

Sanni Piispa

BETONIRAKENTEIDEN MITOITUS JA STACK-JÄRJESTELMÄ

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Rakennustekniikan koulutus

2024



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä	Sanni Piispa
Työn nimi	Betonirakenteiden mitoitus ja STACK-järjestelmä
Toimeksiantaja	Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu
Vuosi	2024
Sivut	46 sivua, liitteitä 48 sivua
Työn ohjaajat	Viivi Etholén, Jani Pitkänen, Marko Voutilainen

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda STACK-järjestelmän avulla tehtäviä betonirakenteiden suunnittelukurssille opettajien työtaakan vähentämiseksi. Työ tehtiin Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoululle.

Tämä työ aloitettiin perehtymällä betoniin rakennusmateriaalina sekä betonirakenteiden mitoitukseen pilari, palkki ja massiivilaattarakenteiden osalta. Teoriaosuudessa käsitellään kovettuneen betonin ominaisuuksia sekä betonirakenteiden mitoitusta esimerkkilaskuja apuna käyttäen. Teoriaosuudessa esitellään myös STACK-järjestelmä ja tarkastellaan laskelmien siirtoa tämän järjestelmän kautta betonirakenteiden suunnittelukurssilla käytettävälle Learn-alustalle.

Työn tuloksena tilaajalle saatiin STACK-järjestelmän avulla harjoitustehtäviä betonipalkin leikkaus- ja puristusraudoituksen sekä pilarin ja laatan raudoituksen osalta. Tilaajalle tehtiin myös lyhyt ohjeistus betonirakenteiden mitoitukseen liittyvien laskelmien siirrosta STACK-järjestelmään, jotta jatkossa tehtäviä on helpompi tehdä.

Asiasanat: teräsbetonirakenteet, mitoitus, STACK

Degree title	Bachelor of Engineering
Author	Sanni Piispa
Thesis title	Dimensioning of concrete structures and STACK system
Commissioned by	South-Eastern Finland University of Applied Sciences
Time	2024
Pages	49 pages, 48 pages of appendices
Supervisor	Viivi Etholén, Jani Pitkänen, Marko Voutilainen

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to use the STACK system to create tasks for a concrete structure design course in order to reduce the workload of teachers. The work was done for the South-eastern Finland University of Applied Sciences.

This thesis started by getting to know concrete as a building material and the dimensioning of concrete structures for columns, beams and solid slab structures. The theoretical part discusses the properties of hardened concrete and the dimensioning of concrete structures with the help of example calculations. The theory part also introduces the STACK system and examines the transfer of calculations through this system to Learn platform used in the concrete structure design course.

As a result of the work, using the STACK system, the customer was given the practice tasks of cutting and compression reinforcement of a concrete beam and dimensioning of a column and a slab. The customer was also given short instructions on how to transfer the calculations related to the dimensioning of concrete structures to the STACK system, so that tasks will be easier to do in the future.

Keywords: reinforced concrete structures, dimensioning, STACK

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	BETONI	6
2.1	Betonin raaka-aineet ja valmistus	6
2.2	Kovettuneen betonin ominaisuudet.....	8
2.3	Betoniteräksset.....	14
3	BETONIRAKENTEIDEN SUUNNITTELUPERUSTEET	14
3.1	Suunnitteluohjeet	14
3.2	Toteutusluokat ja materiaalien osavarmuuskertoimet.....	15
3.3	Betonin ja raudituksen yhteistoiminta	16
3.4	Tartunta ja ankkuroituminen	16
4	TERÄSBETONIPALKKI.....	17
5	TERÄSBETONIPILARI	26
6	MASSIIVILAATTA.....	30
7	STACK-JÄRJESTELMÄ	32
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA KEHITYSEHDOTUKSET	45
	LÄHTEET.....	46

LIITTEET

Liite 1. STACK-ohjeistus

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksen on luoda STACK-järjestelmän avulla betonirakenteiden mitoittamiseen liittyviä tehtäviä betonirakenteiden suunnittelukursseille opettajan työtaakan vähentämiseksi. Opettajat käyttävät monia tunteja pitkien laskuharjoitusten tarkistamiseen, jonka STACK-järjestelmä tekee heidän puolestaan. Opinnäytetyö tulee helpottamaan opettajien työnkuormitusta sekä ohjaamaan opiskelijoita digitalisaation tuomiin muutoksiin, myös laskennan osalta.

Opinnäytetyön tavoitteena on saada selkeä ohjeistus betonirakenteiden mitoittamiseen liittyvien laskelmien siirrosta STACK-järjestelmään sekä tuottaa hyödyllistä opetusmateriaalia betonirakenteiden suunnittelukursseille harjoituslaskujen muodossa.

Työ tulee sisältämään STACK-järjestelmän lyhyen käyttöohjeen opettajille, jonka avulla laskelmat saadaan helposti siirrettyä paperilta tietokoneohjelmaan. Työssä tutustutaan myös betoniin rakennusmateriaalina, betonirakenteisiin pilarin, palkkien ja massiivilaatan osalta sekä käydään läpi niiden mitoitusprosessia ja näiden laskelmien siirtoa STACK-järjestelmään.

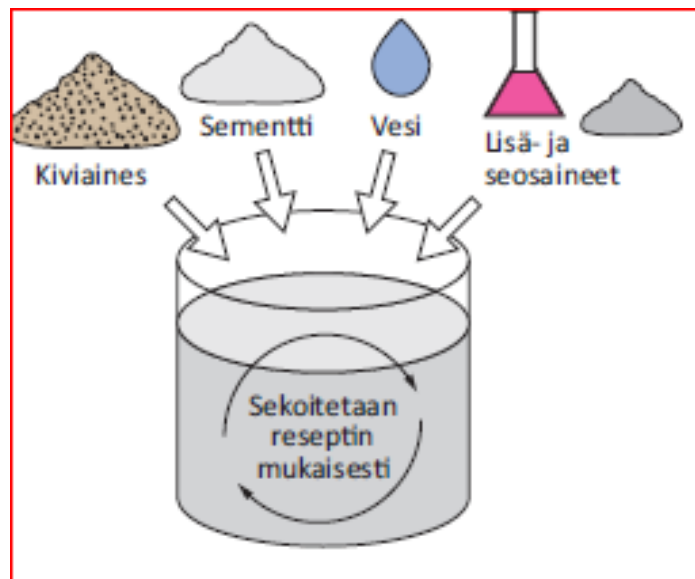
Työ tehdään Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoululle. Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu eli XAMK toimii neljällä paikkakunnalla Kotkassa, Kouvolassa, Mikkelissä ja Savonlinnassa. Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulussa opiskelee yhteensä yli 12 000 opiskelijaa 50 amk-koulutuksessa sekä 30 yamk-koulutuksessa (XAMK s.a).

2 BETONI

Betoni on rakennusmateriaalina ekotehokas, monikäyttöinen, kestävä ja helposti muovattava taloudellinen materiaali. Betoni soveltuu esimerkiksi kosteuden keston, lujuuden sekä turvallisuuden vuoksi loistavasti moniin käyttötarkoituksiin kuten rakennuksien runkorakenteisiin, siltarakentamiseen sekä tunneleihin (Suomen betoniyhdistys 2018, 13). Betonirakenteiden säilyvyyteen vaikuttavat ympäristöolosuhteet, rakennuksen muoto, raudituksen sijainti sekä valmistusvaiheen työnlaatu (Suomen betoniyhdistys 2008, 49).

2.1 Betonin raaka-aineet ja valmistus

Betoni valmistetaan sementistä, kiviaineksesta, vedestä sekä useista seos- ja lisäaineista. Suhteuttamalla betonia eli säätelemällä betonin osa-aineiden suhteita on mahdollista muokata betonin ominaisuuksia (Suomen betoniyhdistys 2018, 24).



Kuva 1. Betonin pääraaka-aineet (Suomen betoniyhdistys 2018, 24)

Betonin kovettumisaika riippuu lämpötilasta, sementtilaadusta ja muista käytetyistä aineista, jota massassa on mukana. Betoni saavuttaa suunnitellun lujuutensa 3–28 vuorokauden kuluttua, kun sementtirakeet ja vesi reagoivat keskenään (Betoniteollisuus ry. s.a).

2.1.1 Sementti

Sementti on valmistettu luonnonmineraaleista, pääosin kalkkikiviestä, jota on maapallolla saatavilla runsaasti. Sekoittuessaan veden kanssa sementti muodostaa lujan mineraalin eli sementtikiven, joka sitoo raudoituksen ja kiviainesrakeet toisiinsa tiiviiksi rakenteeksi (Betoniteollisuus ry. s.a).

Sementin tärkeitä ominaisuuksia ovat muun muassa lujuus, seos- ja lisäaineet, sementin reaktiot veden kanssa, sitoutuminen, lujuudenkehitys, säilyvyys sekä kemiallinen koostumus. Sementin kemiallinen koostumus vaikuttaa muun muassa betonin työstettävyyteen, lämmön- ja lujuudenkehitykseen sekä betonin säilyvyyteen (Suomen betoniyhdistys 2018,35).

Betoninvalmistuksessa käytettävien sementtien tulee olla CE-merkittyjä sekä täyttää standardin SFS-EN 197-1 vaatimukset (Suomen betoniyhdistys 2016, 28).

2.1.2 Kiviaines

Suurin osa, noin 70 % betonin tilavuudesta koostuu runkoaineesta eli kiviaineksesta. Kiviainekseksi voidaan valita luonnon kiviaineksia. Betonin valmistamiseen soveltuvat hyvin raskaat malmipitoiset tai kevyet vulkaaniset kiviainekset. Suomessa käytetään yleisimmin graniittipohjaista luonnonkiviainesta (Suomen betoniyhdistys 2018, 43).

Käytettävällä kiviaineksella on fysikaalisia, geometrisiä, mekaanisia sekä kemiallisia vaatimuksia, jotta käytettävä kiviaines ei vahingoita betonimassan, raudoituksen tai kovettuneen betonin ominaisuuksia. Kiviaines ei saa olla rapautunutta eikä sisältää epäpuhtauksia, kuten roskia, savikokkareita, öljyä tai jätteitä (Suomen betoniyhdistys 2018, 45).

2.1.3 Vesi

Betonin valmistuksessa voidaan lähes aina käyttää vesijohtoverkosta otettua vettä tai juomakelpoista luonnonvettä. Valmistuksessa käytettävän veden on

oltava puhdasta. Humuspitoinen suovesi tai järvivesi häiritsee betonin kovettumista. Myös sokeripitoinen vesi hidastaa tai jopa estää betonin kovettumisen kokonaan (Betoniteollisuus ry. s.a).

2.1.4 Seosaineet

Betonin side- ja runkoaineena voi käyttää mineraalisia seosaineita, eli lentotuhkaa, masuunikuonajauhetta, masuunikuonaa, ilmajäädetyttä ferrokromikuonaa sekä silikaa. Edellä mainittujen seosaineiden enimmäismäärät riippuvat käytettävän sementin seosainemäärästä sekä betonirakenteen rasitusluokasta. Seosaineiden kelpoisuus todetaan CE-merkinnällä, rakennustuotteiden tuotehyväksyntälain mukaisella varmennustodistuksella tai tyyppihyväksynnällä (Suomen betoniyhdistys 2018, 56–59).

2.2 Lisäaineet

Lisäaineet pyrkivät parantamaan betonin teknisiä ominaisuuksia sekä taloudellista kilpailukykyä. Ilman lisäaineita esimerkiksi pakkasenkestävää betonia olisi vaikea valmistaa. Lisäaineet vaikuttavat joko fysikaalisesti tai kemiallisesti, jonka vuoksi niiden käytössä on oltava erityisen huolellinen.

