

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Heikki Timonen

BETONIPORRASELEMENTTI-SUUNNITTELUTYÖKALU

Opinnäytetyö
Helmikuu 2020



OPINNÄYTETYÖ
Helmikuu 2020
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Heikki Timonen

Nimeke
Betoniporraselementti-suunnittelutyökalu

Toimeksiantaja
A-insinöörit Suunnittelu Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehostaa betoniportaiden suunnittelua ja elementin valmistuspiirustusten tekemistä. Tähän tarkoitukseen valikoitui sopivaksi ohjelmaksi Excel, josta saa siirrettyä tarvittavat tiedot AutoCAD-ohjelmaan. Tavoitteena oli erityisesti nopeuttaa portaiden geometrian määrittämistä, sekä raudoituksen mitoittamista.

Tässä opinnäytetyössä käytiin läpi betoniportaiden mitoituksen eurokoodien mukaisesti sekä Excel-suunnittelutyökalun toiminnan periaatteet. Suorien portaiden porraskaatan suunnittelussa sovelletaan yhteen suuntaan kantavan teräsbetonilaatan mitoitusta. Nykyisin betoniportaan valmistetaan lähes poikkeuksetta elementteinä, jolloin huomioon on otettava valmistajien ohjeet ja käytännöt.

Opinnäytetyön lopputuloksena todettiin, että Exceliin syötettyjen tietojen pohjalta AutoCAD pystyy piirtämään portaista tasokuvan sekä leikkauskuvan, jossa on esitetty raudoitukset. Lisäksi Excel laskee portaiden painon, määrittää tarvittavan raudoituksen sekä luo raudoiteluettelon.

Kieli	Sivuja	27
suomi	Liitteet	1
	Liitesivumäärä	18

Asiasanat

AutoCAD, Excel, eurokoodit, betoni, portaat.



THESIS
February 2020
Degree Programme in Civil Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Heikki Timonen

Title
Design Tool for Prefabricated Concrete Stair Element

Commissioned by
A-insinöörit Suunnittelu Oy

Summary

The aim of this thesis was to improve the designing of concrete stairs and the manufacturing of elemental drawings. Excel was chosen for this purpose as the appropriate program from where the data can be transferred to AutoCAD program. Especially there was a need to speed up the determination of stair geometry and the dimensioning of concrete reinforcement.

In this thesis the dimensioning of the concrete staircase is dealt with according to Eurocodes and also the principles of the Excel design tool. In the designing of a stair slab of the staircase the dimensioning of one-way load-bearing ferroconcrete slab was applied. Nowadays, a concrete staircase is almost invariably manufactured in the form of the prefabricated elements so the manufacturers' instructions and practices must be taken into account.

As the result, based on the data entered to Excel, AutoCAD was able to draw a plan view and a sectional view which is showing the reinforcements. In addition, the Excel calculates the weight of the stairs, determines the reinforcement needed, and creates a list of reinforcements.

Language

Pages 27

Finnish

Appendices 1

Pages of Appendices 18

Keywords

AutoCAD, Excel, eurocodes, concrete, stairs

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Portaat	5
2.1	Porrastyypit.....	6
2.2	Portaiden liitokset	7
2.3	Portaiden asennus.....	7
3	Suunnitteluperusteet.....	9
3.1	Rajatilamitoitus	9
3.2	Osavarmuuslukumenetelmä	9
3.3	Luotettavuuden hallinta.....	10
3.4	Toteutusluokat	11
3.5	Suunniteltu käyttöikä.....	11
3.6	Rasitusluokat	12
3.7	Kuormat ja kuormitusyhdistelmät.....	12
3.7.1	Pysyvät kuormat	13
3.7.2	Muuttuvat kuormat	13
3.7.3	Kuormitusyhdistelmät	14
3.8	Materiaali ominaisuudet	16
3.8.1	Betoni	16
3.8.2	Betoniteräkset.....	17
4	Suorien portaiden mitoitus	18
4.1	Porraslaatan mitoitus	18
4.1.1	Taivutusmitoitus.....	18
4.1.2	Leikkausmitoitus	19
4.1.3	Halkeilumitoitus.....	20
4.1.4	Taipumamitoitus	21
4.2	Portaan leuan mitoitus	22
5	Excel-mitoitustyökalun toiminta.....	23
6	Pohdinta.....	25
	Lähteet.....	27

Liitteet

Liite 1 Suoranportaan esimerkkilaskelma

1 Johdanto

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda A-Insinöörit Suunnittelu Oy:lle suunnittelutyökalu, joka nopeuttaa betonielementtiportaiden suunnittelua. A-Insinöörit Oy on ollut toiminnassa yli 60 vuotta ja sillä on toimipisteitä Suomessa kymmenellä eri paikkakunnalla. Lisäksi yrityksellä on suunniteltuja kohteita 60:ssä eri maassa ja työntekijöitä on noin 720. (A-Insinöörit 2020.)

Opinnäytetyön toiminnalliseen osuuteen kuului luoda yritykselle Excel-suunnittelutyökalu, josta saadaan siirrettyä portaiden geometria- ja raudoitustiedot AutoCAD -ohjelmaan, sekä tehdä suorien portaiden esimerkkilaskelma Mathcad 15 -ohjelmalla. Excelistä saadaan x- ja y-suunnan koordinaatteja, joiden avulla AutoCAD pystyy piirtämään portaiden leikkaus- ja tasokuvan. Tässä raportissa käyn läpi betonielementtiportaiden suunnittelua eurokoodien mukaisesti ja Excel-suunnittelutyökalun toimintaperiaatteen.

2 Portaات

Portaille asetettavat vaatimukset määritellään niiden käyttötarkoituksen mukaan. Huomioitavia näkökulmia ovat esimerkiksi turvallisuus, helppokulkuisuus, henkilöiden kuljettaminen paareilla sekä poistumisteille asetetut vaatimukset. Usein suoran portaan leveys on 1200 mm, koska se mahdollistaa ohittamisen ja liikkumisen avustajan tai opaskoiran kanssa. Ulkotiloissa olevat portaات, jotka liittyvät rakennukseen oleellisesti, on suositeltavaa varustaa lämmityksellä tai vaihtoehtoisesti portaikko voidaan kattaa. (Ympäristöministeriö 2017.)

Turvallisuuden kannalta tärkein mitta on askelman etenemä. Etenemän tulisi olla tarpeeksi suuri, jotta jalan sopii asettamaan askelmalle kokonaan. Portaan askelman nousuksi suositeltava mitta on 150 mm ja etenemäksi noin 320 mm. Nousu saa olla enintään 180 mm ja etenemä vähintään 270 mm. Nousun ja etenemän mitat saadaan myös kaavasta 1. (Ympäristöministeriö 2017.)

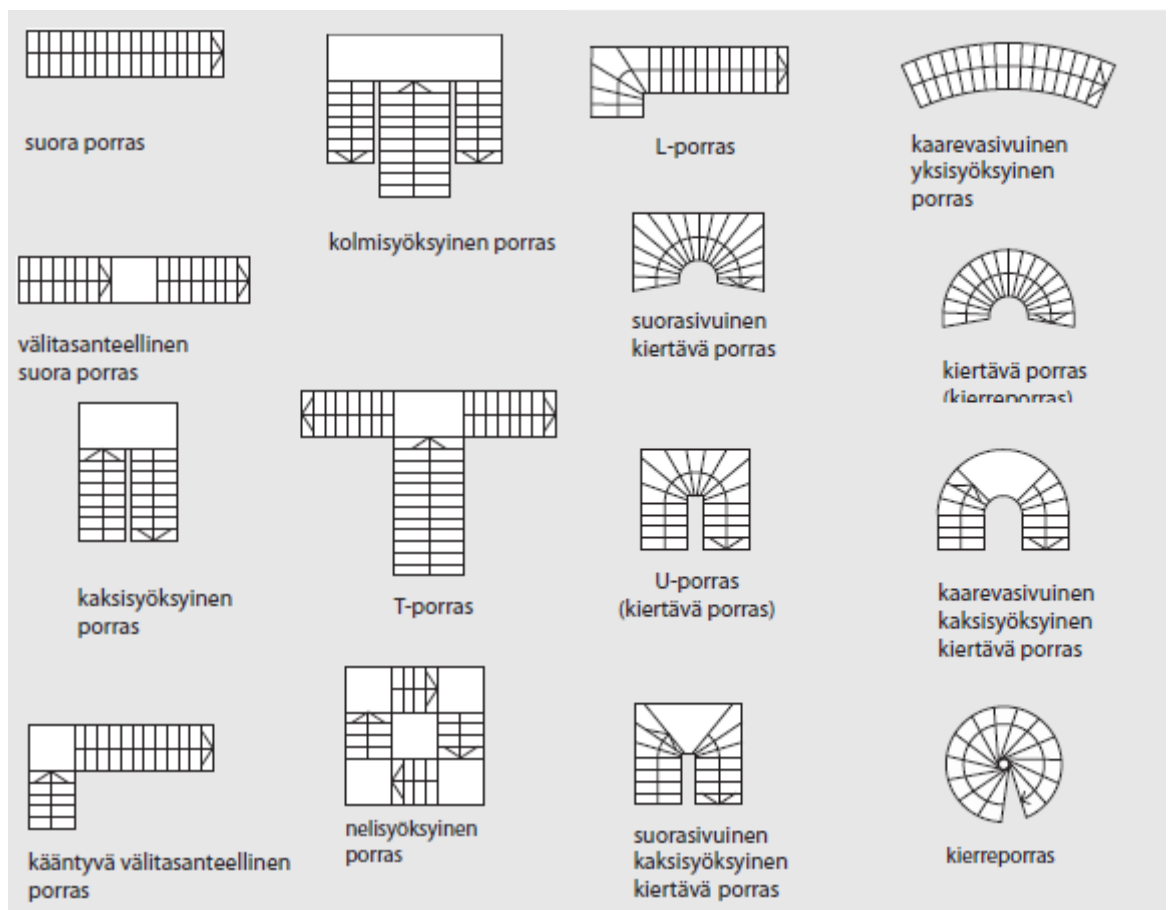
$$2 * nousu + etenemä = 630 \text{ mm}$$

(1)

2.1 Porrastyypit

Portaat voidaan jaotella muodon mukaan kahteen ryhmään, suorasyöksyisiin portaisiin ja kierreportaisiin. Tarkemmat nimitykset portaista on esitetty kuvassa 1.

Välitasanteella varustettua suoraa porrasta suositellaan pääportaaksi sen turvallisuuden ja esteettömyyden kannalta. Suositus välitasanteelle on noin 15 askelman välein. Hissittömissä asuinrakennuksissa tulee käyttää suorasyöksyisiä portaita välitasanteella, jonka lisäksi kerrostasojen välisen portaikon on saatava luonnonvalo. Suorasyöksyisissä portaissa, joissa on välitasanne, suositellaan tasanteen leveydeksi 1200 mm. (Rakennustietosäätiö 2019, 2–3.)

