

TAULUKKOLASKENTAPOHJAN
OHJELMISTOTESTAAMISEN OHJEISTUS

Toni Kekki
2011
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu

Rakennustekniikan koulutusohjelma, Ylempi AMK

Tekijä(t): Toni Kekki

Opinnäytetyön nimi: Taulukkolaskentapohjan ohjelmistotestaamisen ohjeistus

Työn ohjaaja(t): Yliopettaja, TkL Pekka Nykyri

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy/2011 Sivumäärä: 40 + 29

Tämän opinnäytetyön keskeisenä sisältönä oli esittää taulukkolaskentapohjaisten laskentapohjien testaamisen menetelmän malli. Tämän työn tarkoitus oli kehittää käytännönläheiset ohjeet taulukkolaskentapohjan oikeellisuuden tarkastamiseen ja dokumentointiin sekä ohjelmaohjeen tekemiseen.

Tässä työssä rajattiin pois suuret, kaupalliseen käyttöön tarkoitetut ohjelmat. Niiden testaamisessa on noudatettava kattavampaa menettelyä.

Omatekoisille laskentaohjelmille ei ole lainsäätämiä velvoitteita testauksen suhteen, mutta alkeellinenkin ohje vuokaavioineen riittää parantamaan pohjan käyttökelpoisuutta. Näin päällekkäisen työn tekeminen karsiutuu ja laskentapohjan kehitykseen käytetty aika maksaa itseään takaisin. Samoin toimintavarmuus kasvaa, mikä ennaltaehkäisee laskentavirheitä, jotka voivat aiheuttaa vakavia vahinkoja.

Asiasanat:

taulukkolaskenta, excel, testaus, rakennesuunnittelu

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences

Degree programme in Structural Design, M.Eng.

Author(s): Toni Kekki

Title of thesis: Instructions to testing of spreadsheet calculus schema

Supervisor(s): Sen. Lecturer, Lic. Tech. Pekka Nykyri

Term and year when the thesis was submitted: Autumn/2011

Pages: 40 + 29 appendices

A major topic of this thesis was to introduce testing analysis method for spreadsheet calculus and their practical solutions in testing, checking and documenting. Thesis also gives instructions in making of manual for end user.

The main focus was small calculus programs, which are commonly used in design of building structures. Thesis is also suitable for other professions use by applying.

This thesis excludes larger ready-made calculus programs, which are made for wider use and therefore are required more specified testing and documentation.

There are no legal obligations required for using self-made spreadsheet calculus in structural design. That is because results compared to used design code, not to method of calculation. Despite this, even a basic testing and manual is enough to make spreadsheet form more usable. By this way duplication of work and wasting time is minimized meanwhile increasing reliability, which prevents calculation errors.

Keywords:

spreadsheet, excel, testing, structural design

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	5
2	TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT	7
2.1	Tutkimuksen taustaa.....	7
2.2	Tutkimuksen ongelmanasettelu ja rajaus.....	8
2.3	Lainsäädännön antamat velvoitteet	9
3	OHJELMISTOTESTAUKSEN PÄÄPERIAATTEET	11
3.1	Toiminnan testaus	12
3.2	Versioristiriidat	12
3.3	Käytettävyyden testaus.....	13
3.3.1	Solujen lukitseminen	14
3.3.2	Tulosteulkoasu	14
3.4	Oikeellisuuden testaus.....	14
3.4.1	Oikeellisuuden virhemarginaali	15
3.4.2	Oikeellisuustestaamisen laajuus	15
3.5	Raja-arvoanalyysi	16
4	TAULUKKOLASKENTAPOHJAN TOIMIVUUDEN TOTEAMINEN... ..	19
5	LASKENTAPOHJAN OIKEAN KÄYTÖN VARMISTAMINEN.....	22
6	OHJELMISTON TEKIJÄN JA TESTAAJAN VASTUU VIRHEISTÄ ..	27
7	CASE: TERÄSBETONINEN SUORAKAIDEPALKKI	30
7.1	Lähtötietojen antaminen.....	30
7.2	Analysointivaihe.....	32
7.3	Materiaalitietojen ja taustatietojen muuttaminen	33
8	CASE: PUURAKENTEET; PUIKKOLIITTIMEN KAPASITEETTI	35
8.1	Lähtötietojen antaminen.....	35
8.2	Analysointivaihe.....	36
8.3	Materiaalitietojen ja taustatietojen muuttaminen	37
9	POHDINTA	38
10	LÄHTEET.....	39
11	LIITTEET	40

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön keskeisenä sisältönä on kehittää yleisesti rakenteiden suunnittelussa käytettävien taulukkolaskentapohjaisten (myöhemmin Excel) laskentapohjien testaamista. Tämän työn tarkoitus on antaa käytännönläheiset ohjeet Excel-pohjan oikeellisuuden tarkastamiseen ja dokumentointiin sekä ohjelmaohjeen tekemiseen.

Työssä keskitytään antamaan sellainen yleisohjeistus, jota voi soveltaa varsinkin suppeiden Excel-pohjien tarkastamiseen ja pohjan käytön ohjeen tekemiseen ilman, että näiden tekeminen vaatisi kohtuutonta ponnistelua ohjelmistotestaajalta. Pääpaino on yksinkertaistamisessa. Tämä rajaa pois suuret, kaupalliseen käyttöön tarkoitetut ohjelmat, joiden testaamisessa on noudatettava kattavampaa menettelyä.

Tämän opinnäytetyön näkökulma on talonrakenteiden suunnittelun Excel-pohjien testaamisessa sekä laskentapohjan käyttöohjeen laadinnassa. Tässä työssä esitetyt menetelmät soveltuvat myös muiden kuin rakennesuunnittelun Excel-pohjien testaamiseen. Näissä sovelluksissa on huomioitava kuitenkin kunkin erikoisalan vaatimat tarpeet ja lainalaisuudet.

Työn taustana on Suomen Konsulttitoimistojen Liiton SKOL ry:n hallinnoima Eurokoodien laskentapohjahanke, jossa alan rakennesuunnittelutoimistot ja ammattikorkeakoulut tekivät yhteistyössä Excel- sekä Mathcad-pohjaisia laskentapohjia eri rakenneosille ja kuormituksille. Tässä opinnäytetyössä hyödynnetään hankkeessa saatua kokemasta ja esitellään Teräsbetoninen Suorakaidepalkki-, sekä Puurakenteiden puikkoliittimen kapasiteetti-laskentapohjat.

Mathcad-sovellukset rajataan tässä työssä pois, sillä useimmilla käyttäjillä on kuitenkin käytössä näistä ohjelmista vain Excel- tai jokin muu vastaava

taulukkolaskentaan perustuva laskentaohjelma. Samoin tämän työn keskeinen sisältö rajoittuu Microsoft Excel- pohjaiseen taulukkolaskentaohjelmistoon sen yleisyyden takia. Samoja testausmenetelmiä voidaan käyttää myös muihin taulukkolaskentaohjelmistoihin, mutta jos ohjelmia käytetään siten, että yhdellä ohjelmistolla tehtyä pohjaa käytetään toisessa ohjelmistossa, on varmistuttava oikeasta toiminnasta molemmissa ohjelmissa.

Työn keskeisenä taustatietona käytetyn testausohjelmateriaalin on laatinut Finnmap Consulting Oy:n Pekka Koponen, joka toimi kehityshankkeen koordinaattorina. SKOL ry:n puolesta kehityshankkeesta vastasi Matti Kiiskinen. Oma taustaorganisaationi Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu toimi hankkeen puutyöryhmässä sekä betonityöryhmässä. Molemmissa ryhmissä toimenkuva oli testaajan rooli.

2 TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT

2.1 Tutkimuksen taustaa

Taulukkolaskentapohjaiset ohjelmarutiinit ovat paljon käytettyjä työvälineitä monilla toimialoilla sekä useissa sovellusympäristöissä. Taulukkolaskenta on kätevä työväline jonka käytön osaaminen mielletään osaksi normaalien toimisto-ohjelmien osaamista.

Taulukkolaskenta on matemaattisten laskurutiinien mekaaniseen suorittamiseen tarkoitettu työväline. Arviolta lähes kaikissa rakennesuunnittelua tekevissä insinööritoimistoissa on käytössä joitakin Excel-pohjaisia mitoitusrutiineja. Oletettavasti nämä ovat useimmiten käyttäjien itse tekemiä ja niiden käyttäjäkunta rajoittuu tekijään sekä korkeintaan pariin pohjan käyttöön hyvin perehtyneeseen kollegaan. Nämä arviot perustan omiin kokemukseräisiin, sinänsä dokumentoimattomiin, havaintoihin. Kuitenkin alkeellisellakin perustestaamisella ja sen dokumentoinnilla sekä lyhyelläkin ohjeosiolla saataisiin näihin pohjiin laajempi käyttäjäkunta, puhumattakaan siitä varmuudesta, että ohjelmarutiini laskee oikein.

Tämä sinänsä pieni jatkokehitys voitaisiin liittää osaksi toimiston laskentatyökalujen kehitystä, jolloin tuloksena olisi ajan säästymistä laskurutiinien automatisoitumisen myötä ja laskelmien laadun paranemista oikeellisuuden ansiosta. Säästynyt aika voidaan käyttää rutiinien toiston sijasta itse suunnitteluun.

Ohjelmistotestauksesta käsiteltäessä tausta on yleensä suuremmissa ohjelmistokokonaisuuksissa ja niiden testaamisessa. Kuitenkin samankaltaiset lainalaisuudet pätevät taulukkolaskentapohjan testaamisessa. Verkkosivulla www.ohjelmistotestaus.fi Antti Niittyviita /3/

esittää testauksen säästämää rahamäärää menetettynä aikana ja sitä kautta rahana. Tästä päästään jo konkreettisesti kiinni resurssikuluihin, jotka muodostuvat virheellisen tuotteen käytöstä.

2.2 Tutkimuksen ongelmanasettelu ja raja

Tutkimuksen lähtökohtana on ohjelmistotestauksen ohjeiden monimutkaisuus ja liiallinen perusteellisuuden vaatiminen. Tämä on ymmärrettävää, kun testattavana on suuri määrä koodattua aineistoa, jonka pitää toimia moitteetta.

Toinen ongelma on rakennusinsinöörikoulutuksessa annettavien taitojen puute tällä saralla. Tämä on ymmärrettävää, sillä oppilaitosten opintosuunnitelmiin ei kuulu antaa rakennusinsinööreille perusopetuksessa ohjelmistotestauskoulutusta. Tätä opiskelijat voivat tuki opiskella vapaasti valittavien aineiden kautta, mutta havaintojeni mukaan tällainen suuntautuminen opintojen aikana on olematonta.

Näiden ongelmien yhteinen tulos on se, että laskentapohjia tehdään niitä sen paremmin testaamatta. Yleensä testaus jää tekijän vastuulle, ja koska laskentapohja tehdään ilman sen suurempaa suunnittelua, siitä tulee ”tekijänsä näköinen”. Tämä tarkoittaa sitä, että ohjelmaa harvoin pystyy käyttämään luotettavasti ilman, että on huolellisesti perehtynyt laskentapohjaan. Tästä syystä toimistossa voi pahimmillaan olla jokaisella oma laskentamalli samalle tapaukselle. Kuitenkaan yhdenkään pohjan oikeellisuutta ei ole varmistettu eikä dokumentoitu.

Työmäärällisesti keskitetty pohjan tekeminen, sen testaaminen dokumentointineen ja käyttöohjeen rakentaminen ei ole kohtuuton. Arvioisin, että mikäli sama pohja tehdään kolme kertaa on työmäärä lähellä samaa, kuin että pohja olisi tehty ja testattu keskitetysti. Tämän perustan seuraaviin oletuksiin:

- Alun perin pohja on tehtävä. Tämä työmäärä on kummassakin tapauksessa yhtä suuri
- Pohja viimeistellään visuaalisesti kuntoon
 - Tähän voisi käyttää loputtomasti aikaa, mutta kohtuutasoisesti tehtynä on 10–30 % alkuperäisestä tehtävästä.
- Käyttöohjeen tekeminen yhdelle Excel-välilehdelle vuokaavioineen
 - Tähän käytettävä aika vaihtelee pohjan vaikeusasteen mukaan 20–50 %.
- Toiminnan testaus ja oikein laskemisen testaus sekä dokumentointi
 - Tämä riippuu myös pohjan vaikeusasteesta ja monimutkaisuudesta. Tähän arvioisin aikaa kuluvan 50–150 %.

Lisäksi testattu, dokumentoitu ja ohjeistettu pohja on käyttökelpoinen pitkänkin käyttötaujan jälkeen, jolloin lyhyellä ohjeen kertaamisella pääsee taas rutiiniin kiinni. Tämä lisää käytön mielekkyyttä ja nopeuttaa arkirutiineiden suorittamista.

2.3 Lainsäädännön antamat velvoitteet

Nykyisellään rakentamista ohjaa Maankäyttö- ja Rakennuslaki (lyh. MRL) sekä Maankäyttö- ja Rakennusasetus (lyh. MRA) yhdistettynä kuntien rakennusjärjestyksiin. Lisäksi Ympäristöministeriö hallinnoi ja julkaisee Suomen Rakentamismääräyskokoelmaa (lyh. RakMK).

Tutkittaessa näitä säädöskokoelmia voidaan havaita, että niiden keskeinen tavoite on varmistaa rakentamisen laatu ja turvallisuus. Varsinaista edellytystä suunnittelussa käytettyjen ohjelmien testaamisesta ei ole. Näin ollen lainsäädäntö ei Suomessa aseta erityisvaatimuksia

testaamiselle eikä varsinkaan sen dokumentoinnille. Viime kädessä rakennesuunnittelija vastaa suunnittelun lopputuloksesta riippumatta siitä, onko se saavutettu käsin laskemalla vai ohjelmistolla. Ohjelmistot ja laskentapohjat ovat lainsäädännön näkökulmasta vain analysointityökaluja ilman lakisääteistä vastuuta oikeellisuudesta. Tähän viitataan enemmän luvussa 6 Ohjelmiston tekijän ja testaajan vastuu virheistä.

3 OHJELMISTOTESTAUKSEN PÄÄPERIAATTEET

Ohjelmistotestauksesen pääperiaatteena on varmentaa tehdyn laskentapohjan oikeellisuus niin toiminnallisesti, laskentalähtökohdallisesti kuin käytettävyyden kannalta. Ohjelmistotestauksen hyvän suorittamisen taustalla on kuitenkin aina tehdyn laskentapohjan laatu ja laskentapohjan teon suunnitelmallisuus. Tässä suunnitelmassa olisi syytä huomioida myös testaus sekä dokumentointi.

Ohjelmistotestauksessa voidaan määritellä seuraavia testausmenetelmiä:

- Toiminnan testaus; tässä keskitytään toiminnallisuuden varmentamiseen eli siihen, että ohjelmisto toimii ja käyttäytyy odotetusti.
- Käytettävyydestestaus; tässä varmennetaan ja tutkitaan ohjelman käytön helppous ja opittavuus sekä tutkitaan, että pohjan käytön väärinymmärryksistä johtuvat virheet ovat siedettävissä rajoissa.
- Laskennan oikeellisuuden testaus; tässä varmennetaan laskennan standardin, normin tai vastaavan ohjeen tai määräyksen mukainen laskenta.
- Raja-arvoanalyysi; tällä varmennetaan että ohjelmalle annetut toiminnalliset raja-arvot eivät ylity tai alitu. Tämä voi olla esimerkiksi standardin kautta annettu raja tai laskentapohjan oma raja, kuten esimerkiksi vedetyn poikkileikkauksen mitoitus, jolloin puristava kuorma on rajan ulkopuolella.

Vaikka eri menetelmiä on useita, niillä on jokaisella oma keskeinen tarkoituksensa.

3.1 Toiminnan testaus

Toiminnan testaaminen voidaan helpoimmissa tapauksissa varmentaa esimerkiksi antamalla pohjaan sen tarvitsemat lähtötiedot. Tämän jälkeen tarkistetaan, antaako pohja niitä tietoja mitä oletetaan saatavan. Tämän tarkastamiseen käy esimerkiksi paperituloste.

Esimerkkinä tästä toimii liite1:n laskentapohja. Kun pohjaan antaa halutut alkutiedot, saadaan taivutuksen ja leikkauksen käyttöasteet tulosteeseen. Niistä voidaan todeta toiminnallisuuden olevan kunnossa. Mikäli pohjan tulosteeseen asiat eivät tulisi näkyviin oikeilla tavoilla ja oikeisiin paikkoihin, voitaisiin todeta pohjan olevan toiminnallisuuden kannalta huono.

Yleisesti voitaisiinkin sanoa, että toiminnan testaus on ensimmäinen testaus mitä laskenta pohjalle pitää suorittaa. Ilman hyväksyttävää toimintaa ei voida varmentua pohjan käytettävyydestä.

3.2 Versioristiriidat

Toiminnan testaamiseen on käytettävä samoja ohjelmia ja ohjelmistoversioita, joita myös loppukäyttäjät käyttävät. Yleisesti ottaen saman tuoteperheen, esimerkiksi Microsoft Excel, eri versiot toimivat varsin hyvin keskenään. Toki uudemmalle versiolle tallennettu laskentapohja ei välttämättä avaudu vanhemmalla versiolla mutta tämä on korjattavissa tallennusmuotoa muuttamalla. Suuremman haasteen muodostavat eri perheiden väliset käytöt. Esimerkiksi Excelillä tehdyn pohjan toiminta OpenOffice – ympäristössä ei ole välttämättä itsestäänselvyys. Tästä minulla on omakohtainen kokemus: Excel 97 – ohjelmalla tekemäni palkin mitoituspohja kulkeutui suunnittelijalle, joka käytti OpenOffice 2.0 ympäristöä. Ohjelma ei päivittänyt soluja lähtötietoa muutettaessa, mikä aiheutti lopputulosten pysymisen samana. Onneksi virhe huomattiin ajoissa eikä vahinkoa päässyt tapahtumaan. Tämä olisi

voitu välttää tekemällä pienimuotoinen muutaman soluarvon ristiintarkastus. Jos toimimattomuus olisi todettu, niin virhe olisi ollut vaivatonta kirjata ohjelman ohjesivulle, jolloin mahdollinen seuraava käyttäjäkin olisi tarvittaessa tietoinen vallistevasta toimimattomuudesta. Samoin myös yhteensopivuus toisen version tai ohjelman kanssa voidaan kirjata ylös, jolloin loppukäyttäjän ei tarvitse enää kuluttaa resursseja tutkiessaan toimivuutta, vaan hän voi suoraan keskittyä ohjelman käyttöön.