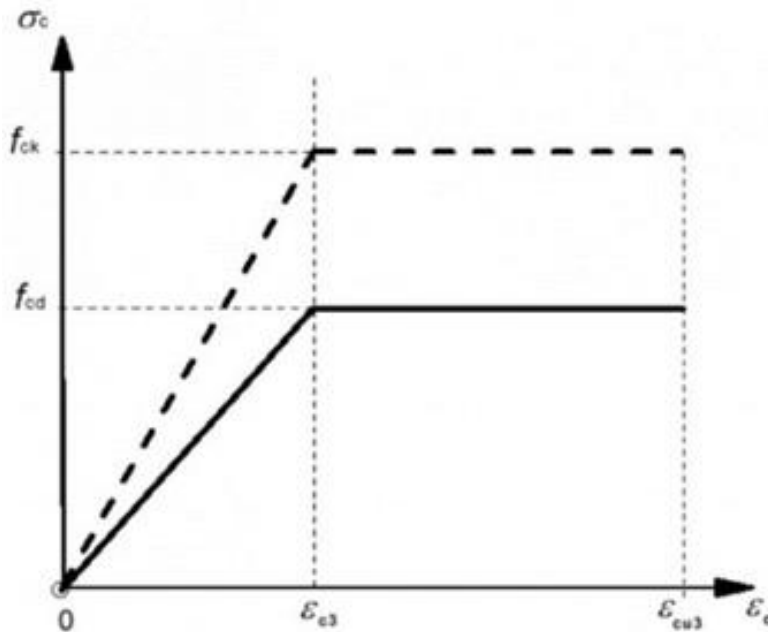
Lisäaineita käytettäessä ei saa ylittää valmistajan suositeltavaa suurinta annostusta. Lisäaineita käytettäessä on kiinnitettävä huomiota myös sementin määrään ja laatuun, runkoaineen rakeisuuteen, muihin lisäaineisiin, annostusjärjestykseen, lämpötilaan sekä betonisekoittimen tehoon (Suomen betoniyhdistys 2018, 60).

2.3 Kovettuneen betonin ominaisuudet

Kovettuneen betonin tärkeimpiä ominaisuuksia ovat lujuus sekä säilyvyys erilaisissa rasitustilanteissa. Suomen ilmasto-olosuhteiden vuoksi pakkasen kestävyys sekä pakkas-suolarasituksen kestävyys ovat rakenteiden säilyvyyden kannalta tärkeitä ominaisuuksia. Muita betonirakenteiden toimivuuden kannalta huomioon otettavia ominaisuuksia ovat betonin muodonmuutokset esimerkiksi kuivumiskutistuminen, kimmainen muodonmuutos, tiiviys ja viruminen (Suomen betoniyhdistys 2018, 69).

2.3.1 Jännitys-muodonmuutosriippuvuus

Jännitys-muodonmuutosriippuvuutta tarvitaan määriteltäessä poikkileikkauksen jännityksiä ja muodonmuutoksia. Kuvassa 2 on yksinkertaistettu betonin jännitys – muodonmuutosriippuvuus.



Kuva 2. Yksinkertaistettu jännitys-muodonmuutosyhteys (Jännitys-muodonmuutosriippuvuus. s.a)

2.3.2 Kimmokerroin

Kimmokertoimen avulla kuvataan kappaleeseen kohdistuneen jännityksen suhdetta sen aikaansaamaan suhteelliseen venymään. Suuren kimmokertoimen omaavat materiaalit ovat jäykempiä kuin pienen kimmokertoimen omaavat. Kuormituksen ollessa lyhytaikaista betonin kimmokerroin saadaan kaavasta:

$$E_{cm} = 22(0,10 \times f_{cm})^{0,3} [GPa] \quad (1)$$

jossa f_{cm} Betonin puristuslujuuden keskiarvo [MPa]

Kaavan arvoilla on mahdollista laskea kvartsiittipohjaisen kiviaineksen, kuten graniitin, kimmokerroin. Muita kiviaineksia varten käytetään taulukon 1 arvoja.

Taulukko 1. Kimmokertoimen korjauskertoimet kiviaineksen laadun perusteella (Suomen betoniyhdistys 2018, 94)

Kiviaines	Korjauskerroin
Basaltti	1,20
Kalkkikivi	0,90
Hiekkakivi	0,70

2.3.3 Kuivumiskutistuma

Kovettuneessa betonissa kuivumiskutistuma (ε_{sd}) johtuu veden poistumisesta betonin huokosista, jonka seurauksena kiinteät osat pakkautuvat lähemmäs toisiaan ja betoni kutistuu.

Betonin kuivumiskutistumista lisää vesimäärän tai hienoainesmäärän lisääminen, betonin huokoistaminen, ympäristön kuivuus sekä kevytsoran käyttö (Suomen betoniyhdistys 2018, 97).

2.3.4 Lujuudenkehitys

Betonin lujuudenkehitystä voidaan arvioida muun muassa muotipurkuhetkeä määriteltessä tai arvioidessa betonin varhaisvaiheen halkeilua. Betonin lujuudenkehitys riippuu sementtityypistä ja mahdollisista seosaineista, betonin lämpötilasta sekä jälkihoito-olosuhteista.

Lujuudenkehitys voidaan arvioida tietokonesovelluksien avulla etukäteen tai laskea rakenteesta mitattujen lämpötilojen avulla. Lujuutta voidaan arvioida myös Sadgroven kaavan avulla, joka on Suomessa yleisimmin käytetty kaava betonin iän korjaamiseksi:

$$t_{20} = \left(\frac{T + 16^{\circ}\text{C}}{36^{\circ}\text{C}} \right)^2 t \quad (2)$$

jossa T on betonin lämpötila aikana t [°C]
 t on kovettumisaika [d]

2.3.5 Puristuslujuus

Betonin tärkein ominaisuus on puristuslujuus. Betoni luokitellaan puristuslujuuden mukaisiin lujuusluokkiin, joiden perusteella saadaan muut suunnittelussa tarvittavat betonin mekaaniset ominaisuudet.

Puristuslujuus määritetään standardikokeilla, joko lieriö- tai kuutiokokeen avulla. Lieriön halkaisija on 150 mm ja pituus 300 mm. Kuution sivumitta on 150 mm, jolloin koekappaleiden lujuuden suhde on noin 0,85.

Luokkien tunnuksissa käytetään symbolia C (= cylinder) ja lujuusluokat on jaoteltu välillä C12/15 – C90/150, jossa ensimmäinen luku tarkoittaa ominaislieriölujuutta (f_{ck}) ja jälkimmäinen ominaiskuutiolujuutta ($f_{ck,cube}$) 28 vuorokauden iässä tehtyjen puristuslujuuskokeiden perusteella. Taulukossa 2 on esitetty Betonin lujuusluokat ja niiden lieriö- ja kuutiolujuudet (Suomen betoniyhdistys 2018, 85).

Taulukko 2. Betonin lujuusluokitusta vastaavat lujuudet eri koekappaleilla (Suomen betoniyhdistys 2018, 86)

Lujuusluokka	Alin 150 mm x300 mm lieriöillä määrätty ominaislujuus (C) $f_{ck,cyl}$ [MN/m ²]	Alin 150 mm:n kuutiolla määrätty ominaislujuus (K) $f_{ck,cube}$ [MN/m ²]	Alin 100 mm:n kuutiolla määrätty ominaislujuus $f_{ck,cube}$ [MN/m ²]
C 8/10	8	10	8,2
C12/15	12	15	15,5
C16/20	16	20	20,6
C20/25	20	25	25,8
C25/30	25	30	30,9
C30/37	30	37	38,1
C35/45	35	45	46,4
C40/50	40	50	51,5
C45/55	45	55	56,6
C50/60	50	60	61,8

C55/67	55	67	69,0
C60/75	60	75	77,2
C70/85	70	85	87,6
C80/95	80	95	97,8
C90/105	90	105	108,2
C100/115	100	115	118,5

Ominaislieriölujuuden avulla betonille saadaan laskettua puristuslujuuden keskiarvo (f_{cm}), jossa eurokoodin mukaan betonin valmistuksessa saatujen laadunvalvonnan koetulosten keskimääräinen tavoitelujuus on 8 MPa suurempi kuin betonin ominaislujuus. Betonin puristuslujuuden keskiarvo f_{cm} 28 vuorokauden iässä saadaan laskettua kaavalla:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8MPa \quad (3)$$

jossa f_{cm} Betonin puristuslujuuden keskiarvo [MPa]
 f_{ck} lieriölujuus [MPa]

Puristuslujuuden mitoitusarvo saadaan yhtälöstä:

$$f_{cd} = a_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (4)$$

jossa γ_c on betonin materiaaliosavarmuusluku
 a_{cc} on betonin puristuslujuuskerroin.
 Suomessa käytetään arvoa 0,85.

2.3.6 Vetolujuus

Betonin vetolujuus on noin 1/10 puristuslujuudesta. Rakenteiden mitoitus perustuu harvoin vetolujuuteen, sillä yleensä teräkset vastaanottavat rakenteen vetojännitykset. Vetolujuuden ylittyminen huomataan betonirakenteen halkeilun myötä.

Betonin vetolujuuden mitoitusarvo saadaan (Suomen betoniyhdistys 2018,91) mukaisesti kaavasta:

$$f_{ctd} = a_{ct} \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} \quad (5)$$

jossa γ_c Betonin materiaaliosavarmuusluku
 a_{ct} on betonin vetolujuuskerroin.
 Suomessa käytetään arvoa 1,00.

2.3.7 Virumamuodonmuutos

Virumamuodonmuutos (ε_{cc}) ilmenee vähitellen lisääntyvänä taipumana käytännön rakenteissa ajan kuluessa. Virumamuodonmuutoksen myötä taipumat voivat kasvaa muutamassa kymmenessä vuodessa 2–3 kertaisiksi välittömään kimmoisaan muodonmuutokseen verrattuna. (Suomen betoniyhdistys 2018, 95).

Viruman suuruus riippuu betonin iästä kuormitushetkellä, betonin lujuusluokasta, ympäristön kosteudesta, rakenteen mitoista, kuormituksen aiheuttamasta jännitystasosta sekä kuormituksen kestosta (By 211 2013, 45).

Viruman aiheuttama muodonmuutos määritetään virumaluvun (φ) avulla. Virumaluku on suhdeluku, jolla välitön kimmainen muodonmuutos (ε_c) kerrotaan, virumamuodonmuutoksen (ε_{cc}) selvittämiseksi (Betonirakenteiden suunnitteluperusteet. s.a).

Virumamuodonmuutos saadaan kaavasta:

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_c \varphi \quad (6)$$

Aikavälillä (t_0, t) tapahtuva viruma saadaan laskettua yhtälöllä:

$$\varepsilon_{cc}(t, t_0) = \frac{\sigma_c(t_0)}{E_c} \varphi(t, t_0) \quad (7)$$

jossa t_0 betonin ikä kuormitushetkellä
 t ajankohta, jolla betonin viruma lasketaan
 $\sigma_c(t_0)$ betonin jännitys, joka syntyy ajanhetkellä t_0
 E_c tangentialkimmokertoimen arvo 28d:n iässä
 $\varphi(t, t_0)$ virumaluku, joka antaa viruman aikavälillä (t_0, t)

2.4 Betoniteräkset

Betoniteräkset ovat kuuma- tai kylmävalssaamalla valmistettuja hitsattavia betonin raudoittamiseen käytettäviä terästankoja (Suomen betoniyhdistys 2013, 50).

