



Laura Ajanki

Tartunnan vaikutus reunalla sijaitsevan tyssäkantaisen harjateräspultin sivukartiomurtoon

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

4.5.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Laura Ajanki
Otsikko: Tartunnan vaikutus reunalla sijaitsevan tyssäkantaisen harjateräspultin sivukartiomurtoon

Sivumäärä: 47 sivua + 3 liitettä
Aika: 4.5.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine: Rakennetekniikka
Ohjaajat: Lehtori Paula Naukkarinen
Vanhempi konsultti Kimmo Ylinen

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia kuinka harjateräksisen tyssätyin pultin tangon tartunta vaikuttaa sivukartiomurtokapasiteettiin. Opinnäytetyön tilasi AFRY Finland yhteistyössä Anstar Oy:n kanssa.

Testien tuloksia verrataan EN 1992-4 standardin sivukartiomurron ominaiskestävyyteen, sekä prEN 1992-1-1:2021 ankkurointikapasiteettiin.

Opinnäytetyötä varten valetaan betonista neljä metriä pitkä, 1200 millimetriä korkea ja 450 millimetriä leveä kappale, johon valetaan 13 tyssäkantaista pulttia. Pultit vedetään hydraulipumpulla ylös. Tartuntaa pulteissa on neljää eri pituutta.

Kokeiden perusteella selvisi, että harjateräksen harjakuviointi lisää pultin ankkurointikapasiteettiä.

Avainsanat: sivukartiomurto, tyssäkantainen harjateräspultti

Abstract

Author: Laura Ajanki
Title: Effect of Bond on Blowout Failure of Headed Anchorage Bolt
Number of Pages: 47 pages + 3 appendices
Date: 4 May 2021

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Degree Programme in Civil Engineering
Professional Major: Professional Major Structural Engineering
Supervisors: Paula Naukkarinen, Senior Lecturer
Kimmo Ylinen, Senior Consultant

The purpose of this final year project was to investigate how the headed reinforcement would act when the tie bars had no or less bond and how it would affect the size of the side-blowout failures. The thesis was commissioned by AFRY Finland with Anstar oy.

The test results were compared with the specific strength of the blow out failure in the EN 1992-4 standard and with the anchoring capacity in the prEN 1992-1-1:2021 standard.

Thirteen tests were made in the thesis. The bolts were placed near the edge and pulled upward by a hydraulic pump. There are 4 different lengths on bond in the bolts.

Test showed that the tie bar hooks of the reinforcement steel increases the anchoring strength of the bolt.

Keywords: side-blowout failure, headed reinforcement

Kiitokset

Opinnäytetyö on tehty AFRY:n toimeksiannosta. Kiitos Janne Ranz, Tuomo Tuomi ja Kimmo Ylinen aihe-ehdotuksesta ja avusta. Lisäksi Yliselle kiitos ohjauksesta ja kommentoinnista.

Haluan kiittää Anstar Oy:tä yhteistyöstä sekä pulttien ja muiden materiaalien toimittamisesta ja kustantamisesta. Yhteistyö opetti pulttien valmistuksesta sekä metalliteollisuudesta. Tero Viljakaiselle kiitos opinnäytetyön yhteistyön mahdollistamisesta ja kiitos hänelle ja Hannu Lumiaholle tehdaskierroksesta ja yhteistyöstä. Kiitos Esko Mäkiselle kommenteista ja asiantuntemuksesta. Laadukkailla materiaaleilla saatiin aikaan tuloksia, joita voidaan hyödyntää suunnittelussa.

Kiitos Paula Naukkariselle työn ohjauksesta ja kommenteista. Työt tehtiin Metropolian Ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Kiitos Veijo Pulkkaselle sekä Ihab Zaki Ahmedille avusta laboratorion.

Kiitos myös luokkakavereilleni Manar Belhoutille sekä Markus Rantaselle, jotka yhdessä autoivat kokeiden järjestelyssä, kuten raudoitusten tekemisessä, betonnoinnissa sekä kokeissa.

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto ja tausta	1
1.1	Tutkimuksen tausta	2
1.2	Tutkimuksen tavoite	3
1.3	Tutkimuksen rajaukset	4
2	Aikaisemman tiedon kuvaus	6
2.1	Betoni	6
2.2	Betoniteräs	9
2.3	Tyssäkantainen harjateräspultti	10
2.4	Sivukartiomurron ominaisuuskestävyys Standardin SFS-EN 1992-4:2018 mukaan	11
2.5	Ankkurointikapasiteetti prEN 1992-1-1:2021mukaan	13
3	Tutkimusmenetelmät ja aineisto	18
3.1	Betoni	18
3.2	Ankkuri	18
3.3	Raudoitus	23
3.4	Koejärjestely	25
4	Tulokset	28
4.1	Murtotavat ja murtovoimat	28
4.2	Sivukartiomurron ominaisuuskestävyys Standardin SFS-EN 1992-4:2018 laskukaavojen tulokset	29
4.3	Ankkurointikapasiteetti prEN 1992-1-1:2021 laskukaavojen tulokset	30
4.4	Koetulokset ankkurointipituudella l_{bd} 570 mm	33
4.5	Koetulokset ankkurointipituudella l_{bd} 410 mm	35
4.6	Koetulokset ankkurointipituudella l_{bd} 250 mm	36
4.7	Koetulokset ankkurointipituudella l_{bd} 90 mm	38
4.8	Tyssien päälle muodostuneet betonimurskekartiot	39
4.9	Tulokset pultti E11P13, ankkurointipituudella l_{bd} 570 mm	40
5	Luotettavuusanalyysi kokeiden onnistumisesta	42
6	Johtopäätökset	43

Pohdinta	46
Lähteet	47
Liitteet	
Liite 1: Tulokset	
Liite 2: Mittapiirustus	
Liite 3: Raudoituspiirustus	

Merkintäluettelo

A	Pinta-ala
$A^0_{c,Nb}$	Betonin sivukartiomurron ideaalinen murtokartio ja yksittäisen ankkurin referenssiprojektioala
$A_{c,Nb}$	Todellinen projektioala, jota rajoittavat vierekkäisten ankkureiden liittymät murtokartiot ja betonirakenneseosan reunojen läheisyys tai betonirakenneseosan paksuus
A_{h1}	Tyssänkannan kuormia kantava pinta ala, sivukartiomurron ominaisuus kestävyys Standardin SFS-EN 1992-4:2018 mukaan
A_{h2}	Tyssänkannan kuormia kantava pinta ala, prEN 1992-1-1:2021 mukaan
A_s	Tangon poikkipinta-ala
a_{eff}	$\text{Min}\{2C_a ; S_a\}$
b_{eff}	$\text{Min}\{2C_b ; S_b ; b_h ; + a_{eff}\}$, C_b , S_a , S_b
C_1	Reunaetäisyys ankkurin keskeltä betonirakenteen reunaan
C_a	Betonin pinta-etäisyys
C_b	Betonin pinta-etäisyys
c_d	$\text{Min}(a/2, c_1, c)$ SFS-EN 1992-1-1 kuvassa 8.3
d_a	Tyssäkannan halkaisija tyssäkantaisessa kiinnikkeessä
d_h	Tyssäkannan halkaisija tyssäkantaisessa kiinnikkeessä
E_{cm}	Betoni kimmokerroin
F	Voima
F_a	Tyssään ankkuroituva voima
F_b	Tartunnalla ankkuroituva osa
F_{koko}	Kokonaisankkurivoima
f_{cd}	Betonin puristuslujuuden mitoitusarvo
f_{ctd}	Betonin vetolujuuden mitoitusarvo

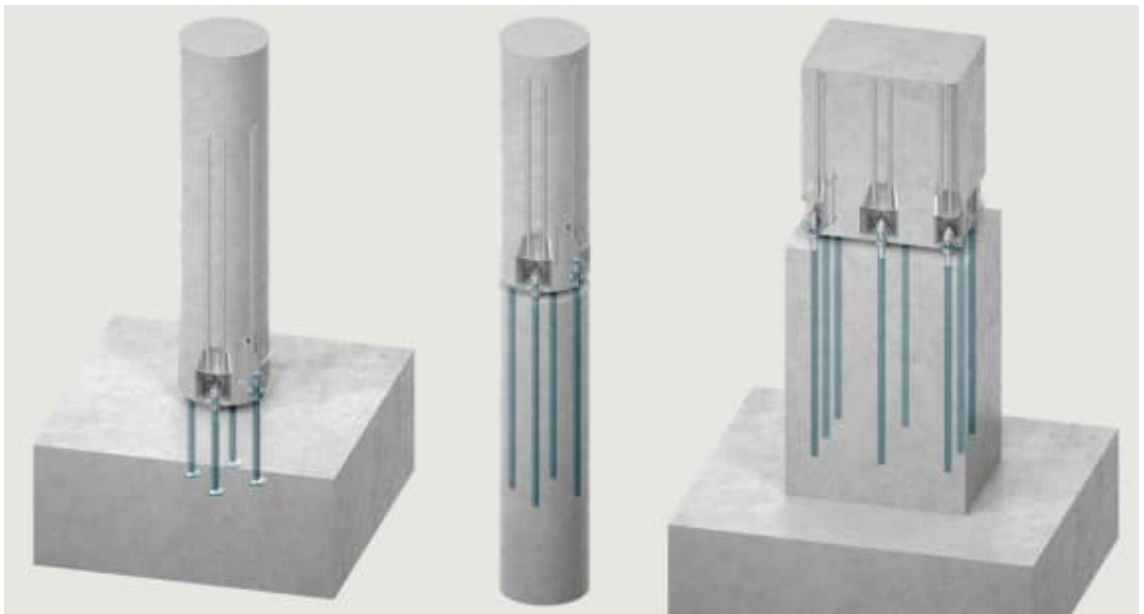
f_{ck}	Betonin lieriölujuus
$f_{ck,cube}$	Betonin kuutiolujuus
f_{cm}	Betonin keksimääräinen puristuslujuus
f_{ctk}	Betonin vetolujuuden ominaisarvo
$f_{ctk0,05}$	Betonin vetolujuuden ominaisarvo 5 prosentin fraktaalille
$f_{ctk0,95}$	Betonin vetolujuuden ominaisarvo 95 prosentin fraktaalille
f_{ctm}	Betonin keskimääräinen vetolujuus
F_u	Murtovoima
f_{uk}	Materiaalin murtolujuus
F_y	Myötövoima
f_y	Materiaalin myötölujuus
h	Korkeus
k_1, k_2	Jousivakio
k_5	Kerros halkeilemattomalle ja halkeillulle betonille
L_a	Ankkurointipituus
L_i	Tartunnanpoisto
l_{bd}	Ankkurointipituus
$l_{b,rqd}$	Ankkurointipituuden vaadittava perusarvo
$N_{Rk,cb}$	Betonin sivukartiomurron ominaisuuskestävyys vetokuormituksessa
$N^0_{Rk,cb}$	Yksittäisen kiinnikkeen ominaisuuskestävyys
r	Ympyrän säde
s_a, s_b	Tankojen välinen etäisyys
$\alpha_1-\alpha_5$	Kertoimia SFS-EN 1992-1-1 taulukossa 8.2
α_{cc}	Kerros, jolla otetaan huomioon pitkäaikaistekijät puristuslujuudessa

α_{ct}	Kerroin, jonka avulla otetaan huomioon vetolujuuteen vaikuttavat pitkäaikaistekijät ja kuorman vaikuttamistavasta riippuvat epäedulliset tekijät
ε_{uk}	Venymän ominaisarvo
σ_{sd}	Tartunnan ankkuroivavoima
σ_{sd}'	Ankkurikappaleen ankkuroima teräsjännitys harjateräksessä, kun betoni oletetaan halkeilleeksi
Δ	Muutos
δ	Siirtymä pultin päässä
η_1	Kerroin, joka liittyy tartuntaolosuhteiden laatuun ja tangon sijaintiin betonoinnin aikana
η_2	Kerroin, $(132 - \varnothing)/100$ kun $\varnothing > 32$
\varnothing	Ympyrän halkaisija
$\psi_{s,Nb}$	Kerroin, jolla otetaan huomioon betonirakenneseosan reunan läheisyyden aiheuttamat häiriöt betonin jännitysjakautumaan. Ankkureille, joilla on useita reunaetäisyyksiä
$\psi_{g,Nb}$	Kerroin, jolla otetaan huomioon ryhmävaikutus, kun kemialliset ankkurit ovat lähellä toisiaan
$\psi_{ec,Nb}$	Kerroin jolla otetaan huomioon ryhmävaikutus, kun ankkuriryhmän yksittäisiin ankkureihin vaikuttaa erisuuruinen vetovoima
γ_C	Betonin osavarmuusluku murtorajatilassa

1 Johdanto ja tausta

Tässä opinnäytetyössä tehdään kokeita, jolla tutkitaan ankkurin tartunnan vaikutusta sivukartiomurtokapasiteettiin. Kokeita tehdään kolme kutakin tartunnan pituutta kohden. Lisäksi tehdään yksi koe, jossa pultti sijoitetaan keskelle kappaletta.

Teollisuusrakennuksissa pilarit tulee liittää omiin perustuksiinsa kiinni. Rakennusten perustukset siirtävät kuormat kantavalle maapohjalle. Perustukset ja pilarit tehdään melkein täysin teräsbetonista, sillä rakennusmateriaalina se on luja, helppo työstää sekä halpa. Pilarin ja perustuksen kiinnitykseen usein käytetään harjateräspultteja, jotka ankkuroituvat perustukseen. Kuvassa 1 näkyy harjateräspulttiliitoksia betonipilareissa. [1, s.5.]



Kuva 1. Harjateräspultin liitoksia betonipilareissa. [1, s. 5]

Varsinkin teollisuuskohteissa, jossa perustukset ovat suuria jo kuormien tähden, yritetään perustuksia pienentää niin, että pultit laitetaan lähelle reunaa. Kun

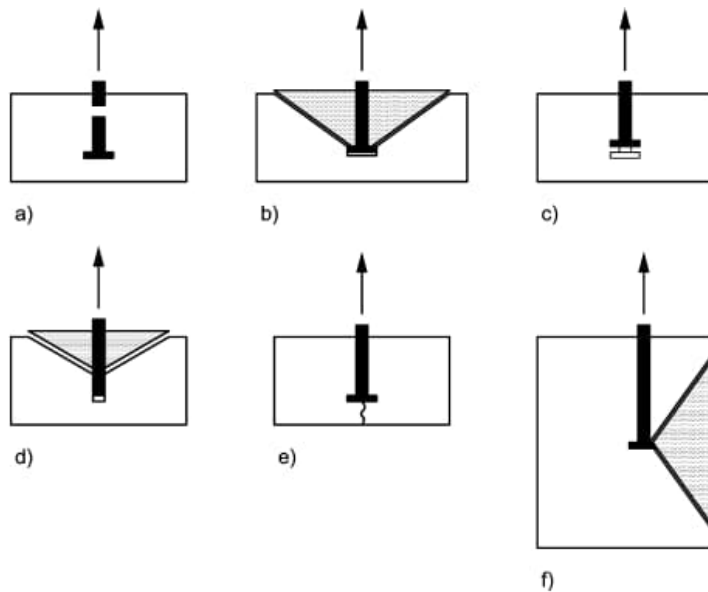
pultti on lähellä reunaa, voi pulttiin kohdistuvat voimat aiheuttaa sivukartiomurron. Standardissa EN 1992-4 oletetaan ankkuroinnin tapahtuvan pelkällä tyssällä. [2, s. 58.]

1.1 Tutkimuksen tausta

Betonin ja teräksen välillä siirtyvän voiman tärkeys on havaittu, kun ensimmäiset kokeet teräsbetonista on tehty. Aikaisemmin voima siirtyi sileän tangon luonnollisen karheuden kautta. Nykyisin voiman välitykseen käytetään tätä tarkoitusta varten valssattuja harjoja, kuten DeVries käytti. [3, s. 4.] Harjateräksen harjojen avulla voimaa siirtyy betoniin jo ennen tyssäkantasta ankkuria. DeVries on tutkinut tyssätyn ankkurin tartuntakapasiteettia betonissa. Samasta aiheesta ovat tehneet tutkimuksia myös Marchetto [9] ja Thompson [10].

Kuvassa 2 on esitettyjä tavat, jolla vetokuormitettu tyssäkantainen pultti voi murtua. Kohdassa a on esitetty teräksen murto. Tämä tarkoittaa, että teräksen murtolujuus ylittyy ja pultti katkeaa. Kohdassa b näkyy betonin kartiomurto, kohdassa c ulosvetomurto ja kohdassa d kemiallisten ankkureiden yhdistetty ulosvetomurto ja betonimurto, e kohdassa näkyy betonin halkaisumurto.

Työssä pultit sijoitetaan lähelle reunaa, joten oletetaan murtumien olevan lähinnä f kohdan kaltaisia, betonin sivukartiomurtoja. Vetokuormitettu tyssä aiheuttaa voiman rakenteen reunaa kohden ja aiheuttaa sivukartiomurron. Kohdat b ja d eivät liity tähän työhön, sillä nämä murrot voivat tapahtua vain, kun pultti on sijoitettu kauemmas reunasta [2, s. 46].



Kuva 2. Tyssäkantaisten tai jälkiasennettävien kiinnikkeiden murtumistavat vetokuormituksessa. [2, s. 46]

Käytössä olevista suunnittelustandardeista, eurokoodissa SFS-EN 1992-4:2018 on esiteltyä tyssäkantaisten kiinnikkeille sivukartiomurto tarkastelu [2, s. 58-60] ja eurokoodin luonnoksessa prEN1992-1-1:2021 on esitettyä laskukaava, lähellä rakenteen reunaa sijaitsevan, ankkurikappaleella ankkuroidun harjateräksen ankkuroinnin arvioimiseen, jossa otetaan huomioon myös tartunnan vaikutus [4, s. 182]. Tartunnan vaikutusta ei oteta huomioon jo julkaistuissa eurokoodeissa. Standardissa SFS-EN 1992-1-1 kuitenkin esitetään, että paksut tangot voidaan ankkuroida myös suorina tankoina standardin lisäsäännöt 8.8 kohdassa 3 [6, s. 141].

1.2 Tutkimuksen tavoite

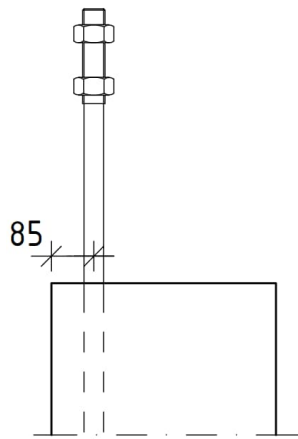
Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, vaikuttaako tartunta ankkurointikapasiteettiin tai sivukartiomurtoon, kun ankkuri sijoitetaan lähelle reunaa ja ankkurin tartuntaa poistetaan tietyltä matkalta. Tutkimuksessa tehtiin kokeita, joista mitattiin siirtymää ja voimaa. Kokeissa käytettiin pulttikokoa, jota käytetään yleisesti teollisuusrakentamisessa. Lisäksi koekappaleen korkeus ja pultin reunaetäisyys vastaavat yleistä teollisuusrakentamista.