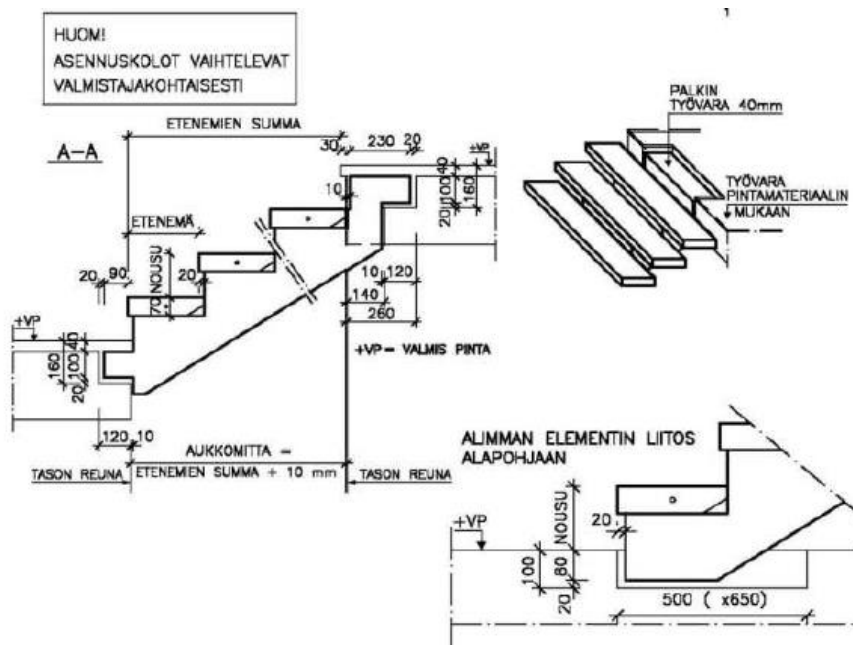


Kuva 1. Esimerkkejä suorasyöksyisistä ja kiertävistä portaista. (Rakennustietosäätiö 2019, 2–3)

2.2 Portaiden liitokset

Portaiden liitokset ja asennuskolot vaihtelevat yksityiskohdiltaan valmistajakohdittain. Ennen kuin valitaan kohteeseen lopulliset portaat, on syytä selvittää valmistaja kohtaiset ohjeet. Asuinrakennuksissa portaiden liitokset on suunniteltava siten, ettei portaiden käytöstä aiheutuva värähtely kulkeudu runkoääninä porrashuoneesta asuntoihin. Kuvassa 2 esitetyt liitokset ovat peruseriaatteeltaan tyyppillisesti käytössä elementtiportaissa. (Betoniteollisuus ry 2020a.)

Usein portaiden leukojen alla käytetään asennuspaloja ja liitokset valetaan juotosmassalla umpeen. Portaiden leuoissa voidaan käyttää vaijerilenkkejä, jotka yhdistyvät esimerkiksi lepotason raudoitukseen. (Betoniteollisuus ry 2020a.)



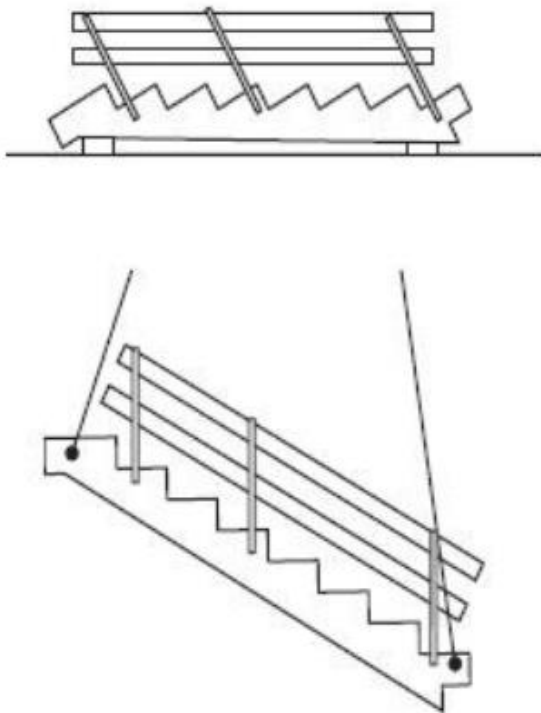
Kuva 2. Esimerkkejä portaan liitoksista. (Betoniteollisuus ry 2020a.)

2.3 Portaiden asennus

Yleensä porrasedenttien nostoissa käytetään lyhennyskoukuilla varustettua neljähaaraista nostoketjua. Suorissa portaissa ketjuja lyhennetään niin, että por-

taut saadaan nousemaan halutussa asennossa. Riippuen porrastyyppistä tai portaiden valmistajasta voi elementissä olla joko nostolenkit tai sisäkierreankkurit nostoa varten.

Ennen nostoa on elementtiin syytä kiinnittää lopulliset tai väliaikaiset kaiteet ja käsijohteet. Porraselementin nostossa on noudatettava porrasmuotovalmistajan ohjeita. Portaiden säilytyksestä ja nostosta esimerkit on esitetty kuvassa 3. Elementin säilyttäminen siten, että se on tuettu väärissä kohdissa, voi aiheuttaa elementtiin halkeamia tai suurempia vaurioita. (Betoniteollisuus ry 2020b.)



Kuva 3. Porraselementin säilytys ja nostaminen työmaalla. (Betoniteollisuus ry 2020b.)

3 Suunnitteluperusteet

3.1 Rajatilamitoitus

Rajatilamitoitus perustuu rakenteiden toimintamalleihin erilaisissa rajatiloissa. Rajatiloja ovat murto- ja käyttörajatilat. Rakenteiden vaatimuksenmukaisuus on erikseen osoitettava molemmissa rajatiloissa, ellei kokemukseräisesti tiedetä, että toisen rajatilan täyttymisestä seuraa myös toisen rajatilan ehtojen täyttyminen. Rajatilojen lisäksi on otettava huomioon erilaiset mitoitusilanteet, jotka ovat: normaalisti vallitsevat tilanteet, tilapäiset mitoitusilanteet, onnettomuusilanteet ja maanjäristystilanteet. (SFS-EN 1990 2006, 52–57.)

Murtorajatilaksi katsotaan tilanne, jossa rakenteen sortuminen tai ennen sortumista vallitseva rakenteen tila voi aiheuttaa vaaraa ihmisten turvallisuudelle tai omaisuudelle. Betonirakenteiden murtorajatiloja ovat esimerkiksi taivutus- ja leikkausmurto. (SFS-EN 1990 2006, 52–54.)

Käyttörajatilalla tarkoitetaan tilannetta, jossa rakenteen toiminta häiriintyy. Esimerkkejä käyttörajatilanteesta ovat rakenteen säilyvyyden tai ulkonäön heikkeneminen, joista ei kuitenkaan koidu välitöntä vaaraa rakenteen kestävyydelle. Käyttörajatilassa betonirakenteista tarkastellaan yleensä taipuman ja halkeamaleveyden rajatilat. (SFS-EN 1990 2006, 54.)

3.2 Osavarmuuslukumenetelmä

Osavarmuuslukumenetelmällä kasvatetaan kuormia kertomalla ne kuormanosavarmuusluvulla (γ_F) ja pienennetään materiaalin lujuutta jakamalla lujuus materiaalin osavarmuusluvulla (γ_m). Edellä mainittujen osavarmuuslukujen avulla saadaan mitoitusarvot, joiden avulla saadaan edelleen mitoitusehto. (SFS-EN 1990 2006, 70–74.)

Osavarmuuslukumenetelmää käyttämällä voidaan varmistaa, että rajatilojen ylittyminen on epätodennäköistä rakenteen käyttöiän aikana. Kun osavarmuuslukua suurennetaan, saadaan pienempi todennäköisyys rajatilan ylittymiselle. Tästä

syystä osavarmuusluvut ovat suurempia murtorajatilassa kuin käyttörajatilassa. (SFS-EN 1990 2006, 70–74.)

3.3 Luotettavuuden hallinta

Rajatiiloilla ja niihin liittyvillä osavarmuusluvuilla otetaan huomioon erilaisten rajatilojen aiheuttamat seuraukset ympäristölle ja ihmisille, mutta niihin ei kuitenkaan sisälly rakennuskohteiden käsittely. Olipa sitten kyseessä varastorakennus tai 20-kerroksinen asuinrakennus, ne saavat murtorajatilassa samanlaisen varmuusluvun. (SFS-EN 1990 2006, 136–138.)

Suunnittelussa seuraamusluokilla CC1, CC2 ja CC3 otetaan huomioon murtumisesta aiheutuvat seuraamukset. Seuraamusluokkiin voidaan liittää kolme luotettavuusluokkaa, jotka ovat RC1, RC2 ja RC3. Mitoituksessa kuormakerroin (K_{FI}) ottaa seuraamusluokan huomioon kuormien yhdistelysäännöissä esitetyllä tavalla. Esimerkiksi seuraamusluokassa CC1 joitain kuormia voidaan pienentää 10% ja luokassa CC3 joitain kuormia kasvatetaan 10%. Taulukossa 1 on esitettyä seuraamusluokat, seuraamus ja kuormakerroin. (SFS-EN 1990 2006, 136–138.)

Taulukko 1. Seuraamusluokat

Seuraamusluokka (CC)	Seuraamus	Kuormakerroin K_{FI}
CC3	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia	$K_{FI}=1,1$
CC2	Keskisuuret seuraamukset	$K_{FI}=1,0$
CC1	Vähäiset seuraamukset	$K_{FI}=0,9$

3.4 Toteutusluokat

Betonielementtirakenteiden laatuvaatimuksille on olemassa oma toteutusstandardi, joka koskee työmaatöitä ja betonielementtejä. Standardi koskee työmaatöitä ja elementtejä, joilla ei ole erillistä tuotehyväksyntää. (Suomen betoniyhdistys 2015a, 24–25.)

Yleensä betonielementit valmistetaan CE-merkintään liittyvien käytäntöjen ja tuotestandardin mukaan. Toteutusluokkia on kolme ja ne on esitetty taulukossa 2. (Suomen betoniyhdistys 2015a, 24–25.)

Taulukko 2. Toteutusluokan valinta.

Seuraamusluokka	Toleranssiluokka	Materiaaliosavarmuus	Toteutusluokka	Betoni-luokat
CC1	1	perus	1	≤C20/25
	1	perus	2	≤C50/60
	1	perus	3	≤90/105
	2	pienennetty	3	≤90/105
CC2	1	perus	2	≤C50/60
	1	perus	3	≤90/105
	2	pienennetty	3	≤90/105
CC3	1	perus	3	≤90/105
	2	pienennetty	3	≤90/105

3.5 Suunniteltu käyttöikä

Suunniteltu käyttöikä tarkoittaa ajanjaksoa, jonka ajan rakenteen ominaisuudet säilyvät rakenteelta vaadittavalla tasolla edellyttäen, että sitä pidetään asianmukaisesti kunnossa. Rakennuksen käyttöiän aikana on rakenteille tehtävä säännöllisiä tarkastuksia ja huoltokorjauksia. (SFS-EN 1990 2006, 44–50.)

Rakennuksen eri rakenteiden käyttöikä ei tarvitse olla samoja. Perustuksille ja rungolle voidaan antaa pidempi suunniteltu käyttöikä kuin esimerkiksi ulkoverhoukselle, joka on helpommin korjattavissa. Alla olevassa taulukossa 3 on esitetty käyttöiän luokat, viitteellinen suunniteltu käyttöikä vuosina ja esimerkkejä rakenteista. (SFS-EN 1990 2006, 44–50.)

Taulukko 3. Viitteellinen suunniteltu käyttöikä.

Suunnitellun käyttöiän luokka	Viitteellinen suunniteltu käyttöikä (vuosia)	Esimerkkejä
1	10	Tilapäisrakenteet
2	10...25	Vaihdeettavissa olevat rakenteen osat, esim. nosturiratapalkit, laakerit
3	15...30	Maatalous- ja vastaavat rakennukset
4	50	Talonrakennukset ja muut tavanomaiset rakenteet
5	100	Monumentaaliset rakennukset, sillat ja muut maa- ja vesirakennuskohteet

3.6 Rasitusluokat

Betonin laadun ja raudituksen betonipeitteen vaatimukset tulevat rasitusluokista. Rakenne voi kuulua useampaan rasitusluokkaan, mutta kaikkien annettujen ehtojen on täytyttävä. (SFS-EN 1992-1-1 2015, 47–50.)