Betoniteräksen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat myötölujuus, sitkeys, tartunta ja taivutettavuus. Teräksen ominaisuuksiin vaikuttaa pääasiassa sen kemiallinen koostumus ja rakenne. Koostumusta voidaan muuttaa erilaisilla seosaineilla ja epäpuhtauksien määrällä ja rakennetta lämpö- tai pintakäsittelyllä sekä kylmämuokkaamalla terästä (Suomen betoniyhdistys 2018, 272).

3 BETONIRAKENTEIDEN SUUNNITTELUPERUSTEET

Betonirakenteiden suunnitteluperusteiden laadinta on suunnittelun alkuvaiheen tärkein vaihe rakennesuunnittelijalle. Suunnitteluperusteita laatiessa määritellään rakennesuunnittelussa tarvittavat lähtötiedot, esimerkiksi rakennuksen perustiedot, rakennejärjestelmä, kantavuus, rakennusfysiikka, kuormitukset ja noudatettavat lait ja asetukset (Betonirakenteiden suunnitteluperusteet. s.a.

3.1 Suunnitteluohjeet

Betonirakenteiden suunnitteluun liittyvät eurokoodit ja standardit:

- SFS-En 1990 Eurokoodi, Rakenteiden suunnitteluperusteet
- SFS-EN 1991 Eurokoodi 1, Rakenteiden kuormat
- SFS-EN 1992 Eurokoodi 2, Betonirakenteiden suunnittelu
- SFS-EN 1992 1–1 Eurokoodi 2, Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
- SFS-EN 1992 1–2 Eurokoodi 2, Rakenteiden palomitoitus
- SFS-EN 1997 Eurokoodi 7, Geotekninen suunnittelu
- SFS-EN 1998 Eurokoodi 8, Rakenteiden suunnittelu maanjäristyksen kestäviksi
- SFS-EN 206-1, Betoni
- SFS-EN 1504-2, Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät
- SFS-EN 10080, Betoniteräs

- SFS-EN 13791, Betonin puristuslujuuden arviointi rakenteista ja rakeneosista
- SFS-EN 13369, Common rules for precast concrete products
- SFS-EN 13670, Betonirakenteiden toteutus
- SFS-EN 14889-2, Betoniin käytettävät kuidut
- SFS 1200, Betonirakenteiden yleiset teräkset
- SFS 5975, Betonirakenteiden toteutus
- SFS 7022, Betoni
- SFS 7026, Valmisosilta vaadittavat ominaisuudet ja vaatimustasot

3.2 Toteutusluokat ja materiaalien osavarmuuskertoimet

Betonirakenteiden valmistusta koskevat laatuvaatimukset esitetään toteutusstandardissa SFS-EN 13670 /21/. Standardi SFS-EN 13670 sisältää kolme toteutusluokkaa. Tarkastustaso on alhaisin luokassa 1 ja vaativin luokassa 3.

Taulukossa 3 on esitetty toteutusluokan valinta seuraamusluokkien rakenteille sekä korkein mahdollinen betonin lujuusluokka kyseiselle seuraamusluokalle.

Taulukko 3. Toteutusluokan valinta (Suomen betoniyhdistys 2013, 25)

Seuraamusluokka	Toleranssiluokka	Materiaali osavarmuus	Toteutusluokka	Betoniluokat
CC1	1	perus	1	≤ C20/25
	1	perus	2	≤ C50/60
	1	perus	3	≤ C90/105
CC2	2	pienennetty	3	≤ C90/105
	1	perus	2	≤ C50/60
	1	perus	3	≤ C90/105
CC3	2	pienennetty	3	≤ C90/105
	1	perus	3	≤ C90/105
	2	pienennetty	3	≤ C90/105

Rakennesuunnitteluun vaikuttaa lisäksi toteutusstandardissa määritetyt toleranssiluokat. Toleranssiluokka 1 tarkoittaa normaalia mittatarkkuustasoa ja toleranssiluokka 2 tiukennettua mittatarkkuustasoa. Toleranssiluokilla on vaikutusta materiaaliosavarmuuslukuihin. Toleranssiluokassa 1 käytetään

osavarmuuslukujen perusarvoja. Toleranssiluokassa 2 voidaan käyttää pienennettyjä osavarmuuslukuja, mutta silloin valmistus pitää tehdä toteutusluokassa 3 (Suomen betoniyhdistys 2013, 24).

Materiaaliosavarmuuslukujen perusarvot ovat:

- betonille $\gamma_c = 1,50$
- raudoitukselle $\gamma_s = 1,15$

Pienennetyt arvot ovat:

- betonille $\gamma_c = 1,35$
- raudoitukselle $\gamma_s = 1,10$

Käyttörajatilassa kaikki osavarmuusluvut ovat 1,0.

3.3 Betonin ja raudoituksen yhteistoiminta

Raudoitettua betonia kutsutaan yhdistelmämaterialiksi eli teräsbetoniksi. Betonin ansiosta teräsbetonirakenteilla on hyvä puristuskestävyys, raudoitus on suojassa korroosiota vastaan sekä raudoituksen lämpeneminen ja pehmeneminen tapahtuvat tulipalotilanteissa hitaammin. Raudoitus puolestaan antaa teräsbetonirakenteelle veto- ja taivutuskestävyyttä (Suomen betoniyhdistys 2018, 263).

Betonin ja raudoituksen yhteistoiminnan kannalta on oleellista, että muodonmuutokset sekä jännitykset siirtyvät tartunnan vaikutuksesta betonista raudoitukselle ja raudoitukselta betonille. Teräsbetonirakenteissa materiaalien välille ei aiheudu muodonmuutosevoja tai ylimääräisiä rasituksia suurissakaan lämpötilamuutoksissa betonin ja teräksen lämpötilakertoimen ollessa lähes samansuuruinen (Suomen betoniyhdistys 2018, 263).

3.4 Tartunta ja ankkuroituminen

Betonin vetojännitysten ylittyessä betoniin syntyy halkeama ja raudoituksen on pystyttävä ankkuroitumaan betoniin halkeaman molemmiin puolin tangon ja betonin välisen tartunnan avulla (Suomen betoniyhdistys 2018, 66).

Raudoituksen tartuntalujuuteen vaikuttavat tangon pinnan geometria, tankopaksuus, betonin lujuus sekä tangon asento ja sijainti valumuotissa (Suomen betoniyhdistys 2013, 155).

Raudoitus voidaan ankkuroida suorilla tangoilla tartunnan avulla tai erillisillä ankkurointimenetelmillä, kuten koukuilla tai hitsatuilla poikittaistangoilla.

3.4.1 Tartunnan vaatima betonipeite

Tartuntavaatimuksen mukainen betonipeitteen vähimmäisarvo on:

- erillisillä tangoilla, tangon halkaisija $\phi = C_{min,b}$ (mm)
- tankonipuilla, tangon ekvivalenttihalkaisija $\phi_n = C_{min,b}$ (mm)

Runkoaineen maksimiraekoon (d_g) ollessa suurempi kuin 32 mm lisätään tankopaksuuden mukaan määrättyyn betonipeitepaksuuteen 5 mm (Suomen betoniyhdistys 2018, 267).

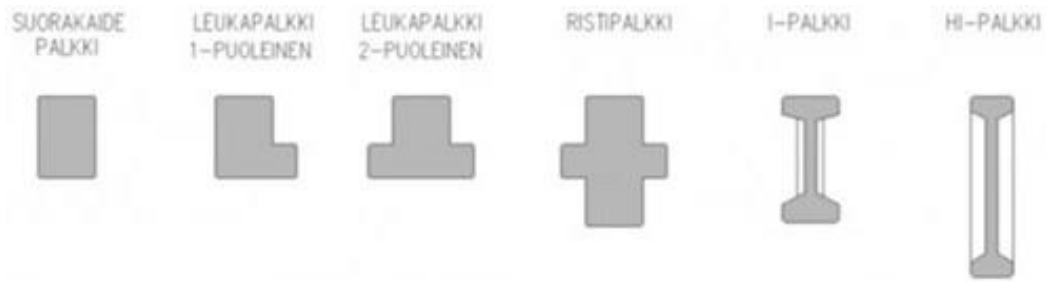
3.4.2 Tartunnan vaatimat tankovälit

Tankovälin vähimmäisarvo α_{min} saadaan selville tankopaksuuden sekä kiviaineksen maksimiraekoon avulla yhtälöstä:

$$\alpha_{min} = \text{suurin seuraavista} \left\{ \begin{array}{l} \phi \text{ tai } \phi_n \\ \text{kiviaineksen suurin sallittu raekoko} + 3 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right.$$

4 TERÄSBETONIPALKKI

Palkkien rasitukset ovat yleensä taivutus- ja leikkausrasituksia, sillä kuormituksen vaikutus on palkin pituusakselia vastaan kohtisuorassa olevaan suuntaan. Palkeissa esiintyy myös vääntörasitusta sekä aksiaalisia normaalivoimarasituksia. Palkin poikkileikkaus valitaan palkin kantokyvyn sekä kuormituksen mukaan. Palkin korkeus (h) on 5 kertaa suurempi kuin leveys (b) sekä jännemitta (L) vähintään 3 kertaa korkeus. Palkin poikkileikkauksia on esitelty kuvassa 3.



Kuva 3. Palkkityypit (Palkit s.a)

Palkin raudoituksen suunnittelu

Rakenteen mitoittamisvaiheessa on laskettu vaaditut raudoitusmäärät maksimi rasitusten kohdilla. Palkin toteutuskelpoisen raudoituksen suunnitteluvaiheessa tavoitellaan kokonaiskustannuksiltaan edullista sekä kaikki mitoitusohdot ja laatuvaatimukset täyttävää raudoiteratkaisua. Raudoite suunnitellaan helpoksi ja nopeaksi asentaa.

Raudoitteita suunniteltaessa sovelletaan yleisiä suunnitteluperiaatteita. Suunnitteluperiaatteita ovat esimerkiksi:

- Käytetään samassa rakenneosassa mahdollisimman vähän eri tankopaksuuksia.
- Käytetään mahdollisimman vähän eri leikkauspituuksia, lähellä olevat pituudet tasataan suurempaan.
- Pitkien ja paksujen tankojen taivutuksia vältetään.
- Käytetään paksuja tankoja ja tankonippuja (Suomen betoniyhdistys 2013, 197).

Palkin raudoitus koostuu yleensä pituussuuntaisesta raudoituksesta, joka toimii taivutusraudoituksena sekä poikkisuuntaisista hakoista, jotka rajoittavat leikkaushalkeamien avautumista ja antavat palkille riittävän leikkauskestävyyden. Hakoina käytetään pääasiassa pystyhakoja (Betonirakenteiden suunnitteluopustet. s.a).

Teräsbetonipalkin taivutusraudoitus

Palkin vetorasitetulle puolelle asennettava vetoraudoitus sekä tietyissä tapauksissa puristuspuolelle asennettava puristusraudoitus muodostavat yhdessä teräsbetonipalkin taivutusraudoituksen. Taivutusraudoituksen mitoituksen tuloksena selviää poikkileikkauksen vaatima raudoitusmäärä ($A_{s,vaad}$) teräsbetonipalkin eniten rasitetussa kohdassa (Suomen betoniyhdistys 2013, 188).

Taivutusraudoituksen suunnitteluvaiheessa:

- valitaan tankopaksuus ja tankomäärät
- suunnitellaan tankojen sijoittaminen poikkileikkaukseen
- suunnitellaan raudoituksen ulottuminen palkin pituussuunnassa
- tarkistetaan vähimmäisraudoitusmäärä ja sen täytyminen
- suunnitellaan ankkuroinnin vaatima lisäraudoitus
- suunnitellaan ”tahattoman” kiinnityksen vaatima lisäraudoitus (Suomen betoniyhdistys 2013, 188).

