ponttien lukkoliitokset. Myös mahdolliseen vahvikelevyyn tehdään ankkuria varten reikä, mikä puolestaan heikentää vahvikelevyn kestävyyttä. (Raiskinmäki 2018, 92.) Tässä opinnäytetyössä käsin laskentamenetelmällä määritetään tukiseinän selän vähimmäispaksuus, joka kestää poskilevyltä seinään kohdistuvat rasitukset ilman, että poskilevy leikkautuu selän lävitse.

Ankkurin koevetovoima  $F_{ed}$  kohdistuu tukiseinään  $45^\circ$  kulmassa. Leikkauskestävyys määritellään koevetovoiman tukiseinää kohtisuoraan olevalle voiman komponentille. Määritellään koevetovoiman  $F_{ed.x}$  ja  $F_{ed.y}$  suuntaiset voimat yhdelle poskilevylle (22).

$$F_{ed.x} = F_{ed.y} = \frac{F_{ed} \cdot \cos(45)}{2} \quad (22)$$

Kimmoiteorian mukaisesti leikkauskestävyyden arvo todennetaan poikkileikkauksen suurimman leikkausjännityksen  $\tau_{ed}$  mukaan, jonka on toteutettava seuraava ehto (23):

$$\frac{\tau_{ed}}{\frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}} \leq 1 \quad (23)$$

Yhtälössä leikkausjännitys  $\tau_{ed}$  lasketaan kaavalla (24)

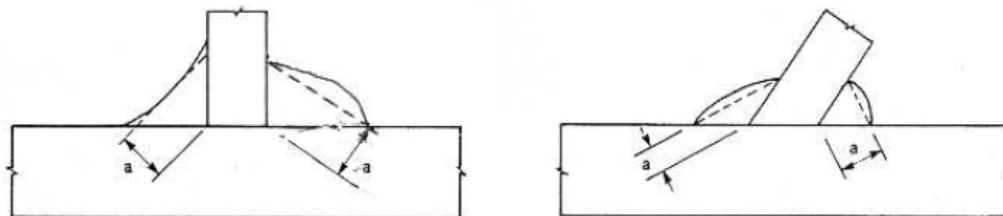
$$\tau_{ed} = \frac{F_{ed.x}}{A_{pl.2}} \quad (24)$$

, missä  $A_{pl.2} =$  leikkautuvan poikkileikkauksen pinta – ala puritustaspuolella

#### 4.2.5 Poskilevyn ja tukiseinän selän välinen hitsiliitos

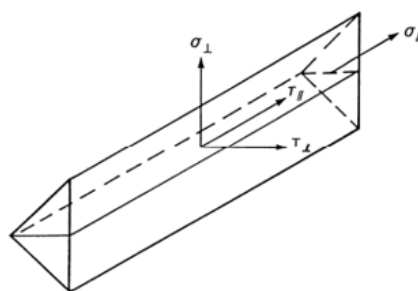
Poskilevyn ja tukiseinän selän välinen hitsiliitos mitoitetaan standardin EN 1993-1-8 mukaan, jossa määritellään, että osien kiinnittämiseen voidaan käyttää pienahitsiä, jos liitospintojen muodostama kulma on  $60^\circ - 120^\circ$ . Poskilevyn ja tukiseinän selän välinen liitos on  $90^\circ$  kulmassa, joten liitos voidaan mitoittaa pienahitsille. Hitsiliitoksessa tulee määrittää hitsiliitoksen tehollinen pituus sekä hitsin efektiivinen a-mitta. Pienahitsin tehollisena pituutena  $l_{eff}$  käytetään täysikokoisen pienahitsin kokonaispituutta. Tehollista pituutta voidaan pienentää vähentämällä kokonaispituudesta kaksi kertaa efektiivinen a-mitta, mutta kun hitsi on täysikokoinen koko teholliselta pituudeltaan ei tehollista pituutta tarvitse pienentää hitsin aloitus- tai lopetuskohtien takia. (EN1993-1-8: Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus 2005, 41–45.) Tässä opinnäytetyössä hitsiliitoksen tehollisena pituutena käytetään poskilevyn koko liitospituutta tukiseinän selkään.

Pienahitsin efektiivinen  $a$ -mitta määräytyy suurimman kolmion mukaan, jonka hitsi liitokseen muodostaa.  $A$ -mitta on joko tasakylkisen tai erikylkisen kolmion korkeus mitattuna kohtisuorassa suunnassa kolmion uloimpaan pintaan nähden (kuva 11). (EN1993-1-8: Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus 2005, 45.)



KUVA 11. Pienahitsin efektiivinen  $a$ -mitta (EN1993-1-8: Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus 2005, 45)

Pienahitsi voidaan mitoittaa joko komponenttimenetelmällä tai yksinkertaistetulla menetelmällä. Komponenttimenetelmässä hitsin yksikköpituuden siirtämät voimat jaetaan hitsin pituussuuntaisen akselin suhteen yhdensuunteisiin ja sitä vastaan kohtisuoriin komponentteihin sekä hitsin laskentapinnan suuntaisiin ja sitä vastaan kohtisuorassa oleviin komponentteihin. Mitoituksessa oletetaan jännitysten jakaantuvan tasan hitsin laskentapoiikki-pinnalla. Kuvassa 12 on esitetty kuinka normaali-jännitysten ja leikkausjännitysten oletetaan jakautuvan. Mikäli liitos koostuu kahdesta eri lujuusluokan teräksestä, tulee hitsien mitoituksessa käyttää alemman lujuusluokan teräksen arvoja. (EN1993-1-8: Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus 2005, 46.) Tässä opin- näytetyössä poskilevyjen ja tukiseinän oletetaan olevan lujuusluokaltaan samaa S355 teräslaatua.



- $\sigma_{\perp}$  on laskentapintaa vastaan kohtisuora normaalijännitys;
- $\sigma_{\parallel}$  on hitsin akselin suuntainen normaalijännitys;
- $\tau_{\perp}$  on hitsin akselia vastaan kohtisuora leikkausjännitys (laskentapinnan tasossa);
- $\tau_{\parallel}$  on hitsin akselin suuntainen leikkausjännitys (laskentapinnan tasossa).

KUVA 12. Pienahitsien laskentapoiikki-pinnan jännitykset (EN1993-1-8: Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus 2005, 46)

Yksinkertaistetussa menetelmässä määritellään hitsiin kohdistuvien kaikkien voimien resultantti yksikköpituutta kohti riippumatta hitsin poikkipinnan suunnasta. Yksinkertaistetussa menetelmässä pienahitsin kestävyys voidaan olettaa riittäväksi, jos hitsin jokaisessa pisteessä hitsin kestävyuden mitoitusarvo pituusyksikköä kohti on suurempi kuin hitsin pituusyksikköä kohti vaikuttavan voiman mitoitusarvo. (EN1993-1-8: Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus 2005, 47.)

Yksinkertaistetussa menetelmässä varman puolella olevana arvona voidaan käyttää standardin EN 1993-1-8 yksinkertaistettuun mitoitusehtoon rinnastettavaa ajatusmallia, jossa alla olevaan kaavaan (25) sijoittamalla  $\sigma_z = 0$  ja  $\tau_{yz} = f_y / \gamma_{M0}$ , saadaan arvo sellaiselle kaksoispienahitsille, joka on poskilevyn kanssa vähintään tasaluja mille tahansa jännitystilalle, jolla levy myötää.

$$a \geq \frac{\beta_w * \gamma_{M2} * t_{pl}}{2 * f_u} * \sqrt{2 * \sigma_z^2 + 3 * \tau_{yz}^2} \quad (25)$$

, missä

- $\beta_w$  = korrelaatiokerroin
- $t_{pl}$  = poskilevyn paksuus
- $f_u$  = vetomurtolujuus
- $f_y$  = myötöraja
- $\gamma_{M0}$  = teräksen osavarmuusluku
- $\gamma_{M2}$  = teräksen osavarmuusluku

Yksinkertaistetun mitoitustavan haasteena on, että se antaa helposti liian varman tuloksen. Liian suureksi mitoitettu hitsi lisää helposti työaikaa työmaalla, sillä hitsin a-mitan ollessa suurempi kuin 5 mm, täytyy hitsi tehdä useammassa kerroksessa. Tästä syystä hitsi on usein syytä mitoittaa mieluummin komponenttimenetelmällä.

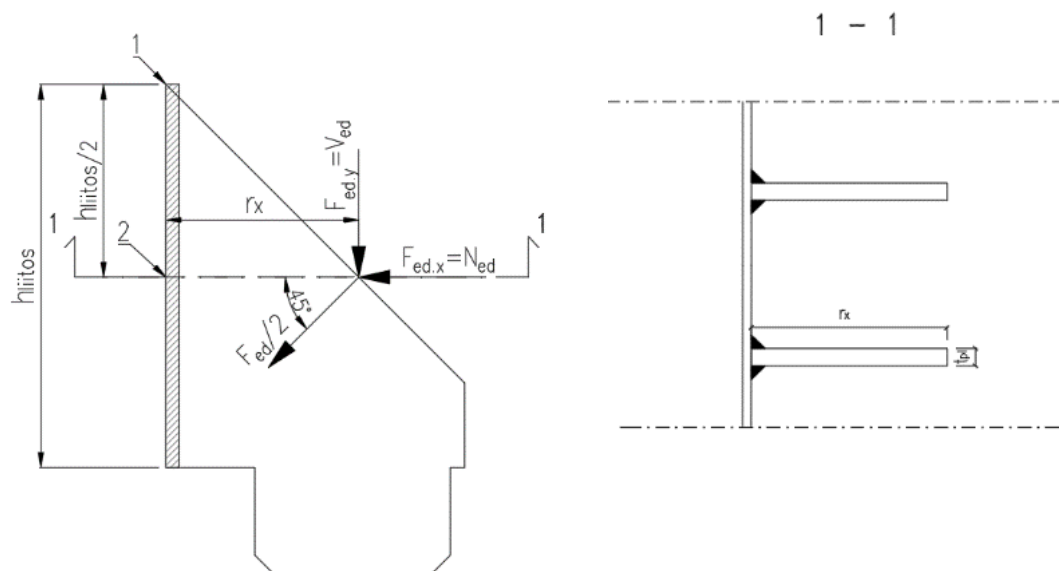
Standardin EN 1993-1-8 mukaisesti mitoitetaan poskilevyn ja tukiseinän välisen liitoksen pienahitsi komponenttimenetelmällä liitettävän osan eli poskilevyn jännitysten perusteella. Sivulla 33 olevassa kuvassa 13 on määritelty poskilevyn kohdistuvat voimasuureet. Määritellään voimasuureet  $N_{ed}$ ,  $V_{ed}$  ja  $M_{ed}$  kuvan 13 mukaisesti tukipoikkileikkauksessa.

$$N_{ed} = F_{ed.y}$$

$$V_{ed} = F_{ed.x}$$

$$M_{ed} = r_m * N_{ed}$$





KUVA 13. Voimasuureiden jakautuminen poskilevyssä (Torvinen 2022)

Määritetään poskilevyn taivutusvastus  $W$  (26).

$$W = \frac{t_{pl} \cdot h_{iiitos}^2}{6} \quad (26)$$

Lasketaan jännitykset pisteessä 1 (27).

$$\sigma_{z.1} = \frac{N_{ed}}{A} + \frac{M_{ed}}{W} \quad (27)$$

$$\tau_{yz.1} = 0$$

Lasketaan jännitykset pisteessä 2 (28).

$$\sigma_{z.2} = \frac{N_{ed}}{A} \quad (28)$$

$$\tau_{yz.2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed}}{A}$$

Jännitysten perusteella hitsin efektiivinen a-mitta pisteessä 1 saadaan kaavalla (29).

$$a_1 \geq \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot t_{pl}}{2 \cdot f_u} \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma_{z.1}^2 + 3 \cdot \tau_{yz.1}^2} \quad (29)$$

ja pisteessä 2 kaavalla (30).

$$a_2 \geq \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot t_{pl}}{2 \cdot f_u} \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma_{z.2}^2 + 3 \cdot \tau_{yz.2}^2} \quad (30)$$

Saaduista a-mitoista valitaan suurin.

$$a = \max(a_1, a_2, 3mm)$$

## 5 RAKENNEANALYYSI

### 5.1 Yleistä rakenneanalyysistä

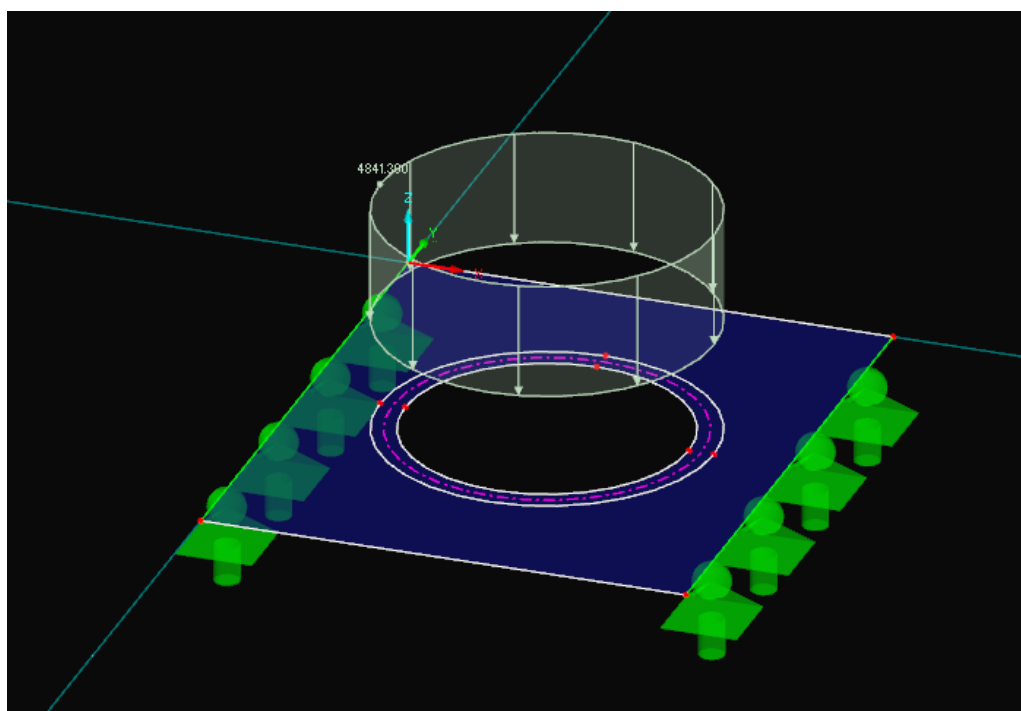
Konsolin rakenneanalyysi toteutettiin Dlubal RFEM 5.27-ohjelmistolla. Rakenneanalyysissä käytettiin Mathcad-laskelmalla 7-punoksiselle ankkurille saatuja tuloksia. Rakenneanalyysissä mallinnettiin konsolin ankkurilevy ja poskilevy, niihin vaikuttavat voimat ja tuet. Mallintamalla tehdyn rakenneanalyysin tarkoituksena oli tarkastella millaisia siirtymiä, jännityksiä ja voimia rakenteisiin kohdistuu ja onko tulokset yhdenvertaiset käsin laskennan tuloksiin.

### 5.2 Ankkurilevyn rakenneanalyysi

#### 5.2.1 Mallin muodostaminen

Mallin muodostaminen Rfemiin onnistui helpoiten dwg-kuvan avulla. AutoCAD-ohjelmistolla luotiin yksinkertainen viivapiirros, joka tuotiin suoraan Rfemiin. Piirrettyjen viivojen mukaan mallinnettiin haluttu rakenne. Ankkurilevyn leveydeksi määriteltiin jänneväli 164 mm ja korkeudeksi levyn korkeus 200 mm. Levyn paksuudeksi taivutusmomenttikestävyyden mukaan valittiin 80 mm, joka on seuraava standardi levyn paksuus, kun sen vähimmäispaksuus tuli olla 77 mm. Levyyteen tehtiin pyöreä halkaisijaltaan 96 mm reikä ankkuria varten.

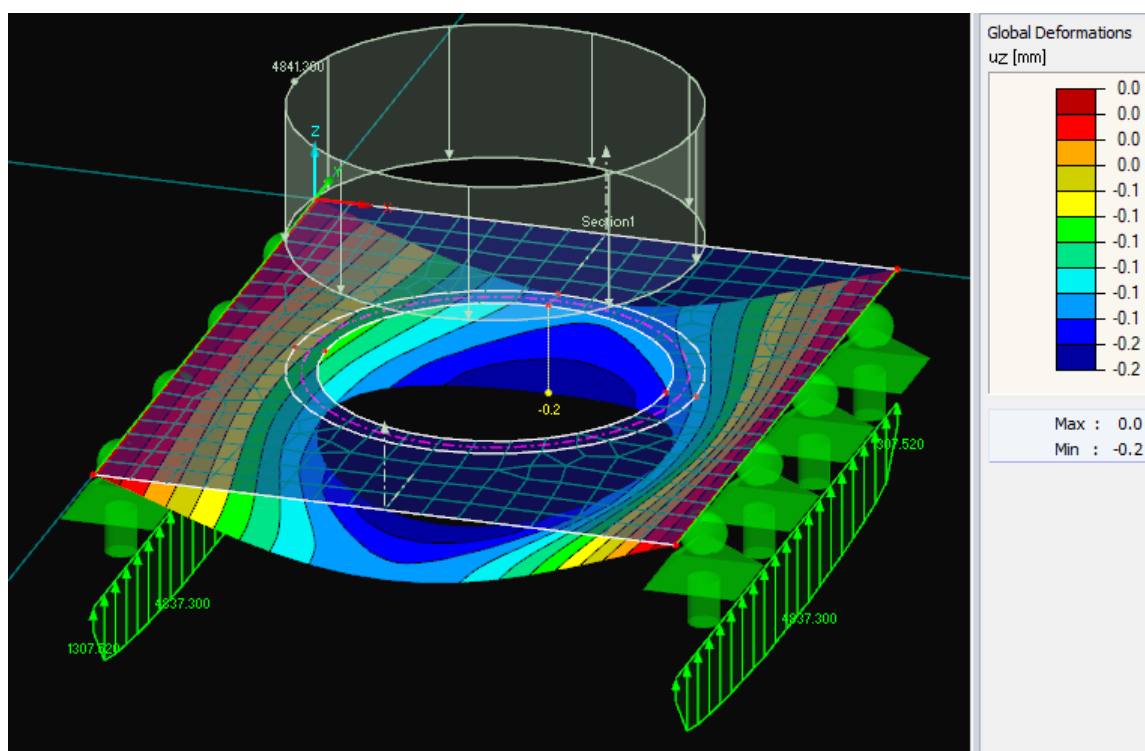
Mallin muodostamisessa olennaista oli tarkastella voimien ja tukien suunnat, jotta ne kohdistuivat rakenteeseen oikein. Vetoankkurista aiheutuva kuormitus mallinnettiin reiän ympärille viivakuormana muodossa kN/m puoleen väliin reiän ja ankkurikappaleen liitospinnassa. Konsolirakenteen mitoittavaksi voimaksi oli laskelmassa määritelty 1 718,64 kN ja kuorma kohdistuu halkaisijaltaan 113 mm ympyrän kehälle. Näin ollen metrikuormaksi saatiin 4 841,3 kN/m. Kappaleessa 4.2.2 Ankkurikappaleen mitoitus oli määritelty ankkurilevyn olevan nivelellisesti tuettuna poskilevyihin ja tästä syystä myös mallissa tuet levyn reunoille määriteltiin nivelelliseksi.



