

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka, Lappeenranta
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Rakennesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Jani Raitanen

Teräsbetonirakenteen leikkauskulman optimointi Eurokoodin mukaan

Opinnäytetyö 2017

Tiivistelmä

Jani Raitanen

Teräsbetonirakenteen leikkauskulman optimointi Eurokoodin mukaan, 27 sivua, 16 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka, Lappeenranta

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Rakennesuunnittelun suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2017

Ohjaajat: lehtori Petri Himmi, Saimaan ammattikorkeakoulu, toimitusjohtaja

Seppo Heikkinen, Insinööritoimisto SRT-Uusimaa Oy

Eurokoodipohjaisen mitoituksen käyttöönoton jälkeen mitoitusprosessi on muuttunut vahvasti aiemmista rakentamismääräyskokoelmista, joten uusia menetelmiä ei ole vielä välttämättä paljon tutkittu. Tämän vuoksi eurokoodipohjaisen leikkausmitoituksen tutkimiselle on tarvetta.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia eurokoodia sekä luoda työkalu sekä tämän ohjeet, jolla suunnittelija voi helposti optimoida palkkimaisessa rakenteessa käytettävän leikkausraudoituksen. Työssä vertailtiin palkin eri muuttujien vaikutusta leikkauskulmaan sekä leikkauskulman muuttamisen vaikutukset palkkiin.

Työn tuloksena tuli koonti eurokoodipohjaisen leikkausmitoituksen kulusta, Excel-pohjainen laskenta-alusta suunnittelijan avuksi Insinööritoimisto SRT-Uusimaa Oy:lle ja laskelmia luodulla ohjelmalla aiheesta sekä niiden analysointia.

Asiasanat: Teräsbetonipalkit, leikkausmitoitus, leikkauskulma

Abstract

Jani Raitanen

Optimizing the angle of the concrete strut in shear design for reinforced concrete structures, 27 pages, 16 Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology, Lappeenranta

Degree Programme in Civil and Construction Engineering

Structural design

Bachelor's Thesis 2017

Instructors: Lecturer Petri Himmi, Saimaa University of Applied Sciences, CEO

Seppo Heikkinen, Insinööritoimisto SRT-Uusimaa Oy

Since the introduction of Eurocode-based design, the design process has changed vividly from previous building code collections in Finland, so the new methods have not yet been thoroughly studied. This is why there is a need for studying shear according to the rules stated in Eurocode.

The purpose of the thesis was to study the Eurocode and create a tool and instructions for the designer to help in the process of designing reinforced concrete beams to withstand the shear forces. The effect of the different variables of the beam was studied and also the effect of choosing a different angle for the concrete strut and its impact on the variables.

The result of the thesis was a collection of Eurocode-based shear design formulas, an excel-based computing platform to assist the designer at Insinööritoimisto SRT-Uusimaa Oy and calculations with a created program on the subject and the analysis of the results.

Keywords: reinforced concrete beams, shear design, concrete strut angle

Sisällys

1	Johdanto	7
2	Palkit.....	7
2.1	Palkeista yleisesti	7
3	Leikkausmitoitus	9
3.1	Lähtötiedot	9
3.2	Eurokoodin mukainen leikkausmitoitus.....	10
3.2.1	Laskentaprosessi: Leikkausmitoitus	14
3.2.2	Laskentaprosessi: Leikkauskestävyys.....	16
3.2.3	Ankkurointivaatimukset	16
4	Leikkausmitoitustarkastelu Excel-laskentatyökalulla.....	16
4.1	Leikkausraudoitus	16
4.2	Vaikutus pääraudoitukseen.....	20
4.3	Raudoitusmäärät	22
4.4	Päätelmiä.....	24
4.5	Pohdinta.....	24
5	Yhteenveto.....	25
	Lähteet.....	27

Termit

h	Poikkileikkauksen korkeus
b	Poikkileikkauksen leveys
d	Poikkileikkauksen tehollinen korkeus
z	Sisäinen momenttivarsi
L	Palkin pituus
c_{nom}	Betonipeite
s	Hakaväli
s_{min}	Minimi hakaväli
s_{max}	Suurin sallittu hakaväli
n_h	Hakojen leikkeisyys
A_s	Raudoituksen poikkileikkausala
A_{sw}	Leikkausraudoituksen (hakojen) poikkileikkausala
f_{ck}	Betonin lieriölujuuden ominaisarvo
$f_{ck,cube}$	Betonin kuutiolujuuden ominaisarvo
f_{cd}	Betonin puristuslujuuden mitoitusarvo
f_{ctk}	Betonin vetolujuuden ominaisarvo
f_{ctd}	Betonin vetolujuuden mitoitusarvo
f_{yk}	Raudoituksen ominaislujuus
f_{yd}	Raudoituksen laskentalujuus
f_{ywd}	Raudoituksen laskentalujuus (leikkausraudoitus)

M_{ed}	Taivutusmomentti
V_{Ed}	Leikkausvoima
$V_{Rd,max}$	Puristusmurtokestävyys (=leikkauskestävyyden yläraja)
$V_{Rd,s}$	Leikkausraudoituksen antama leikkauskestävyys
v	Halkeilleen betonin lujuuden pienennyskerroin
Q_k	Muuttuva kuorma, ominaisarvo
Q_d	Hyötykuorma, laskenta-arvo
G_k	Pysyvä kuorma, ominaisarvo
G_d	Hyötykuorma, laskenta-arvo
K_{FI}	Osavarmuuskerroin
γ_c	Betonin osavarmuusluku
γ_s	Betoniteräksen osavarmuusluku
θ	Betonin puristussauvojen kaltevuus
M	kantamoduuli (100 millimetriä)

1 Johdanto

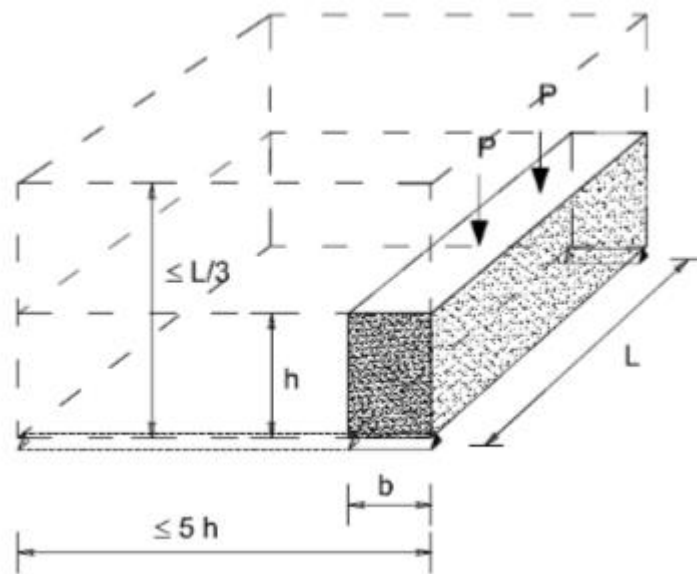
Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää työkalu betonipoikkileikkauksen raudoituksen optimointiin leikkaukselle eurokoodin mukaan. Pääpainotus työssä tulee teräsbetonipalkeille, ja laskenta painottuu suorakaidepalkkimaisten profiilien ympärille. Eurokoodipohjainen mitoitus eroaa vanhoista käytetyistä mitoitus-tavoista, joten tämänkaltaiselle työkalulle koettiin tarvetta. Työkalu rakennetaan Excel-taulukkolaskentaohjelmalle. Kyseinen laskenta-alusta pyritään toteuttamaan mahdollisimman selkeänä ja helppokäyttöisenä. Työn tilaajana toimii Insi-nööritoimisto SRT-Uusimaa Oy.

Opinnäytetyössä on kaksi erillistä osaa, kirjallinen raportti sekä tuotettu Excel-pohjainen laskentatyökalu. Raportissa käydään läpi eurokoodipohjainen leikkausmitoitus, sekä tulkitaan tällä saatuja tuloksia. Laskentatyökalulla voi helposti vertailla eri tekijöiden vaikutuksia leikkausraudoitukseen, sekä käytettävän leikkausraudoituksen optimointi käytettävälle rakenteelle on tehty mahdollisimman havainnollistavasti. Mitoitustyökalu tuotetaan Microsoft Excel -laskentatauluk-kona (.xlsx) Excel 2016-ohjelmalla eurokoodin mukaiseen leikkausmitoitukseen. Laskentatyökalun yhteydessä on myös käyttöohjeet. Pääpainotus laskennassa on leikkauskulman optimoinnissa, eli betonista muodostuvien puristussauvojen kaltevuuskulman theeta $[\theta]$ arvosta.

2 Palkit

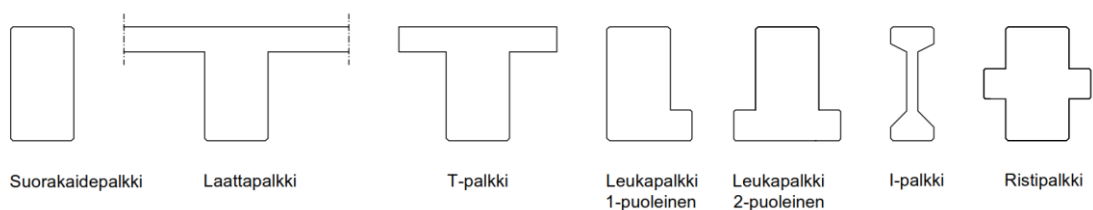
2.1 Palkeista yleisesti

Eurokoodi 2:n mukaisten rajojen mukaan palkit ovat sauvamaisia rakenteita, joilla on 2 lyhyttä sivua sekä 1 pitkä sivu. Jännemitta (L) palkeilla on 3 kertaa palkin korkeutta (h) suurempi, tätä lyhyemmät katsotaan seinämäisinä palkkeina. Leveys (b) ei saa ylittää palkin korkeutta viisinkertaisesti, muutoin tämä katsotaan laataksi. Palkin ja laatan raja on tietyissä tapauksissa häilyvä ja sovittavissa, mutta suunnittelusäännöt näille ovat erilaiset, joten raja näiden välillä on kuitenkin tärkeä. Pääasiallinen kuormituksen suunta palkeille on sauvan akselia kohtisuorassa. Eurokoodin mukaiset rajat näkyvät kuvassa 1.



Kuva 1. Palkin määrittely mittojen mukaan (1, s.83)

Poikkileikkaus palkeissa vaihtelee tarpeen mukaan, yleisimpinä ja edullisimpana suorakaidepalkit. Käyttökohteesta ja tarpeesta riippuen käytetään muita poikkileikkauksia, joita on esitetty kuvassa 2. Esimerkiksi leukapalkkeja käytetään, kun kannateltavan laataston alle tarvitaan tilaa, harjapalkkeja pidemmillä jänneväleillä, sekä ristipalkkeja korkeilla palkeilla. Tässä työssä tarkastellaan suorakaidepalkkeja.



Kuva 2. Palkkien poikkileikkausmuotoja

Elementtisten suorakaidepalkkien mittoja valittaessa on huomioitava moduulimitäjäjärjestelmä, jolla varmistetaan palkkien yhteensopivuus muihin rakennusosiin asennusvaiheessa. Kantamoduuli M on 100 mm ja rakennusosissa käytetään tämän kerrannaisia. Palkin valmistusmitat ovat 20 millimetriä modulaarista liittymismittaa pienempiä, esimerkiksi leveys $4M$ tarkoittaa palkissa 380 millimetriä.

Teräsbetonisen palkkielementin leveys vaihtelee yleensä 180 millimetristä (2M) 480 millimetriin (5M) ja korkeus 280 millimetristä (3M) 980 millimetriin (10M). Kuvasta 3 selviää suositeltavat koot teräsbetonipalkeille. Paikallavalupalkeissa mitat ovat vapaammat ja ne voivat poiketa huomattavasti elementtipalkin mitoista.

		PALKIN LEVEYS				
		2M 180	3M 280	4M 380	5M 480	
PALKIN KORKEUS	3M 280	☐				
	4M 380	☐	☐			
	5M 480	☐	☐	■		
	6M 580		■	■	■	
	7M 680		☐	■	☐	
	8M 780		☐	■	■	
	9M 880			■	☐	
	10M 980				☐	

■ SUOSITELTAVIN
☐ SUOSITELTAVA

Kuva 3. Suorakaidepalkin suosituskoot (2)

3 Leikkausmitoitus

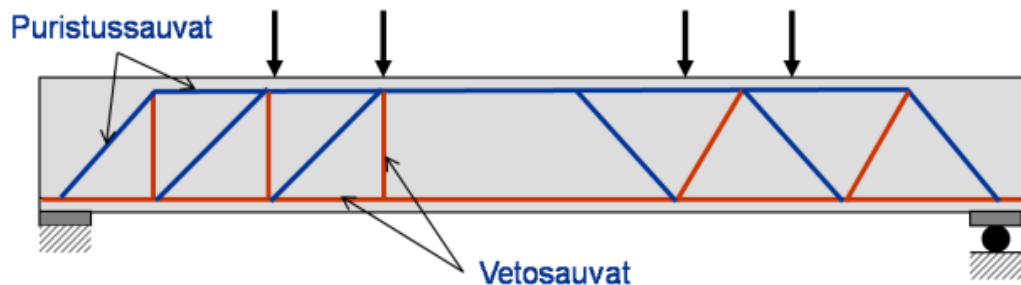
3.1 Lähtötiedot

Ennen kuin päästään leikkausmitoitukseen, on palkille suoritettu taivutusmitoitus, jota ei tässä työssä erikseen käsitellä. Leikkausmitoitusta aloitettaessa on tiedossa taivutusmitoituksen kautta saatu ulkoisten kuormien aiheuttamat rasitukset, sekä alustavat poikkileikkauksen mitat ja betonin lujuusluokka. Palkin poikkileikkauksessa huomioidaan myös arkkitehtoniset tarpeet tilan suhteen. Betoniteollisuuden suositellut lujuudet teräsbetonipalkeille on välillä C30/37...C50/60, mutta myös muita lujuusluokkia käytetään käyttötarpeen mukaan.