3.3 Käytettävyyden testaus

Käytettävyyden testaaminen on keskeisessä roolissa kun tutkitaan pohjan loppukäyttäjän roolia. Käytettävyyden testaamiseen kuuluu tarkastaa

- syötettävien solujen tunnistettavuus, jottei niitä sekoiteta laskentasoluihin
- ohjeiden ja toimintavuokaavioiden oikeellisuus laskentapohjaan nähden
- pohjan yleisen käytön oppimisen mahdollisuus, toisin sanoen voiko pohjaa käyttää asian teorian osaava, ohjeet lukenut käyttäjä.

Nämä ovat usein hyvin yksinkertaisia varmennettavia, mutta riippuvat myös käyttäjän osaamistasosta. Varsinkin viimeinen kohta riippuu hyvin voimakkaasti käyttäjän osaamistasosta.

Listatuista asioista kaksi ensimmäistä ovat testattavissa selkeästi objektiivisessa näkökulmassa mutta viimeisen kohdan arviointi riippuu myös testaajan taitotasosta. Viimeisen kohdan arviointi olisi hyvä suorittaa loppukäyttäjien kanssa jo pohjan tekovaiheessa, jolloin voidaan minimoida hukkaan heitetyn työn osuus. Tämä kohta on myös sen luonteesta johtuen tehtävä ehdottomasti jonkun muun kuin pohjan tekijän toimesta. Mikäli näin ei tehdä, ei tämän kohdan arviointi ole objektiivista.

3.3.1 Solujen lukitseminen

Käytettävyyden yksi testattava asia on solujen lukitseminen. Se voidaan testata testausprosessin loppupuolella, jolloin muut testit on tehty. Solujen lukitsemista ei pidä suorittaa ennen testausprosessin alkamista, sillä testaajat tarvitsevat pääsyä laskentasoluihin vertaillessaan soluviittauksia. Kun testaus on riittävän pitkällä, voidaan solut lukita.

Kaikki ne solut, joihin ei loppukäyttäjän tarvitse päästä muuttamaan mitään, on syytä lukita salasanalla. Tarvittaessa salasananakin voidaan kirjoittaa näkyviin esimerkiksi ohjeisiin, sillä salasanana saattaa helposti unohtua. Lähinnä näkisin lukituksen toimivan estämässä tahattomia käyttäjän virheitä.

3.3.2 Tulosteulkoasu

Laskentapohjan tulosteen ulkoasulla on suuri merkitys loppukäytössä. Laskentapohjasta on syytä saada ulos siisti laskelma logoineen ja kohdetietoineen. Tällöin voidaan laskentapohjaa käyttää viranomaisille tai ulkopuoliselle tarkastajalle esitettävissä laskelmissa. Mikäli pohjaa näin käytetään, on pohjassa syytä olla esimerkiksi omalla välilehdellä toimintaperiaatteet, käytetyt standardit ja kaavat. Tähän voidaan käyttää esimerkiksi vuokaaviota. Periaatteena on, että tarkastajan on saatava selko menetelmistä ja käytetyistä laskutavoista. Tulosteen ulkoasumalli on esitetty liitteessä 2.

3.4 Oikeellisuuden testaus

Oikeellisuuden testaaminen on testauksen huolellisesti hoidettava alue. Tämä on se alue, jota loppukäyttäjä ei välttämättä edes osaa epäillä. Toisaalta jonkin monimutkaisen standardin nojalla tehty laskentapohja saattaa ehtoineen olla sen verran haasteellinen, että loppukäyttäjältä vaadittava työmäärä muodostuu liian suureksi tämän selvittämiseen. Tästä

johtuen tämä vaihe suoritettava huolellisesti, mutta yhtä lailla dokumentoitava. Näin jokaisen loppukäyttäjän ei tarvitse kuluttaa aikaa oikeellisuuden tarkistamiseen.

Eräs tapa oikeellisuuden testaamiseksi on tehdä vastaavan tapauksen käsinlaskenta ja verrata tuloksia ohjelman vastauksiin. Myös toisen, mahdollisesti kaupallisen, ohjelman ristiintarkastus on yksi tapa.

3.4.1 Oikeellisuuden virhemarginaali

Oikeellisuuden testaamisen virhemarginaali laskentapohjan ja toisen laskentatavan välillä on tapauskohtaisesti ratkaistava. Varsinkin käsinlaskentaan verrattuna saatetaan saada joidenkin prosenttien eroja, jotka syntyvät pyöristys- yms. tarkkuuksista. On kuitenkin pidettävä huolta, että laskentamenetelmien ohjeistukset ja standardit ovat samat laskentapohjassa ja oikeellisuustestauksen laskelmassa. Muutoin kysymyksessä on normivertailu, eikä tuloksia voi verrata toisiinsa testimielessä.

Määriteltäessä sallittua virhemarginaalia on pidettävä mielessä, että eri standardijärjestelmät perustuvat viime kädessä varmuuden saattamiseen riittävälle tasolle. Näin ollen vaadittavan laskennallisen turvallisuustason heikommalle puolelle tulleista virheistä pitää määrittää niiden vaikutus kokonaisvarmuuteen. Tällainen standardi on esimerkiksi Eurokoodi-standardi SFS-EN 1990: Suunnitteluperusteet. Tämä standardi pätee toki vain Eurokoodiin perustuville laskentamalleille.

3.4.2 Oikeellisuustestaamisen laajuus

Oikeellisuuden testaamisen laajuus riippuu paljon käytettävistä variaatiomahdollisuuksista laskentapohjassa. Testaus suoritetaan usein pistokoeluoontoisesti.

Oikeellisuustestaus on keskeinen dokumentoinnin kohde, sillä näin voi loppukäyttäjä varmistua oikeellisuudesta. Lisäksi käsinlaskennalla tehty vertailu voi toimia viitteellisenä ohjeena, sillä siinä näkyy laskurutiini ja käytetyt arvot. Näin voi loppukäyttäjä itse kokeilla myös pohjaa ja saada varmuuden tunnetta pohjan käyttöön.

3.5 Raja-arvoanalyysi

Raja-arvoanalyysissä tutkitaan jokaisen laskentaehdon raja-arvokäyttäytyminen. Tässä testaamisessa ovat avainasemassa seuraavat arvolausekkeet:

- Suurempi tai pienempi kuin: testataan solun antamat arvot sekä virheilmoitukset solun arvoilla rajan molemmin puolin sekä tarkalleen rajalla.
- Nolla-arvot: testataan arvot sekä virheilmoitukset solun arvoilla nolla sekä miinus- että plus-arvolla. Erityisesti on huomioitavaa nollalla jakaminen tai kertominen.
- Annetun raja-arvon toteutuman toimiminen esimerkiksi tapauksessa jossa arvo on määrittelyn alapuolella, rajalla ja rajan yläpuolella

Raja-arvoanalyysi on joiltakin osin läheisessä suhteessa oikeellisuuden tarkastamiseen. Standardeissa ja ohjeissa on määrätty tiettyjä tapauskohtaisia raja-arvoja, joiden sisällä laskentaohjeet pätevät. Näitä arvoja ei saa ylittää, vaan arvosta muodostuu raja-arvo.

Raja-arvoanalyysin voidaan todeta oikein toimivaksi, kun yritetään syöttää soluun sellaista arvoa, joka ei ole raja-arvojen sisällä. Kuvassa 1 on esitetty tilanne, jossa laskentapohjan palkin pituuden raja-arvoksi on

annettu 50 metriä. Kun kokonaispituuden arvoksi yritetään syöttää 100 metriä, ei ohjelma suostu jatkamaan, ennen kuin virhe korjataan.

The screenshot shows a software interface for concrete beam calculation. At the top, there is a spreadsheet header with columns C through P. The content includes a logo 'KOL' and project details: Työn nro, Tekijä, Päiväys, Sisältö, and Versio 0.91 (20.1.2008). Below this, there is a diagram of a beam with dimensions L, d, h, and b. A table lists the input parameters and their values:

Palkin kokonaispituus			100	m
Viisteet			0,015	m
Tukipinta	pituus	t =	0,300	m
			0,300	m
Jänneväli		L =	99,670	m
Poikkileikkaus	korkeus	h =	0,480	m
			0,380	m
Tehollinen korkeus		d =	0,439	m

Below the table, there is a Microsoft Office Excel error dialog box with the message: "Syötetty arvo ei kelpaa. Syötä arvo metreissä." (Entered value is invalid. Enter value in meters.) with buttons for Retry, Cancel, and Help.

Kuva 1: Palkin syötetty pituus on suurempi kuin annettu raja-arvo

Raja-arvoanalyysin oikeellisuus voidaan tarkastaa pistokoeluentoisestikin, mutta suositeltavaa olisi että käytetyn laskentamallin raja-arvot ovat kaikki rajoittamassa laskentapohjan käyttöä. Tapa tämän asian varmistamiseksi on verrata solun arvoja ja kyseisen kohdan standardin rajoja. Mikäli standardi antaa raja-arvot ja laskentapohjaan ei niitä ole laitettu, on kyseessä oleellinen virhe.

Raja-arvojen rajoitusten on syytä olla soluun kirjattuna, jolloin käyttäjä saa virheilmoituksen syöttäessään virheellistä arvoa (kuva 2). Toinen tapa on tehdä ehtolause, jossa väärä arvo saa aikaan visuaalisesti havainnollisen ilmoituksen. Näin vältetään inhimillisiltä virheiltä ja parannetaan laskentapohjan luotettavuutta.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
26									
27	Liitin:								
28		Liitintyyppi:	Lankanaula neliskulmainen						
29		Liitinkoko:	2,1x50						
30									
31		d =	2,1	mm					
32		L =	50	mm					
33		$\alpha_1 =$							VIRHE - Pituus ei riitä
34		$\alpha_2 =$							(Ei tarvita laskennassa)
35		Vetomurtolujuus $f_{u,k}$ =	600	N/mm ²					(Ei tarvita laskennassa)
36		Myötömomentti M_{yk} =		Nmm ²					(Ei tarvita laskennassa)
37									
38		Esiporaus:	Ei esiporausta						

Virheellinen naulan pituus; liitos yksileikkeinen, liitettävänä kaksi 50 mm paksua puuosaa → naula liian lyhyt

Kuva 2: Visuaalinen virheilmoitus raja-arvon ylityksestä

4 TAULUKKOLASKENTAPOHJAN TOIMIVUUDEN TOTEAMINEN

Tässä luvussa esitetään oikeintoimivuuden toteaminen testausdokumentoinnin avulla. Erilaiset menetelmät on esitelty aiemmin luvussa 3.

Laskentapohjan oikeintoimivuus on todettava suunnitelmallisesti ja hallitusti. Mikäli oikeintoimivuuden testaaminen laiminlyödään, ei loppukäyttäjä voi varmentua pohjan oikeasta toimimisesta. Tällöin riskinä on se, että laskentapohjan tekoon uhrattu työmäärä valuu hukkaan. Toinen, huomattavasti vakavampi riski, on väärin mitoittaminen. Jos loppukäyttäjällä ei ole vahvaa kokemusta rakenteen oletetusta loppudimensiosta, voi selkeästi väärä mitoitus päästä suunnitteluprosessin läpi. Seuraukset tästä voivat olla hyvin vakavia.

Hyvään lopputulokseen tähdittäessä olisi suotavaa, että testausprosessia ei olisi suorittamassa samoja henkilöitä jotka olivat laskentapohjaa tekemässä. Muuten helposti ohitetaan etenkin käytettävyyden ja ohjeistuksen asioita itsestäänselvyyksinä, vaikka niissä olisi pahojakin puutteita. On muistettava että laskentapohjan tekijät tuntevat työnsä eivätkä todennäköisesti tarvitse ohjeita päinvastoin kuin käyttäjä, joka käyttää laskentapohjaa ensimmäisen kerran.

Laskentapohjan oikeintoimivuuden toteamiseksi on syytä tehdä testaussuunnitelma oikeintoimivuuden testaamisesta ja varmistua sen kattavuudesta ennen varsinaisen rutiinityön aloittamista. Tällä ennaltaehkäistään turhan työn tekemistä. Suunnitelmassa määritetään testaustavat, raja-arvot sekä testattavat solut. Lisäksi testaus on syytä ulottaa myös ohjeiden testaamiseen.

Oikeintoimivuuden toteamisen dokumentointi voidaan tehdä samalle pohjalle kuin suunnitelma. Hyvin tehty suunnitelma toimii erinomaisena pohjana, johon merkitään toteamisessa toteutunut vaihtoehto. Esimerkiksi

suunnitelmaan voi olla kirjattu testattava solu, siihen vaikuttavat solut (eli linkkaukset) sekä arvo jollekin solulle. Tämän yhdistelmän tulisi täyttää tai olla täyttämättä jokin ehto. Tästä tehdään suunnitelmaan kyseisestä tapauksesta ennakoarvio, joka testaushetkellä tarkastetaan ja ennakoarvion toteutuma kirjataan hyväksyty/hylätty-periaatteella.

Kuvassa 3 on esimerkkinä geometriatiedoille tehty varmennustestaus-suunnitelman malli, johon on valmiiksi laitettu oletettu vastaus sekä saatu vastaus. Oletettu virhe voi olla esimerkiksi raudoitus, joka on asennettu rakenteen ulkopuolelle, tai geometria-arvo, joka on mahdoton.

Varmennustestausraportti

h0,k	bk	lk	h0,p	hp	bp	lp	Lp	ak	ap	b'	l'	Oletettu	vastaus	
400	400	300	500	750	400	300	8000	160	160	300	200	Ok	Ok	Ok
0	400	300	500	750	400	300	8000	160	160	300	200	virhe	Virhe 2kpl	Ok
100000	400	300	500	750	400	300	8000	160	160	300	200	Ok	Ok	Ok
400	0	300	500	750	400	300	8000	160	160	300	200	virhe	Virhe 3kpl	
400	400	500	500	750	400	300	8000	160	160	300	200	virhe	Virhe 1kpl	
400	400	300	1000	750	400	300	8000	160	160	300	200	virhe	Virhe 1kpl	
400	400	300	1000	1000	400	300	8000	160	160	300	200	Ok	Virhe 1kpl	??

Kuva 3: Varmennustestaus geometriatiedoille

Hylätty kirjataan lisätietoina ja se aiheuttaa laskentapohjaan toimenpiteitä. Hylätyn tuloksen aiheuttamat muutokset pohjaan arvioidaan tapauskohtaisesti, ja muutokset on testattava kaikilta niiltä osin uudelleen, mihin kyseinen muutos vaikuttaa.

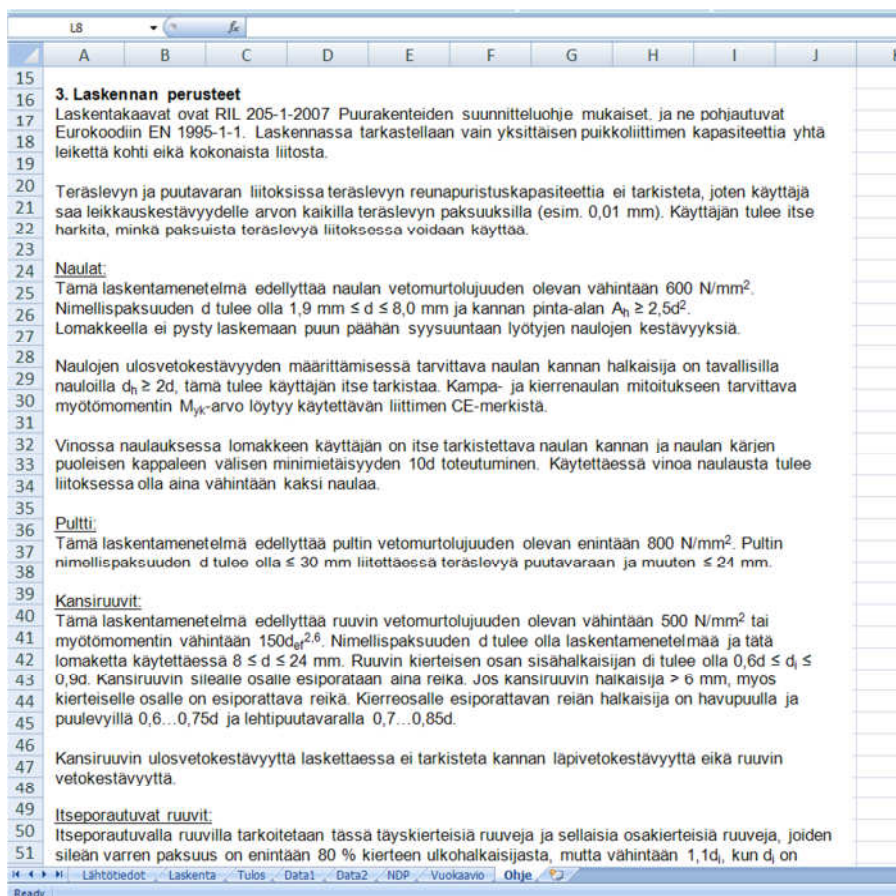
Oikeintoimivuuden testaamisen dokumentointi on hyvä apuväline myös, jos jostakin syystä laskentapohjan ohjeistus on puutteellinen tai harhaanjohtava. Tällöin dokumentoinnista voidaan lukea solujen toimivuus ja riippuvuussuhteet. Dokumentointi on myös silloin hyvä työkalu, kun

epäillä, että laskentapohja on vääristynyt joko bittimuuntumisvirheen (esimerkiksi toistuvat versiomuunnostallennukset tai ristiinlinkkautumiset) kautta tai tahallisen tai tahattoman sabotaasin seurauksena.

Dokumentointiaineisto kerätään keskitettyyn paikkaan. Sitä on harvemmin tarpeen pitää laskentapohjan mukana, sillä se tekee käytöstä turhan raskasta.