Normaalisti kuivissa sisätiloissa olevat betoniportaat kuuluvat rasitusluokkaan XC1. Ulkona oleva porrask rakenne voi kuulua rasitusluokkayhdistelmään XC3,4-XD1-XF2, joka tarkoittaa lievästi pakkasrasitettua rakennetta, mihin voi lentää jäänsulatussuolaa ilmavirran mukana. (SFS-EN 1992-1-1 2015, 47–50.)

3.7 Kuormat ja kuormitusyhdistelmät

Mitoituksessa otetaan huomioon kuormat, joiden ajatellaan vaikuttavan rakenteeseen sen käyttöiän aikana. Omanpainon määrittäminen rakenteelle jo suunniteluvaiheessa on helppoa rakenteen nimellismittojen ja tiheyden avulla.

Muuttuvia kuormia määrittäessä on osattava ottaa huomioon rakenteen käyttötarkoitus ja tarkoitukseen määritetyt ominaisarvot. Jos rakenteeseen vaikuttaa useampi muuttuva kuorma samanaikaisesti, voidaan kuormitusyhdistelyssä käyttää yhdistelykertoimia.

3.7.1 Pysyvät kuormat

Pysyviksi kuormiksi luokitellaan rakenteen omapaino, esijännitysvoima, veden- ja maanpaino ja perustusten painuminen (Suomen betoniyhdistys 2015, 26). Edellä mainituista vain rakenteen omapaino huomioidaan portaiden mitoituksessa.

Normaalipainoisen betonin nimellistilavuuspaino on 24 kN/m^3 . Arvoon kuitenkin lisätään 1 kN/m^3 , kun rakenteessa oleva rauditus on normaali. Teräsbetonirakenteen omanpainon laskennassa voidaan siis käyttää arvoa 25 kN/m^3 . (EN 1991 2002, 46.)

3.7.2 Muuttuvat kuormat

Muuttuviksi kuormiksi luokitellaan hyöty-, lumi-, tuuli- ja lämpökuormat. Määrittäessä hyötykuormaa on ensin tiedettävä kohteen käyttötarkoitus ja sitä kautta selvitettävä käyttöluokka (taulukko 4).

Ulkoportaiden suunnittelussa on otettava myös huomioon luonnonkuormien arvot ja niihin liittyvät epävarmuudet. Luonnonkuormien perusarvoina käytetään tilastollisen jakauman ominaisarvoja. (EN 1990 2006, 58–62.)

Taulukko 4. Kuormien arvot suunniteltaessa asuin-, kokoontumis-, myymälä- ja toimistotiloja (NA SFS-EN 1991-1-1 2019, 5).

Kuormitettujen tilojen luokat	q_k [kN/m ²]			Q_k [kN] (Portaat su- luissa)
	Välipohjat	Portaat	Parvekkeet	
Luokka A Asuin ja majoitustilat	2,0	2,0	2,5	2,0 (2,0*)
Luokka B Toimistotilat	2,5	3,0	2,5	2,0 (2,0)
Luokka C Tilat, joihin ihmiset voivat kokoontua				
-C1	2,5	3,0	2,5	3,0 (2,0)
-C2	3,0	3,0	3,0	3,0 (2,0)
-C3	4,0	3,0	4,0	4,0 (2,0)
-C4	5,0	3,0	5,0	4,0 (2,0)
-C5	6,0	6,0	6,0	4,0 (2,0)
Luokka D Myymälätilat				
-D1	4,0	3,0	4,0	4,0 (2,0)
-D2	5,0	6,0	5,0	7,0 (2,0)

*Asunnon sisäiset portaat $Q_k=1,5$ kN

3.7.3 Kuormitusyhdistelmät

Kuormitusyhdistelmissä otetaan huomioon sellaisten kuormien vaikutukset, jotka voivat vaikuttaa samanaikaisesti. Kuormia ei kuitenkaan tarvitse laskea täysimääräisesti, vaan muuttuville kuormille voidaan käyttää yhdistelykertoimia.

Yhdistelykertoimia käytetään, koska ei ole todennäköistä, että kaikki rakennusta kuormittavat hyötykuormat vaikuttavat täysimääräisinä samaan aikaan. Murtorajatilassa betonirakenteita koskee staattisen tasapainon rajatila (EQU), sekä kestävyden rajatila (STR) (taulukko 5). (SFS-EN 1990 2006, 86.)

Taulukko 5. Kuormien yhdistely murtorajatilassa.

Kuormitusyhdistelmä	Pysyväkuorma	Määräävä muuttuva kuorma	Muut samaan aikaan vaikuttavat muuttuvat kuormat
EQU	1,10 K_{fi} tai 0,90	1,5 K_{fi}	1,5 $K_{fi} \psi_0$
STR1	1,15 K_{fi} tai 0,90	1,5 K_{fi}	1,5 $K_{fi} \psi_0$
STR2	1,35 K_{fi}	0	0

Käyttöraajatilassa on kolme kuormitusyhdistelmää, jotka ovat ominais-, tavallinen- ja pitkäaikainen yhdistelmä. Kyseiset yhdistelmät on esitetty tarkemmin taulukossa 6. Pysyvien kuormien osavarmuusluku käyttöraajatilassa on aina 1, mutta muuttuvilla kuormilla käytetään yhdistelykertoimia. (SFS-EN 1990 2006, 86–92.)

Taulukko 6. Kuormien yhdistely käyttöraajatilassa.

Kuormitusyhdistelmä	Kuormien kertoimet		
	Pysyvä	Määräävä muuttuva kuorma	Muut samaan aikaan vaikuttavat muuttuvat kuormat
Ominaisyhdistelmä	1,0	1,0	ψ_0
Tavallinen yhdistelmä	1,0	ψ_1	ψ_2
Pitkäaikainen yhdistelmä	1,0	ψ_2	ψ_2

3.8 Materiaali ominaisuudet

3.8.1 Betoni

Betonirakenteen tärkein ominaisuus on kestää suuria puristusrasituksia. Lujuusluokat määräytyvät betonin puristuslujuuden perusteella, joka voi olla lieriö- tai kuutiolujuus. Esimerkiksi lujuusluokka C30/37 tarkoittaa, että kyseisen betonin lieriölujuus on 30 MPa ja kuutiolujuus 37 MPa 28 vuorokauden iässä. Betonirakenteissa olevaa puristusta ei voi verrata suoraan lieriö- tai kuutiolujuuden arvoihin, koska kuormitusalueen mitat, muoto ja mittasuhteet vaihtelevat. Edellä mainitusta syystä betonin lujuutta rakenteessa pienennetään kertoimella α_{cc} , jonka arvo Suomessa on 0,85. (Suomen betoniyhdistys 2015a, 35–37.)

Eurokoodeissa puristuslujuuden ominaisarvoa (f_{ck}) käytetään muiden materiaaliominaisuuksien määrittämisessä. Puristuslujuuden keskiarvo (f_{cm}) lasketaan kaavalla 2. (Suomen betoniyhdistys 2015a, 37–38.)

$$f_{cm} = f_{ck} + 8\text{MPa} \quad (2)$$

jossa f_{ck} on puristuslujuuden ominaisarvo.

Murtorajatilassa rakenteiden mitoituksessa käytetään puristuslujuuden mitoitusarvoa (f_{cd}), joka saadaan kaavasta 3 (Suomen betoniyhdistys 2015a, 39).

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (3)$$

jossa α_{cc} on betonin puristuslujuuskerroin, Suomessa 0,85 ja

γ_c on betonin materiaaliosavarmuusluku.

Betonin vetolujuus (f_{ctm}) on noin 5-8 % puristuslujuudesta ja sillä tarkoitetaan suoraa vetolujuutta. Vetolujuus lasketaan betonin lujuusluokan perusteella kaavalla 4 tai 5. (Suomen betoniyhdistys 2015a, 38.)

$$f_{ctm} = 0,30\text{MPa} \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{2/3} \quad \text{kun } f_{ck} \leq 50\text{MPa} \quad (4)$$

$$f_{ctm} = 2,12\text{MPa} * \ln \left(1 + \frac{f_{cm}}{10\text{MPa}} \right) \quad \text{kun } f_{ck} > 50\text{MPa} \quad (5)$$

Edellisistä kaavoista saadut arvot ovat vetolujuuden keskiarvoja. 5 % ja 95 % ominaisarvot saadaan kaavoista 6 ja 7. Yläraja-arvoa ($f_{ctk,0,95}$) käytetään harvoin ja merkintöjen selkeyttämiseksi alaraja-arvosta ($f_{ctk,0,05}$) voidaan jättää alaviitteen prosenttiosuuden merkintä pois. (Suomen betoniyhdistys 2015a, 38.)

$$f_{ctk,0,05} = 0,7 * f_{ctm} \quad (6)$$

$$f_{ctk,0,95} = 1,3 * f_{ctm} \quad (7)$$

Mitoituksessa betonirakennetta ei saa suunnitella toimimaan suoraan vetolujuuden kautta, mutta välillisesti vetolujuuden mitoitusarvoa (f_{ctd}) (kaava 8) käytetään esimerkiksi leikkaus- ja ankkurointimitoituksessa (Suomen betoniyhdistys 2015a, 39).

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} \quad (8)$$

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

3.8.2 Betoniteräket

Rakentamisessa käytettävät betoniteräket ovat betonin raudoittamiseen tarkoitettuja terästankoja. Terästankojen pinnassa on tartuntaa parantavia harjoja. Valmistustapoja ovat joko kuumavalssaaminen tai kylmämuokkaaminen.

Betoniteräksien toiminta riippuu useammasta tekijästä, joita ovat esimerkiksi rakenteen mekanismi, geometria tekijät ja pinta ominaisuudet. Teräksen mitoitusarvoina käytetään myötölujuuden ominais- ja mitoitusarvoja. Betoniteräksen myötölujuuden mitoitusarvo (f_{yd}) saadaan kaavasta 9. (Suomen betoniyhdistys 2015a, 52.)

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (9)$$

jossa f_{yk} on betoniteräksen myötölujuuden ominaisarvo ja γ_s on betoniteräksen osavarmuusluku.

4 Suorien portaiden mitoitus

4.1 Porraslaatan mitoitus

Suorat betoniportaat voidaan mitoittaa yhteen suuntaan kantavana laattana, jonka voimasuureet lasketaan samalla tavalla kuin palkeissa. Betonielementtiportaan laatan yläpinnan teräksiset on myös mitoitettava taivutukselle, jos elementti-tehtaalla porrastetaan askelmat alaspäin.

Portaiden jännemittana käytetään aukkomittaa ja laatan korkeutena porrastuksen paksuutta. Porrastusta on helpointa tarkastella yhden metrin levyisenä kaistana, vaikka portaan leveys olisi esimerkiksi 1,2 metriä.

4.1.1 Taivutusmitoitus

Yhteen suuntaan kantavassa laattassa mitoitus tehdään pääsuunnassa, eli tässä tapauksessa portaiden suuntaisesti. Betonielementtiportaisissa jakoraudoituksen tilalla on yleensä umpihaat, jotka sitovat sekä ylä- että alapinnan teräksiset.

Taivutettujen betonirakenteiden mitoituksessa tarvittava laatan tehollinen korkeus (d) saadaan kaavasta 10 (Suomen betoniyhdistys 2015b, 51).

$$d = HL - c_{nom} - \frac{\phi}{2} \quad (10)$$

jossa HL on porrastuksen paksuus,

c_{nom} on betonipeite ja

ϕ on alapinnan pääteräksen halkaisija.

