

JÄNNEPUNOSNOSTOLENKKIMALLISTON  
SUUNNITTELU BETONIMESTARIT OY:N KÄYTTÖÖN

Lasse Heikkilä

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Rakennustekniikka  
Insinööri (AMK)

2015

Tekniikka ja liikenne  
Rakennustekniikka

---

<b>Tekijä</b>	Lasse Heikkilä	Vuosi	2015
<b>Ohjaaja</b>	Seppo Säaskilahti		
<b>Toimeksiantaja</b>	Betonimestarit OY		
<b>Työn nimi</b>	Jännepunosnostolenkkimalliston suunnittelu Betonimestarit OY:n käyttöön		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	41 + 7		

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Betonimestarit OY:lle jännepunosesta valmistettu nostolenkkimallisto betonielementtien nostamista varten. Nostolenkkimallisto suunniteltiin palvelemaan koko konsernia. Nostolenkit tuoteistettiin ja niille tehtiin ohjeet käyttöä, valmistusta ja suunnittelua varten.

Opinnäytetyössä esitetään nostolenkkien suunnittelussa huomioitavat määräykset ja ohjeet yleisesti. Jännepunosnostolenkkejä varten opinnäytetyössä ovat laskentaohjeet. Nostolenkkien mitoituksessa tärkeä seikka on betonin vetolujuus nostohetkellä. Koska betonin puristuslujuus on hyvä mittari myös sen vetolujuudelle, on yhtenä osa-alueena opinnäytetyössä betonin puristuslujuuden määrittäminen erilaisilla menetelmillä.

Opinnäytetyön tuloksena Betonimestarit OY:llä on käytössään oma nostolenkkimallisto, jota voidaan itse edullisesti valmistaa. Nostolenkkimallistoa käytetään kaikissa elementeissä, joissa niitä voidaan käyttää. Suunnittelua ohjataan näiden nostolenkkien käyttöön.

Avainsanat

Jännepunos, nostolenkki, betonielementti,  
elementtisuunnittelu, painopiste

Technology, Communication  
and Transport  
Degree Programme in Civil  
Engineering

---

<b>Author</b>	Lasse Heikkilä	Year	2015
<b>Supervisor</b>	Seppo Säaskilahti		
<b>Commissioned by</b>	Betonimestarit OY		
<b>Subject of thesis</b>	Development of Lifting Loop Collection Made of Prestressed Steel for Betonimestarit OY		
<b>Number of pages</b>	41 + 7		

---

The aim of this thesis was to develop a lifting loop collection made of pre-stressed steel which was left over from hollow-core slab production. The loops are used to lift precast concrete elements. The collection was made to serve the whole Betonimestarit Group. Lifting loops were produced. Instruction concerning lifting, using, making and designing were made.

The regulations and guidelines concerning the planning of the loops were presented in general. Calculation principles and instructions for pre-stressed steel were provided. The tensile strength of the concrete is important for designing. Tensile strength can be calculated from compressive strength which is rather easy to measure. There is a section in the thesis concerning the determining of the compressive strength of concrete with various methods.

As a result of the thesis a collection of lifting loops is in use at Betonimestarit OY. The collection is profitable and easy to use and produce. These loops are to be used in all precast concrete elements for which they are suitable. The planning of the precast concrete is guided to use these loops.

Key words

Prestressed steel, lifting insert, precast concrete,  
center of gravity, planning of precast concrete

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	NOSTOLENKKIEN MITOITUS .....	7
2.1	Mitoituksen lähtökohdat .....	7
2.2	Kuormat ja osavarmuudet .....	7
2.3	Painopisteen määrittäminen .....	8
2.4	Haara- ja nostokulman vaikutus .....	10
2.5	Noston aikainen kuorma .....	13
3	JÄNNEPUNOKSESTA VALMISTETUT NOSTOLENKIT .....	15
3.1	Jännepunos .....	15
3.2	Jännepunosnostolenkkien rajoitukset ja määräykset .....	17
3.3	Jännepunosnostolenkin taivutukset .....	21
3.4	Nostolenkin mitoitus .....	22
4	NOSTOLENKKIMALLISTON SUUNNITTELU .....	26
4.1	Nostolenkkien käyttömahdollisuudet .....	26
4.2	Kustannuslaskelma .....	27
4.3	Nostolenkkimalliston suunnittelun lähtökohdat .....	28
4.3.1	Betonin lujuus puristuskokeilla .....	29
4.3.2	Betonin lujuus kimmovasaralla .....	31
4.3.3	Testien tulokset .....	32
4.4	Suunnittelua ohjaavat seikat .....	33
5	POHDINTA .....	35
	LÄHTEET: .....	41
	LIITTEET .....	42

## ALKUSANAT

Suuret kiitokset Betonimestarit OY:n tehdaspalvelupäällikkö Arto Tikkaselle ja Petri Lehtolalle nostolenkkimalliston suunnittelun ohjauksesta sekä hyvistä vinkeistä. Opinnäytetyön valmistumisesta kiitoksen ansaitsee myös Rambollin kehityspäällikkö Teemu Anttila korvaamattomana tietolähteenä. Haluan kiittää myös BM Haapavesi OY:n työkavereita, jotka ovat kannustaneet opiskelemaan ahkerasti.

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella jännepunoksesta valmistettu nostolenkkimallisto Betonimestarit OY:n käyttöön. Nostolenkit on tarkoitus valmistaa ontelolaattalinjastolta jätteeksi kertyvästä jännepunoksesta, jota ei voida käyttää ontelolaattoihin. Opinnäytetyössä selvitetään kattavasti jännepunoksesta valmistettujen nostolenkkien käyttömahdollisuudet seinäelementtitehtaassa. Aihe on ajankohtainen, sillä pyöröteräksen ja jännepunoksen osalta nostolenkkien mitoitusta on muutettu vuonna 2014 tehtyjen vetokokeiden perusteella.

Tässä työssä käsitellään nostolenkkien mitoitukseen vaikuttavia seikkoja yleisesti keskittyen kuitenkin juuri jännepunoksiin. Tästä syystä elementtien kääntämistä nosturilla tai nostoa ei-käännettävältä vaakavalumuotilta ei käsitellä. Mitoitus on tehty voimassa olevien eurokoodimitoitusten mukaisesti. Tässä opinnäytetyössä käsitellään ainoastaan kaksipistenostoja. Yhtenä osana opinnäytetyötä on kustannusarvio jännepunoslenkeistä verrattuna vastaaviin valmiina ostettuihin. Laskennassa on käytetty BM Haapavesi OY:n vuonna 2014 käyttämiä nostolenkkejä ja uusimpia valmislenkkien hintatietoja.

Nostolenkkien mitoitukseen vaikuttaa betonin lujuus nostohetkellä, joten osana kehitystyötä on myös tutkittu betonin lujuutta nostohetkellä BM Haapavesi OY:n tehtaalla. Nämä tulokset on esitetty lyhyesti osana mitoituksen kulkua. Tutkimusten tulokset ovat käyttökelpoisia ainoastaan kyseisessä tehtaassa. Valmis nostolenkkimallisto on liitteenä. Lisäksi liitteenä on kuvakokoelma erilaisista nostoista koskien jännepunosnostolenkkien käyttöä, laskentaohje elementin painopisteen määrittämiseksi sekä ohjeet jännepunoslenkkien käyttöä ja valmistusta varten.

## 2 NOSTOLENKKIEN MITOITUS

### 2.1 Mitoituksen lähtökohdat

Nostolenkkien mitoitus perustuu eurokoodiin, valtioneuvoston asetukseen VNa 205/2009 ja tekniseen raporttiin CEN/TR 15728. Eurokoodin mukainen mitoitus perustuu osavarmuusmenetelmään. Menetelmän ideana on poimia taulukoista osavarmuuskertoimia, jotka muuttavat kuormia ja kestävyiksi epäedullisempaan suuntaan. Näin saadaan laskettua nostolenkille lujuus riittävällä turvamarginaalilla. Nostolenkit mitoitetaan vedolle, vaikka niihin kohdistuu myös taivutus- ja leikkausrasitusta. Nostolenkkien mitoituksen tavallista suuremmat osavarmuuskertoimet huomioivat taivutus- ja leikkausrasituksen nostolenkin kokonaisvarmuudessa. Mitoituksessa betonin lujuutena käytetään nostohetken lujuutta. Nostossa betonin lujuuden pitää olla vähintään C12/15. Elementtejä kuljetettaessa ja siirrettäessä betonin lujuuden pitää olla vähintään 70 % nimellislujuudesta. (Betoniteollisuus 2010, 8–9; Suomen standardoimisliitto 2014, 18.)

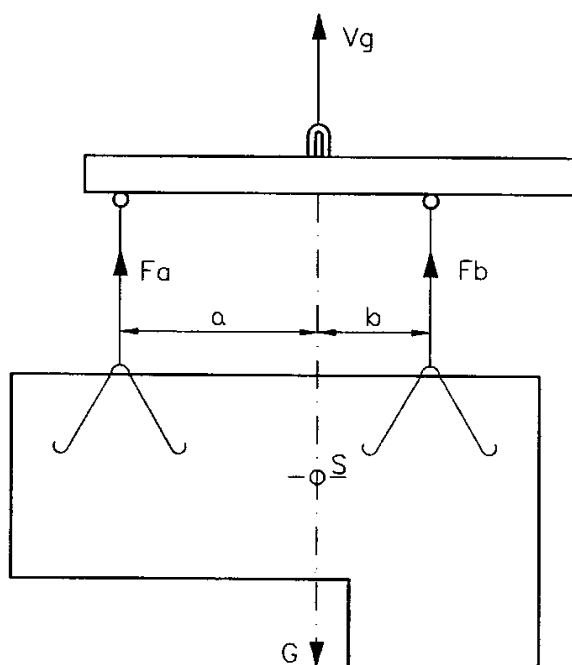
### 2.2 Kuormat ja osavarmuudet

Elementin painon määrittämiseksi lasketaan betonin tilavuus, joka kerrotaan betonin tilavuuspainolla. Tilavuuspainot ovat taulukossa 1. Painon lisäksi nostolenkkejä kuormittaa ilman nostopuomia suoritettavissa nostoissa vinovetorasitus, joka täytyy ottaa huomioon nostolenkkejä mitoitettaessa. Rasitus on sitä suurempi mitä enemmän nostoketjun suunta poikkeaa pystysuorasta. (Betoniteollisuus 2010, 10–11.)

Pysyvien kuormien osavarmuusluku  $\gamma_G$  on 1,15. Muuttuvan kuorman osavarmuusluku  $\gamma_Q$  on 1,5. Jos levymäisiä elementtejä nostetaan vaakamuotista pysyyn, tulee nostolenkkien mitoituksessa huomioida muottipinnan aiheuttama imuvaikutus. Voimakas kuviointi muottipinnassa voi aiheuttaa elementin painoon nähden jopa kaksinkertaisen voiman (liite 7). (Betoniteollisuus 2010, 9; Suomen Standardoimisliitto 2008, 11.)

### 2.3 Painopisteen määrittäminen

Valtioneuvoston asetuksen mukaan työmaalla on oltava tiedossa mm. elementin paino ja painopisteen sijainti (VNa 205/2009, 38 §). Elementtipiirustuksissa ilmoitetaan painon, nostolenkkien ja niiden sijoitusten lisäksi myös elementin vähimmäistukipinnat sekä käsittely-, tuenta- ja nosto-ohjeet (Betoniyhdistys 2012, 13). Elementin painopiste on helpointa määrittää momenttimenetelmällä (Liite 1). Betonielementin ollessa kauttaaltaan saman vahvuinen, voidaan sen massa jättää laskematta ja määrittää painopiste suoraan pinta-alan suhteen.



Kuvio 1. Elementin nosto painopisteen kohdalta (Betonteollisuus 2010, 12)

Painopisteen määrittämisen jälkeen voidaan nostolenkit sijoittaa elementtiin painopisteen molemmille puolille yhtä kauaksi, jolloin elementti nousee suorassa. Betonin ominaispainona käytetään Eurokoodin mukaisia arvoja (Taulukko 1).



Taulukko 1. Betonin tilavuuspaino (Betoniteollisuus 2009, 2)

Materiaali	Tilavuuspaino (kN/m <sup>3</sup> )
Normaalipainoinen betoni	24,0
Raudoitettu normaalipainoinen betoni	25,0
Kovettumaton raudoitettu normaalipainoinen betoni	26,0

Sandwich-elementeille lasketaan painopiste molemmista kuorista erikseen. Elementin painopiste on näitä painopisteitä yhdistävällä janalla sijaiten sivusuunnassa kuorten painojen suhteessa. Toinen vaihtoehto on jakaa elementti osiin, joissa on joko vain toista kuorta tai molempia ja laskea niiden painot momenttilaskua varten. Eristeen painopistettä ei tarvitse laskea, koska sen ominaispaino on huomattavasti betonia pienempi, joten sen vaikutus ei ole merkittävä lopputuloksen kannalta. Lisäksi eristeen painopiste sijaitsee hyvin lähellä elementin painopistettä.

