



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Anne Poutanen

---

## **Betonelementtien nostot ja kuljetustuet**

Opinnäytetyö

Kevät 2022

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Anne Poutanen

Työn nimi: Betonielementtien nostot ja kuljetustuet

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2022

Sivumäärä:41

Liitteiden lukumäärä:2

---

Betonielementit ovat elementtitehtaalla valettuja seiniä, laattoja, pilareita ja palkkeja. Betonielementtien kuljetuksessa ja nostoissa tulee ottaa huomioon monenlaisia asioita eri lakipykälistä ja määräyksistä työturvallisuuteen alkaen elementtien suunnittelusta ja niiden kuljetuksesta aina työmaalle saakka. Tässä opinnäytetyössä käydään läpi elementtien kuljetusta ja nostoja yleisesti ja pureudutaan sen jälkeen syvemmin elementtisuunnittelun näkökulmasta eri muotoisten betonielementtien kuljetustukien valintaan ja niiden perusteisiin. Elementtisuunnittelijan vastuulla on määrittää piirustuksiin oikeanlaiset tuet, jotta elementti pysyy pystyssä ja on ehjänä kuljetettavissa tehtaalta työmaalle ja asennettuna paikoilleen.

Opinnäytetyössä kartoitetaan eri kuljetustukien tyypit, tarpeet ja tilanteet. Opinnäytetyön tavoitteena oli rakentaa betonielementtien turvallista kuljetusta varten yhtenäiset detaljit suunnittelijan käyttöön eri tilanteiden tuille.

Lopputuloksena syntyy suunnittelijoille sisäinen ohjeistus, jota ei julkaista tämän työn yhteydessä julkiseksi, koska se on toimeksiantajan salaiseksi määrittelemä suunnittelu- ja toimintaohje.

<sup>1</sup> Asiasanat: elementtisuunnittelu, betoni, kuljetustuki, nosto

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Anne Poutanen

Title of thesis: Lifting and load restraints for concrete elements

Supervisor: Martti Perälä

Year: 2022

Number of pages: 41

Number of appendices:2

---

Concrete elements, such as walls, slabs, columns, and beams, are cast in a factory. Numerous things must be considered when lifting and transporting elements. These items, starting from various legislative and regulative requirements to occupational safety, and from the actual design of elements extending all the way to the transportation of an element to a construction site. The thesis studied the transport and lifting of elements in general. The perspective of element design was applied when focusing on the selection criteria of the load restraints needed for transporting different shapes of concrete elements. The designers' responsibility is to define correct load restraints already in the drawings so that the concrete element stays upright when transported from the factory to the construction site and can be safely installed in place. This remains the critical part of the process.

The thesis mapped the different types of load restraints, their requirements and usage in different situations. The aim of the thesis was to define universal details for designers to use in different situations. The outcome of the thesis was an internal guide for the designers of the commissioner company. The guide has not been published in the thesis as it is a design and operating instruction, and design and operating instructions are defined as confidential information by the commissioner company.

<sup>1</sup> Keywords: element designing, concrete, load restraints, lifting

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä .....	2
Thesis abstract .....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	9
1 JOHDANTO .....	10
2 BETONIELEMENTTIEN NOSTOT .....	11
2.1 Suunnittelijan tehtävät ja velvollisuudet.....	11
2.2 Nostot, nostoelimet ja nostoapuvälineet.....	11
2.2.1 Nostoelimet.....	12
2.2.2 Nostoapuvälineet .....	12
3 BETONIELEMENTTIEN KULJETUSTUET AUKOISSA.....	13
3.1 Erilaiset kuljetustukea vaativat aukot elementeissä ja niiden aiheuttamat haasteet .....	13
3.2 Aukolliset elementit (leveä ovi, ovi-ikkunayhdistelmä, normaali ovi).....	14
3.3 Vasaraelementit .....	15
3.4 Alareunastaan kolotut elementit .....	16
4 KULJETUSTUKIDETALJIT .....	17
4.1 Kuljetustukidetallit oviaukoille .....	17
4.1.1 Kuljetustuki 1.....	17
4.1.2 Kuljetustuki 2.....	18
4.1.3 Kuljetustuki 3.....	18
4.1.4 Kuljetustuki 4.....	19
4.2 Varastointitukidetallit alareunastaan kolotuille elementeille.....	20
5 KYSELYTUTKIMUS ELEMENTTITEHTAILLE YLEISIMMISTÄ KULJETUSTUISTA .....	21
5.1 Tutkimusmenetelmä ja toteutus.....	21

5.2 Tulokset ja johtopäätökset.....	22
6 KULJETUSTUKIEN LASKELMAT JA VALINTAPERUSTEET .....	25
6.1 Laskentatarkastelu nostotilanteessa .....	25
6.2 Elementin geometria ja kuormitus yleisesti, esimerkkejä .....	32
6.3 Yleispätevä ohjeistus elementtisuunnittelijalle tukien valintaa varten .....	36
7 BETONIELEMENTTIEN KULJETUS .....	37
7.1 Lait, asetukset ja määräykset .....	37
7.2 Betonielementtien sidonta ja varmistaminen kuljetuksen aikana.....	37
7.3 Työturvallisuustehtävät.....	38
8 YHTEENVETO .....	39
LÄHTEET .....	40
LIITTEET .....	41

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1 Pieliteräkset T10 kuljetustukena. ....	22
Kuva 2 Erillinen teräs kuljetustukena. ....	23
Kuva 3 Erillinen teräs katkaistuna. ....	24
Kuvio 1 Leveä ovi, ovi-ikkunayhdistelmä ja normaali ovi. ....	14
Kuvio 2 Vasaraelementin tuenta. ....	15
Kuvio 3 Varastointituki. ....	16
Kuvio 4 Kuljetustuki DET. Vemot + kierretanko. ....	17
Kuvio 5 Kuljetustuki DET. Lisäteräkset läpi.....	18
Kuvio 6 Kuljetustuki DET. Pieliteräkset läpi. ....	19
Kuvio 7 Kuljetustuki DET. Hitsauslevyt + profiiliputki. ....	19
Kuvio 8 Varastointituki. ....	20
Kuvio 9 Tarkasteltava elementti.....	26
Kuvio 10 RFEM Taivutusmomenttijakauma. ....	28
Kuvio 11 RFEM Momenttikuvaaja.....	29
Kuvio 12 Raudoitukset tarkasteltavan elementin palkissa. ....	29
Kuvio 13 RFEM Materiaaliominaisuudet. ....	30
Kuvio 14 RFEM Taivutusmomenttijakauma lisäteräksen jälkeen.....	31

Kuvio 15 Elementti jaettuna. ....	32
Kuvio 16 Ovi-ikkunayhdistelmä, nostopisteet elementin umpiosalla. ....	33
Kuvio 17 Ovi-ikkunayhdistelmä, nostopisteet kauempana painopisteestä. ....	34
Kuvio 18 Oviaukko keskellä elementtiä.....	35
Kuvio 19 Oviaukko elementin reunalla.....	35

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Vemo</b>	Vemot ovat betoniin ennen valua asennettavia sisäkierreankku-reita, joihin betonin kovettumisen jälkeen voidaan tehdä kiinnityksiä. Vemo siirtää siihen kohdistuvan kuormituksen rungossaan olevalla tartunnalla ympäröivään betoniin.
<b>RakMK</b>	Suomen rakentamismääräyskokoelma.
<b>Momentti</b>	Mekaaninen suure, joka syntyy voiman ja momenttivarren (vaikuttava matka) tulon vääntövaikutuksesta.



## 1 JOHDANTO

Elementtisuunnittelijalla on betonielementtien kuljetuksien ja nostojen onnistumisen kannalta suuri rooli. Nostoissa ja kuljetuksissa tulee huomioida lakipykälät, määräykset ja työturvallisuuteen liittyvät seikat. Elementtien nostot aiheuttavat elementille erilaisia rasituksia, joita elementin suunnitellaan kestävänsä asennettuna paikalleen työmaakohteessa. Elementtien tulee siis kestää murtumatta elementtitehtaalta työmaalle ja kestää nostoja oman painonsa verran. Suunnittelijan vastuulla on määrittää piirustuksiin oikeanlaiset nostoelimet, elementin raudotteet ja aukollisissa elementeissä kuljetustuet, jotta se pysyy pystyssä ja ehjänä tehtaalta työmaalle ja asennettuna paikoilleen.

Opinnäytetyön tilaaja A-insinöörit Suunnittelu Oy on yli kuudenkymmenen vuoden historiansa aikana kasvanut yhdeksi Suomen suurimmista rakennetekniikan suunnittelutoimistoista. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa eri kuljetustukien tyypit, tarpeet ja tilanteet. Työssä käsitellään myös noston vaikutuksia elementin rasituksille, ja miten niitä rajoitetaan. Varsinaisena lopputuloksena opinnäytetyöstä syntyy A-insinööreille suunnittelijoiden tueksi yhtenäiset detaljit eri tilanteiden kuljetustuille sekä laskentatyökalu nostojen ja kuljetustukien tarkasteluun.

## **2 BETONIELEMENTTIEN NOSTOT**

Betonielementtien nostojen tarkka suunnittelu on oleellinen osa niiden turvallista ja sujuvaa kuljetusta ja asennusta. Oikeanlaiset elementtisuunnitelmat elementin koko ja muoto huomioiden ja oikeat nostoapuvälineet ovat ehdottomat edellytykset nostojen onnistumiselle niin, ettei siitä koidu työturvallisuuden kannalta vaaraa.

### **2.1 Suunnittelijan tehtävät ja velvollisuudet**

Elementtien kuljettamisen turvallisuuden vastuu alkaa rakenne- ja elementtisuunnittelijasta. Suunnittelija vastaa siitä, että rakennesuunnitelmat ovat asennustyön turvallisuuden kannalta ristiriidattomat ja täyttävät niille asetetut työturvallisuusvaatimukset (Betoniteollisuus, 2010b, s. 6).

Elementtisuunnittelija määrittelee elementtien työnaikaisten tukien lisäksi myös kuljetuksessa mahdollisesti tarvittavien tukien sijainnit, tukien mitoittamiseen tarvittavat kuormitustiedot ja ohjeet lopullisesta kiinnittämisestä varten suunnitelmissaan siten, että rakenteellinen vakaus säilyy työn kaikissa vaiheissa (Betoniteollisuus, 2010b, s. 6). Nämä tiedot annetaan toteutuksesta vastaaville tahoille asennussuunnitelman laadintaa varten (Rakennustieto, 2010, s. 4). Lisäksi annetaan tiedot elementtien turvallisesta nostosta ja käsittelystä ja turvallisuuslaitteista. Asennussuunnitelmassa käydään läpi käytettävä nostokalusto, elementtityyppien maksimipainot, asennusjärjestys ja työturvallisuusasiat (Betoniteollisuus, 2010b, s. 9). Suunnittelija hyväksyy omalta osaltaan asennussuunnitelman.