KUVA 14. Rfem-ohjelmistolla muodostettu ankkurilevyn malli (Torvinen 2022)

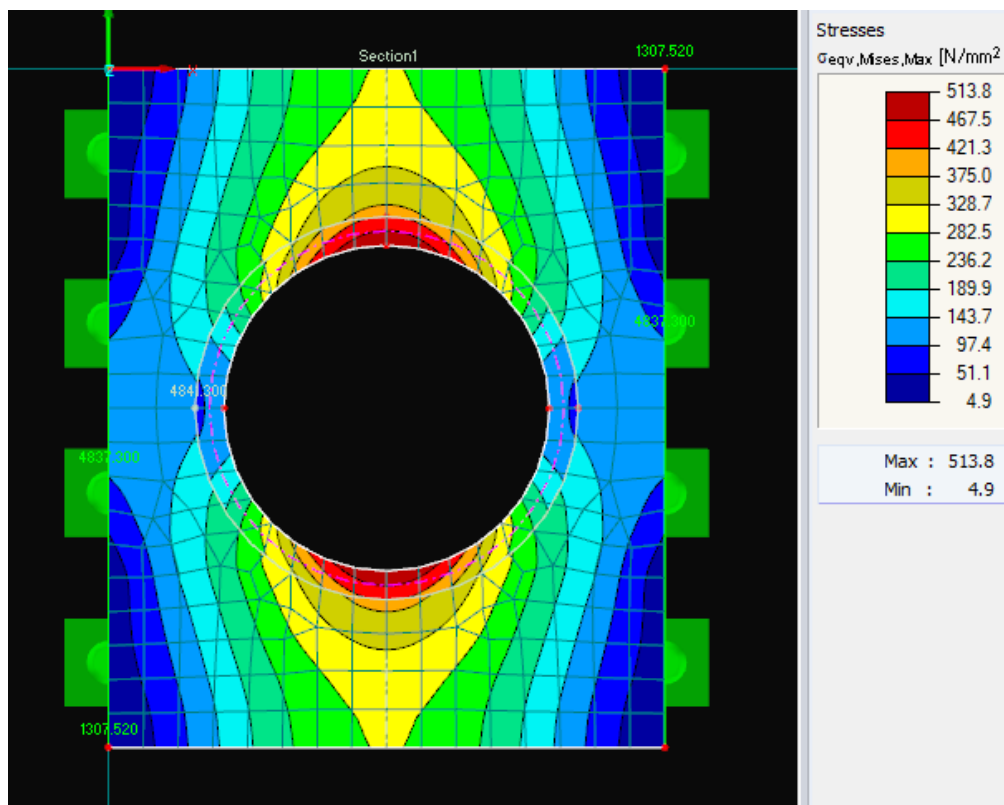
### 5.2.2 Ankkurilevyn rakenneanalyysin tulokset

Ankkurilevyn mitoituksessa tarkastettiin levyn taipuma sekä jännitysten suuruus ja jakautuminen levyssä. Kuvasta 15 voidaan nähdä, että mallin mukaan  $4\,841,3\text{ kN/m}$  kuormituksella  $80\text{ mm}$  paksu ankkurilevy taipui suurimmillaan  $0,2\text{ mm}$ . Levyn mittakaava on aika pieni, joten sille ei ole asetettu minkäänlaisia taipumarajoja. Taipumaa oli kuitenkin syytä tarkastella rakenteen stabiliteetin mukaan. Mikäli ankkurilevy pääsisi taipumaan liikaa kuormituksen vaikutuksesta, aiheuttaisi se poikittaista vetoa ankkurilevyn sivuilla oleviin poskilevyjen yläpäihin, mikä todennäköisesti johtaisi rakenteen stabiliteetin menetykseen.  $0,2\text{ mm}$ :n taipuma on kuitenkin hyvin marginaalinen ja täysin hyväksyttävä. Näin pienen taipuman merkitys kallioankkureiden jännityksiin on myös hyvin vähäinen sillä ankkurit ovat yleensä useita metrejä pitkiä.

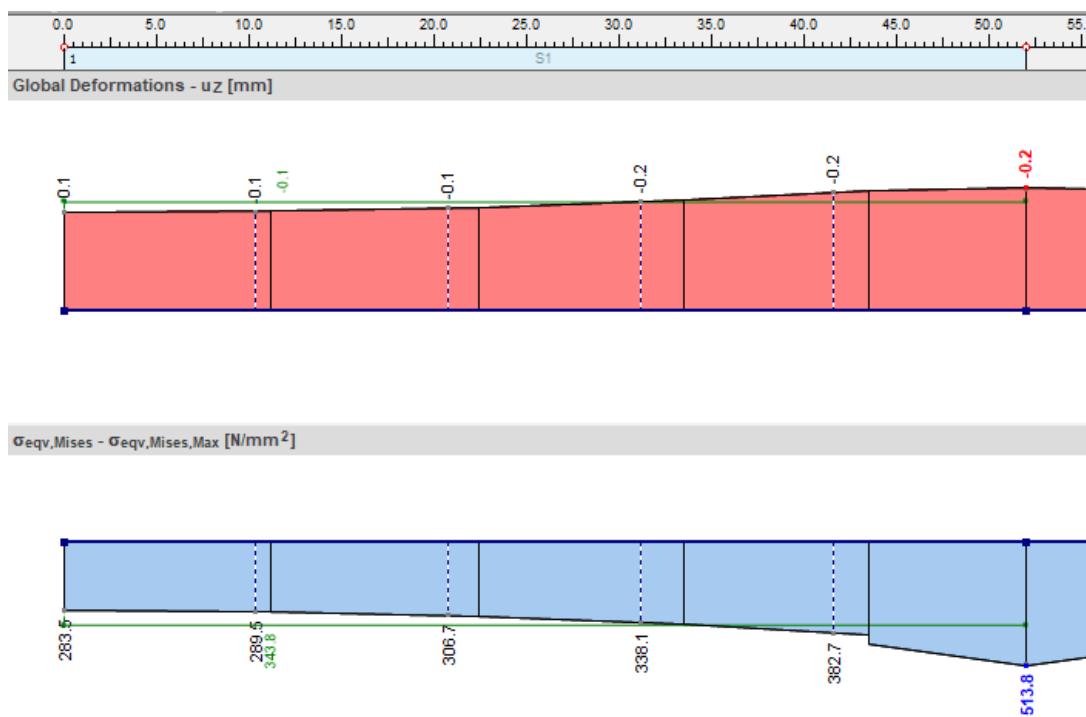


KUVA 15. Ankkurilevyn taipuma käytettäessä  $61\text{ mm}$  paksua teräslevyä (Torvinen 2022)

Sivulla 37 olevista kuvista 16 ja 17 voidaan tarkastella jännitysten jakautumista ankkurilevyssä. Kuvassa 16 jännitykset olivat suurimmillaan  $513,8\text{ N/mm}^2$  hyvin pienellä punaisella alueella levyn jännevälin keskellä reiän ylä- ja alapuolella reiän reunoilla. Kun tarkasteltiin levyn ehjän poikkileikkauksen jännityksiä reiän ylä- tai alapuolella, voitiin tulosten (kuva 17) perusteella havaita, että keskimääräinen jännitys ehjässä poikkileikkauksessa on  $343,8\text{ N/mm}^2$ , kun sallittu enimmäisjännitys on  $355\text{ N/mm}^2$ .

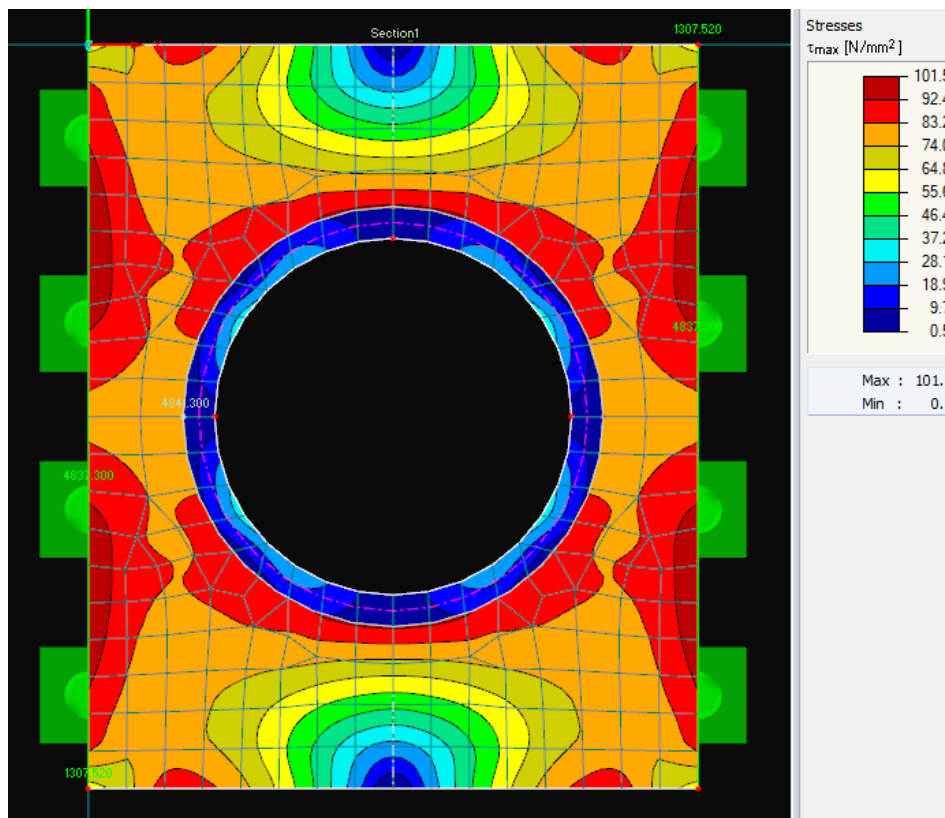


KUVA 16. Pääjännitysten jakautuminen ankkurilevyssä (Torvinen 2022)



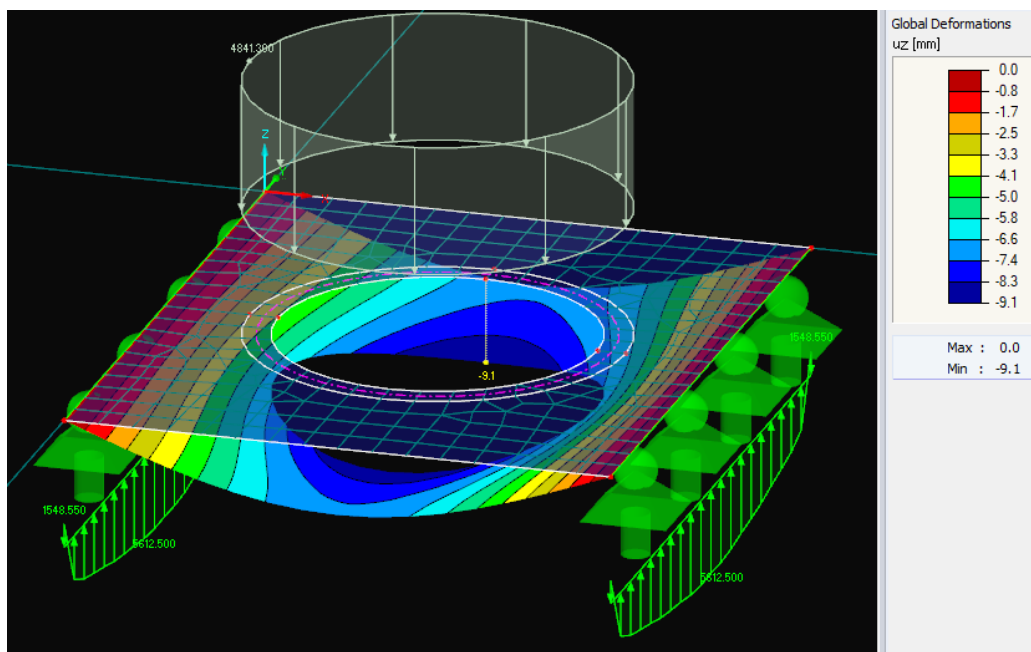
KUVA 17. Ehjän poikkileikkauksen jännitysten jakauma ja keskiarvo (Torvinen 2022)

Kuvassa 18 on esitetty leikkausjännitysten jakautuminen ankkurilevyssä. Tulosten perusteella voitiin todeta levyn leikkausjännitysten olevan suurimmillaan  $101,5 \text{ N/mm}^2$ . Laskelmien mukaan teräslevyn murtokestävyys on  $470 \text{ N/mm}^2$ , joten levy kestää hyvin ankkurista aiheutuvat rasitukset leikkautumatta.



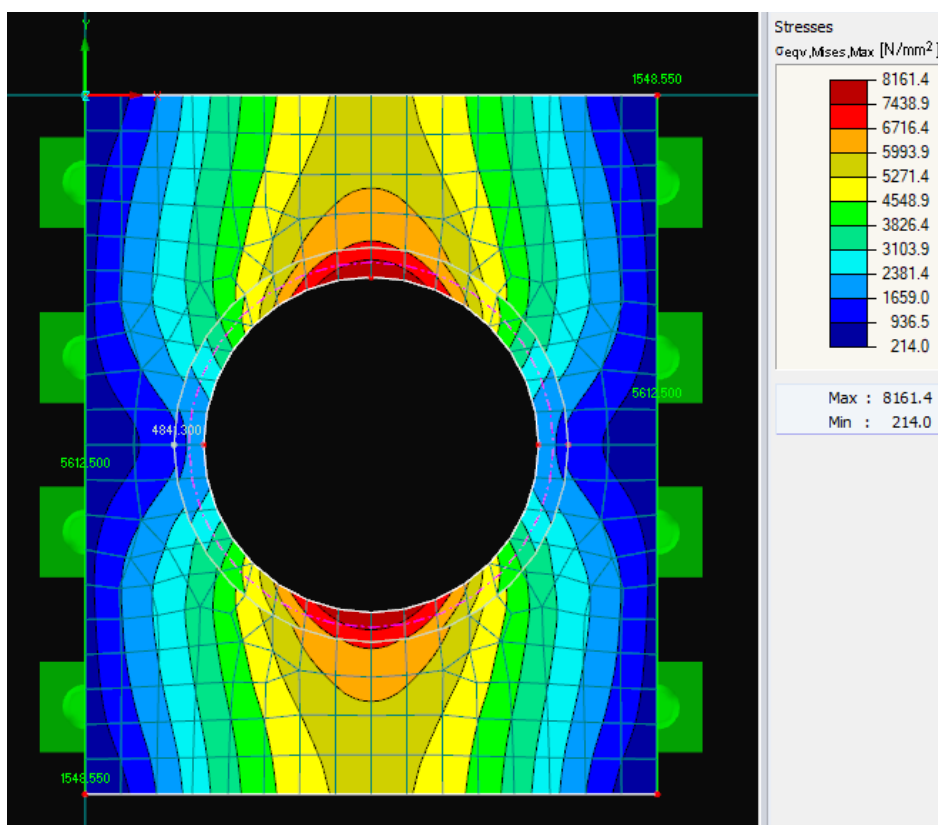
KUVA 18. Leikkausjännitysten jakautuminen ankkurilevyssä (Torvinen 2022)

Vertailun vuoksi toinen rakenneanalyysi toteutettiin myös ohuemmalle ankkurilevyllä. Levyn geometria oli muuten sama kuin 80 mm paksussa levyssä, mutta tähän levyn paksuudeksi laitettiin 19 mm, joka laskelmien mukaan olisi levyn paksuus, jos se määriteltäisiin pelkästään lävistyskestävyyden mukaan. Kuvasta 20 voidaan havaita, että taipuma 19 mm paksulla levyllä oli yli 40-kertainen verrattuna levyyn, joka oli mitoitettu taipustuskestävyyden mukaan. Kun levyn leveys oli 164 mm ja taipuma 9,1 mm, tarkoitti se, että taipuma oli  $1/18$  levyn leveyteen nähden. Tästä voitiin päätellä, että mikäli levy pääsisi taipumaan tässä mittakaavassa, johtaisi se konsolirakenteen stabiiliteetin menetykseen. Näin ollen tämän perusteella voitiin todeta, että 9,1 mm:n taipuma levyssä ei ole hyväksyttävä.

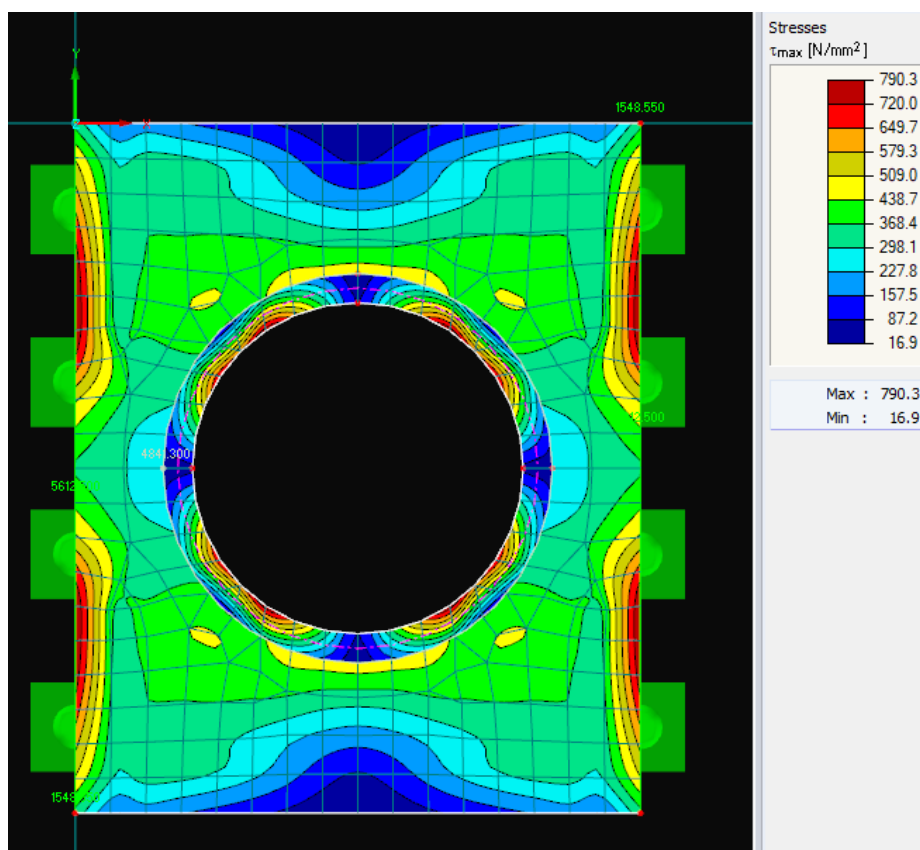


KUVA 19. Ankkurilevyn taipuma 19 mm paksulla teräslevyllä (Torvinen 2022)

Kuvissa 21 ja 22 on esitetty jännitysten jakautuminen 19 mm paksussa ankkurilevyssä. Tuloksista voitiin havaita, että ohuemmallalla levyllä pääjännitykset sekä leikkausjännitykset olivat moninkertaiset verrattuna paksumman levyn jännityksiin.