Laatan vähimmäisraudoitusmäärä ($A_{s,min}$), jota verrataan vaadittuun raudoitusmäärään, saadaan kaavasta 11 (Suomen betoniyhdistys 2015b, 80).

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 * \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} * d \\ 0,0013 * d \end{array} \right. \quad (11)$$

Suhteellinen momentti (μ) saadaan kaavasta 12. Suhteellisen momentin arvoa on aina verrattava tasapainoraidoituksen mukaiseen suhteelliseen momenttiin (μ_{bd}). (Suomen betoniyhdistys 2015b, 48).

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}} \leq \mu_{bd} \quad (12)$$

jossa M_{Ed} on taivutusmomentti ja

η on tehollisen lujuuden kerroin.

Tehollisen puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus (β) saadaan laskettua kaavalla 13. Arvoa on verrattava puristusvyöhykkeen suhteellisen korkeuden raja-arvoon (β_{bd}). Mekaaninen raudoitussuhde (ω) (kaava 14) on yhtä suuri, kuin tehollinen puristusvyöhykkeen suhteellinen korkeus (Suomen betoniyhdistys 2015b, 48).

$$\beta = 1 - \sqrt{1 - 2\mu} \leq \beta_{bd} \quad (13)$$

$$\beta = \omega \quad (14)$$

jossa ω on mekaaninen raudoitussuhde.

Vetoraidoituksen pinta-ala laatan leveysyksikköä kohti saadaan kaavasta 15 (Suomen betoniyhdistys 2015b, 49). Vaadittua raudoituspinta-alaa ($A_{s,vaad}$) on aina verrattava miniraidoituksen tulokseen, joka esitettiin kaavassa 11.

$$A_{s,vaad} = \omega d \frac{\eta \cdot f_{cd}}{f_{yd}} \quad (15)$$

4.1.2 Leikkausmitoitus

Tavallisesti laatan leikkauskestävyys tarkastellaan leikkausraudoittamattomana. Laatan lopullinen leikkauskestävyyden mitoitusarvo ($V_{Rd,c}$) valitaan kaavasta 16. (SFS-EN 1992-1-1 2015, 84.)

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ \begin{array}{l} V_{Rd,c0} \\ V_{Rd,cmin} \end{array} \right. \quad (16)$$

jossa $V_{Rd,c0}$ on laatan leikkauskestävyys ja

$V_{Rd,cmin}$ on laatan leikkauskestävyyden vähimmäisarvo.

Leikkauskestävyyden vähimmäisarvo ($V_{Rd,cmin}$) saadaan kaavasta 17 (SFS-EN 1992-1-1 2015, 84).

$$V_{Rd,cmin} = 0,035 * d * k^{3/2} \sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}} MPa \quad (17)$$

jossa $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$

Leikkauskestävyyden mitoitusarvo ($V_{Rd,c0}$), jota on verrattava vähimmäisarvoon, saadaan kaavasta 18 (SFS-EN 1992-1-1 2015, 84).

$$V_{Rd,c0} = \frac{0,18}{\gamma_c} d * k \left(100 * \rho_L \frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{1/3} MPa \quad (18)$$

jossa $\rho_L = \frac{A_{sL}}{d} \leq 0,02$

jossa A_{sL} on vetoraudoitusmäärä.

4.1.3 Halkeilumitoitus

Tässä luvussa käydään läpi laatan halkeilukestävyys ja rajoitetaan halkeilua ilman suoraa laskentaa SFS-EN 1992-1-1 luvun 7.3.3 mukaisesti. Rakenteessa voidaan sallia halkeilu, jos se ei vaikuta rakenteen toimintaan. Normaalisti betonirakenteeseen ilmestyy välittömästi halkeilua kuorman tai jonkin muun voiman takia. Halkeamaleveyden maksimiarvo (w_{max}) saadaan määritettyä rasitusluokan perusteella SFS-EN 1992-1-1 olevan taulukon 7.1N mukaisesti. Esimerkiksi kuivissa sisätiloissa olevat betoniportaat kuuluvat rasitusluokkaan XC1, jonka perusteella halkeiluleveyden maksimiarvo (w_{max}) on 0,4 mm. (SFS-EN 1992-1-1 2015, 121–123.)

Halkeamaleveyden tarkastelussa tarvittavan betoniteräksen jännityksen laskentaan tarvitaan virumaluku, joka saadaan poikkileikkauksen muunnetun paksuuden kautta ja SFS-EN 1992-1-1 kuvan 3.1 avulla. Halkeamaleveyden taulukkomitoituksessa verrataan betoniteräksen jännitystä sallittuun tangon

enimmäishalkaisijaan ja tankojaon enimmäisarvoon. Teräksen jännityksen laskennassa tarvittava puristusvyöhykkeen korkeus (Z_{LT}) saadaan kaavoilla 19 ja 20 (Suomen betoniyhdistys 2015b, 94).

$$X_{LT} = d * \rho * \alpha_{e,eff} \left(-1 + \sqrt{\frac{2}{\rho * \alpha_{e,eff}}} \right) \quad (19)$$

$$Z_{LT} = d - \frac{X_{LT}}{3} \quad (20)$$

jossa $\alpha_{e,eff}$ on kimmokertoimien suhde.

Betoniteräksen jännitys (σ_{LT}) saadaan kaavasta 21 (Suomen betoniyhdistys 2015b, 94).

$$\sigma_{LT} = \frac{m_{e,qp}}{A_s * Z_{LT}} \quad (21)$$

jossa $m_{e,qp}$ on momentti pitkäaikaisyhdistelmällä.

4.1.4 Taipumamitoitus

Taipumamitoitus ei välttämättä tarvitse tarkempaa tarkastelua, vaan se voidaan laskea portaan jännemitan ja korkeuden avulla. Yleensä taipuma tulee mitoittavaksi tekijäksi käyttörajatilassa ja tarvittaessa taipumaa voidaan pienentää lisäämällä laatan paksuutta.

Yleisesti taipuman rajatiloihin voivat vaikuttaa esimerkiksi rakenteen pinnoitteet, väliseinät, lasit, verhoukset, talotekniset laitteet ja tasaisilla katoilla lammikoituminen. Jännemitan ja korkeuden rajasuhteen laskentaan on esitetty eurokoodissa kaksi kaavaa, joista valitaan toinen geometrisenraudoitussuhteen ja geometrisenraudoitussuhteen vertailuarvon mukaan. Rajasuhde saadaan kaavasta 22 tai 23. (SFS-EN 1992-1-1 2015, 125–126.)

$$\frac{L}{d} = K \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad jos \rho \leq \rho_0 \quad (22)$$

$$\frac{L}{d} = K \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12}\sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \quad jos \rho > \rho_0 \quad (23)$$

joissa $\rho = \frac{A_s}{d*b}$ on geometrinen vetorautoitussuhde,

$\rho_0 = 10^{-3} \sqrt{f_{ck}}$ on geometrisen rautoitussuhteen vertailuarvo ja

$\rho' = \frac{A_{s2}}{d_2*b}$ on momentin edellyttämä puristusraudoitussuhde.

4.2 Portaan leuan mitoitus

Portaan leuka voidaan mitoittaa leikkausraudoittamattomana rakenteena SFS-EN 1992-1-1 luvun 6.2.2 mukaan. Leikkauskestävyyden arvo ($V_{Rd,c,0}$) saadaan kaavasta 24.

$$V_{Rd,c,0} = \left[C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b_w * d \quad (24)$$

joissa $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 0,02$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0,2 * F_{cd}$$

b_w on poikkileikkauksen pienin leveys vedetyllä korkeudella.

Leikkauskestävyyden vähimmäisarvo ($V_{Rd,c}$) saadaan kaavasta 25 (SFS-EN 1992-1-1 2015, 84).

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) b_w * d \quad (25)$$

joissa $v_{min} = 0,6 * \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$

Eurokoodi ei ota suoraan kantaa portaan leuan tapaisen rakenteen mitoitukseen. Portaan leukaa voisi verrata esimerkiksi konsoliin toimintaperiaatteeltaan, mutta leuka on yleensä niin matala ja pitkä, ettei eurokoodin ristikkomenetelmän mukaisilla laskutavoilla puristussauvan kulmaa ja solmupisteitä saada pidettyä sallituissa rajoissa.

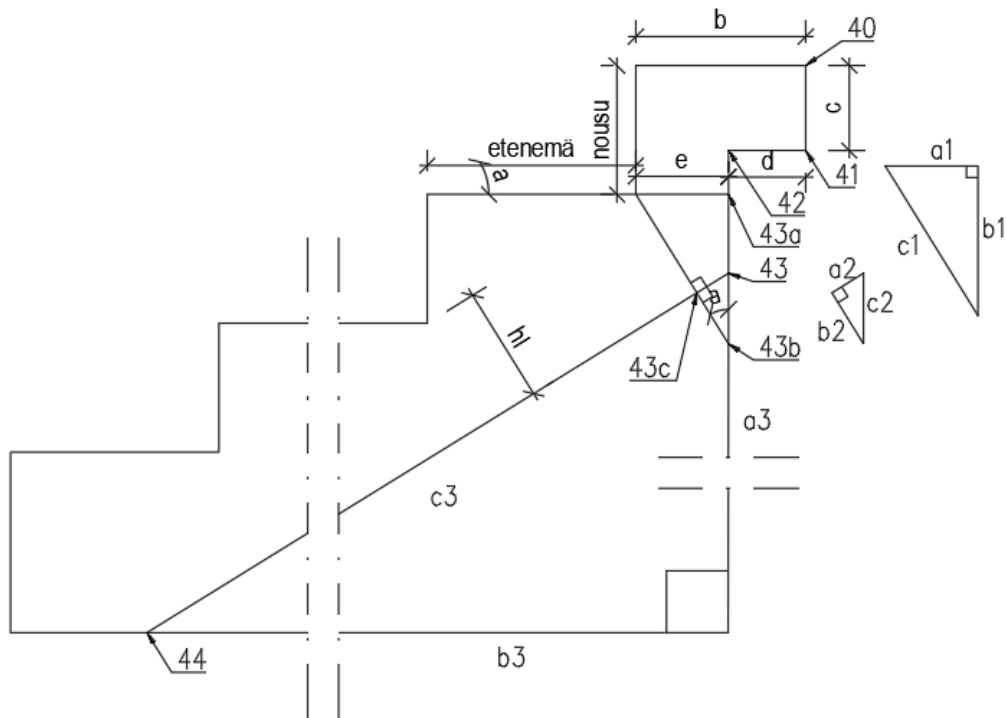
Portaan leuan raudoituksen määrityksessä voidaan soveltaa SFS-EN 1992-1-1 lukua 9.3.1.1(3), jonka mukaan tankoväli on oltava tasaisenkuormituksen alueella kolme kertaa leuan paksuus, mutta kuitenkin alle 400 mm, ja pistekuorman alueella kaksi kertaa leuan paksuus, mutta alle 250 mm. Myös SFS-EN 1992-1-1 kohta 9.3.1.2 voi tulla määrääväksi tekijäksi, jonka mukaan joka toinen kentän pääteräksistä on tuotava tuelle.