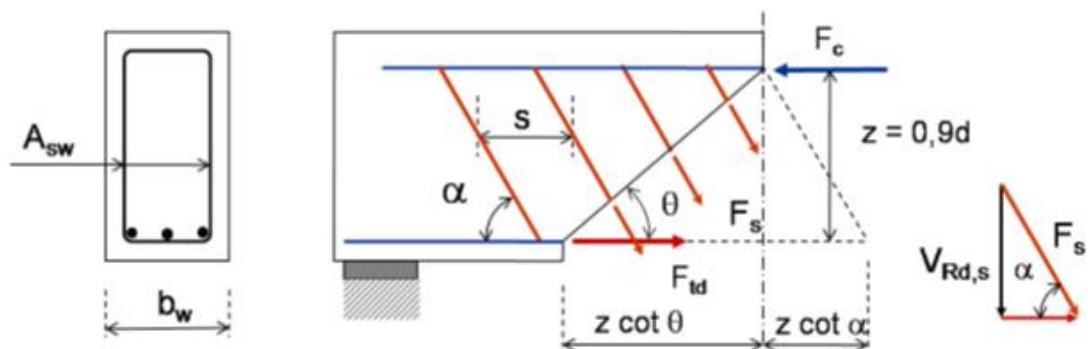
Taivutusmitoituksen jälkeen tunnetaan siis poikkileikkauksen leveys b , korkeus h , tehollinen korkeus d , betonin lujuuden mitoitusarvo f_{cd} ja tämän pienennyskerroin v sekä leikkausvoiman mitoitusarvo V_{Ed} .

3.2 Eurokoodin mukainen leikkausmitoitus

Eurokoodin mukaista leikkausmitoitusta on esitetty Betonirakenteiden suunnittelun oppikirjassa 211 (1), Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus by 210:ssa (3) ja SFS-käsikirja 202:ssa (4). Eurokoodin mukaisessa leikkausmitoituksessa leikkausraudoitettu rakenne ajatellaan kuvan 4 mukaisesti ristikkomaisena rakenteena, jonka puristussauvoina toimii betoni ja vetosauvoina rauditus. Kuvassa 5 näkyy mitoittavan poikkileikkauksen voimasuureet. Leikkausraudoitus toimii uuman vetosauvoina ja pääraudoitus paarteen vetosauvoina. Betonin puristussauvojen kaltevuus (θ) riippuu leikkausraudoituksen määrästä. Mitoittaessa rakennetta suunnittelija voi valita kaltevuuskulman, mikä vaikuttaa vaadittavaan leikkausraudoitukseen sekä uuman puristusmurtokestävyyteen ja pääraudoituksen ankkurointitarpeeseen.



Kuva 4. Ristikkomenetelmän mukainen ristikkorakenne (1, s.135)



Kuva 5. Ristikkomenetelmän mukaiset voimasuureet mitoittavassa poikkileikkauksessa (1, s.135)

Kuvan 5 kriittisessä vinossa leikkauksessa kehittyä leikkausraudoitukseen myötöhetykellä kaavan 1 (1, s.135) mukainen voima

$$F_{R,sw} = f_{ywd} \frac{A_{sq}}{s} z (\cot \theta + \cot \alpha) \quad (1)$$

Saatu voima on leikkausraudoituksen suuntainen ja sen pystykomponentin $V_{Rd,s}$ tulee olla vähintään vaikuttavan leikkausvoiman V_{Ed} suuruinen. Näiden välinen yhtälö on kaavan 2 (1, s.136) mukainen

$$V_{Rd,s} = f_{ywd} \frac{A_{sw}}{s} z (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha \geq V_{Ed} \quad (2)$$

Pystyhakoja käytettäessä yhtälö yksinkertaistuu kaavan 3 (1, s.136) mukaisesti muotoon

$$V_{Rd,s} = f_{ywd} \frac{A_{sw}}{s} z \cot \theta \geq V_{Ed} \quad (3)$$

Sisäinen momenttivarsi saadaan käyttämällä kaavaa 4 (1, s.136).

$$z = 0,9d \quad (4)$$

Seuraavaksi valitaan puristussauvojen kaltevuuskulman θ arvo väliltä $21,8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$, tai kulman kotangenttina esitettynä $1 \leq \cot \theta \leq 2,5$. Kulman valinta vaikuttaa suuresti vaadittavaan leikkausraudoitusmäärään.

Uuman puristusmurtokestävyys asettaa ylärajan palkin leikkauskestävyydelle. Kuvassa 6 on esitetty uuman puristusmurtokestävyuden laskentamalli pystyhakoja käytettäessä. Se perustuu kulman θ kaltevuudessa olevan puristussauvan kestävyteen. Puristussauvan puristuslujuutta alennetaan halkeilleen betonin lujuuden pienennyskertoimella v , joka saadaan kaavasta 5 (1, s.136).

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}} \right) \quad (5)$$

Vinon puristussauvan puristuskestävyys saadaan kaavasta 6 (1, s.136).

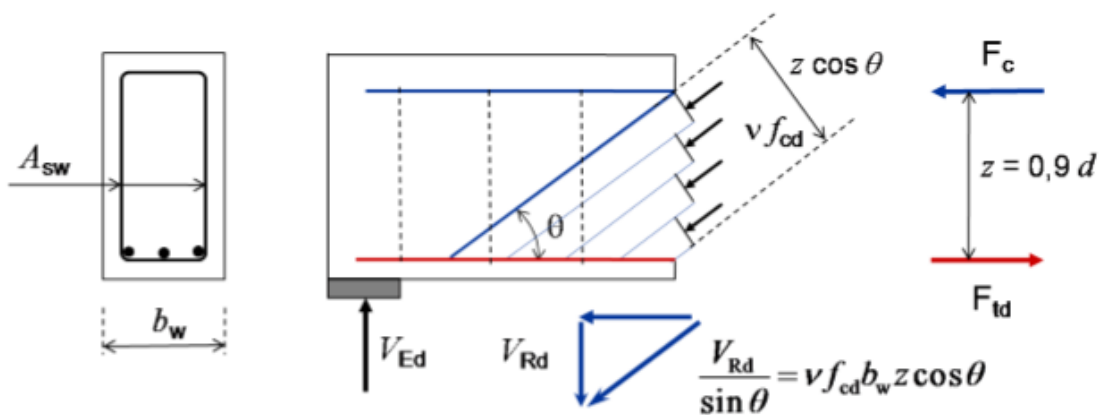
$$F_{Rd,c} = v f_{cd} b_w z \cos \theta \quad (6)$$

Tämän pystykomponentti, eli palkin uuman puristusmurtokestävyys saadaan kaavasta 7 (1, s.137)

$$V_{Rd,max} = v f_{cd} b_w z \cos \theta \sin \theta \quad (7)$$

Muunnoksella $\cos \theta \sin \theta = \frac{1}{\tan \theta + \cot \theta}$ saadaan mitoitusyhtälö EC2:ssa esitettyyn kaavan 8 (1, s.137) muotoon

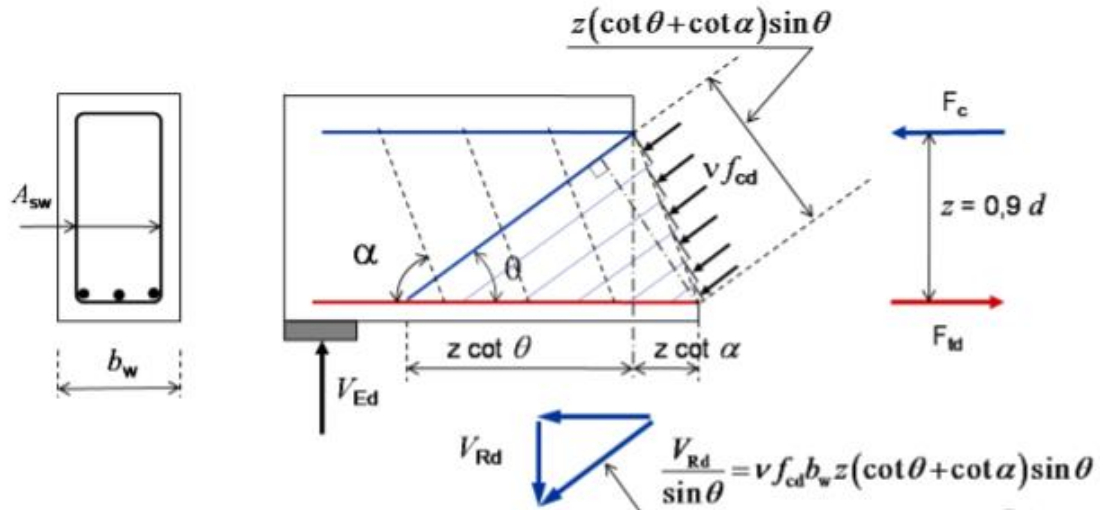
$$V_{Rd,max} = \frac{v f_{cd} b_w z}{\tan \theta + \cot \theta} \quad (8)$$



Kuva 6. Puristussauvan kestävyden laskenta pystyhakojen tapauksessa (1, s.137)

Vinoja hakoja käytettäessä yhtälö on monimutkaisempi. Kuvan 7 merkintöjä käyttäen saadaan kaavan 9 (1, s.138) mukainen yhtälö

$$V_{Rd,max} = v f_{cd} b_w z (\cot \theta + \cot \alpha) \sin^2 \theta \quad (9)$$



Kuva 7. Puristussauvan kestävyden laskenta vinohakojen tapauksessa (1, s.137)

Muunnoksella $\sin^2 \theta = \frac{1}{1 + \cot^2 \theta}$ saadaan mitoitusyhtälö EC2:ssa esitettyyn kaavan 10 (1, s.138) muotoon

$$V_{Rd,max} = v f_{cd} b_w z \frac{\cot \theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \theta} \quad (10)$$

Kaavoissa esiintyvä uuman leveys b_w on pienin arvo puristusvyöhykkeen alareunan ja pääraudoituksen välillä.

Puristussauvan kaltevuus θ , jolla puristumurto tapahtuu tunnetulla leikkausvoimalla V_{Ed} , voidaan ratkaista kaavalla 11 (1, s.139).

$$\theta = \arccot \left[\frac{1}{2A} \left(1 - \sqrt{1 + 4A(\cot \alpha - A)} \right) \right] \quad (11)$$

missä $A = \frac{V_{Ed}}{v f_{cd} b_w z}$

Yhtälöllä voidaan tarkistaa millä kulman θ arvolla puristumurtoehto tulee määräväksi. Leikkausraudoituksen mitoituksessa voidaan käyttää tätä kulman θ arvoa.

Kaavoista 2 ja 10 saadaan leikkausraudoituksen suurin tehollinen määrä, eli määrä jonka ylittäminen ei enää lisää leikkauskestävyyttä. Raja-arvo lasketaan kulman arvolla $\theta=45^\circ$

Tunnetussa poikkileikkauksessa murtotilassa toteutuva puristussauvan kaltevuus θ saadaan ratkaistua kaavan 12 (1, s.140) mukaan, kun asetetaan raudoituksen kestävyys kaavasta 2 ja 10 yhtä suuriksi.

$$\theta = \arccot \cot \left(\sqrt{\frac{v f_{cd}}{f_{ywd}} \frac{s b_w}{A_{sw} \sin \alpha}} - 1 \right) \quad (12)$$

Tässä huomioitava kuitenkin kulman θ raja-arvot $21,8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$.

3.2.1 Laskentaprosessi: Leikkausmitoitus

Alustavassa mitoituksessa ennen leikkausmitoitusta on valittu poikkileikkauksen mitat, betonin lujuusluokka sekä maksimimomentin kohdan pääraudoitus taivutusmitoituksessa. Tunnetaan siis ulkoisten kuormien aiheuttama leikkausvoima V_{Ed} , poikkileikkauksen mitat b , b_w , d , betonin lujuuden mitoitussarvo f_{cd} sekä lujuuden pienennyskerroin v .

