

Opinnäytetyö YAMK

Rakentamisen koulutusohjelma

YRAKES14

2016

Jyrki Rohila

SILLAN JÄNNEPUNOKSIEN LASKENNAN KEHITTÄMINEN FEM-OHJELMALLA

OPINNÄYTETYÖ (YAMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakentaminen

2016 | Sivumäärä 66

Ohjaaja DI Harri Viljamaa, Lehtori

Jyrki Rohila

SILLAN JÄNNEPUNOKSIEN LASKENNAN KEHITTÄMINEN FEM-OHJELMALLA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää sillan ja kaikkien jännitettyjen rakenteiden jännepunoksien laskentaa. Opinnäytetyön aiheena on mallintaa FEM-laskentaohjelman (*finite element program*) avulla jännepunoksien rasitukset ja varmistaa saatujen tuloksien oikeellisuus erilaisilla vertailulaskennoilla.

Opinnäytetyössä selvitettiin, mitä uutta nykyaikainen laskentaohjelma mahdollistaa jännepunoksien laskennassa. Työssä arvioitiin uuden laskentatavan vaikutuksia suunnittelukustannuksiin ja suunnittelutyön laatuun. Opinnäytetyössä käytiin läpi erilaiset ongelmat, jotka liittyvät jännepunoksien mallintamiseen ja ohjelmien käyttöön. Opinnäytetyössä on lisäksi kerrottu erilaisista jännepunosohjelmien virheellisistä tai epätarkoista tuloksista, joita ilmeni vertailulaskennassa.

Opinnäytetyön tuloksena osataan laskea FEM-ohjelmalla jännepunoksien rasitukset ja saatiin selville uuden sekä vanhan laskennan eroavaisuudet. Opinnäytetyössä havaittiin ohjelmavirheitä, jotka ilmoitettiin valmistajalle ja korjattiin. Opinnäytetyö varmisti FEM-ohjelman tulokset oikeiksi ja tarkoiksi.

ASIASANAT:

FEM, jännepunos, kaapeli, silta, STRAP, TASSU

MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme in Construction

2016 | Total number of pages 66

Instructor Mc.S. (Tech.) Harri Viljamaa, Lecturer

Author Jyrki Rohila

DEVELOPMENT OF STRAND CALCULATION FOR BRIDGES WITH FEM-PROGRAM

The aim of this study was to develop strand calculation for bridges and all other prestressed structures. The goal was to learn how to model strand stresses using a FEM-program (*finite element method*) and confirm the accuracy of the results with the comparison of different censuses.

The thesis determined what new the modern calculation software allows in the calculation of the strand. The work evaluated the effects of a new method for calculating the costs of planning and design quality. The thesis studied also the various problems which related to the modeling of the strand and the use of programs. The thesis presents various strand program errors or inaccurate results, which occur in the comparison calculation.

The thesis result was that the strand stresses can be calculated with FEM-software. The differences of calculation were determined between the old and new method. Several program errors were recognized which were reported to the manufacturer and repaired. The thesis verified the results of the FEM-program to be right and accurate.

KEYWORDS:

FEM, bridge, cable, posten, STRAP, TASSU

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
1.1 Insinööritoimisto Suunnittelukide Oy	7
1.2 Opinnäytetekijän tausta	7
1.3 Kehittämistarve	7
1.4 Opinnäytetyön tavoite	8
1.5 Tutkimusmenetelmä	9
2 MALLINNUSOHJELMAT	10
2.1 STRAP FEM -ohjelma	10
2.2 TASSU RS03 -ohjelma	11
3 JÄNNITETYN RAKENTEEN MITOITTAMINEN	14
3.1 Jännepunos	14
3.2 Sillan mitoittaminen	15
3.3 Betonirakenteen mitoittaminen	18
3.4 Nykyisen mallintamisen ongelmat	19
4 STRAP FEM -OHJELMAN JÄNNEOSIO	22
4.1 Jännepunoksien määrittelemine	22
4.2 Havaitut ongelmat	24
4.2.1 Taivutusmomentti	24
4.2.2 Punoksen pidentymä	26
4.2.3 Jännehäviö	28
4.3 Ongelmien yhteenveto	31
5 JÄNNETULOKSIEN VERTAILU	33
5.1 Vertailumallit	33
5.2 Puristusvoima	36
5.3 Taivutusmomentti	41
5.4 Leikkausvoima	43
5.5 Taipuma	45
5.6 Jännitys	46
5.7 Vertailujen yhteenveto	49
6 JÄYKKÄ TUENTA	50
6.1 Moniaukkoinen silta	50
6.2 Moniaukkoisen sillan vertailu	50
6.3 Kulmamuutosvertailu	53