5 Excel-mitointityökalun toiminta

Opinnäytetyön toiminnalliseen osaan kuului Excel-suunnittelutyökalun tekeminen, josta suunnitelmat saadaan siirrettyä AutoCAD-ohjelmaan. Kyseisten ohjelmien yhteistoiminta tässä tilanteessa perustuu siihen, että Excel luo peräkkäisiin soluihin AutoCAD- käskyjä sekä x- ja y-koordinaatteja. Molempien suuntien koordinaatit ovat Excelissä samassa solussa ja lukujen erottimena täytyy olla pilkku, jotta AutoCAD ymmärtää erottaa lukuarvot toisistaan. Peräkkäisissä soluissa olevat tiedot kopioidaan AutoCAD-ohjelman komentoriville, jolloin ohjelma alkaa piirtämään portaita annettujen tietojen perusteella. Kuvassa 4 on esimerkki askel-lankun piirtokäskyistä Excelissä. Sarakkeissa C ja D on laskettuna koordinaatit, joista tiedot on siirretty edelleen sarakkeeseen F, jonka tiedot kopioidaan AutoCAD-ohjelmaan. Sarakkeessa H on nousujen lukumäärä, johon on viitattu jos-lausekkeessa.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
106			1770	990		1770,990		5	
107						close			
108						polyline			
109		askel lankku 7	1760	1160					
110			1760	1190		=JOS(D110*\$C\$9>1;C110&" "&D110;0)			
111			2070	1190		2070,1190		6	
112			2070	1160		2070,1160		6	
113						close			
114						polyline			
115		askel lankku 8	2060	1330		2060,1330		7	
116			2060	1360		2060,1360		7	
117			2370	1360		2370,1360		7	
118			2370	1330		2370,1330		7	
119						close			

Kuva 4. Kuvan kaappaus Excel-suunnittelupohjan taustalaskenta sivulta



Kuva 6. Periaatekuva portaan yläpään koordinaatti pisteiden laskennasta.

6 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehostaa porraselementtien suunnittelua ja selvittää AutoCAD- ja Excel-ohjelmien yhteensopivuutta. Erityisesti haluttiin nopeuttaa portaiden geometrian määrittämistä ja raudoituksien suunnittelua.

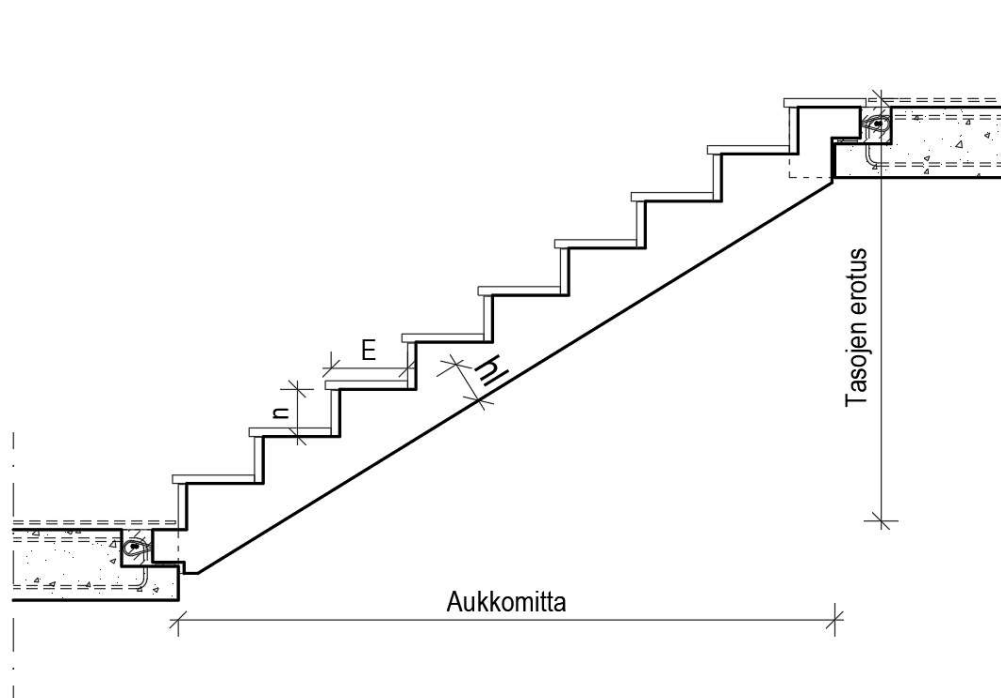
Syksyllä 2019 aloin selvittämään erilaisia mahdollisuuksia Excelin hyödyntämisestä 2D-kuvien luomisessa. Etsin tietoa siitä, voiko AutoCAD-ohjelmaan luoda makron, jonka avulla voisi ohjata Excelin laskentapohjaa, joka määrittäisi portaан tiedot. Lopulta päädyin kuitenkin tietojen kopioimiseen tietokoneen leikepöydän kautta sen helppouden ja nopeuden takia.

Excel suunnittelutyökalua on helppo jatkojalostaa ja kehittää. Esimerkiksi Excel pohjaan voi lisätä nosto-osien tai kaide hylsyjen piirtämisen. Jatkossa on vielä tutkittava, saako portaан mittojen piirtämisen automatisoitua. Mittojen esittämisessä on kuitenkin paljon muuttuvia tekijöitä, jonka myötä virheiden määrä voi kasvaa.

Excelin taustalaskennan tekeminen osoittautui ennakoitua työläämmäksi, koska jokaiselle piirtyvälle viivalle joutui erikseen syöttämään kaavan, joka yleensä sisälsi yhden tai useamman jos-lausekkeen. Kokonaisuutena opinnäytetyö oli opettavainen, ja syvensi osaamistani betonirakenteisiin sekä AutoCAD- ja Excel-ohjelmien käyttöön.

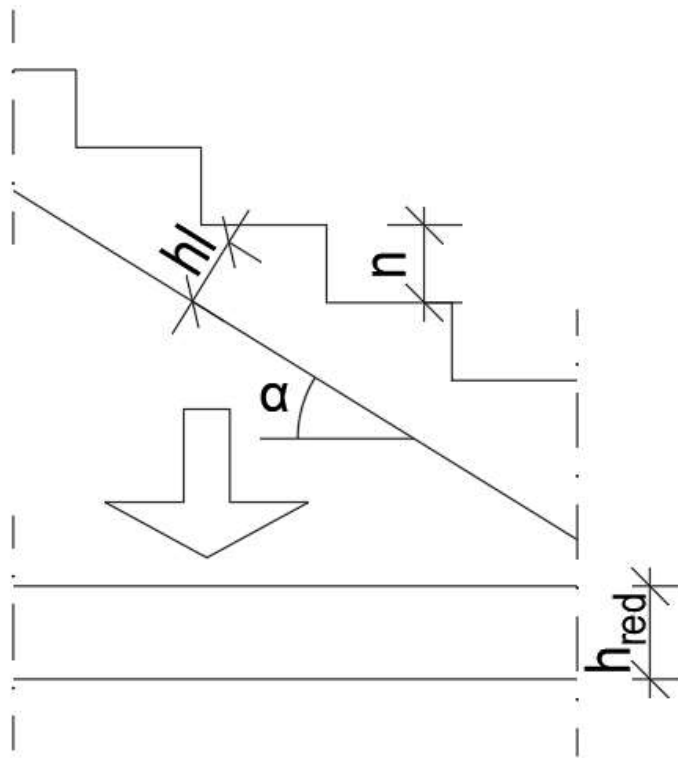
Lähteet

- A-Insinöörit Oy. Konserni. 2020. <https://www.ains.fi/konserni/>. 13.1.2020.
- Betoniteollisuus ry. 2020a. Porraselementit. Betoniteollisuus ry. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/portaat/porraselementit>. 13.1.2020
- Betoniteollisuus ry. 2020b. Elementtienasennus Porraselementit. Betoniteollisuus ry. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/elementtien-asennus/asennusohjeet/elementtien-asennus>. 13.1.2020
- NA SFS-EN 1991-1-1. 2019. Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1991-1-1 Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Ympäristöministeriö.
- Rakennustietosäätiö RTS. 2019. RT 103027 Portaajat ja Luiskat. Helsinki. Rakennustieto Oy.
- SFS-EN 1990. 2006. Eurokoodi. Rakenteiden suunnitteluperusteet. Suomen Standardoimisliitto SFS.
- SFS-EN 1991-1-1. 2002. Eurokoodi 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-1: Yleisen kuormat, tilavuuspainot, omapaino ja rakennusten hyötykuormat. Suomen Standardoimisliitto SFS.
- SFS-EN 1992-1-1. 2015. Eurokoodi 2. Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen Standardoimisliitto SFS.
- Suomen betoniyhdistys ry. 2015a. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja - osa 1 2013, by211. Helsinki. BY-Koulutus Oy.
- Suomen betoniyhdistys ry. 2015b. Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja – osa 2 2014, by211. Helsinki. BY-Koulutus Oy.
- Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 1007/2017.



Kuvio 1. Periaate kuva portaasta

Tasojenerotus	$h := 1500\text{mm}$	
Nousuja	$N_{\text{Ikm}} := 9$	
Nousu	$n := 167\text{mm}$	
Etenemä	$E := 270\text{mm}$	
Portaanleveys	$B := 1194\text{mm}$	
Portaan paksuus	$HL := 150\text{mm}$	
Hyötykuorma	$q_k := 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	Tarkastellaan 1m kaistaa
Aukkomitta+90mm	$L_{\text{porras}} := 2410\text{mm}$	
Portaan kulma	$\alpha_{\text{porras}} := \text{atan}\left(\frac{n}{E}\right) = 31.74 \cdot \text{deg}$	
Askel- ja rintalankut	30mm	
Metrin kaista	$b := 1\text{m}$	

Kuvio 2. Periaatekuva h_{red} arvon laskentaan

Tarkastellaan 1 metrin levyistä kaistaa

$$\cos_{\alpha} := \cos(\alpha_{porras}) = 48.73 \cdot \text{deg}$$

$$h_{red} := \frac{HL}{\cos_{\alpha}} + \frac{n}{2} = 260 \cdot \text{mm}$$

Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja osa 3
by 202, s.547

$$T_b := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Asken- ja rintalankuista tuleva omapaino

$$\text{Askellankku} \quad h_{AL} := 30 \text{mm} \quad b_{AL} := 290 \text{mm}$$

$$\text{Rintalankku} \quad h_{RL} := 167 \text{mm} \quad b_{RL} := 30 \text{mm}$$

$$g_{k.AL} := \frac{[(h_{AL} \cdot b_{AL} \cdot b) \cdot T_b \cdot N_{lkm}]}{L_{porras}} = 0.81 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{k.RL} := \frac{[(h_{RL} \cdot b_{RL} \cdot b) \cdot T_b \cdot N_{lkm}]}{L_{porras}} = 0.47 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{k.lankut} := g_{k.AL} + g_{k.RL} = 1.28 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Portaan pysyvä kuorma

$$g_k := h_{red} \cdot T_b \cdot 1 \text{ m} + g_{k.lankut} = 7.78 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Portaan muuttuvakuorma $q_k = 3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Kuormakerroin $K_{fi} := 1$

Pitkäaikaisarvon yhdistelykerroin $\psi_2 := 0.3$

Ominaisyhdistelmä $p_k := g_k + q_k = 10.78 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Murtorajatilan yhdistelmät $p_{d.6.10a} := 1.35 \cdot K_{fi} \cdot g_k = 10.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

$$p_{d.6.10b} := 1.15 \cdot K_{fi} \cdot g_k + 1.5 \cdot K_{fi} \cdot q_k = 13.44 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_d := \max(p_{d.6.10a}, p_{d.6.10b}) = 13.44 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Pitkäaikainen yhdistelmä $p_{E.qp} := g_k + \psi_2 \cdot q_k = 8.68 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Momentti ominaisyhdistelmästä $M_{ek} := \frac{p_k \cdot L_{porras}^2}{8} = 7.82 \cdot \text{kNm}$ kNm := kN·m