1.3 Tutkimuksen rajaukset

Kokeita tehdään yhteensä 13 kappaletta, kolme kutakin tartunnanpoistoa. Yhdessä kokeessa pultti sijoitetaan keskelle vertailun vuoksi. Muut pultit siis sijoitetaan lähelle reunaa. Ainoana muuttujana kokeissa on tartunnan poiston pituus. Pulttien väliin jätetään niin paljon tilaa, että voidaan ajatella, ettei kokeista johtuvat murtumat vaikuta viereiseen pulttiin. Laskuissa ei otettu huomioon ryhmävaikutuksia, vaan jokaista pulttia tutkitaan omanaan, sillä jokaista pulttia kuormitetaan yksitellen.

Opinnäytetyössä verrataan tuloksia keskenään, ääripäänä pultti, josta tartunta on poistettu lähes kokonaan ja toisena ääripäänä on pultti, jossa tartuntaa on jäljellä yhtä paljon kuin Anstarin ATP45 pultissa. Lisäksi lasketaan SFS-EN 1992-4:2018 kaavalla Betonin sivukartiomurron ominaisuuskestävyys vetokuormituksessa $N_{Rk,cb}$ ja verrataan sitä saatuihin tuloksiin. PrEN1992-1-1:2021 [4, s. 182] poikkeaa nykyisestä standardista, sillä uudessa versiossa otetaan huomioon myös tartunnan vaikutus. Tästä syystä standardiluonnoksen kaavan 2.14, "Definition of design anchorage length l_{bd} or $l_{bd,tot}$ for bars with non-standard hooks and bends and for bars in compression" tulokset otetaan myös mukaan vertailuun.

Tässä opinnäytetyössä ei oteta huomioon korkealujuusbetonia $\geq C50/60$, vaan testit tehdään tavallisella C30/37 MPa luokan betonilla. Kuvassa 3 näkyy harjateräspultin sijoittelu lähellä reunaa. Reunaetäisyydeksi valittiin 85 millimetriä.



Kuva 3. Pultin etäisyys kappaleen reunasta.

2 Aikaisemman tiedon kuvaus

2.1 Betoni

Betoni on yleisin rakennusmateriaali ja perustuksissa lähes ainoa käytetty. Betoni on suhteessa halpaa ja helppokäyttöistä. Betoni valmistetaan sementistä, vedestä ja tietyn kokoisesta kiviaineesta. Kiviaineen koolla sekä vesi-sementti-suhteella voidaan vaikuttaa betonin lujuuteen. [13.]

Betoni kestää hyvin puristusta ja puristuslujuus f_{ck} ja $f_{ck,cube}$ ilmoitetaan megapascalleissa, MPa. Yleensä lujuus on välillä 30-80 MPa. Betonin puristuslujuus ilmoitetaan muodossa C25/30, jossa ensimmäinen luku kertoo lieriölujuuden ja toinen luku kuutiolujuuden. Lieriölujuus mitataan lieriökoekappaleella, jonka halkaisija on 150 mm ja korkeus 300 mm. Kuutiolujuus mitataan kuutiokoekappaleella, jonka pituus, leveys ja korkeus on 150 mm. Lieriölujuuden ja kuutiolujuuden suhde on noin 0,85, joten kuutiolujuudesta $f_{ck,cube}$ voi laskea lieriölujuuden f_{ck} , kaavalla [5, s.36-37]:

$$f_{ck} \approx 0,85 f_{ck,cube} \quad (2.1)$$

Betonin keskimääräistä puristuslujuutta, kun betonin on annettu kovettua 28 päivää, merkitään f_{cm} . Tämä lasketaan kaavalla,

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} \quad (2.2)$$

Betonin vetolujuus f_{ctm} alle C50/60 betoneilla lasketaan

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} \quad (2.3)$$

Vetolujuutta betonilla on vain noin 10 prosenttia puristuslujuudesta. Betonin vetolujuuden ominaisarvo f_{ctk} , lasketaan viidelle prosentin fraktaalille kaavalla,

$$f_{ctk,0,05} = 0,7 \cdot f_{ctm} \quad (2.4)$$

ja 95 prosentin fraktaalille

$$f_{ctk,0,95} = 1,3 \cdot f_{ctm} \quad (2.5)$$

Kimmokerroin E_{cm} (GPa) kuvaa betonin tai muun kiinteän aineen jäykkyyttä. Standardissa EN 1992-1-1 betonin kimmokerroin lasketaan kaavalla,

$$E_{cm} = 22[(f_{cm})/10]^{0,3} \quad (2.6)$$

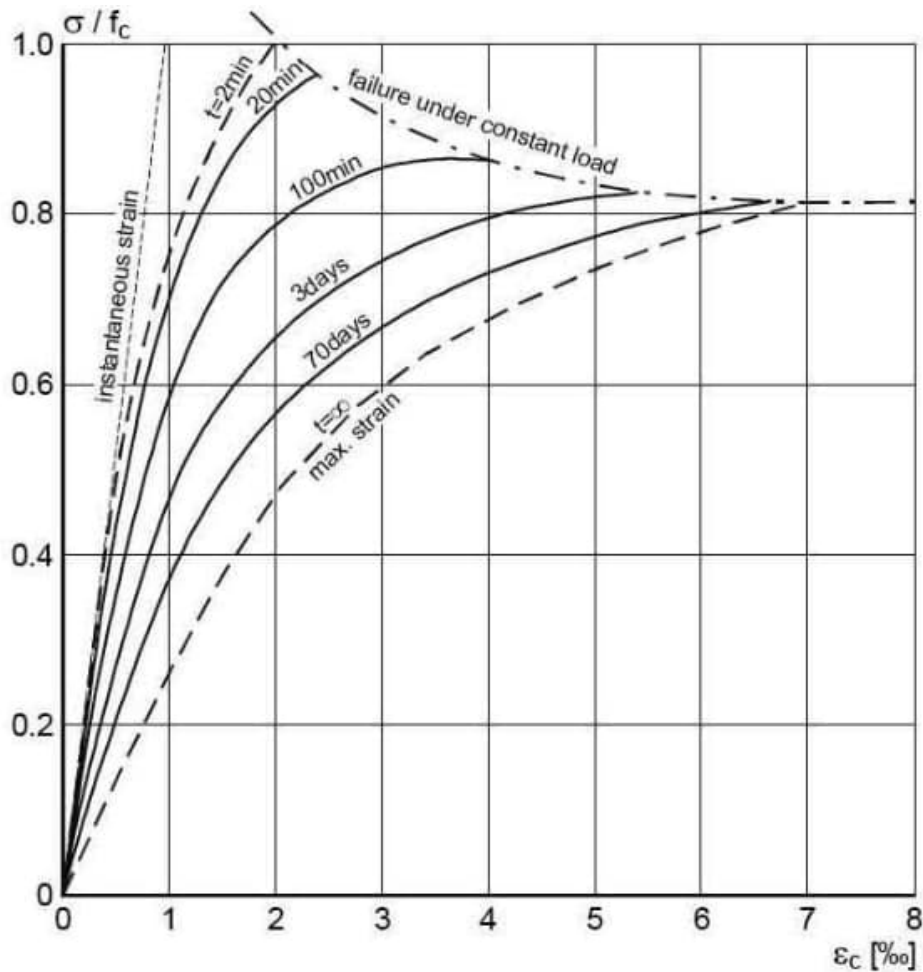
Betonin puristuslujuuden mitoitusarvo f_{cd} lasketaan kaavalla,

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c \quad (2.7)$$

jossa,

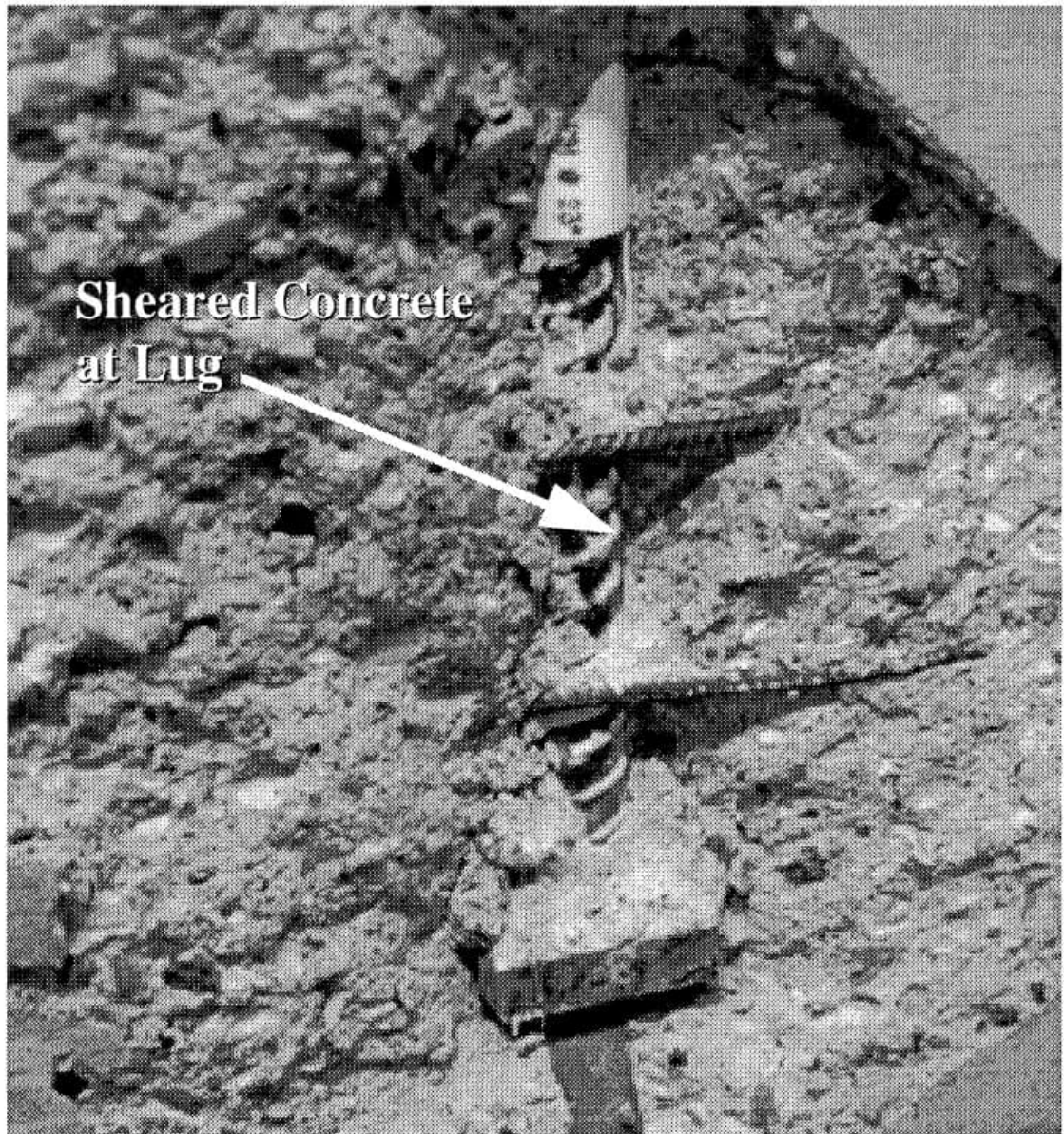
- α_{cc} on kerroin, jolla otetaan huomioon pitkäaikaistekijät puristuslujuudessa. Arvo määritellään kansallisessa liitteessä. Suositusarvona käytetään yleensä 1,0, mutta arvo voi olla välillä 0,8-1,0. Suomessa arvoksi on valittu 0,85
- γ_c on betonin osavarmuusluku murtorajatilassa. Kansallisessa liitteessä arvoksi esitetään 1,0, ellei kyseessä ole erityistapaus. [6, s. 26,30.] Suomessa arvoiksi on valittu perusarvoksi 1,5 ja pienennetyksi arvoksi 1,35

Kuormitusaika vaikuttaa betonin murtolujuuteen. Kuvassa 4 esitetään kuormituksen keston vaikutusta betonin murtolujuuteen ja muodonmuutokseen. Mitä pidempään kuormitus jatkuu, sitä pienempi murtolujuus ja samalla betonin muodonmuutos kasvaa kuormitusajan kasvaessa. Rushin testeissä betonina on käytetty alle C50/60 MPa. [7, s.3-5.] Betonin lujuus heikkenee, sillä kuormituksen aikana betoniin syntyy mikrohalkeamia [8, s.39].



Kuva 4. Jännitys-venymäsuhteet kun kuormitus on pitkäaikaista. [7, s. 3-5]

Kolmiakselisessa puristustilassa betoni kestää huomattavasti suurempia jännityksiä. Kuvassa 5 on kuva DeVriksen tekemissä testeissä syntyneestä betonimurskasta tyssän ja betoniteräksen harjojen päällä [3, s. 106]. Tyssän päälle syntyy paikallinen puristus, jonka arvo on kymmenkertainen yksiakseliseen puristuslujuuteen nähden. Standardin SFS-EN 1992-4:2018 kohdassa 7.2.1.5 lasketaan jännitys $k_2 f_{ck} = 10,5 f_{ck}$. [2, s. 54].

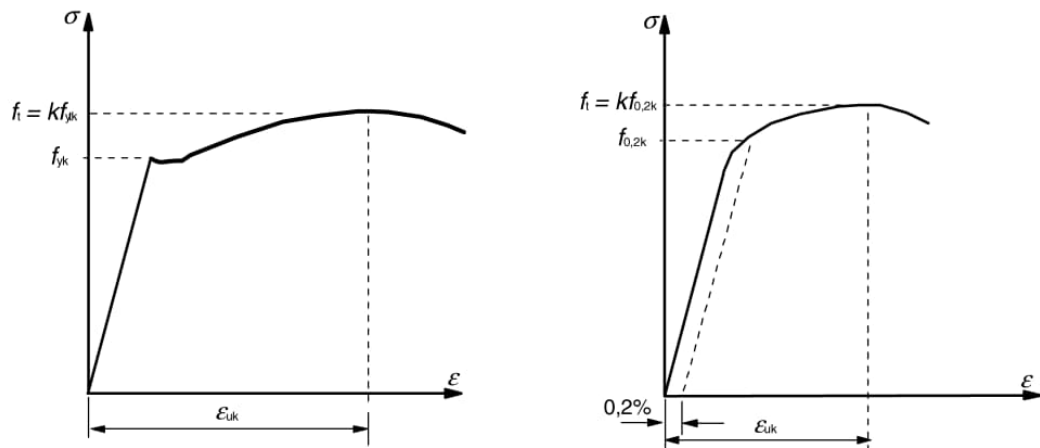


Kuva 5. DeVriksen kokeissa tyssän päälle muodostunut kartio murtuneesta betonista [3, s.106]

2.2 Betoniteräs

Betoniteräksen myötölujuus f_{yk} , määritellään tangon myötökuorman ominaisarvona jaettuna nimellispoikkileikkausalalla ja vetomurtolujuus f_{uk} määritellään tangon kestämän suurimman vetovoiman ominaisarvona jaettuna nimellisellä poikkileikkausalalla. Lisäksi raudoituksella tulee olla riittävä sitkeys, joka määritellään veto- ja myötölujuuden suhteen suurinta voimaa vastaavan venymän

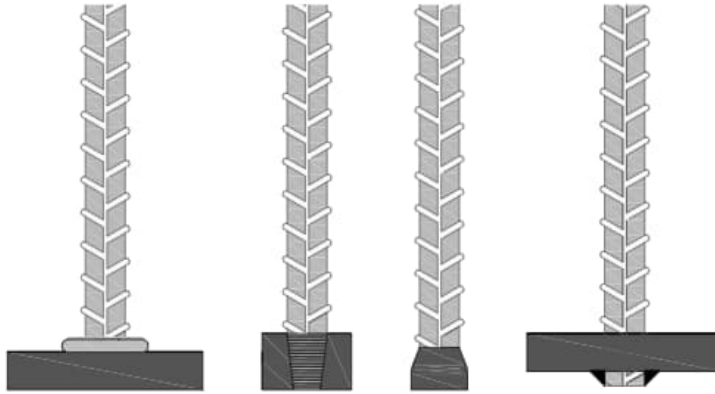
ominaisarvon ε_{uk} avulla. Kuvassa 6 vasemmalla näkyy kuumavalssatun betoniteräksen jännitys-venymäkuvaaja ja oikealla kylmämuokattun betoniteräksen jännitys-venymäkuvaaja.



Kuva 6. Tyypillisten betoniteräs jännitys-venymäkuvaajia. Vasemmalla kuumavalssattu ja oikealla kylmämuokattu. [6, s. 39]

2.3 Tyssäkantainen harjateräspultti

Tyssäkantaisessa harjateräspultissa betonin sisään jäävä osa on harjaterästä. DeVries esittää harjaterästen harjojen parantavan kykyä kestää toistuvaa kuorimitusta [3, s. 4]. Pultin valmistuksessa harjateräkseen valssataan kierre. Pultin päässä on ankkurointikappale, jonka avulla pultti ankkuroituu betoniin. Mekaanisia tapoja tehdä ankkurikappale näkyy kuvassa 7.