Palkin vähimmäisraudoitus

Vähimmäisraudoituksella varmistetaan palkin kestävyys taivutushalkeaman syntyessä.

Palkin vähimmäisraudoitusmäärä on (EC2 luku 9.2.1) /17/:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0.26b_t d \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) \\ 0.0013b_t d \end{array} \right. \quad (8)$$

jossa b_t palkin vedetyn osan keskimääräinen leveys.

Teräsbetonipalkin puristusraudoitus

Teräsbetonipalkin taivutuskestävyyden ja muodonmuutoskyvyn parantamiseksi käytetään puristusraudoitusta. Puristusraudoituksen avulla varmistetaan tavallisesti, että vetopuolen raudoitus myötää murtorajatilassa. Puristusraudoitus sidotaan haoilla niin, ettei raudoitus nurjahda murtotilassa ja aiheuta puristusvyöhykkeen betonin lohkeamista (Suomen betoniyhdistys 2013, 107). Puristusraudoituksen laskennassa tarvittavat arvot β_{bd} ja μ_{bd} saadaan taulukosta 4.

Taulukko 4. Tasapainoraudoituksen mukaiset β_{bd} ja μ_{bd} (Suomen betoniyhdistys 2013, 99)

Osa- varmuus	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$		$f_{yk} = 600 \text{ MPa}$		$f_{yk} = 700 \text{ MPa}$	
	β_{bd}	μ_{bd}	β_{bd}	μ_{bd}	β_{bd}	μ_{bd}
$\gamma_s = 1,15$	0,493	0,372	0,458	0,353	0,428	0,336
$\gamma_s = 1,10$	0,485	0,367	0,450	0,349	0,419	0,331

Laskentaprosessi: puristusraudoitetun poikkileikkauksen mitoitus

Tehtävässä tunnetaan samat suureet kuin normaaliraidoitetun poikkileikkauksen mitoituksessa:

- ulkoisten kuormien aiheuttama mitoitusmomentti M_{Ed}
- poikkileikkauksen mitat b, d
- betonin lujuuden mitoitusarvo f_{cd}
- (tehollisen lujuuden kerroin η)

Lisäksi on todettu, että:

$$\mu = \mu_{bd}' \text{ tai } \mu > \mu_{max} \quad (9)$$

Mitoitusyhtälö on

$$M_{Rd} = M_{Rd,c} + M_{Rd,s2} \geq M_{Ed} \quad (10)$$

Puristusvyöhykkeen betonin antama momenttikestävyys on suurimmillaan tasapainoraidoituksen mukainen

$$M_{Rd,c} = \mu_{bd} d_1^2 \eta f_{cd} \quad (11)$$

tai tätä pienempi suhteellisen momentin M_{max} mukaan:

$$M_{Rd,c,max} = \mu_{max} d_1^2 \eta f_{cd} \quad (12)$$

Puristusraudoituksella otettavaksi momentiksi jää

$$M_{Rd,s2} \geq M_{Ed} - M_{Ed,c} \quad (13)$$

Puristusraudoituksen jännitys lasketaan betonille "otetun" taivutusmomentin ($M_{Rd,c,tot}$) mukaan. Lasketaan sen mukaiset arvot μ_{tot} , β_{tot} ja

$$X_{tot} = \frac{\beta_{tot} d}{\lambda} \quad (14)$$

Jos $X_{tot} < d_2$, puristusraudoitus ei ole puristusvyöhykkeessä ja puristusraudoitus ei tällöin paranna tilannetta ja rakennetta täytyy muuttaa. Muussa tapauksessa puristusraudoituksen mitoitusta voidaan jatkaa,

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{cu} \left(1 - \frac{d_2}{X_{tot}} \right) \quad (15)$$

$$\sigma_{s2} = \min \left\{ \begin{array}{l} -E_s \varepsilon_{s2} \\ f_{yd} \end{array} \right. \quad (16)$$

Puristusraudoituksen määrä on:

$$A_{s2} = \frac{M_{Rd,s2}}{(d_1 - d_2)\sigma_{s2}} \quad (17)$$

Vetorausituksen määrä saadaan betonin puristusvyöhykkeen vaatiman rautamäärän ja puristusraudoituksen määrän summana.

$$A_{s1} = \beta_{bd} b d_1 \frac{\eta f_{cd}}{f_{yd}} + A_{s2} \quad (18)$$

Tämän jälkeen tarkistetaan, onko toteutuva tehollinen korkeus vähintään oletetun suuruinen:

$$d_{tot} \geq d_1 \quad (19)$$

Jos ehto ei toteudu, arvioidaan raudoitusmäärän (A_s) riittävyys ja tarvittaessa lasketaan uudelleen.

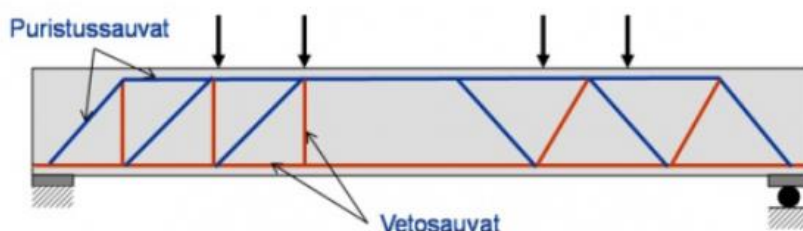
Teräsbetonipalkin leikkausraudoitus

Leikkausraudoitus rajoittaa leikkaushalkeamien avautumista sekä parantaa teräsbetonipalkin leikkauskestävyyttä pakottaen leikkaushalkeamat pystympään asentoon ja vähentää taivutusraudoitukseen kohdistuvaa kuormitusta tukien läheisyydessä. Leikkausraudoitus valmistetaan yleensä haoista, jotka voivat olla pystyhakoja (kaltevuus $\alpha = 90$ palkin pituusakseliin nähden) tai vinohakoja (kaltevuus $\alpha = 45-90$ palkin pituusakseliin nähden), verkoista tai ylös taivutetuista tangoista (Betonirakenteiden suunnitteluperusteet. s.a).

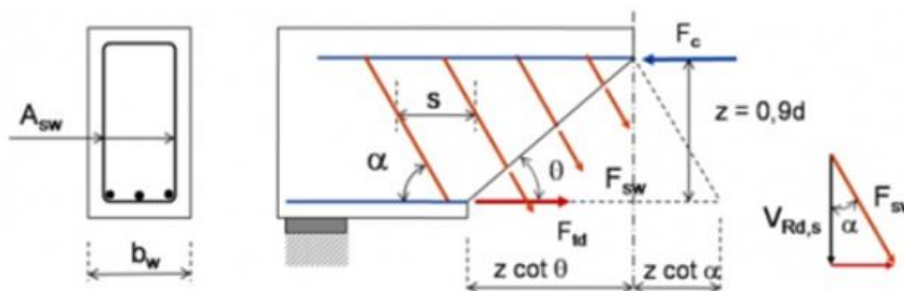
Leikkausraudoitetun palkin mallintamiseen käytetään ristikkomenetelmää, jossa on kaksi mitoitusehto:

- leikkausraudoituksen myötöehto ja
- vinon puristussauvan murtoehto.

Ristikkomenetelmää hyödyntäessä ajatellaan teräsbetonirakenteen sisällä toimivan ristikko, jonka puristussauvoina on betoni ja vetosauvoina rauditus. Leikkausraudoitus toimii uuman ja pääraudoitus paarteen vetosauva. Palkin puristusvyöhyke toimii puristuspaarteena sekä betoniset puristussauvat toimivat uuman puristussauvoina. Leikkausraudoituksen määrä vaikuttaa puristussauvojen kaltevuuteen (θ).



Kuva 4. Ristikkomenetelmän mukainen ristikkorakenne (Suomen betoniyhdistys 2013, 135)



Kuva 5. Ristikkomenetelmän mukaiset voimasuureet mitoittavassa poikkileikkauksessa (Suomen betoniyhdistys 2013, 135)

Kuvassa 5 kehittyi leikkausraudoituksen kriittisessä vinossa leikkauksessa myötöhetkellä voima:

$$F_{R,sw} = f_{ywd} \frac{A_{sw}}{s} z (\cot \theta + \cot \alpha) \quad (20)$$

Voima on leikkausraudoituksen suuntainen ja voiman pystykomponentin ($V_{Rd,s}$) on oltava vähintään samansuuruinen kuin leikkauksessa vaikuttava leikkausvoima (V_{Ed})

$$V_{Rd,s} = f_{ywd} \frac{A_{sw}}{s} z (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha \geq V_{Ed} \quad (21)$$

Käytettäessä pystyhakoja (90°) leikkausraudoituksena yhtälö yksinkertaistuu muotoon:

$$V_{Rd,s} = f_{ywd} \frac{A_{sw}}{s} z \cot \theta \geq V_{Ed} \quad (22)$$

Leikkausmitoituksessa sisäisen momenttivarren arvona käytetään arvoa:

$$z = 0,9d \quad (23)$$

Suunnittelija valitsee mitoittaessa rakennetta puristussauvan kulman arvon väliltä $21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$, joka vastaa väliä $1 \leq \cot \theta \leq 2,5$ kulman kotangenttina. Valittu kaltevuus vaikuttaa vaadittavaan leikkausraudoitusmäärään.

Palkin leikkauskestävyyden yläraja määräytyy uuman puristusmurtokestävyyden perusteella. Kuvassa 6 on laskentamalli uuman puristusmurtokestävyydestä käytettäessä pystyhakoja (a.) sekä vinohakoja (b.)

Vinon puristussauvan puristuskestävyys saadaan kaavasta:

$$F_{Rd,c} = v f_{cd} b_w z \cos \theta \quad (24)$$

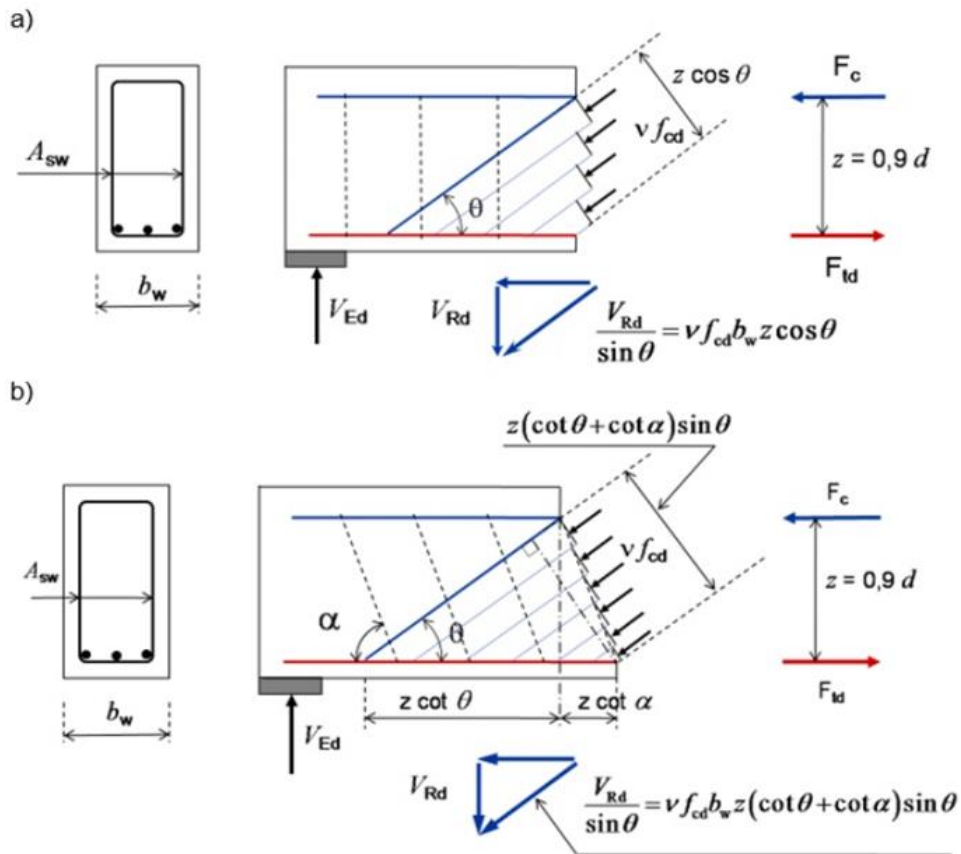
Tämän pystykomponentti on palkin uuman puristusmurtokestävyys