KUVA 20. Pääjännitysten jakautuminen 19 mm paksussa ankkurilevyssä (Torvinen 2022)

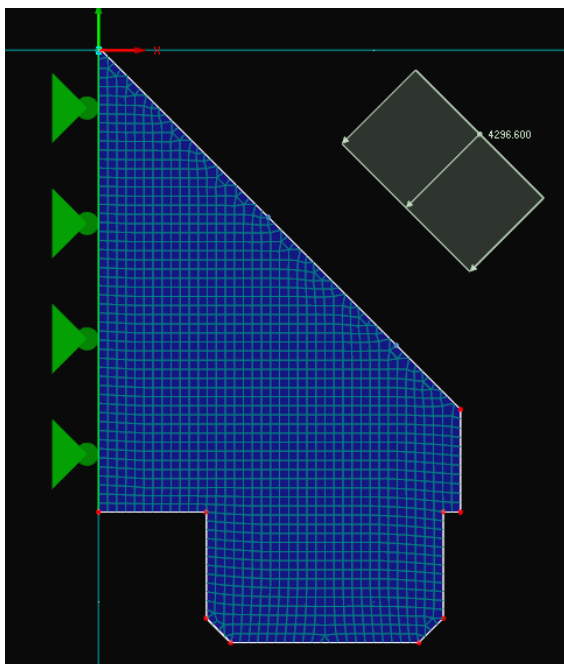


KUVA 21. Leikkausjännitysten jakautuminen 19 mm paksussa ankkurilevyssä (Torvinen 2022)

### 5.3 Poskilevyn rakenneanalyysi

#### 5.3.1 Poskilevyn mallinnus

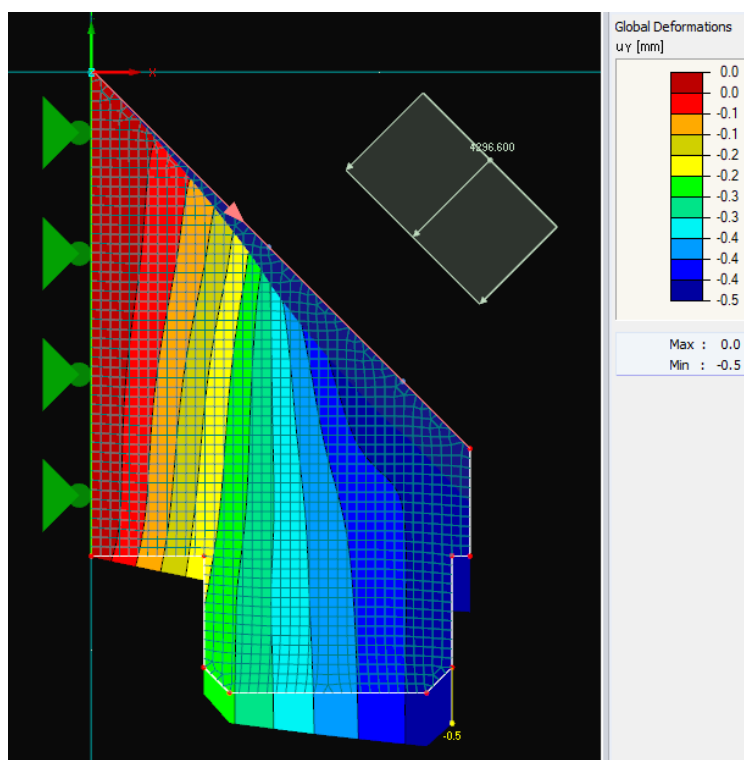
Poskilevy mallinnettiin samalla menetelmällä, dwg-viivapiirroksen avulla, kuin ankkurilevykin. Varsinkin tässä tapauksessa dwg-kuvasta oli suuri hyöty, sillä kuten kuvasta 23 nähdään, levyn geometria oli moniulotteisempi. Poskilevyn mitoittava nurjahduskuorma yhdelle poskilevyille oli laskelmien mukaan 859,32 kN. Kuormitus vaikuttaa poskilevyn ankkurilevyn korkeuden 200 mm pituisella alueella, jolloin metrikuormaksi saatiin 4 296,60 kN/m. Poskilevy kiinnittyy pystysuuntaiselta reunalta tukiseinän selkään jäykästi kahdelta puolelta hitsaamalla. Myös tuet mallinnettiin jäykäksi.



KUVA 22. Poskilevyn rakennemalli Rfem-ohjelmistolla tehtynä (Torvinen 2022)

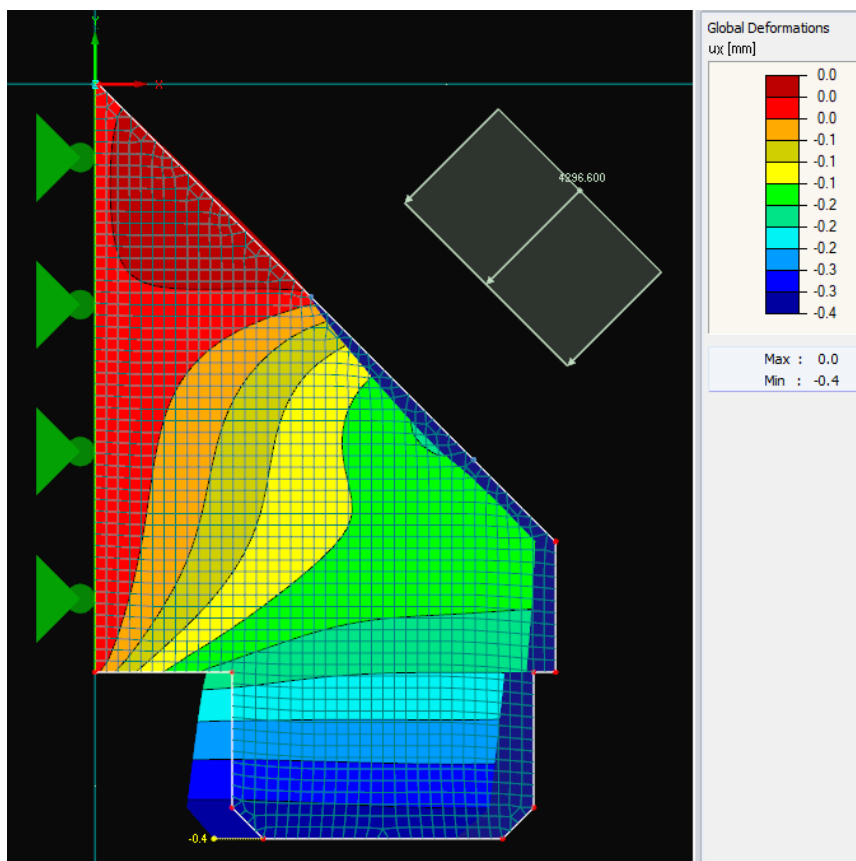
### 5.3.2 Poskilevyn rakenneanalyysin tulokset

Poskilevyn geometria oli laskelmissa mitoitettu pienimmän jäykkyyden suuntaisen taivutusnurjahduksen mukaan. Näin ollen olettamus oli, että levy ei pääse nurjahtamaan z-akselin suuntaan. Tuloksista voitiin kuitenkin tarkastella levyn x- ja y-akselin suuntaisia siirtymiä. Poskilevyn tuloksia tarkastellessa havaittiin levyn siirtymien olevan hyvin maltilliset. Kuvasta 24 nähdään y-akselin suuntaisen siirtymän olevan 0,5 mm ja kuvasta 25 x-akselin suuntaisen siirtymän olevan 0,4 mm.



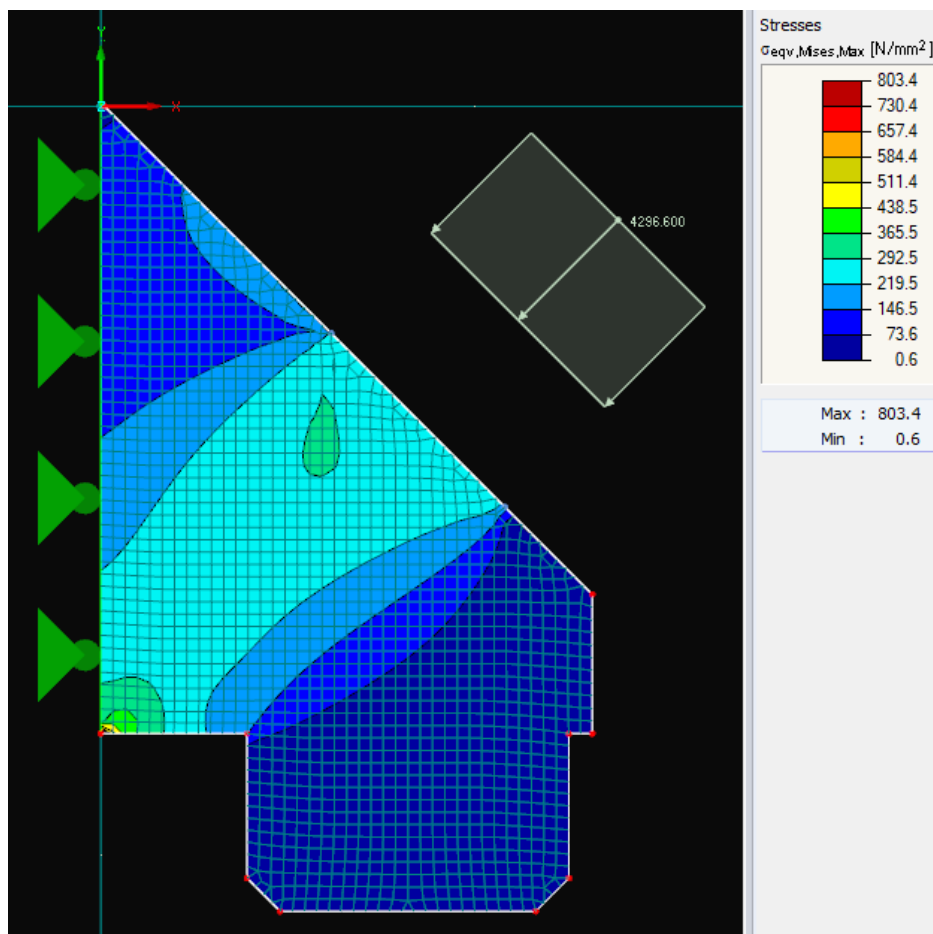
KUVA 23. Poskilevyn pystysuuntainen siirtymä kuormituksen vaikutuksesta (Torvinen 2022)





KUVA 24. Poskilevyn vaakasuuntainen siirtymä kuormituksen vaikutuksesta (Torvinen 2022)

Suurimmat jännitykset poskilevyssä kohdistuivat oletetun mukaisesti levyn ankkurin suuntaisesti ankkurilevyn vaikutusalueella. Kuvasta 25 voidaan todeta, että poskilevyn alanurkkaan, levyn epäjätkävyys kohtaan kohdistui mallin mukaan huomattavan suuret jännitykset. Tämä on kuitenkin hyvin tyypillistä, kun rakennetta tarkastellaan elementtimenetelmällä. Kun nurkkapisteen korkeat jännitykset jätettiin huomioimatta, todettiin jännitysten olevan oletetun mukaiset. Jännitykset pysyivät levyssä teräksen myötörajan  $355 \text{ N/mm}^2$  alapuolella.



KUVA 25. Jännitysten jakautuminen poskilevyssä (Torvinen 2022)

## 6 POHDINTA JA TULOKSET

Opinnäytetyön ensisijaisena tavoitteena oli perehtyä normeissa ja ohjeissa esitettyihin teräsrakenteiden tukiseinien rakenneosien mitoitusmenetelmiin ja -sääntöihin. Toissijaisena tavoitteena oli suunnitella toimeksiantajan käyttöön ennalta määritellyt tyyppirakenteet tukiseinäsuunnittelun tueksi. Tavoitteena oli yksinkertaistaa toimeksiantajan tukiseinäsuunnittelua tiettyjen detaljien osalta siten, että niiden rakenteiden toimivuudelle olisi osoitettu laskennallinen perusta sekä riittävä dokumentointi jäljempää käyttöä varten.

Opinnäytetyöprosessi yhdessä toimeksiantajan kanssa aloitettiin jo syksyllä 2020 opinnäytetyön aiheen pohdinnalla. Toimeksiantajan ehdotuksesta päädyttiin tähän aiheeseen, vaikka työn tekijällä ei siinä vaiheessa ollut lainkaan teräsrakenteiden opintoja vielä suoritettuna. Aihe vaikutti kuitenkin mielenkiintoiselta ja haastavalta ja sitä se ehdottomasti olikin. Opinnäytetyöprosessin aikana aihe hieman vielä tarkentui ja mitoittamista varten tehtiin myös rajauksia, sillä muuten työ olisi helposti laajentunut liian suureksi.

Keskeinen asia opinnäytetyön tekemisessä oli Mathcad-laskentapohjan tekeminen. Laskentaa varten aiheeseen perehdyttiin laajasti Eurokoodien, RIL:n oppaiden ja muiden lähdemateriaalien avulla. Eurokoodeilla oli keskeinen merkitys laskennassa ja konsolin mitoittamisessa tuli ottaa huomioon paitsi teräsrakenteiden suunnittelua koskevat eurokoodit myös geoteknistä suunnittelua ja ankkureiden mitoittamista koskevat eurokoodit. Opinnäytetyön tekeminen onkin opettanut työn tekijää hahmottamaan eurokoodien rakenteen ja merkityksen suunnittelussa. Laskennan työstäminen vei suurimman osan työskentelyajasta, sillä tavoitteena oli saada laskennasta sellainen, että siinä olisi huomioitu mahdollisimman hyvin kaikki ilmiöt, joita rakenteen kestävyys liittyy. Ilmiöiden ymmärtäminen ja määrittäminen oli opettavaista, mutta haastavaa, sillä teräsrakenteiden mitoittaminen ei ollut työn tekijän vahvinta osaamista. Laskentaa muokattiin moneen otteeseen, jotta se saatiin mahdollisimman tarkaksi ja todenmukaiseksi. Laskentaan kirjattiin myös mahdollisimman tarkasti perustelut tehdyille laskenta ratkaisuille. Laskenta oli myös perusta FEM-mallille sekä tyyppiirustuksille, joten se piti saada valmiiksi ennen kuin FEM-malleja päästiin tekemään.

Laskentaan käytetty aika osoittautui myös haasteeksi prosessin edetessä. Laskentaa ja tyyppiirustuksia työstettiin yhtä aikaa, mutta FEM-mallit tehtiin vasta sen jälkeen, kun laskenta oli saatu siihen vaiheeseen, että tulosten voitiin arvella olevan luotettavat. Mallien tekeminen oli loppujen lopuksi melko yksinkertaista, vaikka Rfem olikin työn tekijälle ennestään täysin tuntematon ohjelma. Toimeksiantajan ohjaajan DI Olli Aspin ohjauksella mallien tekeminen ja tulosten analysointi sujui kuitenkin tiukassa aikataulussa nopeasti. Mallintamalla saadut tulokset myös vahvistivat, että Mathcad-laskennalla mitoitettujen rakenteiden toimivat kuormituksen vaikutuksesta niin kuin niiden oletettiin toimivan. Rakenteiden mitat olivat myös vastaavat kuin mitä konsolirakenteessa tyyppillisesti käytetään. Mikäli aikaa olisi ollut enemmän, olisi ollut mielenkiintoista myös tarkastella 4-punoksiselle ankkurille mitoitettujen konsolin osat, joten mikäli Mathcad-tulosten luotettavuutta halutaan vielä tarkastella, voisi FEM-analyysin tehdä myös kyseisille rakenneosille.

Tässä opinnäytetyössä konsolirakenne rajattiin yksinkertaiseen rakenteeseen, johon kuului ankkurilevy, joka oli tuettu kahdella poskilevyllä. Tuloksista voidaan havaita, että 7-punoksisen ankkurin

voimilla ankkurilevyn paksuus tuli laskennallisesti melko paksuksi verrattuna poskilevyihin. Rakenteen toteutus on yksinkertaisempaa, mitä vähemmän osia rakenteeseen kuuluu mutta taloudellisesti tilannetta voisi kuitenkin vielä tarkastella. Jatkokehityksenä tälle työlle voisikin tutkia, kuinka paljon ankkurilevyn paksuutta saataisiin pienennettyä, mikäli poskilevyjen lisäksi voimat siirtyisivät ankkurilevyltä poskilevyjen väliin asennettaviin lisälevyihin. Lisälevyt tukisivat myös poskilevyjä nurjahdusta vastaan, jolloin myös poskilevyjen paksuutta voisi mahdollisesti saada pienemmäksi. Tässä yhteydessä voisi tarkastella myös kumpi rakenne, kahden poskilevyn vai kahden poskilevyn ja lisälevyjen konsolirakenne olisi taloudellisesti edullisempi ottaen huomioon materiaalikustannusten lisäksi työn toteutukseen menevän ajan. Lisäksi rakenteesta voisi toteuttaa kokonaisen mallin, jossa samaan malliin on mallinnettu sekä ankkurilevy ja poskilevyt sekä niiden liitokset. Tällä tavoin pystyttäisiin tarkastelemaan koko rakenteen varmuutta stabiliteetin menetyksen suhteen.

Opinnäytetyön tekeminen opetti työn tekijää valtavasti. Prosessi oli pitkä, välillä se sujui hitaammin ja välillä nopeammin. Suurin haaste aiheeseen liittyen oli ensinnäkin tutustua siihen, millainen rakenne ankkurikonsoli on, määrittää mitkä kaikki asiat vaikuttavat konsolirakenteen mitoittamiseen ja mitä kaikkea siinä tuli ottaa huomioon. Haastetta työn tekemiseen toi myös vähäinen lähdemateriaali. Konsolirakenne on tukiseinäsuunnittelussa pieni, mutta tärkeä osa, ja aiheeseen tutustussa kävi ilmi, että sen mitoittamisesta ei ole juurikaan aiempia tutkimuksia. Hyvin monessa lähteessä todettiin myös, että rakenteen mitoittaminen käsin laskennalla on haastavaa ja tuloksista tulee helposti epätaloudelliset. Tästä syystä mitoittamiseen suositeltiin yleisesti FEM-laskentaa. Mielenkiintoiseksi rakenteen mitoittamisen teki myös se, että mitoittaminen toteutettiin ikään kuin takaperin, ilman olemassa olevaa tukiseinä-laskennasta saatavaa suunnittelukuormaa. Laskennan jäsentely vaati näin ollen tarkkaa pohdintaa.