6.4 Ulokkeellinen yksiaukkoinen silta	55
6.5 Yksiaukkoisen sillan vertailu	57
7 HALKEILURAJATILA	58
8 UUSI LASKENTATAPA	59
9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TOIMENPITEET	62
10 YHTEENVETO	64
LÄHTEET	66

LIITTEET

Liite 1. STRAP:n jänneosion välilehdet ja ohjeet	
Liite 2. Siuronkosken ratasillan vertailutaulukot ja kuvaajat	
Liite 3. Siuronkosken ratasillan TASSU-jänneajo ja sillan jännepiirustus	
Liite 4. Asemapäällikönkadun sillan vertailutaulukot ja kuvaajat	
Liite 5. Halkeilumomentti	

KAAVAT

Kaava 1. Leikkausvoiman ja väännön ehto.	18
Kaava 2. Taivutuksen ja väännön ehto.	19
Kaava 3. Pituuden muutos.	27
Kaava 4. Aaltoisuus- ja kaapelikitkahäviö.	30
Kaava 5. Jänteen leikkausvoima.	44
Kaava 6. Jännitys.	47
Kaava 7. Halkeilumomentti.	58
Kaava 8. Nollavenymämomentti.	58

KUVAT

Kuva 1. Siuronkosken ratasilta.	9
Kuva 2. STRAP:n Geometria-välilehti.	11
Kuva 3. TASSU-tulostussivu.	13
Kuva 4. Jänneankkurin rakenne.	14
Kuva 5. STRAP:n kuormien yhdistelytaulukko.	16
Kuva 6. Käsien yhdistelty leikkausvoima.	17
Kuva 7. STRAP:n leikkausvoimakuvaaja.	17
Kuva 8. Jännevoiman momenttikuvaajan ero jäykän ja nivelellisen tuen kesken.	20
Kuva 9. STRAP:n jännepunososio.	23
Kuva 10. Palkin uloke.	25
Kuva 11. Laskentamallin jännegeometriat.	27

Kuva 12. Laskentamallin jännevoimat.	27
Kuva 13. Virheelliset pidentymät (elongation).	27
Kuva 14. Oikeat pidentymät.	28
Kuva 15. Aaltoisuus- ja kitkaluku.	29
Kuva 16. Ohjelman manuaalin häviöiden opastussivu.	29
Kuva 17. Jännehäviötaulukko.	29
Kuva 18. Jänneiden aaltoisuus.	30
Kuva 19. STRAP-palkkimalli.	34
Kuva 20. STRAP-palkkimalli renderöitynä.	34
Kuva 21. STRAP-kansimalli.	34
Kuva 22. STRAP-kansimalli renderöitynä.	35
Kuva 23. Siuronkosken ratasillan jännegeometria.	35
Kuva 24. Jännekulma.	44
Kuva 25. Palkin jännitys.	47
Kuva 26. Asemapäällikönkadun sillan renderöity rakennemalli.	50
Kuva 27. Yksiaukkoinen silta.	55
Kuva 28. Työn hengennostatus mielikuva.	65

KUVIOT

Kuvio 1. Jänneiden väärä ja oikea momenttikuvaaja.	24
Kuvio 2. STRAP:n jännehäviöt sillan päässä.	38
Kuvio 3. TASSU:n jännehäviöt sillan päässä.	38
Kuvio 4. STRAP:n jännehäviöt sillan keskellä.	39
Kuvio 5. TASSU:n jännehäviöt sillan keskellä.	39
Kuvio 6. Puristusvoimavertailu.	40
Kuvio 7. Taivutusmomenttivertailu.	41
Kuvio 8. Pakkomomenttivertailu.	42
Kuvio 9. Leikkausvoimavertailu.	43
Kuvio 10. Taipumavertailu.	46
Kuvio 11. Yläpinnan jännitysvertailu.	48
Kuvio 12. Alapinnan jännitysvertailu.	48
Kuvio 13. Jännekaapelin kulmamuutos.	53
Kuvio 14 Testi jännekaapelin kulmamuutos.	54
Kuvio 15. Ohjausvoiman taivutusmomentti.	56
Kuvio 16. Jänteen puristusvoima.	56