$$V_{Rd,max} = v f_{cd} b_w z \cos \theta \sin \theta \quad (25)$$

Muunnoksen: $\cos \theta \sin \theta = \frac{1}{\tan \theta + \cot \theta}$

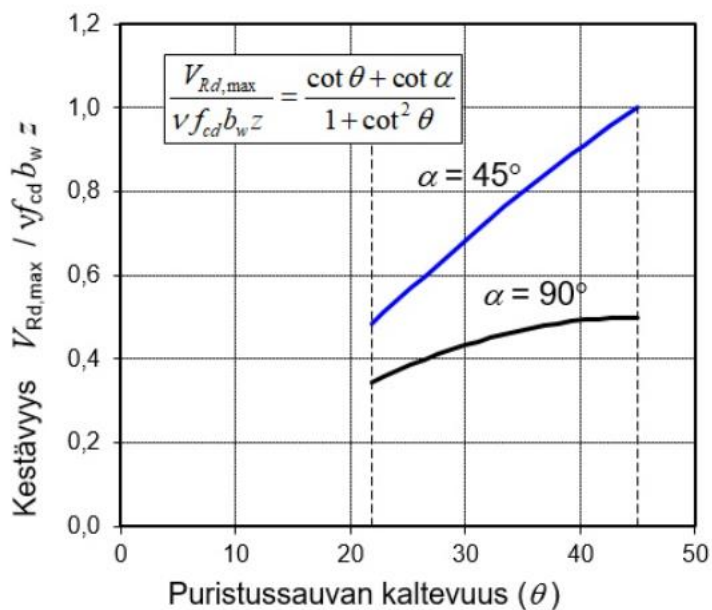
avulla mitoitusyhtälö saadaan esitettyä eurokoodi 2:ssa esitettyssä muodossa

$$V_{Rd,max} = \frac{v f_{cd} b_w z}{\tan \theta + \cot \theta} \quad (26)$$



Kuva 6. Puristussauvan kestävyyslaskenta.
 a. pystyhakojen tapauksessa
 b. vinohakojen tapauksessa (leikkausmitoitus. s.a)

Puristussauvan kaltevuus vaikuttaa leikkauskestävyyden maksimiarvoon. Alla olevassa kuvassa havainnollistetaan leikkauskestävyyden maksimiarvon riippuvuutta puristussauvan kaltevuuskulmasta θ sekä hakojen kaltevuudesta α .



Kuva 7. Puristussauvan kaltevuuden ja hakojen kaltevuuden vaikutus leikkauskestävyyden maksimiarvoon. (By 211 2013, 139)

Teräsbetonipalkin leikkausmitoituksen laskenta

Leikkausmitoitustehtävässä on laskettu ulkoisen kuorman aiheuttamat rasitukset. Alustavassa mitoituksessa on valittu poikkileikkauksen mitat sekä betonin lujuusluokka. Taivutusmitoituksessa on valittu pääraudoitus maksimimomentin kohdalla (Suomen betoniyhdistys 2013, 140).

Lähtötietojen perusteella tiedetään:

- ulkoisten kuormien aiheuttama leikkausvoiman mitoitusarvo V_{Ed}
- poikkileikkauksen mitat b, b_w, d
- betonin lujuuden mitoitusarvo f_{cd} ja lujuuden pienennyskerroin v

Valitaan hakojen kaltevuus a , yleensä valitaan pystyhaat eli $a = 90^\circ$

Valitaan puristussauvan kaltevuus väliltä $21,8^\circ \leq \theta \leq 45 \leftrightarrow 1,0 \leq \cot \theta \leq 2,5$.

Leikkausraudoituksen mitoitusyhtälö on

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed} \quad (27)$$

Lasketaan vaadittava leikkausraudoitus

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} (\cot \theta + \cot a) \sin a} \quad (28)$$

Valitaan leikkausraudoituksen tankopaksuus ja leikkeisyys. Lasketaan A_{sw} ja ratkaistaan hakaväli

$$s \leq \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} z f_{ywd} (\cot \theta + \cot a) \sin a \quad (29)$$

Lasketaan uuman puristusmurtokestävyys

$$V_{Rd,max} = v f_{cd} b_w z \frac{\cot \theta + \cot a}{1 + \cot^2 \theta} \quad (30)$$

Tarkistetaan puristumurtoehto:

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$$

Jos puristumurtoehto ei toteudu:

- Poikkileikkausta suurennetaan
- betonin lujuutta lisätään tai,
- suurennetaan kulmaa θ , jos se oli laskelmissa $\leq 45^\circ$

ja suoritetaan mitoitus uudelleen.

Ehdon toteutuessa leikkausraudoituksen mitoitus jatketaan.

Seuraavaksi mitoitusprosessissa suoritetaan leikkausraudoituksen vähimmäismäärän ja maksimi hakavälin tarkistus.

Leikkausraudoituksen vähimmäisarvo on

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq 0,08b_w \sin a \left(\frac{\sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}}}{\frac{f_{yk}}{MPa}} \right) \quad (31)$$

Josta selviää vähimmäisarvoa vastaava hakaväli

$$s \leq \frac{A_{sw}}{0,08b_w \sin a} \frac{\frac{f_{yk}}{MPa}}{\sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}}} \quad (32)$$

Suurin sallittu hakaväli on

$$s_{max} = 0,75d(1 + \cot a) \quad (33)$$

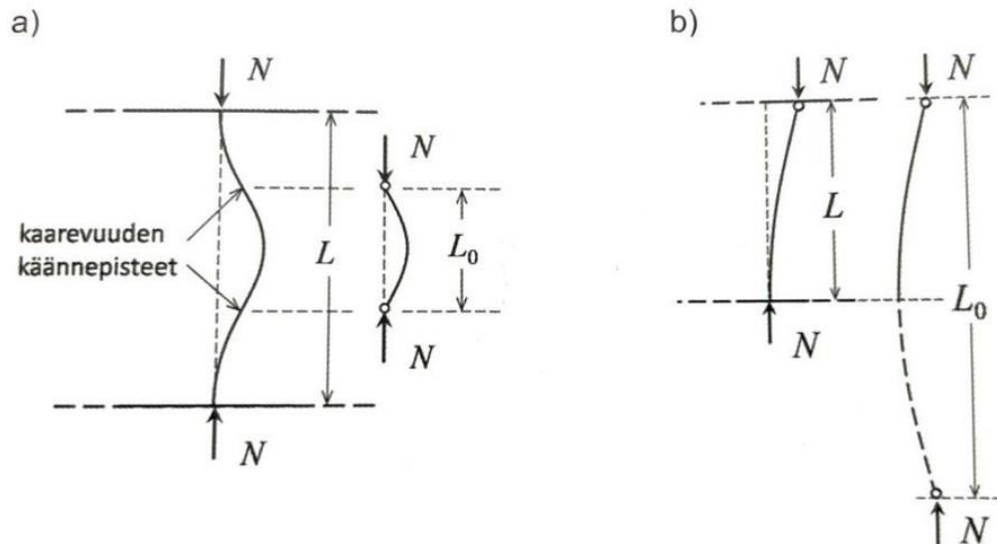
5 TERÄSBETONIPILARI

Pilarit ovat yleensä suorakaiteen muotoisia tai pyöreitä teräsbetonirakenteita. Pilarit toimivat rakennusten ja rakenteiden sauvamaisina pystykannattajina. Pilareiden rasitukset ovat pääasiassa puristusrasitusta, mutta pilareissa esiintyy myös aina taivutusrasitusta. (Suomen betoniyhdistys 2014, 97).

Pilarin raudoitukseen kuuluu 16–32 mm:n paksuiset päätangot, jotka sijoitetaan lähelle pilarin ulkosivuja sekä 6,8 tai 10 mm paksuiset haat, jotka estävät päätankojen nurjahtamisen ja pilarin pituussuuntaisen halkeilun (Betonirakenteiden suunnitteluperusteet. s.a).

Nurjahduspituus

Nurjahduspituus (L) tarkoittaa puristetun sauvan taipumamuodon mukaan määritettyä tehollista mitoituspituutta (Suomen betoniyhdistys 2014, 118).



Kuva 8. Nurjahduspituuden L_0 määritymisperiaate. a. jäykistetty pilari b. jäykistämätön pilari (Suomen betoniyhdistys 2014, 118)

Jäykistetyn pilarin nurjahduspituus lasketaan kaavalla:

$$L_0 = 0,5L \sqrt{1 + \left(\frac{k_1}{0,45 + k_1}\right) \times \left(1 + \frac{k_2}{0,45 + k_2}\right)} \quad (34)$$

Jäykistämättömän pilarin nurjahduspituus lasketaan kaavoilla:

$$L_0 = L \times \max(a, b) \quad (35)$$

$$a = \sqrt{1 + 10 \times \frac{k_1 k_2}{k_1 k_2}}$$

$$b = \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1}\right) \times \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2}\right)$$

Kaavoissa olevat kertoimet k_1 ja k_2 ovat pilarin päiden joustovakioita, jotka määritellään kaavalla:

$$k = \frac{\theta EI}{M L} \quad (36)$$

jossa L Pilarin pituus
 EI on pilarin taivutusjäykkyys
 θ on pilarin päätä jäykistävien rakenneosien kiertymä momentilla M

Hoikkuus

Hoikkuusluku saadaan selville nurjahduspituuden (L_0) ja jäyhyysäteen (i) suhteesta toisiinsa:

$$\lambda = \frac{L_0}{i} \quad (37)$$

jossa L_0 nurjahduspituus
 i jäyhyysäde

Jäyhyysäde saadaan lasketuksi kaavalla:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (38)$$

jossa I poikkileikkauksen jäyhyysmomentti
 A poikkileikkauksen pinta-ala

Mitoituksen kulku

Mitoitusyhtälö on

$$N_{Rd} \geq N_{Ed}$$

Lasketaan nurjahduspituus:

Jäykistetyille pilarille:

$$L_0 = 0,5 \times L \sqrt{1 + \left(\frac{k_1}{0,45 + k_1}\right) \times \left(1 + \frac{k_2}{0,45 + k_2}\right)} \quad (39)$$

Jäykistämättömälle pilarille:

$$L_0 = L \times \max(a, b)$$

$$a = \sqrt{1 + 10 \times \frac{k_1 k_2}{k_1 k_2}}; b = \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1}\right) \times \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2}\right) \quad (40)$$

Lasketaan vinoudesta johtuva epäkeskisyyttä:

$$e_1 = \theta_1 \frac{L_0}{2} \quad \theta_1 = \frac{a_n a_m}{200} \quad a_n = \frac{2}{\sqrt{L}} \quad (41)$$

Lasketaan sauvan päiden korjatut momentit:

$$\begin{aligned} M_{01} &= \min(M_{ylä}, M_{ala}) + e_1 N_{Ed} \\ M_{02} &= \max(M_{ylä}, M_{ala}) + e_1 N_{Ed} \end{aligned} \quad (42)$$

Lasketaan 1. kertaluvun mitoitusmomentit jäykistetyille pilarille:

$$M_{0e} = \max \begin{cases} 0,6M_{02} + 0,4M_{01} \\ 0,4M_{02} \end{cases} \quad (43)$$

$$M_{0Ed} = M_{0e}$$

Lasketaan 1. kertaluvun mitoitusmomentti jäykistämättömälle pilarille

$$M_{0Ed} = M_{02} \quad (44)$$

Lasketaan pilarin hoikkuusluku

$$\lambda = \frac{L_0}{i} \quad (37)$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (38)$$

Tarkistetaan, onko pilari hoikka:

$$\lambda \geq \lambda_{lim} \quad (45)$$

Jos ehto on tosi, pilari on hoikka ja 2. kertaluvun suureet pitää laskea. Muuten pilari ei ole hoikka eikä 2. kertaluvun suureita tarvitse laskea ($M_2 = 0$)

Lasketaan 2. kertaluvun momentti M_2 joko nimellisen kaarevuuden tai nimellisyäkkyuden menetelmällä.