Haasteita oli monessa vaiheessa opinnäytetyöprosessin aikana, mutta kaikista haasteista selvittiin ja työ saatiin lopulta onnistuneesti päätökseen. Alkuperäinen ajatus oli, että opinnäytetyön aikana olisi saatu mitoitettua myös sisäpuolisen tuennan jäykistetty HEB-palkin liitos, mutta aikataulusyistä työ rajattiin koskemaan ulkopuolista tuentaa. Työn aikana saavutettiin muuten kaikki työlle asetetut tavoitteet. Toimeksiantajan käyttöön saatiin laskentapohja, jonka tulosten oikeellisuus on tarkasteltu FEM-analyysillä. Lisäksi toteutettiin tyyppiinustukset 4- ja 7-punoksisille ankkureille mitoitetuille konsoleille, joiden pohjalta voidaan jatkokehittää työkalut tukiseinäsuunnittelun tueksi.

## LÄHTEET

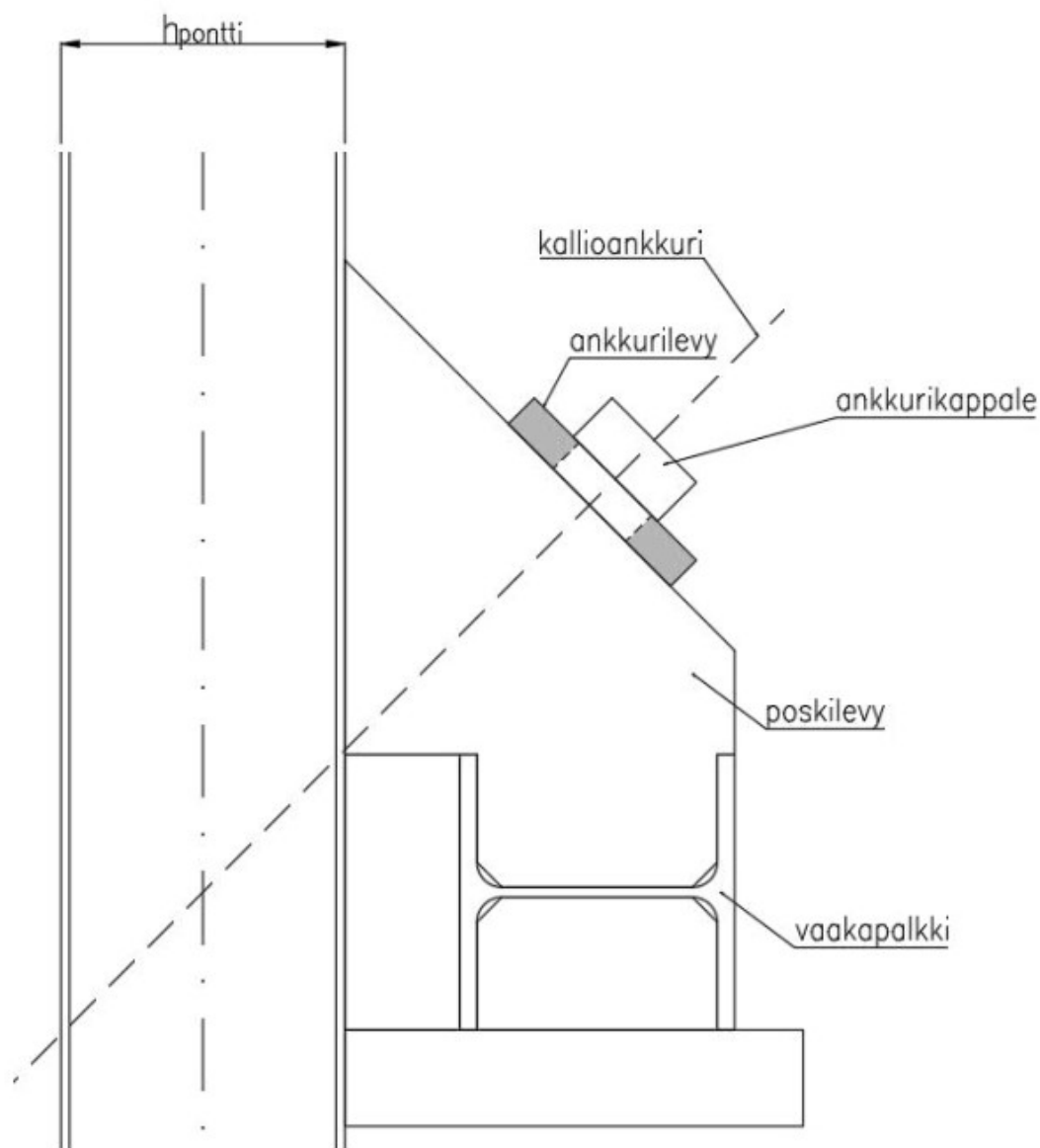
- Dywidag 2021. Technical Specification for permanent Strand Anchor System. Esite. <https://dywidag.com/downloads?keyword=strand+anchor>. Viitattu 25.3.2022.
- EN1537:2013: Pohjarakennustyöt. Maa- ja kallioankkurit 2013. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/1026870.html.stx>. Viitattu 25.3.2022.
- EN1993-1-1: Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt 2005. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/9344.html.stx>. Viitattu 18.3.2022.
- EN1993-1-8: Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1–8: Liitosten mitoitus 2005. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/9359.html.stx>. Viitattu 24.3.2022.
- EN1993-5: Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 5: Paalut 2007. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/137096.html.stx>. Viitattu 25.3.2022.
- Eurocodes 2021. Verkojulkaisu. <https://www.eurocodes.fi/>. Viitattu 25.4.2022.
- Jääskeläinen, Raimo 2009. Pohjarakennuksen perusteet. Tampere: Tammertekniikka.
- MaaRYL 2021 Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset. Talonrakennuksen maatyöt 2021. Helsinki: Rakennustieto Oy, Rakennustietosäätiö RTS. [https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/MaaRYL/2021\\_1/](https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/MaaRYL/2021_1/). Viitattu 26.1.2022
- Raiskinmäki, Matti 2018. Tuetun teräsponsittiseinän rakennetekninen suunnittelu. Diplomityö. Rakennetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma, rakennesuunnittelu. Tampereen teknillinen yliopisto. <https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/26841> Viitattu 28.1.2022
- RIL 207-2017. Geotekninen suunnittelu. Eurokoodin EN 1997-1 suunnitteluohje 2017. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- RIL 271-2019. Teräsrakenteiden tukiseinien rakenteellinen mitoitus 2019. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- RIL 263-2014. Kaivanto-ohje 2014. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry.
- Teräsrakenneyhdistys ry 2020. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus: Eurocode 3- oppikirja. Uudistettu painos. Helsinki: Teräsrakenneyhdistys ry.
- Torvinen, Johanna 2020. Sylinterin muotoinen ankkurikappale. Valokuva. 23.6.2020. Kuopio: Johanna Torvinen kokoelmat.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Pohjarakenteiden suunnittelu. Helsinki: Ympäristöministeriö. <https://www.eurocodes.fi/ymn-kansalliset-liitteet>. Viitattu 24.3.2022.

## LIITE 1: ANKKURIKONSOLIN MITOITUSLASKELMAT MATHCAD-OHJELMISTOLLA

**ANKKURIKONSOLIN RAKENNEMITOITUS 7 PUNOKSISELLE ANKKURILLE**

Ankkurikonsolin rakenteiden mitoituksessa tulee ottaa huomioon ankkurikonsolin poskilevyt ja ankkurilevy sekä muut varusteluosat. (RIL 217-2019. s.91.) Ankkurikonsolin osat mitoitetaan tukiseinälaskennasta saadun suunnittelukuorma  $F$ :n perusteella. Koska tässä laskennassa suunnittelukuormaa ei ole ennalta määritelty, määritellään se ankkuripunosten suurimman sallitun koevetovoiman mukaan.

Ankkurikonsolin rakenneosia mitoittaessa on poskilevyjen mittasuhteet taloudellista valita siten, että ankkuroinnista ei aiheudu vaakapalkille vääntörasitusta.

**Ankkurikonsolin rakenne**

## Ankkuripunosten suurin sallittu koivetovoima

### Lähtötiedot punoksille

St 1660/1860      *Teräslaatu*  
Y1860                *Standardi*

$f_{uk} := 1860 \frac{N}{mm^2}$       *Teräksen vetomurtokestävyys*

$f_{t0,1k} := 1600 \frac{N}{mm^2}$       *Teräksen myötöraja 0.1% venymäpituudella*

$A_{pp} := 150 \text{ mm}^2$       *Teräspunoksen pinta-ala*

$n := 7$                       *Punosten lukumäärä*

Teräslaatu	Teräslaatua koskeva standardi	$f_{t0,1k}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{t0,2k}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{tk}$ N/mm <sup>2</sup>	
BSt 500 S	B500B acc. to EN 10080 + EN1993-1-1:2005 + AC:2008 Annex C	-	500	550	Vahviketeräs, jossa on köysikierre
S 555/700	-	-	555	700	Terästanko, jossa on köysikierre
S 670/800	-	-	670	800	Terästanko, jossa on köysikierre
St 835/1030	Y1030 acc. to FprEN 101038	835	-	1030	Esijännitettävät teräset, joissa on köysikierre
St 950/1050	Y1050 acc. to FprEN 101038	950	-	1050	
St 1080/1230	Y1230 acc. to FprEN 101038	1080	-	1230	
St 1570/1770	Y1770 acc. to FprEN 101038	1500	-	1770	Punokset
St 1660/1860	Y1860 acc. to FprEN 101038	1600	-	1860	

$f_{tk}$ =vetomurtokestävyys  $f_{uk}$

$f_{t0,1k}$  ja  $f_{t0,2k}$  ovat molemmat teräksen myötörajoja 0,1% ja 0,2% venymäpituudella

Määritetään yhden ankkuripunoksen vetomurtokestävyys ja myötöraja

### Ankkurin vetomurtokestävyys

$$P_{tk} := f_{uk} \cdot A_{pp}$$

$$P_{tk} = 279 \text{ kN}$$

### Ankkurin myötöraja

$$P_{t0.1k} := f_{t0.1k} \cdot A_{pp}$$

$$P_{t0.1k} = 240 \text{ kN}$$

**Koetovoima yhdelle punokselle määritetään valitsemalla pienempi arvo seuraavista:**

$$F_{koe1.max} := 0.80 \cdot P_{tk} \quad \text{tai} \quad F_{koe2.max} := 0.95 \cdot P_{t0.1k}$$

$$F_{koe1.max} = 223.2 \text{ kN}$$

$$F_{koe2.max} = 228 \text{ kN}$$

$$F_{koe} := \min(F_{koe1.max}, F_{koe2.max}) = 223.2 \text{ kN}$$

**Koetovoima n määrälle punoksia**

$$F_{koe.n} := n \cdot F_{koe}$$

$$F_{koe.n} = 1562.4 \text{ kN}$$

**Konsolirakenteen mitoittava voima  $F_{ed}$  saadaan kertomalla suurin sallittu koetovoima osavarmuuskertoimella  $\gamma_f$**

$$\gamma_f := 1.1$$

$$F_{ed} := F_{koe.n} \cdot \gamma_f = 1718.64 \text{ kN}$$



## Suunnittelukuorma n määrälle punoksia

Ankkurit mitoitetaan tyypillisesti siten, että tukiseinälaskennasta saatuun ankkurin mitoitusarvoon  $F$  kohdistetaan ankkureiden kestävyys osavarmuusluku  $\gamma_{a,t}$ , jolloin saadaan määritettyä ankkurilta vaadittu koevetovoima työnaikaiselle tai pysyville ankkurille. (RIL 217-2019, s. 95.)

Tässä laskelmassa keskitytään ainoastaan työnaikaisiin tukiseiniin. Tukiseinä on työnaikainen, kun sen suunniteltu käyttöikä on  $\leq 2$  vuotta.

Kestävyyden osavarmuusluvut tilapäisille ja pysyville ankkureille

Kestävyys	Merkintä	Sarja R2
Tilapäinen	$\gamma_{a,t}$	1,25
Pysyvä	$\gamma_{a,p}$	1,5

$$\gamma_{a,t} := 1.25$$

Koevetovoiman kaavasta saadaan ratkaistua suunnittelukuorma

$$F_{koe} = \gamma_{a,t} \cdot F \quad (\text{RIL 217-2019, s.95})$$

$$F := \frac{F_{koe,n}}{\gamma_{a,t}} = 1249.92 \text{ kN} \quad = \text{suurin sallittu tukiseinälaskennan suunnittelukuorma, jolla konsolirakennetta voidaan käyttää}$$

## Ankkurilevyn mitoittaminen

Ankkurilevy on ankkurikonsolin osa, joka on yleensä kahdelta sivulta nivelellisesti tuettuna sivu- eli poskilevyillä. Suurilla ankkurivoimilla levy voidaan tukea neljältä sivulta, jolloin tukilevyt asetetaan poskilevyjen väliin ankkurilevyn alapuolelle. Tässä laskelmassa ankkurilevy mitoitetaan kahdelta sivulta tuettuna. Vaikka ankkurilevy hitsataan poskilevyihin kiinni kiinnitysrakenteen ulkopuolisilta sivuilta, voidaan liitos olettaa korkeintaan osittain jäykäksi johtuen ankkurilevyn jäykkyyden suhteesta siihen liittyviin levyihin. Näin ollen mitoitus tehdään ajatellen liitoksen olevan nivelellinen.

Ankkurilta tuleva kuorma siirtyy ankkurikappaleen välityksellä ankkurilevyssä olevan reiän reunalle. Ankkurilevyn paksuuden mitoittaa usein levyn taivutusmomenttikestävyys, mutta mitoittamisessa on tarkasteltava myös ankkurikappaleen mahdollinen lävistyminen ankkurilevystä. Ankkurikappale on punosankkurin osa, johon punokset kiilataan. Osa on halkaisijaltaan levyn reikää isompi, ja näin ollen kappale siirtää kuormat ankkurilta ankkurilevyn reiän reunalle.

## Lähtötiedot ankkurilevyille

S355

Teräslaatu (EN10025-2)

$$f_u := 470 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{kun } 40\text{mm} < t \leq 80\text{mm})$$

Teräksen murtokestävyys

$$f_y := 335 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{kun } 40\text{mm} < t \leq 80\text{mm})$$

Teräksen myötöraja

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

Teräksen osavarmuusluku

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Valitaan teräksen myötöraja ja vetomurtokestävyys alla olevasta taulukosta standardin EN10025-2 mukaan

TAULUKKO 1. Kuumavalssattujen rakenneterästen myötörajan  $f_y$  ja vetomurtolujuuden  $f_u$  nimellisarvot (EN1993-1-1: Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt, 2005).

Standardi ja teräslaji	Nimellispaksuus t [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
<b>EN 10025-3</b>				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
<b>EN 10025-4</b>				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
<b>EN 10025-5</b>				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
<b>EN 10025-6</b>				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

## Määritetään ankkurilevyn mitat

$$A_{al} := 200 \text{ mm}$$

Ankkurilevyn leveys

$$B_{al} := 200 \text{ mm}$$

Ankkurilevyn korkeus

$$D_{ak} := 130 \text{ mm} \quad (\text{Valmistajan ilmoittaman mukaan})$$

Ankkurikappaleen halkaisija

$$D_{al} := 96 \text{ mm} \quad (\text{ankkuripunosten mukaan})$$

Ankkurin reiän halkaisija

$$t_{pl} := 16 \text{ mm}$$

Poskilevyn paksuus

$$A_{ur} := 10 \text{ mm} + 0.5 \cdot t_{pl} = 18 \text{ mm}$$

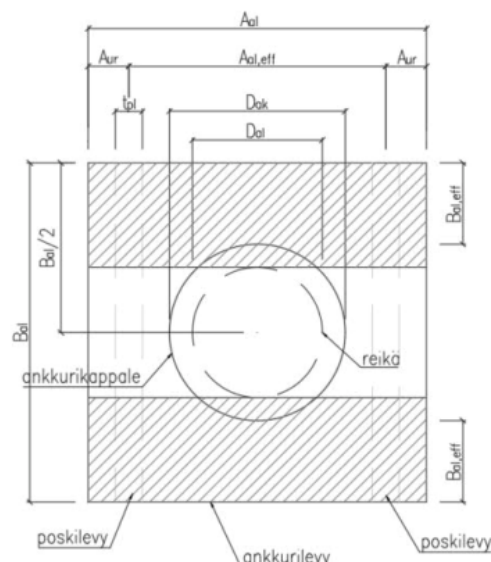
Ankkurilevyn ulkoreuna

Jänneväli leveyssuunnassa

$$A_{al,eff} := A_{al} - 2 \cdot A_{ur} = 164 \text{ mm}$$

Ehjän poikkileikkauksen leveys pituussuunnassa

$$B_{al,eff} := \frac{B_{al} - D_{al}}{2} = 52 \text{ mm}$$



### Ankkurilevyn taivutusmomenttikestävyys

Ankkurilevyn taivutusmomenttikestävyyden määrittää levyn poikkileikkaus jännevälin keskellä reiän molemmin puolin,  $B_{al,eff}$ . Matti Raiskinmäki on vuonna 2018 valmistuneessa diplomityössään *Tuetun teräsponttiseinän rakennetekninen suunnittelu* johtanut kaavan ankkurilevyn vähimmäispaksuudelle. Kaava perustuu standardin SFS-EN 1993-1-1 kimmoteorian mukaiseen taivutusmomenttikestävyyteen.