Nostolenkit voidaan joskus joutua laittamaan myös niin, etteivät ne ole yhtä kaukana painopisteestä. Tässä tapauksessa kuorma jakautuu epätasaisesti, jolloin elementti nousee vinossa. Tässäkin tapauksessa elementti voidaan nostaa suorassa asennossa nostopuomilla siten, että nosturin koukku ajetaan painopisteen kohdalle. Puomin nostokoukut siirretään nostolenkkien kohdalle, jolloin puomin momenttivarsi kääntää elementin oikeaan asentoon nostettaessa (Kuvio 1). Myös nostoketjulla voidaan säätää elementin asentoa lyhentämällä painavamman päädyn nostoketjua, jolloin nostopiste siirtyy vastaavasti kuin nostopuomilakin (Betoniteollisuus 2010, 12.)

Painavamman puolen nostolenkkiin kohdistuu suoristamisesta huolimatta suurempi rasitus kuin kevyemmän puolen nostolenkkiin. Rasitukset voidaan laskea kaavoista:

$$F_a = \frac{G \cdot b}{(a+b)} \quad (1)$$

$$F_b = \frac{G \cdot a}{(a+b)} \quad (2)$$

joissa  $F_a$  ja  $F_b$  ovat nostolenkkeihin kohdistuvat voimat

G on elementin paino  
a ja b ovat nostolenkkien etäisyydet painopisteestä.

Jättämällä kaavasta elementin massa huomiotta voidaan laskea elementin painon prosenttiosuus kummallekin nostolenkille. Ketjuilla nostettaessa kevyemmän puolen nostolenkkiin kohdistuu suurempi vinorasitus kuin painavamman puolen lenkkiin. Ketjuilla nostettaessa on huomioitava, ettei elementin suurin sallittu nostokulma ylity. Elementtitehtailla suoritettavassa ensimmäisessä nostossa käytetään nostopalkkia, koska betoni ei ole vielä riittävästi sitoutunut ja betonin murtuminen nostolenkin kohdalta on todennäköinen seuraus. Lisäksi halliolosuhteissa nostokorkeus on rajallinen. (Betoniteollisuus 2010, 10–12.)

#### 2.4 Haara- ja nostokulman vaikutus

Jos elementti nostetaan ilman tasauspalkkia, nostolenkkeihin kohdistuu vino vektorasitus. Rasituksen suuruuteen vaikuttaa nostokulma (Taulukko 2). On tärkeää huomata nostokulman ja haarakulman välinen ero. Haarakulma tarkoittaa nostoketjujen välistä kulmaa, kun taas nostokulma tarkoittaa nostoketjun ja nostolenkin kallistuskulman välistä kulmaa (Kuvio 2). Suurin sallittu haarakulma on 120° ja suositusarvo 90°.

Nostolenkkiin vaikuttava voima lasketaan kaavalla:

$$F = \frac{V}{\cos\left(\frac{\beta}{2}\right)} \quad (3)$$

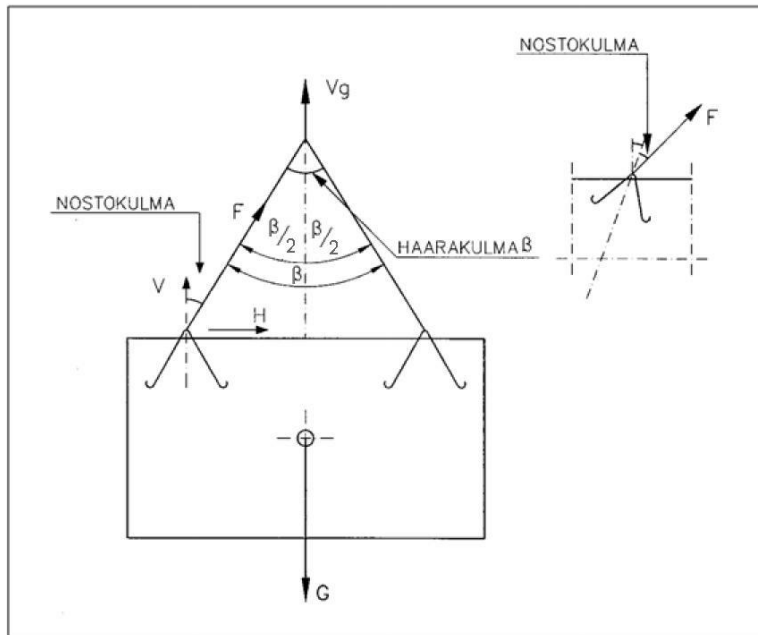
jossa V on nostovoiman ylöspäin kohdistuva komponentti  
 $\beta$  on haarakulma.

Kaavaa voidaan yksinkertaistaa merkitsemällä:

$$z = \frac{1}{\cos\frac{\beta}{2}} \quad (4)$$

jolloin saadaan ensimmäiseen kaavaan sijoittamalla:

$$F = V * z. \quad (5)$$



Kuvio 2. Vino nosto (Betoniteollisuus 2010, 11)

Taulukko 2. Kerroin z nosto-osaan kohdistuvan voiman laskemiseksi (mukaillen Betoniteollisuus 2010, 11)

$\beta$	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°
$\beta/2$	0°	7,5°	15°	22,5°	30°	37,5°	45°	52,5°	60°
z	1,00	1,009	1,035	1,082	1,155	1,260	1,414	1,643	2,000

Tavallisessa tapauksessa, jossa elementti nostetaan kaksipistenostona ja nostolenkit on asennettu symmetrisesti painopisteen suhteen, on voimassa kaava:

$$F = \frac{G}{2} * z. \quad (6)$$

Jos nostokulma ylittää 30°, oletetaan nostolenkin toiseen haaraan vaikuttavan vetovoiman olevan pienempi johtuen nostolenkin materiaalista johtuvasta taivutusjäykkyydestä sekä nostolenkin ja nostoapulaitteen välisestä kitkasta. Nostolenkkiin vaikuttavan nostavan voiman suuruus riippuu noston suunnasta ja nostolenkissä tapahtuvasta muodonmuutoksesta. Nostokulman arvolla 45° toisen haaran vetovoiman oletetaan olevan 50 % vetovoiman mitoitusarvosta. Nostokulman ollessa enintään 30° oletetaan molempien haarojen vetovoiman olevan yhtä suuret. (Betoniteollisuus 2010, 13–14.)

Nostolenkki voidaan asentaa kallistettuun asentoon noston suuntaan, jolloin voidaan käyttää suurempia nostokulmia. Nostolenkin haarojen välistä kulmaa suurentamalla, saadaan nostolenkin nostokapasiteetin vaihtelua pienemmäksi eri nostokulmilla. Haarakulmaa kasvattamalla nostolenkin kapasiteetti suorassa nostossa kuitenkin heikkenee. (Betoniteollisuus 2010. 10–12)

Nostolenkkejä mitoitettaessa tulee huomioida kuorman epätasainen jakautuminen, nostotapa sekä noston suunta nostolenkin asentoon nähden. Murtorajatilassa nostolenkin yhden haaran kestävyys voidaan laskea kaavalla:

$$NRd = \frac{A_s \cdot f_{uk}}{\gamma_s}, \quad (7)$$

jossa	$N_{Rd}$	on	vetolujuus
	$A_s$	on	teräksen poikkipinta-ala
	$f_{uk}$	on	teräksen murtolujuus
	$\gamma_s$	on	teräksen osavarmuuskerroin.

Teräksen murtolujuutena käytetään käytetyn teräksen murtolujuutta. Teräksen poikkileikkauksen pinta-alana käytetään käytettävän teräksen todellista leikkausala. Osavarmuuskerroimet erilaisille nosto-osille luetaan taulukosta 3. (Betoniteollisuus 2010, 8, 17.)

Taulukko 3. Osavarmuuskerroimet erilaisille nosto-osille (Betoniteollisuus 2010, 8)

Nosto-osan tyyppi	$f_{uk} \leq 800 \text{ N/mm}^2$ ja $f_{yk}/f_{uk} \leq 0,8$	$f_{uk} > 800 \text{ N/mm}^2$ tai $f_{yk}/f_{uk} > 0,8$
Teollisesti valmistetut nostojärjestelmät *)	$\text{Max}(1,5; 1,2 f_{uk}/f_{yk})$	1,7
Pyöröteräsnostolenkit **)	2,0	-
Jännepunokset	-	1,8

\*) Edellyttää, että valmistajan laadunvalvonta on ympäristöministeriön hyväksymän toimielimen varmentamaa tai tuote on CE-merkitty.

\*\*) Teräslaadun tulee pyöröteräsnostolenkeillä olla vähintään S235J2+N. Myös teollisesti valmistetuilla pyörö- ja harjateräsnostolenkeillä tulee käyttää teräksen osavarmuuslukua 2,0, koska niihin tulee nostojen aikana plastisia muodonmuutoksia jo käyttörajatilan kuormilla.

## 2.5 Noston aikainen kuorma

Nostolenkkien mitoituksessa betonin lujuutena käytetään betonin nostohetken lujuutta. Betonin lujuus noston aikana pitää olla vähintään C12/15. (CENTR15728, 18.) Tämän kuorman mitoitusarvo lasketaan kaavalla:

$$E_d = \gamma_G * G + (\Psi_{dyn} - 1) * \gamma_Q * G, \quad (8)$$

jossa	$E_d$	on	kuorman mitoitusarvo
	$\gamma_G$	on	pysyvän kuorman osavarmuuskerroin
	$G$	on	pysyvä kuorma
	$\Psi_{dyn}$	on	nostotavasta johtuva dynaaminen kerroin
	$\gamma_Q$	on	muuttuvan kuorman osavarmuuskerroin.

Taulukko 4. Dynaamiset kertoimet (Betoniteollisuus 2010, 10)

Nostotilanne	$\Psi_{dyn}$
Torni- tai siltanosturi	1,2 *)
Autonosturi	1,4 *)
Liikkuva nosturi tasaisessa maastossa	2,0 - 2,5
Liikkuva nosturi epätasaisessa maastossa	3,0 - 4,0
*) Alemmatkin arvot voivat olla mahdollisia tehtaissa ja erityisjärjestelyin työmaalla	

Kuorman kokonaisosavarmuutta voidaan merkitä  $\gamma_L$ . Näin ollen nostonaikaisen kuorman mitoitusarvon kaavaksi tulee:

$$E_d = \gamma_L * G. \quad (9)$$

Toisin sanoen

$$\begin{aligned} \gamma_L * G &= \gamma_G * G + (\Psi_{dyn} - 1) \gamma_Q * G && |:G \\ \gamma_L &= \gamma_G + (\Psi_{dyn} - 1) \gamma_Q. && (10) \end{aligned}$$

$\Psi_{\text{dyn}}$  on kulloisestakin nostotilanteesta riippuva dynaaminen kerroin (Taulukko 4). ”Betonielementtien nostolenkit ja -ankkurit” -ohjeeseen on nosturin dynaamisena kertoimena käytetty arvoa 1,6. Nostokuorman osavarmuudelle tulee tässä tapauksessa arvo:

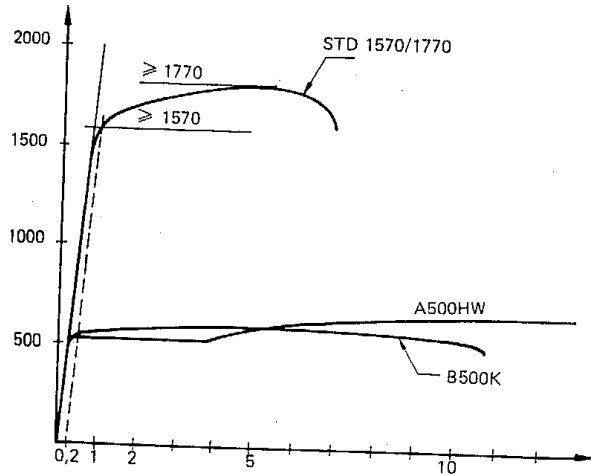
$$\gamma L = 1,15 + (1,6 - 1) * 1,5 \quad (11)$$

$$\gamma L = 2,05.$$

(Betoniteollisuus 2010, 9–10.)