5 LASKENTAPOHJAN OIKEAN KÄYTÖN VARMISTAMINEN

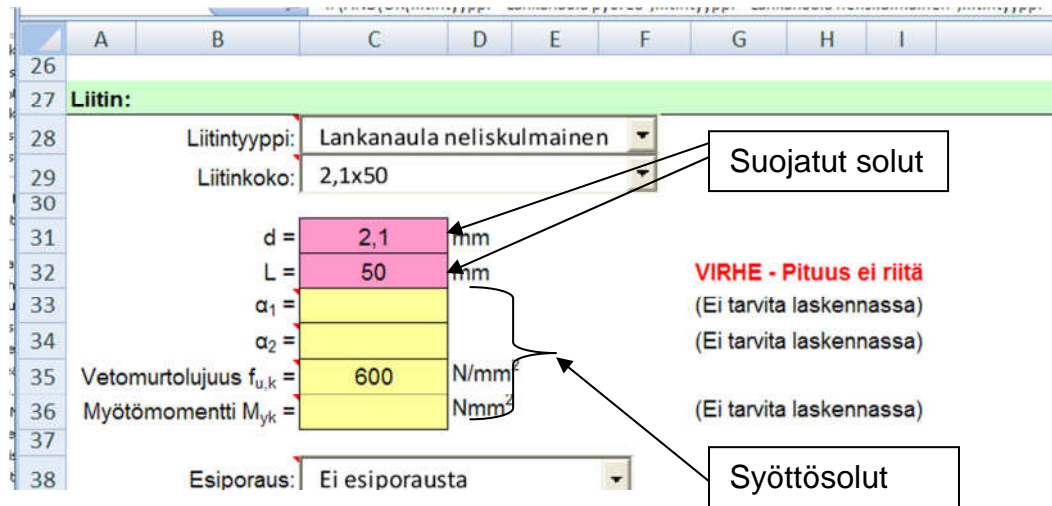
Laskentapohjan oikean käytön varmistamiseksi on laskentapohja varustettava riittävällä määrällä ohjeita ja tiedotteita ohjelmapohjan rajoituksista. Ne voivat olla samassa taulukossa varsinaisen syöttö- tai tulosarvon kanssa tai sitten yhdellä välilehdellä olevana koottuna ohjeena (kuva 4).



Kuva 4: Ohjeen malli

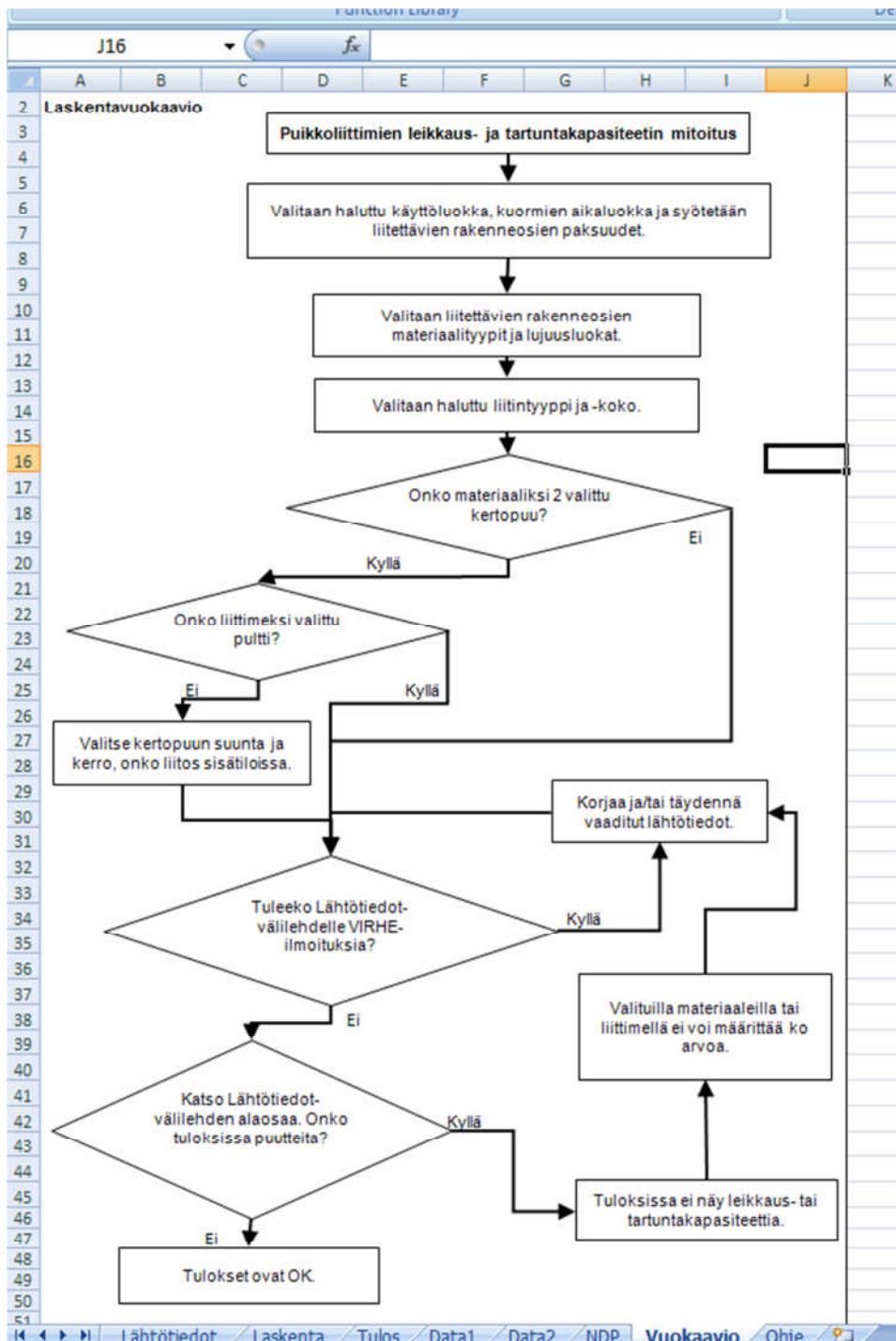
Loppukäyttäjälle on myös hyvä osoittaa selkeästi, mihin soluihin on arvot syötettävä. Tässä voidaan käyttää esimerkiksi värjättyä solua tai muulla tavoin visuaalisesti poikkeavaa tapaa. Kuvassa 5 on esitetty

tummemmalla värillä solut, jotka ovat suojattuja soluja, joihin ei käyttäjällä ole pääsyä. Vaalealla on merkitty ne solut, johon käyttäjä voi syöttää arvoja tai on velvollinen syöttämään arvoja.



Kuva 5: Väreillä erotetut syöttösolut ja suojatut laskentasolut

Lisäksi käytön oikeellisuuden varmistamisessa on syytä kertoa loppukäyttäjälle, millainen on laskentarutiini ohjelman sisällä, sekä lähtötietojen syötön ja tulosten välinen toimintaprosessi. Havainnollinen tapa tähän on käyttää vuokaaviota, jolloin laskentarutiinin ja käytettävien laskutapojen pääpiirteet tulevat visuaalisen viestin avulla selville. Vuokaaviot ovat suhteellisen nopeita tehdä ja niitä voi käyttää myös laskennan oikeellisuuden tarkastamiseen. Tällä tarkoitetaan vertailua standardin antamaan laskentaprosessiin ja sen korrelointia tehdyn ohjelman rutiiniin.



Kuva 6: Vuokaavio ohjelman toiminnasta

Laskennan oikean käytön varmistuksessa on keskeisessä roolissa myös luvussa 3 viitattu raja-arvoanalyysi.

Käytön oikeellisuuden varmistaminen ohjeella, solujen visuaalisilla merkinnöillä ja vuokaaviolla on keskeinen merkitys varsinkin siinä tapauksessa, kun laskentapohjan käyttö ei ole jokapäiväistä, rutinoitunutta toimintaa. Jo muutaman viikon käyttämättömyys saattaa aiheuttaa sen, että laskentapohjan luotettava käyttö edellyttäisi käyttäjältä laskentapohjan uudelleen läpikäymistä. Tämä koetaan vaivalloiseksi ja tässä vaiheessa on suuri riski, että kaikki laskentapohjan eteen tehty työ on hukattu.

Unohtaminen sinänsä on hyvin normaalia. Kuten Muistiliitto ry asian ilmaisee:

”Unohtaminen voi johtua myös siitä, että toinen tieto sotkee toista muistiainesta. Tätä kutsutaan unohtamisen häirintä- eli interferenssiteoriaksi. Näin voi käydä esimerkiksi silloin, kun olemme juuri painaneet puhelinnumeron mieleemme, mutta ovikello soi ennen kuin ehdimme naputtaa numeron puhelimeen” www.muistiliitto.fi

Tämä voi olla käytännössä tilanne, jossa laskentapohjaan syötetään arvot ja kun saadaan lopputulos, mieli keskittyy ratkaisuun. Tämä on sinänsä inhimillistä, sillä juuri ratkaisua varten laskentapohjaa käytetään. Lisäksi työstressi heikentää asioiden muistiin painamista. Näin ollen laskentapohjan rutinoitunut käyttö vaatii paljon säännöllistä käyttämistä. Mitä epäsäännöllisempää laskentapohjan käyttö on, sitä paremmat ja selkeämmät ohjeiden pitäisi olla. Muistamista ja käytön oikeellisuutta parantavat myös kuvat, joita voi olla upotettu syöttökohtien viereen (kuva 7). Näitä kuvia löytyy usein käytetystä standardista tai vastaavasta ohjeesta. Niiden käytössä on kuitenkin syytä muistaa tekijänoikeudelliset määräykset ja käytännöt kuten tekijänoikeuslaki /5/. Usein kuvien käytössä tyydytään viittaamaan johonkin julkaisun kuvaan tai taulukkoon, mikä on tietenkin parempi kuin olla viittaamatta.

Puikkolattian kapasiteetti-1 [Compatibility Mode] - Microsoft Excel

Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Add-Ins

Print Function AutoSum Recycle Recent Financial Logical Text Date & Time Lookup & Reference Math More Functions Name Manager Define Name Show Formulas Trace Dependents Error Checking Use in Formula Remove Arrows Evaluate Formula Watch Window Calculation Options Calculate Now Calculate Direct

V27

7 Puikkolattian leikkaus- ja tartuntakapasiteetti

8

9 **Olosuhdetekijät:**

10 Käyttöluokka 2

11 Kuormien aikaluokka Keskipitkä

12

13 **Rakenteen mitat:**

14 Paksuus b_1 50,0 mm

15 Paksuus b_2 50,0 mm

16

17 **Materiaalit:** (kannanpuoleinen materiaali = 1)

18 Materiaali 1 Sahatavara

19 C18

20 Materiaali 2 Sahatavara

21 C24

22

23 Kertopuun ayyysunta (Ei tarvita laskennassa)

24 Liitos lämmitettyssä tilassa? (Ei tarvita laskennassa)

25

26

27 **Liitin:**

28 Liitintyyppi Lankanaula neliskulmainen

29 Liitinkoko 2,1x50

30

31 d 2,1 mm

32 L 50 mm

33 **VIRHE - Pituus ei riitä** (Ei tarvita laskennassa)

34 α_1 (Ei tarvita laskennassa)

35 Vetomurtolujuus $f_{t,k}$ 600 N/mm²

36 Myöntömomentti M_{yk} (Ei tarvita laskennassa)

37

38 Esiporaus Ei esiporausta

39

40 Vinoa naulaus Ei

41

42 t (Ei tarvita laskennassa)

43 β (Ei tarvita laskennassa)

44

45 l_{naula} d (Ei tarvita laskennassa)

TALUKKOON LIITTYVÄT KUVAT

LEIKKAUSKESTÄVYYTTÄ LASKETTAESSA

RUUVI- TAI NAULALIITOS PULTTILIITOS

Materiaali 2

α_1 α_2

Materiaali 1

b_1 b_2

VETOKESTÄVYYTTÄ LASKETTAESSA

VINO NAULAUS

b_1 b_2 d $f_{t,k}$ β t l_{naula} d min. 10d

Kuva 7: Lähtötietojen antamiseen liittyvä visuaalinen ohje syöttökohdan vieressä.

6 OHJELMISTON TEKIJÄN JA TESTAAJAN VASTUU VIRHEISTÄ

Testaamisen yksi keskeinen tarkoitus on varmistaa ohjelman toimiminen tarkoitetulla tavalla. Ohjelmiston käyttö pyritään usein tekemään niin helpoksi, että loppukäyttäjän on vaivatonta käyttää ohjelmaa. Helppokäyttöisyyttä perustellaan myös sillä, että se pienentää virhemahdollisuutta. Tämä lienee oikea perustelu.

Kuitenkin testauksesta ja tekijän huolellisuudesta huolimatta on mahdollista, että ohjelma suorittaa virheellisiä toimintoja. Nämä voivat olla tilanteita, jossa ohjelma esimerkiksi hakee väärän arvon johonkin kohtaan. Ohjelmien käytön haaste onkin se, että loppukäyttäjän voi olla hankalaa lähteä tutkimaan ohjelman laskentaperusteita. Tämän pitäisi olla tarpeellontakin, sillä käyttäjän perustehtävä ei ole tutkia ohjelmaa vaan suorittaa sillä analyysi.

Yleisesti ohjelmiston tekijän vastuuta rajoitetaan hyvin voimakkaasti koskemaan vain virheen korjaamista siitä ilmoitettaessa. Tässäkin aikataulullinen puheoikeus jätetään yleensä ohjelman tekijälle. Näin ollen on huomattavaa, että viime kädessä ohjelman aiheuttamista virheistä vastaa loppukäyttäjä. Niinpä loppukäyttäjällä on oltava riittävä asiantuntemus analysoimaan ohjelman antamia tuloksia.

Esimerkkinä vastuuvapauslausekkeesta voitaneen pitää EL-Proyecto Ky:n kauppaamissa sähkösuunnittelun ja -urakoinnin ohjelmissa kerrottua myyjän ja tekijän vastuuta ohjelmasta:

"Ohjelman tekijä ja myyjä eivät ole vastuussa niistä, suorista eikä välillisistä vahingoista, jotka mahdollisesti syntyvät tämän tuotteen käytöstä tai kykenemättömyydestä käyttää tätä tuotetta.

Myyjän/tekijän vahingonkorvausvastuu ohjelmistossa mahdollisesti

esiintyvien virheiden osalta rajoittuu virheiden korjaamiseen. Virheet korjataan sitä mukaa, kun tilaaja on niistä ilmoittanut” /1/

Edellä mainittu on hyvin kiteytetty lyhyeen toteamukseen. Tämä on sinänsä pätevä sopimusehto, kun puhutaan business-to-business -kaupasta, jossa sopimusehtoja rajoittavat ainoastaan voimassa oleva lainsäädäntö. Kuluttajakaupassa tulee vastaan kuluttajansuojalaki, joka lakina menee kyseisen lauseen ohi. Toisaalta taas mikäli ohjelmaa käytetään kaupallisiin tarkoituksiin, ei kuluttajansuojalakia voi soveltaa /2/.

Laskentapohjien loppukäyttäjän vastuuta painotetaan vastuuvapauslausekkeella, jossa todetaan seuraavasti:

”Tämä lisenssisopimus muodostaa Puikkoliittimien leikkaus- ja tartuntakapasiteetti -ohjelmistoa koskevan sopimuksen lisenssin saajan ja lisensoijan, Ramboll Finland Oy yhdessä Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry:n, välillä. Käyttämällä ohjelmistoa hyväksytte tämän lisenssisopimuksen sisältämät ehdot ja rajoitukset jo ennen ohjelmiston käyttöönottoa.

Ohjelmisto ja kaikki siihen liittyvät oikeudet ovat lisensoijan omaisuutta. Lisenssisopimuksen perusteella teillä ei ole omistus- tai immateriaalioikeuksia ohjelmistoon vaan ainoastaan rajoitettu käyttöoikeus ilman käyttöoikeuden siirto-oikeutta kolmannelle osapuolelle. Ohjelmistoa voidaan käyttää vain lisenssin saajan sisäisessä toiminnassa. Lisenssin saajalla on oikeus ottaa kopioita ohjelmistosta omaan käyttöönsä. Kaikkien tällaisten kopioiden on sisällettävä lisensoijan tekijänoikeutta sekä muita oikeuksia koskevat ilmoitukset. Lisensoija antaa käyttöoikeuden ohjelmistoon ”sellaisena kuin se on” ilman mitään velvollisuutta ohjelmiston virheiden korjaamiseen tai ohjelmiston päivittämiseen.”

Lisenssin saaja on yksin vastuussa ohjelmiston käytöstä ja siitä saatavista laskelmista ja tulosteista, siihen syötetyistä tiedoista ja

niihin sisältyvistä virheistä. Lisensoija ei takaa ohjelmiston tai sen avulla tehtyjen laskelmien tai tulosteiden virheettömyyttä. Ohjelmisto laskee voimassaolevien suunnittelustandardien ja suunnitteluohjeiden sekä niiden yleisesti hyväksytyjen kansallisten liitteiden ja sovellusohjeiden mukaisesti, mutta se ei poista lisenssin saajan vastuuta laskelmien oikeellisuudesta. Lisenssisopimuksen ehdoton vaatimus on, että kaikki ohjelmiston tulosteet tarkistetaan perusteellisesti ennen niiden toteuttamista.” /4/

Tässä lausekkeessa on huomioitavaa, että siinä otetaan voimakas kanta myös ohjelman omistusoikeuden laajuuteen. Samoin myös tekijät irtisanoutuvat velvollisuudestaan korjata olemassa olevat virheet. Tämä on mahdollista, sillä ohjelma on tuotettu hankkeessa, jossa ohjelmat jaetaan tekijöiden kesken ilman rahallista korvausta. Tämä lauselma voidaan sisällyttää myös kaupallisiin ohjelmiin, joskin tämä malli voisi olla kaupallisessa mielessä lyhytnäköinen.

7 CASE: TERÄSBETONINEN SUORAKAIDEPALKKI

Tässä luvussa esitellään pääpiirteittäin testausprosessi ja sen tulokset SKOL ry:n Eurokoodien laskentapohjien kehityshankkeessa tehdystä Teräsbetonisen suorakaidepalkin laskentapohjasta. Pohja suorittaa laskurutiinin taivutus-, leikkaus-, halkeilu- ja taipumamitoitukselle. Laskentapohja rajoittuu jännittämättömiin rakenteisiin sekä vain suorakaidepoikkileikkauksiin.

Laskentapohja toimii siten, että ensin annetaan rakenteen tiedot sekä rasiukset, jonka jälkeen ohjelmassa tulee analyysi ja käyttöaste prosentti murtorajoille. Laskentapohjan malli on kokonaisuudessaan liitteessä 1.

7.1 Lähtötietojen antaminen

Laskentapohjaan syötetään geometriatiedoista

- palkin kokonaispituus
- viisteiden sivumitta
- tukipinnan pituus ja leveys
- poikkileikkauksen korkeus ja leveys.