Kuva 7. Ankkurikappaleet vasemmalta oikealle: kitkahitsaus, kierrelleitos, taonta sekä perinteinen hitsaus [9, s.16]

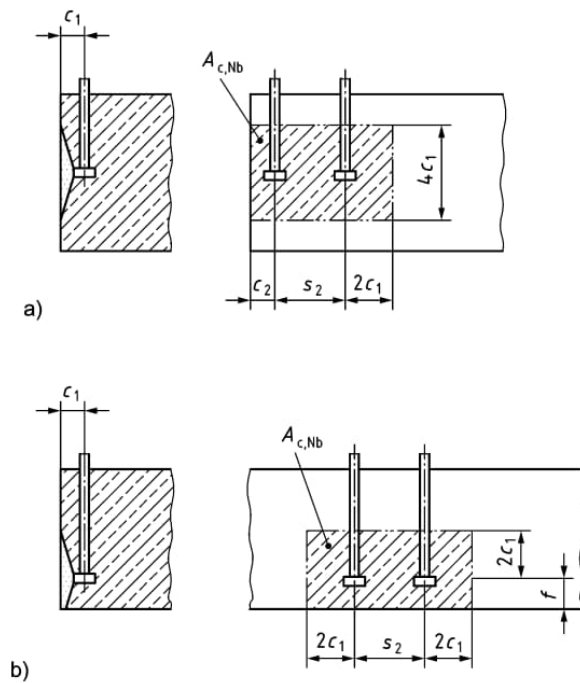
2.4 Sivukartiomurron ominaisuuskestävyys Standardin SFS-EN 1992-4:2018 mukaan

Standardissa SFS-EN 1992-4:2018 vaaditaan, että tyssäkantaisille kiinnikkeille ja muille samoin toimiville kiinnikkeille tehdään betonin sivukartiomurron tarkastelu. Betonin sivukartiomurron ominaisuuskestävyys vetokuormituksessa $N_{Rk,cb}$ lasketaan kaavalla

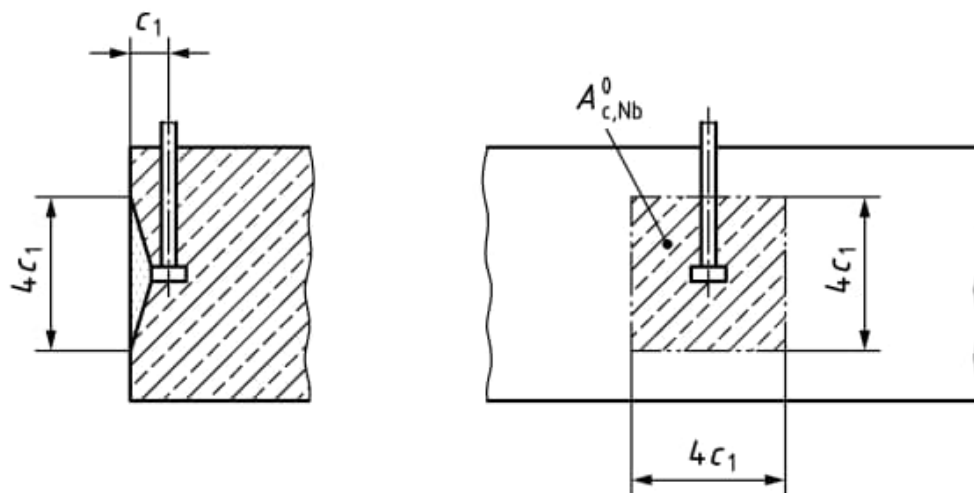
$$N_{Rk,cb} = N_{Rk,cb}^0 \cdot \frac{A_{c,Nb}}{A_{c,Nb}^0} \cdot \psi_{s,Nb} \cdot \psi_{g,Nb} \cdot \psi_{ec,Nb} \quad (2.8)$$

- $N_{Rk,cb}^0$ on yksittäisen kiinnikkeen ominaiskestävyys,
- $A_{c,Nb}$ on todellinen projektioala, jota rajoittavat vierekkäisten ankkureiden limittyvät murtokartiot ja betonirakennesosan reunojen läheisyys tai betonirakennesosan paksuus,
- $A_{c,Nb}^0$ on betonin sivukartiomurron ideaalinen murtokartio ja yksittäisen ankkurin referenssiprojektioala,
- $\psi_{s,Nb}$ on kerroin, jolla otetaan huomioon betonirakennesosan reunan läheisyyden aiheuttamat häiriöt betonin jännitysjakamaan. Ankkureille, joilla on useita reunaetäisyyksiä
- $\psi_{g,Nb}$ on kerroin, jolla otetaan huomioon ryhmävaikutus, kun kemialliset ankkurit ovat lähellä toisiaan,
- $\psi_{ec,Nb}$ on kerroin, jolla otetaan huomioon ryhmävaikutus, kun ankkuriryhmän yksittäisiin ankkureihin vaikuttaa erisuuruinen vetovoima.

Todellinen projektiopinta-ala $A_{c,Nb}$ on määritelty kuvassa 8 ja referenssiprojektio-ala $A_{c,Nb}^0$ kuvassa 9.



Kuva 8. Todellinen projektiopinta-ala $A_{c,Nb}$ [2, s. 59]



Kuva 9. ankkurin referenssiprojektioala. $A_{c,Nb}^0$ [2, s. 59]

Lisäkertoimet $\psi_{s,Nb}$, $\psi_{g,Nb}$ ja $\psi_{ec,Nb}$ lasketaan kaavoilla:

$$\bullet \quad \psi_{s,Nb} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c_2}{2c_1} \leq 1 \quad (2.9)$$

$$\bullet \quad \psi_{g,Nb} = \sqrt{n} + (1 - \sqrt{n}) \cdot \frac{s_2}{4c_1} \geq 1 \quad (2.10)$$

$$\bullet \quad \psi_{ec,Nb} = \frac{1}{1+2e_N/(4c_1)} \quad (2.11)$$

Ryhmänvaikutukseen liittyvien kertoimien $\psi_{g,Nb}$ ja $\psi_{ec,Nb}$ arvoina käytetään tässä opinnäytetyössä 1, sillä ryhmävaikutusta ei oteta huomioon.

$N_{Rk,cb}^0$ on yksittäisen kiinnikkeen ominaisuuskestävyys, johon muut reunat tai kiinnikkeet eivät vaikuta, lasketaan kaavalla:

$$N_{Rk,cb}^0 = k_5 \cdot c_1 \cdot \sqrt{A_{h1}} \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (2.12)$$

- k_5 on 12,2 halkeilemattomalle betonille ja halkeillulle 8,7
- c_1 reunaetäisyys ankkurin keskeltä betonirakenteen reunaan,
- A_{h1} on tyssäkannan kuormia kantava pinta-ala,
- f_{ck} on betonin lieriölujuus.

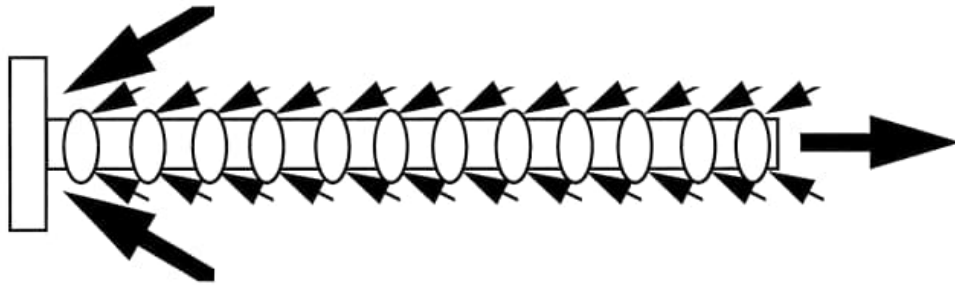
A_{h1} ympyränmuotoisille tyssäkannoille lasketaan kaavalla:

$$A_{h1} = \frac{\pi}{4} (d_h^2 - d_a^2) \quad (2.13)$$

- d_h on tyssäkannan halkaisija
- d_a on pyöreän ankkurin halkaisija

2.5 Ankkurointikapasiteetti prEN 1992-1-1:2021mukaan

Standardissa SFS-EN 1992-4:2018 ei oteta huomioon harjateräksen tartunnan vaikutusta kapasiteettiin [2]. DeVriksen [3, s. 4] mukaan voima voisi siirtyä koko pituudelta harjojen avulla. DeVries siis uskoi, että kannan lisäksi harjateräspultin harjat ankkuroivat osan voimasta. Kuvassa 9 näkyy käsitys voiman siirtymisestä harjojen ja ankkurointikappaleen avulla. DeVries esittää harjojen voivan parantaa pultin kykyä kestää toistuvaa kuormitusta. Myös Thompson esittää, että harjatangon harjakset ankkuroivat osan voimasta. [10.]



Kuva 10. Voiman siirtyminen tyssätankoon. [3, s. 4]

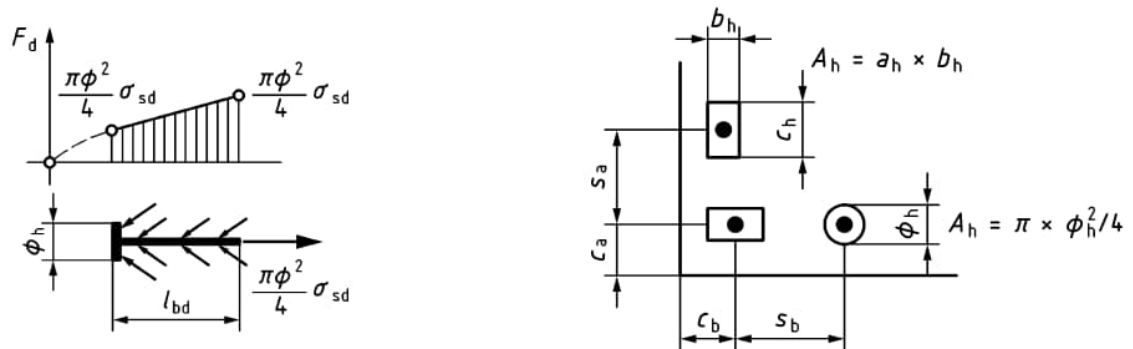
Erona käytössä oleviin standardeihin, joissa ei huomioida tartunnan vaikutusta, prEN 1992-1-1:2021 kaavalla voidaan laskea ankkurointikapasiteetti. Ankkurikappaleen ankkuroima teräsännitys harjateräksessä, kun betoni oletetaan halkeilleeksi σ_{sd}' , tulisi laskea kaavalla [4, s. 182],

$$\sigma_{sd}' = \min \left\{ \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c \cdot A_s} \cdot \frac{a_{eff} \cdot b_{eff}}{1 - \sqrt{\frac{A_{h2}}{a_{eff} \cdot b_{eff}}}}; f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{A_s}{A_{h2}}\right) \cdot \min \left\{ \sqrt{\frac{a_{eff} \cdot b_{eff}}{A_h - A_s}}; 0,7 \right\} \right\} \quad (2.14)$$

jossa,

- f_{ck} Betonin lieriölujuus
- A_s tangon poikkipinta-ala
- γ_c betonin osavarmuuskerroin
- a_{eff} on $\min\{2c_a; s_a\}$
- b_{eff} on $\min\{2c_b; s_b; b_h + a_{eff}\}$
- $A_{h2}, c_a, c_b, s_a, s_b$ on esitettyinä kuvassa 11, s_a, s_b ei oteta huomioon

- f_{cd} betonin puristuslujuuden suunnitteluarvo



Kuva 11. Ankkurointipituuden määrittelmä tyssäkantaisille pulteille. Vasemmalla jännitys ja oikealla tyssän koon määrittely, tankojen välien määrittely sekä betonin pintaetäisyys. [4, s. 182]

Tartunnan vaikutus ankkurissa lasketaan kaavalla:

$$l_{bd} = l_{bd}(\sigma_{sd}) - l_{bd}(\sigma_{sd}^{\wedge}) \quad (2.15)$$

Ankkurointi pituuden mitoitusarvo l_{bd} lasketaan standardilla EN-1992-1-1 kohdassa 8.4.4 [6] kaavalla,

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqb} \geq l_{b,min} \quad (2.16)$$

α_1 - α_5 ovat kertoimia, jotka on määritelty SFS-EN 1992-1-1 taulukossa 8.2 [4, s.135]. $\alpha_1, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5 = 1$ ja α_2 lasketaan kaavalla:

$$\alpha_2 = 1 - 0,15(c_d - \phi) / \phi \quad (2.17)$$

- c_d määritelty SFS-EN 1992-1-1 kuvassa 8.3

Ankkurointipituuden vaadittava perusarvo $l_{b,rqd}$ saadaan kaavasta, kun ankkuroidaan tangossa vallitsevaa voimaa $A_s \sigma_{sd}$ ja kun tartuntalujuus f_{bd} oletetaan vakioksi

$$l_{b,rqb} = (\phi / 4) (\sigma_{sd} / f_{bd}) \quad (2.18)$$

- Murtorajatilassa tartuntalujuuden mitoitusarvo f_{bd} . Tämä lasketaan kaavalla

$$f_{bd} = 2,25\eta_1\eta_2f_{ctd} \quad (2.19)$$

jossa,

- f_{ctd} Betonin vetolujuuden mitoitusarvo SFS-EN 1992-1-1 kohdan 3.1.6 mukaan
- η_1 on kerroin, joka liittyy tartuntaolosuhteiden laatuun ja tangon sijaintiin betonoinnin aikana, arvona käytetään
- η_2 on $(132 - \phi)/100$ kun $\phi > 32$
- σ_{sd} on tartunnan ankkuroivavoima

f_{ctd} lasketaan kaavalla

$$f_{ctd} = \alpha_{ct}f_{ctk,0,05} \div \gamma_C \quad (2.20)$$

- α_{ct} on kerroin, jonka avulla otetaan huomioon vetolujuuteen vaikuttavat pitkäaikaistekijät ja kuorman vaikuttamistavasta riippuvat epäedulliset tekijät, koska kokeissa ei ole pitkäaikaiskuormitusta käytetään arvona 1,0.

Tyssään ankkuroituva voima F_a lasketaan kaavalla:

$$F_a = \sigma_{sd}' \cdot A_s \quad (2.21)$$

ja tartunnalla ankkuroituva osa F_b kaavalla:

$$F_b = \sigma_{sd} \cdot A_s \quad (2.22)$$

Kokonaisankkurointivoima F_{koko} lasketaan kaavalla:

$$F_{\text{koko}} = F_a + F_b \quad (2.23)$$

3 Tutkimusmenetelmät ja aineisto

3.1 Betoni

Betonista valmistettiin 4000 mm pitkä, 1200 mm korkea ja 450 leveä kappale. Pultteja kappaleeseen valettiin 13. Mittakuva liitteessä 2.

Kuormituskokeet tehtiin Metropolian laboratoriossa Myllypuron kampuksella 2-3 päivä maaliskuuta vuonna 2022. Koekappaleet olivat 42 ja 43 vuorokauden ikäisiä kokeiden aikana

Betoni testattiin kuutiokoekappaleilla 51 päivän ikäisenä standardin SFS-EN 12390-3:2019 mukaisesti Vahasen Rakennusfysiikka Oy:n laboratoriollla Form + Test Alpha 3-3000 AR-laitteella.

Taulukossa 1 koottuna kuutio- ja lieriölujuudet. Kuutiolujuudet olivat välillä 37,6-39,3 MPa. Kuutiolujuuden keskiarvo on 38,5 MPa. Kuutiolujuudesta $f_{ck,cube}$ lasketaan lieriölujuus f_{ck} kaavalla 2.1. Taulukosta saaduilla arvoilla lieriölujuuden keskiarvoksi saatiin 32,7 MPa. Tätä arvoa käytetään laskuissa.

Taulukko 1. Betonin kuutiolujuus

Tunnus	Mitat k/mm	Mitat l/mm	Mitat h/mm	Tiheys/ kg/m ³	Voima/ kN	$f_{ck,cube}$ / MPa	f_{ck} / MPa
LA1	149	149	152	2290	835,1	37,6	32,0
LA2	149	149	153	2280	858,3	38,7	32,9
LA3	149	149	154	2300	872,6	39,3	33,3

3.2 Ankkuri

EN 1992-4 standardissa ei oteta huomioon harjateräksen ankkurointia, vaan oletetaan kannan ankkuroivan koko voiman. Tutkimuksessa käytettiin tyssäkan-

taisia harjateräspultteja, joista poistettiin tartuntaa tietyltä pituudelta. Kutakin koetta tehtiin kolme kappaletta. Tartuntapituudet valittiin niin, että tartuntapituus on enimmillään sama kuin pultissa ATP45. Kuvassa 12 näkyy Anstarin ATP-pultti.



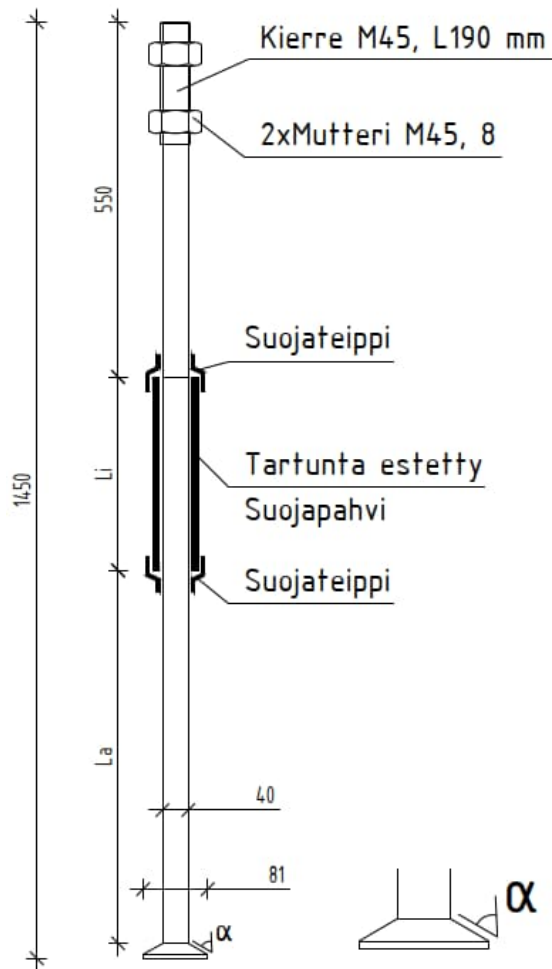
Kuva 12. Tyssäkantainen harjateräspultti, ATP [1]

Tartunnat poistettiin 330, 490, 650 ja 810 millimetrin matkalta, kuten kuvassa 15 näkyy. Ylimmässä pultissa tartuntaa on jäljellä noin 2/3 osaa ja seuraavassa noin puolet. Toiseksi alimpaan tartuntaa jätettiin 1/3 osa ja viimeisestä se poistettiin lähes kokonaan. Tartunta jätettiin pultin alaosaan, sillä haluttiin tutkia tangon ankkuroinnin ja tyssän ankkuroinnin yhteisvaikutusta.



Kuva 13. Tartunta poistettiin suojapahvilla ja teipillä. (Kuva: Laura Ajanki)

Kuvassa 14 on esitetty pultin mitat. Lisäksi kuvassa näkyvissä muita mittoja. Pultin koko pituus oli 1450 millimetriä, josta betonista ulos tuleva osuus oli 550 millimetriä. Ulos tulevasta osuudesta kierretyn teräksen osuus oli 190 millimetriä. Pultti oli SFS standardin mukainen 1300 B500B. [12.] Betonin sisään jäävä osuus oli 900 millimetriä. Mutterit olivat standardin ISO 892 mukaisia. [11.]



Kuva 14. Pultti mittoineen.

Tässä työssä kulma α :n arvoksi laskettiin likimain 38 astetta.

Tyssäkannan kuormia kantava pinta-ala A_{h1} lasketaan kaavalla 2.13. Arvot esitettyinä kuvassa 15. Arvoksi saadaan 2562 mm²



Kuva 15. Ankkurin halkaisija d_a on 40 millimetriä ja tyssän halkaisija d_h on 81 millimetriä.

Teräs on laatua B500B standardin SFS1300 mukaan, joten myötölujuus f_{yk} on 500 MPa ja murtolujuus f_{uk} on 540 MPa [12.] Pultin lujuudet kierteelle ja harjateräkselle lasketaan erikseen. Myötövoimat lasketaan kaavalla,

$$F_y = f_{yk}A_s \quad (3.1)$$

ja murtovoima kaavalla

$$F_u = f_{uk}A_s \quad (3.2)$$

Taulukossa 3 on esitettyä myötö- ja murtovoimat kierteelle ja harjateräkselle. Lisäksi taulukossa on esitetty muut pulttien yhteiset mitat.