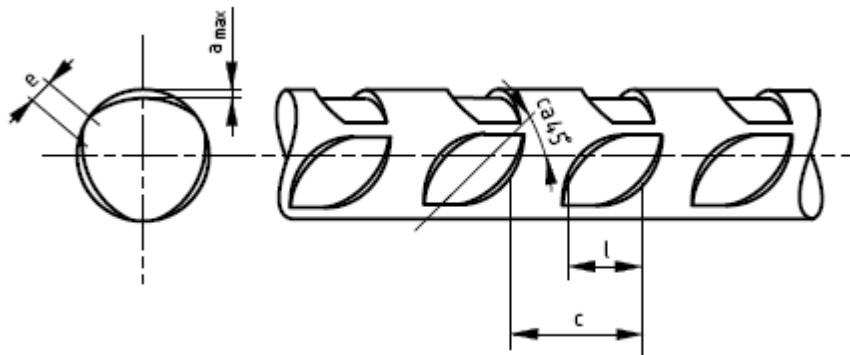
### 3 JÄNNEPUNOKSESTA VALMISTETUT NOSTOLENKIT

#### 3.1 Jännepunos

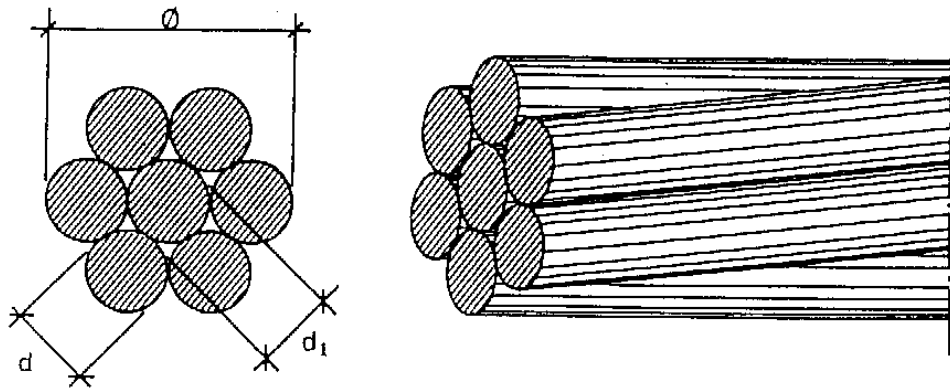


Kuvio 3. Terästen venymäkäyriä (Betoniyhdistys 2009, 552)

Jänneteräs poikkeaa muista betoniteräksistä suuren lujuusluokan vuoksi (Kuvio 3). Yleisimmät Suomessa käytössä olevat jänneteräksen lujuusluokat ovat 1570/1770 N/mm<sup>2</sup> sekä 1630/1860 N/mm<sup>2</sup>. Luvut kuvaavat jänneteräksen myötörajan ja murtolujuutta. Teräslangat voivat olla joko sileitä tai kuvioituja (Kuvio 4). Punoksissa voi olla kaksi, kolme tai seitsemän lankaa. Nostolenkkeihin soveltuvat punokset koostuvat pääsääntöisesti seitsemästä langasta (Kuvio 5). Seitsemänlankainen jännepunos valmistetaan kiertämällä jänneteräksestä valmistettuja teräslankoja ydinlangan ympärille. Ydinlangan tulee olla halkaisijaltaan vähintään kolme prosenttia suurempi kuin ulompien lankojen halkaisija. Punoksen ulkokehän lankojen pitää olla tiukasti kierretty suoran ydinlangan ympärille siten, että ulommat langat kiertävät punoksen ympäri matkalla, joka on 14–18 kertaa punoksen nimellishalkaisija. Useista jännepunoksista voidaan punoa vaijereita. Kullekkin tuotteelle on omat valmistusstandardinsa. Jokaiselle tuotteelle on oltava myös voimassaoleva käyttöseloste, jossa kerrotaan kyseisen tuotteen ominaisuudet ja käyttöohjeet. Erilaiset punokset tunnistaa myös niiden numeroinnista (Liite 3; Suomen standardoimisliitto 2014, 6; Suomen Betoniyhdistys 2009, 552–553.)



Kuvio 4. Kuvioitu punoslanka. (Suomen Standardoimisliitto 2014, 7)



Kuvio 5. Seitsenlankainen punos (Suomen Betoniyhdistys 2009, 553)

Jänneteräksset ovat erittäin alttiita korroosiolle, joten niiden varastointiin on kiinnitettävä erityistä huomiota. Samoin jänneterästen kunto on tarkistettava silmä-  
määräisesti ennen käyttöä. Jänneteräkselle haitallisia aineita ovat kloridit, nitraatit hapot ja alumiini. Jänneteräksessä ei myöskään saa olla mekaanisia vaurioita, kuten lovia tai valmistusvirheitä. Auenneita punoksia ei saa käyttää, ellei niitä saada helposti ilman työkaluja takaisin alkuperäiseen muotoon. Punosten poikkileikkauksen pinta-ala on määritetty punnitsemalla metrin mittainen punos ja las-  
kemalla pinta-ala, kun punoksen ominaispainona on käytetty  $7,81 \text{ kg/dm}^3$ . (Suomen standardoimisliitto 2014, 7–11; Suomen Betoniyhdistys 2009, 552–553.)



### 3.2 Jännepunosnostolenkkien rajoitukset ja määräykset

Suorana ankkuroitavalle punokselle betonin paksuuden pitää olla vähintään seitsemän kertaa punoksen halkaisijana. Taivutetulle punokselle betonin paksuuden pitää olla 11 kertaa punoksen halkaisija. Suojabetonin osalta peitteen paksuudeksi tulee siis kolme tai viisi kertaa punoksen halkaisija. Niputettujen terästen nimellishalkaisijana käytetään poikkileikkausaltaan yhtä suuren punoksen halkaisijaa. (Suomen Betoniyhdistys 2009, 252.) Pyöröteräkselle vastaavat arvot ovat suojapeitteen osalta kaksi kertaa nimellishalkaisija, josta saadaan kuoren vahvuudeksi vähintään viisi kertaa nimellishalkaisija. Riittävällä betonipeitteellä taataan tartuntavoimien siirtyminen, palonkestävyys ja suoja korroosiota vastaan. Alla olevissa taulukoissa (Taulukot 5 ja 6) on vähimmäisbetonipeitteet 9,3 mm:n ja 12,5 mm:n jännepunoksille. (Betoniteollisuus 2009, 5.)

Taulukko 5. Betonipeitevaatimukset 9,3 mm:n jännepunokselle

	1 punos	2 punosta	3 punosta	4 punosta
9,3 mm poikkileikkausalala	52 mm <sup>2</sup>	104 mm <sup>2</sup>	156 mm <sup>2</sup>	208 mm <sup>2</sup>
vastaava nimellishalkaisija	9,3 mm	13,2 mm	16,1	18,6
vaadittu betonipeite suorana	30 mm	40 mm	50 mm	55 mm
vaadittu kuoren paksuus suorana	75 mm	95 mm	115 mm	130 mm
vaadittu betonipeite taivutettuna	50 mm	70 mm	80 mm	95 mm
vaadittu kuoren paksuus taivutettuna	105 mm	145 mm	180 mm	205 mm

Taulukko 6. Betonipeitevaatimukset 12,5:n mm jännepunokselle

	1 punos	2 punosta	3 punosta	4 punosta
12,5 mm poikkileikkaus-ala	93 mm <sup>2</sup>	186 mm <sup>2</sup>	279 mm <sup>2</sup>	372 mm <sup>2</sup>
vastaava nimellishalkaisija	12,5 mm	17,7 mm	21,7 mm	25,0mm
vaadittu betonipeite suorana	40 mm	55 mm	65 mm	75 mm
vaadittu kuoren paksuus suorana	90 mm	125 mm	155 mm	175 mm
vaadittu betonipeite taivutettuna	65 mm	90 mm	110 mm	125 mm
vaadittu kuoren paksuus taivutettuna	140 mm	200 mm	240 mm	275 mm

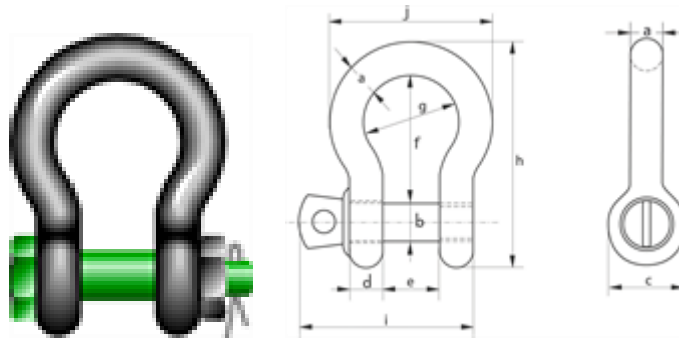
Jännepunoksiin liittyy jonkin verran käyttöä rajoittavia määräyksiä, jotka tulee ottaa huomioon suunnittelussa seuraavasti:

- Jännepunoksesta valmistettuja nostolenkkejä ei saa käyttää kuljetus asennosta pystyyn nostettavissa elementeissä.
- Jännepunoksesta valmistettuja nostolenkkejä ei saa käyttää. levyelementtien valmistuksessa käytettäessä ei-käännettäviä vaakamuotteja.
- Jännepunoksen halkaisija saa olla korkeintaan 13 mm.
- Jännepunoksesta valmistettuja nostolenkkejä ei saa hitsata.
- Jännepunokset pitää taivuttaa kylmänä.
- Ennen taivutusta purkautuneita punoksia ei saa käyttää.
- Punoksia voidaan niputtaa maksimissaan neljä yhteen nostolenkkiin.
- Punoksia niputettaessa on käytettävä holkkia, joka taivutetaan yhdessä punosten kanssa.

- Yksittäisten punosten kanssa suositellaan käytettäväksi holkkia, jolloin saadaan 25 % lisäkapasiteettia.
- Niputettuja lenkkejä saa nostaa ainoastaan nostoapuvälineellä, jonka halkaisija on 65 mm.
- Holkin pituus yhdelle punokselle on 300 mm, useammalle 350 mm.
- Lenkin ulkonevan osan pituus pitää olla vähintään 250 mm.
- Lenkin taivutussäteen pitää olla vähintään 50 mm.
- Nostolenkin vapaaväli betonin pintaan pitää olla vähintään 80 mm.
- Vapaaväli saa vaihdella + 50, kun nostopisteitä on 1 tai 2, muulloin  $\pm 20$  mm.

Ylläolevista vaatimuksista 80 mm:n vapaa väli betonin pintaan ja vähintään 250 mm ulkonevan osuuden mitat ovat käytännössä samat. 30°:n taivutuskulmalla, 50 mm:n taivutussäteellä ja 250 mm ulkonevalla osalla nostolenkin korkeus betonin pinnasta on 12,5 mm punoksella 95 mm. Kun tästä vähennetään punoksen nimellishalkaisija, saadaan 82,5 mm.

Katketessaan jännepunokset murtuvat säikeittäin. Tästä syystä niputettujen lenkien nostoapuvälineen vähimmäishalkaisijaksi on määrätty 65 mm. Kasvattamalla nostoapulaitteen pinta-alaa, saadaan paine jaettua isommalle alalle ja nostolenkin muodonmuutokset pysyvät pienempinä. Yleensä nostopuomeissa ja ketjuissa ei ole näin suuria koukkuja, vaan nostoissa käytetään nostolenkin ja -koukun välissä nostosakkelia (Kuvio 6). Sakkelia käytettäessä on huomioitava sakkelin omat ohjeet ja määräykset. Sakkelin koko saattaa myös aiheuttaa ongelmia käytössä (Taulukko 7; Betoniteollisuus 2010, 16, 26–30; Certex Finland OY, 2015a ja b.)



Kuvio 6. Nostosakkeli (Certex OY 2015a)

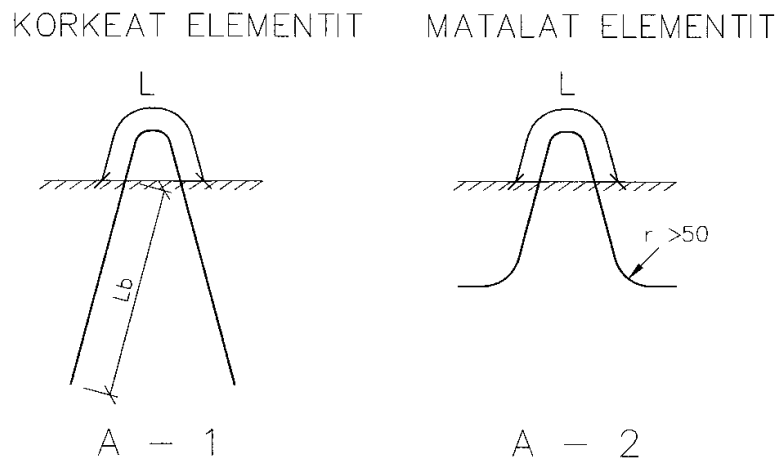
Taulukko 7. Nostosakkeliä tekniset tiedot (Certex OY 2015a)

Art nr	Tuote- koodi	WLL t	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	Paino kg/kpl
11.31GPGHBB05	SAK003P	0,33	5	6	12	5	9,5	22	16	36	29,5	26	0,02
11.31GPGHBB06	SAK005P	0,5	7	8	16,5	7	12	29	20	48,5	38	34	0,05
11.31GPGHBB08	SAK0075P	0,75	9	10	20	9	13,5	32	22	56	46,5	40	0,10
11.31GPGHBB10	SAK010P	1	10	11	22,5	10	17	36,5	26	63,5	54	46	0,14
11.31GPGHBB11	SAK015P	1,5	11	13	26,5	11	19	43	29	74	59,5	51	0,19
11.31GPGHBB13	SAK020P	2	13,5	16	34	13	22	51	32	89	73	58	0,36
11.31GPGHBB16	SAK032P	3,25	16	19	40	16	27	64	43	110	89	75	0,63
11.31GPGHBB19	SAK047P	4,75	19	22	46	19	31	76	51	129	103	89	1,01
11.31GPGHBB22	SAK065P	6,5	22	25	52	22	36	83	58	144	119	102	1,50
11.31GPGHBB25	SAK085P	8,5	25	28	59	25	43	95	68	164	137	118	2,21
11.31GPGHBB28	SAK095P	9,5	28	32	66	28	47	108	75	185	153	131	3,16
11.31GPGHBB32	SAK12P	12	32	35	72	32	51	115	83	201	170	147	4,31
11.31GPGHBB35	SAK135P	13,5	35	38	80	35	57	133	92	227	186	162	5,55
11.31GPGHBB38	SAK17P	17	38	42	88	38	60	146	99	249	203	175	7,43
11.31GPGHBB45	SAK25P	25	45	50	103	45	74	178	126	300	243	216	12,84
11.31GPGHBB50	SAK35P	35	50	57	111	50	83	197	138	331	272	238	18,15
11.31GPGHBB65	SAK55P	55	65	70	145	65	105	260	180	433	344	310	37,60

Jännepunoksesta valmistettujen nostolenkkien käyttöön ohuissa kuorissa ei ole normeissa suunnitteluohjeita eikä siitä ole tehty tutkimuksia VTT:n tekemässä tutkimuksessa ”Jännepunostartuntojen ulosvetokokeet betonilevyistä”, koska jännepunoksia käytetään yleensä TT-laatoissa, pitkissä palkeissa ja muissa vastaavissa elementeissä, joissa on reilusti betonipeitettä. Toisaalta punoslenkkejä käytetään myös ontelolaatoissa, joissa betonipeite voi jäädä vain kaksi kertaa nimellishalkaisijan suuruiseksi. Jännepunoslenkkejä on käytetty myös eräissä 80 mm vahvoissa kuorielementeissä, joissa oli keskeinen 10 mm rauditusverkko. Tässä tapauksessa nostolenkit repeytyivät ulos betonista ennen kuin elementit nousivat (Anttila 2015b; Anttila 2015a; VTT-S-01431-14, 1–8.)