TAULUKOT

Taulukko 1. Jännehäviöarvot.	36
Taulukko 2. Jännehäviöt.	37
Taulukko 3. Häviötaulukko.	41
Taulukko 4. Puristusvoiman muodostuminen kohdassa $x = 105$.	51
Taulukko 5. Laskenta-ajat.	59

1 JOHDANTO

1.1 Insinööritoimisto Suunnittelukide Oy

Opinnäytetyön tutkimusosa tehtiin Insinööritoimisto Suunnittelukide Oy:lle. Suunnittelukide on rakennesuunnittelutoimisto, joka on erikoistunut suunnittelemaan siltoja ja tunnelleita. Yrityksen erikoisosaamisena on vaativien betonirakenteiden suunnittelu. Yrityksen konttorit sijaitsevat Turussa, Tampereella ja Kouvolassa. Yrityksessä työskentelee yhteensä noin 20 henkilöä. Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää yrityksen jännitettyjen betonirakenteiden mitoitus. Opinnäytetyö on tarkoitettu kaikille siltarakenteiden suunnittelemisesta ja jännepunoksien laskemisesta kiinnostuneille.

1.2 Opinnäytetekijän tausta

Opinnäytetyötä aloitettaessa työkokemusta oli kertynyt siltarakenteiden suunnittelusta 9 vuotta alkaen vuodesta 2007 ja insinööriksi valmistuminen talonrakennuslinjalta AMK-rakennusinsinööriksi Turun ammattikorkeakoulusta vuonna 2008. Työtehtäviin on kuulunut siltojen rakennesuunnittelu, siltojen korjaussuunnittelu, kantavuustarkastelut, betonitunnelien suunnittelu ja muut siltatekniikkaan sekä rakennesuunnitteluun liittyvät tehtävät.

1.3 Kehittämistarve

Yrityksellä on tarve kehittää jännitettyjen betonirakenteiden laskentaa, koska vanha laskentamenetelmä on jäänyt vanhanaikaiseksi, eikä ohjelmaa kehitetä enää. Siltojen suunnittelu siirtyi Eurokoodi-aikaan vuonna 2009, mikä tarkoittaa sitä, että rakenteiden laskenta ja mitoittaminen tehdään Eurokoodi-suunnittelustandardien mukaan. Yrityksellä on käytössä TASSU RS03 JÄNNEBETONIPALKKI -niminen mitoitusohjelma, jonka avulla määritetään jännepunoksien aiheuttamat rasitukset. TASSU-ohjelman haittolina on, että sovellus ei toimi enää Windows XP:tä uudemmissä käyttöjärjestelmissä, eikä ohjelmalla voi mallintaa tarkasti kaikenlaisia rakenteita. Lisäksi ohjelman jännepunoksien voimasuureet joudutaan liittämään muihin voimasuurekuvaajiin käsin.

1.4 Opinnäytetyön tavoite

Yrityksellä on käytössään STRAP-niminen laskentaohjelma, jonka avulla ratkaistaan rakenteiden kaikkien kuormien voimasuurerasitukset lukuun ottamatta jännepunoksien aiheuttamia rasituksia. STRAP-laskentaohjelmassa on oma sovellusosio, jolla voidaan ratkaista jännepunoksien aiheuttamat rasitukset. Tutkimustyön tavoitteena on opetella käyttämään STRAP- laskentaohjelman jänneosion sovellusta sekä verrata saatuja tuloksia käytössä olevan TASSU-ohjelman kanssa. Vertailemalla uuden opetellun ohjelman tuloksia toisen ohjelman tuloksiin varmistetaan siitä, että saadut rasitukset ovat oikein ja löydetyt eroavaisuudet selvitetään käsinlaskennan avulla.

Työn tavoitteena on saada STRAP:sta oikeat jännepunoksien aiheuttamat rasituskuvaajat, jotka voidaan yhdistellä ohjelman muiden rasitusten kanssa, jolloin STRAP-ohjelmasta saadaan suoraan valmiita eri yhdistelyjen voimasuurekuvaajia. Yrityksellä on omatekoiset Excel-laskentapohjat, joiden avulla betonirakenteiden varsinainen raudoitus- ja halkeamaleveyslaskenta suoritetaan. Opinnäytetyön tarkoituksena ei ole perehtyä jännitetyn betonipoikkileikkauksen mitoittamiseen. Kehitystyön tarkoituksena on kehittää, kuinka erilaisille rakenteille saadaan selville paremmin ja tarkemmin jännepunoksien aiheuttamat rasitukset, sekä nopeuttaa suunnittelua kehittämällä rasitusyhdistelmien tuottamista.