Aluksi valitaan hakojen kaltevuus α , joka tavallisesti on 90° , eli käytetään pystyhakoja. Seuraavaksi valitaan puristussauvan kaltevuuden kulma θ väliltä $21,8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$. Kulman arvona voi käyttää alaraja-arvoa, ellei puristusmurtoehto (kaava 10) vaadi suurempaa arvoa. Ankkurointimitoitus voi kuitenkin tulla kriittiseksi pienillä kulman arvoilla, joten kulmaa voi joutua myöhemmin tämän vuoksi suurentamaan.

Leikkausraudoituksen mitoitussyhtälö supistettuna on kaavan 13 (1, s.140) mukainen

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed} \quad (13)$$

Lasketaan vaadittava leikkausraudoitus kaavan 14 (1, s.140) mukaan

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd}(\cot\theta + \cot\alpha)\sin\alpha} \quad (14)$$

Valitaan leikkausraudoituksen tankopaksaus ja leikkeisyys. Hakojen tankopaksaus on tavallisesti 5-10 mm. Leikkeisyydellä tarkoitetaan yhdessä poikkileikkauksessa toimivien hakatankojen määrää. Lasketaan A_{sw} ja ratkaistaan hakaväli kaavan 15 (1. s141) mukaan.

$$s \leq \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} z f_{ywd}(\cot\theta + \cot\alpha)\sin\alpha \quad (15)$$

Uuman puristusmurtokestävyys saadaan aiemmassa kappaleessa esitetystä kaavasta 10 (1, s.138).

Tarkistetaan puristusmurtoehto kaavan 16 (1, s.141) mukaan

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed} \quad (16)$$

Jos kaavan 16 mukainen ehto ei toteudu, kasvatetaan poikkileikkausta, lisätään betonin lujuutta tai suurennetaan kulmaa θ , jos mahdollista. Ehdon toteutuessa jatketaan mitoitusta tarkistamalla leikkausraudoituksen vähimmäisarvo kaavan 17 (1, s.141) ja tätä vastaava hakaväli kaavan 18 (1, s.141) mukaisesti.

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq 0,08 b_w \sin\alpha \left(\frac{\sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}}}{\frac{f_{yk}}{\text{MPa}}} \right) \quad (17)$$

$$s \leq \frac{A_{sw}}{0,08 b_w \sin\alpha} \frac{\frac{f_{yk}}{\text{MPa}}}{\sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}}} \quad (18)$$

Suurin sallittu hakaväli s_{max} saadaan kaavasta 19 (1, s.141)

$$s_{max} = 0,75d(1 + \cot\alpha) \quad (19)$$

3.2.2 Laskentaprosessi: Leikkauskestävyys

Tunnetun palkin leikkauskestävyyden laskenta on niin kutsuttu analyysitehtävä. Tätä tehtäessä tunnetaan rakenteesta seuraavat arvot: poikkileikkauksen leveys b , tehollinen leveys b_w , korkeus h , tehollinen korkeus d , betonin lujuuden mitoitusarvo f_{cd} , leikkausraudoituksen määrä A_{sw} ja laatu f_{ywd} sekä hakaväli s .

Laskennan tuloksena saadaan leikkauskestävyys V_{Rd} kaavan 20 (1, s.145) mukaan.

$$V_{Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{Rd,s} \\ V_{Rd,max} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ywd} \frac{A_{sw}}{s} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha \\ v f_{cd} b_w z \frac{\cot \theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \theta} \end{array} \right. \quad (20)$$

Leikkauskestävyyden arvoa V_{Rd} verrattaessa tunnettuun leikkausrasitukseen V_{Ed} voidaan laskea käyttöaste kaavan 21 (1, s.145) mukaisesti, jonka perusteella voidaan tehdä päätöksiä esimerkiksi rakenteen käytöstä ja vahvistamisesta.

$$\text{Käyttöaste} = \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} * 100\% \quad (21)$$

3.2.3 Ankkurointivaatimukset

Leikkausvoimasta V_{Ed} aiheutuu myös pääraudoitukseen kohdistuva lisävetovoima, joka voidaan laskea kaavasta 22 (1, s.154)

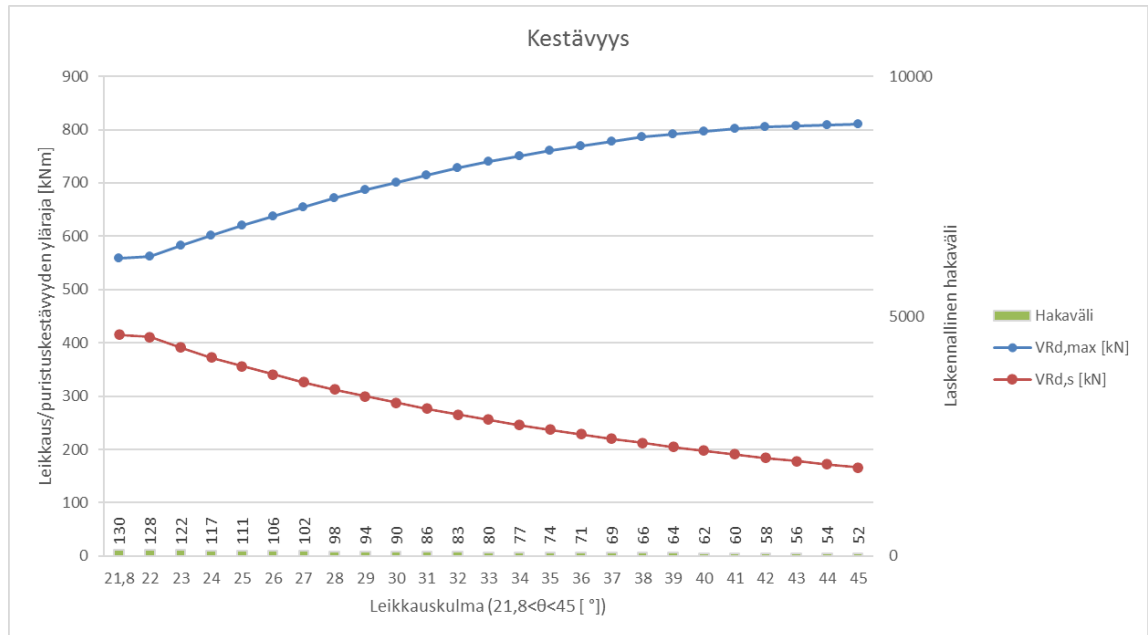
$$F_{Ed} = V_{Ed} \frac{a_L}{z} = 0,5 V_{Ed} (\cot \theta - \cot \alpha) \quad (22)$$

4 Leikkausmitoitustarkastelu Excel-laskentatyökalulla

4.1 Leikkausraudoitus

Analysoinnin mahdollistamiseksi valitaan vertailupalkki. Vertailupalkin profiiliksi valitaan $h \times b = 580 \times 380$ mm, leikkausraudoitukseksi 8 mm teräs jaolla 130 mm ja

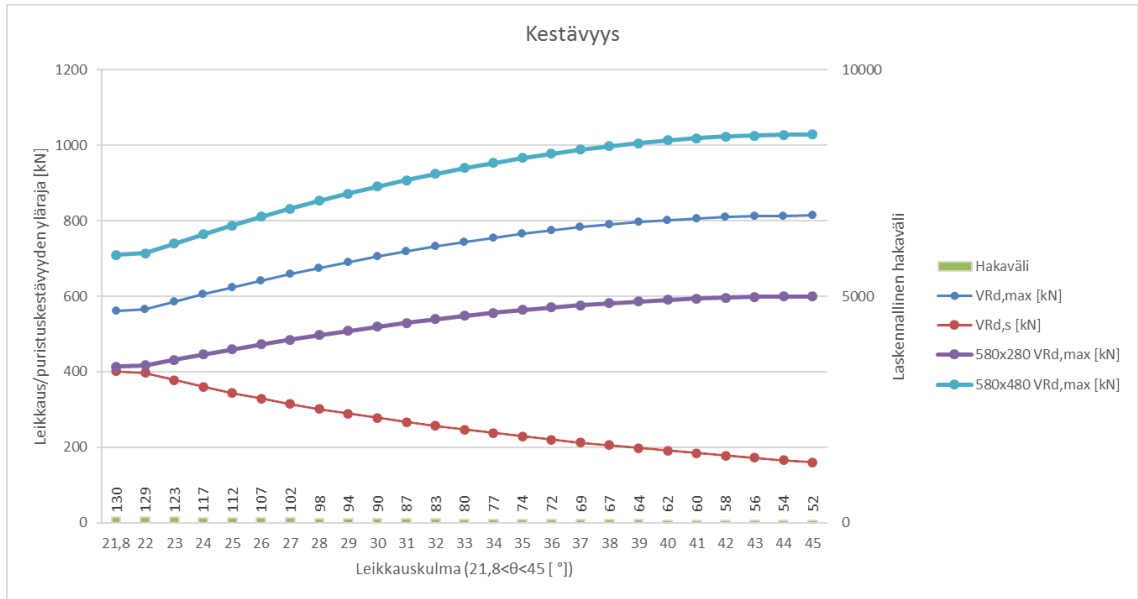
leikkeisyydeksi 2. Leikkausrasituksen mitoitusravoksi valitaan $V_{Ed} = 400$ kN. Betonin lujuusluokaksi valitaan C30/37 ja pääteräksiksi 4T20. Huomioitava että taivutusmitoitust määrittää omat vaatimuksensa pääteräksille. Vertailupalkin arvot esitetään kuvissa sinisenä. Aluksi puristussauvojen kaltevuuskulmaksi valitaan $\theta=21,8^\circ$.



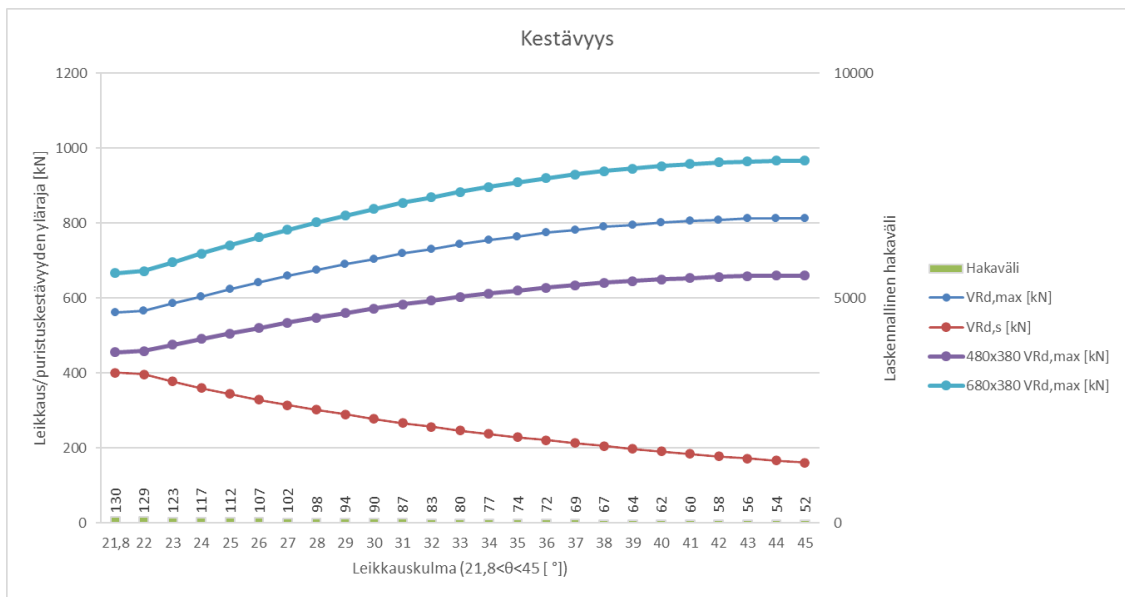
Kuva 8. Vertailupalkin poikkileikkauksen kestävyys

Kuten kuvaajasta näkee, on kyseisellä raudoitusmäärällä leikkauskulma $21,8^\circ$ tälle palkille paras vaihtoehto tälle poikkileikkaukselle. Uuman puristusmurtokestävyys ei vaadi suurempaa kaltevuuskulmaa, sen minimiarvon ollessa suurempi kuin raudoituksen maksimi leikkauskestävyys.

Poikkileikkauksen profiilia muutettaessa saadaan kuvien 9 ja 10 mukaiset kuvaajat. Kuvassa 9 on vertailupalkin lisäksi vertailupalkkia leveämpi sekä kapeampi palkki, muuten arvot ovat täysin samat. Kuvassa 10 taas on vertailupalkin lisäksi vertailupalkkia korkeampi sekä matalampi palkki. Poikkileikkauksen kasvattaminen lisää puristusmurtokestävyyttä ja pienentäminen vähentää sitä. Koska palkkien mittamaailmassa korkeus on useimmiten leveyttä suurempi, kasvaa poikkileikkauksala ja näin ollen myös puristusmurtokestävyys enemmän palkkia leven-tämällä, kuin korottamalla. Pidettävä kuitenkin mielessä, että nämä koskevat vain leikkausmitoitusta, taivutusmitoitusta ei tässä käsitellä. Toinen keino kasvattaa uuman puristusmurtokestävyyttä on betonin lujuusluokan vaihto suurempaan.