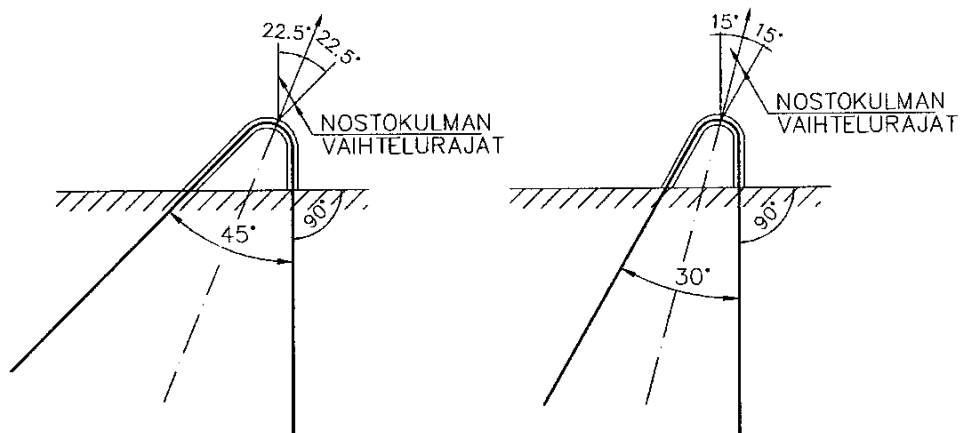
### 3.3 Jännepunosnostolenkin taivutukset

Jännepunoksesta voidaan valmistaa nostolenkkejä taivuttamalla punos nostolenkiksi. Lenkin ulkonevan osan on oltava vähintään 250 mm. Lenkin taivutussäde saa olla korkeintaan kaksi kertaa nostoapulaitteen nimellishalkaisijan suuruinen, kuitenkin aina vähintään 50 mm. Nostolenkin haaroja voidaan tarvittaessa taivuttaa (Kuvio 7). Tämä on yleensä tarpeen matalilla elementeillä tai silloin, kuin nostolenkki asennetaan aukon yläpuolelle. (Betoniteollisuus 2010, 26; CENTR15728, 18.)



Kuvio 7. Jännepunoslenkkien taivutukset (Betoniteollisuus 2010, 26)

Sallitut nostokulmat riippuvat nostolenkin taivutuskulmasta sekä nostolenkin asennussuunnasta. Nostokulman kasvattaminen välillä  $0^\circ - 30^\circ$  laskee nostolenkin kapasiteettia leikkausvoimasta johtuen 15 %:a jokaista  $10^\circ$ :n muutosta kohti. Nostolenkin nostokapasiteetti on sitä suurempi mitä pienempi nostolenkin haarojen välinen kulma on. Toisaalta sallittu nostokulma on sitä suurempi mitä suurempi nostolenkin haarojen välinen kulma on. Nostokulmaa voidaan pienentää kallistamalla nostolenkkiä noston suuntaan. Käytännössä jännepunoslenkille sallitut nostokulmat ovat nostolenkin haaroille piirrettyjen jatkeiden välissä. Edellistä lausetta selventää kuvio 8. (Betoniteollisuus 2010, 29–30; Suomen standardoimisliitto 2008, 19.)



Kuvio 8. Sallitut nostokulmat (Betoniteollisuus 2010, 29)

### 3.4 Nostolenkin mitoitus

Nostolenkin mitoittaminen aloitetaan laskemalla nostolenkin yhden haaran kestävyys murtorajatilassa kaavalla

$$NR_{d,s} = k_1 * k_2 * A_s * \frac{f_{uk}}{\gamma_s}, \quad (12)$$

jossa	$N_{Rd,s}$	on	yhden haaran kestävyuden mitoitusarvo
	$k_1$	on	nostoapulaitteesta riippuva kerroin
	$k_2$	on	punosten lukumäärästä riippuva kerroin
	$A_s$	on	punoksen poikkipinta-ala 93 mm <sup>2</sup>
	$f_{uk}$	on	teräksen vetolujuus
	$\gamma_s$	on	punoksen osavarmuuskerroin 1,8.

Kertoimet kaavaan luetaan taulukoista 8 ja 9. Kerroin  $k_1$  riippuu aina nostoapulaitteesta. Niputettuja punoksia nostettaessa tulee nostoapulaitteen halkaisijan olla vähintään 65 mm, jolle saadaan interpoloimalla arvo 0,86. Kerroin  $k_2$  riippuu niputettujen punosten lukumäärästä. Yhtä punosta varten taulukosta löytyy kaksi arvoa. Ilman holkkia käytetään arvoa 1,0 ja holkin kanssa kapasiteettia korotetaan 25 %, eli käytetään arvoa 1,25. Laskennassa tulee huomioida, ettei kokonaiskertoimeksi voi tulla enempää, kuin 1,0. Teknisessä raportissa "CENTR15728" 25 %:n korotus tehdään itseasiassa kertoimeen  $k_1$ , mutta "Betonielementtien nostolenkit ja -ankkurit" -ohjeessa lisäys on tehty kertoimeen  $k_2$ .

Lopputuloks on tietysti sama ja tässä opinnäytetyössä on käytetty jälkimmäistä keinoa. (Betoniteollisuus 2010, 39; Suomen standardoimisliitto 2008, 21.)

Taulukko 8. Arvot  $k_1$ -kertoimelle. (mukaillen Betoniteollisuus 2010, 28)

Halkaisija mm	$k_1$
25	0,65
50	0,80
$\geq 75$	0,90

Taulukko 9. Arvot  $k_2$ -kertoimelle.(mukaillen Betoniteollisuus 2010, 29)

Niputettujen punosten lukumäärä	1	2	3	4
$k_2$	1,0 tai 1,25	0,9	0,85	0,75

Jännepunosnostolenkkien tartuntajännityksen laskenta poikkeaa pyöröteräksestä käytettävien lisäkertoimien osalta. Jännepunoksen tartuntajännitys ratkaistaan kaavasta:

$$f_{bpt} = \eta_{p1} * \eta_1 * f_{ctd} \quad (13),$$

jossa  $f_{bpt}$  on tartuntajännitys  
 $f_{ctd}$  on betonin vetolujuuden mitoitusarvo  
 $\eta_{p1}$  on punoksesta johtuva tartuntakerroin  
 $\eta_1$  on tartuntaolosuhteista aiheutuva kerroin.

Kaavassa 13 käytettävät arvot  $\eta_{p1}$ :lle on 1,7 ja  $\eta_1$ :lle 1,0 hyvissä tartuntaoloissa ja 0,7 huonoissa. Jokaisen elementin tartuntaolosuhteet tulee määrittää nostolenkkiä valittaessa. Seinäelementeissä ja puristetussa tilassa olevassa betonissa voidaan olettaa tartuntaolosuhteiden olevan hyvät. (Betoniteollisuus 2010, 26.)

Nostolenkkejä mitoitettaessa teräsvaijereille suositellaan käytettäväksi lujuutta 1770, vaikka vetolujuus olisikin suurempi. Jännepunoksille ei vastaavaa rajoitusta ole, vaan laskennassa käytetään punoksesta riippuen joko arvoa 1770 tai 1860. (Suomen standardoimisliitto 2008, 18.)

Betonin vetolujuuden mitoitusarvo voidaan laskea betonilieriön puristuslujuuden perusteella laskemalla ensin vetolujuuden keskiarvo, eli ns. suora vetolujuus (kaava 14). Kaava on voimassa, kun betonin suunnittelulujuus on korkeintaan 50 MPa. Suuremmille lujuuksille on oma kaava. Se ei kuitenkaan ole oleellinen tässä opinnäytetyössä. Vetolujuuden keskiarvon perusteella lasketaan ominaisvetolujuuden 5 %:n alaraja-arvo (kaava 15). Alaraja-arvon avulla voidaan laskea betonin vetolujuuden mitoitusarvo (kaava 16), joka sijoitetaan kaavaan 13. Betonin ominaisvetolujuus 5 %:n alaraja-arvo voidaan myös katsoa suoraan taulukosta 10.

$$f_{ctm} = 0,30 * \left( \frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{2/3}, \text{ kun } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (14)$$

jossa  $f_{ctm}$  on vetolujuuden keskiarvo  
 $f_{ck}$  on betonilieriön puristuslujuus.

$$f_{ctk,0,05} = 0,7 * f_{ctm} \quad (15)$$

jossa  $f_{ctk,0,05}$  on betonin ominaisvetolujuus 5 %:n alaraja-arvo  
 $f_{ctm}$  on vetolujuuden keskiarvo.

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} * \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} \quad (16),$$

jossa  $f_{ctd}$  on betonin vetolujuuden mitoitusarvo  
 $\alpha_{ctd}$  on betonin vetolujuuskerroin, Suomessa 1,00  
 $f_{ctk,0,05}$  on betonin ominaisvetolujuus 5 %:n alaraja-arvo  
 $\gamma_c$  on betonin materiaaliosavarmuusluku 1,5.

Jännepunoksen tartuntapituus lasketaan tartuntajännityksen ja teräksen jännityksen avulla. Teräsjännitys saadaan kaavasta:

$$\sigma_p = \frac{f_{uk}}{\gamma_s} \quad (17)$$

jossa  $\sigma_p$  on teräksen jännitys  
 $f_{uk}$  on teräksen vetolujuus  
 $\gamma_s$  on teräksen osavarmuuskerroin (Taulukko 3).

Tartuntapituus lasketaan kaavasta:

$$l_{pt} = \frac{\alpha_1 * \alpha_2 * \sigma_p}{f_{bpt}} \quad (18)$$

jossa  $l_{pt}$  on tartuntapituus  
 $\alpha_1$  on 1,0



$\alpha_2$	on	0,19
$\emptyset$	on	punoksen halkaisija
$\sigma_p$	on	teräksen jännitys
$f_{bpt}$	on	tartuntajännitys.

(Betoniteollisuus 2010, 26; Betoniyhdistys 2013, 36–37.)

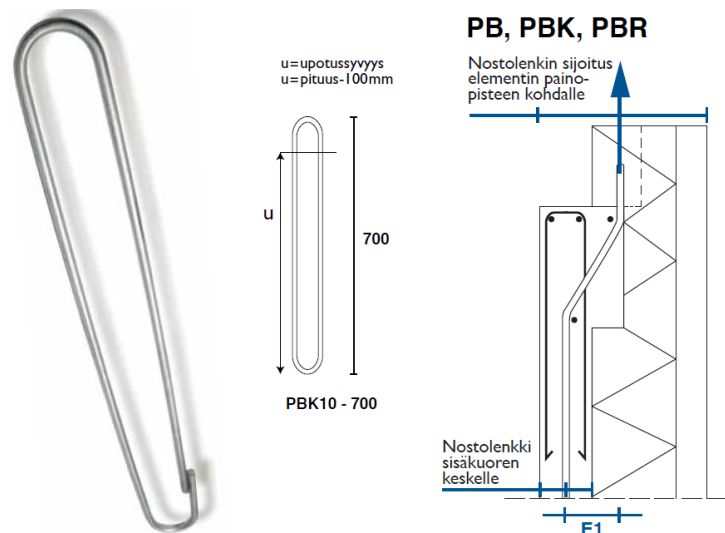
Taulukko 10. Betonin lujuus ja muodonmuutosominaisuudet (mukaillen EN 1992-1-1, 30)

Betonin lujuusluokka									
$f_{ck}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ck, cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60
$f_{cm}$ (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58
$f_{ctm}$ (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1
$f_{ctk, 0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9
$f_{ctk, 0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3
$E_{cm}$ (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37

## 4 NOSTOLENKKIMALLISTON SUUNNITTELU

### 4.1 Nostolenkkien käyttömahdollisuudet

Jännepunoksesta valmistettuja nostolenkkejä ei voida hyödyntää jokaisessa elementissä. Sandwich-elementeissä, joissa ulkokuoren rauditus on tehty ruostumattomasta teräksestä, myös nostolenkkien pitää olla ruostumattomia. Ruostumattoman raudituksen tarve ulkokuoressa voidaan poistaa kasvattamalla ulkokuoren vahvuutta riittävästi. Vaihtoehtoisesti nostolenkkejä voidaan käyttää sisäkuoressa, jolloin ruostumattomalle raudalle ei ole tarvetta nostolenkeissä.