$M_{Ed,al}$	=	ankkurilevyn taivutusmomenttikestävyyden mitoitusarvo
$M_{el,Rd,al}$	=	ankkurilevyn kimmoteorian mukainen taivutusmomenttikestävyys
$W_{el,al}$	=	ankkurilevyn ehjän poikkileikkauksen kimmoteorian mukainen taivutusvastus
$B_{al,eff}$	=	reiän ulkopuolisen poikkileikkauksen leveys
$t_{al}$	=	ankkurilevyn paksuus
$F_{ed}$	=	ankkurilevyn mitoitusvoima
$D_{al}$	=	ankkurilevyn reiän halkaisija
$D_{ak}$	=	ankkurikappaleen halkaisija

Ankkurilevyn kimmoteorian mukainen taivutusmomenttikestävyys tulee olla suurempi tai yhtä suuri kuin ankkurilevyn taivutusmomentti

$$M_{Ed,al} \leq M_{el,Rd,al}$$

Ankkurilevyn taivutusmomentti

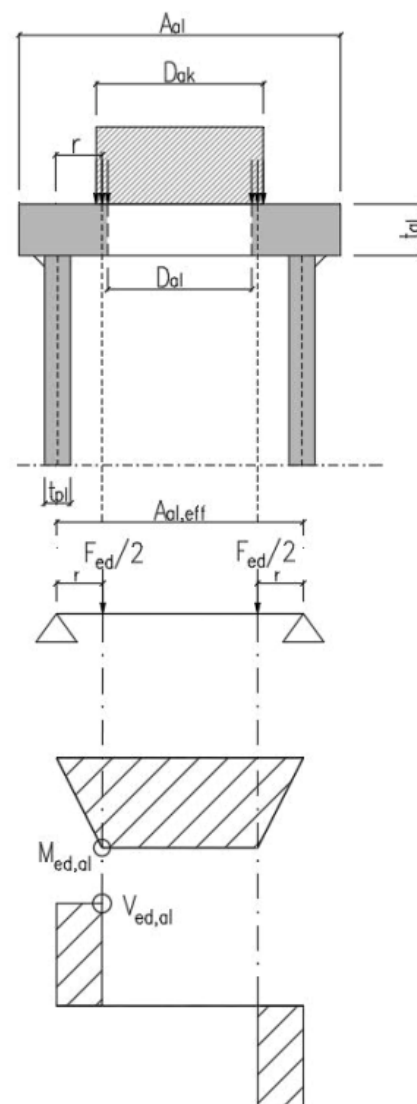
$$M_{Ed,al} = \frac{F_{ed}}{2} \cdot r$$

$$, \text{ jossa } r := \frac{A_{al,eff} - 0.75 \cdot \left( \frac{D_{ak} + D_{al}}{2} \right)}{2}$$

$$F_{ed} = 1718.64 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,al} = \frac{F_{ed}}{2} \cdot \left( A_{al,eff} - 0.75 \cdot \left( \frac{D_{ak} + D_{al}}{2} \right) \right)$$

$$M_{Ed,al} := \frac{F_{ed} \cdot (A_{al,eff} - 0.75 \cdot (0.5 \cdot D_{ak} + 0.5 \cdot D_{al}))}{4}$$



Kimmenteorian mukainen taivutusmomenttikestävyys  
(poikkileikkausluokka 3)

$$M_{el.Rd.al} = \frac{W_{el.al} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Ankkurilevyn ehjän poikkileikkauksen kimmenteorian mukainen taivutusvastus

$$W_{el.al} = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$W_{el.al} = \frac{2 B_{al,eff} \cdot t_{al}^2}{6}$$

Johdetaan yllä olevista kaavoista kaava ankkurilevyn paksuudelle taivutusmomenttikestävyysmukaan  $t_{al}$

$$M_{Ed.al} \leq M_{el.Rd.al}$$

$$\frac{F_{ed} \cdot (A_{al,eff} - 0.75 \cdot (0.5 \cdot D_{ak} + 0.5 \cdot D_{al}))}{4} = \frac{2 B_{al,eff} \cdot t_{al}^2}{6} \cdot f_y \cdot \gamma_{M0}$$

$$t_{al,1} := \sqrt{\frac{3 \cdot \gamma_{M0} \cdot F_{ed} \cdot (A_{al,eff} - 0.75 \cdot (0.5 \cdot D_{ak} + 0.5 \cdot D_{al}))}{2 \cdot f_y \cdot (B_{al} - D_{al})}}$$

$$t_{al,1} = 77 \text{ mm}$$

## Ankkurilevyn lävistyskestävyys

Ankkurilevyn mitoituksessa tulee tarkastella ankkurikappaleen lävistyminen ankkurilevystä. Ankkurikappale siirtää kuormat ankkurilta ankkurilevylle. Ankkurilevyn lävistymiskestävyyden laskemiseen voidaan käyttää ruuvin ja mutterin lävistämiskestävyyskaavaa.

$$B_{p.Rd.al} = 0.6 \cdot \pi \cdot D_{ak} \cdot t_{al} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

, jossa  $D_{ak} = 130 \text{ mm}$  = ankkurikappaleen halkaisija  
 $t_{al.2}$  = levyn paksuus lävistyskestävyydelle mitoitettuna

$$f_u = 470 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \text{levyn murtokestävyys} \quad (\text{kun } 40\text{mm} < t \leq 80\text{mm})$$

$$\gamma_{M2} = 1.25 = \text{liitoksissa käytettävä osavarmuusluku}$$

Mitoitusehdon mukaan ankkurilevyn lävistyskestävyyden  $B_{p.Rd.al}$  tulee olla yhtäsuuri tai suurempi kuin ankkurin koevetovoiman  $F_{ed}$ . Mitoitusehtoa käyttämällä saadaan lävistyskestävyyden kaavasta laskettua ankkurilevyn vaadittu minimi paksuus.

$$B_{p.Rd.al} \geq F_{ed}$$

$$F_{ed} \leq 0.6 \cdot \pi \cdot D_{ak} \cdot t_{al} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$t_{al.2} := \frac{F_{ed} \cdot \gamma_{M2}}{0.6 \cdot \pi \cdot D_{ak} \cdot f_u} = 18.7 \text{ mm}$$

Mitoitusehto<sub>1</sub>

$$t_{al} := \max(t_{al.1}, t_{al.2})$$

## Mitoittava levyn paksuus

$$t_{al} = 61 \text{ mm}$$

## Konsolin poskilevyn mitoitus

Ankkurikonsolin poskilevyt toimivat tavallisessa konsolirakenteessa puristettuina sauvoina. Ankkurikonsolin kannakelevy mitoitetaan nurjahdukselle silloin kun vaakapalkkirakenne sijaitsee kannakelevyn päällä, mutta periaatteessa kannakelevyihin kohdistuu samat voimat myös silloin kun ne toimivat poskilevyinä vaakapalkin päällä.

Sauvan stabiiliustarkasteluja varten se irrotetaan muuasta rakenteesta ja tarkastelu tehdään omana rakenteena. Jos rakenneanalyysi tehdään kimmoteorian mukaan, ei poikkileikkausluokilla ole pääsääntöisesti merkitystä.

### Lähtötiedot käytettävälle teräslaadulle

S355		<i>Teräslaatu</i>
$f_u := 510 \frac{N}{mm^2}$	(kun $t < 40mm$ )	<i>Teräksen murtokestävyys</i>
$f_y := 355 \frac{N}{mm^2}$		<i>Teräksen myötöraja</i>
$\gamma_{M1} := 1.0$		<i>Teräksen osavarmuusluku</i>
$E := 210000 \frac{N}{mm^2}$		<i>Kimmokerroin</i>

Poskilevyjä tulee konsolirakenteeseen 2 kappaletta joten nurjahduskuorma joka yhden poskilevyn tulee kestää on puolet konsolirakenteen mitoittavasta voimasta  $F_{ed}$

### **Nurjahduskuorma $N_{ed}$**

$$N_{ed} := \frac{F_{ed}}{2} = 859.32 \text{ kN}$$

Poskilevyn tulee täyttää mitoitusehto 1

$$N_{ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$, \text{ jossa } \begin{array}{l} N_{ed} = \text{Poskilevyn nurjahduskuorma} \\ N_{b,Rd} = \text{Poskilevyn nurjahduskestävyys} \end{array}$$

## Poskilevyn nurjahduskestävyyden mitoitusarvo $N_{b,Rd}$ lasketaan kaavalla

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad , \text{ kun sauvan poikkileikkaus kuuluu luokkaan 1, 2 tai 3}$$

, jossa	$\chi$	=	<i>nurjahduksen pienennystekijä</i>
	$A_{pl}$	=	<i>poskilevyn poikkileikkauksen pinta-ala</i>
	$f_y$	=	<i>teräksen myötöraja</i>
	$\gamma_{M1}$	=	<i>teräksen osavarmuusluku</i>

Pienennystekijän  $\chi$  suuruus riippuu määrävästä nurjahdusmuodosta ja on sauvan muunnetun hoikkuuden  $\lambda$  funktio.

$$\chi = \min\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}}, 1.0\right)$$

Muunnettu hoikkuus lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\lambda = \sqrt{\frac{f_y \cdot A_{pl}}{N_{cr}}} \quad , \text{ kun sauvan poikkileikkaus kuuluu luokkaan 1, 2 tai 3}$$

$N_{cr}$  on määrävään nurjahdusmuotoon liittyvä kimmoteorian mukainen nurjahduskuorma, joka lasketaan käyttäen sauvan bruttopoikkileikkausta.

### Taivutusnurjahdus

Taivutusnurjahdusta kutsutaan yleisesti Eulerin nurjahdukseksi. Taivutusnurjahduksessa sauva menettää kantokykynsä taipumalla pääakselinsa suhteen, jonka suuntainen taivutusjäykkyys on  $EI$ , missä  $E$  on *kimmokerroin* ja  $I$  on *jäyhyysmomentti*. Yleisessä tapauksessa taivutusnurjahdus on tarkastettava kummankin pääakselin suhteen, jolloin akseleita merkitään seuraavasti:

- suuremman jäykkyyden suunta, taivutus y-y akselin suhteen
- pienemmän jäykkyyden suunta, taivutus z-z akselin suhteen

Konsolirakenteen poskilevyn taivutusnurjahdus lasketaan pienemmän jäykkyyden eli z-z akselin suhteen

Kriittisen nurjahduskuorman  $N_{cr}$  suuruus nurjahduspituuden  $L_{cr}$  ja bruttoleikkauksen jäyhyysmomentin  $I$  funktiona on





$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot (E \cdot I)}{L_{cr}^2}$$

$$h := t_{pl} = 16 \text{ mm}$$

$$b := B_{al} = 200 \text{ mm}$$

$$A_{pl} := t_{pl} \cdot b$$

$$A_{pl} = 3200 \text{ mm}^2$$

Jäyhyysmomentti  $I$  lasketaan kaavalla

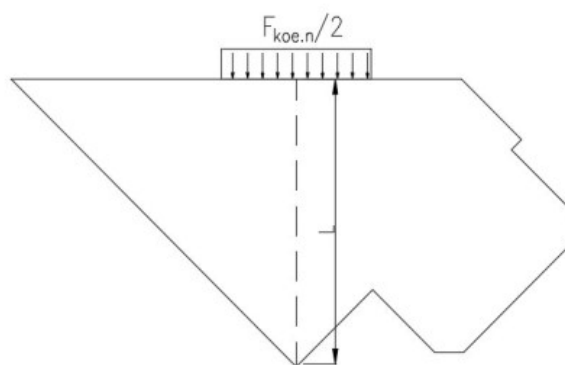
$$I := \frac{b \cdot h^3}{12} = (6.827 \cdot 10^4) \text{ mm}^4$$

Nurjahduspituus  $L_{cr}$  riippuu tarkasteltavaan taivutussuuntaan liittyvistä sauvan päiden voima- ja siirtymäreunaehdoista.

Eulerin nurjahdustapaukset

N:o	I	II	III	IV
Tuenta	jäykkä - vapaa	nivel - nivel	jäykkä - nivel	jäykkä - jäykkä
$L_n$	$2L$	$L$	$0,699L$	$0,5L$

$L$  = sauvan pituus  
 $L_n$  = nurjahduspituus



Konsolirakenteen poskilevyn alapää on jäykästi hitsaamalla tuettu molemmilta sivuilta ja yläpää ainoastaan ulkoreunasta hitsattu, joten nurjahduspituus  $L_{cr}$  lasketaan Eulerin nurjahdustapaus III mukaan, jolloin saadaan varmalla puolella oleva tulos.

$$L := 360 \text{ mm}$$

$$L_{cr} := 0.699 \cdot L = 251.64 \text{ mm}$$

Lasketaan kriittinen nurjahduskuorma

$$N_{cr} := \frac{\pi^2 \cdot (E \cdot I)}{L_{cr}^2} = 2234.4 \text{ kN}$$

Lasketaan muunnettu hoikkuus  $\lambda$

$$\lambda := \frac{f_y \cdot A_{pl}}{N_{cr}} = 0.508$$

**Määritetään pienennystekijä  $\chi$**

$$\chi = \min\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}}, 1.0\right)$$

, jossa  $\Phi = 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2)$

$$\alpha = 0.49$$

$$\Phi := 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2) = 0.705$$

$$\chi := \min\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}}, 1.0\right)$$

$$\chi = 0.838$$

**Lasketaan nurjahduskestävyyden mitoitusarvo**

$$N_{b.Rd} := \frac{\chi \cdot A_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b.Rd} = 952.3 \text{ kN}$$

Tarkistetaan mitoitusehto

$$N_{ed} \leq N_{b.Rd}$$

*Mitoitusehto*<sub>2</sub> = "OK!"

**Käyttöaste:**  $\frac{N_{ed}}{N_{b.Rd}} = 90.2\%$

## Tukiseinän selän leikkauskestävyys

Ankkurikonsolista kohdistuu tukiseinään rasituksia, jotka tulee ottaa mitoituksessa huomioon. Tukiseinän leikkauskestävyyttä laskettaessa tulee ensin määrittää ankkurin koevedosta poskilevyn kautta tukiseinään kohtisuoraan vaikuttava voima  $F_{ed,x}$ .

Ankkurin koevetovoima  $F_{ed}$  kohdistuu ponttiseinään  $45^\circ$  kulmassa ja se jakautuu kahdelle poskilevylle. Määritetään koevetovoiman  $F_{ed,x}$  ja  $F_{ed,y}$  suuntaiset voimat yhdelle poskilevylle.

$$F_{ed,x} := \frac{F_{ed}}{\sqrt{2}} = 607.6 \text{ kN}$$

$$F_{ed,y} := F_{ed,x} = 607.631 \text{ kN}$$

Kimmoteorian mukaisesti leikkauskestävyyden arvo todennetaan poikkileikkauksen suurimman leikkausjännityksen  $\tau_{ed}$  mukaan, jonka on toteutettava seuraava ehto:

$$\frac{\tau_{ed}}{f_y} \leq 1.0 \quad , \text{ jossa } \tau_{ed} = \frac{F_{ed,x}}{A_{pl.2}} \quad A_{pl.2} = \text{leikkautuvan poikkileikkauksen pinta-ala}$$

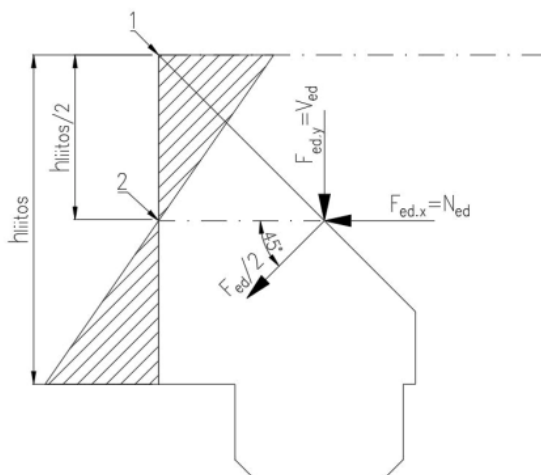
$$\frac{F_{ed,x}}{A_{pl.2}} \leq 1.0$$

$$\frac{F_{ed,x}}{A_{pl.2}} \leq 1.0$$

$$\frac{F_{ed,x}}{f_y} \leq 1.0$$

$$\frac{F_{ed,x}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \leq 1.0$$

Ankurivoima aiheuttaa liitoksen neutraaliakselin yläpuolelle vetoa ja alapuolelle puristusta alla olevan kaavion mukaisesti.



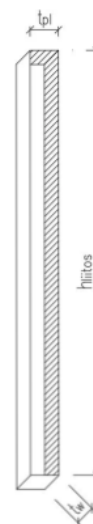
$$h_{liitos} := 510 \text{ mm}$$

$$h_{puristus} := \frac{h_{liitos}}{2}$$

$$t_{pl} = 16 \text{ mm}$$

$$\gamma_{M0} = 1$$

$$f_y = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



Leikkautuvan poikkileikkauksen pinta-ala puristuspuolelle lasketaan kaavalla

$$A_{pl.2} = 2 \cdot (h_{puristus} + t_{pl}) \cdot t_w$$

Lasketaan vaadittava seinän selän paksuus  $t_w$

$$t_w \geq \frac{F_{ed.x} \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot (h_{liitos} + t_{pl}) \cdot f_y}$$

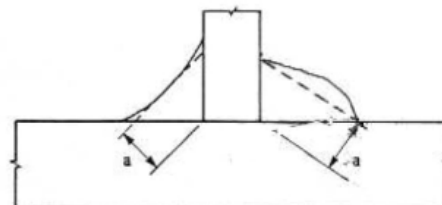
$$t_w := \frac{F_{ed.x} \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot (h_{liitos} + t_{pl}) \cdot f_y} = 2.8 \text{ mm}$$

Tukiseinän seinäpaksuuden on oltava paksumpi kuin saatu arvo  $t_w$ . Jos seinän rakenteen paksuus on ohuempi kuin saatu  $t_w$ -arvo, on seinän ja konsolirakenteen välissä käytettävä vahvikelevyä.

## Poskilevyn ja tukiseinän välisen liitoksen kaksoispienahitsin mitoitus

Standardissa EN1993-1-8 määritetään, että pienahitsejä voidaan käyttää osien liittämiseen, jos liitospintojen muodostama kulma on  $60^\circ$ - $120^\circ$ . Poskilevy kiinnittyy tukiseinään  $90^\circ$  kulmassa, joten liitos voidaan mitoittaa pienahitseille.

Pienahitsin efektiivinen a-mittaa on suurimman kolmion (joko tasakylkinen tai erikylkinen) korkeus, joka voidaan piirtää railon kylkien ja hitsin pinnan siään mitattuna kohtisuorassa suunnassa tämän uloimpaan pintaan nähden. Pienahitsin efektiiviseksi a-mitaksi valitaan vähintään 3 mm.



Pienahitsin kestävyuden mitoitusarvo määritetään joko komponenttimenetelmän tai yksinkertaistetun menetelmän mukaan.