Rasitustiedoista syötetään

- momentin ominaisarvo
- momentin mitoitusarvo
- leikkausvoiman mitoitusarvo.

Materiaalitiedoista syötetään

- rakenneluokka (vaikuttaa osavarmuuslukuihin)
- betonin lujuusluokka

- raudoituksen luokka
- kiviaineksen maksimiraekoko
- hakasen halkaisija
- leikkausraudoitustarkastelussa tarvittava ”betonisen puristussauvan” kulma- arvon $\cot \Theta$ arvona 1...2,5 (asteina 21,8°...45°)
- rasisluokka
- sallittu mittapoikkeama
- ympäristön suhteellinen kosteus
- betonin ikä tarkasteluajankohtana
- betonin ikä kuormituksen alkaessa.

Raudoitukselle määritetään halkaisijat ja kappalemäärät, sekä puristus- että vetoteräksille. Vetoteräkset on mahdollista laittaa kahteen riviin. Lisäksi määritetään taipuman määritystä rakennemalli.

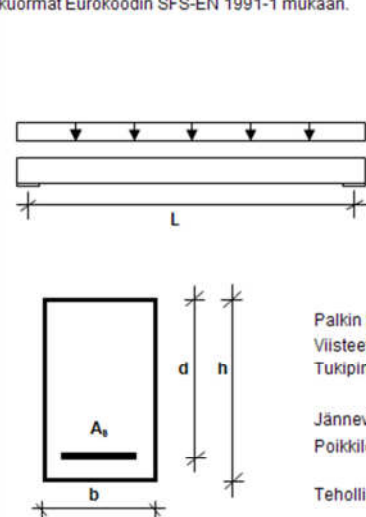
Kuvassa 8 on esitetty malli monivalinnasta, jolla voidaan rajoittaa pohjan toiminta tiettyihin määrittelyssä sovittuihin tapauksiin.

ESIMERKKILASKELMA TERÄSBETONIPALKIN MITOITUS

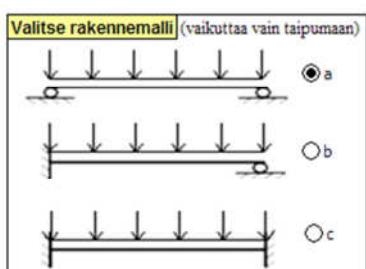
TERÄSBETONIPALKIN MITOITUS Versio 0.91 (20.1.2008)

Yksiaukkoisen teräsbetonipalkin mitoitus Eurokoodin SFS-EN 1992-1-1 mukaan, kuormat Eurokoodin SFS-EN 1991-1 mukaan.

YHTÖTIEDOT
SYSTEMI



Valitse rakennemalli (vaikuttaa vain taipumaan)



Palkin kokonaispituus		5,000	m	
Viisteet		0,015	m	
Tukipinta	pituus	t =	0,300	m
	leveys (ei käytetä laskelmissa!)		0,300	m
Jänneväli		L =	4,670	m
Poikkileikkaus	korkeus	h =	0,480	m
	leveys	b =	0,380	m
Tehollinen korkeus		d =	0,439	m

HUOM! Tehollinen korkeus d määrityy kohdassa Raudoitus annetus

Kuva 8: Taipuman määrityksen rakennemallivaihtoehdot

Monet arvot syötetään numeraalisena, mutta missä on mahdollista, on arvojen anto tehty alusvetovalikkoon. Tämä ehkäisee väärin arvojen antamisen ja mahdollisten raja-arvojen ylittämisen (kuva 9).

30
31
32
33 **2) RASITUKSET** Momentin ominaisarvo $M_k = 206,0$ kNm
34 Momentin mitoitusarvo $M_d = 264,0$ kNm
35 Leikkausvoiman mitoitusarvo $V_{Ed} = 168,0$ kN

36
37
38
39
40 **3) MATERIAALI**

41
42
43
44

45 f_{ck} f_{cm} f_{cd} f_{ctm} f_{ctk} f_{ctd} E_{cm} E_s
46 [MN/m²] [MN/m²] [MN/m²] [MN/m²] [MN/m²] [MN/m²] [MN/m²] [MN/m²]
47 25,0 33,0 15,7 2,56 1,80 1,33 31476 200000

48 Kiviaineen maksimi raekoko $d_s = 16$ mm
49 Haat $\phi_s = 8$ mm
50 $1 \leq \cot \theta \leq 2,5$ $\cot \theta = 2,20$

51
52
53 Rasisluokka $RL = XC1$
54 Vaadittu betonipeite haan alapintaan $c_{min} = 10$ mm
55 Sallittu mittapoikkeama $\Delta c_{dev} = 10$ mm

56
57 Ympäristön suhteellinen kosteus $RH = 55$ %
58 Betonin ikä tarkastelujakohtana $t = 1500$ vrk
59 Betonin ikä luomituksen alkamisesta $t = 44$ vrk

60

HUOM! Tienoinen korkeus u määräytyy kovuudessa rauditus annetun rauditusjärjestelmän mukaan. Valitse alustava rauditusjärjestelmä ennen laskentaa.

HUOM! Rasitukset tulee määrittää jollakin toisella ohjelmalla normien ja ohjeiden mukaisesti.

Rakenneluokka 1
Betoni C25/30
Rau C16/20
C20/25
C25/30
C30/37
C35/45
C40/50
C45/55
C50/60

Kuva 9: Betonilujuusluokan syöttö alusvetovalikon avulla

7.2 Analysointivaihe

Analysoinnissa suoritetaan vertailu kestävyuden ja rasisusten suhteesta laskennan avulla. Toisin sanoen määritetään, onko $E_d < R_d$, ja mikä on käyttöaste (kuva10)

ESIMERKKILASKELMA							TERÄSBETONIPALKIN MITOITUS																																																							
$\omega = (A_s f_{yd}) / (b d f_{cd})$ $\omega_c = (A_{sc} f_{yd}) / (b d f_{cd})$ $\beta_b = \lambda \cdot \epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} - (f_{sk} / E_s))$ $\beta_c = \omega - \omega_c$ $\beta_c < \beta_b$ $M_d < M_{pl,Rd}$																																																														
$\mu = \begin{cases} \omega (1 - (d_c / d)) - \beta_c ((\beta_c / 2) - (d_c / d)) & , \text{kun } \beta_c > 0 \\ \omega (1 - (d_c / d)) & , \text{kun } \beta_c < 0 \end{cases}$ $M_{pl,Rd} = \mu b d^2 f_{cd}$ $A_{s,min} = (0,26 f_{ctm} d b) / f_{yk}$																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>M_d</th> <th>μ</th> <th>ω</th> <th>ω_c</th> <th>β_b</th> <th>β_c</th> <th>M_{Rd}</th> <th colspan="2"></th> </tr> <tr> <th>[kNm]</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>[kNm]</th> <th colspan="2"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>264,00</td> <td>0,254</td> <td>0,299</td> <td>0,000</td> <td>0,467</td> <td>0,299</td> <td>293,08</td> <td>käyttöaste</td> <td>minimiraud.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>90,1 %</td> <td>$A_{s,min}$</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>[mm²]</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>222</td> </tr> </tbody> </table>									M_d	μ	ω	ω_c	β_b	β_c	M_{Rd}			[kNm]						[kNm]			264,00	0,254	0,299	0,000	0,467	0,299	293,08	käyttöaste	minimiraud.								90,1 %	$A_{s,min}$									[mm ²]									222
M_d	μ	ω	ω_c	β_b	β_c	M_{Rd}																																																								
[kNm]						[kNm]																																																								
264,00	0,254	0,299	0,000	0,467	0,299	293,08	käyttöaste	minimiraud.																																																						
							90,1 %	$A_{s,min}$																																																						
								[mm ²]																																																						
								222																																																						
<p>1) TAIVUTUS</p> <p>2) LEIKKAUS</p>																																																														

Kuva 10: Taivutuksen käyttöasteen määrittäminen

7.3 Materiaalitietojen ja taustatietojen muuttaminen

Jotta laskentapohja voidaan pitää käyttökelpoisena ja siistinä voidaan tarvittavat materiaalitiedot sekä osavarmuusluvut tehdä omalle välilehdelle kuten kuvassa 11. Näin käyttäjän ei tarvitse aina olla etsimässä standardista arvoja ja laskentapohjan käyttö helpottuu. Tässä toimintatavassa on organisaatiossa kuitenkin syytä olla henkilö tai osasto, joka tarvittaessa päivittää näitä asioita.

G17		fx		1,15							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Materiaalitulokset										
2											
3	BETONIN RAKENNELUOKAN, LUJUUSLUOKAN, KIVIAINEEN MAX RAEKOON JA OSAVARMUUSLUVUN MÄÄRITYS:										
4	RL		C	f_{ck}	$f_{ck,cube}$		d_g		γ_{M1}		
5	1		C16/20	16	20		8		1,35	,kun RL on 1	
6	2		C20/25	20	25		16		1,5	,kun RL on 2	
7			C25/30	25	30		32				
8			C30/37	30	37						
9			C35/45	35	45						
10			C40/50	40	50						
11			C45/55	45	55						
12			C50/60	50	60						
13											
14	TERÄKSEN LUJUUSLUOKAN, HALKAISIJAN JA OSAVARMUUSLUVUN MÄÄRITYS:										
15		Laatu	f_{yk}		ϕ_n		γ_{M2}				
16		A400H	400		0		1,1		,kun RL on 1		
17		A500HW	500		6		1,15		,kun RL on 2		
18		A600HW	600		8						
19		A700HW	700		10						
20		B500K	500		12						
21		B600KX	600		16						
22		B700K	700		20						
23					25						
24					32						
25											
26											
27	RASITUSLUOKAT JA BETONIPEITE										
28		Rasitusluokka	min betonipeite								
29		X0	10								
30		XC1	10								
31		XC2 / XC3	20								
32		XC4	25								
33		XD1	30								
34		XS1	30								

Kuva 11: Data-välilehti

8 CASE: PUURAKENTEET; PUIKKOLIITTIMEN KAPASITEETTI

Tässä luvussa esitellään pääpiirteittäin testausprosessi ja sen tulokset SKOL ry:n Eurokoodien laskentapohjien kehityshankkeessa tehdystä Puurakenteiden puikkoliittimen kapasiteetin määrittämisestä.

Laskentapohja rajoittuu yksittäisen puikkoliittimen yhden leikkeen kapasiteetin määrittämiseen erilaisille puutuoteliitoksille. Laskentapohja ei huomioi useiden liittimien tai useiden leikkeiden vaikutusta kapasiteettiin.

Laskentapohjan toiminta on tehty siten, että syöttöinä annetaan puutuotteet leikkeen molemmin puolin, liitintyyppi, tuotteiden ja liittimen dimensiot, materiaalien lujuusluokat sekä mahdollinen esiporaus. Laskentapohjan malli on kokonaisuudessaan liitteessä 2.

8.1 Lähtötietojen antaminen

Laskentapohjaan syötetään olosuhdetiedoista

- käyttöluokka
- kuorman aikaluokka.

Rakenneosan mitoista syötetään

- puukappaleen 1 paksuus (tässä voi olla myös teräslevy)
- puukappaleen 2 paksuus.

Laskentapohjaan syötetään materiaalitiedoista

- puukappaleen (tai teräksen) 1 materiaali ja lujuus
- puukappaleen 2 materiaali ja lujuus
- kertopuun syysuunta

- liitoksen sijainti lämmitetyssä tilassa (sinänsä tarpeeton tieto vrt. käyttöluokka).

Liittimen tiedoista syötetään

- liittimen tyyppi
- liittimen lujuusluokka ja myötömomentti
- liittimen ulkoiset dimensiot (halkaisija, pituus, kannan halkaisija, viiste, ehjän osan pituus)
- onko kyseessä vino naulaus; jos on niin sen kulma.

Lopuksi laskentapohja antaa kapasiteetin liittimelle leikettä kohti.

Kapasiteetit annetaan mitoitusleikkauskapasiteettina ja mitoitusulosveto-kapasiteettina.

8.2 Analysointivaihe

Laskentapohja suorittaa jatkuvaa analyysia tiettyjen reunaehtojen puitteissa. Tällaisia reunaehtoja ovat esimerkiksi eräiden puulevytuotteiden kuten kosteussuojaamattoman lastulevyn käyttö käyttöluokassa 2 tai 3; Eurocoden 1995-1-1 mukaan puukuitulevyille ei tule sallia kosteissa olosuhteissa kapasiteettia. Laskentapohjan näkyvä analyysi rajoittuu ainoastaan liittimen kapasiteetin antamiseen tai virheilmoitukseen.

6				
7	Puikkoliittimien leikkaus- ja tartuntakapasiteetti			
8				
9	Olosuhdetekijät:			
10	Käyttöluokka:	2		
11	Kuormien aikaluokka:	Pitkäaikainen		
12				
13	Rakenneosan mitat:			
14	Paksuus b_1 =	50,0		
15	Paksuus b_2 =	50,0	mm	
16				
17	Materiaalit: (kannanpuoleinen materiaali = 1)			
18	Materiaali 1:	Puulevy		
19		Lastulevy P4		VIRHE - Ko levyä ei voi käyttää käyttöluokassa 2
20	Materiaali 2:	Sahatavara		
21		C24		
22				

Kuva13: Lastulevy ei-sallitussa käyttöluokassa

Varsinainen tiedonhaku tapahtuu Laskenta-välilehdellä, jossa Lähtötiedot-välilehdellä annetut tiedot haetaan edelleen nimillä taulukoista. Nämä taulukot sijaitsevat Data1- ja Data2-välilehdillä.

Lopullinen laskentatulokset esitetään jo Lähtötiedot-välilehdellä, mutta tulostettava versio kaikkine koottuine mitta- ja materiaalitietoineen on tulostettavissa Tulos-välilehdellä.

8.3 Materiaalitietojen ja taustatietojen muuttaminen

Jotta laskentapohja voidaan pitää käyttökelpoisena ja siistinä voidaan tarvittavat materiaalitiedot sekä osavarmuusluvut tehdä omalle välilehdelle. Näin on tehty tässä pohjassa välilehdille Data1- ja Data2. Näin ollen käyttäjän ei tarvitse aina olla etsimässä standardista arvoja ja laskentapohjan käyttö helpottuu.

9 POHDINTA

Erilaisia taulukkolaskentapohjia voidaan arvioida olevan käytössä hyvin paljon. Arviolta lähes jokaisessa insinööritoimistossa on joitakin laskurutiineihin viritettyjä laskentapohjia. Nämä ovat tarpeellisia helpottamaan ja nopeuttamaan arkirutiineja, jotta aikaa jäisi paremmin muuhun suunnitteluun. Usein laskentapohjat ovat laskimen korvikkeita eivätkä laskentapohjia ole kehitetty eteenpäin juuri ollenkaan. Lisäksi toimiston sisäisestäkin laatu voi olla hyvin kirjavaa, mikä näkyy päällekkäisenä työnä. Tällä tarkoitan tilannetta, jossa jokin rakenneosaa mitoitetaan laskentapohjalla, mutta laskentaa ei tallenneta. Kun halutaan varmistua mitoituksesta, käydään sama laskelma tekemässä uudestaan. Näin voi käydä, kun laskelmia ei dokumentoida vaan ne jäävät ruutuvihkon nurkkaan.

Laskentapohjan testaaminen ei välttämättä tarvitse olla niin laajaa kuin mitä case-tapauksissa on tehty tai mitä suoritetaan kaupallisille sovelluksille. Omatekoisille laskentaohjelmille ei ole lain säätämiä velvoitteita testauksen suhteen, mutta alkeellinenkin ohje vuokaavioineen riittää parantamaan pohjan käyttökelpoisuutta.

Testaaminen voidaan aloittaa oikeellisuuden testaamisella sekä ohjeen kirjoittamisella ja vuokaavion rakentamisella. Seuraava askel voisi olla visuaalisen ilmeen parantaminen sekä laskurutiinisolujen lukitseminen, salasanalla tai ilman. Näille pienille parannuksille ei tarvitse ajallisesti paljoa panosta, mutta näin voidaan saada laskentapohja yhden käyttäjän mallista koko toimiston käyttökelpoiseksi työkaluksi. Tämä lisää osaltaan yhtenäistä toimiston ilmettä ja yhteenkuuluvuuden tunnetta. Toisaalta yhden hengen toimistoissa näillä parannuksilla saadaan aikaan laskurutiinimalli, joka on jo sellaisenaan valmis tuloste. Näin päällekkäisen työn tekeminen karsiutuu ja laskentapohjan kehitykseen käytetty aika maksaa itseään takaisin. Samoin toimintavarmuus kasvaa, mikä ennaltaehkäisee laskentavirheitä, jotka voivat aiheuttaa vakavia vahinkoja.