Momentti murtorajatilan yhdistelmästä $M_{ed} := \frac{p_d \cdot L_{porras}^2}{8} = 9.76 \cdot \text{kNm}$

Momentti pitkäaikaisesta yhdistelmästä $m_{e.qp} := \frac{p_{E.qp} \cdot L_{porras}^2}{8} = 6.3 \cdot \text{kNm}$

Leikkausvoima ominaisyhdistelmästä

$$V_{ek} := \frac{P_k \cdot L_{\text{porras}}}{2} = 12.99 \cdot \text{kN}$$

Leikkausvoima murtorajatilan yhdistelmästä

$$V_{ed} := \frac{P_d \cdot L_{\text{porras}}}{2} = 16.2 \cdot \text{kN}$$

Mitoitus

Betoni C30/37 XC1

Betonin puristuslujuuden ominaisarvo

$$f_{ck} := 30 \text{ MPa}$$

Betonin puristuslujuuskerroin

$$\alpha_{cc} := 0.85$$

Betonin materiaaliosavarmuusluku

$$\gamma_c := 1.5$$

Betoniteräksen materiaaliosavarmuusluku

$$\gamma_s := 1.15$$

Tehollisen lujuuden kerroin

$$\eta := 1.0$$

Betonin puristuslujuuden mitoitusarvo

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 17 \cdot \text{MPa}$$

Betoniteräksen myötölujuuden ominaisarvo

$$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$$

Betoniteräksen myötölujuuden mitoitusarvo

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.78 \cdot \text{MPa}$$

Betonin keskimääräinen vetolujuus

$$f_{ctm} := 0.3 \text{ MPa} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\left(\frac{2}{3} \right)} = 2.9 \cdot \text{MPa}$$

Betonin lieriölujuuden keskiarvo

$$f_{cm} := f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 38 \cdot \text{MPa}$$

Betonin kimmokerroin

$$E_s := 200000 \text{ MPa}$$

Kimmokertoimen keskiarvo

$$E_{cm} := 22 \text{ GPa} \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10 \text{ MPa}} \right)^{0.3} = 32.84 \cdot \text{GPa}$$

Virumaluvun määrittäminen

Poikkileikkauksen piiri

$$u := 2 \cdot B + 2 \cdot HL = 2688 \cdot \text{mm}$$

Poikkileikkauksen pinta-ala

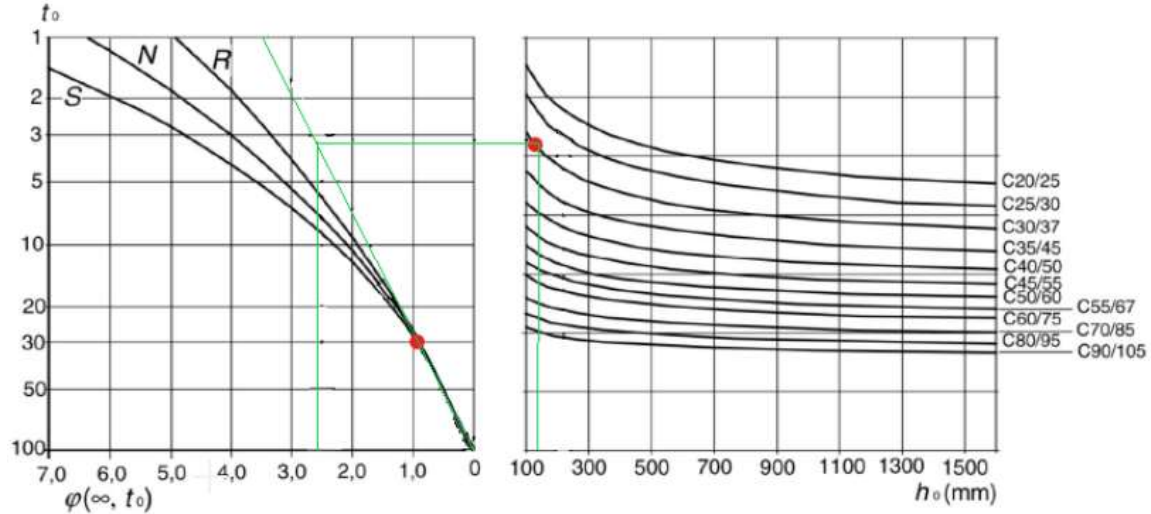
$$A_c := HL \cdot B = 179100 \cdot \text{mm}^2$$

Poikkileikkauksen muunnettu paksuus

$$h_0 := 2 \cdot \frac{A_c}{u} = 133 \cdot \text{mm}$$

Liite 1

5(18)



Kuvio 3. Virumaluku (1992-1-1 Kuva 3.1)

Virumaluku taulukosta $\varphi := 2.6$

Betoniteräkset

$$\phi_{\text{PT.laatta}} := 8 \text{ mm} \quad A_{\phi_{\text{PT.laatta}}} := \frac{\pi \cdot \phi_{\text{PT.laatta}}^2}{4} = 50.27 \cdot \text{mm}^2$$

$$\phi_{\text{HT.laatta}} := 8 \text{ mm} \quad A_{\phi_{\text{HT.laatta}}} := \frac{\pi \cdot \phi_{\text{HT.laatta}}^2}{4} = 50.27 \cdot \text{mm}^2$$

Betonipeite

$$c_{\text{min.b}} := \max(\phi_{\text{PT.laatta}} - \phi_{\text{HT.laatta}}, \phi_{\text{HT.laatta}}) = 8 \cdot \text{mm}$$

$$c_{\text{min.dur}} := 10 \text{ mm} - 5 \text{ mm} = 5 \cdot \text{mm}$$

$$c_{\text{min}} := \max(c_{\text{min.b}}, c_{\text{min.dur}}, 10 \text{ mm}) = 10 \cdot \text{mm}$$

$$\Delta c_{\text{dev}} := 10 \text{ mm} \quad \text{Toleranssiluokka 1}$$

$$c_{\text{nom}} := c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}} = 20 \cdot \text{mm}$$

Mitoitus momentti	$M_{ed} = 9.76 \cdot \text{kNm}$
Tehollinen korkeus	$d := HL - c_{nom} - \left(\frac{\phi_{PT.laatta}}{2} \right) = 126 \cdot \text{mm}$
Suhteellinen momentti	$\mu := \frac{M_{ed}}{d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot m} = 0.0362$
Puristusvyöhykkeen korkeus	$\beta := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu} = 0.037$
Mekaaninen raudoitussuhde:	$\omega := \beta$
Vähimmäisraudoitusala	$A_{s,min} := \max \left(0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot d, 0.0013 \cdot d \right) = 189.78 \cdot \frac{\text{mm}^2}{m}$
Vaadittu raudoitusala	$A_{s,vaad} := \omega \cdot d \cdot \frac{\eta \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = 182 \cdot \frac{\text{mm}^2}{m}$
Valittu raudoitusala	$A_{s,\phi PT} := \max(A_{s,vaad}, A_{s,min}) = 189.78 \cdot \frac{\text{mm}^2}{m}$
Tanko jako	$k := \frac{A_{\phi PT.laatta}}{A_{s,\phi PT}} = 265 \cdot \text{mm}$
EC 1992-1-1 kohta 9.3.1.1 (3)	$s_{max,slab} := \min(2 \cdot HL, 250 \text{mm}) = 250 \cdot \text{mm}$
	$k_{valittu} := \min(k, s_{max,slab}) = 250 \cdot \text{mm}$
Portaan leveys (1200 mm) huomioiden	$k_{tod} := 225 \text{mm} \quad 6T8 \text{ k}225$
Toteutunut pääraudoituksen pinta-ala 5kpl/m	$A_{s,\phi PT,tod} := A_{\phi PT.laatta} \cdot 5 = 251 \cdot \text{mm}^2$
$KA_{\text{taivutus}} := \frac{\max(A_{s,vaad}, A_{s,min})}{\frac{A_{s,\phi PT,tod}}{m}} = 75.51 \cdot \%$	

Taivutusmitoituksen perusteella alapintaan 6T8 k225

Laatan yläpinnan terästen mitoitus (by211)

Betonielementtiporras valmistetaan elementtitehtaalla askelmat alaspäin, joten yläpinnan teräkset on mitoitettava nostoa varten taivutukselle.

Purku- ja nostolujuus C20/25

$$f_{ck.nosto} := 20 \text{ MPa}$$

$$f_{cd.nosto} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck.nosto}}{\gamma_c} = 11.33 \cdot \text{MPa}$$

$$f_{ctm.nosto} := 0.3 \text{ MPa} \cdot \left(\frac{f_{ck.nosto}}{\text{MPa}} \right)^{\left(\frac{2}{3} \right)} = 2.21 \cdot \text{MPa}$$

$$\phi_{YP.laatta} := 8 \text{ mm} \quad A_{\phi_{YP.laatta}} := \frac{\pi \cdot \phi_{PT.laatta}^2}{4} = 50.27 \cdot \text{mm}^2$$

$$p_{d.nosto} := 1.15 \cdot g_k = 8.94 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{ed.nosto} := \frac{p_{d.nosto} \cdot L_{porras}^2}{8} = 6.49 \cdot \text{kNm}$$

$$d_{nosto} := HL - c_{nom} - \left(\frac{\phi_{YP.laatta}}{2} \right) = 126 \cdot \text{mm}$$

$$\mu_{nosto} := \frac{M_{ed.nosto}}{d_{nosto}^2 \cdot \eta \cdot f_{cd.nosto} \cdot \text{m}} = 0.0361$$

$$\beta_{nosto} := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{nosto}} = 0.037$$

$$\omega_{nosto} := \beta_{nosto}$$

$$A_{s.min.YP} := \max \left(0.26 \cdot \frac{f_{ctm.nosto}}{f_{yk}} \cdot d_{nosto}, 0.0013 \cdot d_{nosto} \right) = 163.8 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$A_{s.vaad.YP} := \omega_{nosto} \cdot d_{nosto} \cdot \frac{\eta \cdot f_{cd.nosto}}{f_{yd}} = 121 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$A_{s.\phi_{YP}} := \max(A_{s.vaad.YP}, A_{s.min.YP}) = 163.8 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$k_{YP} := \frac{A_{\phi YP.laatta}}{A_{s.\phi YP}} = 307 \cdot \text{mm}$$

$$s_{\text{max.slab.YP}} := \min(2 \cdot \text{HL}, 250 \text{mm}) = 250 \cdot \text{mm}$$

$$k_{\text{valittu.YP}} := \min(k_{YP}, s_{\text{max.slab.YP}}) = 250 \cdot \text{mm}$$

Portaan leveys (1200 mm) huomioiden $k_{\text{tod.YP}} := 225 \text{mm}$ 6T8 k225

Toteutunut pääraudoituksen pinta-ala $A_{s.\phi YP.tod} := A_{\phi YP.laatta} \cdot 6 = 302 \cdot \text{mm}^2$

$$KA_{YP.teräkset} := \frac{\max(A_{s.vaad.YP}, A_{s.min.YP})}{\frac{A_{s.\phi YP.tod}}{m}} = 54.31\%$$

Taivutusmitoituksen perusteella yläpintaan 6T8 k225

Porraselementtiä ei nosteta tehtäällä portaan päistä, vaan portaan kyljissä olevista nosto-osista, jotka ovat noin neljännes pisteissä portaan pituuden suhteen. Tämän perusteella voidaan olettaa yläpinnan terästen mitoituksen olevan varmalla puolella.