### **2.2 Nostot, nostoelimet ja nostoapuvälineet**

Kun elementti on valmistettu suunnittelijan ohjeisen mukaisesti, sen nostossa ja asennuksessa on noudatettava asennussuunnitelmaa. Elementtien on nostettaessa oltava tasapainossa (Betoniteollisuus, 2010b, s. 7). Nostopisteet on sijoitettu elementtiin siten, että nostettaessa elementti pysyy suorassa ja on siten helposti asennettavissa paikoilleen. Nosto suoritetaan yleensä rakseilla, ja suurin sallittu nostokulma on tavallisesti 30 astetta.

Elementtiä nostettaessa nostoelimiin (nostolenkit tai nostoankkurit) kohdistuu vino vetorasitus, joka kasvaa haara- ja nostokulman kasvaessa. Jos alkuperäisistä suunnitelmista tai ohjeista joudutaan työmaalla poikkeamaan, on muutos hyväksyttävä alkuperäisen suunnitelman laatijalla ennen töiden jatkamista. Erityisen vaikeita nostoja varten on laadittava erillinen nostosuunnitelma (Betoniteollisuus, 2010b, s. 7).

Elementtien asennusnosturina on käytettävä siihen suoritusarvoltaan riittävää ja siihen tarkoitukseen suunniteltua nosturia. Nostojen ohjaus työmaalla on toteutettava turvallisesti.

### **2.2.1 Nostoelimet**

Nostoelimillä tarkoitetaan elementtiin valettua ja siihen pysyvästi jäävää nostolenkkiä tai ankkuria (Betoniteollisuus, 2010b, s. 19). Yleisimmin elementtien nostot toteutetaan pyöröteräksestä tai punoksesta tehdyillä nostolenkeillä, joihin nostoraksit kiinnitetään raksikoukulla. Suunnittelijan tulee merkitä piirustuksiin, minkä valmistajan nostolenkkejä elementtivalmistajan tulee käyttää ja mikä on niiden suurin sallittu nostokulma, sillä nostolenkkien kapasiteetit voivat vaihdella valmistajakohtaisesti. Nostoankkurit ovat nostoelimiä, joista nostetaan erillisillä nostolukoilla.

### **2.2.2 Nostoapuvälineet**

Nostoapuvälineet ovat nosturin koukun ja elementin nostoelimen välissä käytettäviä ketjuja, koukkuja, renkaita, palkkeja tai lukkoja (Betoniteollisuus, 2010b, s. 21). Nostoapuvälineen valinta riippuu nostoelimestä. Yleisimmin elementeissä käytetään nostolenkkejä, joten niiden nostoon sopivat nostoraksit ja nostopalkit. Nostoraksit voivat olla yksi- tai useampihaaraisia riippuen siitä, miten elementti on suunniteltu nostettavan. Nostopalkkeja käytetään erityisen leveiden elementtien nostamiseen, mikäli sallittu nostokulma ei muutoin toteudu. Nostopalkkeja on olemassa kantavuudeltaan, muodoltaan ja pituudeltaan lukuisia eri malleja. Nostopalkeissa voi olla useita nostokannakkeita, ja puomin nostokapasiteetti riippuu nostokulmasta.

### **3 BETONIELEMENTTIEN KULJETUSTUET AUKOISSA**

Betonielementtejä suunniteltaessa tulee huomioida noston aiheuttamat rasitukset aukkoissa. Kuljetustukiratkaisut sovitaan ennakkoon urakka-aineiston yhteydessä yhdessä tilaajaosapuolen, urakoitsijan ja elementtitoimittajan kanssa viimeistään elementtisuunnitelun aloituspalaverissa. Suunnittelijan vastuulla on merkitä piirustuksiin oikeanlaiset kuljetustuet, jotta elementit ovat turvallisesti ja rikkoutumatta kuljetettavissa ja asennettavissa.

#### **3.1 Erilaiset kuljetustukea vaativat aukot elementeissä ja niiden aiheuttamat haasteet**

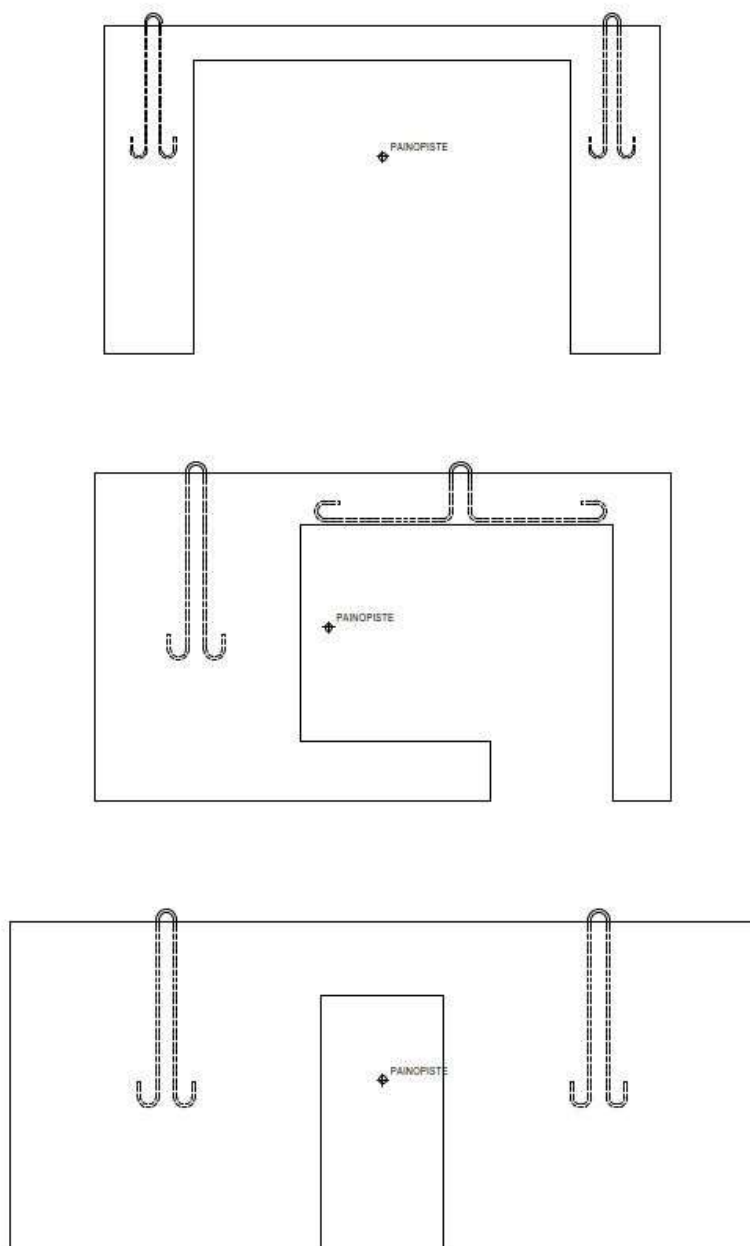
A-insinöörien elementtisuunnittelussa on olemassa jo käytössä olevia hyväksi havaittuja ratkaisuja aukollisten elementtien kuljetustuista. Tapauskohtaisesti kuljetustukia valittaessa otetaan huomioon elementissä vallitsevat voimat nostoissa, eli erityistä huomiota aukollisissa elementeissä tulee kiinnittää aukon sijaintiin ja kokoon suhteessa nostopisteisiin. Elementin rakenneosiin syntyy erilaisia rasituksia, joihin vaikuttavat elementin geometria, nostopisteiden sijainti ja elementin paino. Aukkojen yläkulmiin syntyvä momentti on huomioitava elementin raudoituksissa.

Elementtiä nostettaessa tietyistä pisteistä rakenneosiin kohdistuu rasituksia, jotka saattavat aiheuttaa elementin murtumisen. Nostotilanteessa elementtiin ja kuljetustukeen syntyvät rasitukset ovat helppoiten hallittavissa, kun aukko on nostopisteiden välissä. Hankalin tilanne noston kannalta syntyy, kun aukko on epäsymmetrisesti elementin reunalla ja nostopiste aukon palkin kohdalla. Palkista nosto aiheuttaa ylöspäin muodostuvaa pistekuormaa, joka on huomioitava palkkiraudotteessa. Kuljetustuen tehtävä on rajoittaa yllä mainittuja noston aiheuttamia rasituksia ja estää rakenteiden murtumat.

Normaalien oviaukkojen ja ovi-ikkuna-yhdistelmien rinnalla leveät liukulasisseinät ovat merkittävästi yleistyneet kerrostalorakentamisessa, ja se on aiheuttanut uudenlaisia haasteita suunnittelutyössä. Leveiden oviaukkojen kuljetustuissa on kiinnitettävä erityistä huomiota kuljetustuen riittävään kapasiteettiin voimien rajoittamiseksi.