Lasketaan vähimmäismomentti

$$M_{min} = e_0 N_{Ed} \quad e_0 = \max\left(\frac{h}{30}, 20 \text{ mm}\right) \quad (46)$$

Lasketaan mitoitusmomentti:
jäykistetyille pilarille

$$M_{Ed} = \max \begin{cases} M_{0Ed} + M_2 \\ M_{02} \\ M_{min} \end{cases} \quad (47)$$

Jäykistämättömälle pilarille

$$M_{Ed} = \max \begin{cases} M_{02} + M_2 \\ M_{min} \end{cases} \quad (48)$$

Laskenta tehdään ensin kummassakin suunnassa erikseen, josta tuloksena saadaan mitoitusmomentit M_{Edz} ja M_{Edy} .

Pilarin poikkileikkaus mitoitetaan normaalivoiman N_{Ed} ja taivutusmomentin M_{Ed} yhdistelmälle (Suomen betoniyhdistys 2014, 132–134).

6 MASSIIVILAATTA

Laatat ovat rakennuksen ala-, väli- ja yläpohjia, eli vaakasuoria tasorakenteita, joiden tehtävänä on siirtää oma painonsa sekä niihin kohdistuvat kuormat palkeille, pilareille ja seinille toimien rakennuksen jäykistävänä levyrakenteena. Laattarakenteita voi toteuttaa eri tavoilla esimerkiksi massiivi-, ripa-, arina-, kuori-, ontelo- ja liittolaattana (Suomen betoniyhdistys 2014, 7).

Massiivilaatta on yhtenäinen tasapaksu paikallavalurakenne. Laatan paksuus on tärkeimpiä mitoitus tehtäviä massiivilaatan suunnittelussa, sillä paksuus vaikuttaa rakenteen kustannuksiin ja laatan rakenteelliseen toimintaan ratkaisevasti. Laatan paksuus valitaan ääneneristyksen, palonkestävyyden, taivutuskestävyyden ja taipuman asettamien vaatimusten perusteella (Suomen betoniyhdistys 2014, 11).

Betonilaattoja on mahdollista raudoittaa irtotangoilla, verkoilla, kaistaraudoitteilla tai yhdistämällä edeltäviä vaihtoehtoja.

Taivutusraudoituksen suunnittelu

Massiivilaattojen raudoituksen suunnittelussa periaatteet ovat osin samat kuin palkeilla. Taivutusraudoitus mitoitetaan sen suurimpien taivutusmomenttien mukaisesti. Leikkausraudoitusta ei yleensä tarvita. Vähimmäis- ja enimmäis-raudoitussuhteet massiivilaatoille saadaan lasketuksi samalla kaavalla kuin palkeilla: laatan pääraudoituksen on oltava vähintään vähimmäisraudoituksen $A_{s,min}$ suuruinen.

Vähimmäisraudoitus $A_{s,min}$ laatoille saadaan kaavasta:

$$A_{s,min} = \max \begin{cases} 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d \\ 0,0013 b_t d \end{cases} \quad (49)$$

jossa b_t on palkin vedetyn osan keskimääräinen leveys

Yhteen suuntaan kantavan laatan raudoitukseen asennetaan pääraudoituksen lisäksi poikittaiseen suuntaan ns. jakoraudoitus, jonka määrä on vähintään 20 % pääsuunnan raudoituksesta. Jakoraudoitusta ei tarvita, jos poikittaista taivutusmomenttia ei ole tukien lähellä yläpinnan pääraudoitukseen nähden (Suomen betoniyhdistys 2014, 81).

Laattojen raudoitustankojen jakovälit eivät saa ylittää arvoa $S_{max,slabs}$ Suomen kansallisen liitteen mukaiset arvot ovat esitetty alla olevassa taulukossa:

taulukko 5. Tankovälisäännöt, kahdesta arvosta pienempi on määräävä (Suomen betoniyhdistys 2014, 81)

$S_{max,slabs}$ (pienempi arvoista)	pääraudoitus	jakoraudoitus
maksimimomentin ja pistekuormien alueet	$2h$ 250 mm	$3h$ 400 mm
muut alueet	$3h$ 400 mm	$4h (3,5h)$ 600 mm (450 mm)

7 STACK-JÄRJESTELMÄ

STACK-järjestelmä on Cambridgen yliopistossa kehitetty tehokas online-arviointijärjestelmä matemaattisten tehtävien opettamisen ja arvioinnin avuksi. STACK-järjestelmä on lyhenne englannin kielen sanoista System for Teaching and Assessment using a computer algebra Kernel, joka tarkoittaa tietokonealgebrajärjestelmää (Lowe 2019).

STACK-järjestelmä mahdollistaa satunnaistettujen kysymyksien luomisen sekä sallii algebrallisten lausekkeiden syöttämisen kysymystenvastauksiksi taustalla toimivan MAXIMA-tietokonealgebrajärjestelmän ansiosta. STACK-järjestelmään syötetyt vastaukset tarkistetaan vertaamalla oppilaan vastauksia opettajan malliratkaisuihin MAXIMAn avulla.

STACK:n avulla opiskelijoille saadaan annettua välitöntä palautetta tehdystä tehtävästä vastauspuun avulla perustuen vastausten matemaattisiin ominaisuuksiin. Opiskelijan ja opettajan antamia vastauksia verrataan toisiinsa vastauspuussa olevien solmujen avulla. STACK-tehtävän laatija voi ennakoida todennäköiset virheet ja yhdistää niihin valmiiksi haluamansa opiskelijaa eteenpäin vievän palautteen.

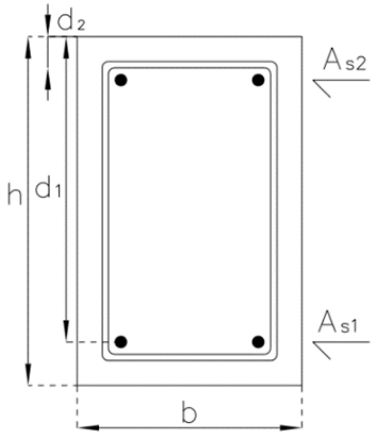
STACK-järjestelmä myös ilmoittaa opiskelijalle, kuinka ohjelma on tulkinnut vastauksen, jonka vuoksi virheiden mahdollisuus laskujen syöttämisessä saadaan minimoitua. Järjestelmässä on mahdollista asettaa tehtävänannoissa esiintyville luvuille vaihteluväli, jonka vuoksi on epätodennäköistä, että kaksi opiskelijaa saisivat täysin samat lähtöarvot tehtäviinsä ja plagioinnin mahdollisuus tätä kautta pienenee.

STACK-ohjelmiston käyttäminen edellyttää osaamista monella osa-alueella, esimerkiksi matematiikan opettaminen, sopivien kysymyksien, yleisten virheiden ja asianmukaisen palautteen tunnistaminen ja luominen, kysymysten tarkoituksenmukainen satunnaistaminen sekä ohjelmointitaitoa Maxima-tietokonealgebra-järjestelmällä kysymysten satunnaistamisen toteuttamiseksi. Lisäksi tekijältä vaaditaan myös Moodle/learn-oppimisympäristön hallitsemista, jotta kysymykset ja tentit on mahdollista luoda.

Laskennan siirto STACK-järjestelmään

Tässä opinnäytetyössä esitellään teräsbetonipalkin puristusraudoituslaskun siirtäminen STACK-järjestelmään. Ohjeistus ohjelman käytöstä on esitelty tarkemmin liitteessä 1. Liitteessä on myös esitelty tämän opinnäytetyön tuotoksena luodut tehtävät teräsbetonipalkin leikkaus- ja puristusraudoituksesta sekä massiivilaatan taivutusmitoituksesta.

Esimerkki teräsbetonipalkin puristusraudoitus käsin laskettuna

	Palkin korkeus h	680 mm
	palkin leveys b	380 mm
	betonipeite	c_{nom} 30 mm
	betonin lujuusluokka	C30/37
	runkoaineen max. raekoko	$d_g = 16$
	raudoitus	B500B
	haat	T8 k200

materiaaliosavarmuusluvut $\gamma_c = 1,50$; $\gamma_s = 1,15$

Lujuusarvot:

$$\lambda = 0,80$$

$$\eta = 1,0$$

$$a_{cc} = 0,85; a_{ct} = 1,0$$

$$\text{Betonin lujuus} = f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$

Betonin puristuslujuuden mitoitusarvo

$$f_{cd} = a_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0,85 \times \frac{30 \text{ MPa}}{1,5} = 17 \text{ MPa}$$

Raudoituksen laskentalujuus

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500 \text{ MPa}}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

Mitoitetaan suorakaidepalkin taivutusraudoitus, kun

$$\text{mitoitusmomentti } M_{Ed} = 950 \text{ kNm}$$

Ratkaisu

Poikkileikkaussuureet:

Arvioidaan tankopaksuus: vetoraidoitus 32 mm

Tehollinen korkeus

$$d_1 = h - c_{nom} - 1.1\phi_h - \frac{1.1\phi_1}{2}$$

$$d_1 = 680 \text{ mm} - 30 \text{ mm} - 1.1 \times 8 \text{ mm} - \frac{1.1 \times 32 \text{ mm}}{2} = 624 \text{ mm}$$

Valitaan pienempi tehollinen korkeus, sillä tangot eivät todennäköisesti mahdu yhteen kerrokseen: $d_1 = 600 \text{ mm}$

Mitoitus:

suhteellinen momentti

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{bd^2\eta f_{cd}} = \frac{0.950 \text{ MNm}}{0.380 \text{ m} \times (0.60 \text{ m})^2 \times 1.0 \times 17 \left(\text{M} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)} = 0.408 > \mu_{bd} = 0.372$$

Valittu poikkileikkaus ei kestä pelkällä vetoraidoituksella. Vaihtoehdot tämän poikkileikkauksen käyttämiseksi:

- betonin lujuuden lisääminen
- puristusraidoituksen käyttö
- ➔ Valitaan puristusraidoituksen käyttö.