Laatan leikkausmitoitus (SFS-EN 1992-1-1 kohta 6.2.2)

Leikkauskestävyyden mitoitusarvo $V_{ed} = 16.2 \cdot \text{kN}$

Kerroin k $k_{\text{leikkaus}} := \min\left(2, 1 + \sqrt{\frac{200 \text{mm}}{d}}\right) = 2$

Suhteellinen raudoitusala $\rho_1 := \frac{A_{s.\phi PT.tod}}{d \cdot m} = 0.002$ $\rho_1 \leq 0.02$

Leikkauskestävyys

$$V_{Rd.c0} := \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot d \cdot k_{\text{leikkaus}} \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \text{MPa} \cdot \text{m} = 54.9 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Rd.cmin} := 0.035 \cdot d \cdot k_{\text{leikkaus}} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \cdot \text{MPa} \cdot \text{m} = 68.32 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c0}, V_{Rd.cmin}) = 68.32 \cdot \text{kN}$$

$$KA_{\text{leikkaus}} := \frac{V_{ed}}{V_{Rd.c}} = 23.71\%$$

Laatan halkeilumitoitus (SFS-EN 1992-1-1 kohta 7.3.3)

Rasitusluokka XC1

Halkeama leveyden suositusarvo (EC2 Taul. 7.1N)

$$w_{kmax} := 0.4 \text{ mm}$$

Betonin kimmokerroin

$$E_{c,eff} := \frac{E_{cm}}{1 + \varphi} = 9.12 \cdot \text{GPa}$$

$$\alpha_{e,eff} := \frac{E_s}{E_{c,eff}} = 21.93$$

Puristusvyöhykkeen korkeus

$$\rho := \frac{A_{s,\phi PT,tod}}{d \cdot b} = 0.00199$$

$$X_{LT} := d \cdot \rho \cdot \alpha_{e,eff} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2}{\rho \cdot \alpha_{e,eff}}} \right) = 32.16 \cdot \text{mm}$$

$$Z_{LT} := d - \frac{X_{LT}}{3} = 115.3 \cdot \text{mm}$$

Raudoituksen jännitys

$$\sigma_{LT} := \frac{m_{e,qp}}{A_{s,\phi PT,tod} \cdot Z_{LT}} = 217.43 \cdot \text{MPa}$$

Suurin sallittu teräsjännitys tankokoon perusteella (EC2 Taul. 7.2N)

$$\text{Teräsjännitys}_{7.2N} := 400 \text{ MPa}$$

Suurin sallittu teräsjännitys tankojaon perusteella (EC2 Taul. 7.3N)

$$\text{Teräsjännitys}_{7.3N} := 260 \text{ MPa}$$

EC2, taulukoista 7.2N ja 7.3N voidaan todeta, että teräsjännityskseen verrattuna halkeamaleveys $w_k < 0,4 \text{ mm}$, joten tarkempaa tarkastelua ei tarvita.

Taipuman tarkastelu mittojen perusteella

Portaan pituus

$$L_{\text{porras}} = 2.41 \text{ m}$$

Suhteellinen raudoitusala

$$\rho = 0.001995$$

$$\rho_0 := 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{f_{\text{ck}}}{\text{MPa}}} = 0.00548$$

$$\text{onko } \rho \leq \rho_0$$

Kerroin

$$k_{\text{taipuma}} := 0.8$$

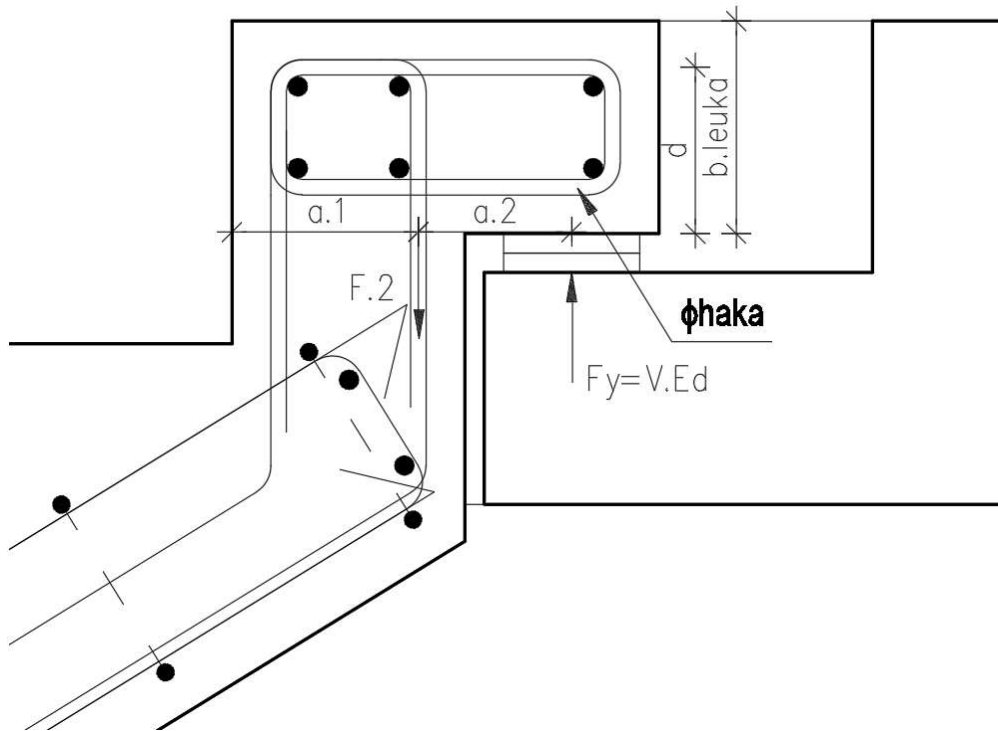
$$L_{\text{d,max}} := k_{\text{taipuma}} \cdot \left[11 + 1.5 \cdot \sqrt{\frac{f_{\text{ck}}}{\text{MPa}}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 \cdot \sqrt{\frac{f_{\text{ck}}}{\text{MPa}}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] = 59.2$$

$$L_{\text{d,tot}} := \frac{L_{\text{porras}}}{d} = 19.13$$

Mitoitusehto:

$$\frac{L_{\text{d,tot}}}{L_{\text{d,max}}} = 32.31\% \quad \text{Taipuma ei vaadi tarkempaa tarkastelua}$$

Portaan yläpään leuan mitoitus (SFS-EN 1992-1-1 kohta 6.2.2)



Kuvio 4. Portaan leuka

Leikkausvoiman mitoitusarvo

$$V_{ed} = 16.2 \cdot \text{kN}$$

Leuan korkeus

$$b_{leuka} := 110 \text{ mm}$$

Leuan tehollinen korkeus

$$d_{leuka} := 86 \text{ mm}$$

Tarkastelu leveys

$$b = 1000 \cdot \text{mm}$$

Leuan hakateräkset

$$\phi_{HT.leuka} := 8 \text{ mm}$$

$$A_{\phi_{HT.leuka}} := \frac{\pi \cdot \phi_{HT.leuka}^2}{4} = 50.27 \cdot \text{mm}^2$$

Hakaterästen jako leuassa

$$k_{jako.leuka} := 300 \text{ mm}$$

$$v := 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}} \right) = 0.53$$

$$C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$$

$$k_{leuka} := 1 + \sqrt{\frac{200 \text{ mm}}{d_{leuka}}} = 2.52$$

$$k_{min} := \min(k_{leuka}, 2.0) = 2$$

$$A_{sl} := \frac{b}{k_{jako,leuka}} \cdot A_{\phi HT,leuka} = 167.55 \cdot \text{mm}^2$$

$$\rho_{leuka} := \frac{A_{sl}}{b \cdot d_{leuka}} = 0.002 \quad \rho_l \leq 0.02$$

$$k_1 := 0.15$$

$$A_{c,leuka} := b \cdot b_{leuka} = 110000 \cdot \text{mm}^2$$

$$\sigma_{cp} := \frac{V_{ed}}{A_{c,leuka}} = 0.15 \cdot \text{MPa} \quad \sigma_{cp} < 0.2 \cdot f_{cd} \quad 0.2 \cdot f_{cd} = 3.4 \cdot \text{MPa}$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot k_{min}^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{MPa}^{0.5} = 0.54 \cdot \text{MPa}$$

Leikkauskestävyyden mitoitusarvo

$$V_{Rd,c.0} := \left[C_{Rd,c} \cdot k_{min} \cdot \left(100 \cdot \rho_{leuka} \cdot \frac{f_{ck}}{\text{MPa}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \text{MPa} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b \cdot d_{leuka} = 39.08 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Rd.c.min} := (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b \cdot d_{leuka} = 48.53 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Rd} := \min(V_{Rd.c.0}, V_{Rd.c.min}) = 39.08 \cdot \text{kN}$$

$$K_{A.leuka} := \frac{V_{ed}}{V_{Rd}} = 41.45\%$$

Leualle voidaan soveltaa alla olevia sääntöjä

EC2 kohdan 9.3.1.1(3) mukaisesti:

Tankoväli saa olla pääraudoituksessa

$$3 \cdot b_{leuka} = 330 \cdot \text{mm} \quad \text{vrt.} \quad 3 \cdot b_{leuka} \leq 400 \text{mm}$$

Pistekuorman alueella

$$2 \cdot b_{leuka} = 220 \cdot \text{mm} \quad \text{vrt.} \quad 2 \cdot b_{leuka} \leq 250 \text{mm}$$

EC2 kohdan 9.3.1.2 mukaisesti vähintään puolet kenttäraudoituksesta ankkuroitava tuelle.

Porraslaatasta nousevan hakaraudoituksen vetokestävyys

$$a_1 := 96 \text{mm}$$

$$a_2 := 79 \text{mm}$$

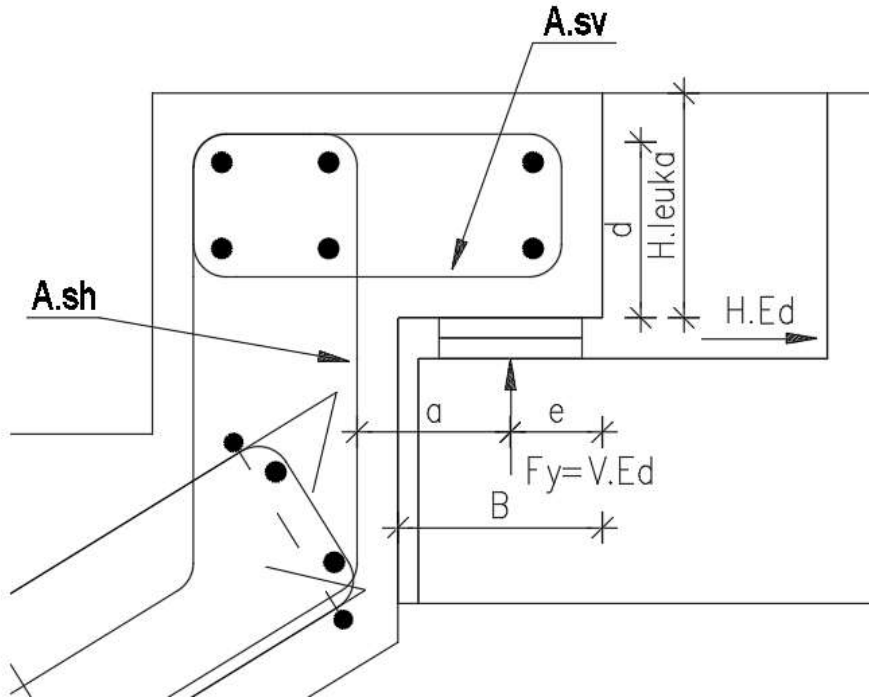
$$F_2 := \frac{a_1}{a_2} \cdot V_{ed} = 19.69 \text{ m} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Vaadittu teräsmäärä vetorasitukselle

$$A_{\text{vaad.veto}} := \frac{F_2}{f_{yd}} = 45.28 \cdot \text{mm}^2$$

$$\frac{A_{\text{vaad.veto}}}{A_{\phi HT.leuka}} = 0.9 \quad \text{Leikkeitä}$$

Lasketaan leuan hakateräkset vielä Runko-BES, Julkaisu 9 leukapalkin mitoitusohjeen mukaan. Käytetään alaviitettä RBES.