10 LÄHTEET

1. ELP-Proyecto: ohjelmiston takuehdot:
<http://www.elp.fi/takuut.htm>
2. Kuluttajansuojalaki 20.1.1978/38, 1§ ja 4§
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1978/19780038>
3. <http://ohjelmistotestaus.fi/2011/03/ei-mikaan-turha-kuluera/> Antti
Niittyviita. Kirjoitettu 28.3.2011
4. SKOL ry:n hanke Eurokoodien laskentapohjat: Puikkoliittimen
kapasiteettipohjan ohje, kohta 2.
5. Tekijänoikeuslaki 8.7.1961/404:
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1961/19610404>

11 LIITTEET

Liite 1: Suorakaidepalkki – laskentapohja

Liite 2: Puikkoliittimen kapasiteetti

Liite 3: Testausraporttimalli

SKOL		Rakennuslaskenta																									
		Tekijä: MS	Sivu: Liite 1: 1/8																								
Päiväys: 1.9.09																											
Rakennuskohde:	Työ nro:	Sisältö:	Sijainti:																								
Esimerkki laskelma	123 456	Betonipalkin mitoitus	abc def																								
Yksiaukkoisen betonipalkin mitoitus		Versio 0.93 (17.9.2009)																									
Geometria																											
Palkin kokonaispituus	7000 mm		Valitse rakennemalli: 																								
Viisteet	15 mm																										
Tukipinnan pituus	t = 300 mm																										
Korkeus	h = 780 mm																										
Leveys	b = 380 mm																										
Jänneväli	L = 6670 mm																										
Rasitukset																											
Murtorajatilan laskentamometti		$M_d =$	500,0 kNm																								
Murtorajatilan laskentaleikkausvoima		$V_{Ed} =$	100,0 kN																								
Käyttörajatilan laskentamometti	Kesto: Lyhytaikainen	$M_k =$	400,0 kNm																								
HUOM! Rasitukset tulee määrittää jollakin toisella ohjelmalla normien ja ohjeiden mukaisesti.																											
Materiaali ja ympäristö																											
Rakenneluokka	2	Kiviaineen maksimi raekoko	$d_g =$ 16 mm																								
Betonin lujuus	C30/37	Ympäristön suhteellinen kosteus	RH = 60 %																								
Sementtilaji	N	Betonin ikä tarkasteluajankohtana	t = 1500 vrk																								
Raudoitus	A500HW	Betonin ikä kuorman alkaessa	$t_0 =$ 14 vrk																								
Rasitusluokka	XC1	Sallittu mittapoikkeama	$\Delta c_{dev} =$ 15 mm																								
Suunnitteluikä	50 vuotta	Betonipeite haan alapintaan	$c_{min} =$ 25 mm																								
$f_{ck} =$	30,0 MN/m ²	$f_{cm} =$	38,0 MN/m ²																								
$f_{ctm} =$	2,90 MN/m ²	$f_{ctk} =$	2,03 MN/m ²																								
$f_{yk} =$	500 MN/m ²	$f_{yd} =$	435 MN/m ²																								
$E_{cm} =$	32837 MN/m ²	$E_s =$	200000 MN/m ²																								
$\lambda =$	0,8	$f_{cd} =$	17,0 MN/m ²																								
		$f_{ctd} =$	1,35 MN/m ²																								
		$\epsilon_{cu2} =$	0,35 %																								
		$\phi(t, t_0) =$	2,14																								
Raudoitus																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Puristusteräks</th> <th>Φ_c [mm]</th> <th>n_c [kpl]</th> <th>A_{sc} [mm²]</th> <th>d_c [mm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>6</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>				Puristusteräks	Φ_c [mm]	n_c [kpl]	A_{sc} [mm ²]	d_c [mm]		6	0	0	0													
	Puristusteräks	Φ_c [mm]	n_c [kpl]	A_{sc} [mm ²]	d_c [mm]																						
		6	0	0	0																						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Veto-teräks</th> <th>Rivi</th> <th>Φ_1, Φ_2 [mm]</th> <th>n_1, n_2 [kpl]</th> <th>A_{s1}, A_{s2} [mm²]</th> <th>d_1, d_2 [mm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Yläriivi</td> <td>2</td> <td>20</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>719,5</td> </tr> <tr> <td>Alariivi</td> <td>1</td> <td>25</td> <td>4</td> <td>1963</td> <td>719,5</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>1963 = A_s</td> <td>720 = d_{kesk}</td> </tr> </tbody> </table>				Veto-teräks	Rivi	Φ_1, Φ_2 [mm]	n_1, n_2 [kpl]	A_{s1}, A_{s2} [mm ²]	d_1, d_2 [mm]	Yläriivi	2	20	0	0	719,5	Alariivi	1	25	4	1963	719,5					1963 = A_s
Veto-teräks	Rivi	Φ_1, Φ_2 [mm]	n_1, n_2 [kpl]	A_{s1}, A_{s2} [mm ²]	d_1, d_2 [mm]																						
Yläriivi	2	20	0	0	719,5																						
Alariivi	1	25	4	1963	719,5																						
				1963 = A_s	720 = d_{kesk}																						
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>$e_w = \max[20; d_g + 3; \Phi_1] =$</td> <td>25 mm</td> </tr> <tr> <td>$e_1 = (c_{min} + \Delta c_{dev} + \Phi_h + (\Phi_1/2)) =$</td> <td>60,5 mm</td> </tr> <tr> <td>$e_2 = e_1 + (\Phi_1/2) + e_w + (\Phi_2/2) =$</td> <td>60,5 mm</td> </tr> <tr> <td>$d_c = (c_{min} + \Delta c_{dev} + \Phi_h + (\Phi_c/2)) =$</td> <td>0 mm</td> </tr> </tbody> </table>				$e_w = \max[20; d_g + 3; \Phi_1] =$	25 mm	$e_1 = (c_{min} + \Delta c_{dev} + \Phi_h + (\Phi_1/2)) =$	60,5 mm	$e_2 = e_1 + (\Phi_1/2) + e_w + (\Phi_2/2) =$	60,5 mm	$d_c = (c_{min} + \Delta c_{dev} + \Phi_h + (\Phi_c/2)) =$	0 mm																
$e_w = \max[20; d_g + 3; \Phi_1] =$	25 mm																										
$e_1 = (c_{min} + \Delta c_{dev} + \Phi_h + (\Phi_1/2)) =$	60,5 mm																										
$e_2 = e_1 + (\Phi_1/2) + e_w + (\Phi_2/2) =$	60,5 mm																										
$d_c = (c_{min} + \Delta c_{dev} + \Phi_h + (\Phi_c/2)) =$	0 mm																										
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Haat</td> <td>$\Phi_h =$</td> <td>8 mm</td> <td>Hakojen suuntakulma</td> <td>$\alpha_h =$</td> <td>90 deg</td> </tr> <tr> <td>Leikkeiden määrä</td> <td>$n_h =$</td> <td>2 kpl</td> <td>$1 \leq \cot \theta \leq 2,5$</td> <td>$\cot \theta =$</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td>Hakojen jakoväli</td> <td>$s_h =$</td> <td>300 mm</td> <td>Leikkausraudoitus</td> <td>$A_{sw} =$</td> <td>335 mm²/m</td> </tr> </tbody> </table>				Haat	$\Phi_h =$	8 mm	Hakojen suuntakulma	$\alpha_h =$	90 deg	Leikkeiden määrä	$n_h =$	2 kpl	$1 \leq \cot \theta \leq 2,5$	$\cot \theta =$	2,5	Hakojen jakoväli	$s_h =$	300 mm	Leikkausraudoitus	$A_{sw} =$	335 mm ² /m						
Haat	$\Phi_h =$	8 mm	Hakojen suuntakulma	$\alpha_h =$	90 deg																						
Leikkeiden määrä	$n_h =$	2 kpl	$1 \leq \cot \theta \leq 2,5$	$\cot \theta =$	2,5																						
Hakojen jakoväli	$s_h =$	300 mm	Leikkausraudoitus	$A_{sw} =$	335 mm ² /m																						



Rakennelaskelma

Tekijä: MS

Sivu: 2 (2)

Päiväys: 1.9.09

Rakennuskohde:	Työ nro:	Sisältö:	Sijainti:
Esimerkki laskelma	123 456	Betonipalkin mitoitus	abc def

Yksiaukkoisen betonipalkin mitoutus

Versio 0.92 (1.9.2009)

Taivutuskestävyys

$\omega = (A_s f_{yd}) / (b d \eta f_{cd}) =$	0,184	$\mu = \begin{cases} \omega (1 - d_c/d) - \beta_c (\beta_c/2 - d_c/d), & \beta_c > 0 \\ \omega (1 - (d_c/d)), & \beta_c < 0 \end{cases}$
$\omega_c = (A_{sc} f_{yd}) / (b d \eta f_{cd}) =$	0,000	
$\beta_c = \omega - \omega_c =$	0,184	$\mu =$ <input type="text" value="0,167"/>
$\beta_b = \lambda \varepsilon_{cu2} / (\varepsilon_{cu2} + (f_{yk}/E_s)) =$	0,467	$A_{s,min} = (0,26 f_{ctm} d b) / f_{yk} > 0,0013bd$
$M_{pl,Rd} = \mu b d^2 \eta f_{cd} =$	557,8 kNm	$A_{s,min} =$ <input type="text" value="412"/> mm ²
Taivutuskestävyys $M_d/M_{pl,Rd} =$	<input type="text" value="0,90"/> OK	
Minimiraudoitus $A_s > A_{s,min}$	OK	
Vetomurtumisehto $\beta_c < \beta_b$	OK	

Leikkauskestävyys

$z = 0,9d =$	648 mm	$V_{Rd,s} = A_{sw} z f_{yd} (\cot \theta + \cot \alpha_h) \sin \alpha_h$
$v_1 = 0,6 (1 - (f_{ck}/250)) =$	0,528	$V_{Rd,s} =$ <input type="text" value="235,9"/> kN
$s_{h,max} = 0,75 d (1 + \cot \alpha_h) =$	540 mm	$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 \eta f_{cd} (\cot \theta + \cot \alpha_h) / (1 + \cot^2 \theta)$
$A_{sw,min} = (0,08 f_{ck}^{0,5} b_w \sin \alpha_h) / f_{yk}$	<input type="text" value="333"/> mm ² /m	$V_{Rd,max} =$ <input type="text" value="761,6"/> kN
		$V_{Rd} = \min [V_{Rd,s}; V_{Rd,max}] =$ <input type="text" value="235,9"/> kN
Leikkauskestävyys $V_{Ed}/V_{Rd} =$	<input type="text" value="0,42"/> OK	
Minimiraudoitus $A_{sw} > A_{sw,min}$	OK	
Hakojen maksimiväli $s_h < s_{h,max}$	OK	

Taipuma

$\rho = A_s / b_w d =$	0,007	$E_{c,eff} = \begin{cases} E_{cm} / (1 + \phi) & \text{pitkäaikais- ja toistuvilla kuormilla} \\ E_{cm} & \text{lyhytaikaiskuormilla} \end{cases}$
$\rho_c = A_{sc} / b_w d =$	0,000	
$\alpha_e = E_s / E_{c,eff} =$	6,1	$E_{c,eff} =$ <input type="text" value="32837"/> MN/m ²
$x_c = [h^2 + 2(d_c \rho_c + d^2 \rho)(\alpha_e - 1)] / 2(h + d(\alpha_e - 1)(\rho_c + \rho))$		$x_c =$ <input type="text" value="401"/> mm
$I_c = b[h^3/12 + h(h/2 - x_c)^2 + d^3(\alpha_e - 1)(\rho(1 - x_c/d)^2 + \rho_c(x_c/d - d_c/d)^2)]$		$I_c =$ <input type="text" value="0,01608"/> m ⁴
$(EI)_1 = E_{c,eff} I_c =$	527,9 MNm ²	
$k_x = [(\rho + \rho_c)\alpha_e^2 + 2(\rho + \rho_c d_c/d)\alpha_e]^{0,5} - (\rho + \rho_c)\alpha_e$		$k_x =$ <input type="text" value="0,255"/>
$(EI)_2 = E_s A_s d^2 (1 - k_x)^2 + E_s A_{sc} d^2 (k_x - d_c/d) + k_x b d^3 E_{c,eff} / 3$		$(EI)_2 =$ <input type="text" value="508,2"/> MNm ²
$M_{cr} = f_{ctm} b h^2 / 6 =$	111,6 kNm	$\zeta = 1 - \beta (M_{cr}/M_k)^2 =$ <input type="text" value="0,922"/>
$1/r = M_k / [\zeta (EI)_2 + (1 - \zeta) (EI)_1]$	$1/r =$ <input type="text" value="0,00078"/> 1/m	$\beta = \begin{cases} 0,5 & \text{pitkäaikais- ja toistuvilla kuormilla} \\ 1,0 & \text{lyhytaikaiskuormilla} \end{cases}$
$v = K L^2 (1/r)$	$K = \begin{cases} 5/48 & \text{(A)} \\ 128/1665 & \text{(B)} \\ 1/16 & \text{(C)} \end{cases}$	$v =$ <input type="text" value="3,6"/> mm $L/250 =$ <input type="text" value="26,7"/> mm

Tarkista normin vaatimusten toteutuminen!

Halkeamaleveys

$\Phi_{eq} = (n_1 \Phi_1^2 + n_2 \Phi_2^2) / (n_1 \Phi_1 + n_2 \Phi_2)$	$\Phi_{eq} =$ <input type="text" value="25"/> mm	$A_{c,eff} = b \min [2,5(h - d); (h - x_c)/3; h/2]$
$\rho_{s,eff} = A_s / A_{c,eff} =$	0,041	$A_{c,eff} =$ <input type="text" value="48038"/> mm ²
$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \Phi_{eq} / \rho_{s,eff} =$	216 mm	$c = c_{min} + \Phi_h =$ <input type="text" value="33"/> mm
$\sigma_s = M_k / z A_s =$	348 MN/m ²	$z = d - x_c/3 =$ <input type="text" value="586"/> mm
$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = [\sigma_s - k_t (f_{ctm} / \rho_{s,eff}) (1 + \alpha_e \rho_{s,eff})] / E_s > 0,6 \sigma_s / E_s$	$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} =$ <input type="text" value="0,00147"/>	$k_t = \begin{cases} 0,4 & \text{pitkäaikais- ja toistuvilla kuormilla} \\ 0,6 & \text{lyhytaikaiskuormilla} \end{cases}$
$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) =$	<input type="text" value="0,318"/> mm	Tarkista normin vaatimusten toteutuminen!

Materiaalitaulukot

BETONIN RAKENNELUOKAN, LUJUUSLUOKAN, KIVIAINEEN MAX RAEKON, OSAVARMUUSLUVUN MÄÄRITYS JA SEMENTTILAJIN MÄÄRI

RL	g_{M1}	C	f_{ck}	$f_{ck,cube}$	d_g	Sementtilaji	alfa-kerroin
1	1,35	C16/20	16	20	8	N	0
2	1,5	C20/25	20	25	16	S	-1
		C25/30	25	30	32	R	1
		C30/37	30	37			
		C35/45	35	45			
		C40/50	40	50			
		C45/55	45	55			
		C50/60	50	60			
		C55/67	55	67			
		C60/75	60	75			
		C70/85	70	85			
		C80/95	80	95			
		C90/105	90	105			

Tässä on esitetty aputaulukot ja -laskentarutiinit, joita käytetään muualla. Näihin ei käyttäjän tarvitse pääsääntöisesti puuttua.

KÄYTTÖRAJATILAN KUORMITUKSEN KESTO:

	k_t	β
Pitkäaikainen/toistuva	0,4	0,5
Lyhytaikainen	0,6	1

TERÄKSEN LUJUUSLUOKAN, HALKAISIJAN JA OSAVARMUUSLUVUN MÄÄRITYS:

Laatu	f_{yk}	f_h	g_{M2}	
A400H	400	0	1,1	, rakenneluokka = 1
A500HW	500	6	1,15	, rakenneluokka = 2
A600HW	600	8		
A700HW	700	10		
B500K	500	12		
B600KX	600	16		
B700K	700	20		
		25		
		32		

RASITUSLUOKAT JA BETONIPEITE

betonipeite		
Rasitusluokka; perus	lujuusehto	
X0	10	20
XC1	10	30
XC2	20	35
XC3	20	35
XC4	25	35
XD1	30	35
XD2	35	35
XD3	40	45
XS1	30	40
XS2	40	45
XS3	40	45

BETONIPEITTEEN MÄÄRITYS:

Perusarvo	10 mm
Suunnitteluiästä johtuva lisäys	0 mm
Lujuusluokasta johtuva vähennys	-5 mm
Rakenneluokasta johtuva vähennys	0 mm
c_min_dur	5 mm
Tangon halkaisija	25 mm
Kiviaineksen koosta johtuva lisäys	0 mm
c_min_b	25 mm

VIRUMALUVUN MÄÄRITYS:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= (35 / f_{cm})^{0,7} & a_1 &= 0,9441 \\
 a_2 &= (35 / f_{cm})^{0,2} & a_2 &= 0,9837 \\
 a_3 &= (35 / f_{cm})^{0,5} & a_3 &= 0,9597 \\
 h_0 &= 2 A_c / u & h_0 &= 255,5 \\
 \\
 b_H &= \begin{cases} 1,5 (1 + (0,012 RH)^{18}) h_0 + 250 \leq 1500 & ,kun f_{cm} \leq 35 \\ 1,5 (1 + (0,012 RH)^{18}) h_0 + 250 a_3 \leq 1500 a_3 & ,kun f_{cm} > 35 \end{cases} & b_H &= 624,240906 \\
 b_c(t, t_0) &= ((t - t_0) / (b_H + t - t_0))^{0,3} & b_c(t, t_0) &= 0,9001 \\
 t_{0,2} &= t_0 (9 / (2 + t_0^{1,2}) + 1)^\alpha & t_{0,2} &= 14,0000 \\
 \alpha &= \begin{cases} -1 \text{ S-sementille} \\ 0 \text{ N-sementille} \\ 1 \text{ R-sementille} \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$b(t_{0,2}) = 1 / (0,1 + t_{0,2}^{0,20})$$

$$b(f_{cm}) = 16,8 / f_{cm}^{0,5}$$

$$j_{RH} = \begin{cases} 1 + (1 - RH / 100) / (0,1 * h_0^{1/3}) \\ (1 + (1 - RH / 100) a_1) / (0,1 * h_0^{1/3}) \end{cases} a_2$$