Kuva 9. Erilevyisten poikkileikkauksen kestävyys

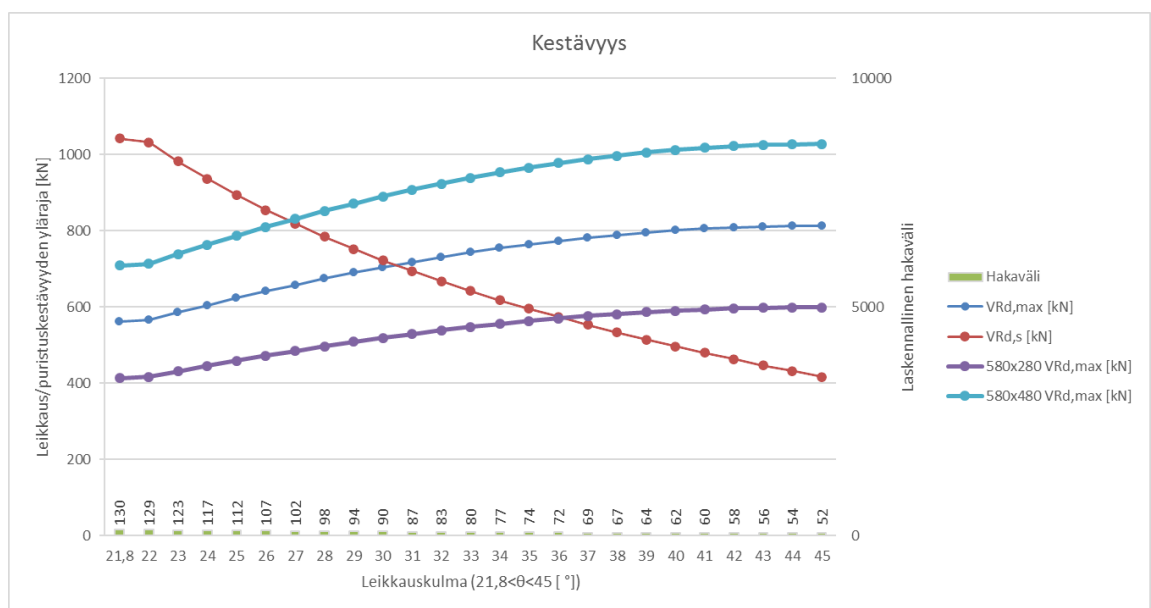


Kuva 10. Erikorkuisten poikkileikkauksen kestävyys

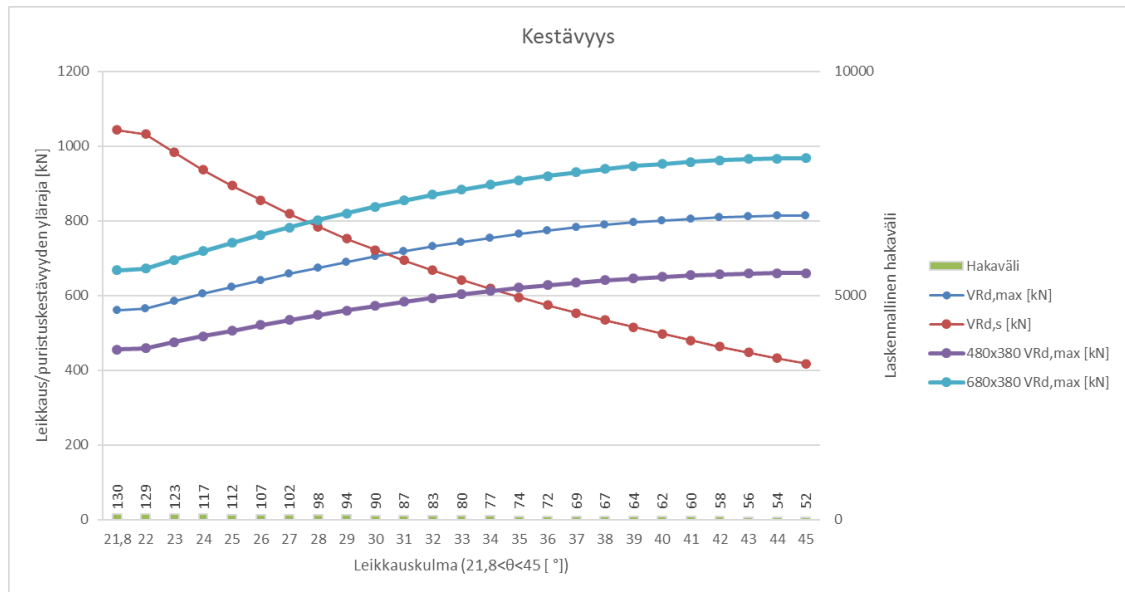
Palkin poikkileikkausta pienentäessä huomataan pienempien profiilien puristus-murtokestävyyden käyrien risteävän kuvassa 9 ja lähenevän kuvassa 10 raudoituksen leikkauskestävyyden käyrän kanssa.

Laskettaessa samat palkit kaltevuuskulmalla $\theta=45^\circ$ ja sen vaatimalla hakavälillä 50 mm saadaan kuvien 11 ja 12 mukaiset tulokset. Näistä huomataan lisääntyneen raudoituksen myötä käyrien selvempää risteämistä. Leikkauskulman akse-

lia katsottaessa risteyskohdan arvo merkitsee leikkauskulman arvoa, jota käytetään tässä tällä hakavälillä on betonin puristussauvojen sekä leikkausraudoituksen käyttöprosentti sama, joten rasitukset jakautuvat tasaisesti betonin ja teräksen välillä. Tässä esimerkiksi vertailupalkilla käyttöprosentti teräkselle sekä betonille on 56 %. Leikkauskulmaa muutettaessa laskennallisesti vaadittu hakaväli tosin muuttuu sen mukana (kaava 15), joten tämä johtaa lopulta kulman pienenemiseen minimiarvoonsa $21,8^\circ$, ellei betonisen puristussauvan kestävyys tule aiemmin vastaan. Kulman pienetessä jännitykset betonissa pienenevät ja teräksellä kasvavat.



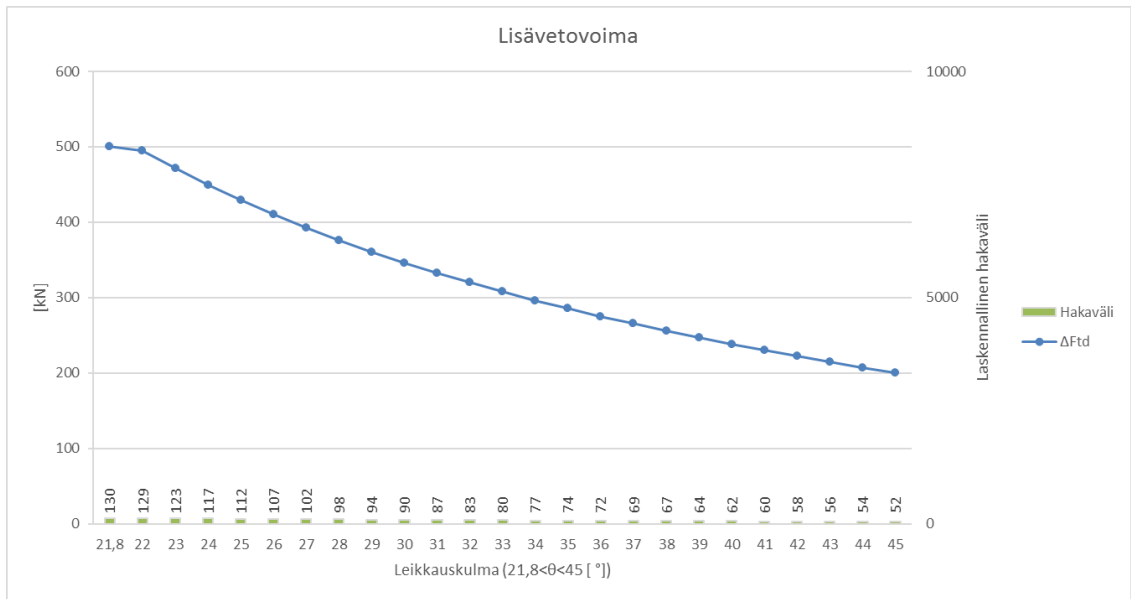
Kuva 11. Erilevyisten poikkileikkauksien kestävyys kulman $\theta=45^\circ$ vaatimalla jaolla hakajaolla 50



Kuva 12. Erikorkuisten poikkileikkauksien kestävyys kulman $\theta=45^\circ$ vaatimalla jaolla hakajaolla 50

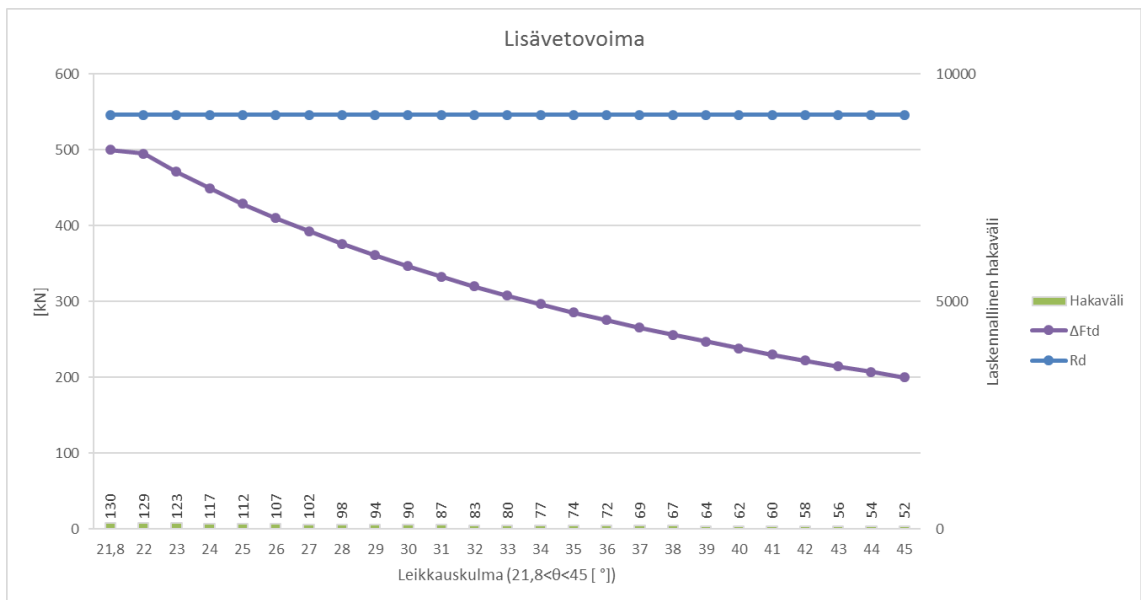
4.2 Vaikutus pääraudoitukseen

Leikkausvoima vaikuttaa myös pääraudoitukseen. Kaavasta 22 voi laskea leikkausvoiman ja kulman avulla lisävetovoiman arvon. Kuvassa 13 on esitetty esimerkipalkkiin syntyvä lisävetovoima eri leikkauskulmilla esimerkipalkkiin. Lisävetovoiman arvo pienenee leikkauskulman kasvaessa. Näin ollen suuri leikkauskulma ja tiheä hakaväli ovat pääraudoituksen kannalta parempia. Pääraudoituksessa useimmiten määrääväksi tekijäksi tulee taivutuskestävyys, joten saatua lisävoiman vaatimaa pääraudoitusta on hyvä verrata tähän.