Taulukko 2. Kaikille pulteille yhteisiä mittoja

Harjateräksen nimellishalkaisija	40 mm
Harjateräksen poikkileikkaus A_{s1} / mm^2	1257 mm ²
Harjateräksen myötövoima F_{yh} / kN	628,5 kN
Harjateräksen murtovoima F_{uh} / kN	678,8 kN
Kierteen koko	M45
Kierteen poikkileikkaus A_{s2} / mm^2	1306 mm ²
Kierteen myötövoima F_{yk} / kN	653 kN
Kierteen murtovoima F_{uk} / kN	705,2 kN
Tyssän halkaisija	81 mm
Tyssän kannan pinta-ala A_h / mm^2	5153 mm ²
Mutterin lujuus	8 (ISO 898-2)
Mutterin koko	M45

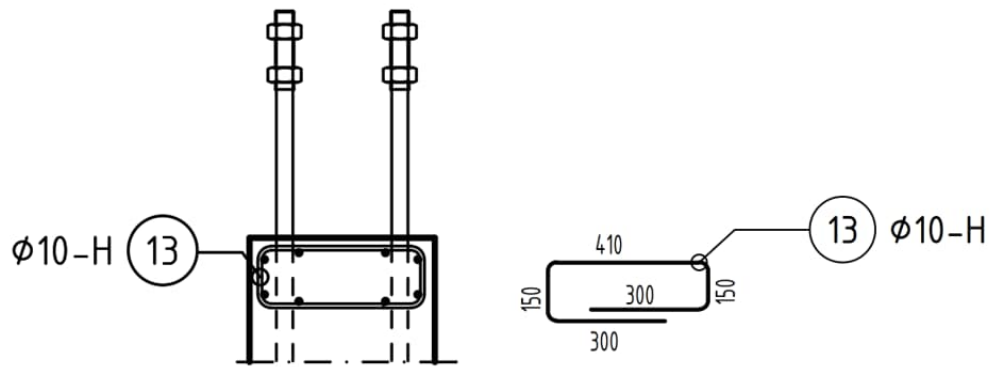
Taulukossa ankkurointi pituudet tunnuksittain. L_i kuvaa tartunnan poistoa ja L_a ankkurointipituutta. Kutakin ankkurointipituutta ja tartunnan poistopituutta valmistettiin kolme kappaletta. Samanlaiset pultit nimettiin peräkkäisillä numeroilla.

Taulukko 3. Ankkurointi

Tunnus	L_i / mm	L_a / mm
E11P1	330	570
E11P2	330	570
E11P3	330	570
E11P4	490	410
E11P5	490	410
E11P6	490	410
E11P7	650	250
E11P8	650	250
E11P9	650	250
E11P10	810	90
E11P11	810	90
E11P12	810	90
E11P13	330	570

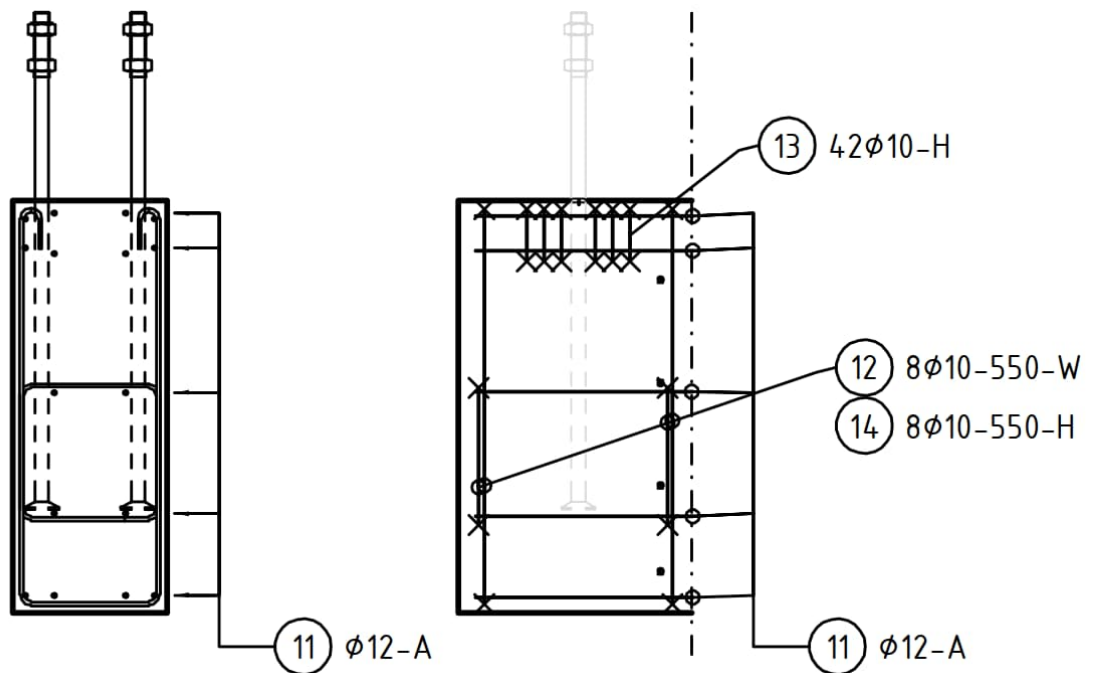
3.3 Raudoitus

Työssä ei oteta huomioon apuraudoitteiden vaikutteita. DeVriksen testeissä sylinterin ja muiden kokeisiin tarvittavien laitteiden aiheuttama tukipaine rikkoi betonin tukipinnan. [3, s. 70.] Tämän opinnäytetyön betonikappaleisiin lisättiin H-tyypin teräkset yläpintaan estämään murtuminen, kuten kuvassa 16 esitetään.



Kuva 16. Teräset betonikappaleen pinnassa ja H-tyyppin teräs.

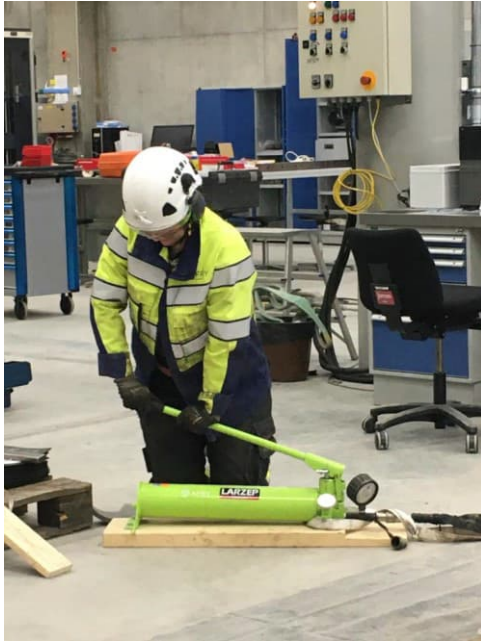
Tässä opinnäytetyössä on käytetty terästä raudoitukseen kuvan 17 mukaisella tavalla. Koska tämän työn tarkoitus on tutkia pultin tartuntaa, ei pultin ympärille lisätä aputerästä. Raudituspiirustus liitteenä.



Kuva 17. Terästen sijoittelu.

3.4 Koejärjestely

ATP ankkurit sijoitettiin lähelle reunaa ja pultteja vedettiin ylöspäin. Järjestelmän painetta mitattiin painemittarilla, joka oli sijoitettuna hydraulipumpun kylkeen. Hydraulipumppu ja painemittari kuvassa 18.



Kuva 18. Manuaalinen hydraulipumppu (LARZEP W22607) ja painemittari SIKA Ref-E2.

Sylinteriin paine saatiin manuaalisesti käsin pumppaamalla. Pumpun painemittarin lisäksi seurattiin voimaa ja siirtymää erilliseltä näytöltä.

Kuvassa 19 näkyy koejärjestely. Siirtymäanturi näkyy kohdassa 1. Siirtymäanturin päässä oleva mutteri kiinnitettiin pultin päähän magneetilla, kohta 2. Pulttiin kiinnitettiin kaksi muuta mutteria, joilla kiinnitettiin pultti kiinni sylinteriin ja muihin kokeessa tarvittuihin järjestelmiin, tämä esitetään kohdassa 3. Mutterien välissä levy, johon kiinnitetyt nostoliinat on kytketty palkissa oleviin ankkuripisteisiin. Tämä asennettiin turvallisuus syistä. Pultin murron tapahtuessa, pitäisi liinat pultin pään paikoillaan. Viidennessä ja kahdeksannessa kohdassa näkyvät kuormanjakolevyt, jotka varmistivat kuormituksen tulevan tasaisesti voima-anturille

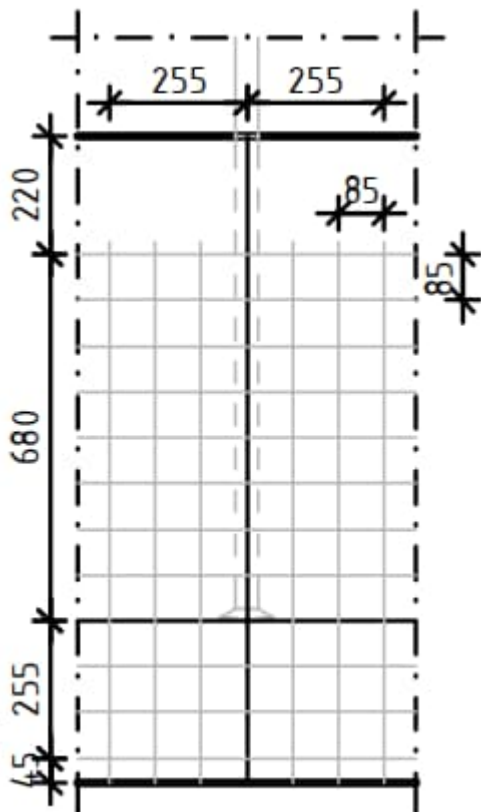
ja betonirakenteelle. Kuudennessa kohdassa voima-anturi, jolla voimaa mitattiin. Voima-anturin ja siirtymäanturin data tallennettiin Excel-tiedostoon. Reikäsyylinteri kohdassa seitsemän. Kuormanjakolevyn ja betonin välissä oli jännitystä tasaava neopren levy. Neopreeni esitetty kohdassa 9.



Kuva 19. Koejärjestely.

1. Siirtymäanturi, mittausalue 0...75 mm (BUSTER 8709- 5075)
2. Magneettilevy
3. 2 kpl muttereita, M45, 8 [11]
4. Nostoliinat ja levy
5. Kuormanjakolevy, $\varnothing 150\text{mm}$ $t=10\text{mm}$ reikä $\varnothing 70\text{mm}$, S355
6. Voima-anturi, mittausalue 0..1,0 MN (VETEK AR100ton)
7. Reikäsyylinteri 100 t, isku 50 mm (LARZEP SAH10005)
8. Kuormanjakolevy, 250mm x 250mm $t = 25\text{mm}$, reikä $\varnothing 60\text{mm}$, S355
9. Neopreeni 130 mm x 250 mm, $t= 3\text{mm}$, Shore A 60

Betonipintaan piirrettiin vahakynällä ristikko, jonka avulla halkeamaa tai sivukartiomurron kokoa oli helppo arvioida. Ruudukon silmäkoko on valittu yhtä suureksi pultin reunaetäisyyden kanssa. Ristikon muut mitat esitettynä kuvassa 20.



Kuva 20. Betonin pintaan piirretty ristikko.

4 Tulokset

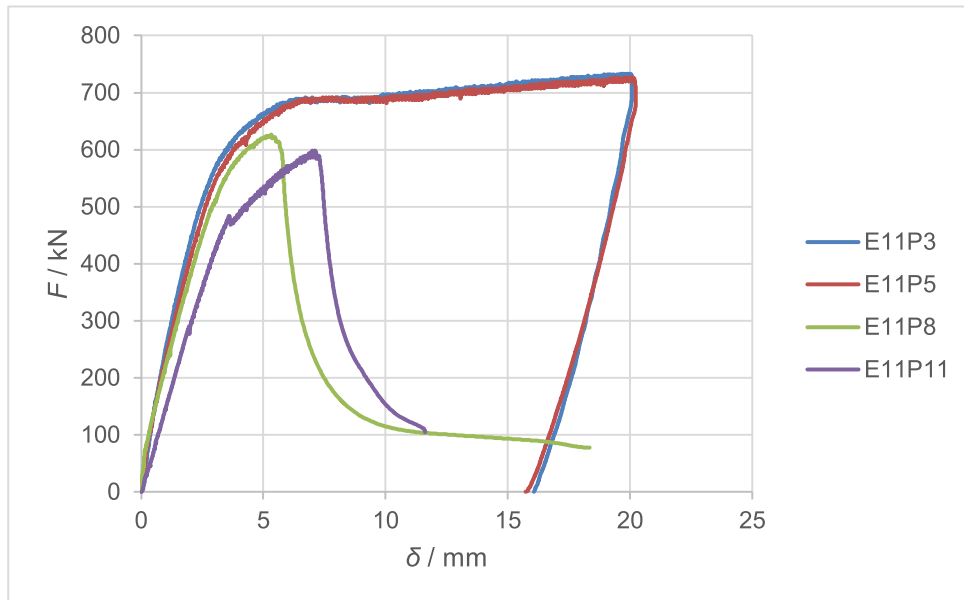
4.1 Murtotavat ja murtovoimat

Osa kokeista päättyi sivukartiomurtoon ja osa kokeista lopetettiin tiettyyn siirtymään tai tiettyyn kuormitusvoimaan, teräksen myötöön. Tulokset esitetään taulukoina ja kuvin vertailun helpottamiseksi. Taulukossa 5 kuvataan pulteittain murtovoima sekä murtotapa. Lisäksi taulukossa näkyy selkeästi myös ankkurointipituus. Ankkurointipituus kuvaa pultin sen osan pituutta, missä ei harjateräksiä ole teipillä ja pahvilla peitetty.

Taulukko 4. Murtovoimat ja -tavat

Tunnus	F max / kN	Murtotapa	l_{bd} / mm
E11P1	762,3	teräksen myötö	570
E11P2	733,8	teräksen myötö	570
E11P3	733,7	teräksen myötö	570
E11P4	667,4	sivukartiomurto	410
E11P5	726,1	teräksen myötö	410
E11P6	732,1	teräksen myötö	410
E11P7	648,8	sivukartiomurto	250
E11P8	626,5	sivukartiomurto	250
E11P9	683,9	sivukartiomurto	250
E11P10	589,8	sivukartiomurto	90
E11P11	598,0	sivukartiomurto	90
E11P12	646,7	sivukartiomurto	90
E11P13	766,2	teräsmurto kierteessä	570

Kuvaajassa 1 on esitettyä kustakin ankkurointipituudesta yksi tyypillinen käyrä. Käyrät valittiin sen perusteella, että ne kulkivat saman tyyppisesti kuin kaikki samalla tartuntapituudella olevat käyrät. Kun tartuntaa on jäljellä 570 tai 410 millimetriä, ovat kuvaajat hyvin samanlaisia. Kun tartuntaa oli jäljellä vain 250 tai 90 millimetriä, kuvaajat ovat myös toistensa kaltaisia.



Kuvaaja 1. Edustava käyrä kustakin tartuntapituudesta.

4.2 Sivukartiomurron ominaisuuskestävyys Standardin SFS-EN 1992-4:2018 laskukaavojen tulokset

Taulukossa 5 esitetään Standardi SFS-EN 1992-4:2018 käytetyt arvot ja taulukossa 6 tulokset. Käytetyt arvot ovat saatu kaavoilla 2.8-2.13. Alaindeksi c_r kuvaa halkeillun betonin arvoja ja alaindeksi u_{cr} halkeilemattoman betonin arvoja.

Taulukko 5. Standardi SFS-EN 1992-4:2018 käytetyt arvot

$\psi_{s,Nb}, \psi_{g,Nb}, \psi_{ec,Nb}$	1	
k_5	12,2 tai 8,7	
c_1	85	mm
f_{ck}	32,7	MPa
d_h	81	mm ²
d_a	40	mm ²

Taulukko 6. Standardi SFS-EN 1992-4:2018 saadut tulokset

$N_{Rk,cb,ucr}^0$	370,2	kN
$N_{Rk,cb,cr}^0$	263,9	kN
$A_{c,Nb}$	115600	mm ²
$A_{c,Nb}^0$	115600	mm ²
$N_{Rk,cb,ucr}$	370,2	kN
$N_{Rk,cb,cr}$	263,9	kN
A_{h1}	3896,4	mm ²

4.3 Ankkurointikapasiteetti prEN 1992-1-1:2021 laskukaavojen tulokset

Taulukossa 7 esitetään Ankkurointikapasiteetti prEN 1992-1-1:2021 käytetyt arvot ja taulukossa 8 tulokset. Käytetyt arvot ovat saatu kaavoilla 2.14-2.23 ja tulokset on saatu laskuohjelmalla.

Taulukko 7. Ankkurointikapasiteetti prEN 1992-1-1:2021 käytetyt arvot

f_{ck}	32,7	MPa
γ_C	1	
a_{eff}	170	mm
b_{eff}	251	mm
c_a	85	mm
c_b	350	mm
c_d	65	mm
f_{cd}	32,7	MPa
l_{bd}	90, 250, 410, 570	mm
$\alpha_1, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$	1	
α_2	0,91	
c_d	85	mm
η_1	1	
η_2	0,92	
\emptyset	40	mm
α_{ct}, α_{cc}	1	

Koska tarkoituksena on verrata laskettua tulosta kokeiden tuloksiin, käytetään betonin lujuuden arvona puristuslujuuskokeissa määriteltyä arvoa ja osavarmuuskertoimena γ_C arvoa 1,0.

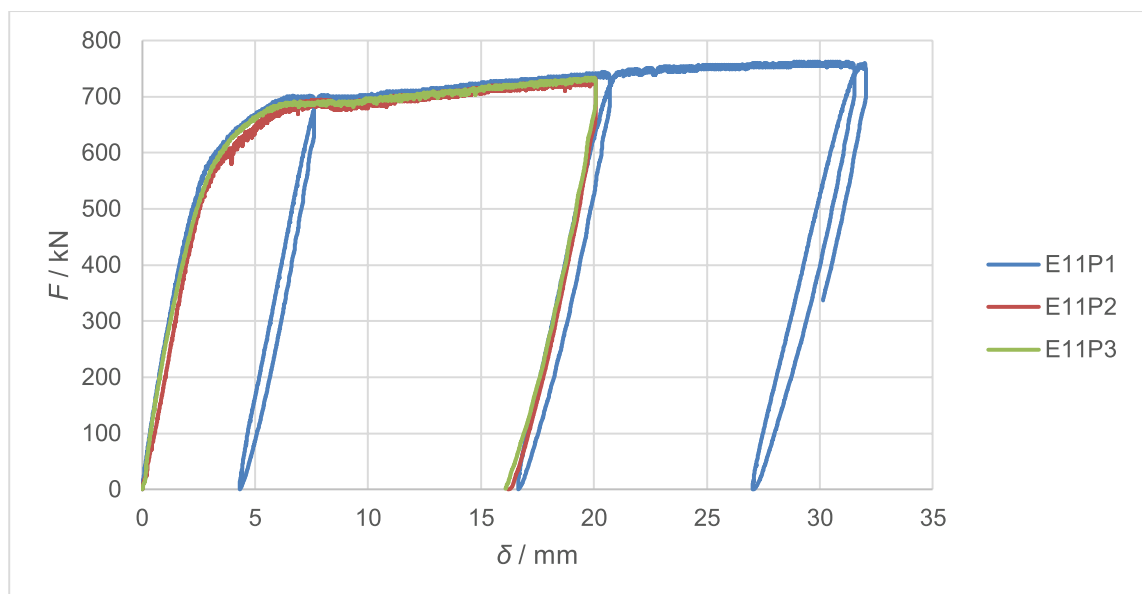
Taulukko 8. Ankkurointikapasiteetti prEN 1992-1-1:2021 tulokset

F_a	102,8	kN
$F_{b,90}$	55,5	kN
$F_{b,250}$	154,096	kN
$F_{b,410}$	252,7	kN
$F_{b,570}$	351,338	kN
$F_{\text{koko},90}$	158,3	kN
$F_{\text{koko},250}$	256,9	kN
$F_{\text{koko},410}$	355,5	kN
$F_{\text{koko},570}$	454,2	kN
σ_{sd}'	81,8	MPa
$\sigma_{sd,90}$	44,1	MPa
$\sigma_{sd,250}$	122,6	MPa
$\sigma_{sd,410}$	201,1	MPa
$\sigma_{sd,570}$	279,6	MPa
A_s	1256,6	mm ²
A_{h2}	5153	mm ²
$l_{b,rqb,90}$	99,3	mm
$l_{b,rqb,250}$	275,9	mm
$l_{b,rqb,410}$	452,4	mm
$l_{b,rqb,570}$	629,0	mm
f_{bd}	4,4	
f_{ctd}	2,1	
$f_{ctk,0,05}$	2,1	

Kaavalla 2.8 laskettiin betonin sivukartiomurron ominaisuuskestävyys $N_{Rk,cd}$ ja tulokseksi saatiin 370,2 kN. Kaavalla 2.23 laskettiin kokonaisankkurointivoima standardin prEN 1992-1-1:2021 mukaan. Pultin kokonaisankkurointivoimaksi saatiin noin 158 kN kun tartuntaa oli 90 mm pituudelta ja kun tartuntaa oli 570 mm pituudella kokonaisankkurointivoima oli likimain 454 kN.