Kuvio 9. PB, PBK ja PBR nostolenkkien käyttöohje (Pintos 2015, 2)

Tässä tapauksessa nostolenkki tulee asentaa siten, että nostokohta tulee elementin painopisteeseen (Kuvio 9). Nostolenkki on taivutettava oikeaan muotoon ja taivutuskohdat on vahvistettava riittävällä raudoituksella lohkeilun välttämiseksi. Jännepunoslenkkiä varten tarvitaan pyöröteräkseen nähden lujempi rauditus, koska sen jäykkyys on pienempi kuin pyöröteräksellä. Jännepunoksen vetolujuus on huomattavasti suurempi kuin pyöröteräksen. Yhdellä 12,5 mm punoksella on kapasiteettia enemmän kuin 20 mm pyöröteräslenkillä. Suuren nostokapasiteetin ja betonipeitetarpeen vuoksi jännepunoksen käyttö on edullisinta juuri massiivisten elementtien nostolenkkeinä. (Betonitellisuus, 2010, 16–30; Pintos 2015, 2–7.)

## 4.2 Kustannuslaskelma

Nostolenkit aiheuttavat pakollisen kustannuserän betonielementtejä valmistettaessa. BM Haapavesi OY:ssä käytettiin vuonna 2014 yhteensä 6 040 nostolenkkiä. Tämän hetken hinnoilla nostolenkkien hinnaksi tulisi 110 000 €. Kuten aiemmin todettiin, jännepunoslenkkien valmistaminen ja käyttö onnistuu parhaiten kylmiin elementteihin, joissa ei ole ruostumatonta raudoitusta. Vastaavat nostolenkit ovat myös halvimpia valmiina ostettuina. Tarkastelujaksolla vastaavat nostolenkit ovat aiheuttaneet kustannuksia 10 500 €. Mikäli nostolenkit voidaan valmistaa nykyisillä resursseilla, säästöä kertyy 10 500€, sillä nostolenkkien materiaali on käytännössä ilmaista. Ainoastaan holkkien hankinta aiheuttaa materiaalikustannuksia. Kierrätykseen laitettuna metallijätteestä maksetaan 100 € tonnilta (Lapin Metallikierrätys OY, 2015). Kaikkein parhaiten ohuille ulkokuorille sandwich-elementteihin soveltuu ”Teräspeikon” valmistamat PNLF-nostolenkit (Kuvio 10). Vastaavien lenkkien valmistaminen jännepunoksesta aiheuttaisi kuitenkin suuren kehitys- ja tutkimustyön, jota ei tässä opinnäytetyössä tehdä. Ruostumaton rauditus ulkokuoressa edellyttää myös ulkokuoreen tulevan nostolenkin olevan valmistettu ruostumattomasta teräksestä (Betoniteollisuus ry, 7) jotta vältettäisiin ruostumattoman raudituksen tarve ulkokuoressa, pitäisi ulkokuoren betonin paksuutta kasvattaa. Muutos johtaisi erilaiseen rakennesuunnitteluun. Toisaalta betonin vahvuuden kasvattaminen helpottaisi juuri jännepunoksen käyttöä sen tarvitseman suuremman betonipeitteen vuoksi. Kehitystyö olisi kuitenkin onnistuessaan kannattava, sillä pelkästään Haapaveden tehtaan osalta vuotuinen säästö olisi jo 85 000 €. Suuren kehitystyön voisi myös välttää, jos kalliit ruostumattomat lenkit voitaisiin korvata sisäkuoreen asennettavilla jännepunoslenkeillä. Silloin ainoastaan niihin kuorielementteihin, joissa on ruostumaton rauditus, tarvitsisi käyttää ruostumattomia nostolenkkejä. Säästö olisi tässäkin tapauksessa 85 000 €. (Lehtola 2015.)

	L1	L2	Ø	paino
PNL F1	430	600	1 Ø 7	1,3 (1,0)
PNL F2	550	770	1 Ø 9	1,7 (1,5)
PNL F3	670	940	1 Ø 11	2,6 (2,3)
PNL F4	700	920	2 Ø 9	3,5 (3,2)
PNL F5	930	1120	2 Ø 11	5,4 (5,3)
PNL F6	1160	1350	3 Ø 11	8,7 (8,7)

Kuvio 10. PNLF nostolenkit (Teräspeikko 2015, 5)

#### 4.3 Nostolenkkimalliston suunnittelun lähtökohdat

Nostolenkkien tartuntapituuden määrittämiseksi tarvitaan tieto betonin lujuudesta nostohetkellä. Kuten aiemmin on todettu, betonin lujuuden pitää olla vähintään C12/15, jotta elementin voi nostaa. Todellista nostohetken lujuutta voidaan arvioida Sadgroven kaavalla tai erilaisia taulukoita käyttämällä. Tässä työssä en ole mitannut betonin lämpötilaa sitoutumisen aikana, joten lujuuden kehitystä Sadgroven kaavalla ei voi tehdä. Betonin puristuslujuuden ja sitoutumisajan perusteella voidaan laskea betonin sitoutumisen aikainen keskilämpötila. Sen määrittäminen ei kuitenkaan ole oleellista tehtävän kannalta. Betonin lujuuteen nostohetkellä vaikuttaa käytetty sementti, vesi-sementtisuhde ja betonin kovettumisen aikainen lämpötila. Elementtitehtaissa käytetään usein nopeasti kovettuvia sementtilaatuja juuri nopean muottikierron vuoksi. Usein myös betonin lujuusluokkaa nostetaan, jotta saavutettaisiin nopeammin nostoon vaadittava lujuus. Lämpötilan nostamiseksi tehtaissa on käytössä lämmityspiirit muottipöydissä nopeamman lujuuskehityksen varmistamiseksi. 10 asteen lämpötilannousu tarkoittaa

käytännössä kovettumisajan puoliintumista, lasku vastaavasti kaksinkertaistumista. (Betonyhdistys 2009, 53–56, 342–363, 455; Betonyhdistys 2012, 128–129; Suomen standardoimisliitto 2014, 18.)

#### 4.3.1 Betonin lujuus puristuskokeilla

Puristuslujuus on hyvä tulkitsija betonin ominaisuuksille, koska se on helppo testata ja betonin monet ominaisuudet, mukaan lukien nostolenkkien mitoittamiseen tarvittava vetolujuus, ovat siihen verrannollisia. Nykyiset eurokoodien mukaiset mitoitukset perustuvat juuri betonin puristuslujuudelle. Nostonaikaisen puristuslujuuden määrittämiseksi tehtiin koelieriöitä, jotka puristettiin puristuslaitteella rikki samaan aikaan elementtien noston kanssa. (Kuvio 11 ja 12). Lieriöt oli myös valettu samaan aikaan kuin oikeat elementitkin. Lieriöitä on säilytetty samoissa olosuhteissa, joissa betonielementitkin ovat, toisin sanoen elementtipöydällä elementin vieressä. Puristustulokset ovat taulukossa (Taulukko 11). Tulokset on pyöristetty 0,1 Mpa tarkkuuteen, kuten betonin vaatimustenmukaisuustarkastuksissa pitääkin. Puristuslujuudet on laskettu kaavalla:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (19)$$

jossa  $f_c$  on puristuslujuus [MPa]  
 $F$  on murtokuorma [N]  
 $A_c$  on koekappaleen poikkileikkauspinta-ala [mm<sup>2</sup>].

(Suomen Standardoimisliitto 2009, 6.)

Taulukko 11. Puristustulokset betonilieriöille

Päivämäärä	Sitoutumisaika (h)	Puristustulos	Betonin lujuus (MPa)
20.3.2015	17	215 kN	12,2
31.3.2015	12	215 kN	12,2
1.4.2015	13	200 kN	11,3
2.4.2015	13	70 kN	4,0

Tuloksista voidaan heti jättää viimeinen tulos huomioimatta suuren poikkeaman vuoksi. Ilmeisesti koekappaleen tiivistäminen ei ole onnistunut kunnolla.



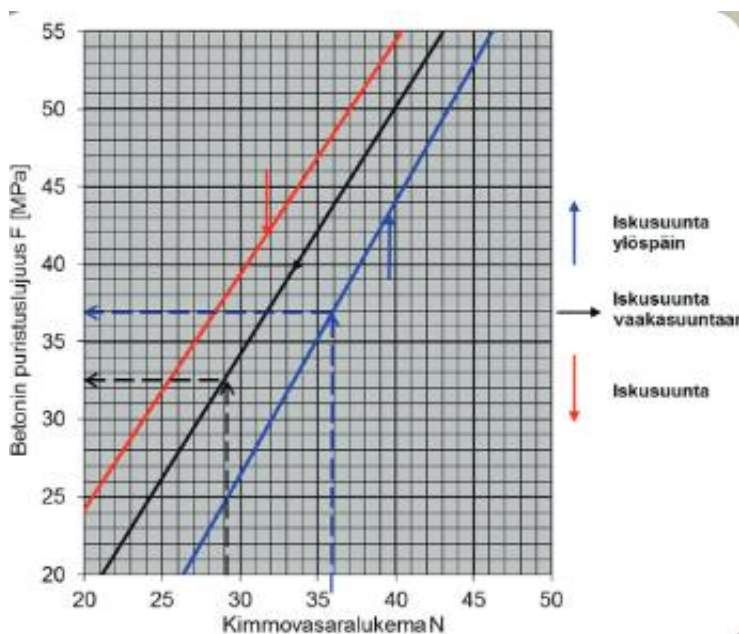
Kuvio 11. Testauslaite



Kuvio 12. Puristustulos

#### 4.3.2 Betonin lujuus kimmovasaralla

Betonin lujuuksia nostohetkellä tutkittiin myös todellisista betonielementeistä todellisen nostohetken aikana. Tutkimukseen tarvittiin kimmovasaraa, jolla voidaan tutkia lujuuksia kimmokertoimen avulla särkemättä elementtejä. Kimmovasaran ilmoittama tulos riippuu siitä, mihin suuntaan kimmovasaratutkimus on tehty. Kimmovasara antaa eri suuntiin tutkittaessa erilaisen tuloksen, jolloin tulokset täytyy osata lukea oikealta riviltä. Alla on malli taulukosta, josta luetaan eri suunnassa tehtyjen testien tulokset (Kuvio 13). Kuvio ei ole yhtenevä sen kimmovasaran kanssa, jolla tässä opinnäytetyössä olevat kokeet on tehty.



Kuvio 13. Kimmovasaran tulosten tulkinta (Tiehallinto 2014)

Tutkimukset on tehty kimmovasaralla (Kuvio 14) edellisenä päivänä valettuihin elementteihin aamulla ennen nostoa. Huomion arvoista tutkimuksessa on se, että tutkimukset on tehty juuri niihin elementteihin, joiden valussa ylijääneestä betonimassasta on valettu koekappaleet puristustesteihin. Kimmovasaratutkimukset on tehty kuivaan betonipintaan. Mittauksia on tehty 10 jokaiseen tutkittuun elementtiin ja tuloksista on laskettu keskiarvo. Kimmovasaran antama tulos tarkoitti lujuutta 200 mm kuutiolle, joten tulokset piti muuntaa vastaamaan lieriön tuloksia. Virhe on käytännössä 2 MPa luokkaa (Tiehallinto 2014, 10). Tulokset löytyvät taulukosta 12.



Taulukko 12. Kimmomasaratestien tulokset

Päivämäärä	Tulosten keskiarvo	Tulos 200 mm:n kuutiolle	Muunnettu tulos lieriölle
31.3.2015	18,5	9,5	11,5
1.4.2015	18,7	9,5	11,5
2.4.2015	19,6	10,0	12,0



Kuvio 14. Testeissä käytetty kimmomasara

#### 4.3.3 Testien tulokset

Betonin nostonaikaisen lujuuden määrittämiseen käytetyt tutkimusmenetelmät antavat hyvin samansuuntaisen tuloksen. Tuloksissa täytyy kuitenkin ottaa huomioon se, että testit on tehty pieneen koekappaleeseen ja elementin reunaan, joissa ei välttämättä ole esiintynyt vastaavia betonin hydratoitumisesta aiheutuvia



lämpötilan nousuja kuin massiivisemmän elementin sisäosassa, jossa nostolenkin ankkurointi on. Puristustestissä betoni murtuu aina heikoimmasta kohdastaan. Tästä johtuen voidaan olettaa, etteivät saadut tulokset anna liian hyvää tulosta betoninlujuudesta. Päinvastoin voidaankin olettaa betonin lujuuden olevan suurempi kuin saadut tulokset noston aikana. Erilaisesta lämpötilasta johtuvaa lujuuden kasvua ei voida tehtyjen kokeiden perusteella päätellä, joten yksinkertaisesti voidaan päätellä elementtien saavuttaneen nostoon vaadittavan lujuuden C12/15 MPa.