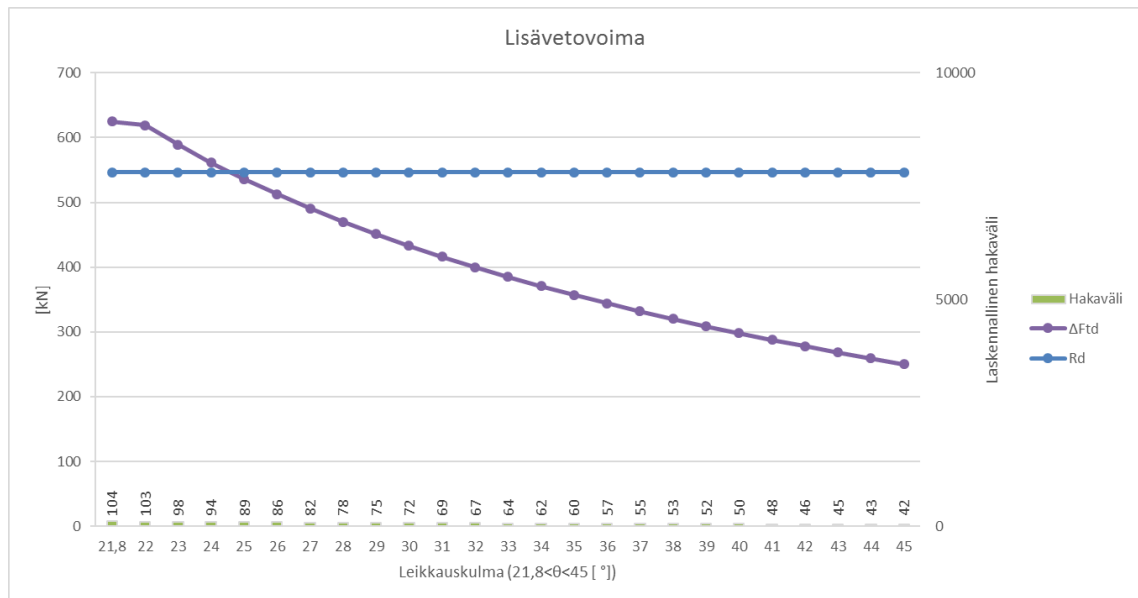
Kuva 13. Lisävetovoima eri leikkauskulmilla

Taivutuksen vaatiman raudoituksen laskentaprosessia ei tässä työssä itsessään käsitellä, ja arvot perustuvat alustaviin laskelmiin. Esimerkkipalkissa käytetyn pääraudoituksen kestävyys on esitetty kuvassa 14 pääraudoitukseen kohdistuvan lisävetovoiman yhteydessä.



Kuva 14. Lisävetovoima ja pääraudoituksen kestävyys, esimerkkipalkki

Kuvasta huomaa, ettei lisävetovoima aiheuta pääraudoituksen kestävyyttä suurempaa voimaa raudoitukseen esimerkkipalkissa. Näin ollen leikkauskulman kasvattaminen minimiarvosta tuntuu turhalta. Kuvassa 15 on esitetty sama palkki, kun leikkausvoimaa on kasvatettu arvoon 500 kN.

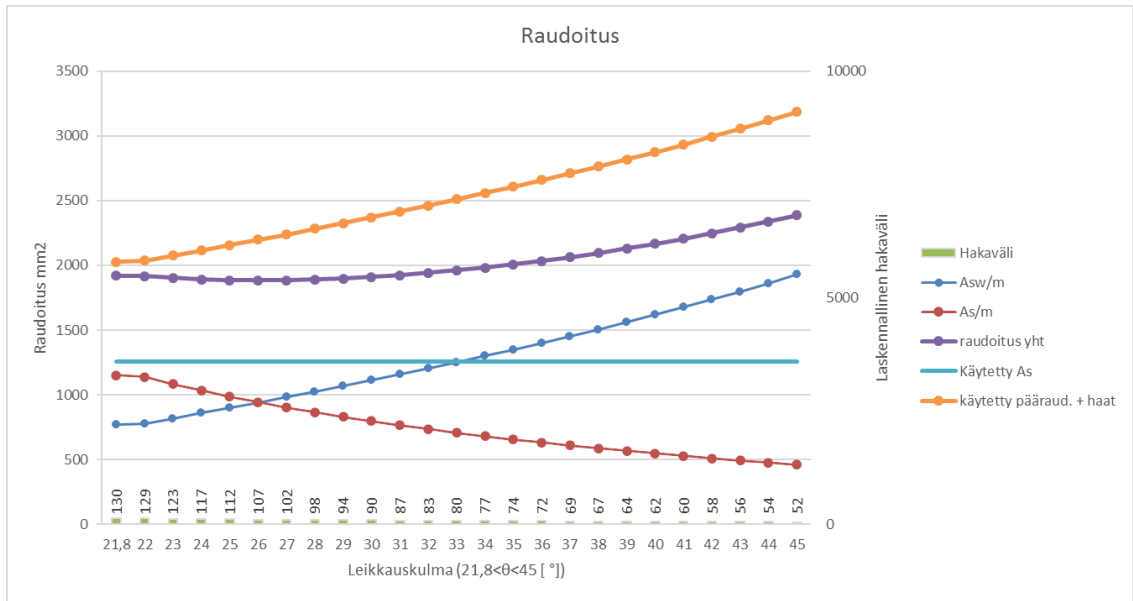


Kuva 15. Lisävetovoima ja pääraudoituksen kestävyys, $V_{Ed}=500$ kN

Kuvassa 15 huomataan lisävetovoiman vaativan voiman ylittävän alustavan pääraudoituksen antaman kestävyuden. Tässä tilanteessa leikkauskulmaa tulee kasvattaa raudoituksen kestävyuden takaamiseksi.

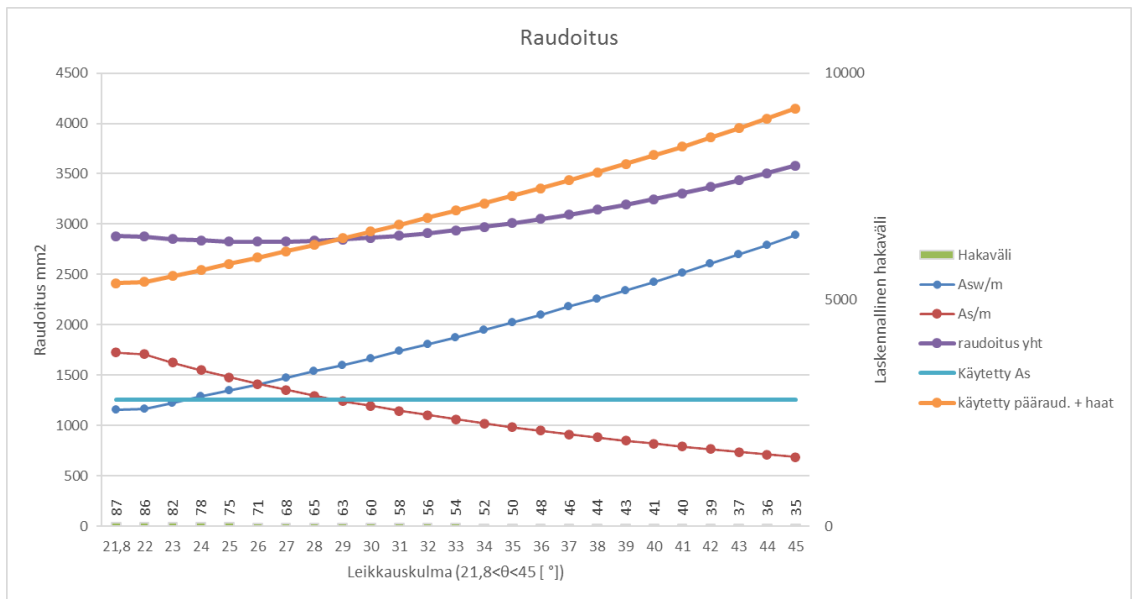
4.3 Raudoitusmäärät

Verrataan eri leikkauskulmien antamia raudoitusmääriä samaa esimerkkipalkkia käyttäen. Kuvassa 16 on esitettyä palkin raudoituksia pinta-alan mukaan. Punainen käyrä (A_s/m) esittää lisävetovoimaa vastaavaa raudoitusta, sininen käyrä leikkauskestävyyttä vastaavaa ja turkoosi vaakasuora viiva esittää pääteräksiä (4T20). Lilassa käyrässä on leikkausvoiman vaatiman pääraudoituksen arvo summattuna vaadittuun leikkausraudoitukseen. Keltaisessa taas alustavan laskennan mukaisen pääraudoituksen sekä leikkausmitoituksen mukaisen leikkausraudoituksen summa. Käyristä nähdään, että alustavassa laskennassa saatu käytettävä pääterästen määrä on suurempi kuin mitä lisävetovoiman vaatima määrä, joten taivutusraudoitus on määräävä.



Kuva 16. Käytetyn raudoituksen leikkausalat esimerkkipalkilla

Vertailun vuoksi syötetään laskenta-alustaan muuten identtisillä arvoilla oleva palkki, mutta kasvatetaan leikkausvoiman suuruutta arvoon 600 kN. Vertailu on hypoteettinen, joten taivutusmitoitusta ei lasketa uudestaan vaan se sekä poikki-leikkauksen geometria pysyvät samoina. Ohjelmassa valitaan leikkauskulma ja hakaväli niin, ettei betonin tai teräksen kestävyys tule vastaan. Päädyttiin kaltevuuskulman arvoon $\theta=24^\circ$ ja hakaväliin 75. Näillä arvoilla saadaan kuvan 17 mukaiset arvot.



Kuva 17. Käytetyn raudoituksen leikkausalat, $V_{Ed}=600$ kN

Kuvasta 17 nähdään, että pääraudoitus ei enää ole määräävä. Pääraudoitus valitaan pienillä leikkauskulmilla lisävetovoiman vaatiman arvon mukaan. Kulman θ arvolla 24° saadaan sekä betonilta, että leikkausraudoitukselta yhtä paljon hyötyä. Laskelmien mukaan molempien käyttöprosentti on välillä 95...99%, joten rakenne on leikkauksen kannalta optimaalisesti raudoitettu. Lilaa käyrää, eli raudoitusten summaa tutkailtaessa huomataan, että raudoitustakin on kyseisellä kulmalla mahdollisimman vähän, eli määrällisestikin tämä kulma on paras tälle esimerkkipalkille.

4.4 Päätelmiä

Uuman puristusmurtokestävyuden kannalta puristussauvojen suuri kaltevuuskulma on pientä parempi, sillä puristussauva lyhenee kulman kasvaessa. Puristussauvan kulman kasvaessa leikkausraudoituksen hakaväli kasvaa samoista geometrisistä syistä. Raudoituksen leikkauskestävyyden raja on leikkauskulmasta riippumaton, joten määrällisesti raudoituksen kannalta on pieni leikkauskulma suurta parempi. Leikkauskestävyyden rajaan vaikuttaa leikkausraudoituksen leikkeisyys sekä valitun leikkausraudoituksen koko. Leikkausraudoituksen halkaisijaa kasvattamalla päästään suurempiin hakaväleihin teräsmäärän pysyessä samana. Suurempi hakaväli on asennusteknisesti helpompi ja nopeampi. Leikkaushakoina käytetään tosin yleisesti 8 mm terästä, 6 ja 10 mm haat ovat seuraavaksi käytetyimpiä.

Leikkausvoiman aiheuttama lisävetovoimalle on betonin puristussauvan tavoin suuri leikkauskulma optimaalisempi. Tämä tosin tulee määrääväksi vain, kun taivutusmitoituksen mukainen pääraudoitus on lisävetovoiman vaatimaa pääraudoitusta pienempi.

4.5 Pohdinta

Alustavan mitoituksen pohjalta ennen leikkausmitoitusta tunnetaan jo pääraudoitus, poikkileikkauksen mitat, leikkausvoiman mitoitusarvo sekä betonin lujuuden mitoitusarvo f_{cd} ja tämän pienennyskerroin ν . Nämä tuovat leikkausmitoitukseen

niin paljon muuttujia, että absoluuttisia totuuksia universaalista optimaalisesta leikkauskulmasta on vaikea antaa. Mitoitusohjelmaa käyttämällä tämän tosin saa palkkikohtaisesti melko vaivattomasti ratkaistua.

5 Yhteenveto

Opinnäytetyössä tutkittiin teräsbetonirakenteen leikkausmitoitusta eurokoodin mukaan ja perehdyttiin leikkauskulman valintaa ja sen vaikutuksia. Tähän pohjautuen luotiin myös suunnittelijalle mitoitusyökalu, joka havainnollistaa ja auttaa rakenteelle sopivan leikkauskulman löytämisessä. Absoluuttista leikkauskulmaa universaalisti rakenteille käytettäväksi ei löydetty mutta mitoituskalulla on tämä tapauskohtaisesti helppo tarkistaa.

Työn keskittyessä leikkausmitoitukseen, voisi tutkimuksia jatkaa ankkurointimitoituksen tai taivutusmitoituksen puolelle, jotta saataisiin kokonaisvaltaisempi kuva palkin mitoituksesta.