4.4 Koetulokset ankkurointipituudella l_{bd} 570 mm

Pulteissa E11P1, E11P2 ja E11P3 tartuntaa oli jäljellä yhtä paljon kuin Anstarin ATP45 pulteissa. Voima-siirtymäkäyrä kulki hyvin saman tyyppisesti kaikissa pulteissa. Betoniin ei syntynyt sivukartiomurtoa yhdessäkään kokeessa. E11P1 koetta jatkettiin siihen asti, kun siirtymä oli noin 7 mm, jonka jälkeen voima poistettiin. Koetta jatkettiin, kunnes siirtymää oli noin 20 mm ja voima poistettiin uudestaan. Kolmannella kerralla ennen voiman poistoa siirtymää oli noin 32 mm. Tämän jälkeen voima nostettiin takaisin 760 kN:iin, jonka jälkeen koe lopetettiin. Pulttien E11P2 ja E11P3 kuormitus lopetettiin, kun siirtymää oli noin 20 mm. Maksimivoiman keskiarvo kokeissa oli 743 kN.



Kuvaaja 2. Pulteissa tartunnan pituus 570 mm.

Pultin E11P1 kuormituksesta betonipintaan syntyi noin 770 mm halkeama, joka alkoi pultin alapäästä. Murtumaa vahvistettiin lyijykynällä kuvaa 21 varten. Maksimissaan pulttia kuormitettiin 762,3 kN voimalla. Siirtymää pultin päässä tapahtui 32 mm. Kuvassa 21 näkyy pultin E11P1 betonipinta kokeen jälkeen.



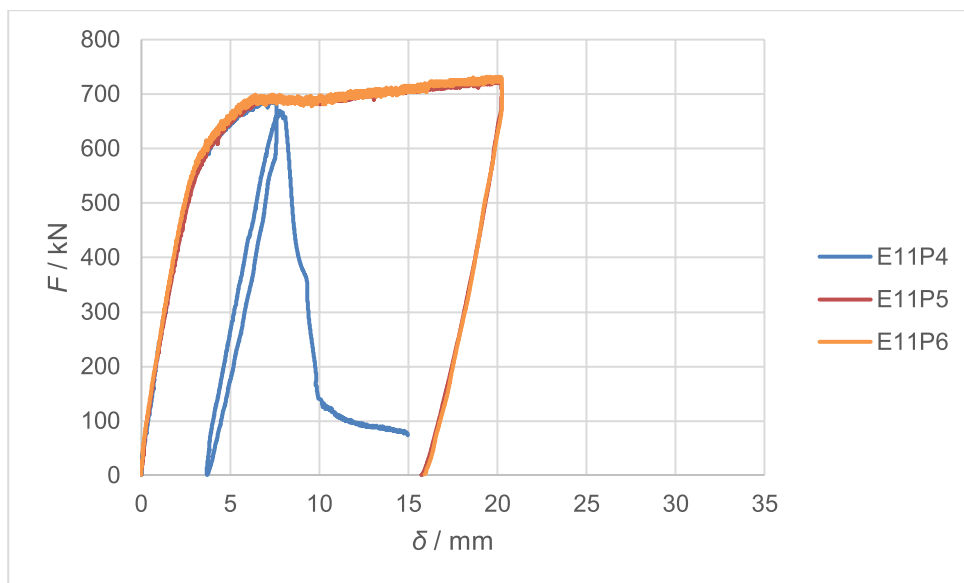
Kuva 21. E11P1 halkeama betonipinnassa.

E11P2 pulttia kuormittaessa ei betonipintaan syntynyt silmällä nähtäviä halkeamia. Pulttia kuormitettiin maksimissaan voimalla 733,8 kN ja siirtymää tapahtui 20,1 mm. Kuormittaessa pulttia reikäsynteristä valui öljyä, kuva liitteessä 1.

E11P3 pulttia kuormitettiin 733,7 kN voimalla. Siirtymää pultissa tapahtui 20,1 mm. Betonipintaan syntyi halkeama, joka alkoi 170 mm ankkurin alapään yläpuolelta ja jatkui ylöspäin pultin myötäisesti 640 mm. Halkeamaa vahvistettiin lyijykynällä. Kuva liitteessä 1.

4.5 Koetulokset ankkurointipituudella l_{bd} 410 mm

Kun tartuntaa oli jäljellä 410 mm matkalla, tapahtui yksi sivukartiomurto ja kaksi teräksen myötää. Tapaukset, jossa teräs myötäsi ilman sivukartiomurtoa, ovat voima-siirtymäkuvaajat keskenään hyvin samanlaisia. Kun pulttia E11P4 kuormitettiin, poistettiin voima, kun voimaa oli 693,3 kN ja annettiin voiman laskea melkein nolnaan. Uudelleen kuormittaessa tapahtui sivukartiomurto voimalla 667,5 kN, Voiman maksimi arvo oli suurempi.



Kuvaaja 3. Pulteissa tartunnan pituus 410 mm.

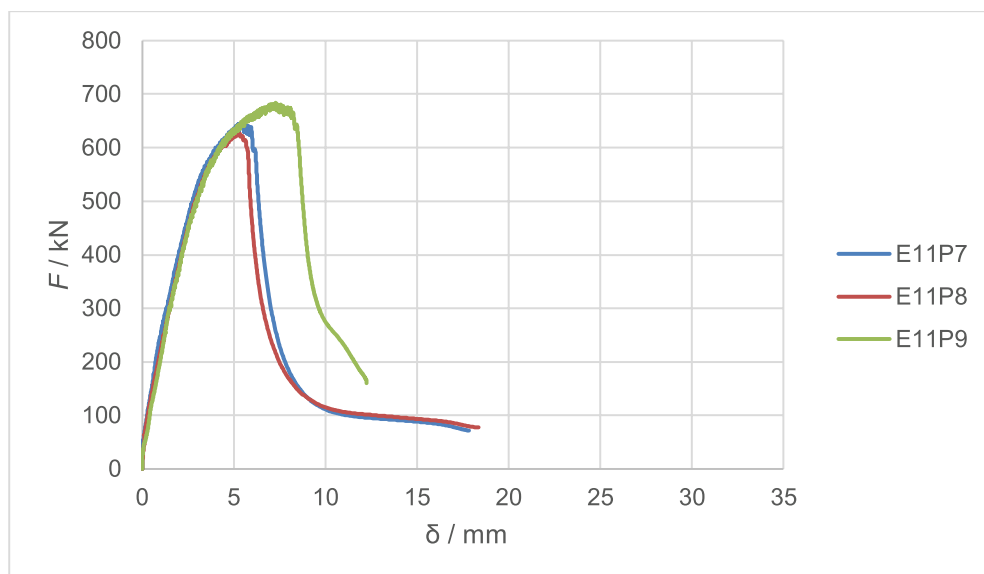
Pultissa E11P4 tapahtui sivukartiomurto voimalla 667,4 kN siirtymän ollessa noin 7 mm.

E11P5 pultin maksimivoima oli 726,1 kN. Siirtymää pultilla oli 20,2 mm koe lopetettiin ilman sivukartiomurtoa. Betonin pintaan muodostui halkeama, joka alkaa noin 40 millillä pultin alapinnan päältä ja jatkuu 550 mm ylöspäin.

Pulttia E11P6 kuormitettiin, kunnes siirtymää oli 20,3 mm ja voimaa 732,1 kN. Tämän jälkeen koe lopetettiin. Betonipintaan syntyi halkeama 125 mm ankkurin alapään yläpuolelle ja halkeama jatkui 425 mm ylöspäin.

4.6 Koetulokset ankkurointipituudella l_{bd} 250 mm

Kaikissa tapauksissa syntyi sivukartiomurto. Murto syntyi keskimäärin voimalla 653,1 kN. Voima-siirtymäkäyrä oli kaikilla kolmella pultilla hyvin samanlainen, vain pultti E11P9 siirtyi hieman muita enemmän. Suurimmalla ja pienimmällä murtumavoimalla oli eroa vain 35 kN.



Kuvaaja 4. Pulteissa tartunnan pituus 250 mm.

Pultti E11P7 murtui voimalla 648,8 kN. Siirtymää pultilla oli tällöin noin 6 mm. Korkeutta sivukartiomurrolla on 450 mm ja leveyttä 500 mm, kuten kuvassa 22 näkyy.



Kuva 22. E11P7 sivukartiomurtuma.

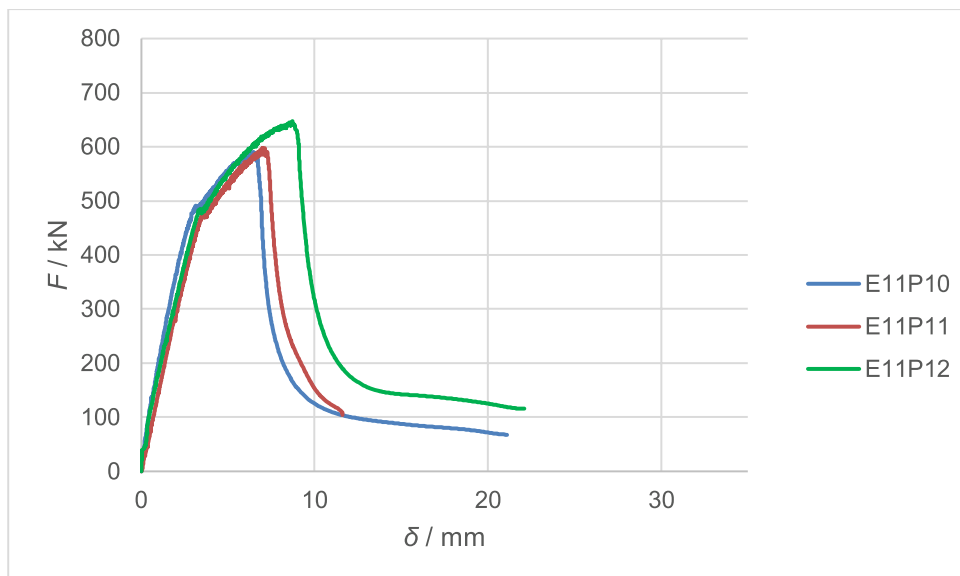
Pultti E11P8 murtui voimalla 626,5 kN. Siirtymää pultilla oli tällöin noin 5,5 mm. Korkeutta sivukartiomurrolla on noin 350 mm ja leveyttä 450 mm. Tämä pultti sekä pultti E11P7 olivat voima-siirtymäkuvaajissa keskenään hyvin samankaltaisia.

Pultti E11P9 murtui voimalla 683,9 kN. Siirtymää pultilla oli tällöin noin 7,5 mm. Sivukartiomurron korkeus on noin 300 mm ja leveys noin 500 mm. E11P9 murtui korkeimmalla voimalla ja siirtymää pultissa tapahtui vähiten verrattuna muihin pultteihin, joissa tartuntaa oli jäljellä samalta 250 mm matkalta.

4.7 Koetulokset ankkurointipituudella l_{bd} 90 mm

Pulteissa E11P10, E11P11 ja E11P12 tartunta poistettiin melkein koko pultin matkalta. Kuvaajassa 5 käyrät kulkivat hyvin samanlaisina. Kaikkiin kappaleihin syntyi sivukartiomurto. Pultti E11P10 murtui jo 589,8 kN voimalla ja P12 kesti jopa 646,7 kN voiman. Eroa näillä ääripäillä oli 56,9 kN. Keskiarvo murtumille oli 611,5 kN.

Kuvaajassa näkyy kulmakertoimen muutos noin 4 mm kohdalla. Kokeen alussa jousivakio on likimain $k_1 = \Delta F / \Delta \delta = (475 \text{ kN} - 0 \text{ kN}) / (3,5 \text{ mm} - 0 \text{ mm}) = 136 \text{ MN/m}$. 3,5 mm siirtymän jälkeen jousivakio on $k_2 = (600 \text{ kN} - 475 \text{ kN}) / (7,3 \text{ mm} - 3,5 \text{ mm}) = 33 \text{ MN/m}$. Jäykkyys tippui noin neljäsosaan alkuperäisestä.



Kuvaaja 5. Pulteissa tartunnan pituus 90 mm.

Pultti E11P10 murtui jo 589,8 kN:in voimalla ja siirtymää pultin päässä oli 7 millimetriä. Sivukartiomurron pituus noin 560 millimetriä ja korkeus noin 510 millimetriä.

E11P11 pultin sivukartiomurto tapahtui voimalla 598,0 kN ja siirtymää tuli 8 millimetriä. Tämä pultti kesti 8 kN edellistä pulttia enemmän. Sivukartiomurron leveys noin 600 millimetriä ja korkeus 500 millimetriä.

Pultti E11P12 Murtui voimalla 646,7, joka oli suurin voima ilman tartuntaa testatuissa pulteissa. Siirtymää tapahtui noin 9 millimetriä. Sivukartiomurron leveys on noin 500 millimetriä ja korkeus 250 millimetriä.

4.8 Tyssien päälle muodostuneet betonimurskekartiot

Kun tartuntaa oli jäljellä 410 mm, yhdessä pultissa tapahtui sivukartiomurto.

Tyssän päälle muodostuneen kartion korkeus oli noin 75 millimetriä, joka näkyy kuvassa 23.



Kuva 23. Pultin E11P4 tyssän päälle muodostunut betonimurskeesta kartio.

E11P7 tyssän päälle muodostuneen betonimurske kartion korkeus oli 75 millimetriä ja pultin E11P8 kartion korkeus 90 millimetriä. Kartio oli hieman suurempi kuin pultissa E11P7 ja voima pienempi. Lisäksi siirtymää oli hieman enemmän kuin edellisessä. E11P9 tyssä ei tullut kokonaan esiin. Tyssän alla näkyy kolo. Korkeutta halkeamalla tyssän päällä oli noin 115 millimetriä.



Kuva 24. Tyssän päälle muodostuneet kartiot pulteissa E11P7, E11P8 ja E11P9.

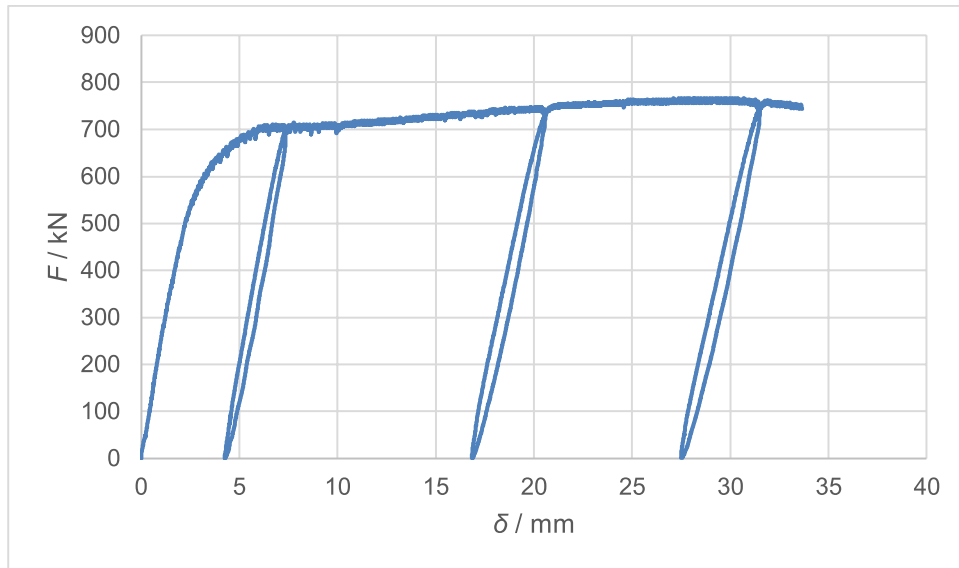
Pultin E11P10 tyssän päälle muodostui 75 mm korkuinen kartio. E11P11 pultissa tyssän päälle muodostui korkeampi kartio kuin edellisessä pultissa. Korkeutta kartiolla oli noin 115 mm. Pultin E11P12 tyssä ei tullut kokonaan esiin. Tyssät esitetty kuvassa 25.



Kuva 25. Tyssän päälle muodostuneet kartiot pulteissa E11P10, E11P11 ja E11P12.

4.9 Tulokset pultti E11P13, ankkurointipituudella l_{bd} 570 mm

Pultti E11P13 sijoitettiin keskelle, eikä reunaan niin kuin muut pultit. Pulttia kuorimitettiin 4 kertaa. Koska ankkuri oli kaukana reunasta, ei betonipintaan syntynyt halkeamia. Kuvaajassa 6 näkyy E11P13 voima ja siirtymä.



Kuvaaja 6. E11P13 voima- ja siirtymäkuvaaja.

Neljännän kuormituksen jälkeen tapahtui teräksen murto kierreteräksessä voimalla 766,2 kN. Kuvassa 26 näkyy teräksen murto. Kuvasta 26 huomataan, että kierreosa on venynyt ennen murtoa.



Kuva 26. Kierreosassa tapahtui teräsmurto.

5 Luotettavuusanalyysi kokeiden onnistumisesta

Kuormituskokeet tehtiin 2.3.2022 ja betonin lujuus testattiin 11.3.2022. Testien välillä oli yhdeksän päivää. Kuormituskokeiden aikana betoni oli 42 päivää vanhaa ja lujuus testattiin 51 päivän vanhana. Suurta eroa lujuudessa ei siis kuormituskokeiden ja lujuuskokeiden välillä ollut. Betonin lujuutta testattiin kolmella kappaleella, luotettavammat tulokset olisi saatu, jos kappaleita olisi testattu useampia koekappaleita. Lujuuskoekappaleet valettiin ja säilytettiin samassa tilassa kuormituskoe-kappaleen kanssa.