### 3.2 Aukolliset elementit (leveä ovi, ovi-ikkunayhdistelmä, normaali ovi)

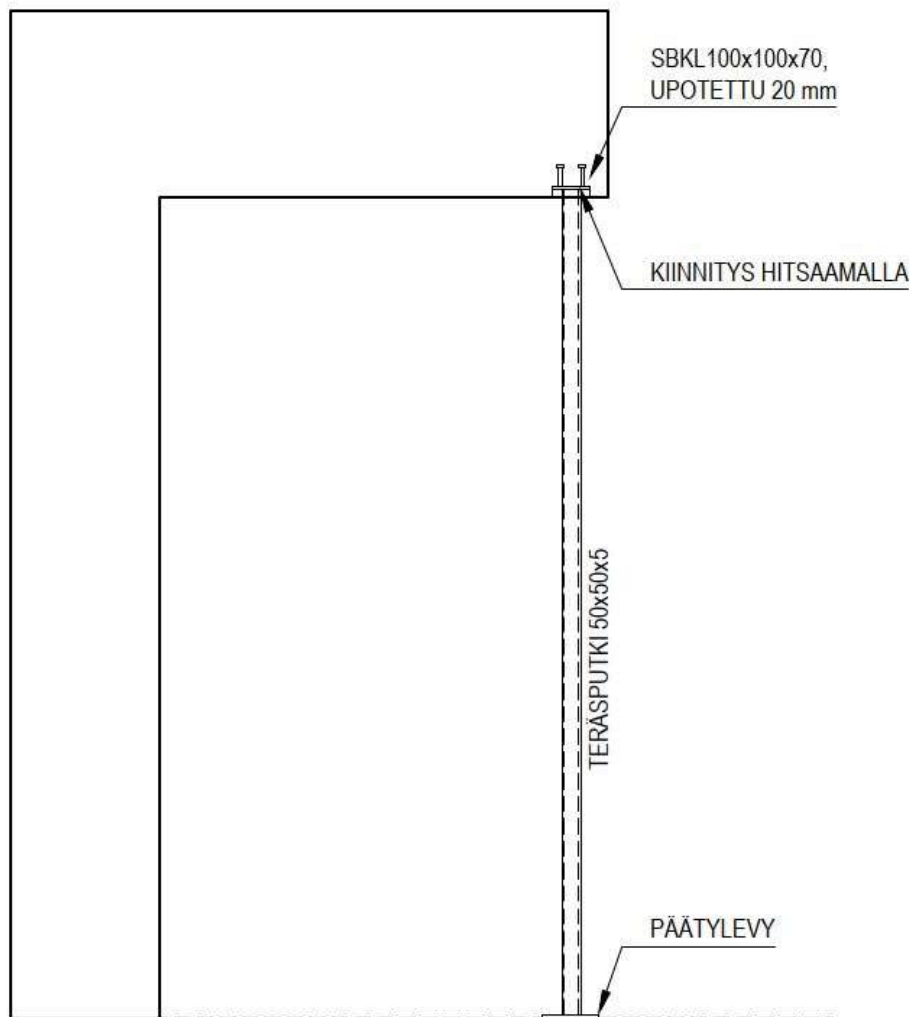
Oviaukolliset elementit aiheuttavat suurimmat haasteet kuljetustukien suunnittelussa. Eri kokoiset aukot ja niiden sijainti elementeissä ovat myöhemmin tarkastelussa kuljetustukien suunnittelun suhteen.



Kuvio 1 Leveä ovi, ovi-ikkunayhdistelmä ja normaali ovi.

### 3.3 Vasaraelementit

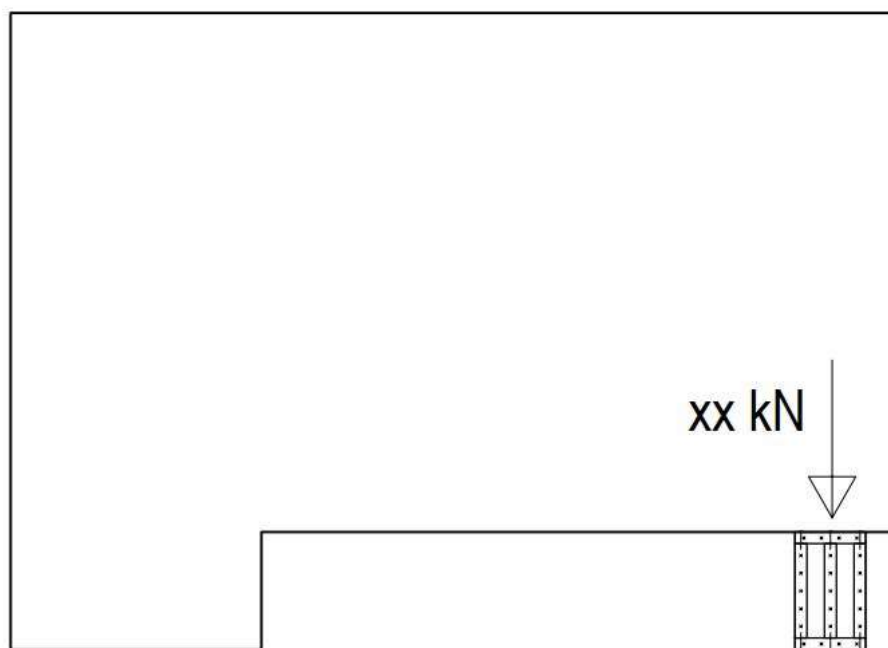
Vasaraelementti-nimitystä käytetään elementistä, jossa on pilarin päällä palkki, jolle ei ole tuentaa toisesta reunastaan. Tällainen elementti tulee poikkeuksetta tukea teräsputkella vapaasta reunastaan, jotta sen kaatuminen kuljetuksen ja varastoinnin aikana estetään. Kevyiden vasaraelementtien tukemiseen voidaan joissain tapauksissa käyttää myös puuta, mutta teräsputkella varmistetaan se, että tuen kapasiteetti on riittävä kaikissa tapauksissa.



Kuvio 2 Vasaraelementin tuenta.

### 3.4 Alareunastaan kolotut elementit

Betonielementtien kuljetuksessa ja varastoinnissa on huomioitava, että elementit pysyvät pystyssä eivätkä oman geometriansa vuoksi pääse kaatumaan, ja täten ei aiheudu vaaraa tai elementin rikkoutumisia kuljetuksen ja varastoinnin aikana. Elementteihin, joiden alareunaa on kolottu siten, että painopisteen sijoittumisen suhteen elementti ei pysy pystyssä, tulee suunnitella tuenta. Tällainen tuentaratkaisu suunnitellaan kullekin elementille sen painoon ja geometriaan nähden tapauskohtaisesti. Yleensä tueksi riittää puukehikko, joka jäykistetään vanerilla.



Kuvio 3 Varastointituki.

## 4 KULJETUSTUKIDETALJIT

A-insinöörien elementtisuunnittelussa on olemassa jo käytössä olevia hyväksi havaittuja ratkaisuja aukollisten elementtien kuljetustuista. Näiden detaljien käyttöä ja valintaperusteita käsitellään myöhemmässä osiossa.

### 4.1 Kuljetustukidetaljit oviaukoille

#### 4.1.1 Kuljetustuki 1

Tässä kuljetustukityypissä aukon alareunassa molemmilla sivuilla on vemo, eli sisäkierreankkuri. Ennen elementin valua vemojen väliin asennetaan päistä kierteytetty harjaterästanko tai kierretanko. Tangon tarkoitus on ottaa vastaan vetävät voimat. Aukon väliin asennettu puu ottaa vastaan puristavat voimat.

Kun elementti on asennettu paikoilleen, sisäkierreankkureiden väliin asennettu tanko katkaistaan, ja tangonpuolikkaat kierretään irti. Aukon sivuilla olevat sisäkierreankkurit ovat upotetut (10–20 mm) ankkurin reiän paikkaamisen helpottamiseksi.



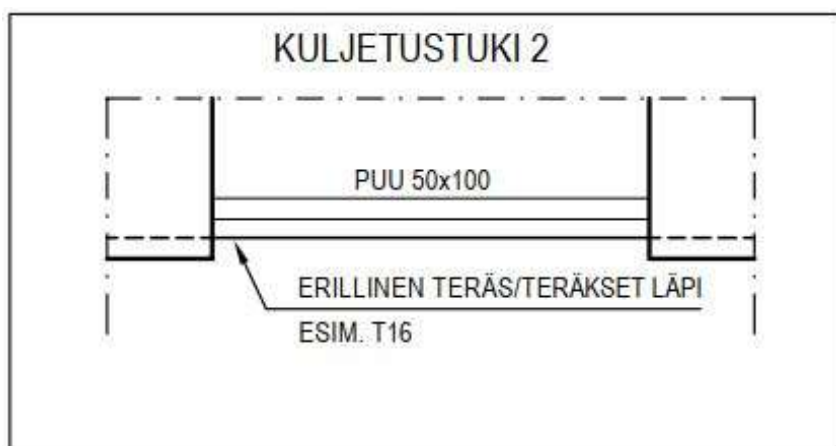
Kuvio 4 Kuljetustuki DET. Vemot + kierretanko.



#### 4.1.2 Kuljetustuki 2

Seuraavaksi tarkasteltava kuljetustukityyppi on toteutettu erillisellä tartuntapituudeltaan betoniin valetulla harjaterästangolla. Toimintaperiaate on muutoin sama kuin kuljetustukityypissä 1.

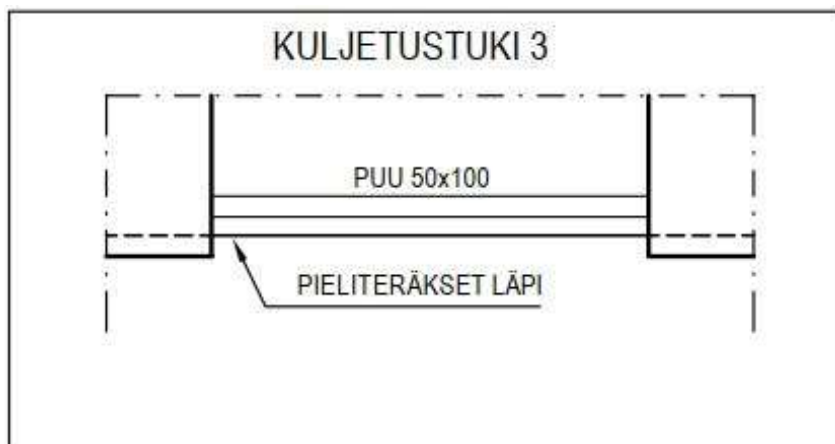
Elementin asennuksen jälkeen tanko katkaistaan aukon molemmilta reunoilta. Tangon päissä voi olla katkaisuväruukset, jotta tangot saadaan katkaistua riittävän syvältä tasoittamisen helpottamiseksi.



Kuvio 5 Kuljetustuki DET. Lisäteräkset läpi.

#### 4.1.3 Kuljetustuki 3

Kaikkien elementtien reunoilla kiittää yleensä kaksi terästankoa eli pieliterästä. Tässä kuljetustukityypissä pieliteräkset viedään aukon läpi ja toimivat siten kuljetustukiteräksinä. Toimintaperiaate on sama kuin edellisissä.



Kuvio 6 Kuljetustuki DET. Pieliteräkset läpi.

#### 4.1.4 Kuljetustuki 4

Erityisesti leveissä aukoissa vaaditaan kuljetustuelta suurempaa kapasiteettia, jolloin terästanko korvataan teräsprofiiliputkella (esim. 50 x 50 mm, putken seinämän vahvuus 5 mm). Ennen elementin valua aukon alareunaan molemmille sivuille asennetaan betonivaluihin tarkoitetut hitsauslevyt, joiden väliin teräsprofiiliputki kiinnitetään hitsaamalla.