Kuvat

Kuva 1. Palkin määrittely mittojen mukaan (1, s.83), s. 8

Kuva 2. Palkkien poikkileikkausmuotoja, s. 8

Kuva 3. Suorakaidepalkin suosituskoot (1), s. 9

Kuva 4. Ristikkomenetelmän mukainen ristikkorakenne (1, s.135), s.10

Kuva 5. Ristikkomenetelmän mukaiset voimasuureet mitoittavassa poikkileikkauksessa (1, s.135), s.10

Kuva 6. Puristussauvan kestävyys laskenta pystyhakojen tapauksessa (1, s.137), s.12

Kuva 7. Puristussauvan kestävyys laskenta vinohakojen tapauksessa (1, s.137), s. 13

Kuva 8. Vertailupalkin poikkileikkauksen kestävyys, s. 17

Kuva 9. Erilevyisten poikkileikkauksen kestävyys, s. 18

Kuva 10. Erikorkuisten poikkileikkauksen kestävyys, s. 18

Kuva 11. Erilevyisten poikkileikkauksien kestävyys kulman $\theta=45^\circ$ vaatimalla jaolla hakajaolla 50, s. 19

Kuva 12. Erikorkuisten poikkileikkauksien kestävyys kulman $\theta=45^\circ$ vaatimalla jaolla hakajaolla 50, s. 20

Kuva 13. Lisävetovoima eri leikkauskulmilla, s. 21

Kuva 14. Lisävetovoima ja pääraudoituksen kestävyys, esimerkkipalkki, s.21

Kuva 15. Lisävetovoima ja pääraudoituksen kestävyys, $V_{Ed}=500$ kN, s. 22

Kuva 16. Käytetyn raudoituksen leikkausalat esimerkkipalkilla, s. 23

Kuva 17. Käytetyn raudoituksen leikkausalat, $V_{Ed}=600$ kN, s. 23

Lähteet

1. BY 211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 1 2013, Suomen Betoniyhdistys ry
2. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/palkit/suorakaidepalkit> Luettu 6.4.2017
3. BY210 Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2008, Suomen Betoniyhdistys ry
4. SFS-Käsikirja 202 Eurokoodi 2. Betonirakenteiden suunnittelu 2007, Suomen standardisoimisliitto SFS

KUORMAT

Syöttöperuste:

Mitoitusarvot

Metrikuormat

Hyötykuormat

 Q_k [kN/m] 50

Ulkoiset kuormat

 $G_{ulkoiset,k}$ [kN/m] 20 V_{Ed} [kN] 261

TAI

Mitoitusarvot

Taivutusmomentti

 M_{Ed} [kNm] 350

Leikkausvoima

 V_{Ed} [kN] 400

RAUDOITUS

Leikkausraudoitus (haat)

Hakojen leikkeisyys

Pääteräs D

Pääteräs lukumäärä

Puristusraudoitus

Puristusraudoitus, lkm

Puristussauvojen kaltevuus

Valittu hakaväli

ϕ_h [mm]	8
n_h	2
ϕ_1 [mm]	20
kpl	4
ϕ_2 [mm]	20
kpl	4
θ [°]	21,8
s [mm]	130

OK! (21,8< θ <45)

OK!

POIKKILEIKKAUSSUUREET

C30/37

Tehollinen korkeus d [mm] 530,2

sisäinen momenttivarsi z [mm] 477,18

L [mm]	5000
b [mm]	380
h [mm]	580
C [mm]	30

MITOITUS

Hakojen kaltevuus

 α [°] 90 Käytetään 90° α [rad] 1,570796

Puristussauvojen kaltevuus

 θ [°] 21,8 OK! (21,8< θ <45) θ [rad] 0,380482

Hakaväli

 s_{lask} [mm] 130,3663 OK! Määrittävä arvo!

Minimi hakaväli

 s_{min} [mm] 301,8809

Max hakaväli

 s_{max} [mm] 397,65

Valittu hakaväli

s [mm] 130 OK!

PURISTUSMURTOKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Betoni)

v 0,528

Käyttöaste $V_{Rd,max}$ [kN] 561,2137 OK!

% 71 % OK!

LEIKKAUSKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Raudoitus)

Käyttöaste $V_{Rd,s}$ [kN] 401,127 OK!

% 100 % OK!

Puristussauvan kaltevuus valitulla hakavälillä ja leikkausraudoituksella

 θ [rad] 0,319366 θ [°] 18,29834 Käytä kulmaa 21,8! (21,8< θ <45)

Leikkausvoimasta pääraudoitukseen aiheutuva lisävetovoima

 ΔF_{td} 500,0357mm² 1150,082 Nykyinen pääraudoitus riittää

KUORMAT

Syöttöperuste:

Mitoitusarvot

Metrikuormat

Hyötykuormat

 Q_k [kN/m] 50

Ulkoiset kuormat

 $G_{\text{ulkoiset,k}}$ [kN/m] 20 V_{Ed} [kN] 257

TAI

Mitoitusarvot

Taivutusmomentti

 M_{Ed} [kNm] 350

Leikkausvoima

 V_{Ed} [kN] 400

RAUDOITUS

Leikkausraudoitus (haat)

Hakojen leikkeisyys

Pääteräs D

Pääteräs lukumäärä

Puristusraudoitus

Puristusraudoitus, lkm

Puristussauvojen kaltevuus

Valittu hakaväli

ϕ_h [mm]	8
n_h	2
ϕ_1 [mm]	20
kpl	4
ϕ_2 [mm]	20
kpl	4
θ [°]	21,8
s [mm]	130

OK! (21,8< θ <45)

OK!

POIKKILEIKKAUSSUUREET

C30/37

Tehollinen korkeus d [mm] 530,2

sisäinen momenttivarsi z [mm] 477,18

L [mm]	5000
b [mm]	280
h [mm]	580
C [mm]	30

MITOITUS

Hakojen kaltevuus

 α [°] 90 Käytetään 90° α [rad] 1,570796

Puristussauvojen kaltevuus

 θ [°] 21,8 OK! (21,8< θ <45) θ [rad] 0,380482

Hakaväli

 s_{lask} [mm] 130,3663 OK! Määrittävä arvo!

Minimi hakaväli

 s_{min} [mm] 409,6955

Max hakaväli

 s_{max} [mm] 397,65

Valittu hakaväli

s [mm] 130 OK!

PURISTUSMURTOKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Betoni)

v 0,528

Käyttöaste $V_{Rd,max}$ [kN] 413,5259 OK!

% 97 % OK!

LEIKKAUSKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Raudoitus)

Käyttöaste $V_{Rd,s}$ [kN] 401,127 OK!

% 100 % OK!

Puristussauvan kaltevuus valitulla hakavälillä ja leikkausraudoituksella

 θ [rad] 0,374447 θ [°] 21,45424 Käytä kulmaa 21,8! (21,8< θ <45)

Leikkausvoimasta pääraudoitukseen aiheutuva lisävetovoima

 ΔF_{td} 500,0357mm² 1150,082 Nykyinen pääraudoitus riittää

KUORMAT

Syöttöperuste:

Mitoitusarvot

Metrikuormat

Hyötykuormat

 Q_k [kN/m] 50

Ulkoiset kuormat

 $G_{\text{ulkoiset,k}}$ [kN/m] 20 V_{Ed} [kN] 265

TAI

Mitoitusarvot

Taivutusmomentti

 M_{Ed} [kNm] 350

Leikkausvoima

 V_{Ed} [kN] 400

RAUDOITUS

Leikkausraudoitus (haat)

Hakojen leikkeisyys

Pääteräs D

Pääteräs lukumäärä

Puristusraudoitus

Puristusraudoitus, lkm

Puristussauvojen kaltevuus

Valittu hakaväli

ϕ_h [mm]	8
n_h	2
ϕ_1 [mm]	20
kpl	4
ϕ_2 [mm]	20
kpl	4
θ [°]	21,8
s [mm]	130

OK! (21,8< θ <45)

OK!

POIKKILEIKKAUSSUUREET

C30/37

Tehollinen korkeus d [mm] 530,2

sisäinen momenttivarsi z [mm] 477,18

L [mm]	5000
b [mm]	480
h [mm]	580
C [mm]	30

MITOITUS

Hakojen kaltevuus

 α [°] 90 Käytetään 90° α [rad] 1,570796

Puristussauvojen kaltevuus

 θ [°] 21,8 OK! (21,8< θ <45) θ [rad] 0,380482

Hakaväli

 s_{lask} [mm] 130,3663 OK! Määrittävä arvo!

Minimi hakaväli

 s_{min} [mm] 238,9891

Max hakaväli

 s_{max} [mm] 397,65

Valittu hakaväli

s [mm] 130 OK!

PURISTUSMURTOKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Betoni)

v 0,528

Käyttöaste $V_{Rd,max}$ [kN] 708,9015 OK!

% 56 % OK!

LEIKKAUSKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Raudoitus)

Käyttöaste $V_{Rd,s}$ [kN] 401,127 OK!

% 100 % OK!

Puristussauvan kaltevuus valitulla hakavälillä ja leikkausraudoituksella

 θ [rad] 0,28312 θ [°] 16,22155 Käytä kulmaa 21,8! (21,8< θ <45)

Leikkausvoimasta pääraudoitukseen aiheutuva lisävetovoima

 ΔF_{td} 500,0357 mm^2 1150,082 Nykyinen pääraudoitus riittää

KUORMAT

Syöttöperuste:

Mitoitusarvot

Metrikuormat

Hyötykuormat

 Q_k [kN/m] 50

Ulkoiset kuormat

 $G_{ulkoiset,k}$ [kN/m] 20 V_{Ed} [kN] 258

TAI

Mitoitusarvot

Taivutusmomentti

 M_{Ed} [kNm] 350

Leikkausvoima

 V_{Ed} [kN] 400

RAUDOITUS

Leikkausraudoitus (haat)

Hakojen leikkeisyys

Pääteräs D

Pääteräs lukumäärä

Puristusraudoitus

Puristusraudoitus, lkm

Puristussauvojen kaltevuus

Valittu hakaväli

ϕ_h [mm]	8
n_h	2
ϕ_1 [mm]	20
kpl	4
ϕ_2 [mm]	20
kpl	4
θ [°]	21,8
s [mm]	130

OK! (21,8< θ <45)

Tarkista arvot!

POIKKILEIKKAUSSUUREET

C30/37

Tehollinen korkeus d [mm] 430,2

sisäinen momenttivarsi z [mm] 387,18

L [mm]	5000
b [mm]	380
h [mm]	480
C [mm]	30

MITOITUS

Hakojen kaltevuus

 α [°] 90 Käytetään 90° α [rad] 1,570796

Puristussauvojen kaltevuus

 θ [°] 21,8 OK! (21,8< θ <45) θ [rad] 0,380482

Hakaväli

 s_{lask} [mm] 105,7781 OK! Määrittävä arvo!

Minimi hakaväli

 s_{min} [mm] 301,8809

Max hakaväli

 s_{max} [mm] 322,65

Valittu hakaväli

s [mm] 130 Tarkista arvot!

PURISTUSMURTOKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Betoni)

v 0,528

Käyttöaste $V_{Rd,max}$ [kN] 455,3642 OK!

% 88 % OK!

LEIKKAUSKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Raudoitus)

Käyttöaste $V_{Rd,s}$ [kN] 325,4712 Tarkista arvot!

% 123 % Tarkista arvot!

Puristussauvan kaltevuus valitulla hakavälillä ja leikkausraudoituksella

 θ [rad] 0,319366 θ [°] 18,29834 Käytä kulmaa 21,8! (21,8< θ <45)

Leikkausvoimasta pääraudoitukseen aiheutuva lisävetovoima

 ΔF_{td} 500,0357mm² 1150,082 Nykyinen pääraudoitus riittää

KUORMAT

Syöttöperuste:

Mitoitusarvot

Metrikuormat

Hyötykuormat

 Q_k [kN/m] 50

Ulkoiset kuormat

 $G_{ulkoiset,k}$ [kN/m] 20 V_{Ed} [kN] 264

TAI

Mitoitusarvot

Taivutusmomentti

 M_{Ed} [kNm] 350

Leikkausvoima

 V_{Ed} [kN] 400

RAUDOITUS

Leikkausraudoitus (haat)

Hakojen leikkeisyys

Pääteräs D

Pääteräs lukumäärä

Puristusraudoitus

Puristusraudoitus, lkm

Puristussauvojen kaltevuus

Valittu hakaväli

ϕ_h [mm]	8
n_h	2
ϕ_1 [mm]	20
kpl	4
ϕ_2 [mm]	20
kpl	4
θ [°]	21,8
s [mm]	130

OK! (21,8< θ <45)

OK!

POIKKILEIKKAUSSUUREET

C30/37

Tehollinen korkeus d [mm] 630,2

sisäinen momenttivarsi z [mm] 567,18

L [mm]	5000
b [mm]	380
h [mm]	680
C [mm]	30

MITOITUS

Hakojen kaltevuus

 α [°] 90 Käytetään 90° α [rad] 1,570796

Puristussauvojen kaltevuus

 θ [°] 21,8 OK! (21,8< θ <45) θ [rad] 0,380482

Hakaväli

 s_{lask} [mm] 154,9544 OK! Määäävä arvo!

Minimi hakaväli

 s_{min} [mm] 301,8809

Max hakaväli

 s_{max} [mm] 472,65

Valittu hakaväli

s [mm] 130 OK!

PURISTUSMURTOKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Betoni)

v 0,528

Käyttöaste $V_{Rd,max}$ [kN] 667,0631 OK!

% 60 % OK!

LEIKKAUSKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Raudoitus)

Käyttöaste $V_{Rd,s}$ [kN] 476,7828 OK!

% 84 % OK!