Siirtymää mitattiin pultin päältä. Koska betonipinnan ja pultin pään välissä oli pumppu ja mittalaitteet, ei siirtymässä voi olla eroja, sillä pultin venymä muuttaa tuloksia. Pulttien välillä voi olla eroja siirtymissä myös tästä syystä. Kuormitusvoiman mittaaminen onnistui hyvin, joten voiman vertailu toisiinsa on suhteellisen luotettavaa. Kuormitusvoimaa tarkkailtiin voimasylinteristä samaan aikaan pumppun paineen kanssa kokeita tehdessä. Voima-anturi testattiin toimivaksi Vahasen laboratoriolle Espoossa. Kokeiden tuloksissa ei ole suurta hajontaa, kahta poikkeusta lukuun ottamatta.

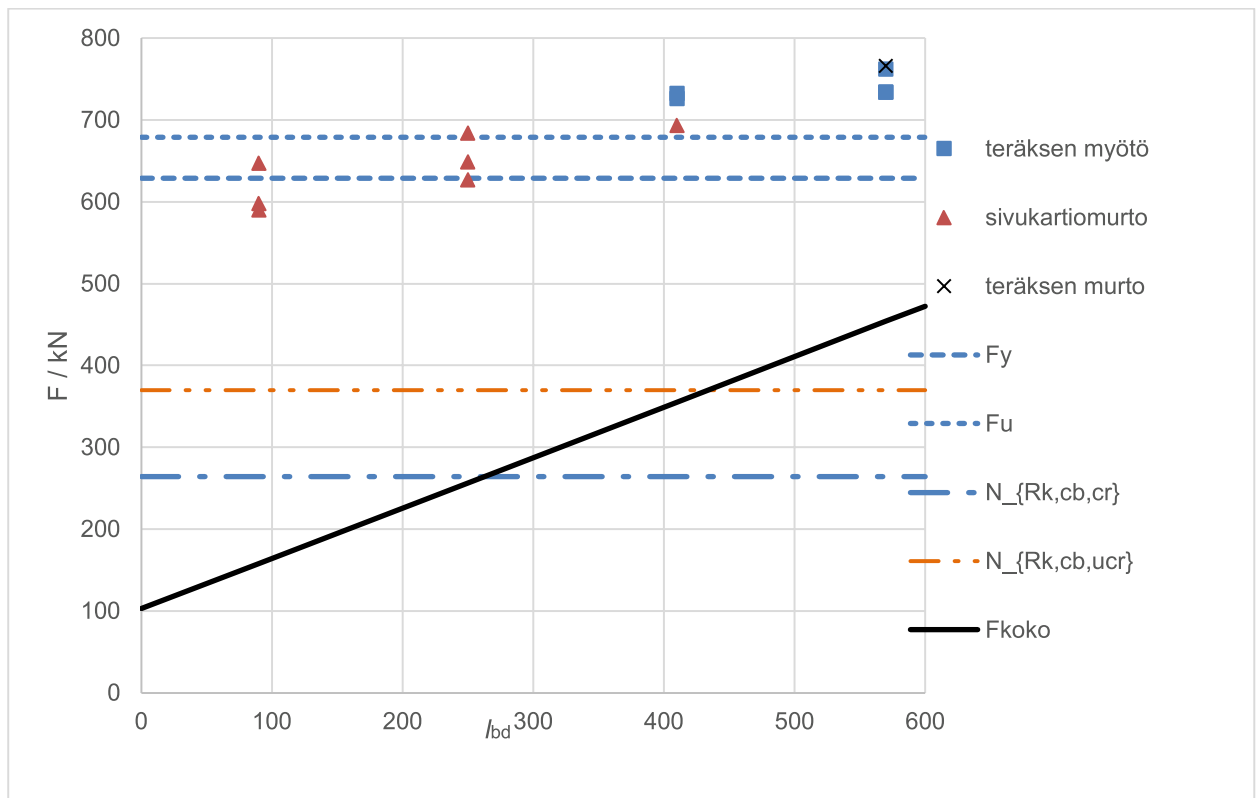
Kokeita tehtiin vain kolme kappaletta yhtä tartuntapituutta kohtaan. Tulokset ovat siis aika suppeat. Muuttujia pulttien välillä ei ollut tartunnan lisäksi, mikä lisää tulosten vertailun luotettavuutta. Ennen pultin E11P11 vetoa, betonin pinnassa oli pieniä halkeamia edellisistä kokeista. Tämä on saattanut vaikuttaa kokeeseen. Kuva liitteessä.

Kuormituskoe-kappaleen raudoituksen, pulttien kiinnityksen tai valun aikana ei tapahtunut mitään sellaista, mikä voisi vaikuttaa kokeisen tuloksiin. On kuitenkin hyvä muistaa, että kaikki tehtiin käsin, joten virheitä on voinut syntyä tarkistuksista ja katselmuksista huolimatta. Valun jälkeen tehty tärytys ja betonista poistunut ilma voi olla eri pulttien kohdalla erilaista. Betonipinnassa tai lujuuskoekappaleissa ei kuitenkaan näkynyt suuria eroja.

Kokeissa käytettiin yhtä pulttikokoa, reunaetäisyyttä sekä lujuutta. Kokeissa käytettiin vain halkeilematonta betonia. Tästä syystä tuloksia ei voida soveltaa.

6 Johtopäätökset

Kuvaajassa 7 esitettyinä kokeiden teräsmyötöt, -murrot ja sivukartiomurrot tartuntapituuden, l_{bd} mukaan. Lisäksi kuvaajassa on esitettyinä teräsmyötö ja -murtovoima laskettuna teräksenlujuus x tangon halkaisijan pinta-ala. Tässä näkyviin on laitettu harjateräksen myötö- ja murtovoimat, sillä se on määräävä. Betonin sivukartiomurron ominaisuuskestävyys vetokuormituksessa halkeilleessa betonissa $N_{Rk,cb,cr}$ sekä halkeilemattomassa $N_{Rk,cb,ucr}$. F_{koko} esittää Ankkurointikapasiteettia prEN 1992-1-1:2021 mukaan. F_{koko} janaan on laskettu tyssän että tangon yhdistetty kapasiteetti.



Kuvaaja 7. Tulokset

Pultit, joissa tartuntaa oli 570 mm ja 410 mm verran ei ollut suurta eroa kuvaajissa ja voimassakin oli vain 26 kN ero. Pultit, joissa tartuntaa oli 570 mm verran keskiarvallisesti murtoivat 743 kN voimalla ja pultit, joissa tartuntaa oli 410 mm

verran murtuivat 717 kN voimalla. Kuvaajassa 1 näkyy, kuinka nämä kaksi esimerkkikäyrää kulkevat hyvin samalla tavalla. Kummatkin pultit venyivät noin 20 millimetrin matkan ennen kokeiden keskeyttämistä.

Myös pultit, joissa tartuntaa oli 250 mm ja 90 mm verran, kulkevat hyvin saman tyyppistä käyrää, kuten kuvaajasta 1 näkyy. Pultit, joissa tartuntaa oli 250 mm verran, kokeet lopetettiin keskimäärin voimalla 653 kN ja pultit, joissa tartuntaa oli 90 mm verran saavutti 611 kN voiman ennen kokeiden lopetusta. Tässä tapauksessa eroa keskiarvallisesti oli 42 kN. Kummassakin tapauksessa pultin siirtymä oli vain viidestä seitsemään millimetriin ennen sivukartiomurtoa.

Kun 410 mm tartuntaa verrataan 250 mm tartuntaan, on keskiarvollisen maksimivoiman ero 64 kN. Tästä voidaan päätellä, että kun tartuntaa on jäljellä 63-45 prosenttia, pultti kestää yli 700 kN voiman viidessä tapauksessa kuudesta. Kun taas tartuntaa on jäljellä alle 28 prosenttia syntyy sivukartiomurto alle 700 kN voimalla.

Standardissa SFS-EN 1992-4:2018 esitetty betonin sivukartiomurron ominaisuuskestävyys vetokuormituksessa $N_{Rk,cb}$ laskettiin kaavalla 2.8. Tulokseksi saatiin 370 kN. Tämä laskukaava pätee tilanteissa, jossa betoni on halkeilematonta. Kokeissa pulttien kapasiteetti oli huomattavasti suurempi kuin standardin 1992-4 mukaan laskettuna.

PrEN 1992-1-1:2021 on esitetty kaava, jolla voidaan laskea ankkurointikapasiteetti halkeilleessa betonissa. Tulokseksi saatiin 160 kN pulteilla, joissa tartuntaa oli 90 mm verran. Jos pulteissa oli tartuntaa 570 mm verran, tulokseksi saatiin 454 kN, kun laskettiin tangon tartunnan ja tyssän tartunnan yhteiskapasiteetti.

Kuten E11P4 pultissa huomattiin jo yksi toistuva kuormitus voi pienentää kapasiteettia. Pultissa E11P4 tapahtui sivukartiomurto pienemmällä voimalla kuin pultissa ollut maksimivetovoima.

Pultti E11P13 oli sijoitettu keskelle betonia, joten sivukartiomurtoa ei voinut tapahtua. Pulttia kuormitettiin 4 kertaa, jonka jälkeen tapahtui teräksen murto voimalla 766 kN. Kierre osan murtovoima F_{uk} laskettuna oli 705 kN, joten pultti kesti enemmän kuin laskelmien perusteella oli oletettavissa. Harjateräksen teoreettinen murtovoima oli 679 kN. Harjateräksen odotettiin murtuvan ensin. Kummatkin osat pultissa kestivät kuitenkin enemmän kuin otaksuttiin.

Kokeiden perusteella voi kuvitella, että tartunta vaikuttaa sivukartiomurtokapasiteettiin. Mitä enemmän tartuntaa, sitä paremmin pultti kestää. Kokeet tehtiin vain yhdellä pulttikoolla ja reunaetäisyydellä ja kokeita oli vain 3 tartuntapituutta kohden, joten tuloksia ei voida suoraan soveltaa suunnitteluun.

7 Pohdinta

Koska työt tehtiin samanlaisilla pulteilla ja kokeiden välillä ei ollut tartunnan li-säksi eroavaisuutta, ovat tulokset aika suppeat. Kuitenkin, tuloksia on helppo verrata toisiinsa muuttujien vähäisyyden takia. Uskon kuitenkin lisäkokeille ole-van tarvetta tulevaisuudessa.

Lisäkokeissa voitaisiin tehdä kokeita erikokoisilla ankkureilla ja betoninlujuuk-silla. Lisäksi voitaisiin muuttaa pintabetonin etäisyyttä pulteista. Kokeissa voitai-siin verrata myös tarkemmin kuormituksen kasvattamista ja kuormituksen tois-ton vaikutusta murtoon.

Opinnäytetyön tekeminen oli mielenkiintoista. Tein innovaatioprojektin sivukar-tiomurrosta, joten osa asioista oli tuttua. Silti paljon uutta asiaa tuli koettua ja opittua. Opinnäytetyö keskittyi tarkemmin vain tartuntaan. Lisäksi pultit ja beto-nikappale olivat paljon innovaatio projektia suuremmat.

Opinnäytetyön tekemisessä pysyttiin tavoitteissa. Kokeista saatiin hyviä, vertai-lukelpoisia tuloksia, kuten toivottiin. Materiaalitoimituksien aikatauluhaasteiden takia työn aikataulua työn kuluessa muokkaamaan. Ongelmista huolimatta pro-jekti saatiin valmistumaan ajallaan.

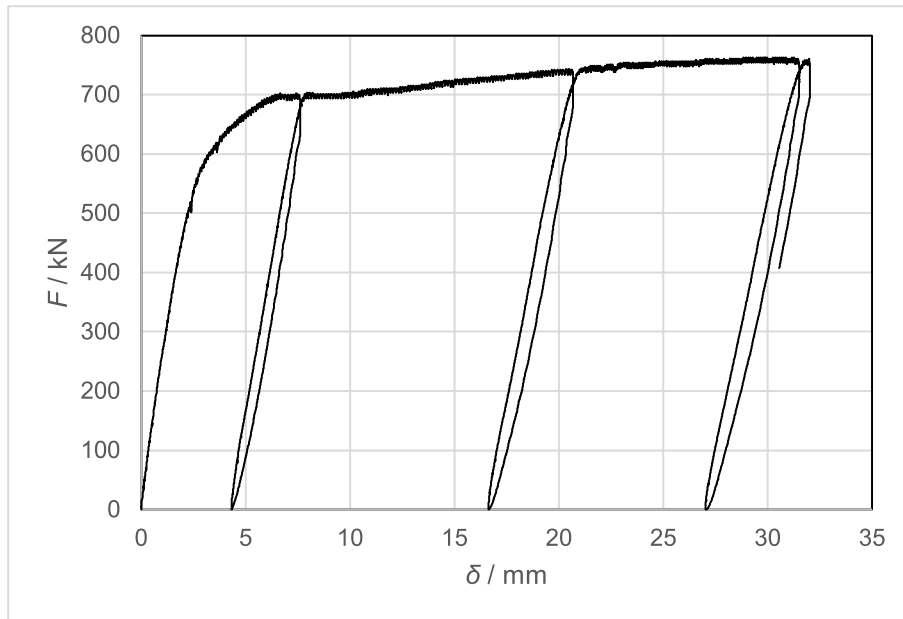
Lähteet

- 1 Anstar Oy, Harjateräspulttien käyttöohje, versio 1/2020.
- 2 SFS-EN 1992-4:2018 Eurokoodi 2. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 4: Betonirakenteissa käytettävien kiinnikkeiden suunnittelu. Suomen standardiliitto.
- 3 DeVries, Richard Alan. 1996. Doctor of Philosophy. Anchorage of Headed Reinforcement in Concrete. The University of Texas at Austin.
- 4 prEn 1992-1-1:2021. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules – Rules for buildings, bridges and civil engineering structures.
- 5 BY 211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja - osa 1. 2013. Suomen Betoniyhdistys ry.
- 6 SFS-EN 1992-1-1 Eurokoodi 2: betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen Standardiliitto.
- 7 Jacobs, Jean-Pierre. 2008. Eurocode 2 commentary. European Concrete Platform ASBL.
- 8 FIB Model Code for Concrete Structures. 2010. Berlin, Germany.
- 9 Marchetto, Francesco. 2015. MEng MSc in Civil Engineering. Use of Headed Reinforcement Bars in Construction.
- 10 Thompson, M.K. 2002. Anchorage Behavior of Headed Reinforcement: Literature Review. The University of Texas at Austin
- 11 ISO 898-2 Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel- part 2: Nuts with specified property classes - Coarse thread and fine pitch thread. International Standard.
- 12 SFS 1300:2020. Betoniteräkset. Hitsattavien betoniterästen ja betoniteräsverkkojen vähimmäisvaatimukset. Suomen Standardisoimisliitto.
- 13 Betoni.com. <www.betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-ominaisuudet-ja-kaytto/> Luettu 3.5.2022

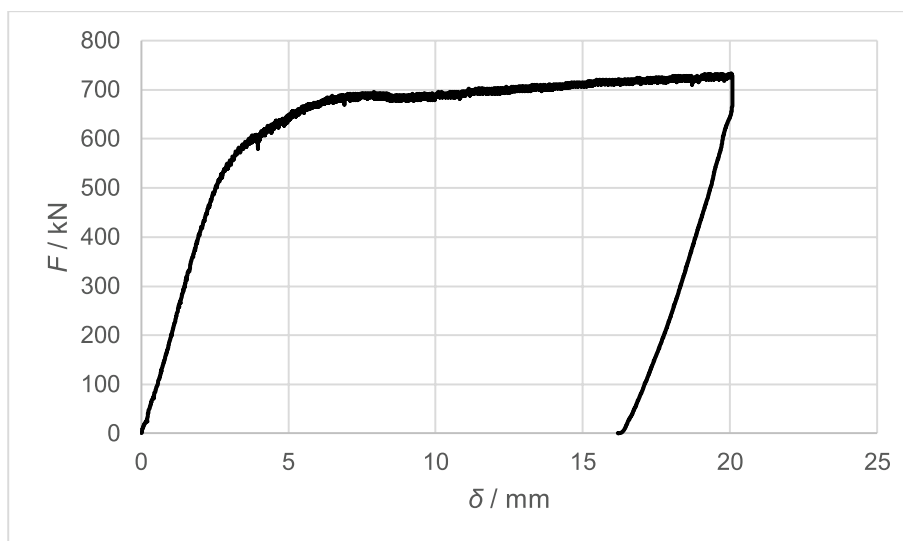
Liitteen otsikko

- 1. Kokeet**
- 2. Mittapiirustus**
- 3. Raudituspiirustus**

Tartuntaa jäljellä 570 millimetriä



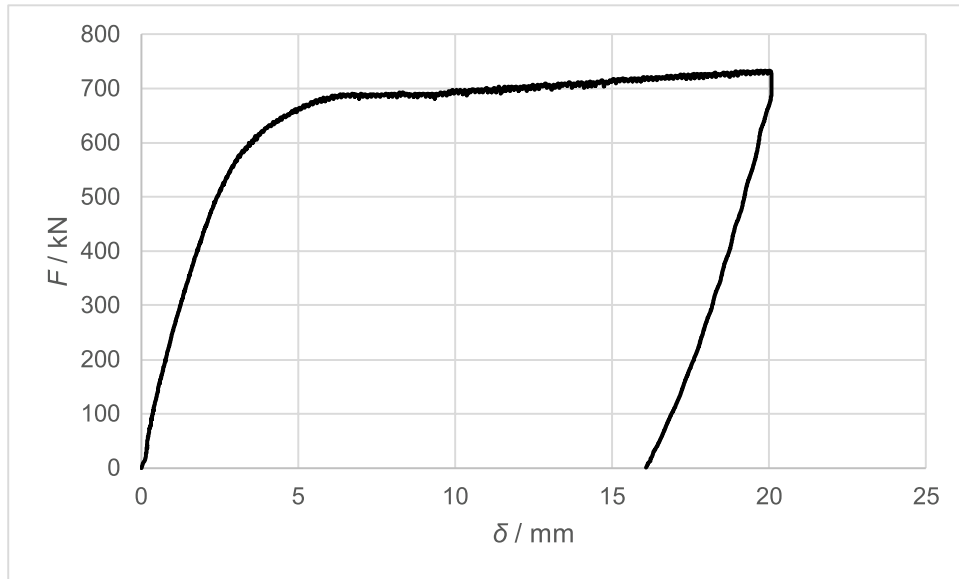
Kuvaaja 8. E11P1 voiman- ja siirtymäkuvaaja



Kuvaaja 9. E11P2 voiman- ja siirtymäkuvaaja



Kuva 27. E11P2 betonipinta kuormituksen jälkeen.