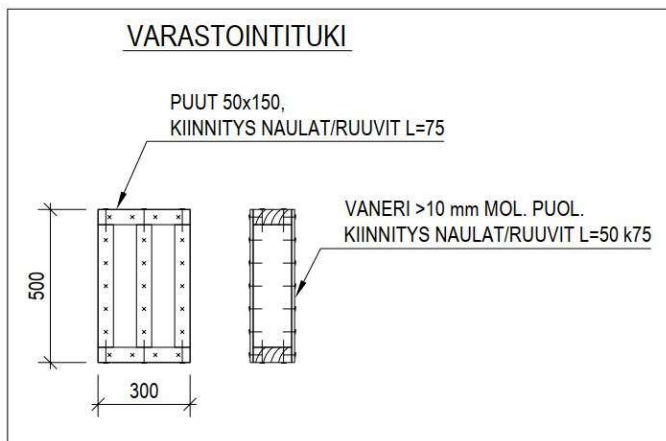
Hitsauslevyt ovat upotettu (30 mm) katkaisun ja tasoittamisen helpottamiseksi.



Kuvio 7 Kuljetustuki DET. Hitsauslevyt + profiiliputki.

## 4.2 Varastointitukidetalji alareunastaan kolotuille elementeille

Varastointitukea tarvitaan elementissä, jonka alareuna ei ole suora (kts. luku 3.1.3). Varastointituki suunnitellaan tapauskohtaisesti elementin paino ja painopiste huomioiden. Tuki tulee mitoittaa siihen kohdistuvaan pystykuormaan sopivaksi.



Kuvio 8 Varastointituki.

## 5 KYSELYTUTKIMUS ELEMENTTITEHTAILLE YLEISIMMISTÄ KULJETUSTUISTA

Kyselytutkimuksen tavoitteena oli selvittää elementtitehtailta heidän mielipiteitään ja ideoituaan tuotannon näkökulmasta A-insinööreillä toimiviksi ajatelluista kuljetustukiratkaisuista ja mahdollisia tehtaan toiveita niiden suunnittelun suhteen. Kyselytutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, minkälainen kuljetustukiratkaisu kullakin tehtaalla on tällä hetkellä yleisin sekä minkälainen ratkaisu olisi tehtaan kannalta helpoin toteutettava.

### 5.1 Tutkimusmenetelmä ja toteutus

Kyselytutkimus toteutettiin laadullisena tutkimuksena. Laadullista tutkimusta käytetään selvittäessä kyseessä olevan asian kokonaisvaltaista ja syvempää merkitystä. Tässä tapauksessa tutkimusmenetelmä antoi tilaa tutkittavien henkilöiden omille näkökulmille ja kokemuksille elementtien kuljetustukien hyvistä ja huonoista puolista.

Toteutustapana käytettiin sähköistä kyselytutkimusta. Sähköisellä kyselyllä pystytään keräämään nopeasti laaja tutkimusaineisto melko vaivattomasti. Se on myös ajallisesti ja kustannuksiltaan nopea ja halpa. Sähköisen kyselyn heikkouksina kuitenkin voitaneen mainita kyselylomakkeen teon haasteellisuus. Kyselyn oli oltava lyhyt, ytimekäs ja helposti ymmärrettävä, sillä vastaajien kanssa ei oltu henkilökohtaisesti tekemisissä. Kyselylomaketta laatiessa piti ottaa huomioon, ettei kysely saa olla liian pitkä, jotta vastaajat täyttäsivät lomakkeen huolellisesti loppuun.

Kyselylomake (liite 1) laadittiin käyttäen Google Forms -lomake-editoria. Linkki kyselylomakkeeseen lähetettiin toimeksiantajayrityksen yhteistyöelementtitehtaiden edustajille sähköpostitse. Kysely lähetettiin 9 vastaajalle 8 eri elementtitehtaaseen ja vastaukset saatiin lopulta kuudelta henkilöltä. Vastausprosentiksi muodostui 66 %. Vastausprosenttiin vaikutti luultavasti eniten kyselyn lyhyt vastausaika, eivätkä kaikki ehtineet vastata.

## 5.2 Tulokset ja johtopäätökset

Kyselyssä tehtaiden edustajilta on alussa kysytty tehtaan yleisintä käytössä olevaa kuljetustukiratkaisua. Hajontaa tässä oli paljon, eikä yhtä selkeää vastausta ollut tulkittavissa. Useimmilla tehtailla on edelleen käytössä joko erillisistä teräksistä tai pieliteräksistä toteutettu tuki, johon on tarvittaessa lisätty puu puristukselle. Parman tuotantosuunnittelija Lintulan (2022) mukaan heillä on yleisimmin käytössä oma rappauselementteihin suunniteltu kuljetustukiratkaisunsa. Muilla tehtailla hajontaa oli enemmän riippuen tilaajan toiveista.

Seuraavaksi tiedustelin, millainen kuljetustukiratkaisu olisi tehtaan kannalta helpoin toteutettava ja miksi. Vähiten työtä tehtaan päässä aiheuttaa pieliterästen käyttö kuljetustukena (kuva 1), mutta koska tämä ratkaisu toimii vain tilanteissa, joissa pieliteräkset – yleensä T10 – riittävät noston aiheuttaman vedon rajoittamiseksi, on sen kestävyys tarkistettava jo suunnitteluvaiheessa. Myös jo valuvaiheessa lisättävät ylimääräiset kuljetustukena toimivat teräkset koettiin tuotannon kannalta helppoina, sillä ne saadaan lisättyä yhdessä työvaiheessa eivätkä ne vaadi myöhempää työstöä.



Kuva 1 Pieliteräkset T10 kuljetustukena.

Edellä esitetyssä kuvassa 1 on kuljetustuki toteutettu elementin pieliteräksillä T10. Nämä estävät vetorasitusta ja puristukselle tehtaalla on lisätty aukkoon puu. Oikeaoppisesti puu tulisi olla sisäkuorella keskeisesti. Elementin sisäkuoren alaosaan on kolottu varaukset pieliterästen katkaisua varten.

Näiden kysymyksen jälkeen kyselyssä esiteltiin yleisimmät oviaukkojen kuljetustukiratkaisuiden detaljit ja kysyttiin niiden hyviä ja huonoja puolia tuotannon näkökulmasta. Sekä pieliteräksien käyttöä että lisäteräksiä (kts. kuvio 4 s. 17 ja kuvio 5 s. 18) pidettiin yleisesti helppoina ja edullisina vaihtoehtoina. Pieliterästen tai lisäteräksien kanssa elementin sisäkuoren alaosaan kolotaan katkaisuvaraukset, sillä kun pieliteräkset työmaalla elementin asennuksen jälkeen katkaistaan, jää niistä elementin aukon reunoille väkisin lyhyet tyngät (kuva 3). Katkaisun jälkeen kolot valetaan umpeen. Joten vaikka tehtaalla nämä ratkaisut ovat helposti toteutettavissa, aiheuttavat ne työmaalla ylimääräistä työtä reikien paikkaamisessa.



Kuva 2 Erillinen teräs kuljetustukena.



Kuva 3 Erillinen teräs katkaistuna.

Kolmantena vaihtoehtona kyselyssä esiteltiin A-insinööreillä parhaimmaksi todettu kuljetustukiratkaisu (kuljetustuki 1), jossa pieliteräkset käännetään ja niiden (tai lisäteräksien) sijaan sisäkuoreen keskeisesti upotetaan M16-vemot, joiden väliin lisätään päistään kierretty harjaterästanko T16. Tämä ratkaisu aiheuttaa tehtaalla enemmän työtä, mutta on työmaalla helpommin työstettävissä. Tällaisessa ratkaisussa elementin aukon reunoilla ei tarvita katkaisuvaramuksia, teräs voidaan katkaista ja kiertää helposti irti vemoista. Vemojen kolot ovat helposti paikattavissa. Kyselyn yhteydessä valmistuspäällikkö Laakso Lujabetonilta (2022) huomauttaa, että vemot + kierretanko -ratkaisu aiheuttaa materiaaleissa ja lisätyön vuoksi lisäkustannuksia tuotantovaiheessa, mutta toisaalta aikaa säästetään sitten työmaalla.

Hitsauslevyjä ja profiiliputkia (kuljetustuki 4, kuvio 7, s. 19) käytetään kuljetustukina lähes poikkeuksetta leveissä oviaukoissa, kuten liukuseinälaseissa muiden vaihtoehtojen ollessa liian kevyitä. Tehtailta saatiin hyvin yhtenevä mielipide, että vaikka ratkaisu on työläämpi ja kustannuksiltaan suurempi kuin perusratkaisut, on se ainut ratkaisu, joka kestää suurien aukkojen kohdalla.

## 6 KULJETUSTUKIEN LASKELMAT JA VALINTAPERUSTEET

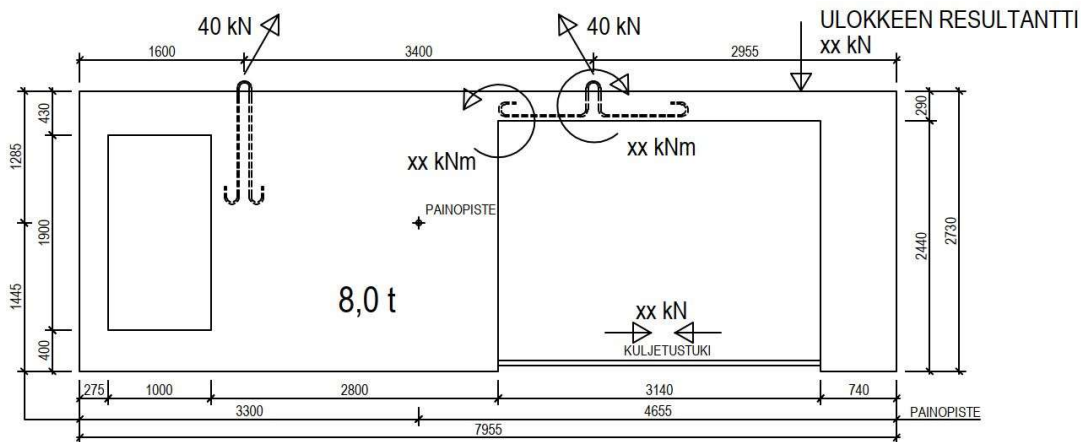
### 6.1 Laskentatarkastelu nostotilanteessa

RFEM on rakenneanalyysiohjelmisto, jonka avulla voidaan määrittellä rakenteita, materiaaleja sekä kuormia taso- ja 3D-rakennejärjestelmille. RFEM-ohjelmistoa voidaan käyttää mm. teräs-, betoni-, puu-, lasi-, kalvo- ja vetorakenteiden suunnitteluanalyysissä (Dlubal Software, 2022). Ohjelmistolla on mahdollista määrittää rakenteiden muodonmuutoksia, sisäisiä voimia ja tukivoimia Ohjelmistoon on saatavilla erilaisia lisämoduuleja, jotka luovat yhteyksiä ja rakenteita, joiden avulla voidaan tehdä analyyssejä erilaisiin standardeihin perustuen.