Puristussauvan kaltevuus valitulla hakavälillä ja leikkausraudoituksella

 θ [rad] 0,319366 θ [°] 18,29834 Käytä kulmaa 21,8! (21,8< θ <45)

Leikkausvoimasta pääraudoitukseen aiheutuva lisävetovoima

 ΔF_{td} 500,0357mm² 1150,082 Nykyinen pääraudoitus riittää

KUORMAT

Syöttöperuste:

Mitoitusarvot

Metrikuormat

Hyötykuormat

 Q_k [kN/m] 50

Ulkoiset kuormat

 $G_{\text{ulkoiset,k}}$ [kN/m] 20 V_{Ed} [kN] 261

TAI

Mitoitusarvot

Taivutusmomentti

 M_{Ed} [kNm] 350

Leikkausvoima

 V_{Ed} [kN] 400

RAUDOITUS

Leikkausraudoitus (haat)

Hakojen leikkeisyys

Pääteräs D

Pääteräs lukumäärä

Puristusraudoitus

Puristusraudoitus, lkm

Puristussauvojen kaltevuus

Valittu hakaväli

ϕ_h [mm]	8
n_h	2
ϕ_1 [mm]	20
kpl	4
ϕ_2 [mm]	20
kpl	4
θ [°]	45
s [mm]	50

OK! (21,8 < θ < 45)

OK!

POIKKILEIKKAUSSUUREET

C30/37

Tehollinen korkeus d [mm] 530,2

sisäinen momenttivarsi z [mm] 477,18

L [mm]	5000
b [mm]	380
h [mm]	580
C [mm]	30

MITOITUS

Hakojen kaltevuus

 α [°] 90

Käytetään 90°

 α [rad] 1,570796

Puristussauvojen kaltevuus

 θ [°] 45OK! (21,8 < θ < 45) θ [rad] 0,785398

Hakaväli

 s_{lask} [mm] 52,14279

OK! Määrittävä arvo!

Minimi hakaväli

 s_{min} [mm] 301,8809

Max hakaväli

 s_{max} [mm] 397,65

Valittu hakaväli

s [mm] 50

OK!

PURISTUSMURTOKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Betoni)

v 0,528

 $V_{Rd,max}$ [kN] 813,8019

OK!

Käyttöaste

% 49 %

OK!

LEIKKAUSKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Raudoitus)

 $V_{Rd,s}$ [kN] 417,1423

OK!

Käyttöaste

% 96 %

OK!

Puristussauvan kaltevuus valitulla hakavälillä ja leikkausraudoituksella

 θ [rad] 0,530835 θ [°] 30,41458OK! (21,8 < θ < 45)

Leikkausvoimasta pääraudoitukseen aiheutuva lisävetovoima

 ΔF_{td} 200mm² 460

Nykyinen pääraudoitus riittää

KUORMAT

Syöttöperuste:

Mitoitusarvot

Metrikuormat

Hyötykuormat

 Q_k [kN/m] 50

Ulkoiset kuormat

 $G_{ulkoiset,k}$ [kN/m] 20 V_{Ed} [kN] 257

TAI

Mitoitusarvot

Taivutusmomentti

 M_{Ed} [kNm] 350

Leikkausvoima

 V_{Ed} [kN] 400

RAUDOITUS

Leikkausraudoitus (haat)

Hakojen leikkeisyys

Pääteräs D

Pääteräs lukumäärä

Puristusraudoitus

Puristusraudoitus, lkm

Puristussauvojen kaltevuus

Valittu hakaväli

ϕ_h [mm]	8
n_h	2
ϕ_1 [mm]	20
kpl	4
ϕ_2 [mm]	20
kpl	4
θ [°]	45
s [mm]	50

OK! (21,8< θ <45)

OK!

POIKKILEIKKAUSSUUREET

C30/37

Tehollinen korkeus d [mm] 530,2

sisäinen momenttivarsi z [mm] 477,18

L [mm]	5000
b [mm]	280
h [mm]	580
C [mm]	30

MITOITUS

Hakojen kaltevuus

 α [°] 90 Käytetään 90° α [rad] 1,570796

Puristussauvojen kaltevuus

 θ [°] 45 OK! (21,8< θ <45) θ [rad] 0,785398

Hakaväli

 s_{lask} [mm] 52,14279 OK! Määrittävä arvo!

Minimi hakaväli

 s_{min} [mm] 409,6955

Max hakaväli

 s_{max} [mm] 397,65

Valittu hakaväli

s [mm] 50 OK!

PURISTUSMURTOKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Betoni)

v 0,528

Käyttöaste $V_{Rd,max}$ [kN] 599,6435 OK!

% 67 % OK!

LEIKKAUSKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Raudoitus)

Käyttöaste $V_{Rd,s}$ [kN] 417,1423 OK!

% 96 % OK!

Puristussauvan kaltevuus valitulla hakavälillä ja leikkausraudoituksella

 θ [rad] 0,63077 θ [°] 36,14049 OK! (21,8< θ <45)

Leikkausvoimasta pääraudoitukseen aiheutuva lisävetovoima

 ΔF_{td} 200mm² 460 Nykyinen pääraudoitus riittää

KUORMAT

Syöttöperuste:

Mitoitusarvot

Metrikuormat

Hyötykuormat

 Q_k [kN/m] 50

Ulkoiset kuormat

 $G_{ulkoiset,k}$ [kN/m] 20 V_{Ed} [kN] 265

TAI

Mitoitusarvot

Taivutusmomentti

 M_{Ed} [kNm] 350

Leikkausvoima

 V_{Ed} [kN] 400

RAUDOITUS

Leikkausraudoitus (haat)

Hakojen leikkeisyys

Pääteräs D

Pääteräs lukumäärä

Puristusraudoitus

Puristusraudoitus, lkm

Puristussauvojen kaltevuus

Valittu hakaväli

ϕ_h [mm]	8
n_h	2
ϕ_1 [mm]	20
kpl	4
ϕ_2 [mm]	20
kpl	4
θ [°]	45
s [mm]	50

OK! (21,8< θ <45)

OK!

POIKKILEIKKAUSSUUREET

C30/37

Tehollinen korkeus d [mm] 530,2

sisäinen momenttivarsi z [mm] 477,18

L [mm]	5000
b [mm]	480
h [mm]	580
C [mm]	30

MITOITUS

Hakojen kaltevuus

 α [°] 90 Käytetään 90° α [rad] 1,570796

Puristussauvojen kaltevuus

 θ [°] 45 OK! (21,8< θ <45) θ [rad] 0,785398

Hakaväli

 s_{lask} [mm] 52,14279 OK! Määrittävä arvo!

Minimi hakaväli

 s_{min} [mm] 238,9891

Max hakaväli

 s_{max} [mm] 397,65

Valittu hakaväli

s [mm] 50 OK!

PURISTUSMURTOKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Betoni)

v 0,528

Käyttöaste $V_{Rd,max}$ [kN] 1027,96 OK!

% 39 % OK!

LEIKKAUSKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Raudoitus)

Käyttöaste $V_{Rd,s}$ [kN] 417,1423 OK!

% 96 % OK!

Puristussauvan kaltevuus valitulla hakavälillä ja leikkausraudoituksella

 θ [rad] 0,46726 θ [°] 26,77205 OK! (21,8< θ <45)

Leikkausvoimasta pääraudoitukseen aiheutuva lisävetovoima

 ΔF_{td} 200mm² 460 Nykyinen pääraudoitus riittää

KUORMAT

Syöttöperuste:

Mitoitusarvot

Metrikuormat

Hyötykuormat

 Q_k [kN/m] 50

Ulkoiset kuormat

 $G_{ulkoiset,k}$ [kN/m] 20 V_{Ed} [kN] 258

TAI

Mitoitusarvot

Taivutusmomentti

 M_{Ed} [kNm] 350

Leikkausvoima

 V_{Ed} [kN] 400

RAUDOITUS

Leikkausraudoitus (haat)

Hakojen leikkeisyys

Pääteräs D

Pääteräs lukumäärä

Puristusraudoitus

Puristusraudoitus, lkm

Puristussauvojen kaltevuus

Valittu hakaväli

ϕ_h [mm]	8
n_h	2
ϕ_1 [mm]	20
kpl	4
ϕ_2 [mm]	20
kpl	4
θ [°]	45
s [mm]	50

OK! (21,8< θ <45)

Tarkista arvot!

POIKKILEIKKAUSSUUREET

C30/37

Tehollinen korkeus d [mm] 430,2

sisäinen momenttivarsi z [mm] 387,18

L [mm]	5000
b [mm]	380
h [mm]	480
C [mm]	30

MITOITUS

Hakojen kaltevuus

 α [°] 90 Käytetään 90° α [rad] 1,570796

Puristussauvojen kaltevuus

 θ [°] 45 OK! (21,8< θ <45) θ [rad] 0,785398

Hakaväli

 s_{lask} [mm] 42,30824 OK! Määrittävä arvo!

Minimi hakaväli

 s_{min} [mm] 301,8809

Max hakaväli

 s_{max} [mm] 322,65

Valittu hakaväli

s [mm] 50 Tarkista arvot!

PURISTUSMURTOKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Betoni)

v 0,528

Käyttöaste $V_{Rd,max}$ [kN] 660,3123 OK!

% 61 % OK!

LEIKKAUSKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Raudoitus)

Käyttöaste $V_{Rd,s}$ [kN] 338,4659 Tarkista arvot!

% 118 % Tarkista arvot!

Puristussauvan kaltevuus valitulla hakavälillä ja leikkausraudoituksella

 θ [rad] 0,530835 θ [°] 30,41458 OK! (21,8< θ <45)

Leikkausvoimasta pääraudoitukseen aiheutuva lisävetovoima

 ΔF_{td} 200mm² 460 Nykyinen pääraudoitus riittää

KUORMAT

Syöttöperuste:

Mitoitusarvot

Metrikuormat

Hyötykuormat

 Q_k [kN/m] 50

Ulkoiset kuormat

 $G_{\text{ulkoiset,k}}$ [kN/m] 20 V_{Ed} [kN] 264

TAI

Mitoitusarvot

Taivutusmomentti

 M_{Ed} [kNm] 350

Leikkausvoima

 V_{Ed} [kN] 400

RAUDOITUS

Leikkausraudoitus (haat)

Hakojen leikkeisyys

Pääteräs D

Pääteräs lukumäärä

Puristusraudoitus

Puristusraudoitus, lkm

Puristussauvojen kaltevuus

Valittu hakaväli

ϕ_h [mm]	8
n_h	2
ϕ_1 [mm]	20
kpl	4
ϕ_2 [mm]	20
kpl	4
θ [°]	45
s [mm]	50

OK! (21,8< θ <45)

OK!

POIKKILEIKKAUSSUUREET

C30/37

Tehollinen korkeus d [mm] 630,2

sisäinen momenttivarsi z [mm] 567,18

L [mm]	5000
b [mm]	380
h [mm]	680
C [mm]	30

MITOITUS

Hakojen kaltevuus

 α [°] 90 Käytetään 90° α [rad] 1,570796

Puristussauvojen kaltevuus

 θ [°] 45 OK! (21,8< θ <45) θ [rad] 0,785398

Hakaväli

 s_{lask} [mm] 61,97734 OK! Määrittävä arvo!

Minimi hakaväli

 s_{min} [mm] 301,8809

Max hakaväli

 s_{max} [mm] 472,65

Valittu hakaväli

s [mm] 50 OK!

PURISTUSMURTOKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Betoni)

v 0,528

Käyttöaste $V_{Rd,max}$ [kN] 967,2915 OK!

% 41 % OK!

LEIKKAUSKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Raudoitus)

Käyttöaste $V_{Rd,s}$ [kN] 495,8187 OK!

% 81 % OK!

Puristussauvan kaltevuus valitulla hakavälillä ja leikkausraudoituksella

 θ [rad] 0,530835 θ [°] 30,41458 OK! (21,8< θ <45)

Leikkausvoimasta pääraudoitukseen aiheutuva lisävetovoima

 ΔF_{td} 200mm² 460 Nykyinen pääraudoitus riittää

KUORMAT

Syöttöperuste:

Mitoitusarvot

Metrikuormat

Hyötykuormat

 Q_k [kN/m] 50

Ulkoiset kuormat

 $G_{ulkoiset,k}$ [kN/m] 20 V_{Ed} [kN] 261

TAI

Mitoitusarvot

Taivutusmomentti

 M_{Ed} [kNm] 350

Leikkausvoima

 V_{Ed} [kN] 400

RAUDOITUS

Leikkausraudoitus (haat)

Hakojen leikkeisyys

Pääteras D

Pääteras lukumäärä

Puristusraudoitus

Puristusraudoitus, lkm

Puristussauvojen kaltevuus

Valittu hakaväli

ϕ_h [mm]	8
n_h	2
ϕ_1 [mm]	20
kpl	4
ϕ_2 [mm]	20
kpl	4
θ [°]	33
s [mm]	80

OK! (21,8< θ <45)

OK!