Arvioidaan puristusraidoituksen tankopaksuus = 25 mm

Puristusraidojen keskiöetäisyys yläpinnasta:

$$d_2 = c_{nom} + 1.1\phi_h + \frac{1.1\phi_2}{2}$$

$$d_2 = 30 \text{ mm} + 1.1 \times 8 \text{ mm} + \frac{1.1 \times 25 \text{ mm}}{2} = 52.5 \text{ mm}$$

Betonin puristusvyöhykkeellä otettava momentti:

$$M_{Rd,c} = \mu_{bd} b d_1^2 \eta f_{cd}$$

$$= 0.372 \times 380 \text{ mm} \times (600 \text{ mm})^2 \times 1.0 \times 17 \text{ MPa} = 865 \text{ kNm}$$

Puristusraidoitukselle jäävä momentti:

$$M_{Rd,s2} \geq M_{Ed} - M_{Rd,c} = 950 \text{ kNm} - 865 \text{ kNm} = 85 \text{ kNm}$$

Tarkistetaan puristusraudoituksen jännitys

$$\beta_{tot} = \beta_{bd} = 0.493$$

$$X_{tot} = \frac{\beta_{tot}d}{\lambda} = \frac{0.493 \times 624 \text{ mm}}{0.80} = 385 \text{ mm}$$

Tarkistetaan, onko, $X_{tot} < d_2 \Rightarrow$ kyllä \Rightarrow "puristusraudoitus" puristusvyöhykkeessä (Betonin lujuusluokilla \leq C50 on betonin murtopuristuma vakio $\varepsilon_{cu} = 3.5 \text{ ‰}$)

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{cu} \left(1 - \frac{d_2}{X_{tot}}\right) = 3.5 \times 10^{-3} \left(1 - \frac{52.5 \text{ mm}}{385 \text{ mm}}\right) = -0.00302$$

(Raudituksen kimmokerroin $E_s = 200 \text{ GPa}$)

$$\sigma_{s2} = \min \left\{ \frac{-E_s \varepsilon_{s2}}{f_{yd}} = \min \left\{ \frac{-200 \times 10^3 \times (-0.00302)}{435 \text{ MPa}} = \begin{cases} 605 \text{ MPa} \\ 435 \text{ MPa} \end{cases} = 435 \text{ MPa} \right.$$

Puristusraudoituksen vaadittava määrä:

$$A_{s2,vaad} = \frac{M_{Rd,s2}}{(d_1 - d_2)\sigma_{s2}} = \frac{0.085 \text{ MNm}}{(600 \text{ mm} - 52.5 \text{ mm}) \times 435 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}} = 357 \text{ mm}^2$$

Vetorausituksen määrä:

$$A_{s1,vaad} = \beta_{bd} b d_1 \frac{\eta f_{cd}}{f_{yd}} + A_{s2}$$

$$= 0.493 \times 380 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \frac{1.0 \times 17 \text{ MPa}}{435 \text{ MPa}} + 357 \text{ mm}^2$$

$$A_{svaad} = 4393 \text{ mm}^2 + 357 \text{ mm}^2 = 4760 \text{ mm}^2$$

Valitaan raudoitustangot

- puristusraudoitus 1T25:

$$A_{s2,tot} = n \frac{\phi^2}{4} \pi = 1 \times \frac{25^2}{4} \times \pi = 491 \text{ mm}^2 > A_{s2,vaad}$$

Vetorausitus 4T32+3T25:

$$A_{s1,tot} = n \frac{\phi^2}{4} \pi = 3 \frac{32^2}{4} \pi + 5 \frac{25^2}{4} \pi = 4867 \text{ mm}^2 > A_{s1,vaad}$$

Lisäksi tarkistettava:

- raudoitustankojen mahtuminen poikkileikkaukseen
- toteutuva tehollinen korkeus d_1

Valmis STACK-tehtävä näyttää seuraavanlaiselta:

TERÄSBETONIPALKIN PURISTUSRAUDOITUS

LÄHTÖTIEDOT

Tehtävänäsi on mitoittaa palkin puristusraudoitus.

palkin korkeus $h = 680.0$ mm

Palkin leveys $b = 380.0$ mm

Betonipeite $C_{nom} = 30.0$ mm

Betonin lujuusluokka $C30/37$

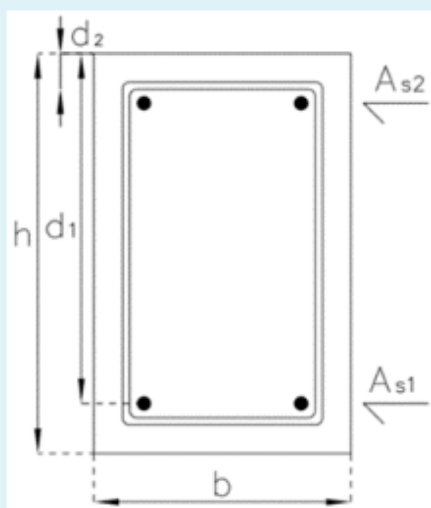
Runkoaineen max. raekoko $d_g = 16$ mm

Raudoitus B500B

Haat T8 k200

Mitoitetaan suorakaidepalkin taivutusraudoitus, kun

mitoitusmomentti $M_{Ed} = 985.0$ kNm



LUJUUSARVOT LASKENTAAN:

Materiaaliosavarmuuslukujen perusarvot ovat:

Betonille $\gamma_c = 1.50$ ja raudoitukselle $\gamma_s = 1.15$

Lujuusarvot:

$$\lambda = 0.80$$

$$\eta = 1.0$$

$$\alpha = 0,85$$

$$f_{cd} = 17 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

Tehollinen korkeus $d_1 = 625$ mm

Käytä pienempää tehollista korkeutta, sillä tangot eivät todennäköisesti mahdu yhteen kerrokseen: $(d_1) = 600$ mm

Kuva 9. Valmis STACK-tehtävä

LASKENTA

Suhteellinen momentti μ : =

Arvioitu puristusraudoituksen tankopaksuus ϕ_2 =

Puristusrautojen keskiöetäisyys yläpinnasta: d_2 =

Betonin puristusvyöhykkeellä otettava momentti $M_{R,d,c}$ =

Puristusraudoitukselle jäävä momentti: $M_{Rd,s2}$ =

Tarkista puristusraudoituksen jännitys X_{tot} =

e_{s2} =

σ_{s2} =

Puristusraudoituksen vaadittava määrä: $A_{s,vaad}$ =

PURISTUSRAUDOITUKSEN VALINTA:

Terästen määrä =

Valittu teräspaksuus =

$A_{s,tot}$ =

Kuinka varma olet? Ei kovin (alle 67%) Kohtalaisen (yli 67%) Todella (yli 80%)

Kuva 10. Valmiin STACK-tehtävän loppuosa

Tehtävän siirto STACK-järjestelmään

Kysymyksen nimi: Teräsbetonipalkin puristusraudoitus

Kysymyksen muuttujat:

KÄSINLASKU	STACK-MUOTO
Palkin korkeus $h=680$ mm	h: 680;
Palkin leveys $b=380$	b: 380;
Betonipeite	cnom: 30;
runkoaineen max. raekoko	dg: 16;
Haat T8	haka: 8;
Puristusraudoitus	puristus: 25;
vetoraudoitus	veto: 32;
$\lambda = 0,80$	lambda: 0.80;
$\eta = 1,0$	n: 1;
$a_{cc} = 0,85$;	acc: 0.85;
$a_{ct} = 1,0$	act: 1.0;
$\varepsilon_{cu} = 3.5 \text{ ‰}$)	ecu: $-3.5 \cdot (10^{-3})$;
Raudoituksen kimmokerroin $E_s = 200 \text{ GPa}$	Es: $200 \cdot 10^3$;
$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$	fck: 30;
$f_{cd} = 17 \text{ MPa}$	fcd: 17;
$f_{yd} = 435 \text{ MPa}$	fyd: 435;
$\mu_{bd} = 0.372$	ubd: 0.372;
$\beta_{tot} = \beta_{bd} = 0.493$	Btot: Bbd;
	Bbd: 0.493;
$d_1 = h - c_{nom} - 1.1\phi_h - \frac{1.1\phi_1}{2}$	d: 624;
$d_1 = 600 \text{ mm}$	d1: 600;
Mitoitusmomentti: (ohjelma arpoo satunnaistetun arvon opiskelijoille stack-tehtävään)	MEd: rand_with_step(950,1100,1.0);

Kaavat kysymyksen muuttujat-kohdassa:

KÄSINLASKUKAAVA	STACK-MUOTO
$\mu = \frac{M_{Ed}}{bd^2\eta f_{cd}}$	u : (MEd/1000)/((b/1000)*((d1/1000)^2)*n*fcd); u: decimalplaces (u,3); ta1: u;
Arvioidaan puristus-raudoituksen tankopaksuus = 25 mm	tankop: [[12,false,"12"],[16,false,"16"],[20,false,"20"],[25,true,"25"],[32,false,"32"]]; ta2: tankop;
Puristusrautojen keskiöetäisyys yläpinnasta: $d_2 = c_{nom} + 1.1\phi_h + \frac{1.1\phi_2}{2}$	d2: cnom+(1.1*haka)+((1.1*puristus)/2); d2: decimalplaces (d2,1); ta3: d2;
$M_{Rd,c} = \mu_{bd}bd_1^2\eta f_{cd}$	MRdc: (ubd*b*d1^2*n*fcd)/1000000; MRdc: decimalplaces (MRdc,0); ta4: MRdc;
$M_{Rd,s2} \geq M_{Ed} - M_{Rd,c}$	MRds2: MEd-MRdc; MRds2: decimalplaces(MRds2,0); ta5: MRds2;
$X_{tot} = \frac{\beta_{tot}d}{\lambda}$	Xtot: (Btot*d)/lambda; Xtot: decimalplaces (Xtot,0); ta6: Xtot;
$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{cu} \left(1 - \frac{d_2}{X_{tot}}\right)$	es2: ecu*(1-(d2/Xtot)); es2: decimalplaces (es2,5); ta7: es2;
$\sigma_{s2} = \min \left\{ \begin{array}{l} -E_s\varepsilon_{s2} \\ f_{yd} \end{array} \right.$	Qs2: -Es*es2; Qs2: decimalplaces (Qs2,0); ta8: Qs2;
$A_{s2,vaad} = \frac{M_{Rd,s2}}{(d_1 - d_2)\sigma_{s2}}$	Asvaad: (MRds2/1000)/(((d1/1000)-(d2/1000))*fyd)*1000000; Asvaad: decimalplaces (Asvaad,0); ta9: Asvaad;

Valitaan raudoitustangot (kpl määrä)	puristusmaara:[[1,false,"1"],[2,true,"2"],[3,false,"3"],[4,false,"4"],[5,false,"5"]]; ta10: puristusmaara;
Puristusraudoitteen halkaisija	puristusp:[[12,false,"12"],[16,false,"16"],[20,false,"20"],[25,true,"25"],[32,false,"32"]]; ta11: puristusp;
Raudoituksen kokonaispinta-ala	As2tot:[[491,false,"491"],[982,true,"982"],[1473,false,"1473"],[1964,false,"1964"],[2455,false,"2455"]]; ta12: As2tot;

Kysymysteksti:

Teräsbetonipalkin puristusraudoitus

LÄHTÖTIEDOT

Tehtävänäsi on mitoittaa palkin puristusraudoitus.