Kuvio 5. Portaan leuka

Kerroin $k_{RBES} := 0.5$

$e_{RBES} := 45\text{mm}$

$B_{RBES} := 100\text{mm}$

$H_{RBES} := 110\text{mm}$

$a_{RBES} := B_{RBES} - e_{RBES} + c_{nom} + \frac{\phi_{HT.leuka}}{2} = 79\text{mm}$

$t_{RBES} := c_{nom} + \frac{\phi_{HT.leuka}}{2} = 24\text{mm}$

$H_{Ed} := \max(V_{ed} \cdot k_{RBES}, 20\text{kN}) = 20\text{kN}$

Leuan maksimi kapasiteetti

$$F_{d,max,RBES} := f_{cd} \cdot d_{leuka} \cdot \left(0.14 + 0.04 \cdot \frac{d_{leuka}}{a_{RBES}} \right) = 268.34 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$\frac{\frac{V_{ed}}{m}}{F_{d,max,RBES}} = 6.04\%$$

Terästen mitoitus

Vaaka haat

$$T_{sh} := \frac{a_{RBES}}{H_{RBES} - 3 \cdot t_{RBES}} \cdot V_{ed} + \frac{H_{RBES} - 2 \cdot t_{RBES}}{H_{RBES} - 3 \cdot t_{RBES}} \cdot H_{Ed} = 0.07 \cdot MN$$

$$A_{sh} := \frac{T_{sh}}{f_{yd}} = 152.51 \cdot mm^2$$

$$\frac{A_{sh}}{A_{\phi HT,leuka}} = 3.03 \quad \text{kpl vaaka hakoja metrin matkalle}$$

Pysty haat

$$T_{sv} := V_{ed} = 16.2 \cdot kN$$

$$A_{sv} := \frac{T_{sv}}{f_{yd}} = 37.26 \cdot mm^2$$

$$\frac{A_{sv}}{A_{\phi HT,leuka}} = 0.74 \quad \text{kpl pysty hakoja metrin matkalle}$$

Leuan raudoituksen yhteenveto

Eurokoodin mukaan mitoittavaksi tekijäksi tulisi EC2 kohdan 9.3.1.1(3) mukaan k220.

Runko-BESin mukaan hakajako olisi k250.

Valitaan portaan leveys huomioiden 7T8 k190

Alapään leuassa voidaan olettaa saman teräsmäärän täyttävän mitoitus ehdot.

Työmaalla käytettävät nostolenkit tulevat askellankkujen alle, lankut asennetaan työmaalla

Portaan paino

$$\text{Porras}_{\text{massa}} := 22.6 \text{ kN}$$

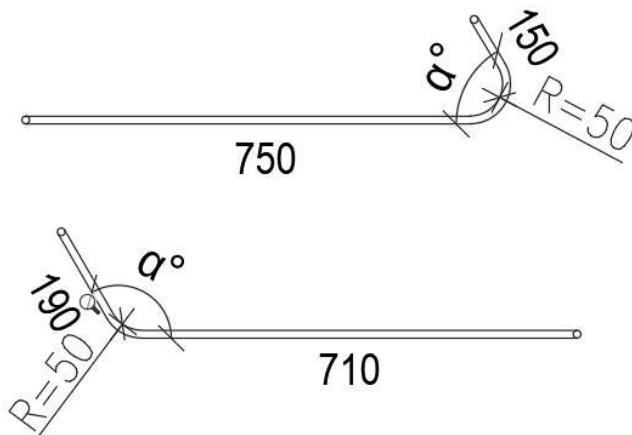
Valitaan nostolenkeiksi Pintos PBK12-900 (4kpl)

Yhden nostolenkin kapasiteetti 28.3kN

$$\text{Nostokapasiteetti} := 28.3 \text{ kN} \cdot 4 = 113.2 \cdot \text{kN}$$

Nostolenkin taitoskohtaan valmistajan ohjeen mukaisesti T10 L1150

Nostolenkki taivutetaan porras laattaan



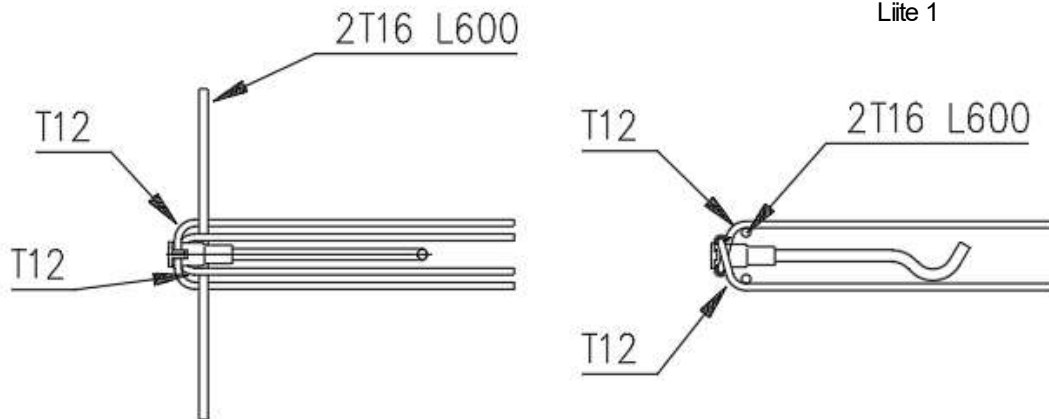
Kuvio 6. Esimerkki nostolenkkien PBK12-900 nostolenkkien taivutuksesta porraslaattaan.

Jos elementtitehtaalla porraselementti nostetaan kyljissä olevista hylsyankkureista.

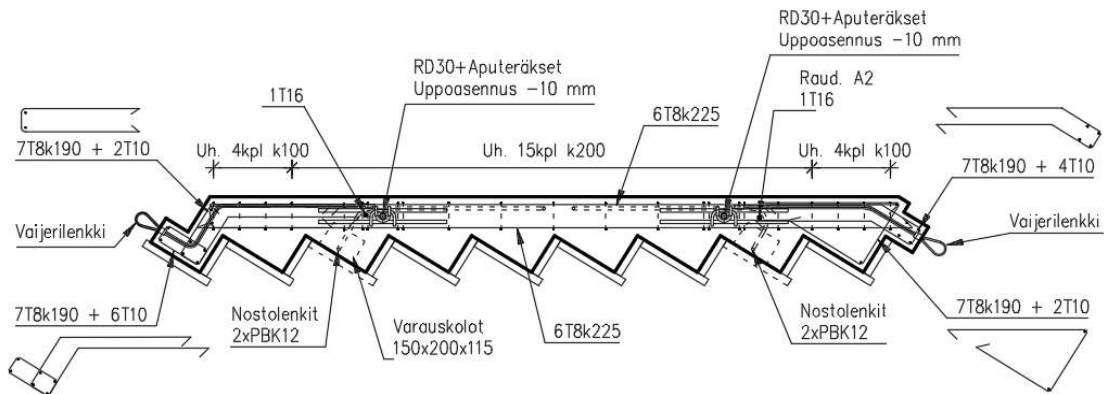
Valitaan hylsyankkureiksi PFEIFER Rd 30 (4kpl)

Yhden hylsyankkurin kapasiteetti 20kN

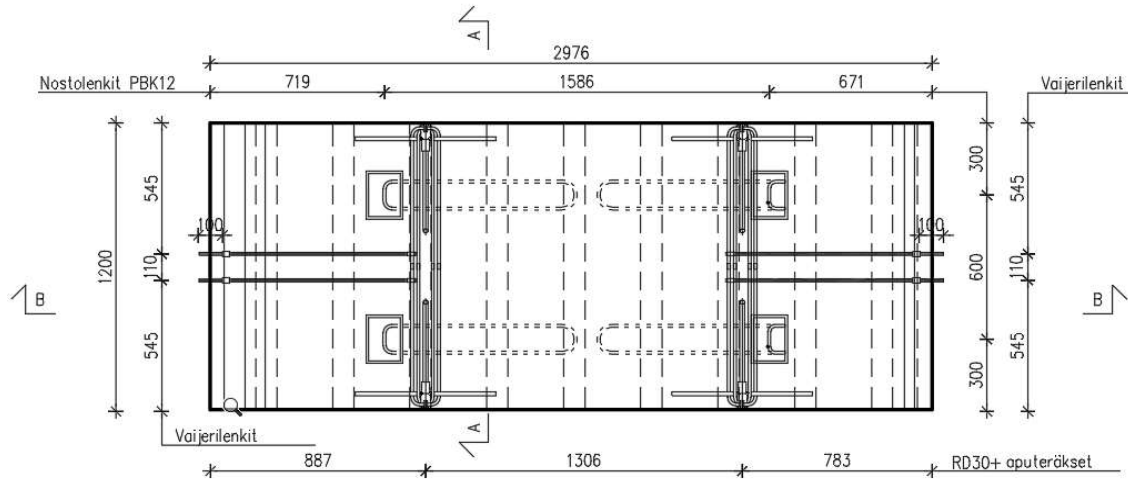
$$\text{Nostokapasiteetti}_{\text{Rd30}} := 20 \text{ kN} \cdot 4 = 80 \cdot \text{kN}$$



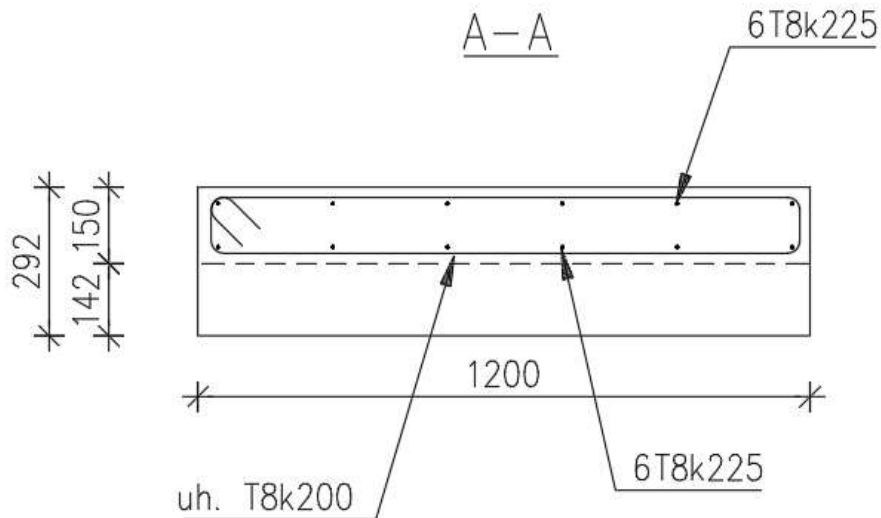
Kuvio 7. Esimerkki hylsyankkureiden lisäraudoituksesta



Kuvio 8. Porraselementin rauditus, leikkauskuva.



Kuvio 9. Porraselementin rauditus, tasokuva.



Kuvio 10. Porraselementin rauditus, leikkauskuva.

Lähteet:

SFS-EN 1992-1-1, Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu

SBK Runko-BES, Julkaisu 9

Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja osa 3, by202

Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja osat 1 ja 2, by211

Pfeifer kierrejärjestelmä esite 2016

Pintos Oy, PB-, PBK- ja PBR-nostolenkkien käyttöohje