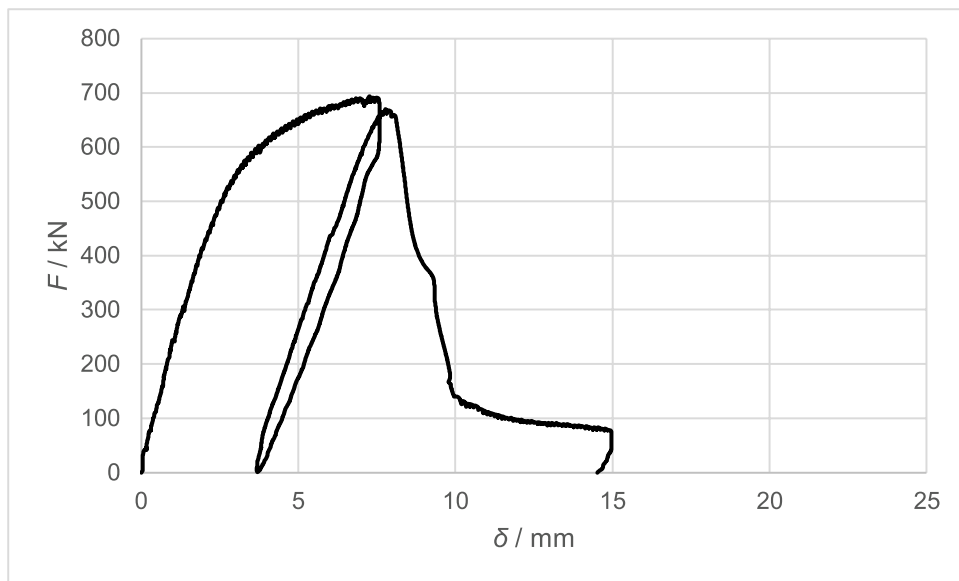


Kuvaaja 10. E11P3 voiman- ja siirtymäkuvaaja



Kuva 28. E11P3 betonipinnassa pultin kuormituksesta johtuva halkeama.

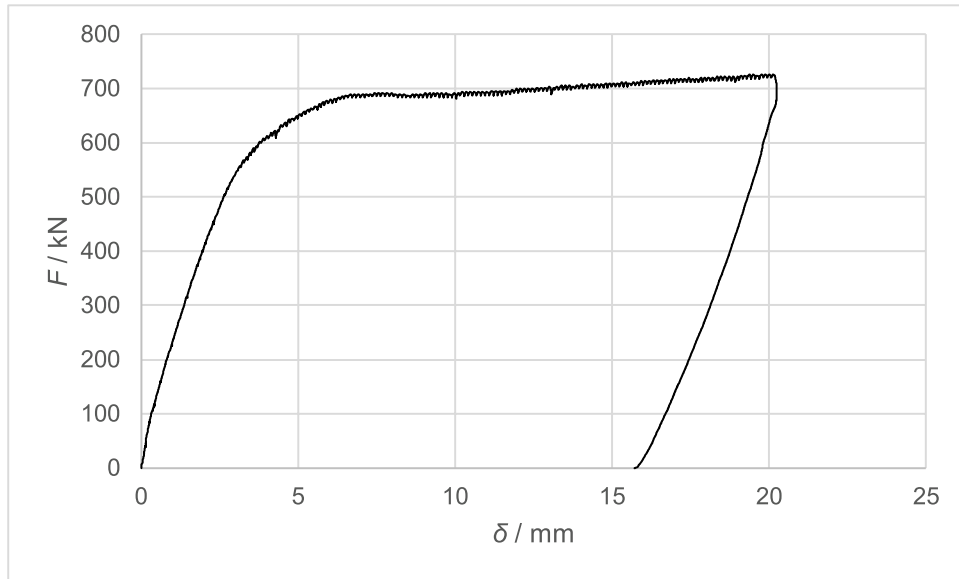
Tartuntaa jäljellä 410 millimetriä



Kuvaaja 11. E11P4 voima- ja siirtymäkaavio.



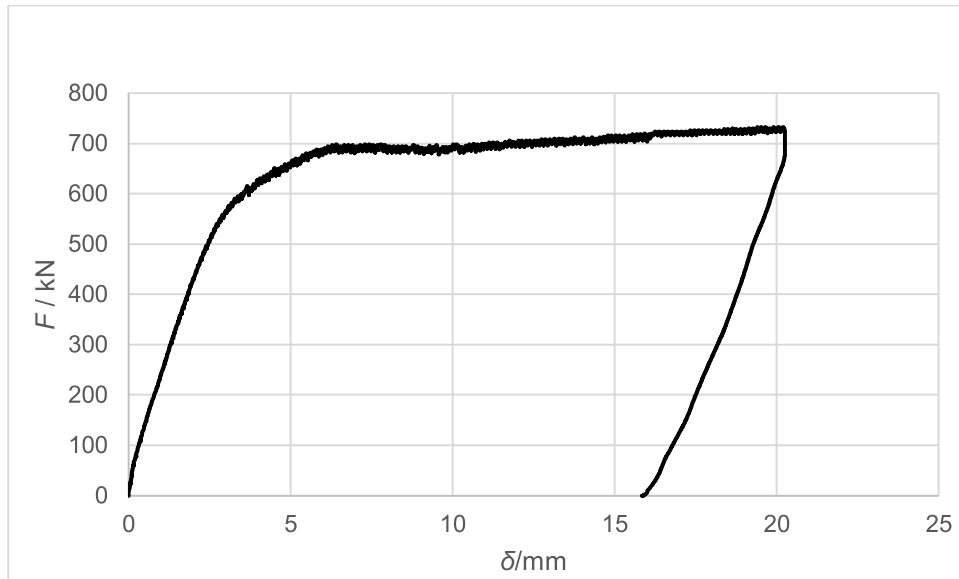
Kuva 29. E11P4 sivukartiomurto.



Kuvaaja 12. E11P5 voima- ja siirtymäkuvaaja



Kuva 30 P5. halkeamaa vahvistettu lyijykynällä. Raksi merkkää tyssän korkeutta ja kohtaa.

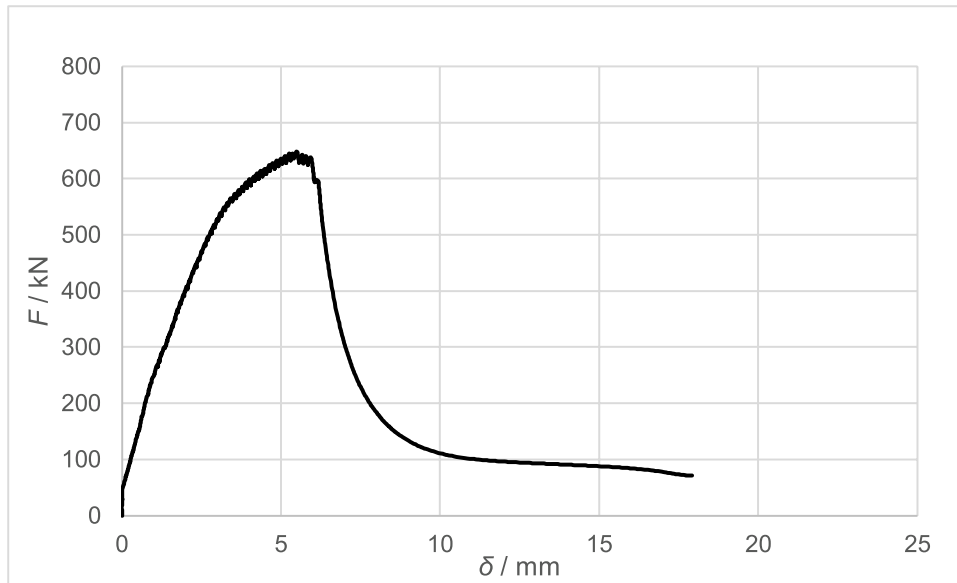


Kuvaaja 13. E11P6 voima- ja siirtymäkuvaaja



Kuva 31 P6. Halkeamaa vahvistettu lyijykynällä. Raksi merkkää tyssän korkeutta ja kohtaa.

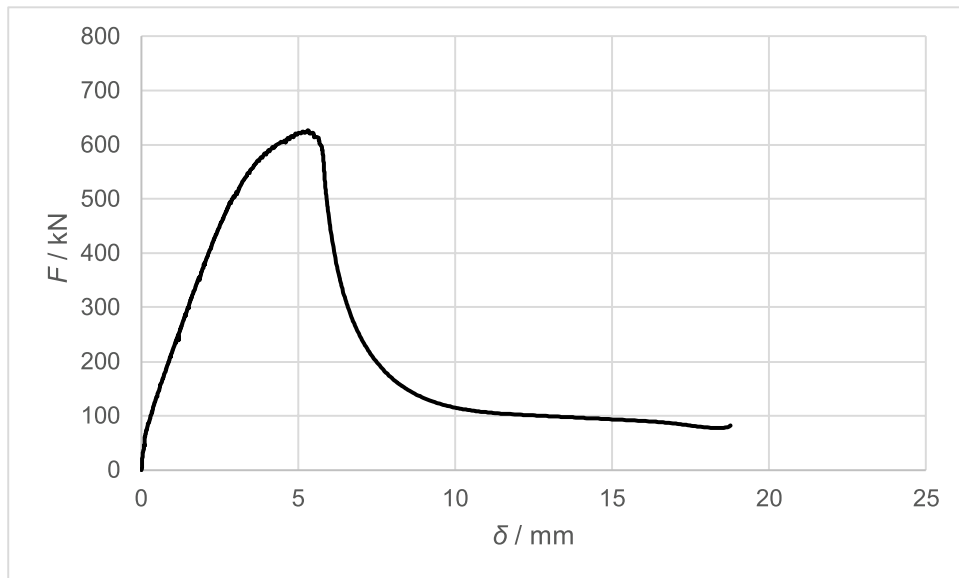
Tartuntaa jäljellä 250 millimetriä



Kuvaaja 14. E11P7 voima- ja siirtymäkuvaaja



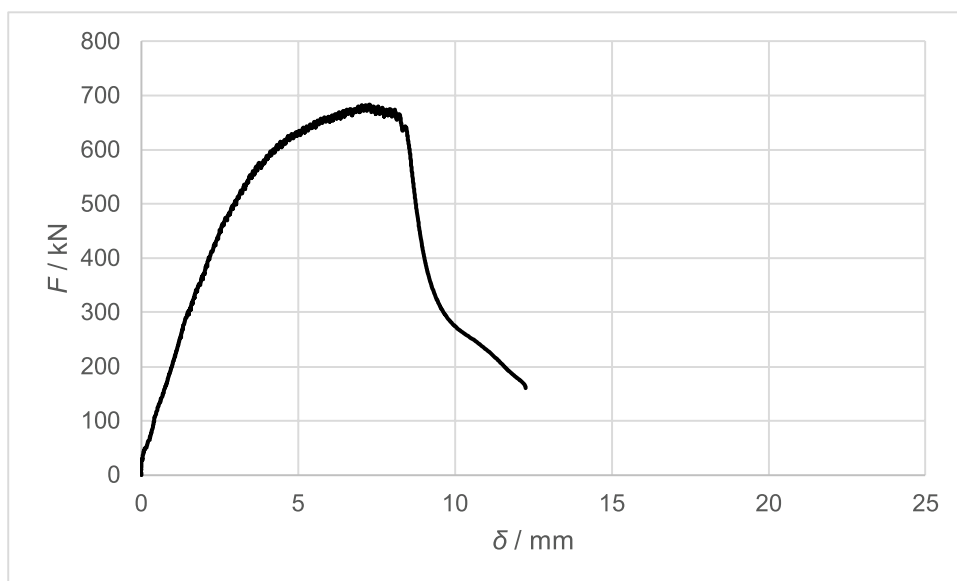
Kuva 32. E11P7 sivukartiomurto.



Kuvaaja 15. E11P8 voima- ja siirtymäkuvaaja



Kuva 33. E11P8 sivukartiomurtuma.

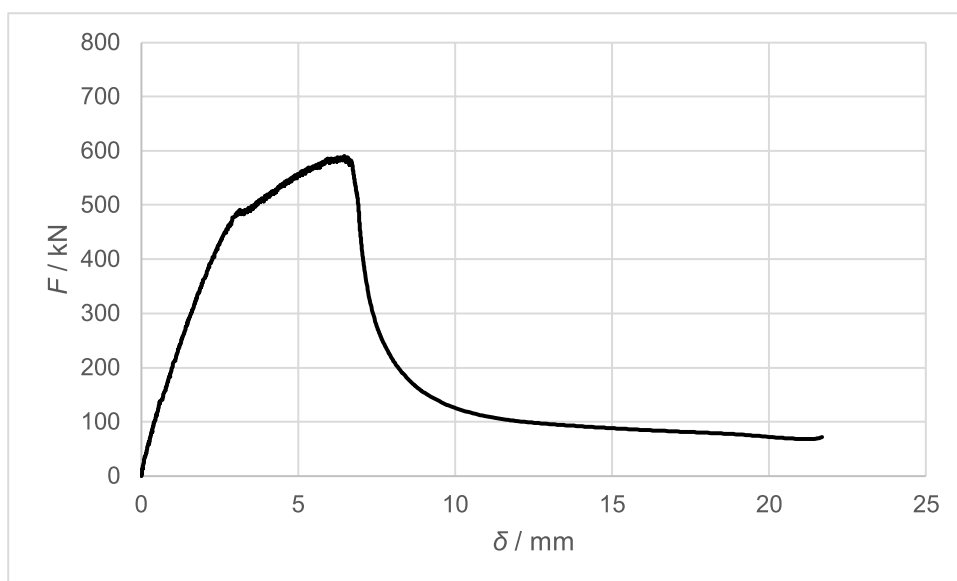


Kuvaaja 16. E11P9 voima- ja siirtymäkuvaaja.



Kuva 34. E11P9 sivukartiomurtuma sekä halkeama vahvistettuna lyijykynällä.

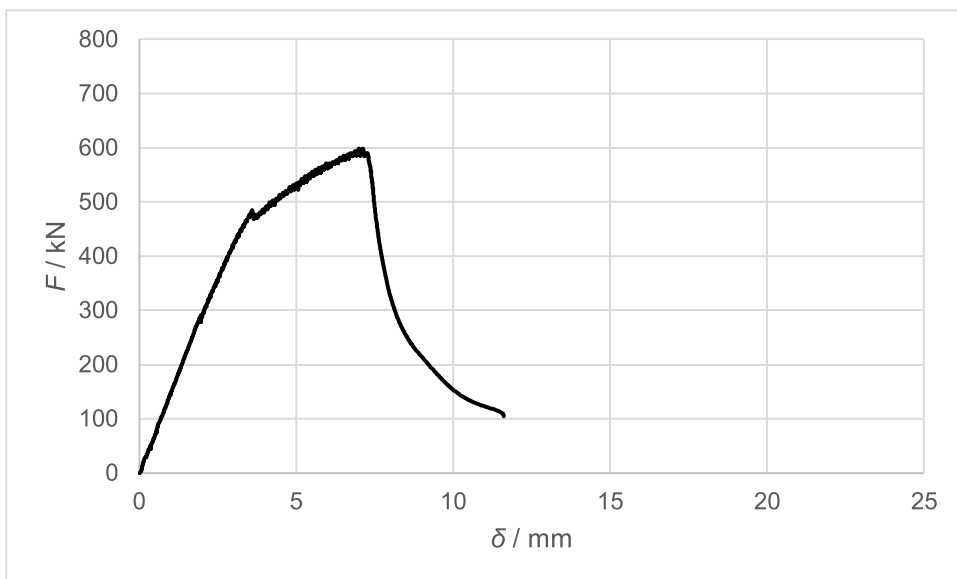
Tartuntaa jäljellä 90 millimetriä



Kuvaaja 17. E11P10 voima- ja siirtymäkuvaaja



Kuva 35. E11P10 sivukartiomurto.



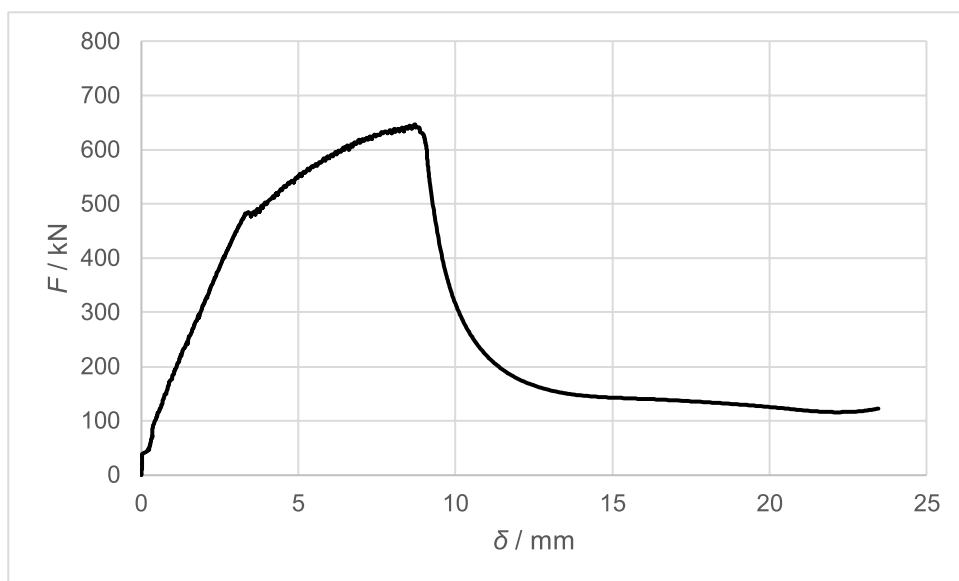
Kuvaaja 18. E11P11 voima- ja siirtymäkuvaaja



Kuva 36 Aloitustilanne. E11P10 vasemmalla sekä E11P12 oikealla tehtyjen kokeiden halkeamat saattaneet vaikuttaa P11 halkeaman syntyyn.



Kuva 37. E11P11

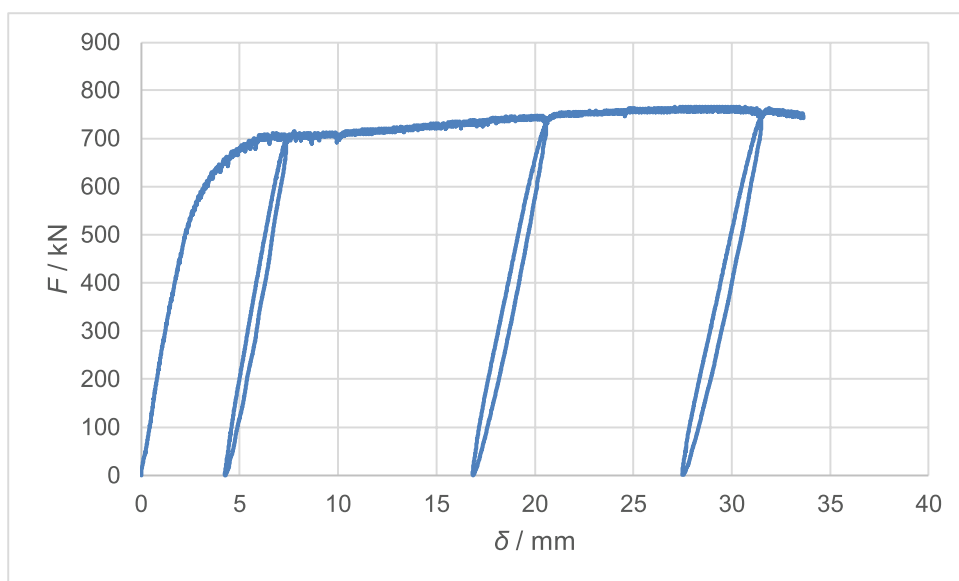


Kuvaaja 19. E11P12 voima- ja siirtymäkuvaaja



Kuva 38. E11P12 sivukartiomurto.