Laskentaa varten määritetään korrelaatiokerroin  $\beta_w$  käytettävän teräslaadun mukaan

**Taulukko 4.1: Pienahitsien korrelaatiokerroin  $\beta_w$**

Standardi ja teräslaji			Korrelaatiokerroin $\beta_w$
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

$$\beta_w := 0.9$$

## Yksinkertainen menetelmä

Yksinkertaistetussa menetelmässä varman puolella olevana arvona voidaan käyttää standardin EN 1993-1-8 yksinkertaistettuun mitoituseseen rinnastettavaa ajatusmalli jossa alla olevaan kaavaan sijoittamalla  $\sigma_z := 0$  ja  $\tau_{yz} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$ , saadaan arvo sellaiselle kaksoispienahitsille, joka on poskilevyn kanssa vähintään tasaluja mille tahansa jännitystilalle, jolla levy myötää.

$$a_1 \geq \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot t_{pl}}{2 \cdot f_u} \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma_z^2 + 3 \cdot \tau_{yz}^2}$$

, jossa	$\beta_w = 0.9$	=	<i>korrelaatiokerroin</i>
	$t := t_{pl} = 16 \text{ mm}$	=	<i>poskilevyn paksuus</i>
	$f_u = 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	=	<i>vetomurtolujuus</i>
	$f_y = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	=	<i>myötöraja</i>
	$\gamma_{M2} = 1.25$	=	<i>teräksen osavarmuusluku</i>
	$\gamma_{M0} = 1$	=	<i>teräksen osavarmuusluku</i>
	$\tau_{yz} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$		
	$\sigma_z := 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$		

Lasketaan a:n arvo

$$a_1 := \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot t_{pl}}{2 \cdot f_u} \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma_z^2 + 3 \cdot \tau_{yz}^2} = 10.851 \text{ mm}$$

Yksinkertaisen mitoitusmenetelmän ongelmana on, että se antaa helposti liian varman tuloksen. Hitsin a-mitan ollessa suurempi kuin 5 mm, lisää se hitsin työaikaa huomattavasti enemmän, sillä hitsi on tehtävä useammassa kerroksessa. Joten hitsi on syytä mitoittaa myös komponenttimenetelmällä.

## Komponenttimenetelmä

Komponenttimenetelmässä poskilevyn ja tukiseinän väline hitsi mitoitetaan liitettävän osan eli poskilevyn jännitysten perusteella. Ankkurointi aiheuttaa poskilevyn sekä liitosta kohtisuoraa olevaa puristusjännitystä että liitoksen suuntaista leikkausjännitystä. Poskilevy liittyy tukiseinään kahdella pienahitsillä joiden vaadittavalle a-mitalle voidaan johtaa kaava Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 2020 oppikirjan (s.202) alla olevan laskennan mukaisesti:

### Määritellään laskentaa varten tarvittavat mitat

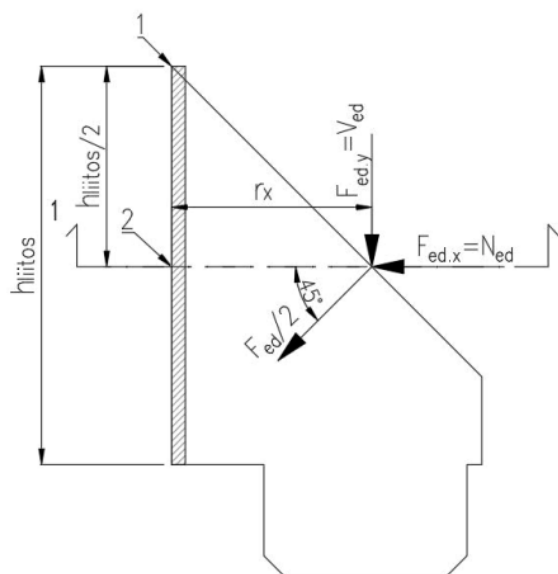
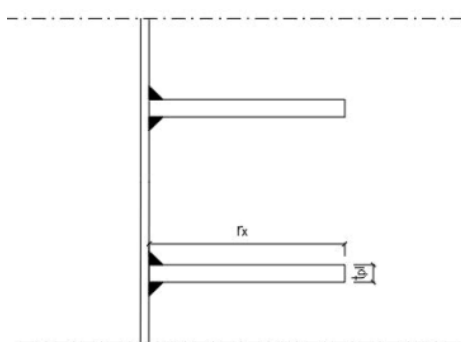
$$r_x := 258 \text{ mm}$$

$$h_{\text{liitos}} = 510 \text{ mm}$$

$$t_{pl} = 16 \text{ mm}$$

$$A := t_{pl} \cdot h_{\text{liitos}} = 8160 \text{ mm}^2$$

1 - 1



### Määritetään ankkurivoiman puristusvoima $N_{ed}$ , leikkausvoima $V_{ed}$ ja momentti $M_{ed}$ neutraaliakselin poikkileikkauksessa

$$N_{ed} := F_{ed,x} = 607.631 \text{ kN}$$

$$V_{ed} := F_{ed,y} = 607.631 \text{ kN}$$

$$M_{ed} := F_{ed,y} \cdot r_x = 156.769 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

### Poskilevyn taivutusvastus lasketaan kaavalla

$$W := \frac{t_{pl} \cdot h_{\text{liitos}}^2}{6} = 693600 \text{ mm}^3$$

## Määritetään kimmoteorian mukaiset jännitykset pisteissä 1 ja 2

Jännitykset pisteessä 1

$$\sigma_{z.1} := -\frac{N_{ed}}{A} + \frac{M_{ed}}{W} = 151.6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{yz.1} := 0 \text{ MPa}$$

Jännitykset pisteessä 2

$$\sigma_{z.2} := -\frac{N_{ed}}{A} = -74.5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{yz.2} := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed}}{A} = 111.7 \text{ MPa}$$

## a-mitan määrittäminen pisteissä 1 ja 2

Jännitysten perusteella saadaan pisteessä 1 vaadituksi a-mitaksi

$$a_1 \geq \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot t_{pl}}{2 \cdot f_u} \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma_{z.1}^2 + 3 \cdot \tau_{yz.1}^2} \quad , \text{ jossa } \beta_w = 0.9$$

$$a_1 := \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot t_{pl}}{2 \cdot f_u} \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma_{z.1}^2 + 3 \cdot \tau_{yz.1}^2} = 3.782 \text{ mm}$$

Jännitysten perusteella saadaan pisteessä 2 vaadituksi a-mitaksi

$$a_2 \geq \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot t_{pl}}{2 \cdot f_u} \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma_{z.2}^2 + 3 \cdot \tau_{yz.2}^2} \quad , \text{ jossa } \beta_w = 0.9$$

$$a_2 := \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot t_{pl}}{2 \cdot f_u} \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma_{z.2}^2 + 3 \cdot \tau_{yz.2}^2} = 3.887 \text{ mm}$$

**Valitaan komponenttimenetelmällä lasketuista a-mitoista suurempi hitsin mitoittavaksi mitaksi**

$$a := \max(a_1, a_2)$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

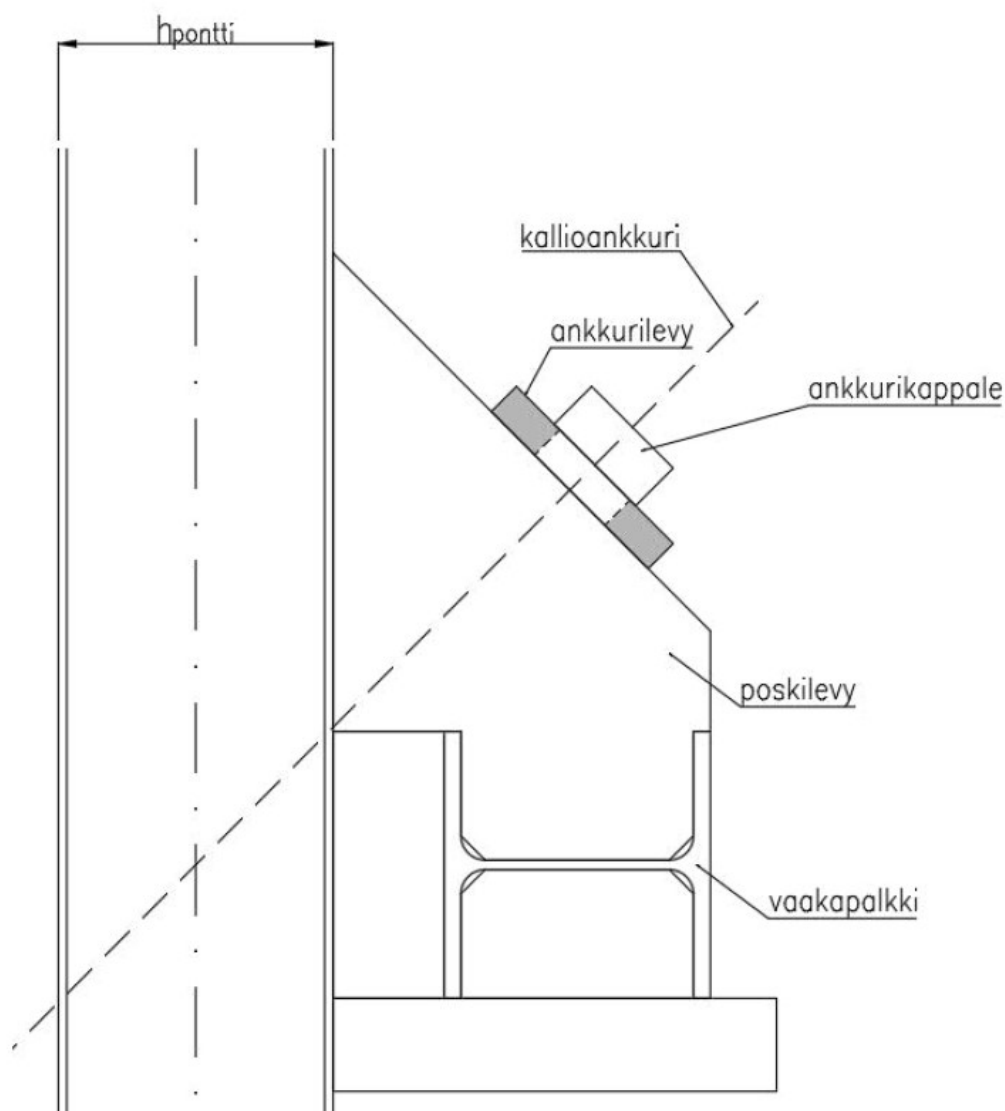


## ANKKURIKONSOLIN RAKENNEMITOITUS 4 PUNOKSISELLE ANKKURILLE

Ankkurikonsolin rakenteiden mitoituksessa tulee ottaa huomioon ankkurikonsolin poskilevyt ja ankkurilevy sekä muut varusteluosat. (RIL 217-2019. s.91.) Ankkurikonsolin osat mitoitetaan tukiseinälaskennasta saadun suunnittelukuorma  $F$ :n perusteella. Koska tässä laskennassa suunnittelukuormaa ei ole ennalta määritelty, määritellään se ankkuripunosten suurimman sallitun koevetovoiman mukaan.

Ankkurikonsolin rakenneosia mitoitettaessa on poskilevyjen mittasuhteet taloudellista valita siten, että ankkuroinnista ei aiheudu vaakapalkille vääntörasitusta.

### Ankkurikonsolin rakenne



## Ankkuripunosten suurin sallittu koivetovoima

### Lähtötiedot punoksille

St 1660/1860      *Teräslaatu*  
Y1860              *Standardi*

$$f_{uk} := 1860 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Teräksen vetomurtokestävyys}$$

$$f_{t0.1k} := 1600 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Teräksen myötöraja 0.1% venymäpituudella}$$

$$A_{pp} := 150 \text{ mm}^2 \quad \text{Teräspunoksen pinta-ala}$$

$$n := 4 \quad \text{Punosten lukumäärä}$$



Teräslaatu	Teräslautua koskeva standardi	$f_{t0,1k}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{t0,2k}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{tk}$ N/mm <sup>2</sup>	
BSt 500 S	B500B acc. to EN 10080 +EN1993-1-1:2005 + AC:2008 Annex C	-	500	550	Vahviketeräs, jossa on köysikierre
S 555/700	-	-	555	700	Terästanko, jossa on köysikierre
S 670/800	-	-	670	800	Terästanko, jossa on köysikierre
St 835/1030	Y1030 acc. to FprEN 101038	835	-	1030	Esijännitettävät teräokset, joissa on köysikierre
St 950/1050	Y1050 acc. to FprEN 101038	950	-	1050	
St 1080/1230	Y1230 acc. to FprEN 101038	1080	-	1230	
St 1570/1770	Y1770 acc. to FprEN 101038	1500	-	1770	Punokset
St 1660/1860	Y1860 acc. to FprEN 101038	1600	-	1860	

$f_{tk}$  = vetomurtokestävyys  $f_{uk}$

$f_{t0,1k}$  ja  $f_{t0,2k}$  ovat molemmat teräksen myötörajoja 0,1% ja 0,2% venymäpituudella

Määritetään yhden ankkuripunoksen vetomurtokestävyys ja myötöraja

### Ankkurin vetomurtokestävyys

### Ankkurin myötöraja

$$P_{tk} := f_{uk} \cdot A_{pp}$$

$$P_{t0.1k} := f_{t0.1k} \cdot A_{pp}$$

$$P_{tk} = 279 \text{ kN}$$

$$P_{t0.1k} = 240 \text{ kN}$$

Hyväksyntäkokeessa käytettävä koivetovoima yhdelle punokselle määritetään valitsemalla pienempi arvo seuraavista:

$$F_{koe1.max} := 0.80 \cdot P_{tk} \quad \text{tai} \quad F_{koe2.max} := 0.95 \cdot P_{t0.1k}$$

$$F_{koe1.max} = 223.2 \text{ kN}$$

$$F_{koe2.max} = 228 \text{ kN}$$

$$F_{koe} := \min(F_{koe1.max}, F_{koe2.max}) = 223.2 \text{ kN}$$

## Koetovoima n määrälle punoksia

$$F_{koe.n} := n \cdot F_{koe}$$

$$F_{koe.n} = 892.8 \text{ kN}$$

## Konsolirakenteen mitoittava voima $F_{ed}$ saadaan kertomalla suurin sallittu koetovoima osavarmuuskertoimella $\gamma_f$

$$\gamma_f := 1.1$$

$$F_{ed} := F_{koe.n} \cdot \gamma_f = 982.08 \text{ kN}$$

## Suunnittelukuorma n määrälle punoksia

Ankkurit mitoitetaan tyypillisesti siten, että tukiseinälaskennasta saatuun ankkurin mitoitusarvoon  $F$  kohdistetaan ankkureiden kestävyden osavarmuusluku  $\gamma_{a,t}$ , jolloin saadaan määritettyä ankkurilta vaadittu koetovoima työnaikaiselle tai pysyville ankkurille. (RIL 217-2019, s. 95.)

Tässä laskelmassa keskitytään ainoastaan työnaikaisiin tukiseiniin. Tukiseinä on työnaikainen, kun sen suunniteltu käyttöikä on  $\leq 2$  vuotta.

## Kestävyyden osavarmuusluku ankkurille

Kestävyyden osavarmuusluvut tilapäisille ja pysyville ankkureille

Kestävyys	Merkintä	Sarja R2
Tilapäinen	$\gamma_{a,t}$	1,25
Pysyvä	$\gamma_{a,p}$	1,5

$$\gamma_{a,t} := 1.25$$

Koetovoiman kaavasta saadaan ratkaistua suunnittelukuorma

$$F_{koe} = \gamma_{a,t} \cdot F \quad (\text{RIL 217-2019, s.95})$$

$$F := \frac{F_{koe.n}}{\gamma_{a,t}} = 714.24 \text{ kN}$$

= suurin sallittu tukiseinälaskennan suunnittelukuorma, jolla konsolirakennetta voidaan käyttää

## Ankkurilevyn mitoittaminen

Ankkurilevy on ankkurikonsolin osa, joka on yleensä kahdelta sivulta nivelellisesti tuettuna sivu- eli poskilevyillä. Suurilla ankkurivoimilla levy voidaan tukea neljältä sivulta, jolloin tukilevyt asetetaan poskilevyjen väliin ankkurilevyn alapuolelle. Tässä laskelmassa ankkurilevy mitoitetaan kahdelta sivulta tuettuna. Vaikka ankkurilevy hitsataan poskilevyihin kiinni kiinnitysrakenteen ulkopuolisilta sivuilta, voidaan liitos olettaa korkeintaan osittain jäykäksi johtuen ankkurilevyn jäykkyyden suhteesta siihen liittyviin levyihin. Näin ollen mitoitus tehdään ajatellen liitoksen olevan nivelellinen.

Ankkurilta tuleva kuorma siirtyy ankkurikappaleen välityksellä ankkurilevyssä olevan reiän reunalle. Ankkurilevyn paksuuden mitoittaa usein levyn taivutusmomenttikestävyys, mutta mitoittamisessa on tarkasteltava myös ankkurikappaleen mahdollinen lävistyminen ankkurilevystä. Ankkurikappale on punosankkurin osa, johon punokset kiilataan. Osa on halkaisijaltaan levyn reikää isompi, ja näin ollen kappale siirtää kuormat ankkurilta ankkurilevyn reiän reunalle.

### Lähtötiedot ankkurilevyille

S355

Teräslaatu (EN10025-2)

$$f_u := 470 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{kun } 40\text{mm} < t \leq 80\text{mm})$$

Teräksen murtokestävyys

$$f_y := 335 \frac{N}{mm^2} \quad (\text{kun } 40\text{mm} < t \leq 80\text{mm})$$

Teräksen myötöraja

$$\gamma_{M0} := 1.0$$

Teräksen osavarmuusluku

$$\gamma_{M2} := 1.25$$

Valitaan teräksen myötöraja ja vetomurtokestävyys alla olevasta taulukosta standardin EN10025-2 mukaan

TAULUKKO 1. Kuumavalsattujen rakenneterästen myötörajan  $f_y$  ja vetomurtolujuuden  $f_u$  nimellisarvot (EN1993-1-1: Eurocode 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1. Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt, 2005).

Standardi ja teräslaji	Nimellispaksuus t [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
<b>EN 10025-3</b>				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
<b>EN 10025-4</b>				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
<b>EN 10025-5</b>				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
<b>EN 10025-6</b>				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

## Määritetään ankkurilevyn mitat

$$A_{al} := 170 \text{ mm}$$

Ankkurilevyn leveys

$$B_{al} := 170 \text{ mm}$$

Ankkurilevyn korkeus

$$D_{ak} := 110 \text{ mm} \quad (\text{Valmistajan ilmoittaman mukaan})$$

Ankkurikappaleen halkaisija

$$D_{al} := 71 \text{ mm} \quad (\text{ankkuripunosten mukaan})$$

Ankkurin reiän halkaisija

$$t_{pl} := 13 \text{ mm}$$

Poskilevyn paksuus

$$A_{ur} := 10 \text{ mm} + 0.5 \cdot t_{pl} = 16.5 \text{ mm}$$

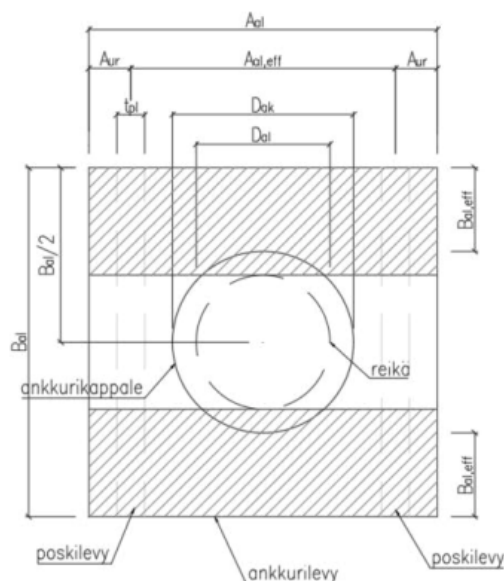
Ankkurilevyn ulkoreuna

Jänneväli leveyssuunnassa

$$A_{al,eff} := A_{al} - 2 \cdot A_{ur} = 137 \text{ mm}$$

Ehjän poikkileikkauksen leveys pituussuunnassa

$$B_{al,eff} := \frac{B_{al} - D_{al}}{2} = 49.5 \text{ mm}$$



## Ankkurilevyn taivutusmomenttikestävyys

Ankkurilevyn taivutusmomenttikestävyyden määrittää levyn poikkileikkaus jännevälin keskellä reiän molemmin puolin,  $B_{al,eff}$ . Matti Raiskinmäki on vuonna 2018 valmistuneessa diplomityössään *Tuetun teräsponttiseinän rakennetekninen suunnittelu* johtanut kaavan ankkurilevyn vähimmäispaksuudelle. Kaava perustuu standardin SFS-EN 1993-1-1 kimmoteorian mukaiseen taivutusmomenttikestävyyteen.