palkin korkeus $h = (680.0)$ mm

Palkin leveys $b = (380.0)$ mm

Betonipeite $(C)_{(nom)} = (30.0)$ mm

Betonin lujuusluokka $(C30/37)$

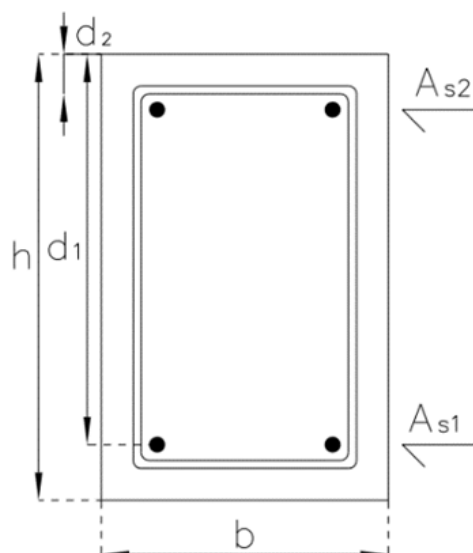
Runkoaineen max. raekoko $(d)_{(g)} = (16)$ mm

Raudoitus **B(500)B**

Haat **T8 k200**

Mitoitetaan suorakaidepalkin taivutusraudoitus, kun

mitoitusmomentti $M_{Ed} = \{ @MEd @ \}$ kNm



LUJUUSARVOT LASKENTAAN:

Materiaaliosavarmuuslukujen perusarvot ovat:

Betonille $\gamma_c = 1.50$ ja raudoitukselle $\gamma_s = 1.15$

Lujuusarvot:

$$\lambda = 0.80$$

$$\eta = 1.0$$

$$\alpha = 0.85$$

$$f_{cd} = 17 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

$$\text{Tehollinen korkeus } d_1 = 625 \text{ mm}$$

Käytä pienempää tehollista korkeutta, sillä tangot eivät todennäköisesti mahdu yhteen kerrokseen: $d_1 = 600 \text{ mm}$

LASKENTA

Suhteellinen momentti μ :	= <input type="text" value=""/> <input type="text" value=""/> [[feedback:prt1]]
Arvioitu puristusraudoituksen tankopak- suus ϕ :	= <input type="text" value=""/> <input type="text" value=""/>
Puristusrautojen keskiöetäisyys yläpin- nasta: d :	= <input type="text" value=""/> <input type="text" value=""/> [[feedback:prt3]]
Betonin puristusvyöhykkeellä otettava momentti $M_{R,d,c}$:	= <input type="text" value=""/> <input type="text" value=""/> [[feedback:prt4]]
Puristusraudoitukselle jäävä momentti: $M_{R,d,s2}$:	= <input type="text" value=""/> <input type="text" value=""/> [[feedback:prt5]]
Tarkista puristusraudoituksen jänni- tys X_{tot} :	= <input type="text" value=""/> <input type="text" value=""/> [[feedback:prt6]]
e_{s2} :	= <input type="text" value=""/> <input type="text" value=""/> [[feedback:prt7]]
σ_{s2} :	= <input type="text" value=""/> <input type="text" value=""/> [[feedback:prt8]]
Puristusraudoituksen vaadittava määrä: $A_{s,vaad}$:	= <input type="text" value=""/> <input type="text" value=""/> [[feedback:prt9]]

PURISTUSRAUDOITUKSEN VALINTA:	
Terästen määrä	= [[input:ans10]] [[validation:ans10]]
Valittu teräspaksuus	= [[input:ans11]] [[validation:ans11]]
\(A_{s,tot} \)	= [[input:ans12]][[validation:ans12]]

Seuraavia kohtia ei ole muutettu:

- Oletuspisteet
- Erityinen palaute
- Rangaistus
- Yleinen palaute
- Kysymyksen kuvaus

Kysymyksen erotteluteksti: MEd={@MEd@}

Vastauskentät:

- VASTAUS:ANS1
- VASTAUS:ANS3
- VASTAUS:ANS4
- VASTAUS:ANS5
- VASTAUS:ANS6
- VASTAUS:ANS7
- VASTAUS:ANS8
- VASTAUS:ANS9

täytetään seuraavanlaisesti, vain mallivastaus-kenttä täytetään eri lailla opettajan mallivastauksen mukaisesti esim. VASTAUS:ANS9-kohdan mallivastaus kohtaan täytetään ta9.

VASTAUS: ANS1

Vastauksen tyyppi	<input type="text" value="Lukuarvo"/>
Mallivastaus	<input type="text" value="ta1"/>
Vastauskentän pituus	<input type="text" value="8"/>
Lisätäänkö tähdet	<input type="text" value="Älä lisää tähtiä"/>
Syntaksivihje	<input type="text"/>
Syntaksivihjeen tyyppi	<input type="text" value="Muokattava arvo"/>
Kielletyt merkkijonot	<input type="text"/>
Sallitut sanat	<input type="text"/>
Liukuluvut kielletään	<input type="text" value="Ei"/>
Vaaditaanko supistettu muoto	<input type="text" value="Ei"/>
Tarkista vastauksen tyyppi	<input type="text" value="Ei"/>
Esikatselu	<input type="text" value="Kyllä"/>
Näytä validointi	<input type="text" value="Kyllä, muuttujalistan kanssa"/>
Lisämääritykset	<input type="text"/>

Kuva 11. Puristusraudoitus VASTAUS:ANS1

Vastauskentät:

- VASTAUS:ANS2
- VASTAUS:ANS10
- VASTAUS:ANS11
- VASTAUS:ANS12

Täytetään seuraavanlaisesti, vain mallivastaus-kenttä täytetään eri lailla opettajan mallivastauksen mukaisesti esim. VASTAUS:ANS12 kohdan mallivastaus kohtaan täytetään ta12.

VASTAUS: ANS2

Vastauksen tyyppi	<input type="text" value="Pudotusvalikko"/>
Mallivastaus	<input type="text" value="ta2"/>
Esikatselu	<input type="text" value="Kyllä"/>
Näytä validointi	<input type="text" value="Kyllä, muuttujalistan kanssa"/>
Lisämääritykset	<input type="text"/>

Kuva 12. Puristusraudoitus:pudotusvalikko

VASTAUSPUU

Vastauspuut PRT1-PRT9 täytetään seuraavanlaisesti:

VASTAUSPUU: PRT1

Kysymyksen arvo

Automaattinen sievennys

Vastauspuun palautteen muotoilu

Palautteen muuttajat

Tämä vastauspuu käsitellään, jos opiskelija vastannut kenttään ans1

$=1.000000$ $1.ATA1gEquiv(ans1,ta1)$ prt1-1-T prt1-1-F

Solmu 1	Kuvaus	Vastaustesti	AlgEquiv	SAns	ans1	TAns	ta1		
	Hiljainen	Ei							
Solmu 1, jos vastaus on oikein	Mod	-	Pisteet	1	Rangalistus	Seuraava	[stop]	Vastauksen tunnus	prt1-1-T
Solmun 1 palaute, jos vastaus on oikein	Muokkaa	Näytä	Lisää	Muotoilu	Työkalut	Taulukko	Ohje		
Solmu 1, jos vastaus on väärin	Mod	=	Pisteet	0	Rangalistus	Seuraava	[stop]	Vastauksen tunnus	prt1-1-F
Solmun 1 palaute, jos vastaus on väärin	Muokkaa	Näytä	Lisää	Muotoilu	Työkalut	Taulukko	Ohje		

Kuva 13. Puristusraudoitus-vastauspuu

LISÄVALINNAT-kohdan arvoja ei ole muutettu.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA KEHITYSEHDOTUKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda STACK-järjestelmän avulla betonirakenteiden mitoitukseen liittyviä tehtäviä Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulun rakennustekniikan opiskelijoiden suunnittelukurssille opettajien työtaakan vähentämiseksi. STACK-harjoituksia luotiin Learn-alustalle massiivilaatan mitoituksesta, teräsbetonipalkin leikkaus- ja puristusraudoituksesta sekä pilarin mitoituksesta. Opinnäytetyöprosessissa valmistui myös STACK-tehtävien ohjeistus, joiden avulla tehtävien luominen nopeutuu.

Ensimmäistä kertaa STACK-järjestelmää käytettäessä lyhenteiden käyttö tehtävien muuttujat kohdassa voi olla haasteellista. STACK-järjestelmä antaa automaattisesti palautetta eikä päästä tehtävässä eteenpäin, jos kysymyksen muuttujat-kohdassa on virheitä. Erityisesti pitkissä tehtävissä virheen löytäminen voi olla haasteellista, sillä annettu palaute ei ole yksityiskohtaista ja sisältää monta mahdollista vaihtoehtoa, mistä virhe voi johtua. Järjestelmä voisi parantaa palautetta yksityiskohtaisemmaksi virheiden huomaamiseksi.

Opinnäytetyön tuotoksena tehtyjä STACK-tehtäviä on mahdollista jatkojalostaa esimerkiksi lisäämällä vastauspuita, syntaksivihjeitä sekä muuttujia tehtävien lähtöarvoihin, jotta tehtäviä saadaan satunnaistettua lisää. Tehtävien luomisen helpottamiseksi STACK-järjestelmän käyttöä helpottavia ohjevideoita voisi tehdä suomeksi. Ohjevideoissa esiteltäisiin järjestelmän käyttöä sekä yksinkertaisen tehtävän luominen alusta lähtien, jotta järjestelmän käyttöönotto helpottuisi sekä kynnys luoda tehtäviä STACK-järjestelmän avulla madaltuisi.

LÄHTEET

Betonirakenteiden suunnitteluperusteet. s.a. Betonitieto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.betonitieto.fi/suunnittelijat/betonirakenteiden-suunnittelu-talonrakentaminen/betonirakenteiden-suunnitteluperusteet.html> [viitattu 29.9.2023].

Betoniteollisuus ry. s.a. Perustietopaketti. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://betoni.com/perustietopaketti/> [viitattu 18.10.2023].

Jännitys-muodonmuutosriippuvuus. s.a. Betonitieto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.betonitieto.fi/suunnittelijat/betonirakenteiden-suunnittelu-talonrakentaminen/betonirakenteiden-suunnitteluperusteet/materiaaliominaisuudet/betonin-perusominaisuudet/jannitys-muodonmuutosriippuvuus.html> [viitattu 20.11.2023].

Lowe, T. 2019. Getting started with STACK. STACK-Guide 2019. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://docs.stack-assessment.org/content/2019-STACK-Guide.pdf> [viitattu 23.11.2023].

Leikkausmitoitus. s.a. Betonitieto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://betonitieto.sivuviidakko.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/rakennesuunnittelu/terasbetonipalkit/leikkausmitoitus.html> [viitattu 20.11.2023].

Palkit s.a. Elementtisuunnittelu. Päivitetty 24.3.2023. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/palkit> [viitattu 22.9.2023].

Korhonen 2021. Pikaopas stack-tehtävien laadintaan. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://esamksupport.samk.fi/ohje/wp-content/uploads/sites/3/2022/03/PikaopasStack43.pdf> [viitattu 21.11.2023]

Suomen betoniyhdistys ry. s.a. Rungot, pilarit ja palkit. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/betonielementit/betonielementtirakentaminen/talonrakennus/talonrakennuksen-elementtituotteet/rungot-pilarit-ja-palkit.html> [viitattu 12.12.2023].

Suomen betoniyhdistys. 2008. Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Helsinki. Suomen betonitieto Oy

Suomen Betoniyhdistys. 2013. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 1, BY 211. Helsinki: BY-Koulutus Oy

Suomen betoniyhdistys. 2014. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 2, BY 211. Helsinki: BY-Koulutus Oy

Suomen betoniyhdistys. 2018. Betonitekniikan oppikirja. Helsinki: BY-koulutus Oy

Xamk. s.a. Tietoa XAMKista. Kaakkois-Suomen Ammattikorkeakoulu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.xamk.fi/xamk/> [viitattu 12.1.2024].