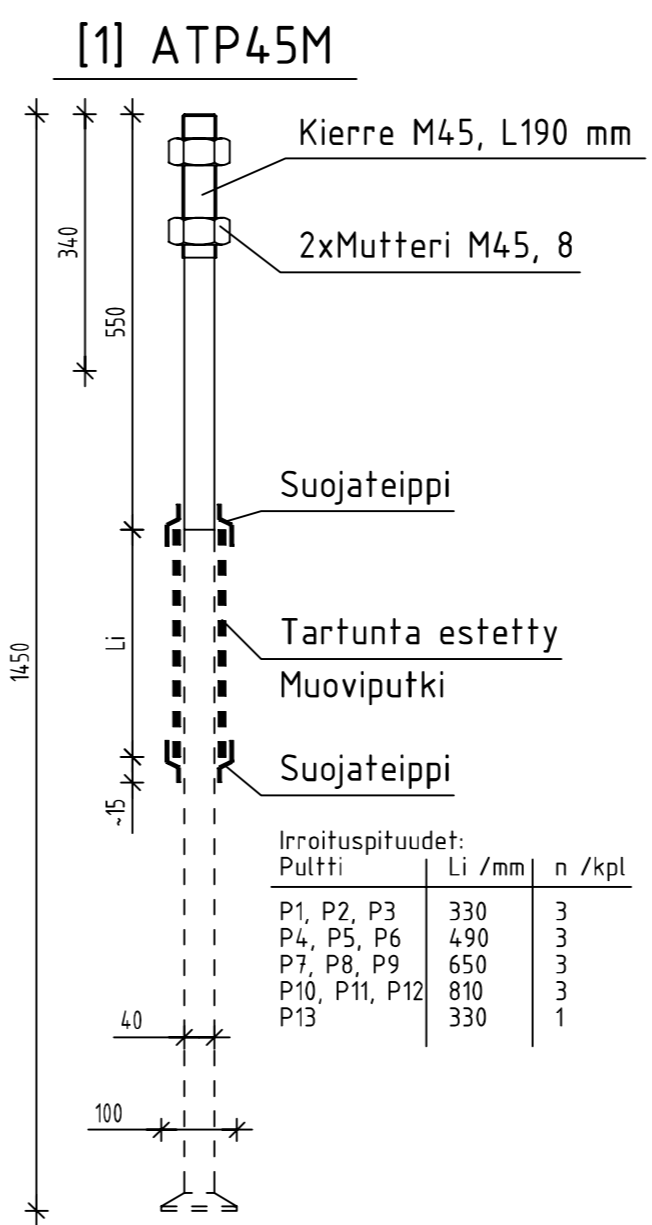
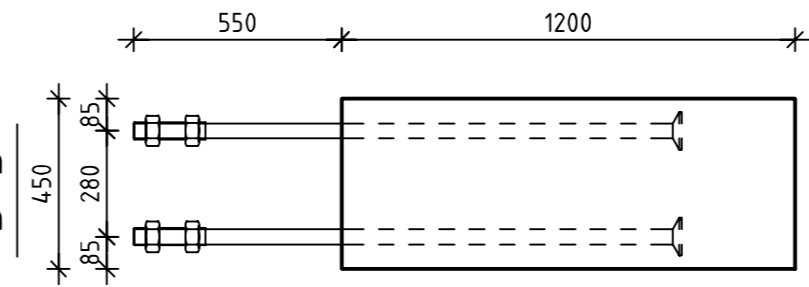
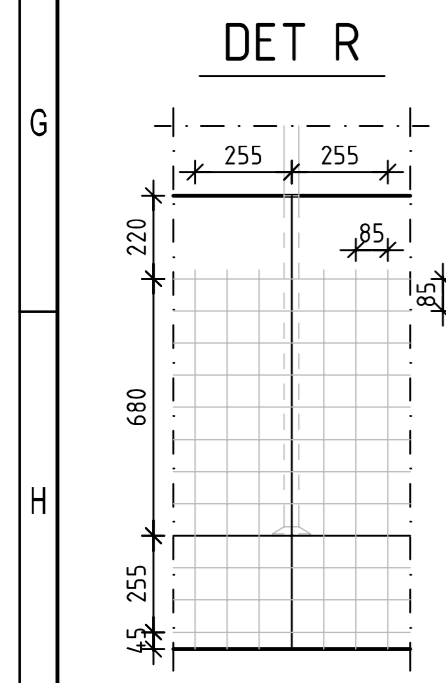
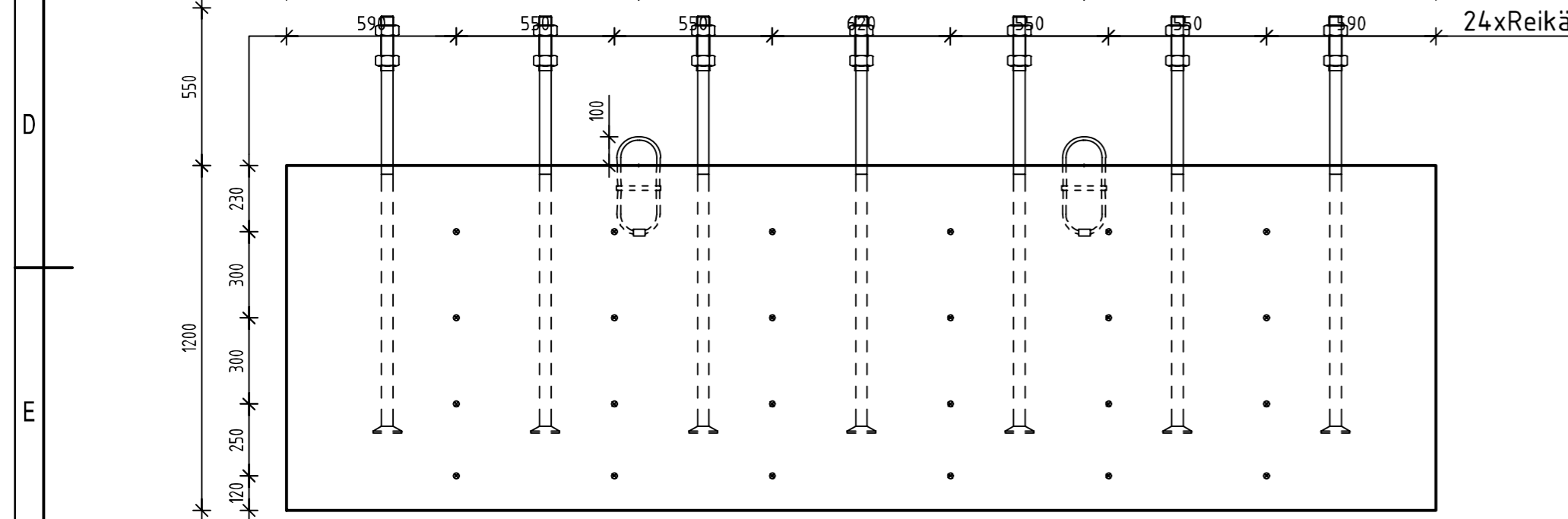
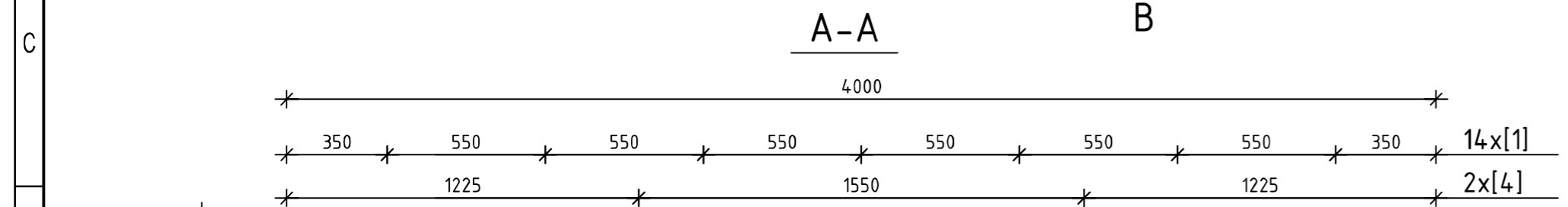
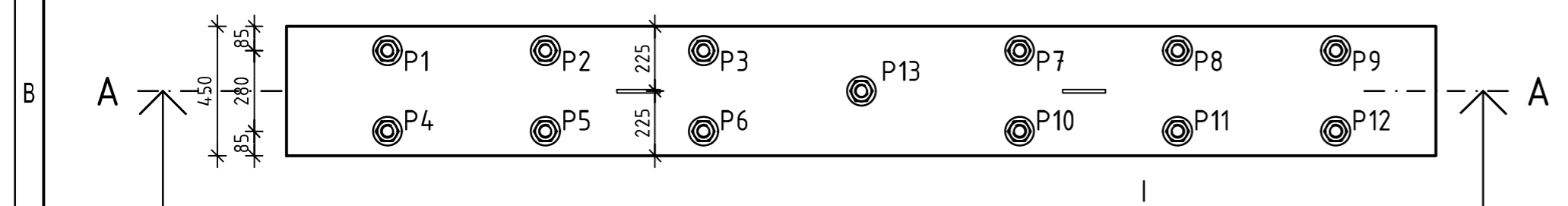
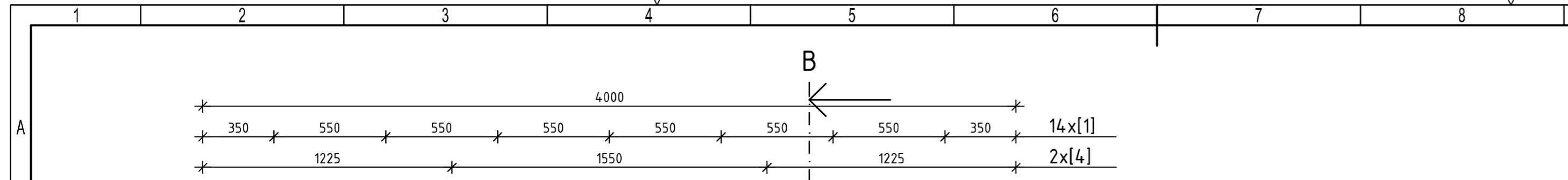
Tartuntaa jäljellä 570 millimetriä, etäällä reunasta



Kuvaaja 20. E11P13 Voima-siirtymäkuvaaja.



Kuva 39. E11P13 teräksen murtopinta.



Pultti	Li /mm	n /kpl
P1, P2, P3	330	3
P4, P5, P6	490	3
P7, P8, P9	650	3
P10, P11, P12	810	3
P13	330	1

TÄLLÄ PIIRUSTUKSELLA VALMISTETTAVIEN ELEMENTTIEN LUKUMÄÄRÄ	1 kpl		
BETONIMÄÄRÄ: 2,16 m ³	KOKONAISMASSA: 5,4 t		
TARVIKELUETTELO			
Tunnus	Määrä	Selite	Toim.
[1]	13 kpl	Peruspultti, ATP45M, B500B, L=1200 mm, 2x Mutteri, M45, 8	ANSTAR
[4]	2 kpl	Nostolenkki, PHILIPP AS 4.0	ANSTAR

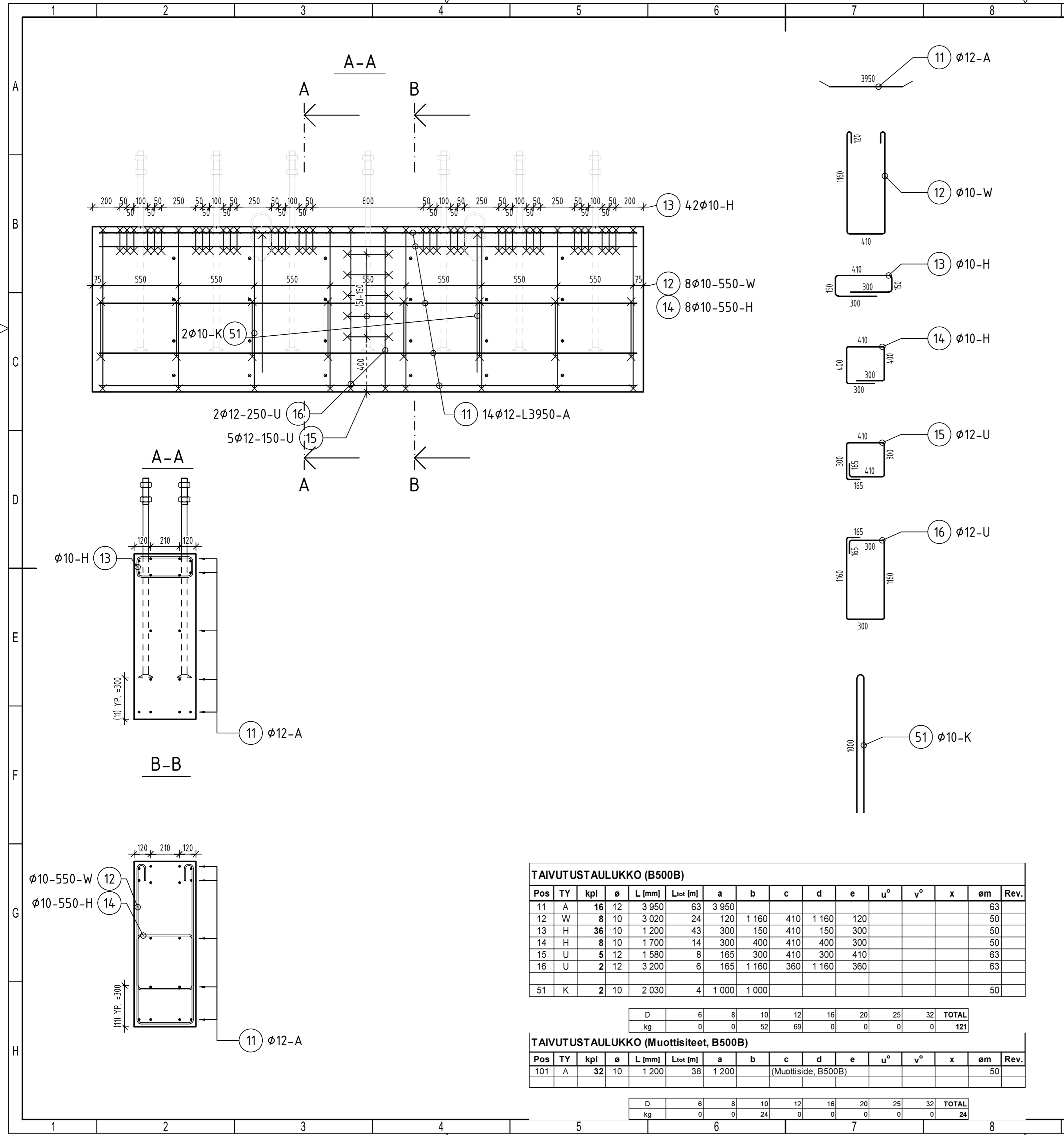
Betoni	(EN206-1)	Nostolenkki: S235J2+N Betoniin lujus nostettaessa: > C12/15
Lujuusluokka	C16/20	
Rasitusluokka	-	
Betonipeite c _{nom}	20 mm, ±10 mm	
Runkoaineen max. raekoko	#20 mm	
Rauditus	(EN 10080)	
Laatu	B500B	
Pinnat	(BY40)	
Sivut	Sivut: MUO B, maalataan valkoiseksi, piirretään ruudukko 50 mm x 50 mm Det R:n mukaisesti	
Yläpinta	Yläpinta 200 mm etäisyydellä pultista THI A, muuten PHI A	
Nimeäminen	E = Elementti N = Nurkka S = Sivu P = Pultti R = Rauditusjärjestely	
Liittyvät piirustukset		
Piir.Nro.	Selite	
SiKa_AfAnMe-1001	KOEJÄRJESTELYT	
SiKa_AfAnMe-2101	ELEMENTTI E11, RAUDOITUSPIIRUSTUS	

RAKENTAMISTA VARTEN, VALMISTETAAN 1 KAPPALE

Mark	Date	Name	Approved	Revision

Copyright © AFRY. All Rights reserved. The information contained in this document is the exclusive property of AFRY and shall not be reproduced, or disclosed or communicated to any unauthorised person, or used in any other unauthorised way whatsoever without the express written permission of AFRY.

		Koko	
Piirtäjä: 15.10.2021 K.Ylinen Suunnittelija: 15.10.2021 K.Ylinen Tarkastaja: 15.10.2021 T.Tuomi Hyväksyjä: 15.10.2021 J.Ranz		A2	
ELEMENTTI E11		Mittakaava	SiKa AfAnMe No. SiKa_AfAnMe-2001 Rev. 0
MITTAPIIRUSTUS		1:20	



Raudoitusmerkinnät

- n — n Etupinta
- n - - - n Takapinta
- ⊗ — ⊗ Taivutettu poispäin
- ⊙ - - - ⊙ Taivutettu kohti

Raudoituslaatu B500B (EN 10080) Betonipeite c_{nom} 20 mm, ±10 mm

Taivutusmuutokset (TY) (SFS-1267, Liite A) Taivutusmitat noudattavat terästen ulkopintaa

A	B	C	D
H	K	U	W

L=Katkaisupituus ϕm = Taivutuskelan halkaisija

Liittävät piirustukset

Piir.Nro.	Selite
SiKa_AfAnMe-2001	ELEMENTTI E11, MITTAPIIRUSTUS

TAIVUTUSTAULUKKO (B500B)

Pos	TY	kpl	Ø	L [mm]	Ltot [m]	a	b	c	d	e	u°	v°	x	Øm	Rev.
11	A	16	12	3 950	63	3 950									63
12	W	8	10	3 020	24	120	1 160	410	1 160	120					50
13	H	36	10	1 200	43	300	150	410	150	300					50
14	H	8	10	1 700	14	300	400	410	400	300					50
15	U	5	12	1 580	8	165	300	410	300	410					63
16	U	2	12	3 200	6	165	1 160	360	1 160	360					63
51	K	2	10	2 030	4	1 000	1 000								50
				D	6	8	10	12	16	20	25	32	TOTAL		
				kg	0	0	52	69	0	0	0	0	121		

TAIVUTUSTAULUKKO (Muottisiteet, B500B)

Pos	TY	kpl	Ø	L [mm]	Ltot [m]	a	b	c	d	e	u°	v°	x	Øm	Rev.
101	A	32	10	1 200	38	1 200									50
				D	6	8	10	12	16	20	25	32	TOTAL		
				kg	0	0	24	0	0	0	0	0	24		

RAKENTAMISTA VARTEN, VALMISTETAAN 1 KAPPALE

Mark	Date	Name	Approved	Revision

Copyright © AFRY, All Rights reserved. The information contained in this document is the exclusive property of AFRY and shall not be reproduced, or disclosed or communicated to any unauthorised person, or used in any other unauthorised way whatsoever without the express written permission of AFRY.

	Koko A2	
Piirtäjä 15.10.2021 K.Ylinen	Mittakaava 1:20	
Suunnittelija 15.10.2021 K.Ylinen		
Tarkastaja 15.10.2021 T.Tuomi		
Hyväksyjä 15.10.2021 J.Ranz		

ELEMENTTI E11

RAUDOITUSPIIRUSTUS

SiKa AfAnMe	No.	Rev.
SiKa_AfAnMe-2101		0