#### 4.4 Suunnittelua ohjaavat seikat

Nostolenkkimallistosta on tarkoitus tehdä koko konsernia palveleva tuoteperhe. Suunnittelua ohjaavina periaatteina on yksinkertaisuus ja hukkamateriaalin hyödyntäminen. Koska käytettävä materiaali on käytännössä ilmaista, päätettiin nostolenkkejä tehdä yhteensä neljä erilaista. Käytännössä lenkkejä mallistossa on siis yksi yhden, kahden, kolmen ja neljän punoksen lenkki. Materiaalin säästäminen tässä tapauksessa ei siis ole välttämätöntä. Nostolenkit päätettiin mitoittaa täydelle kapasiteetille. Käytännössä siis nostolenkin tartuntavoima on yhtä suuri kuin punoksen murtokuorma. Käytännössä nämä päätökset johtavat siihen, että nykyisellä tuotannolla Haapaveden tehtaassa käyttöön tulee pääasiassa yhden punoksen lenkkejä ja joskus harvoin kahden punoksen lenkkejä. Suurimmaksi sallituksi haarakulmaksi nostossa valittiin  $60^\circ$ . Se on varmasti riittävä työmaille. Työmaille on yleensä riittävästi nostokorkeutta ja pitkät nostoketjut, joten haarakulma jää oletettavasti huomattavasti pienemmäksi kuin suurin sallittu kulma. Jännepunoslenkin ominaisuuksien vaikutus sallittuun haarakulmaan on otettu huomioon siten, että lenkin haarojen väliseksi kulmaksi on valittu  $30^\circ$ . Asentamalla näin taivutettu lenkki elementtiin siten, että sisemmät haarat ovat elementin asentoon nähden pystysuorassa, voidaan elementti nostaa  $60^\circ$ :n haarakulmalla.

Nostolenkkien kapasiteetit on laskettu kappaleessa 3 olevilla kaavoilla. Kapasiteetit on laskettu nostoapuvälineille, joiden halkaisijat ovat 25 mm, 50 mm ja 65 mm. Jännepunoksen  $f_{uk}$ -arvona on käytetty 1770, vaikka käytetyn jänneteräksen

lujuus on suurempi. Näin samaa taulukkoa voidaan käyttää myös 1770 MPa jännepunokselle. Nykyään käytössä olevalle punokselle se tarkoittaa suurempaa varmuutta. 65 mm nostoapuvälineelle on interpoloitu  $k_1$ -arvo, joka on 0,86. Nostolenkki on suunniteltu asennettavaksi siten, että sen sisempi haara on pystysuorassa. Kapasiteettitaulukot on laskettu haarakulmille  $0^\circ - 60^\circ$  kymmenen asteen välein. Jokaiseen haarakulman muutokseen on otettu huomioon nostolenkkien haaroihin aiheutuvat taipumat sekä vinosta nostosta aiheutuva vino vetorasitus. Käytännössä kapasiteettitaulukot ovat käyttökelpoisia missä tahansa, kun jännepunoksena käytetään halkaisijaltaan samaa punosta, lenkki taivutetaan samalla tavalla holkin kanssa ja lenkki asennetaan annettujen ohjeiden mukaisesti. Ankkurointipituus on laskettu huonossa tartuntatilassa, jotta nostolenkkejä voidaan käyttää mahdollisimman monenlaisissa elementeissä.

Omaa nostolenkkimallistoa varten pitää tehdä ohjeet suunnittelua, valmistusta ja käyttöä varten. Suunnittelua varten nostolenkeistä tarvitaan niiden nostokapasiteetit, sallitut nostokulmat, betonipeitteen vähimmäispaksuus, asennuskulmat ja vaatimukset nostoapulaitteilta. Näiden tietojen pohjalta suunnittelija pystyy hyödyntämään nostolenkkimallistoa sopivissa elementeissä. Käyttäjää varten tarvitaan ohjeet nostolenkkien oikeasta asennus- ja nostotavasta. Valmistusta varten tarvitaan ainoastaan taulukko leikkomitoista, taivutuskulmasta ja käytettävistä holkeista. (Liite 2, 4 ja 5.)

## 5 POHDINTA

Oman nostolenkkimalliston suunnittelu ja tuotteistaminen hukkatavarasta on taloudellisesti kannattava ja järkevä vaihtoehto. Nykyaikana, ympäristöasioiden ollessa tärkeitä, sen voidaan olevan myös osana ympäristöpolitiikkaa. Jo pelkästään Haapaveden tehtaan osalta säästöt ovat vuositasolla kymmeniä tuhansia euroja. Nastolan ja lisalmen tehtaot ovat Haapaveden tehdasta huomattavasti suurempia, joten säästöt kertyvät moninkertaisiksi Haapavedeen verrattuna konsernitasolla. Nostolenkkien valmistamista varten joudutaan ostaman sopivia holkkeja. Ne ovat kuitenkin edullisia, neljän punoksen holkkikin maksaa alle euron kappaleelta. Nostolenkkien valmistus omatoimisesti aiheuttaa resurssien siirtämistä omaan nostolenkkituotantoon. On tärkeää miettiä, pystytäänkö lenkit valmistamaan nykyisillä työntekijäresursseilla vai joudutaanko palkkaamaan lisää väkeä. Lisäväkeä palkatessa kannattanee huomioida mahdollisuus työllistämistukeen. Nostolenkkien valmistuksessa on tarjolla työtä vain osaksi päivää, joten työntekijän pitää osata tehdä myös muita töitä. Nostolenkkien valmistaminen aiheuttaa joka tapauksessa palkkakuluja, joten täysin ilmaisia eivät nekään ole.

Lenkkien valmistuspaikkana varmasti järkevintä on valita ne paikat, joissa jännepunosjätettä kertyy, eli lisalmen ja Nastolan tehtaot. Haapavedellä tarvittavat lenkit valmistetaan lisalmen tehtaalla, koska välimatkaa on alle 150 km. lisalmelaiset todennäköisesti toimittaisivat mielellään Haapavedelle pelkkää punosta, josta valmistettaisiin tarvittavat nostolenkit. Tämä ei olisi järkevää, koska lisalmen tehtaalle olisi kuitenkin pitänyt hankkia tai varmistaa resurssit nostolenkkien valmistukseen ja nyt sama pitäisi tehdä myös Haapavedelle. Lisäksi punosten kuljettamisesta syntyvät rahtikustannukset tulevat yleensä painon mukaan. On paljon edullisempaa kuljettaa valmiita tuotteita kuin pelkkiä punosten pätkiä, joista osa laitettaisiin metallinkeräykseen Haapavedellä. Nastolan tehdas on niin kaukana muista tehtaista, joten siellä tehdään lenkkejä vain omaan käyttöön. Nostolenkkien kuljettamista ja varastointia varten kannattaa vielä suunnitella soveltuvat kuljetustelineet, joita voidaan siirtää nostureilla ja trukkipiikeillä ja käyttää varastointilineenä. Telineen mittojen tulee olla soveltuvat rekkakuljetuksiin.

Nostolenkkien mitoitus täydelle kapasiteetille, betonin nostonaikaisen lujuuden valinta ja mitoitus huonojen tartuntaolosuhteiden mukaiselle tartuntapituudelle aiheuttavat sen, että nostolenkit ovat varsin suuria. Nostolenkit tehdään taivuttamalla melkein kuusi metriä pitkä punos tai punokset keskeltä siten, että haarojen väliseksi kulmaksi jää  $30^\circ$ . Matemaattisesti ratkaistuna nostolenkin haarojen päät ovat n. 1,5 metrin päässä toisistaan. Kapeisiin pieliin tai pieniin elementteihin näitä punoslenkkejä ei oikein pysty hyödyntämään.

Sandwich-elementeissä käytettävä nostolenkki on yleensä asennettu siten, että sen toinen haara on ulko- ja toinen sisäkuoressa. Näissä lenkeissä pitää olla hitsattu poikkitappi, etteivät nostossa vaikuttavat voimat vedä lenkkiä suppuun eristetilaan ja irti betonista. Jännepunoksiin ei saa tehdä hitsauksia, mutta jos punoksessa käytetään holkkia, niin saako holkkiin hitsata välitapin? Tähän kysymykseen ei löydy suoraa vastausta. Ainakin välitapin pitäisi olla niin leveä, ettei holkin sisässä oleva punos pääse missään tilanteessa pois tapin päältä. Holkin olisi siis oltava riittävän tiukka punokselle. Niissä elementeissä, joissa on ruostumattomasta teräksestä tehty raudoitus, on myös nostolenkkien oltava ruostumatonta. Usein sandwich-elementeissä ulkokuoren raudoitus on ruostumatonta säärasi-tuksen takia. Raudoitteisiin vaikuttaa säärasitus, koska elementtien ulkokuori on yleensä 80–90 mm. Kasvattamalla ulkokuoren paksuutta päästäisiin suurempiin suojabetonipaksuuksiin, jolloin päästäisiin ruostumattoman teräksen käytöstä. Jännepunos tarvitsee myös tarvittavan betonipeitteen. Jännepunosta varten ulkokuoren paksuuden pitäisi olla vähintään 90 mm. Tässä tapauksessa säärasi-tuksesta johtuva betonipeitevaatimus muodostuu määrääväksi. Lisäksi pitää ottaa huomioon, että kun punos asennetaan raudoitusverkon päälle, niin punoksen päälle pitää vielä jäädä punokselle vaadittava suojabetonikerros. Tästä johtuen ulkokuoren paksuus saattaisi olla esim. 120 mm. Ulkokuoren paksuntaminen tarkoittaisi ulkokuoreen 50 %:n betonin lisäystä, joka taas aiheuttaisi valmistus- ja etenkin kuljetuskustannuksia. Samalla seinien kokonaispaksuus kasvaisi yli 500 mm:iin nykyisillä paksuilla eristevahvuuksilla; yleisin käytössä oleva villa on 240 mm.

Helpointa paksuilla eristeillä tehtävissä ohuilla ulkokuorilla varustetuissa sandwich-elementeissä on käyttää Teräspeikon PNLF-nostolenkkejä. Pyöröteräslenkien käytössä ongelmia aiheuttavat huonot nostokapasiteetit jännepunokseen verrattuna yhdessä betonipeitevaatimuksen kanssa. Niissä tapauksissa kun 16 mm:n nostolenkki riittää, ei pyöröteräksen käytössä ole ongelmia. 20 mm:n pyöröteräkselle valun vähimmäisvahvuus on 100 mm ja 25 mm:lle 120 mm. Vaatimukset perustuvat 2013 tehtyihin vetokokeisiin, joiden perusteella betonin kartiomurto tapahtuu ohuissa kuorissa sivulle, eikä vedon suuntaan. Paksumpia pyöröteräslenkkejä käytettäessä ohuisiin ulkokuoriin joudutaan valamaan vahvistukset nostolenkkien kohdille. Osaltaan tämä huonontaa eristyskykyä ja erityisesti seinän tuuletusta, koska tuuletusurat eivät kohtaa vahvennoksen reunoissa. Suurin ongelma tehtaalla on kuitenkin vahvennoksista aiheutuva lisätyö, joka pidentää läpäisyajoja. Vahvikevalujen mitoista ei ole mitään kirjallisia ohjeita, vaan suunnittelijan on täytynyt piirtää ne valmistuspiirustuksiin. Yleensä niistä ei kuitenkaan ole mitään mainintaa. Tutkimus ja siitä aiheutuvat toimenpiteet ovat kuitenkin suhteellisen tuoreita. Tästä herääkin epäily, että monissa paikoissa jätetään edelleen vahvikevalut tekemättä ja käytetään pyöröteräslenkkejä kuten ennenkin!

Yksinkertaisin suunnittelun ohjauksen keino olisi vaihtaa paksut villaeristeet 150 mm:n uretaanilevyyn, jolloin perinteisessä tapauksessa sisäkuoren ollessa 150 mm ja ulkokuoren 80 mm, elementin painopiste olisi hyvin lähellä ulkokuoren ja eristeen rajapintaa. Tässä tapauksessa nostolenkinä voitaisiin käyttää tässä työssä suunniteltuja ns. kylmän kiven nostolenkkejä sijoittamalla ne vain elementin sisäkuoreen sivusuuntaisen painopisteen kohdalle (167 mm sisäkuoren pinnasta) tekemällä eristeeseen lovi (esim. 50 \* 300 \* 300 mm) nostolenkkiä varten. Tässä tapauksessa nostolenkin voisi asentaa suorana, jolloin PBK-lenkeille tarvittavia lisäraudoitteita ei tarvittaisi (Kuvio 15). Etenkin painavissa elementeissä, joihin tavallisesti käytettäisiin 25 mm ruostumattomia nostolenkkejä, jännepunosten käytöstä säästöä syntyisi yli 100 € jokaiselta elementiltä. Kalliit uretaanieristeet pitäisi osata markkinoida asiakkaille siten, että haluavatko he maksaa kalliista ruostumattomista nostolenkeistä, joita ei enää tarvita valmiissa rakenteessa, vai paremmista eristeistä.