Opinnäytetyön lopputuotoksena syntyvän sisäisen ohjeistuksen rinnalle kehitetyn RFEM-laskentatyökalun kautta pääsemme tarkastelemaan erilaisia aukollisten elementtien tilanteita ja laskemaan niissä syntyviä rasituksia ja riskitilanteita. Ohjelmaan syötetään elementtien mitat, paino, nostopisteet yms., joiden pohjalta pystytään määrittämään optimaaliset paikat nostopisteille ja kuljetustuen tarve.

Lähempään tarkasteluun otetaan elementti, jonka mitat ja nostopisteet on esitetty kuviossa 9. Elementin paino on 8 t. Nostolenkit on sijoitettu keskeisesti painopisteeseen nähden. Vaarallisin tilanne noston kannalta syntyy ikkuna-aukon palkin kohdalle, kun toinen nostopiste on sijoitettu siihen. Palkin vapaa väli on 3140 mm.





Kuvio 9 Tarkasteltava elementti.

Elementtien nostossa käytetään RakMK:n vaatimuksien mukaan 4-kertaista varmuutta murtoon nähden. Nostotilanteen varmuus voidaan laskea eurokoodin lisäksi raportin CEN/TR 15728 mukaisesti (Betoniteollisuus, 2010a, s. 8).

- Materiaalien varmuudet
  - teräs 1,5 (kun mitoitetaan rakenneosan teräsiä, itse nostolenkissä 2,0)
  - betoni 1,5
- Kuormien osavarmuusluvut
  - pysyvien kuormien osalta 1,15
  - sysäykselle ja muotista nostolle 1,5

Nostotilanteessa kuorman mitoitusarvo lasketaan kaavalla 1 (Betoniteollisuus, 2010a, s. 9):

$$E_d = \gamma_G \cdot G + (\psi_{\text{dyn}} - 1) \cdot \gamma_Q \cdot Q \quad (1)$$

Missä

$G$  on elementin paino

$\psi_{\text{dyn}}$  on dynaamisen kuorman kerroin (1,6)

$\gamma_G$  on pysyvien kuormien varmuuskerroin

$\gamma_Q$  on muuttuvien kuormien varmuuskerroin

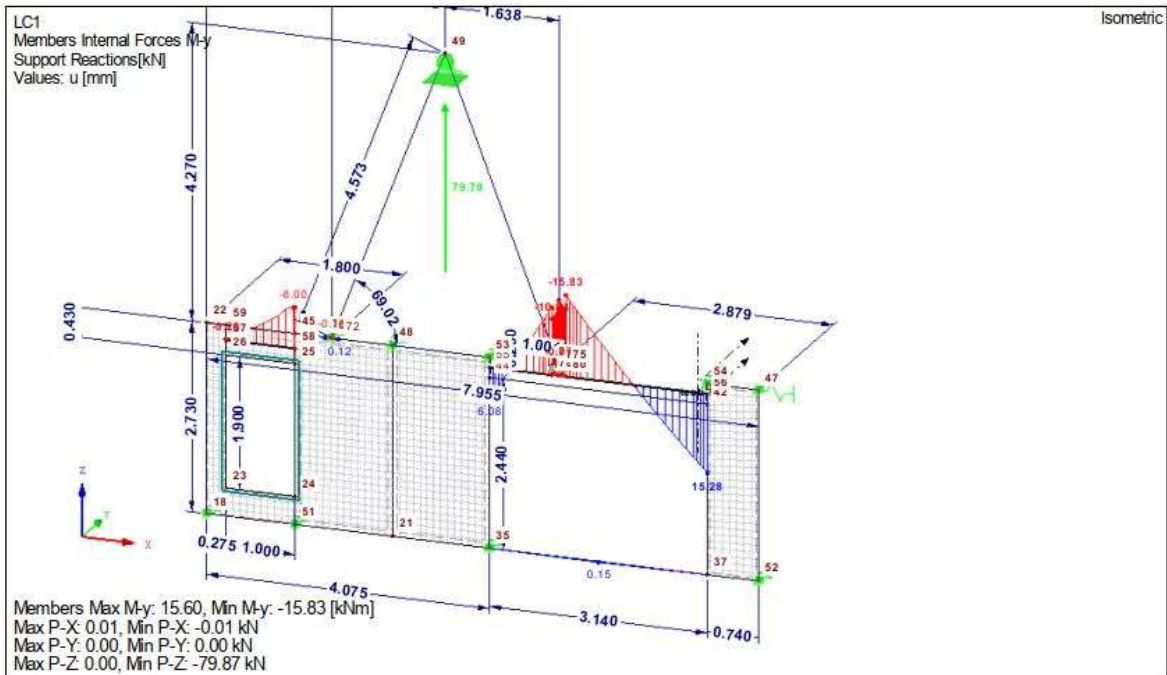
Siten kuorman osavarmuusluku saadaan kaavasta 2 (Betoniteollisuus, 2010a, s. 10):

$$\gamma_L = \gamma_G + (\psi_{\text{dyn}} - 1) * \gamma_Q \quad (2)$$

$$\gamma_L = 1,15 + (1,6 - 1) * 1,5 = 2,05$$

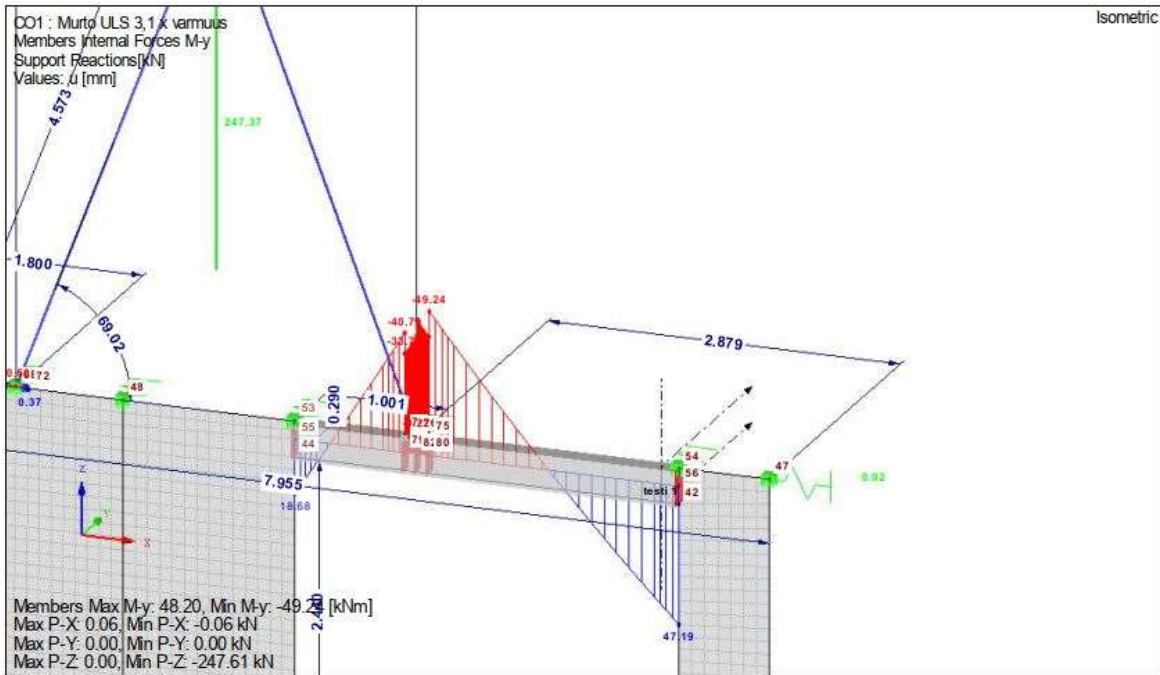
Ja kokonaisvarmuudeksi saadaan materiaalin osavarmuusluvun ja kuorman osavarmuusluvun tulona  $1,5 * 2,05 = 3,08 \sim 3,1$

Tutkitaan elementin ikkuna-aukkopalkin kestävyyttä nostotilanteessa. Tarkastelu on tehty RFEM-ohjelmalla, ja apuna on käytetty concrete member -laskentamoduulia. Ohjelmaan mallinnetaan elementin sisäkuori, jonka paksuus on 170 mm ja määritellään elementin nostolenkkeihin nostoraksit kolmenkymmenen asteen nostokulmaan, joista elementti riipustetaan. Kuormana käytetään elementin omaa painoa. Kokonaispaino vastaa kokonaiskuormaa 79,8 kN.



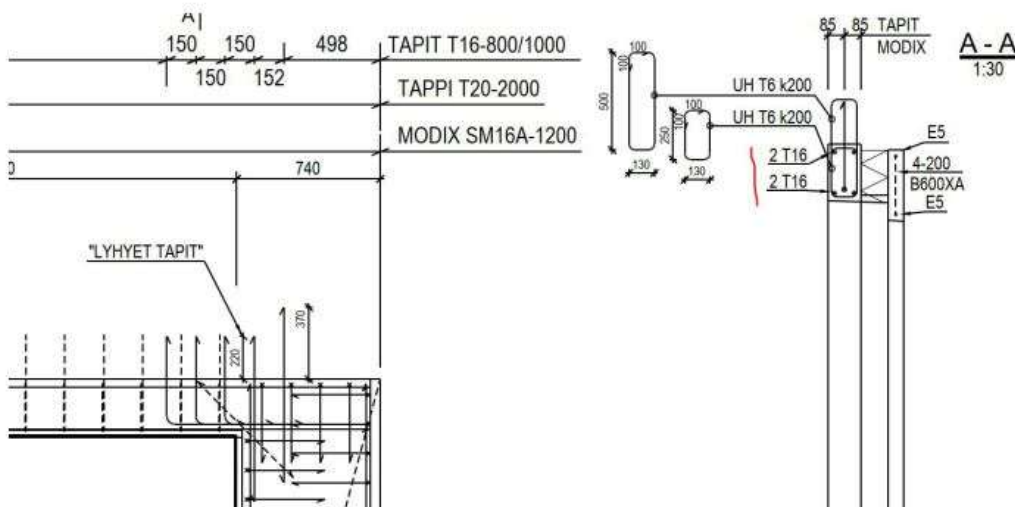
Kuvio 10 RFEM Taivutusmomenttijakauma.