$$j_0 = j_{RH} b(f_{cm}) b(t_0)$$

$$j(t, t_0) = j_0 b_c(t, t_0)$$

$$b(t_{0,2}) = 0,5570$$

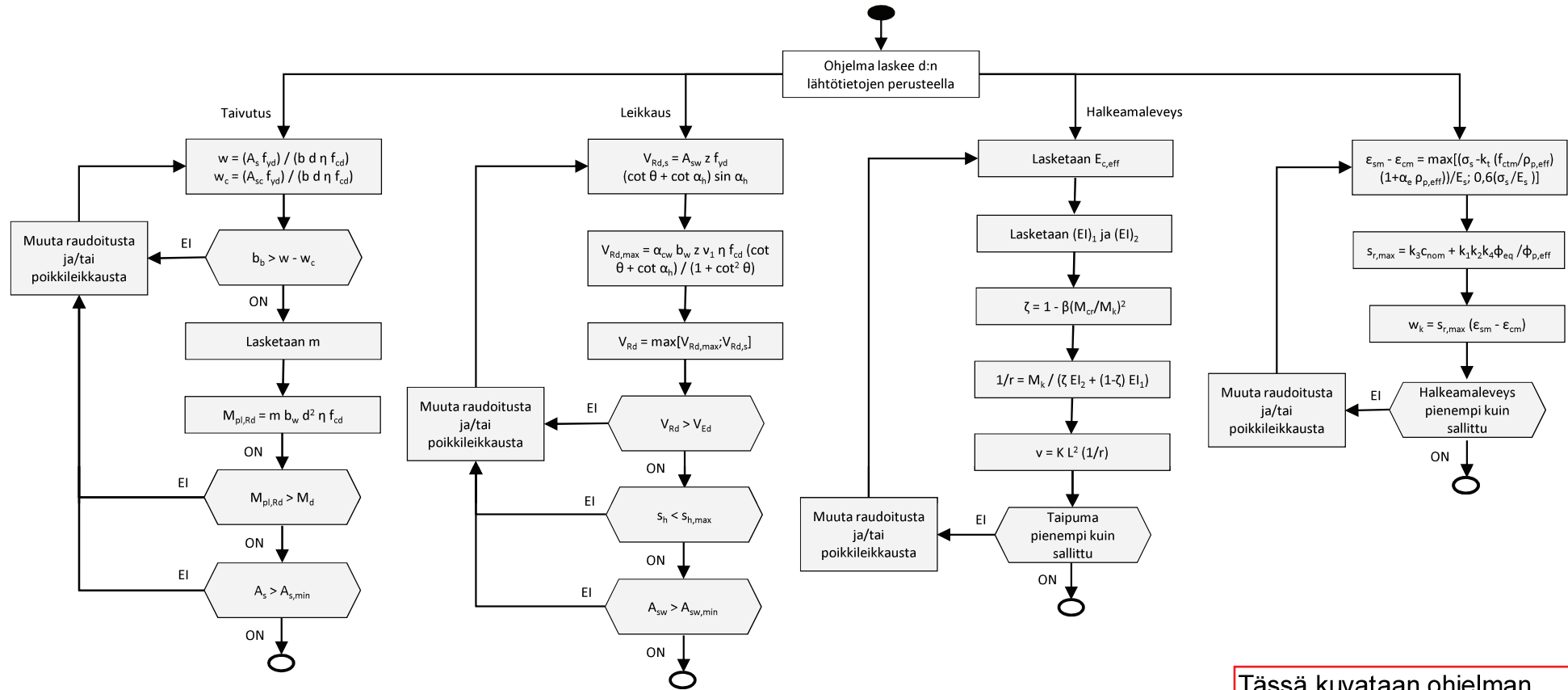
$$b(f_{cm}) = 2,7253$$

$$j_{RH} = 1,5691$$

$$j_0 = 2,3820$$

$$j(t, t_0) = 2,1441$$

Laskentavuokaaviot



Tässä kuvataan ohjelman toiminta vuokaavio-mallina

Tb-palkki EC2

versio 1.0



Toiminta- ja käyttöohje

1. Yleiskuvaus

Excel-työkirja Tb-palkki EC2 on laskentaohjelma teräsbetonipalkin mitoitusta varten. Sen avulla voidaan määrittää poikkileikkaukseltaan suorakaiteen muotoisen, yksinkertaisen palkin veto- ja leikkausraudoituksen teräsmäärät (murtorajatilatarkastelut). Lisäksi ohjelma laskee käyttörajoituksen kuormien aiheuttaman taipuman ja halkeamaleveyden arvot. Mitoitus perustuu SFS-EN 1992-1-1. Kuormat ja niiden yhdistelmät tulee määrittää SFS-EN 1991-1-1 mukaan.

2. Oikeudet ja vastuu

3. Laskennan perusteet

Mitoitus perustuu SFS-EN 1992-1-1. Kuormat ja niiden yhdistelmät tulee määrittää SFS-EN 1991-1-1 mukaan. Poikkileikkauksen rasiukset tulee määrittää jollakin muulla ohjelmalla. Mitoituksen kulku on selitetty välilehdellä kaaviona välilehdellä Vuokaavio. Lisäksi laskenta- välilehdellä (myös tulosteessa) on näkyvissä laskennassa käytetyt kaavat.

Käyttäjän on huomattava, että Taivutusmitoituksessa ohjelma laskee syötetyn raudoituksen perusteella taivutuskestävyyden ja vertaa sitä mitoittavaan momenttiin ja laskee käyttöasteen. Puristusraudoituksen huomioiminen on tehty BY210 (2008) mukaisesti.

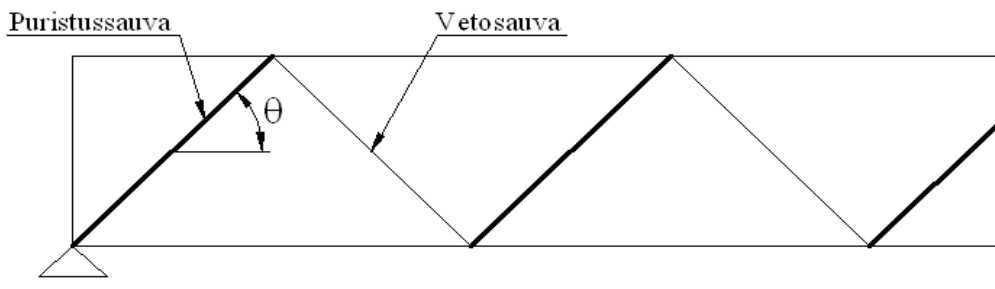
Käyttäjän tulee itse tarkistaa, ylittyykö halkeilun ja taipuman sallitut raja-arvot. Ohjelmasta löytyy taulukoituna halkeamien raja-arvojen suositusarvot sekä viitteellinen taipuman raja-arvo. Käyttäjän tulee kuitenkin aina arvioida ja tarkistaa raja-arvot tapauskohtaisesti. Seuraavassa taulukossa on esitetty halkeamaleveyden suositusraja-arvot Suomen kansallisen liitteen mukaisesti.

Halkeamaleveyden w_{\max} suositusarvot (mm)

Rasitusluokka	Teräsbetonirakenteet ja tartuntamattomat	Tartuntajännerakenteet ja injekoidut
	Pitkäaikainen kuormayhdistelmä	Tavallinen kuormayhdistelmä
X0, XC1	0,4	0,2
XC4, XD1, XS1	0,3	0,2
XD2, XD3, XS2, XS3	0,2	Vetojännityksetön tila

Lähde: Suomen kansallinen liite standardiin SFS-EN 1992-1-1

Leikkausraudoitettujen rakenneosien mitoitus perustuu ristikkomalliin. θ on betonin puristussauvojen ja leikkausvoimaa vastaan kohtisuorassa olevan rakenneosan akselin välinen kulma. θ raja-arvot ovat $21,8^\circ$ ja 45° (vastaavasti $1 \leq \cot \theta \leq 2,5$). Seuraava kuva havainnollistaa θ määritelmää.



4. Lähtöarvot

Taipuman laskentaan ohjelma tarvitsee rakennemallin. Ohjelman alussa käyttäjä valitsee kolmesta vaihtoehdosta sopivimman ja ohjelma valitsee taipuman laskentaan tarvittavan K:n arvon valinnan mukaan. Kaikki käyttäjän syöttämät lähtöarvot tarkistetaan. Tämä tapahtuu joko pakottamalla käyttäjä valitsemaan arvon/tiedon luettelosta, tai tarkistamalla, että syötetty arvo on sallitulla arvovälillä. Mikäli syötetty arvo ei ole sallitulla arvovälillä, ohjelma antaa virheilmoituksen eikä jatka laskentaa. Luetteloidut lähtöarvot on taulukoituna välilehdellä Data. Seuraavassa kaikki syötettävät lähtötiedot ja niiden sallitut arvot:

	Sallitut arvot
Palkin kokonaispituus	100 - 50 000 mm
Viisteet	0 - 100 mm
Tukipinta	100 - 2 000 mm
Poikkileikkauksen korkeus	100 - 2 000 mm
Poikkileikkauksen leveys	100 - 2 000 mm
Momentin arvo	≥ 0 kNm
Kuormituksen kesto (KRT)	Lyhytaikainen, pitkäaikainen/toistuva
Leikkausvoiman arvo	≥ 0 kN
Rakenneluokka	1, 2
Betonin lujuusluokka	C16/20 ... C90/105
Sementtilaji	N, S, R
Teräksen lujuusluokat	A400H, A500H, A600HW, A700HW, B500K, B600KX, B700K
Kiviaineen maksimi raekoko	8, 16, 32 mm
Suunnitteluikä	> 0 v
Rasitusluokka	X0, XC1-4, XD1-3, XS1-3
Ympäristön RH	0 - 100 %
Betonin ikä	> 0 vrk
Sallittu mittapoikkeama	0 - 100 mm
Hakojen halkaisija	6, 8, 10, 12, 16 mm
Leikkeiden määrä	≥ 0
Hakojen jakoväli	10 - 1000 mm
Hakojen suuntakulma	45 - 90 deg
cot θ	1 - 2,5
Pääterästen halkaisija	6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32 mm
Vetoterästen määrä	≥ 1
Puristusterästen määrä	≥ 0


5. Lähteet

SFS-EN 1990, Eurokoodi, Rakenteiden suunnitteluperusteet

Suomen Betoniyhdistys r.y., By 60, EC2 Suunnitteluohje (luonnos 2008)

Leskelä, Matti V., Suomen Betoniyhdistys r.y., Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus 2005 (by 210), Helsinki, 2006, Suomen Betonitieto Oy

SFS-EN 1992-1-1, Betonirakenteiden suunnittelu. Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt

		Rakennelaskelma, lähtötiedot	
		Tekijä: <input type="text"/>	Sivu: 1 (1)
Päiväys: <input type="text"/>			
Rakennuskohde:	Työ no: <input type="text"/>	Sisältö:	Sijainti: <input type="text"/>
Puikkoliittimien leikkaus- ja tartuntakapasiteetti			
Olosuhdetekijät:			
Käyttöluokka: <input type="text" value="2"/>			
Kuormien aikaluokka: <input type="text" value="Keskipitkä"/>			
Rakenneosan mitat:			
Paksuus $b_1 =$ <input type="text" value="50,0"/>			
Paksuus $b_2 =$ <input type="text" value="50,0"/>	mm		
Materiaalit: (kannanpuoleinen materiaali = 1)			
Materiaali 1: <input type="text" value="Sahatavara"/>			
<input type="text" value="C24"/>			
Materiaali 2: <input type="text" value="Sahatavara"/>			
<input type="text" value="C24"/>			
Kertopuun syysuunta: <input type="text"/>	(Ei tarvita laskennassa)		
Liitos lämmitetyssä tilassa? <input type="text"/>	(Ei tarvita laskennassa)		
Liitin:			
Liittintyyppi: <input type="text" value="naula neliskulmainen"/>			
Liitinkoko: <input type="text" value="3,4x100"/>			
$d =$ <input type="text" value="3,4"/>	mm		
$L =$ <input type="text" value="100"/>	mm		
$\alpha_1 =$ <input type="text" value="0"/>	(Ei vaikuta laskentaan)		
$\alpha_2 =$ <input type="text" value="0"/>	(Ei vaikuta laskentaan)		
Vetomurtolujuus $f_{u,k} =$ <input type="text" value="600"/>	N/mm ²		
Myötömomentti $M_{yk} =$ <input type="text" value="4300"/>	Nmm ² (Ei tarvita laskennassa)		
Esiporaus: <input type="text" value="Ei esiporausta"/>			
Vino naulaus: <input type="text" value="Ei"/>			
$t =$ <input type="text"/>	mm (Ei tarvita laskennassa)		
$\beta =$ <input type="text"/>	(Ei tarvita laskennassa)		
$l_{viiste} =$ <input type="text" value="0,5"/>	$*d =$ <input type="text" value="1,7"/>	mm (Ei vaikuta laskentaan)	
$l_{sileä} =$ <input type="text" value="39,0"/>	mm (Ei vaikuta laskentaan)		
$d_h =$ <input type="text" value="5,0"/>	mm		
$d_i =$ <input type="text"/>	mm (Ei tarvita laskennassa)		
Tulokset:			
Liittimen mitoitusleikkauskestävyys:			
$R_{V,d} =$ <input type="text" value="687,2"/>	N/leike		
Liittimen mitoitusulosvetokestävyys:			
$R_{T,d} =$ <input type="text" value="238,0"/>	N/leike		

Tämä on välilehti 1, jossa syötetään arvot keltaisiin ruutuihin.

Magentan värisiin ruutuihin ohjelma hakee arvot itse.

Puikkoliittimien leikkaus- ja tartuntakapasiteetti

Olosuhdetekijät:

Käyttöluokka =
Aikaluokka =

Tämä on laskentavälilehteä, mihin käyttäjän ei tarvitse puuttua. Täällä tehdään laskurutiinit ja täällä on soluja, joihin viitataan muualla ohjelmassa.

Liitettävät materiaalit:

Sahatavara C24
Osavarmuusluku, γ_{M1} =
Muunnoskerroin $k_{mod,1}$ =
Tiheys ρ_{k1} = kg/m³
Paksuus b_1 = mm

Sahatavara C24
Osavarmuusluku, γ_{M2} =
Muunnoskerroin $k_{mod,2}$ =
Tiheys ρ_{k2} = kg/m³
Paksuus b_2 = mm

Kertopuun syysuunta: (Ei tarvita laskennassa)
Liitos lämmitetyssä tilassa? (Ei tarvita laskennassa)

Liitin:

Lankanauha neliskulmainen

d = mm
 L = mm
 α_1 = (Ei vaikuta laskentaan)
 α_2 = (Ei vaikuta laskentaan)
Vetomurtolujuus $f_{u,k}$ = N/mm² (Ei tarvita laskennassa)
Myötömomentti M_{yk} = Nmm²

Esiporaus:
Vino naulaus:
 t = mm (Ei tarvita laskennassa)
 β = mm (Ei tarvita laskennassa)
 l_{viiste} = mm (Ei vaikuta laskentaan)
 $l_{sileä}$ = mm (Ei vaikuta laskentaan)
 d_h = mm
 d_i = mm (Ei tarvita laskennassa)

LASKENTA, naula**Naulan leikkauskestävyyden laskenta:**

Minimitunkeumat:

Kannan puolella $t_{1,min} = 23,8$ mm $t_{1,min} = 7d$, esiporattuna 4d

Kärjen puolella $t_{2,min} = 27,2$ mm $t_{2,min} = 8d$, esiporattuna 4d

Syntyvät tunkeumat:

Kannan puolella $t_1 = 50,0$ mm OK - Tunkeuma riittävä

Kärjen puolella $t_2 = 50,0$ mm OK - Tunkeuma riittävä

Ominaisleikkauskestävyys $R_k = 960,9$ N/leike

Kertoimet $k_p = 1,000$

$k_t = 1,251$

$k_{t,max} = 1,300$

$k_e = 1,000$

$k_l =$

$k_{l,max} =$

$k_s =$

Mitoitusleikkauskestävyys $R_d = 687,2$ N/leike

Naulan ulosvetokestävyyden laskenta:

Minimitunkeuma kärjen puolella:

(Liitettävän osan täytyy olla vähintään tämän paksuinen)

$t_{2,min} = 40,8$ mm $t_{2,min} = 12d$

Syntyvä tunkeuma:

Kärjen puolella $t_2 = 50,0$ mm OK - Tunkeuma riittävä

$f_{ax,k,kanta} = 2,450$ N/mm²

$f_{ax,k,kärki} = 2,450$ N/mm²

$f_{head,k} = 8,575$ N/mm²

$t_{pen} = 50,0$ mm

$t = 50,0$ mm

$d_h = 5,0$ mm

Ominaisulosvetokestävyys $R_k = 416,5$ N

Mitoitusulosvetokestävyys $R_d = 238,0$ N

Pultin leikkauskestävyyden laskenta:

Osien minimipaksuudet:

$$\text{Osan 1 puolella } t_1 \geq \text{ [] mm}$$

$$\text{Osan 2 puolella } t_2 \geq \text{ [] mm}$$

Reunapuristuslujuudet:

$$\text{Osa 1: } f_{1h,0,k} = \text{ [] N/mm}^2$$

$$k_{90,1} = \text{ []}$$

$$\text{Reunapuristuslujuuden kulma } \alpha_{h1} = \text{ [] }^\circ$$

$$f_{1h,k} = \text{ [] N/mm}^2$$

$$\text{Osa 2: } f_{2h,0,k} = \text{ [] N/mm}^2$$

$$k_{90,2} = \text{ []}$$

$$\text{Reunapuristuslujuuden kulma } \alpha_{h2} = \text{ [] }^\circ$$

$$f_{2h,k} = \text{ [] N/mm}^2$$

$$f_n = \text{ [] N/mm}^2$$

$$t_u = \text{ [] mm}$$

$$\text{Myötömomentti } M_y = \text{ [] Nmm}$$

$$\text{Ominaisleikkauskestävyys } R_k = \text{ [] N/leike}$$

$$\text{Mitoitusleikkauskestävyys } R_d = \text{ [] N/leike}$$

Kansiruuvin leikkauskestävyyden laskenta:

Minimitunkeumat:

Kannan puolella $t_{1,min} =$ mm

Kärjen puolella $t_{2,min} =$ mm

Syntyvät tunkeumat:

Kannan puolella $t_1 =$ mm

Kärjen puolella $t_2 =$ mm

Sisähalkaisija $d_i =$ mm

Tehollinen halkaisija $d_{ef} =$ mm

Reunapuristuslujuudet:

Osa 1: $f_{1h,0,k} =$ N/mm²

$k_{90,1} =$

Reunapuristuslujuuden kulma $\alpha_{h1} =$ °

$f_{1h,k} =$ N/mm²

Osa 2: $f_{2h,0,k} =$ N/mm²

$k_{90,2} =$

Reunapuristuslujuuden kulma $\alpha_{h2} =$ °

$f_{2h,k} =$ N/mm²

$f_h =$ N/mm²

$t_u =$ mm

Myötömomentti $M_y =$ Nmm

Ominaisleikkauskestävyys

$R_k =$ N/leike

Kertoimet

$k_p =$

$k_t =$

$k_{t,max} =$

$k_e =$

$k_l =$

$k_{l,max} =$

$k_s =$

Mitoitusleikkauskestävyys

$R_d =$ N/leike

Kansiruuvin ulosvetokestävyyden laskenta:

Kärjen puolella $l_{ef,min} =$ mm

Kierreosan tunkeuma $l_{ef} =$ mm

$f_{ax,k} =$ N/mm²

$f_{ax,\alpha,k} =$ N/mm²

Ominaisulosvetokestävyys

$F_{ax,\alpha,Rk} =$ N/leike

Mitoitusvetokestävyys

$F_{ax,\alpha,Rd} =$ N/leike

Itseporautuvan ruuvin leikkauskestävyyden laskenta:

Leikkauskestävyys lasketaan kuten profiloidulle kampa- tai kierrenaulalle:

Minimitunkeumat:

Kannan puolella $t_{1,min} =$ mm

Kärjen puolella $t_{2,min} =$ mm

Syntyvät tunkeumat:

Kannan puolella $t_1 =$ mm

Kärjen puolella $t_2 =$ mm

Sisähalkaisija $d_i =$ mm

Tehollinen halkaisija $d_{ef} =$ mm

Ominaisleikkauskestävyys $R_k =$ N/leike

Kertoimet $k_p =$

$k_t =$

$k_{t,max} =$

$k_e =$

$k_l =$

$k_{l,max} =$

$k_s =$

Mitoitusleikkauskestävyys $R_d =$ N/leike

Itseporautuvan ruuvin ulosvetokestävyyden laskenta:

Kärjen puolella $l_{ef,min} =$ mm


Kierreosan tunkeuma $l_{ef} =$ mm

$f_{ax,k} =$ N/mm²

$f_{ax,\alpha,k} =$ N/mm²

Ominaisulosvetokestävyys $F_{ax,\alpha,Rk} =$ N/leike

Mitoitusvetokestävyys $F_{ax,\alpha,Rd} =$ N/leike

		Rakennelaskelma, tulos	
		Tekijä:	Sivu: 1 (1)
Rakennuskohde:		Päiväys:	
Työ no:		Sisältö:	Sijainti:
Puikkoliittimien leikkaus- ja tartuntakapasiteetti			
Olosuhdetekijät:		Rakenneosan mitat:	
Käyttöluokka:	2	Paksuus $b_1 =$	50 0
Kuormien aikaluokka:	Keskipitkä	Paksuus $b_2 =$	50 mm
Materiaalit: (kannanpuoleinen materiaali = 1)		Liitin:	
Materiaali 1:	Sahatavara	C24	Liintyyppi: Lankanaula neliskulmainen
Materiaali 2:	Sahatavara	C24	
Suunta:	-		Liitinkoko: 3,4 x 100
Sijainti sisällä:	-		Vino naulaus: Ei
$\alpha_1 =$	0		$t =$
$\alpha_2 =$	0		mm
Vetomurtolujuus =	600	N/mm ²	$\beta =$
Myötömomentti =	4300	Nmm ²	$l_{\text{viiste}} =$
Esiporaus:	Ei esiporausta		1,7 mm
			$l_{\text{sileä}} =$
			39 mm
			$d_h =$
			5 mm
			$d_i =$
			- mm

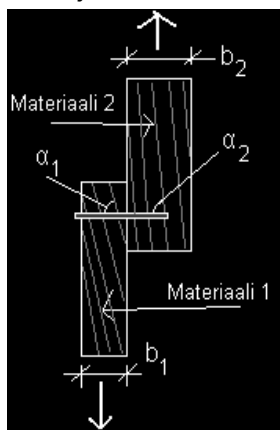
Tulokset:

Liittimen mitoitusleikkauskestävyys:
 $R_{V,d} = 687,2$ N/leike

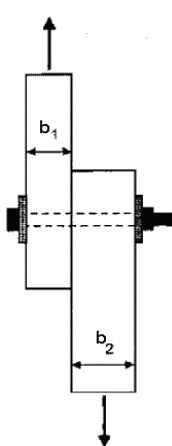
Liittimen mitoitusulosvetokestävyys:
 $R_{T,d} = 238,0$ N/leike

Leikkauskestävyys

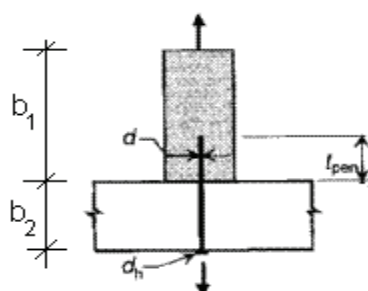
Ruuvi- ja naulaliitos:



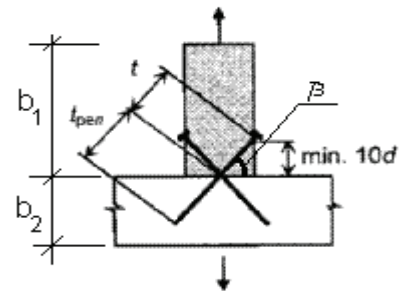
Pulttiliitos:



Ulosvetokestävyys
Suora liitos:



Vino liitos:



Tämä on Tulos-lehti, josta saadaan valmis tuloste liitettäväksi laskelmiin. Selventävänä lisänä on kuvat, jolla voidaan havaita merkkien tarkoitus.

Olosuhde- ja Materiaalitalukot

Käyttöluokka:

Tunnus	Kuvaus
1	Käyttöluokalle 1 on tyypillistä, että materiaalien kosteus lämpötilaa 20 °C vastaava ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 65 % vain muutamana viikkona vuodessa. Käyttöluokassa 1 havupuun kosteus ei enimmäkseen ylitä arvoa 12 %.
2	Käyttöluokalle 2 on tyypillistä, että materiaalien kosteus lämpötilaa 20 °C vastaava ja ympäröivän ilman suhteellinen kosteus ylittää arvon 85 % vain muutamana viikkona vuodessa. Käyttöluokassa 2 havupuun kosteus ei enimmäkseen ylitä arvoa 20 %.
3	Käyttöluokalle 3 on tyypillistä, että ilmasto-olosuhteet johtavat suurempiin kosteusarvoihin kuin käyttöluokassa 2.

Kuormien aikaluokka:

Tunnus	Kuvaus
Pysyvä	yli 10 kuukautta
Pitkäaikainen	6 kuukautta - 10 vuotta
Keskipitkä	1 viikko - 6 kuukautta
Lyhytaikainen	alle yksi viikko
Hetkellinen	

Liitettävät materiaalit:

Sahatavara
Liimapuu
Kertopuu
Teräslevy
Puulevy

Puutavara:

	Tunnus	Mat. 1 [kg/m ³]	Mat. 2 [kg/m ³]
Sahatavara	C18	320	320
	C24	350	350
	C30	380	380
	C35	400	400
	C40	420	420
		350	350
Liimapuu	GL28c	380	380
	GL28h	410	410
	GL32c	410	410
	GL32h	430	430
Kertopuu	Kerto-Q	480	480
	Kerto-S	480	480
	Kerto-T	410	410

Teräslevy:

	Tunnus
Teräslevy	S235
	S355

Puulevyt, tunnuksset ja tiheydet:

	Tunnus	Mat. 1 [kg/m ³]	Mat. 2 [kg/m ³]
Puulevy	Ohutviiluininen havuvaneri	460	460
	Paksuviiluininen havuvaneri	400	400
	Lastulevy P4		
	Lastulevy P5		
	Lastulevy P6		
	Lastulevy P7		
	OSB/2	550	550
	OSB/3	550	550
	OSB/4	550	550
	Koivuvaneri	630	630
	Combivaneri	560	560

Materiaalien ominaislujuudet: (kertopuu syrjällään) z (z)

Tunnus	$f_{m,k}$ [N/mm ²]	$f_{t,0,k}$ [N/mm ²]	$f_{c,90,k}$ [N/mm ²]	$f_{c,0,k}$ [N/mm ²]	$f_{c,90,k}$ [N/mm ²]	$f_{v,k}$ [N/mm ²]
C18	18	11	0,5	18	2,2	2
C24	24	14	0,5	21	2,5	2,5
C30	30	18	0,6	23	2,7	3
C35	35	21	0,6	25	2,8	3,4
C40	40	24	0,6	26	2,9	3,8
GL28c	28	16,5	0,4	24	2,7	2,7
GL28h	28	19,5	0,45	26,5	3	3,2
GL32c	32	19,5	0,45	26,5	3	3,2
GL32h	32	22,5	0,5	29	3,3	3,8
Kerto-Q	32	26	6	26	9	4,5
Kerto-S	44	35	0,8	35	6	4,1
Kerto-T	27	24	0,5	26	4	2,4

Kertopuun kuormitussuunta ja syrjäliitoksen sijainti:

Kertopuun suunta:

Onko syrjäliitos lämmitetyssä sisätilassa?

Onko naulaus vinossa?

Kyllä
Ei

Rakennusainetaulukot

Liittimet:

Esiporaus:

Naula	Kampanaula Kierrenaula Lankanaula pyöreä Lankanaula neliskulmainen
Pultti	Pultti
Ruuvi	Kansiruuvi Itseporautuva ruuvi

TAI	Esiporattu Ei esiporausta
-----	------------------------------

Liittimen koko:

Kampanaula

d x L	d	L
2,1x30	2,1	30
2,1x35	2,1	35
2,3x40	2,3	40
2,5x45	2,5	45
2,5x50	2,5	50
3,1x60	3,1	60
3,1x75	3,1	75
(omaliitin)	(ei määritelty)	(ei määritelty)
(omaliitin)	(ei määritelty)	(ei määritelty)

Kierrenaula

d x L	d	L
2,3x40	2,3	40
2,5x45	2,5	45
2,5x50	2,5	50
3,1x60	3,1	60
3,1x75	3,1	75
3,5x100	3,5	100
(omaliitin)	(ei määritelty)	(ei määritelty)
(omaliitin)	(ei määritelty)	(ei määritelty)
(omaliitin)	(ei määritelty)	(ei määritelty)

Lankanaula, pyöreä

d x L	d	L
2,1x50	2,1	50
2,5x60	2,5	60
2,8x75	2,8	75
3,1x90	3,1	90
3,4x100	3,4	100
3,8x120	3,8	120
4,2x130	4,2	130
4,6x145	4,6	145
5,0x160	5	160
(omaliitin)	(ei määritelty)	(ei määritelty)
(omaliitin)	(ei määritelty)	(ei määritelty)

Lankanaula, neliskulmainen

d x L	d	L
2,1x50	2,1	50
2,5x60	2,5	60
2,8x75	2,8	75
3,4x100	3,4	100
4,2x125	4,2	125
5,1x150	5,1	150
5,5x200	5,5	200
6,0x225	6	225
6,5x250	6,5	250
(omaliitin)	(ei määritelty)	(ei määritelty)
(omaliitin)	(ei määritelty)	(ei määritelty)
	3,4	100

Pultti

koko	d
M5	5
M6	6
M8	8
M10	10
M12	12
M16	16
M20	20
M24	24
(omaliitin)	(ei määritelty)
(omaliitin)	(ei määritelty)

Liittimen koko:

Kansiruuvi

d x L	d	L	d _i
8x30	8	30	5,6
8x35	8	35	5,6
8x40	8	40	5,6
8x45	8	45	5,6
8x50	8	50	5,6
8x60	8	60	5,6
8x65	8	65	5,6
8x70	8	70	5,6
8x75	8	75	5,6
8x80	8	80	5,6
8x90	8	90	5,6
8x100	8	100	5,6
8x120	8	120	5,6
8x130	8	130	5,6
8x140	8	140	5,6
8x160	8	160	5,6
10x30	10	30	7,0
10x40	10	40	7,0
10x50	10	50	7,0
10x55	10	55	7,0
10x60	10	60	7,0
10x70	10	70	7,0
10x75	10	75	7,0
10x80	10	80	7,0
10x90	10	90	7,0
10x100	10	100	7,0
10x120	10	120	7,0
10x130	10	130	7,0
10x140	10	140	7,0
10x160	10	160	7,0
10x180	10	180	7,0
10x200	10	200	7,0
12x50	12	50	9,0
12x60	12	60	9,0
12x70	12	70	9,0
12x80	12	80	9,0
12x90	12	90	9,0
12x100	12	100	9,0
12x120	12	120	9,0
12x130	12	130	9,0
12x140	12	140	9,0
12x160	12	160	9,0
12x180	12	180	9,0
12x200	12	200	9,0
12x240	12	240	9,0
12x260	12	260	9,0
12x280	12	280	9,0
12x300	12	300	9,0
16x140	16	140	12,0
16x180	16	180	12,0
(omaliitin)	(ei määritelty)	(ei määritelty)	(ei määritelty)
(omaliitin)	(ei määritelty)	(ei määritelty)	(ei määritelty)

Itseporautuva ruuvi

d x L	d	L
3x12	3	12
3x16	3	16
3x20	3	20
3x25	3	25
3x30	3	30
3x35	3	35
3x40	3	40
3,5x12	3,5	12
3,5x16	3,5	16
3,5x20	3,5	20
3,5x25	3,5	25
3,5x30	3,5	30
3,5x35	3,5	35
3,5x40	3,5	40
3,5x45	3,5	45
3,5x50	3,5	50
4x16	4	16
4x20	4	20
4x25	4	25
4x30	4	30
4x35	4	35
4x40	4	40
4x45	4	45
4x50	4	50
4x60	4	60
4x70	4	70
4,5x20	4,5	20
4,5x25	4,5	25
4,5x30	4,5	30
4,5x35	4,5	35
4,5x40	4,5	40
4,5x45	4,5	45
4,5x50	4,5	50
4,5x60	4,5	60
4,5x70	4,5	70
4,5x80	4,5	80
5x20	5	20
5x25	5	25
5x30	5	30
5x35	5	35
5x40	5	40
5x45	5	45
5x50	5	50
5x60	5	60
5x70	5	70
5x80	5	80
5x90	5	90
5x100	5	100
5x120	5	120
6x40	6	40
6x45	6	45
6x50	6	50
6x60	6	60
6x70	6	70
6x80	6	80
6x90	6	90
6x100	6	100
6x120	6	120
6x130	6	130
6x140	6	140
6x150	6	150
6x160	6	160
6x180	6	180
(omaliitin)	(ei määritelty)	(ei määritelty)
(omaliitin)	(ei määritelty)	(ei määritelty)
(omaliitin)	(ei määritelty)	(ei määritelty)

Materiaalien osavarmuusluvut γ_M : Sivu 1 (1)

Sahatavara, <C35	1,4
Sahatavara, \geq C35	1,25
Liimapuu	1,2
Puulevy	1,25
Kertopuu	1,2
Teräs	1,1

Muunnoskerroin k_{mod} :

Materiaali	Käyttöluokka	kuorman aikaluokka 4					
		pysyvä	pitkäaikainen	keskipitkä	lyhytaikainen	hetkellinen	
Sahatavara, liimapuu, kertopuu, vaneri	1	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	
	2	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	0,8
	3	0,5	0,55	0,65	0,7	0,9	
Lastulevyt P4 ja P5, OSB/2	1	0,3	0,45	0,65	0,85	1,1	0,45
	2	0,2	0,3	0,45	0,6	0,8	
Lastulevyt P6 ja P7, OSB/3 ja OSB/4	1	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	0,55
	2	0,3	0,4	0,55	0,7	0,9	

Materiaali 1: C24

$$k_{mod,1} = 0,80$$

$$\gamma_{M1} = 1,40$$

Materiaali 2: C24

$$k_{mod,2} = 0,80$$

$$\gamma_{M2} = 1,40$$



Puikkoliittimien leikkaus- ja tartuntakapasiteetti

versio 1.0 (27.03.2009)

Voimassa 12/2009 asti

Toiminta- ja käyttöohje

1. Yleiskuvaus

Tällä laskentapohjalla lasketaan yksittäisen puikkoliittimen leikkaus- ja vetokestävyyksien mitoitusarvot. Liitoksia mitoitettaessa liitinten sallitut reunaetäisyydet, keskinäiset etäisyydet yms. tulee tarkastaa. Tietyillä liitin- ja materiaaliyhdistelmillä ei lasketa molempia em. arvoista. Taulukko ilmoittaa tuloksen vain, jos lähtötiedoissa ei ole virheitä tai ristiriitoja. Tulos tulee näkyviin Lähtötiedot-välilehden alaosaan, tarkemmat tiedot laskennasta löytyvät Laskenta-välilehdeeltä, kullekin liitintyyppille omasta osiostaan.

2. Oikeudet ja vastuu

Copyright: Ramboll Finland Oy ja Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry. 2009 - 2010

Tämä lisenssisopimus muodostaa Puikkoliittimien leikkaus- ja tartuntakapasiteetti -ohjelmistoa koskevan sopimuksen lisenssin saajan ja lisensoijan, Ramboll Finland Oy yhdessä Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL ry:n, välillä. Käyttämällä ohjelmistoa hyväksytte tämän lisenssisopimuksen sisältämät ehdot ja rajoitukset jo ennen ohjelmiston käyttöönottoa.

Ohjelmisto ja kaikki siihen liittyvät oikeudet ovat lisensoijan omaisuutta. Lisenssisopimuksen perusteella teillä ei ole omistus- tai immateriaalioikeuksia ohjelmistoon vaan ainoastaan rajoitettu käyttöoikeus ilman käyttöoikeuden siirto-oikeutta kolmannelle osapuolelle. Ohjelmistoa voidaan käyttää vain lisenssin saajan sisäisessä toiminnassa. Lisenssin saajalla on oikeus ottaa kopioita ohjelmistosta omaan käyttöönsä. Kaikkien tällaisten kopioiden on sisällettävä lisensoijan tekijänoikeutta sekä muita oikeuksia koskevat ilmoitukset. Lisensoija antaa käyttöoikeuden ohjelmistoon "sellaisena kuin se on" ilman mitään velvollisuutta ohjelmiston virheiden korjaamiseen tai ohjelmiston päivittämiseen.

Lisenssin saaja on yksin vastuussa ohjelmiston käytöstä ja siitä saatavista laskelmista ja tulosteista, siihen syötetyistä tiedoista ja niihin sisältyvistä virheistä. Lisensoija ei takaa ohjelmiston tai sen avulla tehtyjen laskelmien tai tulosteiden virheettömyyttä. Ohjelmisto laskee voimassaolevien suunnittelustandardien ja suunnitteluohjeiden sekä niiden yleisesti hyväksytyjen kansallisten liitteiden ja sovellusohjeiden mukaisesti, mutta se ei poista lisenssin saajan vastuuta laskelmien oikeellisuudesta. Lisenssisopimuksen ehdoton vaatimus on, että kaikki ohjelmiston tulosteet tarkistetaan perusteellisesti ennen niiden toteuttamista.

3. Laskennan perusteet

Laskentakaavat ovat RIL 205-1-2007 Puurakenteiden suunnitteluohje mukaiset, ja ne pohjautuvat Eurokoodiin EN 1995-1-1. Laskennassa tarkastellaan vain yksittäisen puikkoliittimen kapasiteettia yhtä leikettä kohti eikä kokonaista liitosta. Haluttaessa mitoittaa liitosta huomioon ottaen reunaetäisyydet ja liitinvälit tulee käyttää liitoksen mitoittamiseen suunniteltua laskentalomaketta.