Kuvio 15. Suoran nostolenkin asentaminen sisäkuoreen

Jännepunoksesta valmistettu nostolenkkimallisto on suunniteltu mahdollisimman yksinkertaiseksi. Mallistoon on valittu yhteensä neljä erilaista nostolenkkiä siten, että on yksi yhden, kahden, kolmen ja neljän punoksen lenkki. Kapasiteettitaulukot on laskettu erilaisille nostoapuvälineille. Ohjeistus nostolenkkien käyttöön on kuitenkin tehty siten, että nostoissa käytettäisiin aina 65 mm:n halkaisijalla olevaa nostoapuvälinettä riippumatta punosten lukumäärästä. Yksinkertaisin ratkaisu olisi hankkia kaikkiin nostoketjuihin ja -puomeihin sellaiset nostokoukut, jotka olisivat pinta-alaltaan ja muodoltaan soveltuvat niputettujen jännepunoslenkkien nostamiseen. Nostosakkeliin käyttö voi käytännössä osoittautua hankalaksi suuren painon vuoksi. 65 mm halkaisijaltaan olevan sakkelin paino on yli 37 kg (Taulukko 7). Varsinkin elementtivarastossa elementin ollessa pystyssä, joudutaan työskentelemään tikkailla sakkeleita irrottaessa ja kiinnitettäessä. Riittävän kokoisia nostosakkeleita tulee olla riittävästi; Haapaveden tehtaassakin on yhteensä neljä nosturirataa, joissa on yhteensä seitsemän siltanosturia. Epätodennäköistä tietysti on, että kaikilla nostureilla ajetaan elementtejä yhtä aikaa, etenkin kun yksi nostureista on raudoittamon puolella, mutta sakkeliin hinta on kuitenkin halvempi

kuin niiden jatkuvasta etsimisestä aiheutuvat palkkakulut ja työn hidastuminen. Lisäksi muotteja purkaessa voitaisiin kiinnittää sakkelit valmiiksi nostolenkkeihin.

Pienissä elementeissä pitkät nostolenkin haarat saattavat aiheuttaa ongelmia, joten saattaisi olla viisasta suunnitella myös pienemmän kapasiteetin lenkkejä tai kapasiteetiltaan vastaavia kuin yhden punoksen lenkit, mutta useammalla punoksella. Näin saataisiin tehtyä lyhemmillä haaroilla olevia lenkkejä, kun vaadittu tartuntapituus jakautuisi useammalle haaralle. Suunnittelun ohjauksessa pidettiin kuitenkin tärkeänä mahdollisimman yksinkertaisen malliston luomista, joten mallisto koostuu neljästä täydelle kapasiteetille mitoitetusta nostolenkistä siten, että jokaisessa lenkissä on eri määrä punoksia täydellä tartuntapituudella. Nostolenkien mitoituksen periaatteena on muutenkin käytetty aina huonointa mahdollista tilannetta. Tartuntaolosuhteet on myös ajateltu huonoiksi, vaikka seinäelementeissä ne ovat pääsääntöisesti aina hyvät. Näin saadaan kuitenkin lisävarmuutta, jolloin malliston suunnittelija voi nukkua yönsä rauhassa. Vastaavasti betonin lujuutena on käytetty alhaisinta nostoissa sallittua lujuutta C12/15 MPa. Tehdyt tutkimukset osoittavat myös, ettei betonin lujuus nostohetkellä ole 16/20 MPa. Osittain tutkimukset antoivat huonompiakin tuloksia kuin vaaditut C12/15 MPa, mutta olettaisin sen johtuvan ”tuoreen” betonin huonosta soveltavuudesta puristuslujuuden määrittämisessä käytettäviin menetelmiin. Etenkin puristustesteissä betoni murtuu sen heikoimman kohdan murtuessa. Lisäksi pienen koekappaleen lämmönkehitys kovettumisen aikana ei ole suhteellisesti niin suurta kuin oikeissa elementeissä. Lämpö myös vaikuttaa enemmän elementin sisäosissa kuin ulkoreunoissa, joissa kimmovasarakokeet on tehty. Seitsemän vuorokauden iässä tehdyt tehtaan laadunvalvontaan kuuluvien puristuslujuuskokeiden ja opinnäytetyötä varten tehdyissä kokeissa käytettyjen sitoutumisaikojen perusteella betonin lujuus on nostohetkellä yli 12 MPa. Huomioitava seikka on myös se, ettei elementtejä koskaan nosteta sellaisessa järjestyksessä, että illan viimeisenä valettu elementti nostettaisiin aamulla ensimmäisenä. Yhdestäkään elementistä ei myöskään ole irronnut nostolenkkiä liian heikon betonin takia Haapaveden tehtaalla.

Haapaveden tehtaalla yleisin nostolenkkityyppi tulee varmasti olemaan yhden punoksen lenkki. Haapaveden tehdas valmistaa pääasiassa seinäelementtejä ja

laattoja, joiden painot ovat harvoin yli 15 tonnia. Monesti elementin paino voi olla alle kuusi tonnia, jolloin 12 tonnin kapasiteetti 60°:n haarakulmalla tuntuu vähän yliampuvalta. Toisaalta taas materiaali on käytännössä ilmaista, joten miksikäs ei. Tarkoituksena on kuitenkin käyttää ontelolaattatuotannosta yli jäävää punosta. Mikäli kaikki Haapaveden tehtaan käyttämät kylmien kivien lenkit ja punoslenkeillä korvatut sw-lenkit tehtäisiin punoksesta, punosta tarvittaisiin hieman yli 18 km yhden punoksen lenkkejä varten. Punosta olisi siis reilu 13 tonnia, josta saisi metallinkierrätyksestä 1 300€. Ylimääräistä punosta ei ole näin paljoa, joten punosta jouduttaisiin ostamaan lisää nostolenkkien valmistusta varten. Tästä ei säästöä synny, sillä paljon käytetyt PBK-nostolenkit ovat varsin edullisia ostaa, etenkin pienemmät mallit. Jännepunoslenkkien rinnalle kannattaisi ostaa pienempiä pyöröteräslenkkejä pieniä elementtejä varten ja säästää punoslenkit painavampia elementtejä varten. Kääntökivenä valmistettavia isoja elementtejä varten täytyy myös olla saatavilla soveltuvia nostolenkkejä, koska punoslenkkejä ei voi käyttää käännettävillä elementeillä. Tavanomaisten nostolenkkien tilalla voisi myös käyttää kuula-ankkureita. Ankkureiden etuna pyöröteräs- ja punoslenkkeihin on pienempien reikien tarve muoteissa, joka kasvattaa muottien käyttöikä ja muottipinnan laatua. Pidempi käyttöikä ja vähentynyt hiomisentarve taas säästävät kustannuksia ja nopeuttavat läpimenoaikoja, jotka pitää osata huomioida taloudellisinta toimintatapaa määrittäessä.

Erilaisten muottipintojen vaikutus nostossa vaikuttaviin adheesiovoimiin tarvitsisi myös tarkempaa tutkimusta. Monissa julkisivuelementeissä käytetään paljon rasteripintoja ja muuta erikoista pintaa rytmittävää tehostetta (liite 7) Nostolenkkiohjeessa mainitaan ohimennen joidenkin pintojen voivan aiheuttaa jopa kaksinkertaisen tartuntavoiman elementin painoon nähden. Tämä on täysin ympäröörä-lause, sillä pinta-alaltaan yhtä suuret elementit samalla pintakuviolla aiheuttavat tietysti yhtä suuren tartuntavoiman. Elementti voi kuitenkin olla 80 mm tai 200 mm paksu. Näissä tapauksissa ohuemalla valulla nostolenkeiltä vaadittava lisäkapasiteetti on suhteellisesti huomattavasti suurempi kuin paksummalla elementillä. Lisäksi ohut kuori lohkeaa helpommin johtuen yleensä vähemmästä raudoituksesta, pienempään elementtiin valitun pienemmän nostolenkin suuresta muodonmuutoksesta ja ulospäin suuntautuvasta kartiomurrosta.



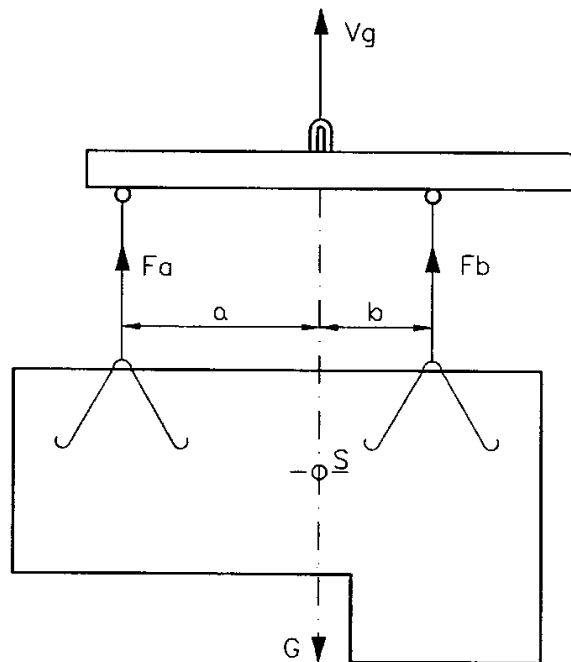
## LÄHTEET:

- Anttila, T. 2015a. Muistio – Betonielementtien nostolenkit ja -ankkurit, jännepunoslenkkien tartuntapituuden laskentamenetelmän täsmentäminen.
- 2015b . Sähköpostiviesti. lasse-petter.heikkila@edu.lapinamk.fi 5.3.2015. Tulostettu 7.3.2015.
- Betoniteollisuus ry 2009. Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan osa 2. Betonirakenteiden suunnitteluperusteet. Viitattu 14.3.2015 [http://www.eurocodes.fi/1992/paasivu1992/sahkoinen1992/Leaflet\\_2\\_Betonirakenteiden\\_suunnitteluperusteet.pdf](http://www.eurocodes.fi/1992/paasivu1992/sahkoinen1992/Leaflet_2_Betonirakenteiden_suunnitteluperusteet.pdf).
- Betoniteollisuus ry 2010. Betonielementtien nostolenkit ja –ankkurit 2010 + muutokset 2014/07. Viitattu 7.3.2015 [http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23860/Betonielementtien\\_nostolenkit\\_ja\\_-ankkurit\\_2010%20+%20Muutokset\\_2014\\_07.pdf](http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23860/Betonielementtien_nostolenkit_ja_-ankkurit_2010%20+%20Muutokset_2014_07.pdf).
- Certex Finland OY 2015a. Sakkeli pussi, green pin. Viitattu 31.3.2015. [http://www.certex.fi/fi/sakkeli/sakkeli-pussi-831-green-pin\\_\\_12587](http://www.certex.fi/fi/sakkeli/sakkeli-pussi-831-green-pin__12587).
- 2015 b. Sakkeleiden turvallinen käyttö. Viitattu 4.4.2015. <http://www.certex.fi/UserFiles/Archive/12587/Sakkelit.pdf>.
- Lehtola, P, 2015. BM Haapavesi Oy. Materiaalihankinnoista vastaavan työnjohtajan haastattelu 9.3.2015.
- Liikennevirasto 2014. Kimmovasaran käyttäjän ohje. Viitattu 4.4.2015 [http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2014-02\\_kimmovasaran\\_kayttajan\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2014-02_kimmovasaran_kayttajan_web.pdf).
- Metallromun ostohinnat maaliskuu 2015. Lapin metallikierrätys OY. Viitattu 14.3.2015. <http://www.lapinmetallikierratys.fi/fi/Ostohinnasto>.
- Nostolenkkiesite. Pintos Oy. Viitattu 14.3.2015. <http://www.pintos.fi/tuotteet/betonielementtiteollisuus/getfile.php?file=207>.
- Pintos OY 2015. Nostolenkkiesite. Viitattu 4.4.2015 <http://www.pintos.fi/tuotteet/betonielementtiteollisuus/getfile.php?file=207>.
- Suomen Betoniyhdistys ry 2009. Betonitekniikan oppikirja 2004, viides uudistettu painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Suomen Betoniyhdistys ry 2012. Betoninormit 2012. Lahti: Esa Print OY.
- Suomen Betoniyhdistys, 2013. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja osa 1. Vantaa: Multiprint Oy.
- Suomen standardoimisliitto 2005. Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu, osa 1-1: yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.
- Suomen standardoimisliitto 2008. Tekninen raportti CEN/TR 15728.
- Suomen standardoimisliitto 2009 Standardi 12390-3. Kovettuneen betonin testaus, osa 3. Koekappaleiden puristuslujuus.
- Suomen standardoimisliitto 2014. Standardi 1265-3 Jännepunos, osa 3.
- Teräspeikko Oy 2015. Tekninen käyttöohje PNLF nostolenkki Viitattu 4.4.2015 <http://materials.crasman.fi/materials/extloader/?fid=19653&org=2&chk=3a41a026>.
- Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 205/2009.
- VTT Tutkimusselostus nro VTT-S-01431-14.