Laskennan sujuvoittamiseksi yrityksessä on haluttu jo pitkään, noin 10 vuotta siirtyä modernimpaan ja monipuolisempaan jänteiden laskentatapaan, mutta FEM-ohjelmalla jänteiden mallinnuksen opettelu on koettu vaikeaksi ja työlääksi tehtäväksi, eikä yrityksessä ole ollut sopivaa henkilöä kehitystyötehtävään. Yhdeksän vuoden työkokemus yrityksessä on opettanut käyttämään STRAP- ja TASSU-laskentaohjelmaa, mikä antoi hyvät valmiudet kehittää ja edesauttaa yrityksen toimintaa. Ylemmän ammattikorkeakoulun opinnäytetyön aiheeksi valittiin jänteiden laskemisen kehittämisen, koska koettiin, että kaikki tarvittavat tiedot käytettävistä ohjelmista on saatavilla. Lisäksi jänteiden laskentaan liittyen on mahdollista saada apua tarvittaessa sekä yrityksen sisältä että ammattikorkeakoulusta. Koulussa opinnäytetyön ohjaajaksi valikoitui Harri Viljamaa, koska hänellä on vankka kokemuspohja jännitettyjen siltojen mitoittamisesta. Viljamaalla on lisäksi omakohtaista kokemusta samankaltaisesta kehitystehtävästä, kun hänen aiemmassa työpaikassaan siirryttiin mallintamaan TASSU-ohjelmasta jännepunoksia LUSAS FEM -ohjelmalla.

1.5 Tutkimusmenetelmä

STRAP- ja TASSU-ohjelmien vertailu toteutettiin yrityksessä aiemmin lasketun sillan avulla. Työn ensimmäisessä vaiheessa opeteltiin käyttämään STRAP:n jänneosiota, minkä jälkeen ratkaistiin uudella ohjelmalla aiemmin mitoitettujen sillan jänteiden rasitukset. Uudella tavalla saatuja jänteiden aiheuttamia rasituksia verrattiin aiemmin TASSU:sta saatuihin rasituksiin.

Vertailun luotettavuuden kannalta on tärkeää, että vertailtavaksi sillaksi valittiin sellainen silta, jonka rakenne pystyttiin mallintamaan mahdollisimman totuudenmukaisesti oikein molempiin ohjelmiin. STRAP-ohjelmalla ei ole rajoittavia ominaisuuksia, mutta TASSU-ohjelmalla on. TASSU-ohjelmaan ei voi mallintaa tarkasti jännitetyjä palkkirakenteita, joissa tukirakenne kiinnittyy jäykästi palkkiin. Tästä syystä valittiin vertailtavaksi silta, jossa päätytuilla on sillan pituussuuntaan auki oleva laakerointi ja keskituella on kiinteät laakerit, jolloin palkin tuenta toimii puhtaasti nivelenä, eikä alusrakenne vaikuta jänteiden rasituksiin. Siuronkosken ratasilta valittiin tarkasteltavaksi sillaksi, koska silta täyttää edellä mainitut tuentavaatimukset, silta on symmetrinen ja sillassa on ulokkeet. Lisäksi opinnäytetyön tekijä tuntee siltakohteen erityisen hyvin, koska on suunnitellut ja mitoitannut sillan vuonna 2012. (Insinööritoimisto Suunnittelukide Oy, henkilökohtainen tiedonanto 2.4.2013.)