Yllä olevasta RFEM-ohjelmasta saadusta kuvio 10 näkyy leveän aukon yläpalkin taivutusmomenttijakauma, joka syntyy oman painon kuormituksesta. Taivutusmomentit ovat samaa luokkaa nostopisteessä ja aukkopalkin ulkonurkassa. Murtorajatilassa elementin paino kerrotaan kokonaisvarmuuskertoimella 3,1, jolloin momenttikuvaaja on kuvion 11 mukainen.



Kuvio 11 RFEM Momenttikuvaaja.

Tämän jälkeen tarkastellaan elementille suunniteltujen raudoituksien kautta palkin kestävyttä.



Kuvio 12 Raudoitukset tarkasteltavan elementin palkissa.

Esimerkin tapauksessa aukkopalkin molemmissa pinnoissa on 2 T16 tangot. Raudoituk-  
sen etäisyys reunasta on 35 mm. Laskentatyökalun tuloksesta käy tämän jälkeen ilmi,  
että kapasiteetti ylittyy ja vaaditaan järeämpiä raudoituksia. Mikäli palkin alapintaan lisä-  
tään yksi T16-tanko, palkki saadaan kestävämpään. Laskennassa käytettiin tällöin kuvion  
13 mukaisia materiaaliominaisuuksia.

1.2 Materials

Material No.	A	B	C
Material No.	Material Description		Comment
	Concrete Strength Class	Reinforcing Steel	
1	Steel S 355	B 500 S (A)	
2	Concrete C30/37	B 500 S (B)	
4	Softwood Timber C24	B 500 S (A)	

Material Properties

**Concrete Strength Class: Concrete C30/37**

Characteristic Cylinder Compressive Strength	$f_{ck}$	30.000	N/mm <sup>2</sup>
Mean Cylinder Compressive Strength	$f_{cm}$	38.000	N/mm <sup>2</sup>
Mean Axial Tensile Strength	$f_{ctm}$	2.900	N/mm <sup>2</sup>
5 % Fractile of Axial Tensile Strength	$f_{ctk,0.05}$	2.000	N/mm <sup>2</sup>
95 % Fractile of Axial Tensile Strength	$f_{ctk,0.95}$	3.800	N/mm <sup>2</sup>
Mean Secant Modulus of Elasticity	$E_{cm}$	33000.000	N/mm <sup>2</sup>

**Characteristic Strains for Nonlinear Calculations**

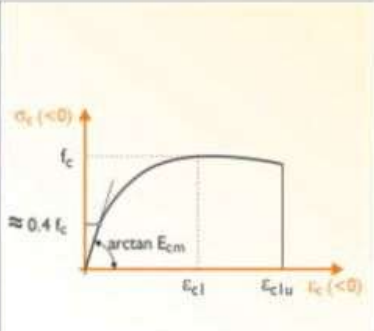
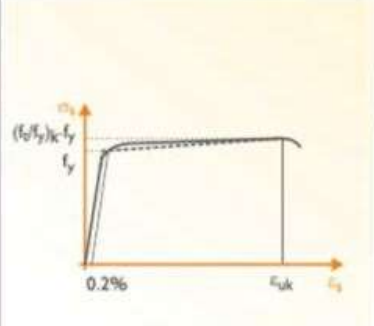
Ultimate Strain for Pure Compression	$\epsilon_{c1}$	-2.20	%
Ultimate Strain at Failure	$\epsilon_{cu1}$	-3.50	%

**Characteristic Strains for Parabolic-Rectangular Diagram**

Ultimate Strain for Pure Compression	$\epsilon_{c2}$	-2.00	%
Ultimate Strain at Failure	$\epsilon_{cu2}$	-3.50	%
Parabola Exponent	$n$	2.00	
Specific Weight	$\gamma$	25.00	kN/m <sup>3</sup>

**Reinforcing Steel: B 500 S (B)**

Modulus of Elasticity	$E_s$	200000.000	N/mm <sup>2</sup>
Characteristic Yield Stress	$f_{yk}$	500.000	N/mm <sup>2</sup>
Characteristic Tensile Strength	$f_{tk}$	540.000	N/mm <sup>2</sup>
Limiting Strain	$\epsilon_{uk}$	50.00	%

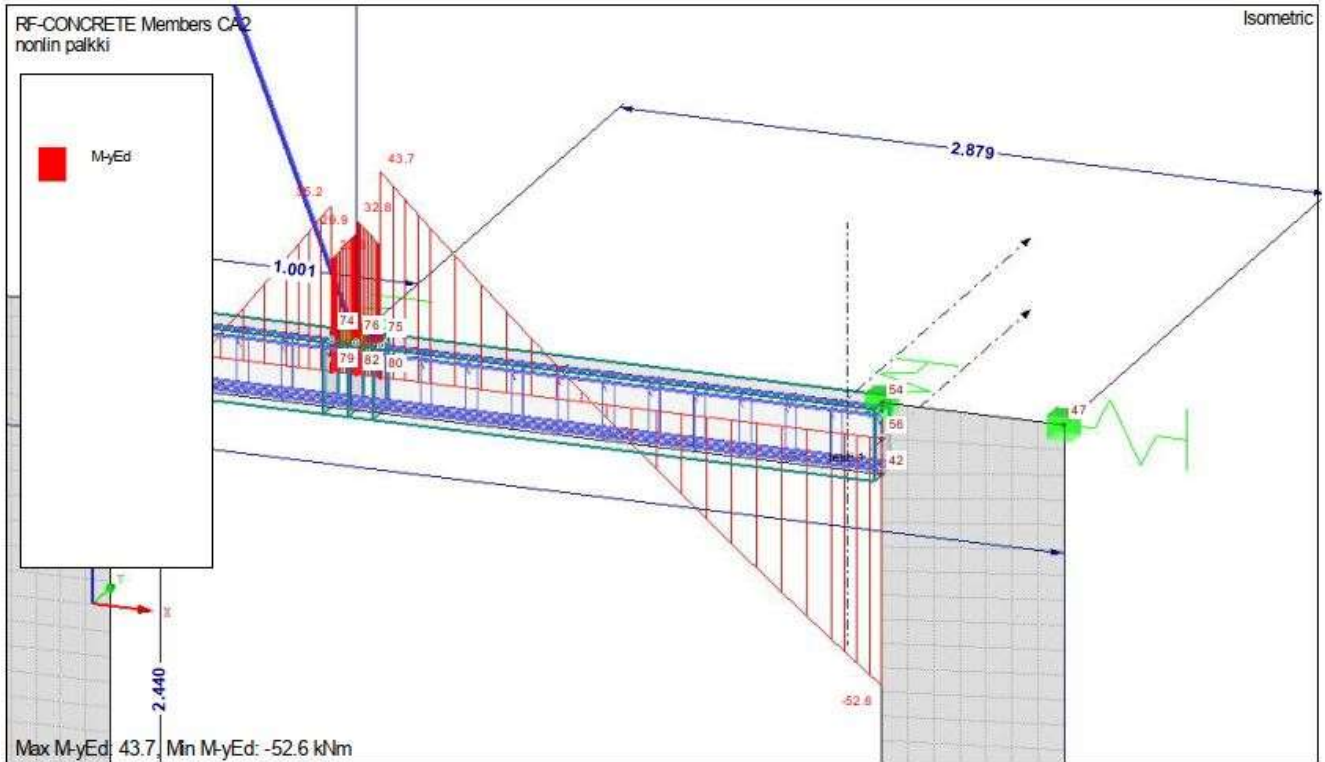
Kuvio 13 RFEM Materiaaliominaisuudet.

Sekä betonin että teräksen materiaali mallinnetaan epälineaarisenä. Käytetään B500B-teräslaataa, jossa myötöraja on  $F_y = 500$  MPa ja murtolujuus 540 MPa (5 % murtovenymä).

Betonin lujuus lasketaan C30/37-lujuusluokan mukaan. Laskennassa teräksen varmuuskerroin on 1,0 (varmuudet sisällytetty kokonaisvarmuuteen). Betonin lisävarmuuskertoimeksi valitaan 1,3, jolla otetaan huomioon se, että betonin lujuus ei ole kehittynyt lopulliseen lujuuteen nostotilanteessa ( $1/1,3 = 77\%$  lujuus nostotilanteessa).

Laskennan mukaan rakenteen käyttöasteeksi tulee 0,999. Suurin käyttöaste on nostolenkin vieressä, jossa vetoraidoituksen teräsjännitys on 505 MPa (venymä 0,88 %). Betonin jännitys on 19,6 MPa (myötää, koska  $F_{ck} = 0,85 \cdot 30 / 1,3 = 19,6$  MPa). Eli nostokohdassa yläpinnan raudoitus myötää ja siihen muodostuu plastinen nivel. Osa kuormasta siirtyy palkin päiden tukimomentteihin, joiden momentit kasvavat.

Esimerkin elementin palkin lisäteräksen lisäämisen jälkeen taivutusmomenttijakauma on seuraavan kuvion 14 kaltainen. Tällöin nurkan tukimomentti kasvaa lineaarisen laskennan momentista 47,2 kNm arvoon 52,6 kNm.

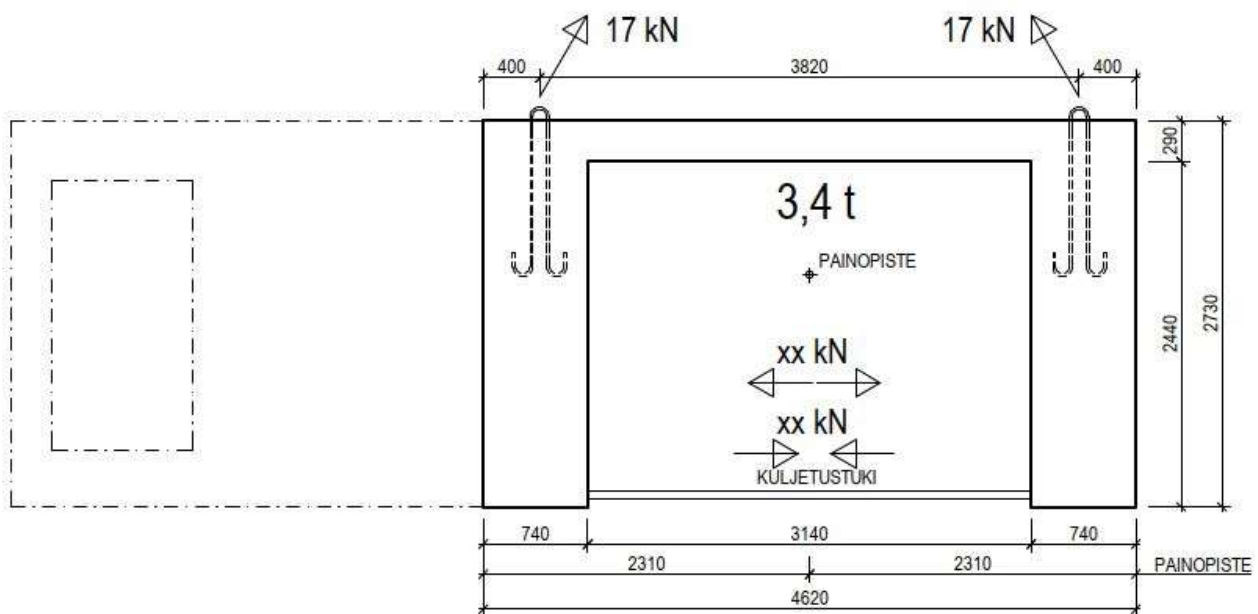


Kuvio 14 RFEM Taivutusmomenttijakauma lisäteräksen jälkeen.