Teräslevyn ja puutavaran liitoksissa teräslevyn reunapuristuskapasiteettia ei tarkisteta, joten käyttäjä saa leikkauskestävyydelle arvon kaikilla teräslevyn paksuuksilla (esim. 0,01 mm). Käyttäjän tulee itse harkita, minkä paksuista teräslevy liitoksessa voidaan käyttää.

Naulat:

Tämä laskentamenetelmä edellyttää naulan vetomurtolujuuden olevan vähintään 600 N/mm².

Nimellispaksuuden d tulee olla $1,9 \text{ mm} \leq d \leq 8,0 \text{ mm}$ ja kannan pinta-alan $A_n \geq 2,5 d^2$.

Lomakkeella ei pysty laskemaan puun päähän syysuuntaan lyötyjen naulojen kestävyyyksiä.

Naulojen ulosvetokestävyys määrittämisessä tarvittava naulan kannan halkaisija on tavallisilla nautoilla $d_n \geq 2 d$, tämä tulee käyttäjän itse tarkistaa. Kampa- ja kierrenaulan mitoittamiseen tarvittava myötömomentin M_{yk} -arvo löytyy käytettävän liittimen CE-merkistä.

Vinossa naulauksessa lomakkeen käyttäjän on itse tarkistettava naulan kannan ja naulan kärjen puoleisen kappaleen välisen minimietäisyyden $10 d$ toteutuminen. Käytettäessä vinoa naulausta tulee liitoksessa olla aina vähintään kaksi naulaa.

Ruuvit

Tämä laskentamenetelmä edellyttää pultin vetomurtolujuuden olevan enintään 800 N/mm². Pultin nimellispaksuuden d tulee olla ≤ 30 mm liitettäessä teräslevyä puutavaraan ja muuten ≤ 24 mm.

Kansiruuvit:

Tämä laskentamenetelmä edellyttää ruuvien vetomurtolujuuden olevan vähintään 500 N/mm² tai myötömomentin vähintään 150 $d_{ef}^{2,6}$. Nimellispaksuuden d tulee olla laskentamenetelmää ja tätä lomaketta käytettäessä $8 \leq d \leq 24$ mm. Ruuvien kierteisen osan sisähalkaisijan d_i tulee olla $0,6 d \leq d_i \leq 0,9 d$. Kansiruuvien sileälle osalle esiporataan aina reikä. Jos kansiruuvien halkaisija > 6 mm, myös kierteiselle osalle on esiporattava reikä. Kierreesalle esiporattavan reiän halkaisija on havupuulla ja puulevyillä $0,6 \dots 0,75 d$ ja lehtipuutavaralla $0,7 \dots 0,85 d$.

Kansiruuvien ulosvetokestävyyttä laskettaessa ei tarkisteta kannan läpivetokestävyyttä eikä ruuvien vetokestävyyttä.

Itseporautuvat ruuvit:

Itseporautuvalla ruuvilla tarkoitetaan täyskierteisiä ruuveja ja sellaisia osakierteisiä ruuveja, joiden sileän varren paksuus on enintään 80 % kierteen ulkohalkaisijasta, mutta vähintään $1,1 d_i$, kun d_i on ruuvien kierteisen osan sisähalkaisija. Lomaketta voidaan käyttää ellei itseporautuvan ruuvien CE-merkinnässä tai ruuvien EN 1995:n mukaista mitoitusta koskevassa VTT:n lausunnossa ole annettu erillisiä ohjeita.

Itseporautuvan ruuvien mitoituksessa tarvittava myötömomentin M_{yk} -arvo löytyy käytettävän liittimen CE-merkistä.

4. Laskennan kulku

kts. vuokaavio

5. Lähtöarvot

Lähtöarvot syötetään lukuarvoina keltaisella värjättyihin soluihin tai valitaan alasetoalikoista. Osa valikoista on yhteydessä toisiinsa makroilla, joten jos käyttäjä esimerkiksi vaihtaa liittintyyppiä, hänen on valittava liittinkoko uudestaan. (Taulukkoon ilmestyy monia #PUUTTUU!-virheilmoituksia, jotka katoavat kun liittintyyppi ja -koko tai materiaalityyppi ja -luokka sopivat yhteen). Pääsääntöisesti virheilmoitukset kertovat, miksi tulosta ei lasketa.

Alasetoalikoihin on täytetty yleisimpiä liittinkokoja liittintyypeittäin. Lisäksi Data2-välilehdellä on kutakin liittintyyppiä kohti tilaa omia liittimiä varten. Omalle liittimelle tulee syöttää tarvittavat tiedot (tunnus, pituus, halkaisija) oikeisiin sarakkeisiin, jotta sitä voidaan käyttää laskennassa. Oman liittimen tunnus ei voi olla pelkkä numero.

Solut, joissa on kaava, on värjätty punertaviksi. Näihin soluihin tehtävät muutokset saattavat sotkea laskennan.

Data1- ja Data2-välilehtiä muokattaessa täytyy ottaa huomioon, että alasetoalikoiden makrot eivät päivitä automaattisesti hakualueitaan (esim. lisää/poista rivi -komentojen tai cut/paste-toiminnon yhteydessä), kuten tavalliset soluissa olevat kaavat. Tämän vuoksi alasetoalikat voivat mennä sekaisin, mikäli käyttäjä siirtää em. välilehtien tietoja eri soluihin. Makron soluviittaukset voi korjata Visual Basic Editorissa.

6. Lähteet

RIL 205-1-2007 Puurakenteiden suunnitteluohje, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2007, ISBN 978-951-758-481-4, ISSN 0356-9403

Eurokoodi EN 1995-1-1

Tässä on esitetty otteita testausraportista esimerkiksi testausraportin sisällöstä:

Tarkastetaan taulukkokertoimien oikeellisuus sekä niiden viittaukset. ok tarkoittaa onnistunutta testitapausta.

Muunnoskertoimet k_{mod} :

Sahatavara C18	kuorman aikaluokka									
	KL	Pysyvä		pitkäaikainen		keskipitkä		lyhyt		hetkellinen
1	0,6	ok	0,7	ok	0,8	ok	0,9	ok	1,1	ok
2	0,6	ok	0,7	ok	0,8	ok	0,9	ok	1,1	ok
3	0,5	ok	0,55	ok	0,65	ok	0,7	ok	0,9	ok

Sahatavara C24	kuorman aikaluokka									
	KL	Pysyvä		pitkäaikainen		keskipitkä		lyhyt		hetkellinen
1	0,6	ok	0,7	ok	0,8	ok	0,9	ok	1,1	ok
2	0,6	ok	0,7	ok	0,8	ok	0,9	ok	1,1	ok
3	0,5	ok	0,55	ok	0,65	ok	0,7	ok	0,9	ok

Sahatavara C30	kuorman aikaluokka									
	KL	Pysyvä		pitkäaikainen		keskipitkä		lyhyt		hetkellinen
1	0,6	ok	0,7	ok	0,8	ok	0,9	ok	1,1	ok
2	0,6	ok	0,7	ok	0,8	ok	0,9	ok	1,1	ok
3	0,5	ok	0,55	ok	0,65	ok	0,7	ok	0,9	ok

Sahatavara C35	kuorman aikaluokka									
	KL	Pysyvä		pitkäaikainen		keskipitkä		lyhyt		hetkellinen
1	0,6	ok	0,7	ok	0,8	ok	0,9	ok	1,1	ok
2	0,6	ok	0,7	ok	0,8	ok	0,9	ok	1,1	ok
3	0,5	ok	0,55	ok	0,65	ok	0,7	ok	0,9	ok

Sahatavara C40	kuorman aikaluokka									
	KL	Pysyvä		pitkäaikainen		keskipitkä		lyhyt		hetkellinen
1	0,6	ok	0,7	ok	0,8	ok	0,9	ok	1,1	ok
2	0,6	ok	0,7	ok	0,8	ok	0,9	ok	1,1	ok
3	0,5	ok	0,55	ok	0,65	ok	0,7	ok	0,9	ok

Liimapuu GL28c	kuorman aikaluokka									
	KL	Pysyvä		pitkäaikainen		keskipitkä		lyhyt		hetkellinen
1	0,6	ok	0,7	ok	0,8	ok	0,9	ok	1,1	ok
2	0,6	ok	0,7	ok	0,8	ok	0,9	ok	1,1	ok
3	0,5	ok	0,55	ok	0,65	ok	0,7	ok	0,9	ok

Liimapuu GL28h	kuorman aikaluokka									
	KL	Pysyvä		pitkäaikainen		keskipitkä		lyhyt		hetkellinen
1	0,6	ok	0,7	ok	0,8	ok	0,9	ok	1,1	ok
2	0,6	ok	0,7	ok	0,8	ok	0,9	ok	1,1	ok
3	0,5	ok	0,55	ok	0,65	ok	0,7	ok	0,9	ok

Combivaneri	kuorman aikaluokka										
	KL	Pysyvä		pitkäaikainen		keskipitkä		lyhyt		hetkellinen	
1	0,6	ok	0,7	ok	0,8	ok	0,9	ok	1,1	ok	
2	0,6	ok	0,7	ok	0,8	ok	0,9	ok	1,1	ok	
3	0,5	ok	0,55	ok	0,65	ok	0,7	ok	0,9	ok	

Lastulevy P4	kuorman aikaluokka										
	KL	Pysyvä		pitkäaikainen		keskipitkä		lyhyt		hetkellinen	
1	0,3	ok	0,45	ok	0,65	ok	0,85	ok	1,1	ok	

Lastulevy P5	kuorman aikaluokka										
	KL	Pysyvä		pitkäaikainen		keskipitkä		lyhyt		hetkellinen	
1	0,3	ok	0,45	ok	0,65	ok	0,85	ok	1,1	ok	
2	0,2	ok	0,3	ok	0,45	ok	0,6	ok	0,8	ok	

Lastulevy P6	kuorman aikaluokka										
	KL	Pysyvä		pitkäaikainen		keskipitkä		lyhyt		hetkellinen	
1	0,4	ok	0,5	ok	0,7	ok	0,9	ok	1,1	ok	

Lastulevy P7	kuorman aikaluokka										
	KL	Pysyvä		pitkäaikainen		keskipitkä		lyhyt		hetkellinen	
1	0,4	ok	0,5	ok	0,7	ok	0,9	ok	1,1	ok	
2	0,3	ok	0,4	ok	0,55	ok	0,7	ok	0,9	ok	

OSB/2	kuorman aikaluokka										
	KL	Pysyvä		pitkäaikainen		keskipitkä		lyhyt		hetkellinen	
1	0,3	ok	0,45	ok	0,65	ok	0,85	ok	1,1	ok	

OSB/3	kuorman aikaluokka										
	KL	Pysyvä		pitkäaikainen		keskipitkä		lyhyt		hetkellinen	
1	0,4	ok	0,5	ok	0,7	ok	0,9	ok	1,1	ok	
2	0,3	ok	0,4	ok	0,55	ok	0,7	ok	0,9	ok	

OSB/4	kuorman aikaluokka										
	KL	Pysyvä		pitkäaikainen		keskipitkä		lyhyt		hetkellinen	
1	0,4	ok	0,5	ok	0,7	ok	0,9	ok	1,1	ok	
2	0,3	ok	0,4	ok	0,55	ok	0,7	ok	0,9	ok	

Testaus osavarmuuskertoimien oikeellisuudesta ja viittauksista.

Materiaalien osavarmuuskertoimet ja tiheydet:

		Y _M		Tiheys	
sahatavara	C18	1,4	ok	320	ok
	C24	1,4	ok	350	ok
	C30	1,4	ok	380	ok
	C35	1,25	ok	400	ok
	C40	1,25	ok	420	ok
Liimapuu	GL28c	1,2	ok	380	ok
	GL28h	1,2	ok	410	ok
	GL32c	1,2	ok	410	ok
	GL32h	1,2	ok	430	ok
Kertopuu	Kerto-Q	1,2	ok	480	ok
	Kerto-S	1,2	ok	480	ok
	Kerto-T	1,2	ok	410	ok
Teräslevy	S235	1,1	ok	-	
	S355	1,1	ok	-	
Puulevy	Ohutviiluihin, havu	1,25	ok	460	ok
	Paksuviiluihin, havu	1,25	ok	400	ok
	Lastulevy, P4	1,25	ok	550	ok
	Lastulevy, P5	1,25	ok	500	ok
	Lastulevy, P6	1,25	ok	550	ok
	Lastulevy, P7	1,25	ok	500	ok
	OSB/2	1,25	ok	550	ok
	OSB/3	1,25	ok	550	ok
	OSB/4	1,25	ok	550	ok
	Koivuvaneri	1,25	ok	630	ok
	Combivaneri	1,25	ok	560	ok

Testaus perustapauksille ja niiden variaatioille. Valitaan kolme perustapausta.

Lähtötiedot:

Perustapaus 1	
Käyttöluokka	2
Aikaluokka	Keskipitkä
Materiaali 1	Sahatavara, C24
Materiaali 2	Sahatavara, C24
b_1 [mm]	50
b_2 [mm]	50
Liitintyyppi	Lankanaula, neliskulmainen
Liitinkoko	3,4 x 100
Vetomurtolujuus, $f_{u,k}$ [N/mm ²]	600
Kannan halkaisija, d_h [mm]	5
Vinonaulaus	Ei

A=ohutviiluininen havuvaneri
 B=paksuviiluininen havuvaneri
 C=combicaneri
 D=koivuvaneri

Käytettäessä kertopuuta, syysuunta syrjällään ja lämmitetyssä tilassa.

Tapaukset	Perustapaus 1					
	Käyttöluokka	1	2	3		
1...3	Käyttöluokka	1	2	3		
4...8	Aikaluokka	Pysyvä	Pitkäaikainen	Keskipitkä	Lyhyt	Hetkellinen
9...13	Materiaali 1&2	C18	C24	C30	C35	C40
14...17	Materiaali1	GL28c	GL28h	GL32c	GL32h	
18...20	Materiaali 2	Kerto-Q	Kerto-S	Kerto-T		
21...22	Materiaali 1; t=8mm	A	B			
23...24	Materiaali 1; t=30mm	A	B			
25...28	Materiaali 1; t=30mm	P4	P5	P6	P7	
29...33	Materiaali 1; t=20mm	OSB/2	OSB/3	OSB/4	C	D
34...36	Liitinkoko	2,5x60	2,8x75	4,2x125		
37	Vinonaulaus	t=48mm, $\beta=45^\circ$				

Pohjan laskemat tulokset. Vasemmalta lukien ensimmäisenä tapauksen numero, mitoitussleikkauskestävyys, mitoitussulosvetokestävyys ja lopuksi kuittaus.

Tapaukset	R _{v,d} [N/leike]	R _{T,d} [N/leike]	Kommentti
Perustapaus 1			
1	687,2	268,0	ok
2	687,2	268,0	ok
3	558,3	193,4	ok
4	515,4	-	ok
5	601,3	-	ok
6	687,2	268,0	ok
7	773,1	267,8	ok
8	944,9	327,3	ok
9	687,2	198,9	ok
10	687,2	268,0	ok
11	716,0	280,5	ok
12	822,8	348,2	ok
13	843,1	383,8	ok
14	687,20	238,00	ok
15	687,20	238,00	ok
16	687,20	238,00	ok
17	687,20	238,00	ok
18	687,20	73,4	ok
19	687,20	73,4	ok
20	687,20	73,4	ok
21	382,20	238,00	ok
22	382,20	209,70	ok
23	678,30	238,00	ok
24	678,30	238,00	ok
25	427,30	149,90	ok
26	427,30	149,90	ok
27	522,30	183,30	ok
28	522,30	183,30	ok
29	342,50	149,90	ok
30	418,70	183,30	ok
31	418,70	183,30	ok
32	543,70	238,00	ok
33	688,40	238,00	ok
34	-	-	ok
35	293,70	-	ok
36	780,20	-	ok
37	-	247,50	ok

Perustapaus 2

38	-	-	ok
39	204,70	60,70	ok
40	271,30	83,10	ok
41	325,60	100,60	ok
42	204,70	44,60	ok
43	204,70	28,50	ok
44	204,70	-0,50	ok

Perustapaus 3

45	2016,10	-	ok
46	2756,60	-	ok
47	3547,20	-	ok
48	1975,80	-	ok
49	2073,60	3693,80	ok
50	2642,40	4703,00	ok
51	3506,40	-	ok

Seuraava testaus on sileän ja profiloidun liittimen testaus varren suuntaiselle vedolle. Sileälle naulalle ei oletettavasti saa antaa kapasiteettia varren suuntaiselle vedolle. Pyöreä tarkoittaa pyöreää lankanaulaa, neliskulm neliskulmaista lankanaulaa.

Tapaus	käyttö- luokka	Aikaluokka	Liitin	Oletettu vastaus	Vastaus	Kuittaus
73	1	Pysyvä	Kampanaula	ok	ok	ok
74	1	Pysyvä	Kierrenaula	ok	ok	ok
75	1	Pysyvä	Pyöreä	virhe	virhe	ok
76	1	Pysyvä	Neliskulm	virhe	virhe	ok
77	1	Pysyvä	Itsepor ruuvi	ok	ok	ok
78	2	Pysyvä	Kampanaula	ok	ok	ok
79	2	Pysyvä	Kierrenaula	ok	ok	ok
80	2	Pysyvä	Pyöreä	virhe	virhe	ok
81	2	Pysyvä	Neliskulm	virhe	virhe	ok
82	2	Pysyvä	Itsepor ruuvi	ok	ok	ok
83	3	Pysyvä	Kampanaula	ok	ok	ok
84	3	Pysyvä	Kierrenaula	ok	ok	ok
85	3	Pysyvä	Pyöreä	virhe	virhe	ok
86	3	Pysyvä	Neliskulm	virhe	virhe	ok
87	3	Pysyvä	Itsepor ruuvi	ok	ok	ok
88	1	Pitkäaikainen	Kampanaula	ok	ok	ok
89	1	Pitkäaikainen	Kierrenaula	ok	ok	ok
90	1	Pitkäaikainen	Pyöreä	virhe	virhe	ok
91	1	Pitkäaikainen	Neliskulm	virhe	virhe	ok
92	1	Pitkäaikainen	Itsepor ruuvi	ok	ok	ok
93	2	Pitkäaikainen	Kampanaula	ok	ok	ok
94	2	Pitkäaikainen	Kierrenaula	ok	ok	ok