POIKKILEIKKAUSSUUREET

C30/37

Tehollinen korkeus d [mm] 530,2

sisäinen momenttivarsi z [mm] 477,18

L [mm]	5000
b [mm]	380
h [mm]	580
C [mm]	30

MITOITUS

Hakojen kaltevuus

 α [°] 90 Käytetään 90° α [rad] 1,570796

Puristussauvojen kaltevuus

 θ [°] 33 OK! (21,8< θ <45) θ [rad] 0,575959

Hakaväli

 s_{lask} [mm] 80,29285 OK! Määäävä arvo!

Minimi hakaväli

 s_{min} [mm] 301,8809

Max hakaväli

 s_{max} [mm] 397,65

Valittu hakaväli

s [mm] 80 OK!

PURISTUSMURTOKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Betoni)

v 0,528

Käyttöaste $V_{Rd,max}$ [kN] 743,445 OK!

% 54 % OK!

LEIKKAUSKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Raudoitus)

Käyttöaste $V_{Rd,s}$ [kN] 401,4643 OK!

% 100 % OK!

Puristussauvan kaltevuus valitulla hakavälillä ja leikkausraudoituksella

 θ [rad] 0,411766 θ [°] 23,59245 OK! (21,8< θ <45)

Leikkausvoimasta pääraudoitukseen aiheutuva lisävetovoima

 ΔF_{td} 307,973mm² 708,3379 Nykyinen pääraudoitus riittää

KUORMAT

Syöttöperuste:

Mitoitusarvot

Metrikuormat

Hyötykuormat

 Q_k [kN/m] 50

Ulkoiset kuormat

 $G_{\text{ulkoiset,k}}$ [kN/m] 20 V_{Ed} [kN] 261

TAI

Mitoitusarvot

Taivutusmomentti

 M_{Ed} [kNm] 350

Leikkausvoima

 V_{Ed} [kN] 400

RAUDOITUS

Leikkausraudoitus (haat)

Hakojen leikkeisyys

Pääteräs D

Pääteräs lukumäärä

Puristusraudoitus

Puristusraudoitus, lkm

Puristussauvojen kaltevuus

Valittu hakaväli

ϕ_h [mm]	10
n_h	2
ϕ_1 [mm]	20
kpl	4
ϕ_2 [mm]	20
kpl	4
θ [°]	21,8
s [mm]	200

OK! (21,8< θ <45)

OK!

POIKKILEIKKAUSSUUREET

C30/37

Tehollinen korkeus d [mm] 528

sisäinen momenttivarsi z [mm] 475,2

L [mm]	5000
b [mm]	380
h [mm]	580
C [mm]	30

MITOITUS

Hakojen kaltevuus

 α [°] 90 Käytetään 90° α [rad] 1,570796

Puristussauvojen kaltevuus

 θ [°] 21,8 OK! (21,8< θ <45) θ [rad] 0,380482

Hakaväli

 s_{lask} [mm] 202,8521 OK! Määrittävä arvo!

Minimi hakaväli

 s_{min} [mm] 471,6889

Max hakaväli

 s_{max} [mm] 396

Valittu hakaväli

s [mm] 200 OK!

PURISTUSMURTOKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Betoni)

v 0,528

Käyttöaste $V_{Rd,max}$ [kN] 558,885 OK!

% 72 % OK!

LEIKKAUSKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Raudoitus)

Käyttöaste $V_{Rd,s}$ [kN] 405,7042 OK!

% 99 % OK!

Puristussauvan kaltevuus valitulla hakavälillä ja leikkausraudoituksella

 θ [rad] 0,321941 θ [°] 18,44585 Käytä kulmaa 21,8! (21,8< θ <45)

Leikkausvoimasta pääraudoitukseen aiheutuva lisävetovoima

 ΔF_{td} 500,0357mm² 1150,082 Nykyinen pääraudoitus riittää σ 3,557972

KUORMAT

Syöttöperuste:

Mitoitusarvot

Metrikuormat

Hyötykuormat

 Q_k [kN/m] 50

Ulkoiset kuormat

 $G_{\text{ulkoiset,k}}$ [kN/m] 20 V_{Ed} [kN] 261

TAI

Mitoitusarvot

Taivutusmomentti

 M_{Ed} [kNm] 350

Leikkausvoima

 V_{Ed} [kN] 400

RAUDOITUS

Leikkausraudoitus (haat)

Hakojen leikkeisyys

Pääteräs D

Pääteräs lukumäärä

Puristusraudoitus

Puristusraudoitus, lkm

Puristussauvojen kaltevuus

Valittu hakaväli

ϕ_h [mm]	10
n_h	2
ϕ_1 [mm]	20
kpl	4
ϕ_2 [mm]	20
kpl	4
θ [°]	45
s [mm]	80

OK! (21,8< θ <45)

OK!

POIKKILEIKKAUSSUUREET

C30/37

Tehollinen korkeus

d [mm] 528

sisäinen momenttivarsi

z [mm] 475,2

L [mm]	5000
b [mm]	380
h [mm]	580
C [mm]	30

MITOITUS

Hakojen kaltevuus

 α [°] 90 Käytetään 90° α [rad] 1,570796

Puristussauvojen kaltevuus

 θ [°] 45 OK! (21,8< θ <45) θ [rad] 0,785398

Hakaväli

 s_{lask} [mm] 81,13505 OK! Määrittävä arvo!

Minimi hakaväli

 s_{min} [mm] 471,6889

Max hakaväli

 s_{max} [mm] 396

Valittu hakaväli

s [mm] 80 OK!

PURISTUSMURTOKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Betoni)

v 0,528

Käyttöaste

 $V_{Rd,max}$ [kN] 810,4251 OK!

% 49 % OK!

LEIKKAUSKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Raudoitus)

Käyttöaste

 $V_{Rd,s}$ [kN] 405,6752 OK!

% 99 % OK!

Puristussauvan kaltevuus valitulla hakavälillä ja leikkausraudoituksella

 θ [rad] 0,523928 θ [°] 30,01888 OK! (21,8< θ <45)

Leikkausvoimasta pääraudoitukseen aiheutuva lisävetovoima

 ΔF_{td} 200mm² 460 Nykyinen pääraudoitus riittää

KUORMAT

Syöttöperuste:

Mitoitusarvot

Metrikuormat

Hyötykuormat

 Q_k [kN/m] 50

Ulkoiset kuormat

 $G_{ulkoiset,k}$ [kN/m] 20 V_{Ed} [kN] 261

TAI

Mitoitusarvot

Taivutusmomentti

 M_{Ed} [kNm] 350

Leikkausvoima

 V_{Ed} [kN] 500

RAUDOITUS

Leikkausraudoitus (haat)

Hakojen leikkeisyys

Pääteräs D

Pääteräs lukumäärä

Puristusraudoitus

Puristusraudoitus, lkm

Puristussauvojen kaltevuus

Valittu hakaväli

ϕ_h [mm]	8
n_h	2
ϕ_1 [mm]	20
kpl	4
ϕ_2 [mm]	20
kpl	4
θ [°]	21,8
s [mm]	100

OK! (21,8< θ <45)

OK!

POIKKILEIKKAUSSUUREET

C30/37

Tehollinen korkeus d [mm] 530,2

sisäinen momenttivarsi z [mm] 477,18

L [mm]	5000
b [mm]	380
h [mm]	580
C [mm]	30

MITOITUS

Hakojen kaltevuus α [°] 90 Käytetään 90° α [rad] 1,570796Puristussauvojen kaltevuus θ [°] 21,8 OK! (21,8< θ <45) θ [rad] 0,380482Hakaväli s_{lask} [mm] 104,293 OK! Määrittävä arvo!Minimi hakaväli s_{min} [mm] 301,8809Max hakaväli s_{max} [mm] 397,65

Valittu hakaväli s [mm] 100 OK!

PURISTUSMURTOKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Betoni)

v 0,528

Käyttöaste $V_{Rd,max}$ [kN] 561,2137 OK!

% 89 % OK!

LEIKKAUSKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Raudoitus)

Käyttöaste $V_{Rd,s}$ [kN] 521,4651 OK!

% 96 % OK!

Puristussauvan kaltevuus valitulla hakavälillä ja leikkausraudoituksella

 θ [rad] 0,366098 θ [°] 20,97589 Käytä kulmaa 21,8! (21,8< θ <45)

Leikkausvoimasta pääraudoitukseen aiheutuva lisävetovoima

 ΔF_{td} 625,0446 mm^2 1437,603 Määrittävä arvo!

KUORMAT

Syöttöperuste:

Mitoitusarvot

Metrikuormat

Hyötykuormat

 Q_k [kN/m] 50

Ulkoiset kuormat

 $G_{\text{ulkoiset,k}}$ [kN/m] 20 V_{Ed} [kN] 261

TAI

Mitoitusarvot

Taivutusmomentti

 M_{Ed} [kNm] 350

Leikkausvoima

 V_{Ed} [kN] 600

RAUDOITUS

Leikkausraudoitus (haat)

Hakojen leikkeisyys

Pääteräs D

Pääteräs lukumäärä

Puristusraudoitus

Puristusraudoitus, lkm

Puristussauvojen kaltevuus

Valittu hakaväli

ϕ_h [mm]	8
n_h	2
ϕ_1 [mm]	20
kpl	4
ϕ_2 [mm]	20
kpl	4
θ [°]	21,8
s [mm]	85

OK! (21,8< θ <45)

OK!

POIKKILEIKKAUSSUUREET

C30/37

Tehollinen korkeus d [mm] 530,2

sisäinen momenttivarsi z [mm] 477,18

L [mm]	5000
b [mm]	380
h [mm]	580
C [mm]	30

MITOITUS

Hakojen kaltevuus

 α [°] 90 Käytetään 90° α [rad] 1,570796

Puristussauvojen kaltevuus

 θ [°] 21,8 OK! (21,8< θ <45) θ [rad] 0,380482

Hakaväli

 s_{lask} [mm] 86,91085 OK! Määrittävä arvo!

Minimi hakaväli

 s_{min} [mm] 301,8809

Max hakaväli

 s_{max} [mm] 397,65

Valittu hakaväli

s [mm] 85 OK!

PURISTUSMURTOKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Betoni)

v 0,528

Käyttöaste

 $V_{Rd,max}$ [kN] 561,2137 Tarkista arvot!

% 107 % Tarkista arvot!

LEIKKAUSKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Raudoitus)

Käyttöaste

 $V_{Rd,s}$ [kN] 613,4883 OK!

% 98 % OK!

Puristussauvan kaltevuus valitulla hakavälillä ja leikkausraudoituksella

 θ [rad] 0,398763 θ [°] 22,84742 OK! (21,8< θ <45)

Leikkausvoimasta pääraudoitukseen aiheutuva lisävetovoima

 ΔF_{td} 750,0535 mm^2 1725,123 Määrittävä arvo!

KUORMAT

Syöttöperuste:

Mitoitusarvot

Metrikuormat

Hyötykuormat

 Q_k [kN/m] 50

Ulkoiset kuormat

 $G_{ulkoiset,k}$ [kN/m] 20 V_{Ed} [kN] 261

TAI

Mitoitusarvot

Taivutusmomentti

 M_{Ed} [kNm] 350

Leikkausvoima

 V_{Ed} [kN] 600

RAUDOITUS

Leikkausraudoitus (haat)

Hakojen leikkeisyys

Pääteräs D

Pääteräs lukumäärä

Puristusraudoitus

Puristusraudoitus, lkm

Puristussauvojen kaltevuus

Valittu hakaväli

ϕ_h [mm]	8
n_h	2
ϕ_1 [mm]	20
kpl	4
ϕ_2 [mm]	20
kpl	4
θ [°]	24
s [mm]	75

OK! (21,8< θ <45)

OK!

POIKKILEIKKAUSSUUREET

C30/37

Tehollinen korkeus d [mm] 530,2

sisäinen momenttivarsi z [mm] 477,18

L [mm]	5000
b [mm]	380
h [mm]	580
C [mm]	30

MITOITUS

Hakojen kaltevuus

 α [°] 90 Käytetään 90° α [rad] 1,570796

Puristussauvojen kaltevuus

 θ [°] 24 OK! (21,8< θ <45) θ [rad] 0,418879

Hakaväli

 s_{lask} [mm] 78,07641 OK! Määrittävä arvo!

Minimi hakaväli

 s_{min} [mm] 301,8809

Max hakaväli

 s_{max} [mm] 397,65

Valittu hakaväli

s [mm] 75 OK!

PURISTUSMURTOKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Betoni)

v 0,528

Käyttöaste $V_{Rd,max}$ [kN] 604,7726 OK!

% 99 % OK!

LEIKKAUSKESTÄVYYDEN YLÄRAJA (Raudoitus)

Käyttöaste $V_{Rd,s}$ [kN] 624,6113 OK!

% 96 % OK!

Puristussauvan kaltevuus valitulla hakavälillä ja leikkausraudoituksella

 θ [rad] 0,426134 θ [°] 24,4157 OK! (21,8< θ <45)

Leikkausvoimasta pääraudoitukseen aiheutuva lisävetovoima

 ΔF_{td} 673,811 mm^2 1549,765 Määrittävä arvo!