Laskelman pohjalta voidaan määrittää myös noston aiheuttamaa vetoa tai puristusta kuljetustuelle. Vedon tai puristuksen suuruus määrittää kuljetustuen tyyppin tai terästankojen/teräsprofiilin poikkileikkausalan. Ilman kuljetustukea aukon yläreunan momentti kasvaa niin suureksi, että elementti murtuu nostettaessa. Leveissä aukoissa puristus aukon alareunassa muodostuu niin suureksi, ettei puun kapasiteetti riitä sen rajoittamiseen, jolloin käytetään teräsprofiiliputkea, joka toimii sekä vedolle että puristukselle.

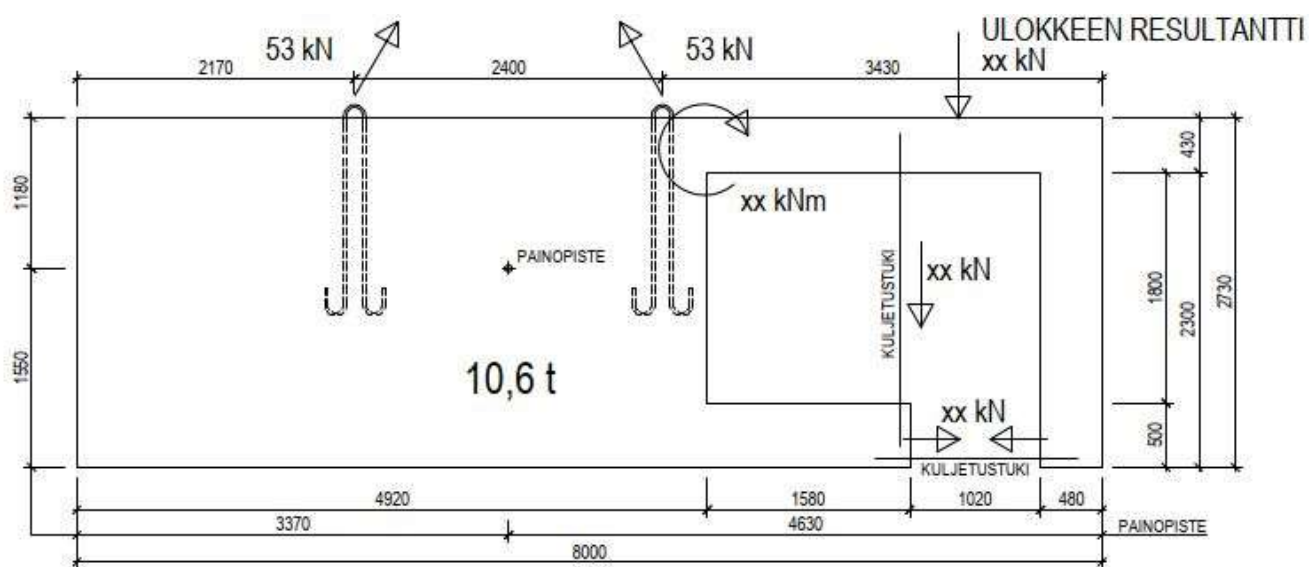
## 6.2 Elementin geometria ja kuormitus yleisesti, esimerkkejä

Tarkastellaan muutamia esimerkkejä erilaisista kuljetustukea vaativista elementeistä ilman RFEM-työkalun käyttöä. Aiemmin esitellyssä laskentatarkastelussa kävi ilmi, että elementin paino ja geometria oli noston ja kuljetuksen kannalta niin epäedullinen, että erityisesti aukon vasemman ylänurkan momentti sekä aukkopalkin nostopisteen tukimomentti nousivat liian suuriksi. Elementissä tulisi tällöin olla järeämmät raudoitteet palkissa, jotta se kestäisi noston. Tässä kohtaa on usein järkevää miettiä myös vaihtoehtoa, jossa elementti jaetaan kahdeksi, jolloin saadaan noston ja kuljetuksen kannalta helpommin hallittava symmetrinen kehäelementti (kuvio 15).



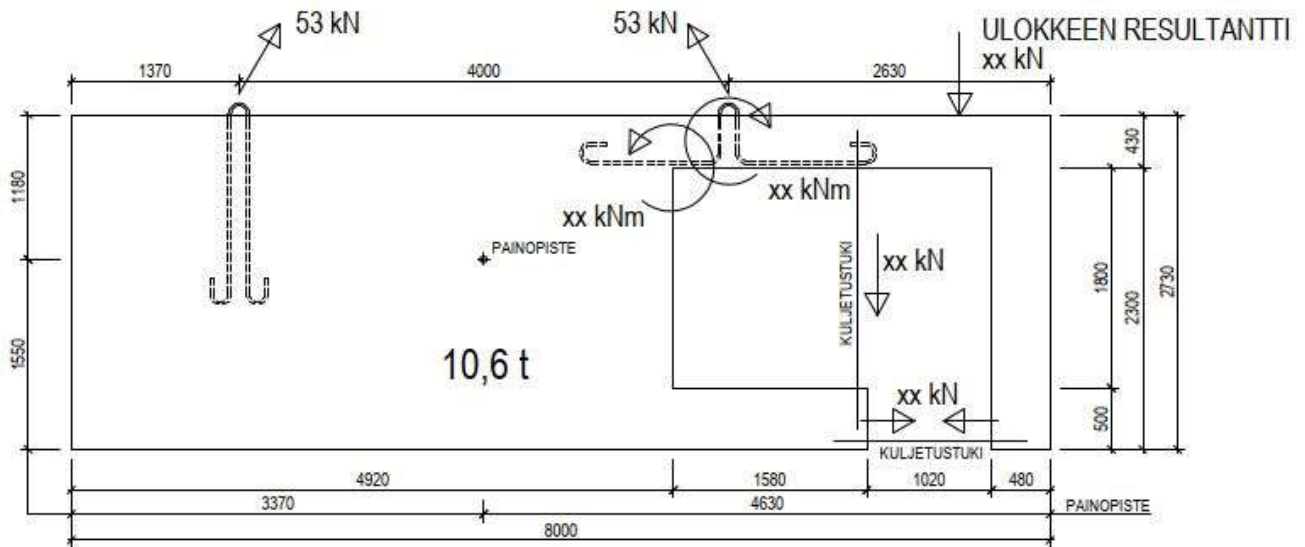
Kuvio 15 Elementti jaettuna.

Seuraava tarkasteltava elementtityyppi on ovi-ikkunayhdistelmän sisältävä painava rakenne. Ovi-ikkunayhdistelmissä ikkunan ja oven liitokseen laitetaan tueksi harjaterästanko, jolla rajoitetaan aukon alapuolisen ulokepalkin taipumaa. Tämän tuen ansiosta alapuolisen ulokepalkin nurkkaan ei pääse muodostumaan lainkaan haittaavaa momenttia. Kuvioissa 16 ja 17 on esitetty sama elementti, jossa tutkitaan sitä, mitä tapahtuu, kun nostolenkkejä siirretään. Kuviossa 16 on valittu nostolenkkien paikat siten, että palkista ei nosteta, vaan nostolenkit on asennettu elementin umpiosalle. Tässä tapauksessa elementin geometriaan nähden ulokkeen resultantti menee niin kauas oikeanpuolimmaisesta nostolenkistä, että momentti aukon nurkassa voi kasvaa liian suureksi. Tällöin myös oven alareunan kuljetustukeen kohdistuu suuri puristus. Kun nostolenkit sijoitetaan kuvion 17 mukaisesti painopisteestä kauemmaksi oikeanpuolimmainen nostolenkki sijoittuu aukkopalkkiin. Tällöin palkkiin kohdistuvat rasitukset pienenevät ja oven alareunan kuljetustukeen kohdistuva puristus pienenee.



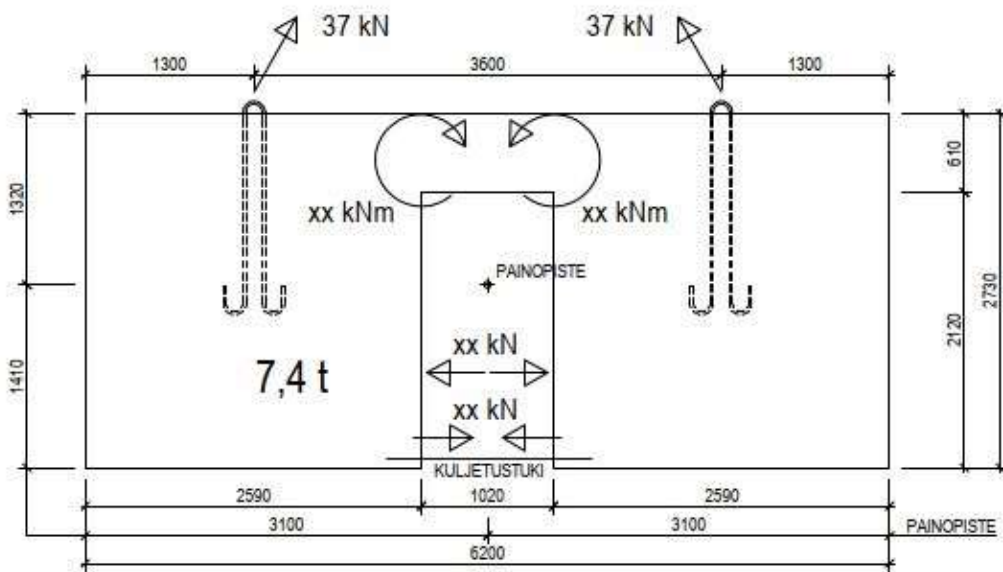
Kuvio 16 Ovi-ikkunayhdistelmä, nostopisteet elementin umpiosalla.