$M_{Ed,al}$	=	ankkurilevyn taivutusmomentin mitoitusarvo
$M_{el,Rd,al}$	=	ankkurilevyn kimmoteorian mukainen taivutusmomenttikestävyys
$W_{el,al}$	=	ankkurilevyn ehjän poikkileikkauksen kimmoteorian mukainen taivutusvastus
$B_{al,eff}$	=	reiän ulkopuolisen poikkileikkauksen leveys
$t_{al}$	=	ankkurilevyn paksuus
$F_{ed}$	=	ankkurilevyn mitoitusvoima
$D_{al}$	=	ankkurilevyn reiän halkaisija
$D_{ak}$	=	ankkurikappaleen halkaisija

Ankkurilevyn kimmoteorian mukainen taivutusmomenttikkestävyyden tulee olla suurempi tai yhtä suuri kuin ankkurilevyn taivutusmomentti

$$M_{Ed,al} \leq M_{el,Rd,al}$$

Ankkurilevyn taivutusmomentti

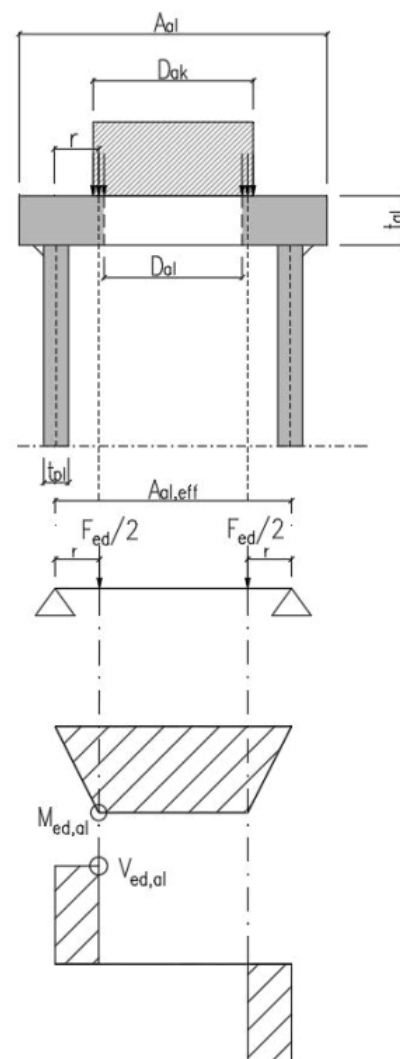
$$M_{Ed,al} = \frac{F_{ed}}{2} \cdot r$$

, jossa  $r := \frac{A_{al,eff} - 0.75 \cdot \left( \frac{D_{ak} + D_{al}}{2} \right)}{2}$

$$F_{ed} = 982.08 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,al} = \frac{F_{ed}}{2} \cdot \left( \frac{A_{al,eff} - 0.75 \cdot \left( \frac{D_{ak} + D_{al}}{2} \right)}{2} \right)$$

$$M_{Ed,al} := \frac{F_{ed} \cdot \left( A_{al,eff} - 0.75 \cdot (0.5 \cdot D_{ak} + 0.5 \cdot D_{al}) \right)}{4}$$



Kimmenteorian mukainen taivutusmomenttikestävyys  
(poikkileikkausluokka 3)

$$M_{el.Rd.al} = \frac{W_{el.al} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Ankkurilevyn ehjän poikkileikkauksen kimmenteorian mukainen taivutusvastus

$$W_{el.al} = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$W_{el.al} = \frac{2 B_{al,eff} \cdot t_{al}^2}{6}$$

Johdetaan yllä olevista kaavoista kaava ankkurilevyn paksuudelle taivutusmomenttikestävyden mukaan  $t_{al}$

$$M_{Ed.al} \leq M_{el.Rd.al}$$

$$\frac{F_{ed} \cdot (A_{al,eff} - 0.75 \cdot (0.5 \cdot D_{ak} + 0.5 \cdot D_{al}))}{4} = \frac{\frac{2 B_{al,eff} \cdot t_{al}^2}{6} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$t_{al,1} := \sqrt{\frac{3 \cdot \gamma_{M0} \cdot F_{ed} \cdot (A_{al,eff} - 0.75 \cdot (0.5 \cdot D_{ak} + 0.5 \cdot D_{al}))}{2 \cdot f_y \cdot (B_{al} - D_{al})}}$$

$$t_{al,1} = 55 \text{ mm}$$

## Ankkurilevyn lävistyskestävyys

Ankkurilevyn mitoituksessa tulee tarkastella ankkurikappaleen lävistyminen ankkurilevystä. Ankkurikappale siirtää kuormat ankkurilta ankkurilevylle. Ankkurilevyn lävistymiskestävyyden laskemiseen voidaan käyttää ruuvin ja mutterin lävistämiskestävyyskaavaa.

$$B_{p.Rd.al} = 0.6 \cdot \pi \cdot D_{ak} \cdot t_{al} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

, jossa  $D_{ak} = 110 \text{ mm}$  = ankkurikappaleen halkaisija  
 $t_{al.2}$  = levyn paksuus lävistyskestävyydelle mitoitettuna

$$f_u = 470 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \text{levyn murtokestävyys} \quad (\text{kun } 40\text{mm} < t \leq 80\text{mm})$$

$$\gamma_{M2} = 1.25 = \text{liitoksissa käytettävä osavarmuusluku}$$

Mitoitusehdon mukaan ankkurilevyn lävistyskestävyyden  $B_{p.Rd.al}$  tulee olla yhtäsuuri tai suurempi kuin ankkurin koevetovoiman  $F_{ed}$ . Mitoitusehtoa käyttämällä saadaan lävistyskestävyyden kaavasta laskettua ankkurilevyn vaadittu minimi paksuus.

$$B_{p.Rd.al} \geq F_{ed}$$

$$F_{ed} \leq 0.6 \cdot \pi \cdot D_{ak} \cdot t_{al} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$t_{al.2} := \frac{F_{ed} \cdot \gamma_{M2}}{0.6 \cdot \pi \cdot D_{ak} \cdot f_u} = 12.6 \text{ mm}$$

Mitoitusehto<sub>1</sub>

$$t_{al} := \max(t_{al.1}, t_{al.2})$$

### Mitoittava levyn paksuus

$$t_{al} = 55 \text{ mm}$$



## Konsolin poskilevyn mitoitus

Ankkurikonsolin poskilevyt toimivat tavallisessa konsolirakenteessa puristettuina sauvoina. Ankkurikonsolin kannakelevy mitoitetaan nurjahdukselle silloin kun vaakapalkkirakenne sijaitsee kannakelevyn päällä, mutta periaatteessa kannakelevyihin kohdistuu samat voimat myös silloin kun ne toimivat poskilevynä vaakapalkin päällä.

Sauvan stabiiliustarkasteluja varten se irrotetaan muuasta rakenteesta ja tarkastelu tehdään omalla rakenteena. Jos rakenneanalyysi tehdään kimmoteorian mukaan, ei poikkileikkausluokilla ole pääsääntöisesti merkitystä.

### Lähtötiedot käytettävälle teräslaadulle

S355	<i>Teräslaatu</i>
$f_u := 510 \frac{N}{mm^2}$ (kun $t < 40mm$ )	<i>Teräksen murtokestävyys</i>
$f_y := 355 \frac{N}{mm^2}$	<i>Teräksen myötöraja</i>
$\gamma_{M1} := 1.0$	<i>Teräksen osavarmuusluku</i>
$E := 210000 \frac{N}{mm^2}$	<i>Kimmo kerroin</i>

Poskilevyjä tulee konsolirakenteeseen 2 kappaletta, joten nurjahduskuorma, joka yhden poskilevyn tulee kestää on puolet konsolirakenteen mitoittavasta voimasta  $F_{ed}$

### **Nurjahduskuorma $N_{ed}$**

$$N_{ed} := \frac{F_{ed}}{2} = 491.04 \text{ kN}$$

Poskilevyn tulee täyttää mitoitusehto 1

$$N_{ed} \leq N_{b,Rd}$$

, jossa

$N_{ed}$	=	<i>Poskilevyn nurjahduskuorma</i>
$N_{b,Rd}$	=	<i>Poskilevyn nurjahduskestävyys</i>

### **Poskilevyn nurjahduskestävyyden mitoitusarvo $N_{b,Rd}$ lasketaan kaavalla**

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}, \text{ kun sauvan poikkileikkaus kuuluu luokkaan 1, 2 tai 3}$$

, jossa

$\chi$	=	<i>nurjahduksen pienennystekijä</i>
$A_{pl}$	=	<i>poskilevyn poikkileikkauksen pinta-ala</i>
$f_y$	=	<i>teräksen myötöraja</i>
$\gamma_{M1}$	=	<i>teräksen osavarmuusluku</i>

Pienennystelijän  $\chi$  suuruus riippuu määrävästä nurjahdusmuodosta ja on sauvan muunnetun hoikkuuden  $\lambda$  funktio.

$$\chi = \min\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}}, 1.0\right)$$

Muunnettu hoikkuus lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\lambda = \sqrt{\frac{f_y \cdot A_{pl}}{N_{cr}}}, \text{ kun sauvan poikkileikkaus kuuluu luokkaan 1, 2 tai 3}$$

$N_{cr}$  on määrävään nurjahdusmuotoon liittyvä kimmoteorian mukainen nurjahduskuorma, joka lasketaan käyttäen sauvan bruttopoikkileikkausta.

### Taivutusnurjahdus

Taivutusnurjahdusta kutsutaan yleisesti Eulerin nurjahdukseksi. Taivutusnurjahduksessa sauva menettää kantokykynsä taipumalla pääakselinsa suhteen, jonka suuntainen taivutusjäykkyys on  $EI$ , missä  $E$  on kimmokerroin ja  $I$  on jäyhyysmomentti. Yleisessä tapauksessa taivutusnurjahdus on tarkastettava kummankin pääakselin suhteen, jolloin akseleita merkitään seuraavasti:

- suuremman jäykkyyden suunta, taivutus y-y akselin suhteen
- pienemmän jäykkyyden suunta, taivutus z-z akselin suhteen

Konsolirakenteen poskilevyn taivutusnurjahdus lasketaan pienemmän jäykkyyden eli z-z akselin suhteen

Kriittisen nurjahduskuorman  $N_{cr}$  suuruus nurjahduspituuden  $L_{cr}$  ja bruttoleikkauksen jäyhyysmomentin  $I$  funktiona on

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot (E \cdot I)}{L_{cr}^2}$$

$$h := t_{pl} = 13 \text{ mm}$$

$$b := B_{al} = 170 \text{ mm}$$

$$A_{pl} := t_{pl} \cdot b$$

$$A_{pl} = 2210 \text{ mm}^2$$





Jäyhyysmomentti  $I$  lasketaan kaavalla

$$I := \frac{b \cdot h^3}{12} = (3.112 \cdot 10^4) \text{ mm}^4$$

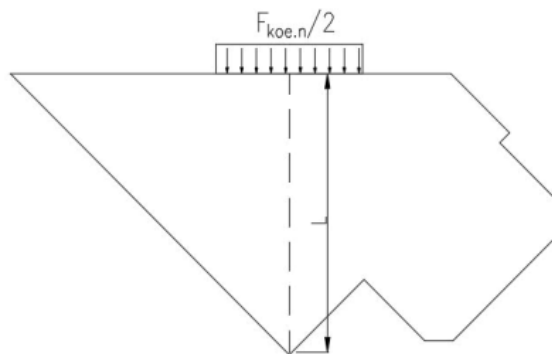


Nurjahduspituus  $L_{cr}$  riippuu tarkasteltavaan taivutussuuntaan liittyvistä sauvan päiden voima- ja siirtymäreunaehdoista.

Eulerin nurjahdustapaukset

N:o	I	II	III	IV
				
Tuenta	jäykkä - vapaa	nivel - nivel	jäykkä - nivel	jäykkä - jäykkä
$L_n$	$2L$	$L$	$0,699L$	$0,5L$

$L$  = sauvan pituus  
 $L_n$  = nurjahduspituus



Konsolirakenteen poskilevyn alapää on jäykästi hitsaamalla tuettu molemmilta sivuilta ja yläpää ainoastaan ulkoreunasta hitsattu, joten nurjahduspituus  $L_{cr}$  lasketaan Eulerin nurjahdustapaus III mukaan, jolloin saadaan varmalla puolella oleva tulos.

$$L := 340 \text{ mm}$$

$$L_{cr} := 0.699 \cdot L = 237.66 \text{ mm}$$

Lasketaan kriittinen nurjahduskuorma

$$N_{cr} := \frac{\pi^2 \cdot (E \cdot I)}{L_{cr}^2} = 1142.1 \text{ kN}$$

Lasketaan muunnettu hoikkuus  $\lambda$

$$\lambda := \frac{f_y \cdot A_{pl}}{N_{cr}} = 0.687$$

**Määritetään pienennystekijä  $\chi$**

$$\chi = \min \left( \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}}, 1.0 \right)$$

$$\text{, jossa} \quad \Phi = 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2)$$

$$\alpha = 0.49$$

$$\Phi := 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.2) + \lambda^2) = 0.855$$

$$\chi := \min\left(\frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}}, 1.0\right)$$

$$\chi = 0.733$$

**Lasketaan nurjahduskestävyyden mitoitusarvo**

$$N_{b.Rd} := \frac{\chi \cdot A_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b.Rd} = 574.9 \text{ kN}$$

Tarkistetaan mitoitusehto

$$N_{ed} \leq N_{b.Rd}$$

**Mitoitusehto**<sub>2</sub> = "OK!"

**Käyttöaste:**  $\frac{N_{ed}}{N_{b.Rd}} = 85.4\%$

## Tukiseinän selän leikkauskestävyys

Ankkurikonsolista kohdistuu tukiseinään rasituksia, jotka tulee ottaa mitoituksessa huomioon. Tukiseinän leikkauskestävyyttä laskettaessa tulee ensin määrittää ankkurin koevedosta poskilevyn kautta tukiseinään kohtisuoraan vaikuttava voima  $F_{ed.x}$ .

Ankkurin koevetovoima  $F_{ed}$  kohdistuu ponttiseinään  $45^\circ$  kulmassa ja se jakautuu kahdelle poskilevylle. Määritetään koevetovoiman  $F_{ed.x}$  ja  $F_{ed.y}$  suuntaiset voimat yhdelle poskilevylle.

$$F_{ed.x} := \frac{F_{ed}}{\frac{2}{\sqrt{2}}} = 347.2 \text{ kN}$$

$$F_{ed.y} := F_{ed.x} = 347.218 \text{ kN}$$

Kimboteorian mukaisesti leikkauskestävyyden arvo todennetaan poikkileikkauksen suurimman leikkajännityksen  $\tau_{ed}$  mukaan, jonka on toteutettava seuraava ehto:

$$\frac{\tau_{ed}}{f_y} \leq 1.0 \quad , \text{ jossa } \tau_{ed} = \frac{F_{ed.x}}{A_{pl.2}} \quad A_{pl.2} = \text{leikkautuvan poikkileikkauksen pinta-ala}$$

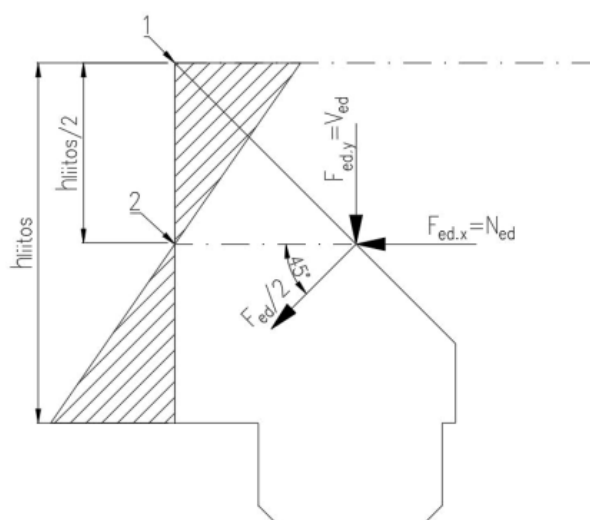
$$\frac{F_{ed.x}}{A_{pl.2}} \leq 1.0$$

$$\frac{F_{ed.x}}{A_{pl.2}} \leq 1.0$$

$$\frac{F_{ed.x}}{f_y} \leq 1.0$$

$$\frac{F_{ed.x}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \leq 1.0$$

Ankkurivoima aiheuttaa liitoksen neutraaliakselin yläpuolelle vetoa ja alapuolelle puristusta alla olevan kaavion mukaisesti.



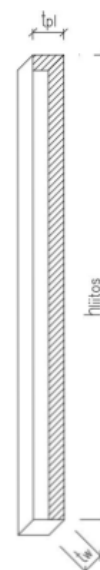
$$h_{liitos} := 480 \text{ mm}$$

$$h_{puristus} := \frac{h_{liitos}}{2}$$

$$t_{pl} = 13 \text{ mm}$$

$$\gamma_{M0} = 1$$

$$f_y = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



Leikkautuvan poikkileikkauksen pinta-ala puristuspuolelle lasketaan kaavalla

$$A_{pl.2} = 2 \cdot (h_{puristus} + t_{pl}) \cdot t_w$$

Lasketaan vaadittava seinän selän paksuus  $t_w$

$$t_w \geq \frac{F_{ed.x} \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot (h_{liitos} + t_{pl}) \cdot f_y}$$

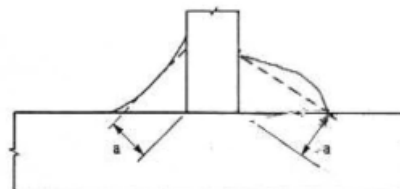
$$t_w := \frac{F_{ed.x} \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot (h_{liitos} + t_{pl}) \cdot f_y} = 1.7 \text{ mm}$$

Tukiseinän seinäpaksuuden on oltava paksumpi kuin saatu arvo  $t_w$ . Jos seinän rakenteen paksuus on ohuempi kuin saatu  $t_w$ -arvo, on seinän ja konsolirakenteen välissä käytettävä vahvikelevyä.