## LIITTEET

- Liite 1 Painopisteen määrittäminen momenttimenetelmällä
- Liite 2 Jännepunosnostolenkin käyttöohje
- Liite 3 Jännepunoksen nimeäminen
- Liite 4 Nostolenkkien kapasiteetit
- Liite 5 Jännepunoslenkkien valmistaminen
- Liite 6 Erilaisia suorituksia ja välineitä
- Liite 7 Erilaisia muotteja ja elementin pintakuviointeja, jotka vaikuttavat nostolenkkien mitoitukseen

## PAINOPISTEEN MÄÄRITTÄMINEN MOMENTTIMENETELMÄLLÄ LIITE 1



Painopiste (pp) lasketaan elementin eri osien painojen ja osien painopisteiden avulla. Monimuotoiset elementit muutetaan sellaisiin osiin, joista painopiste voidaan määrittää, tavallisimmin suorakulmioihin ja kolmioihin. Suorakulmion painopiste on tietysti vastakkaiset nurkat yhdistävien suorien leikkauspisteessä. Kolmion painopiste on sekä korkeus että leveyssuunnassa  $\frac{1}{3}$  leveämmästä reunasta kapeampaan päin. Yleensä on tapana valita elementin nurkka nollakohtaksi, josta laskelmat lähtevät liikkeelle. Aukot voidaan laskea negatiivisena, kuten alla olevassa esimerkissä. Painopisteen paikka sivusuunnassa lasketaan kaavalla:

$$pp = \frac{\text{osan1 massa} \cdot \text{osan1 pp} + \dots + \text{osan n massa} \cdot \text{osan n pp}}{\text{massojen summa}},$$

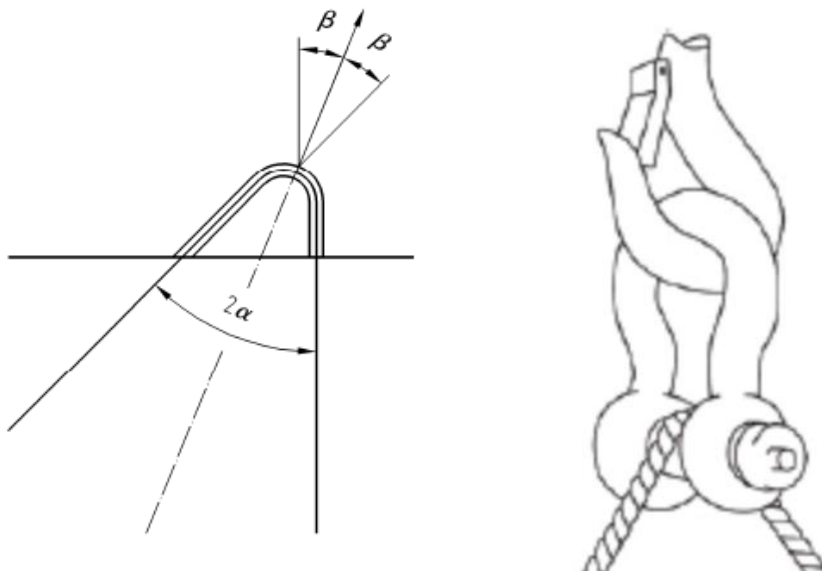
Olkoon esimerkkinä yllä oleva elementti, joka on 4 metriä korkea, 6 metriä leveä ja jossa on aukko, jonka korkeus on 1 metri ja leveys 4 metriä.

$$pp = \frac{6\text{m} \cdot 4\text{m} \cdot \frac{6\text{m}}{2} - 4\text{m} \cdot 1\text{m} \cdot 4\text{m}/2}{6\text{m} \cdot 4\text{m} - 4\text{m} \cdot 1\text{m}}$$

$$pp = 3,2 \text{ m}$$

Lenkki asennetaan kallistettuun asentoon siten, että lenkin sisempi haara on pystysuorassa elementtiin nähden, kuten kuvassa. Lenkin nostokohdan etäisyys betonin pinnasta on 100 – 140 mm.

Punoksen käyttö perustuu betonin ja punoksen väliselle tartunnalle. Tästä syystä punoksia asennettaessa tulee huolehtia niiden puhtaudesta.



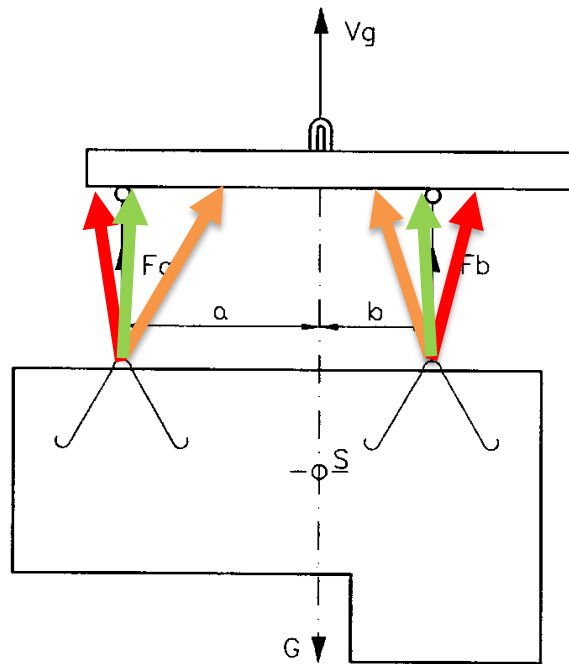
Sallitut nostokulmat ovat  $0^\circ - 30^\circ$ , kuvassa merkitty  $\beta$ . HUOM! Puomia käytettäessä nostoraksien välinen etäisyys ei saa olla suurempi kuin lenkkien välinen etäisyys.

Punosnippuja käytettäessä haarat erotetaan toisistaan valun sekaan. Punoksia ei pureta. Purkautuneita punoksia ei saa käyttää, ellei niitä saa kohtuudella ilman työkaluja takaisin.

Lenkin vapaaväli betonin pintaan on 80–130 mm.

Nostoapulaitteen halkaisijan pitää olla vähintään 65 mm. Nostoapulaitteet tarkistetaan silmämääräisesti ennen käyttöä.

Sakkelin pultti kierretään kiinni loppuun saakka. Sakkeli on kuvassa oikein päin.



Keskimmäinen nostotapa paras.

Sisin nostotapa ok.

Uloin nostotapa ehdottomasti kielletty!

Nosta rauhallisesti ja vältä äkkinäisiä liikkeitä.

Nostoissa käytetään aina puomia, kun se on mahdollista

Ketjuilla nostettaessa ketjujen pituuden pitää olla suurempi kuin nostolenkkien välisen etäisyyden.



## NOSTOLENKKIEN KAPASITEETIT

## LIITE 4

Kapasiteetit on laskettu kahdelle lenkille, jotka ovat asennettu elementin painopisteen suhteen samalla tavalla. Punaisella merkityt eivät ole sallittuja nostoja, koska niputettujen lenkkien nostoon nostoapulaitteen halkaisijan pitää olla vähintään 65 mm. Arvot on laskettu kokonaisavarmuudella 2,05. Jännepunoksen murtorajana on käytetty 1770 MPa. 65 mm nostoapulaitteen  $k_1$ -kerroin on interpoloitu taulukosta.

## 1 punos

Haarakulma/ Nostoapulaitteen halkaisija	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
65 mm	171	170	165	158	150	139	128
50 mm	150	149	145	139	131	122	113
25 mm	139	138	134	129	122	113	104

## 2 punosta

Haarakulma/ Nostoapulaitteen halkaisija	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
65 mm	265	264	255	246	232	216	199
50 mm	216	215	208	200	189	176	162
25 mm	199	198	192	185	174	162	150

## 3 punosta

Haarakulma/ Nostoapulaitteen halkaisija	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
65 mm	376	374	362	349	329	306	282
50 mm	306	305	295	284	268	249	230
25 mm	284	282	274	263	249	231	213

## 4 punosta

Haarakulma/ Nostoapulaitteen halkaisija	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
65 mm	442	440	426	410	387	360	332
50 mm	361	359	348	335	316	294	271
25 mm	335	333	323	310	293	272	251

## JÄNNEPUNOSLENKKIEN VALMISTAMINEN

## LIITE 5

Nostolenkit on mitoitettu betonin lieriölujuudelle 12 MPa. Pituuksissa on huomioitu 50 mm asennustoleranssi. Kapasiteetti on suurimman sallitun nostokulman kapasiteetti (haarakulma 60°), kun käytetään 65 mm nostoapulaitetta.

Tyypimerkinnän ensimmäinen numero kertoo lenkin nostokapasiteetin ja toinen punosten lukumäärän. Mikäli siis on tarpeen, niin samalla tavalla voidaan valmistaa nostolenkki tunnuksella BM12, jolloin siis kapasiteetti on 128 ja punoksia on kaksi. Tässä tapauksessa leikkomitaksi tulisi 3000.

Tyyppi	Punokset	Haarakulma	Leikkomitta	Holkki	Kapasiteetti kN / pari
BM11	1*12,5	30°	5750	19*1,5*350	128
BM22	2*12,5	30°	5750	30*1,5*420	199
BM33	3*12,5	30°	5750	30*1,5*420	282
BM44	4*12,5	30°	5750	35*1,5*460	332





Nostopuomeja



Suora nosto



Vino nosto



Hallin korkeus rajallinen, puomi välttämätön





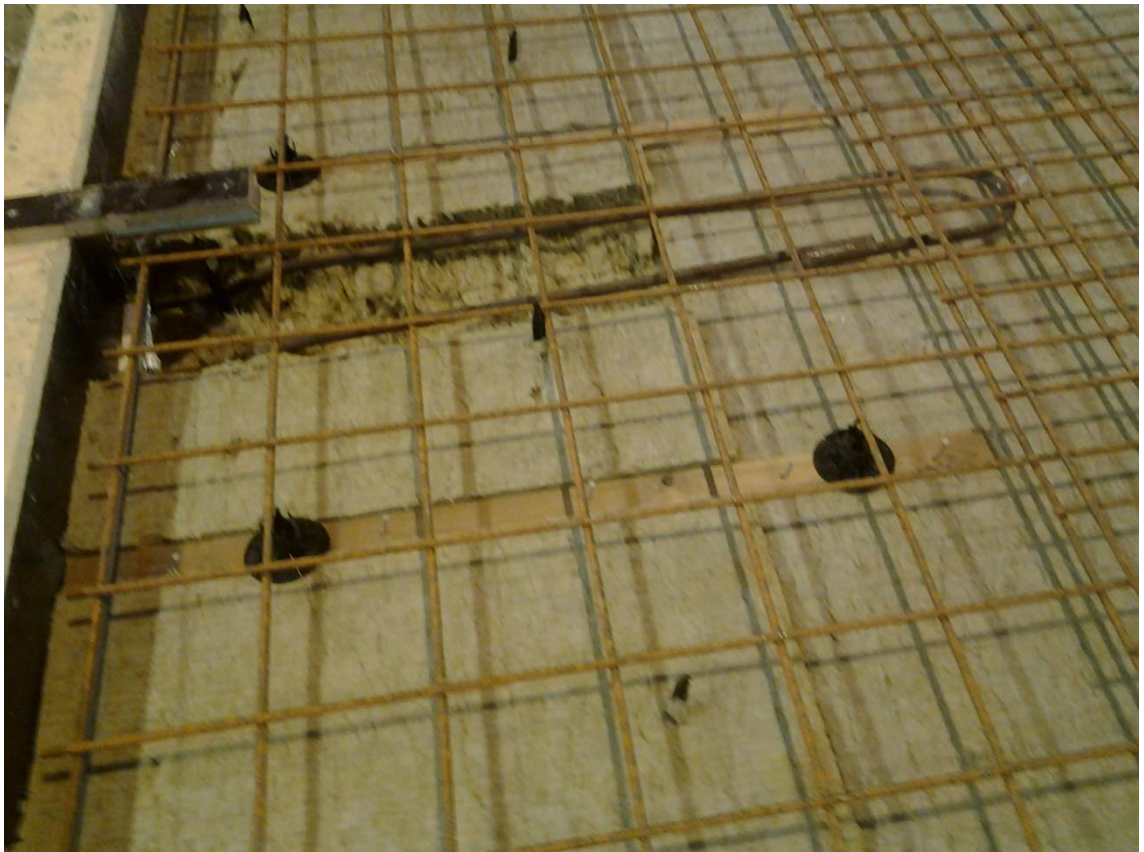
Pystyyn käännettävä muotti



Väärin



Liian suuri nostokulma



Väärin asennettu nostolenkki



ERILAISIA PINTAKUVIOITA JA MUOTTEJA, LIITE 7  
JOTKA VAIKUTTAVAT NOSTOLENKKIEN MITOITUKSEEN



Adheesion vaikutus?



Entäs tässä?



Valmis elementti edellisellä muotilla