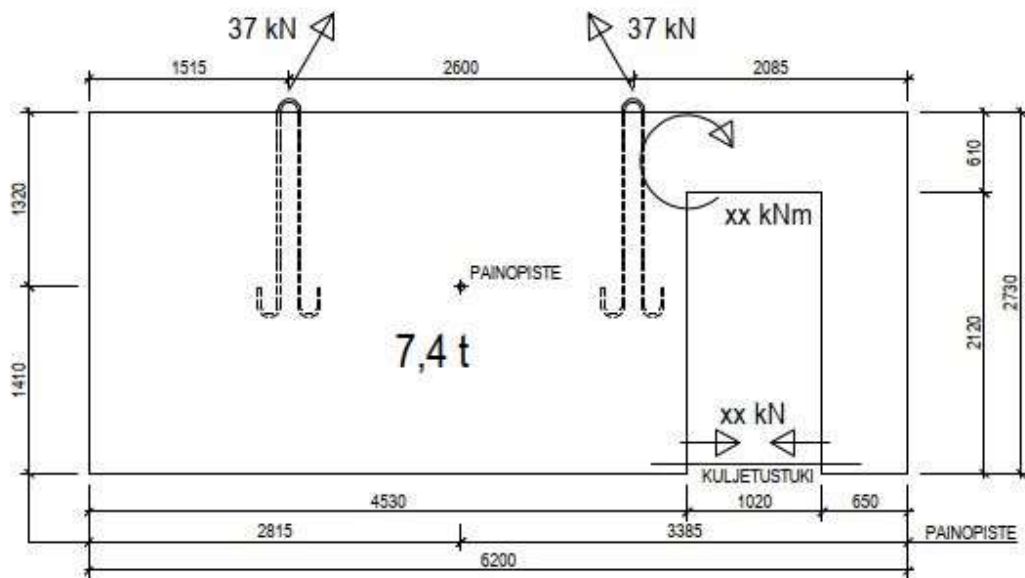


Kuvio 17 Ovi-ikkunayhdistelmä, nostopisteet kauempana painopisteestä.

Viimeiseksi tarkastelemme normaalia oviaukkoa ja sitä, miten oven sijainti elementissä vaikuttaa rasitukseen ja kuljetustuen tarpeeseen. Kuviossa 18 oviaukko on keskellä nostolenkkien välissä ja kuviossa 19 oviaukko on elementin reunalla, jolloin aukon yläreunan momentit ja oven alareunan kuljetustuen tarve ovat täysin erilaiset. Lähtökohtaisesti voidaan sanoa, että jos aukko on nostopisteiden välissä ja aukon alareunaan muodostuu vetoa (kuvio 18) niin tilanne on yleensä helpoiten rajoitettavissa kuljetustuella. Tarkempaa tarkastelua vaatii tilanne, jossa nostopisteet ovat kuten kuviossa 19, jolloin aukon alareunaan muodostuu myös puristusta.



Kuvio 18 Oviaukko keskellä elementtiä.



Kuvio 19 Oviaukko elementin reunalla.

### **6.3 Yleispätevä ohjeistus elementtisuunnittelijalle tukien valintaa varten**

A-insinöörien tilauksesta opinnäytetyön tuloksena on tehty yleispätevä ohjeistus suunnittelijoita varten. Ohjeistuksessa esitetään kuljetustukien tyypit ja ohjeistetaan suunnittelijalle kuljetustuen valintaperusteet, mitoitusohjeet ja raja-arvot, millä perusteella mikäkin kuljetustuki valitaan. Ohjeen rinnalle on RFEM-ohjelmalla tehty myös suunnittelun tueksi valmiita pohjia, jolla erikoisempia tilanteita pystytään tarkastelemaan syvällisemmin.

Ohjetta ja suunnittelutyökalua ei julkaista tämän työn yhteydessä julkiseksi, koska se on toimeksiantajan salaiseksi määrittelemä suunnittelu- ja toimintaohje.

## **7 BETONIELEMENTTIEN KULJETUS**

Vaikka elementti on suunniteltu ja elementtitehtaalla valmistettu suunnittelijan ohjeiden mukaan turvallisesti kuljetettavaksi ja asennettavaksi, jää kuljettajan ja työmaan vastuulle huolehtia sen oikeaoppisesta kuljetuksesta. Betonielementtien kuljetuksessa on usein kysymys erikoiskuljetuksesta, sillä normaalit mitta- ja massarajoitukset ylittyvät (Betonikeskus, 2008, s. 2).

### **7.1 Lait, asetukset ja määräykset**

Elementtitehtaalta työmaalle siirrettäessä tulee huomioida voimassa olevia lakeja, asetuksia ja viranomaismääräyksiä. Elementit siirretään tehtaalta työmaalle kuorma-autoilla täysperävaunuyhdistelmillä. Maantiekuljetuksia, kuorman käsittelyä ja ajoneuvoa koskevat mm. tieliikennelaki, asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä, tiekuljetussopimuslaki, asetukset auton ja perävaunun rakenteesta ja varusteista, päätökset erikoiskuljetuksista ja erikoiskuljetusajoneuvoista, kuormakoreista, kuormaamisesta yleensä ja työturvallisuuslaki (Betonikeskus, 2008, s. 2).

Kuorman lastaamisesta vastaa kuorman kuljettaja (Betonikeskus, 2008, s. 2). Avustaja ei joudu vastuuseen kuorman virheellisestä lastaamisesta. Siinäkin tapauksessa, että joku muu kuormaa lastin, on kuljettajan varmistuttava siitä, että se on oikein tehty eikä siinä ole havaittavissa puutteita.

### **7.2 Betonielementtien sidonta ja varmistaminen kuljetuksen aikana**

Betonielementtien kuljetuksessa on tärkeää, ettei kuorma pääse liikkumaan tai jopa putoamaan niin, että se voi haitata ajoneuvon liikenneturvallista käyttöä (Betonikeskus, 2008, s. 3). Betonielementit sidotaan eteenpäin, sivuille sekä taaksepäin kiihtyvyyden estämiseksi.

Elementtien kuljetuksessa käytettävien sidontavälineiden tulee olla hyväksytyjä. Niiden tulee olla ehjiä ja kunnolla kiristettyjä. Kuljetuksen aikana kuorman sidontaa tulee tarkistaa ja

tarvittaessa kiristää siten, ettei esimerkiksi yhden siteen katkeaminen heikennä muuta kuorman sidontaa (Betonikeskus, 2008, s. 3). Sidontavälineet ja kiristyslaitteet eivät saa lisätä kuorman leveyttä ja mahdollisia teräviä reunoja tulee välttää.

Yleisimmin betonielementit sidotaan kuormaan ketjulla ja kuorma kiristetään kuormakiristäjällä. Ketjun saa kiristettyä tiukalle ja ketju on kestävä. Sidontavöitä ei yleisesti suositella ensisijaisena kiinnitysvaihtoehtona, koska vaikka ne ovat ketjuihin nähden kevyitä käyttää, ne eivät kestä hankausta elementtiä vasten ja ovat näin ollen heikompia (Betonikeskus, 2008, s. 5).

### **7.3 Työturvallisuustehtävät**

Elementtien kuljettamisen turvallisuuden vastuu alkaa rakenne- ja elementtisuunnittelijasta, joka määrittelee elementtien työnaikaisten tukien lisäksi myös kuljetuksessa mahdollisesti tarvittavien tukien sijainnit ja tukien mitoituksen suunnitelmissaan. Suunnittelija hyväksyy osaltaan asennussuunnitelman (Rakennustieto, 2010, s. 4), jonka mukaan elementit lastataan ja puretaan kuormasta ja nostetaan paikoilleen työmaalla.

Kun elementti on suunniteltu ja sen jälkeen valmistettu suunnitelmien mukaan, siirtyy vastuu kuljettajalle, joka vastaa siitä, että elementit ovat kuormattu purkujärjestys huomioiden ja oikeaoppisesti sidottu loppuun asti. Elementit nostetaan kuormasta yrityskohtaisten asennusohjeiden mukaan. Tärkeää on käyttää oikeanlaista nostokalustoa ja -tapaa ja huomioida suunnitelmien mukaan määritetyt nostokulmat (Betonikeskus, 2008, s. 6).

## 8 YHTEENVETO

Elementtien nostojen ja kuljetusten suunnittelussa on otettava huomioon lakeja, määräyksiä ja eri tahojen kanssa ennalta aloituspalaverissa sovittuja asioita. Nostojen suunnittelussa on otettava huomioon elementin geometria, paino ja muut vaikuttavat seikat. Kuljetustukiratkaisut sovitaan ennakkoon yhdessä rakennuskohteen tilaajan, urakoitsijan ja elementtitoimittajan kanssa, ja elementtisuunnittelijan tehtävänä on merkitä ne oikein mitoitettuna elementtipiirustuksiin.

Tämän opinnäytetyön ohella A-insinööreille syntyneen kuljetustukiohjeistuksen myötä suunnittelijalla on entiseen nähden selkeämpi yhtenäistetty ohje kuljetustukien suunnittelun tueksi. Suunnittelijalla on käytössään työkalu, jolla nostoja ja kuljetustuen tarvetta päästään tutkimaan tarkemmin laskelmien pohjalta. Opinnäytetyön kyselyosuuden kautta saatiin selville myös elementtitehtaiden näkemystä asiaan. Eri kanteilta tutkittuna kuljetustukien valinnassa päästiin selkeämpään käsitykseen siitä, millainen tukiratkaisu on mihinkin tilanteeseen paras ja toimivin. Huolella suunnitellut kuljetustukiratkaisut ovat mahdollisimman helppoja toteuttaa tehtaalla, nopeasti työstettäviä työmaalla ja kustannustehokkaita tilaajalle.

## LÄHTEET

Dlubal Software. (2022). *What is RFEM?*. <https://www.dlubal.com/en/products/rfem-fea-software/what-is-rfem>

Betonikeskus. (2008). *Betonelementtien kuljetus – kuljettajaopas*. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/toimitus/elementtien-kuljetus>

Betoniteollisuus. (2010a). *Betonelementtien nostolenkit ja ankkurit*. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/asennus/nosto-ohjeet>

Betoniteollisuus. (2010b). *Betonelementtien nostot*. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/asennus/nosto-ohjeet>

Rakennustieto. (2010). *Rakennesuunnittelijan työturvallisuustehtävät* (RT 10-11011).

## **LIITTEET**

Liite 1. Kyselytutkimus

Liite 2. Kyselytutkimuksen vastaukset tiivistelmänä