## Poskilevyn ja tukiseinän välisen liitoksen kaksoispienahitsin mitoitus

Standardissa EN1993-1-8 määritetään, että pienahitsejä voidaan käyttää osien liittämiseen, jos liitospintojen muodostama kulma on  $60^\circ$  -  $120^\circ$ . Poskilevy kiinnittyy tukiseinään  $90^\circ$  kulmassa, joten liitos voidaan mitoittaa pienahitseille.

Pienahitsin efektiivinen a-mittaa on suurimman kolmion (joko tasakylkinen tai erikylkinen) korkeus, joka voidaan piirtää railon kylkien ja hitsin pinnan siään mitattuna kohtisuorassa suunnassa tämän uloimpaan pintaan nähden. Pienahitsin efektiiviseksi a-mitaksi valitaan vähintään 3 mm.



Pienahitsin kestävyuden mitoitusarvo määritetään joko komponenttimenetelmän tai yksinkertaistetun menetelmän mukaan.

Laskentaa varten määritetään korrelaatiokerroin  $\beta_w$  käytettävän teräslaadun mukaan

**Taulukko 4.1: Pienahitsien korrelaatiokerroin  $\beta_w$**

Standardi ja teräslaji			Korrelaatiokerroin $\beta_w$
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

$$\beta_w := 0.9$$

## Yksinkertainen menetelmä

Yksinkertaistetussa menetelmässä varman puolella olevana arvona voidaan käyttää standardin EN 1993-1-8 yksinkertaistettuun mitoituseseen rinnastettavaa ajatusmalli

jossa alla olevaan kaavaan sijoittamalla  $\sigma_z := 0$  ja  $\tau_{yz} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$ , saadaan arvo sellaiselle

kaksoispienahitsille, joka on poskilevyn kanssa vähintään tasaluja mille tahansa jännitystilalle, jolla levy myötää.

$$a_1 \geq \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot t_{pl}}{2 \cdot f_u} \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma_z^2 + 3 \cdot \tau_{yz}^2}$$

$$\begin{aligned} \text{, jossa } \beta_w = 0.9 &= \text{korrelaatiokerroin} \\ t := t_{pl} = 13 \text{ mm} &= \text{poskilevyn paksuus} \end{aligned}$$

$$f_u = 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \text{vetomurtolujuus}$$

$$f_y = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \text{myötöraja}$$

$$\gamma_{M2} = 1.25 = \text{teräksen osavarmuusluku}$$

$$\gamma_{M0} = 1 = \text{teräksen osavarmuusluku}$$

$$\tau_{yz} := \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_z := 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Lasketaan a:n arvo

$$a_1 := \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot t_{pl}}{2 \cdot f_u} \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma_z^2 + 3 \cdot \tau_{yz}^2} = 8.816 \text{ mm}$$

Yksinkertaisen mitoitusmenetelmän ongelmana on, että se antaa helposti liian varman tuloksen. Hitsin a-mitan ollessa suurempi kuin 5 mm, lisää se hitsin työaikaa huomattavasti enemmän, sillä hitsi on tehtävä useammassa kerroksessa. Joten hitsi on syytä mitoittaa myös komponenttimenetelmällä.



## Komponenttimenetelmä

Komponenttimenetelmässä poskilevyn ja tukiseinän seinän väline hitsi mitoitetaan liitettävän osan eli poskilevyn jännitysten perusteella. Ankkurointi aiheuttaa poskilevyyn sekä liitosta kohtisuoraa olevaa puristusjännitystä että liitoksen suuntaista leikkausjännitystä. Poskilevy liittyy tukiseinään kahdella pienahitsillä joiden vaadittavalle a-mitalle voidaan johtaa kaava Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus Eurocode 3 2020 oppikirjan (s.202) alla olevan laskennan mukaisesti:

### Määritellään laskentaa varten tarvittavat mitat

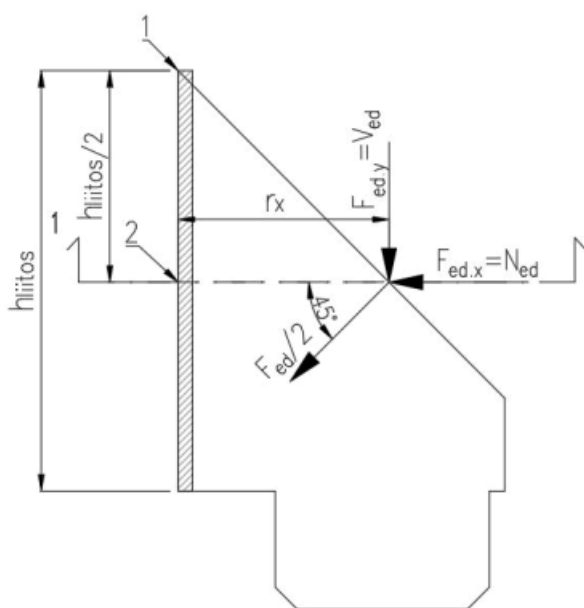
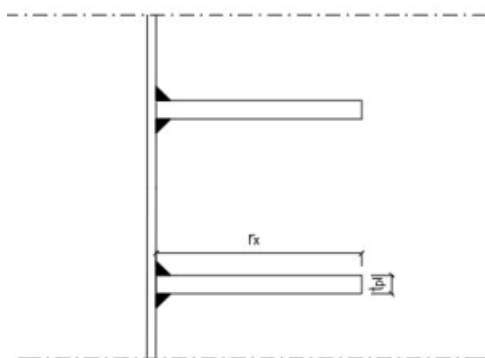
$$r_x := 258 \text{ mm}$$

$$h_{\text{liitos}} = 480 \text{ mm}$$

$$t_{pl} = 13 \text{ mm}$$

$$A := t_{pl} \cdot h_{\text{liitos}} = 6240 \text{ mm}^2$$

1 - 1



### Määritetään ankurivoiman puristusvoima $N_{ed}$ , leikkausvoima $V_{ed}$ ja momentti $M_{ed}$ neutraaliakselin poikkileikkauksessa

$$N_{ed} := F_{ed,x} = 347.218 \text{ kN}$$

$$V_{ed} := F_{ed,y} = 347.218 \text{ kN}$$

$$M_{ed} := F_{ed,y} \cdot r_x = 89.582 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

### Poskilevyn taivutusvastus lasketaan kaavalla

$$W := \frac{t_{pl} \cdot h_{\text{liitos}}^2}{6} = 499200 \text{ mm}^3$$

## Määritetään kimmoteorian mukaiset jännitykset pisteissä 1 ja 2

Jännitykset pisteessä 1

$$\sigma_{z,1} := -\frac{N_{ed}}{A} + \frac{M_{ed}}{W} = 123.8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{yz,1} := 0 \text{ MPa}$$

Jännitykset pisteessä 2

$$\sigma_{z,2} := -\frac{N_{ed}}{A} = -55.6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{yz,2} := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ed}}{A} = 83.5 \text{ MPa}$$

## a-mitan määrittäminen pisteissä 1 ja 2

Jännitysten perusteella saadaan pisteessä 1 vaadituksi a-mitaksi

$$a_1 \geq \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot t_{pl}}{2 \cdot f_u} \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma_{z,1}^2 + 3 \cdot \tau_{yz,1}^2} \quad , \text{ jossa } \beta_w = 0.9$$

$$a_1 := \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot t_{pl}}{2 \cdot f_u} \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma_{z,1}^2 + 3 \cdot \tau_{yz,1}^2} = 2.51 \text{ mm}$$

Jännitysten perusteella saadaan pisteessä 2 vaadituksi a-mitaksi

$$a_2 \geq \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot t_{pl}}{2 \cdot f_u} \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma_{z,2}^2 + 3 \cdot \tau_{yz,2}^2} \quad , \text{ jossa } \beta_w = 0.9$$

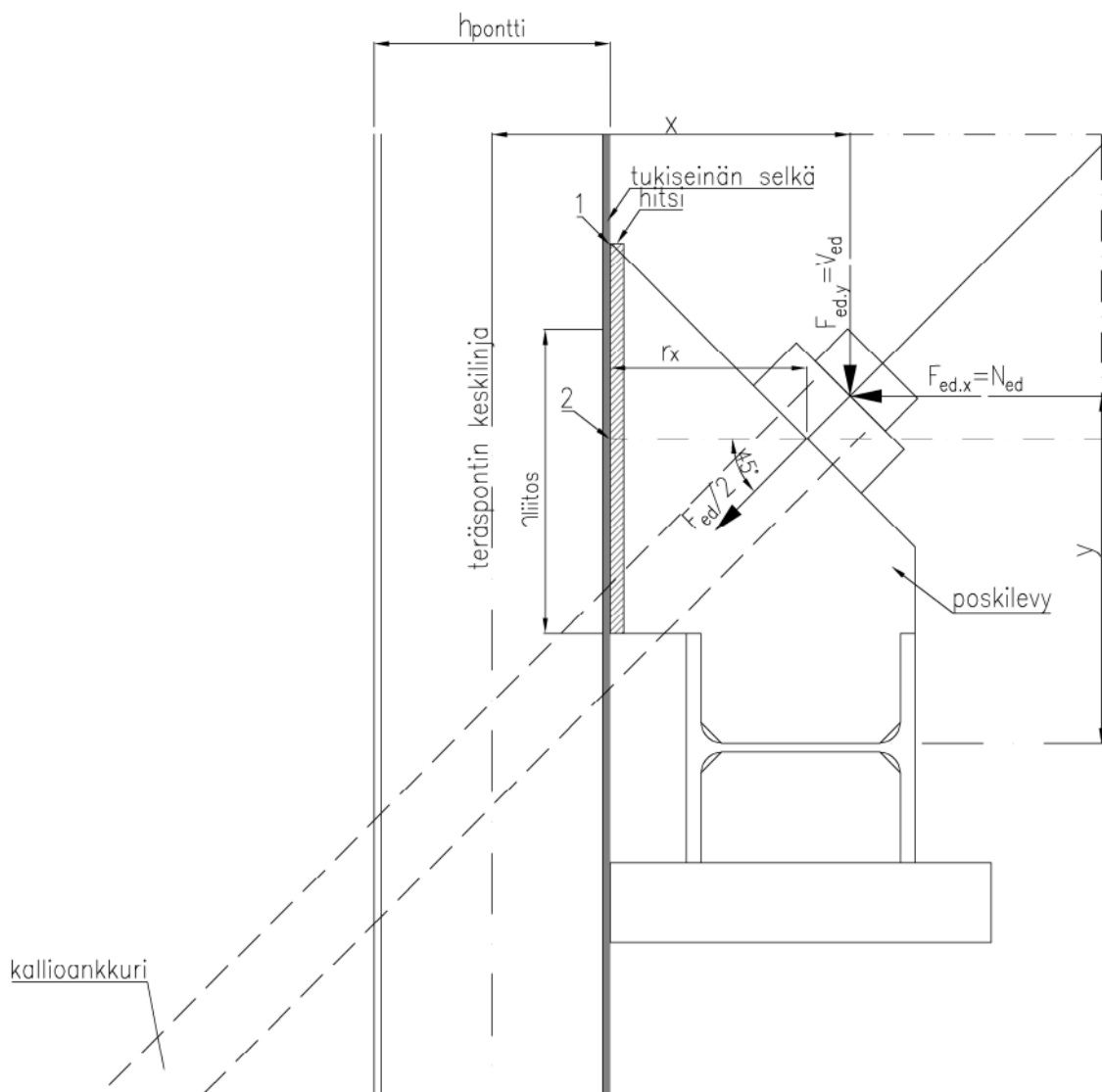
$$a_2 := \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot t_{pl}}{2 \cdot f_u} \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma_{z,2}^2 + 3 \cdot \tau_{yz,2}^2} = 2.36 \text{ mm}$$

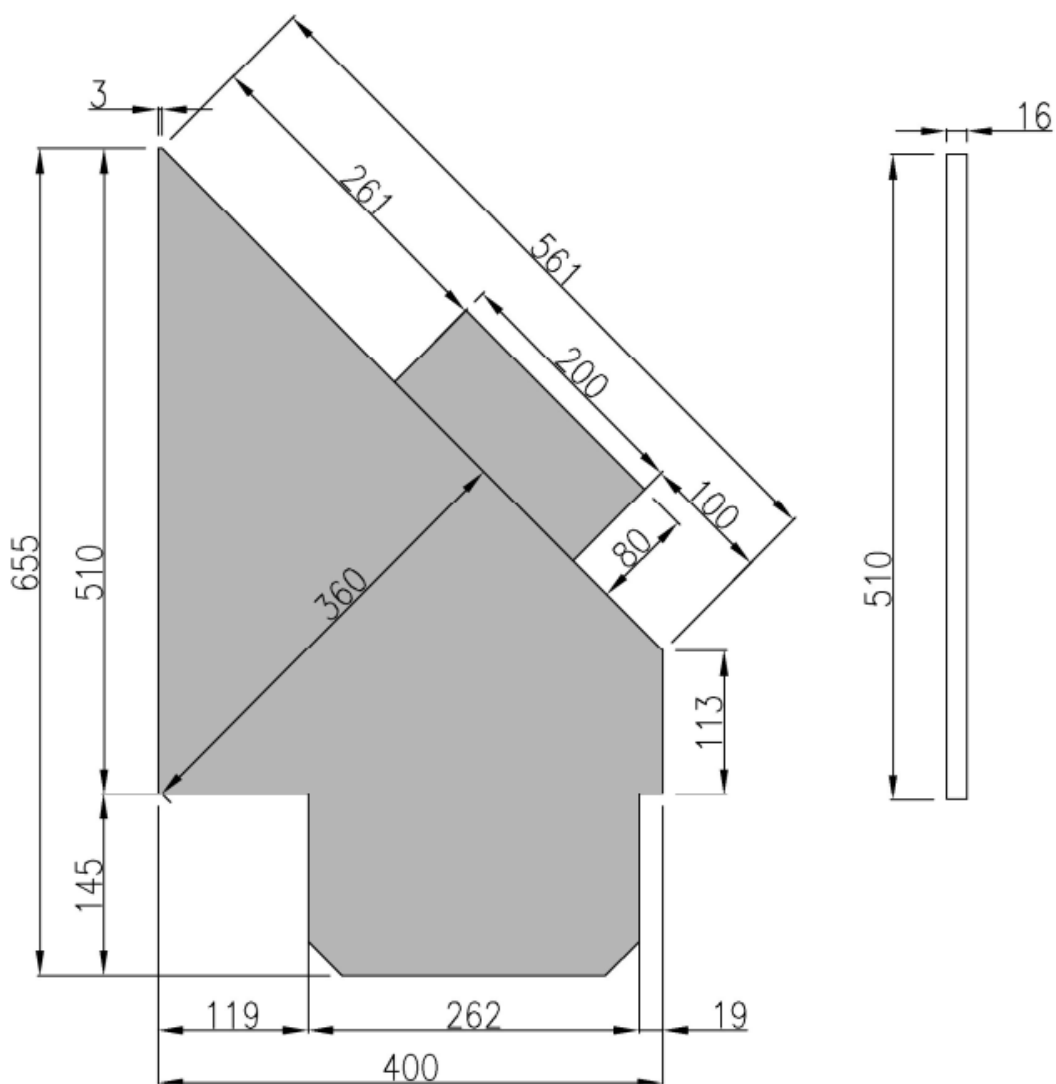
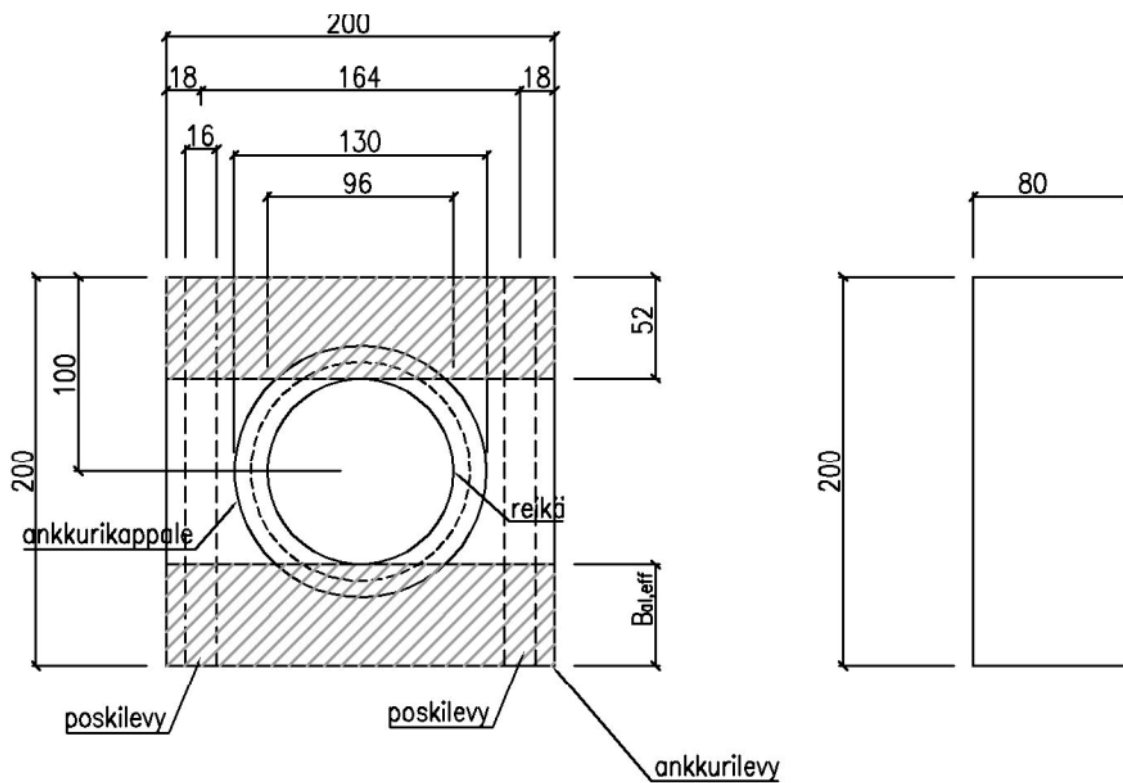
**Valitaan komponenttimenetelmällä lasketuista a-mitoista suurempi hitsin mitoittavaksi mitaksi**

$$a := \max(a_1, a_2, 3 \text{ mm})$$

$$a = 3 \text{ mm}$$

## LIITE 2: TYYPPIRAKENNE SEITSEMÄN PUNOKSISELLE ANKKURILLE





## LIITE 3: TYYPPIRAKENNE NELJÄ PUNOKSISELLE ANKKURILLE