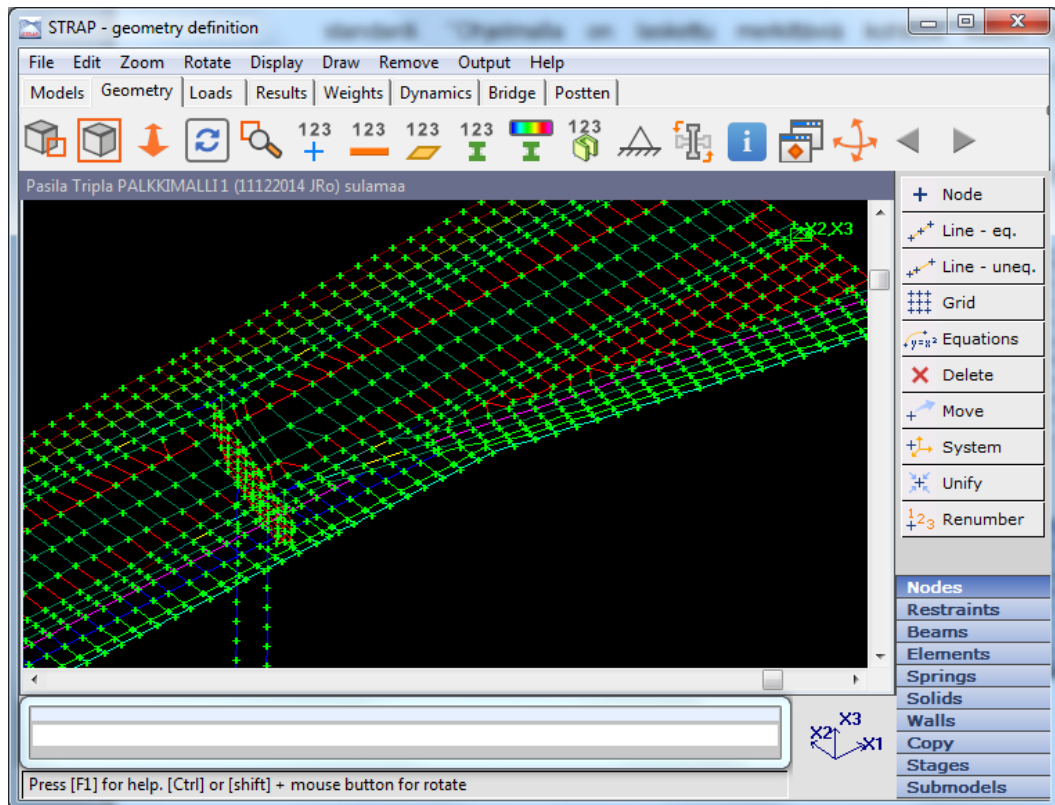
Kuva 1. Siuronkosken ratasilta (Kaasalainen 2014).

2 MALLINNUSOHJELMAT

2.1 STRAP FEM -ohjelma

STRAP FEM on 3D-lujuuslaskentaohjelma, jolla voi mallintaa ja analysoida kolmiulotteisesti erilaisia rakenteita. Kirjainyhdistelmä FEM tarkoittaa elementtimenetelmää (*finite element method*), ja rakennemalli voi sisältää sauva- ja elementtiosia. STRAP-ohjelman omistaa ATIR-niminen tietokonesovelluksia kehittävä yritys, joka toimii kansainvälisesti ympäri maailmaa. Yritys on perustettu vuonna 1983, ja se on omistanut STRAP-ohjelman vuodesta 1989 asti. Yritys toimii kansainvälisten sertifioidujen standardien mukaan. Ohjelmasta on valittavissa kansainväliset standardit, kuten amerikkalainen AICE, britannialainen BS ja eurooppalainen Eurokoodi-standardi. Ohjelmalla on laskettu merkittäviä kohteita, kuten Isossa-Britanniassa sijaitseva Queen Elisabeth II -silta (Atirsoft 2016).

Kuvassa 2 on esitetty ohjelman pääsivu, jossa mallinnetaan rakenteen statiikkarakenne. Rakennemallin piirtäminen tapahtuu määrittelemällä solmupisteitä koordinaatistoon tai rakennemalliin voidaan tuoda AutoCAD piirustusohjelman avulla määritetyt solmupisteet dxf-tiedoston avulla. Piirrettyjen solmupisteiden välille piirretään laattaelementtejä ja palkkeja. Ohjelmakuvan toiseksi ylimmällä rivillä näkyvät välilehdet: Models (Mallit), Geometry (Geometria), Loads (Kuormat), Results (Tulokset), Weights (Painot), Dynamics (Dynamiikka), Bridge (Silta/ Juoksutuskuormat) ja Postten (Jännepunokset), jotka ovat mallin rakentamisen ja tarkastelemisen eri osioita. Mallit-välilehdellä on eri rakennemallien tiedostot, Geometria-välilehdellä piirretään rakennemalli ja Kuormat-osiossa määritetään rakenteen kuormat. Tulos-osiossa tarkastellaan rakenteen rasituksia, Painot-välilehdellä määritetään herätekuormille kohdistuvat kuormat ja Dynamiikka-osiossa määritetään herätekuormat. Silta- osiossa määritetään rakenteelle kohdistuvat juoksutuskuormat (liikkuvat ajoneuvokuormat) ja viimeisellä Jänneet-välilehdellä määritetään rakenteen jännepunoksien aiheuttamat rasitukset.



Kuva 2. STRAP:n Geometria-välilehti.

Rakenteen mallintamisessa Tulokset-osiota ennen olevat osiot tehdään aina, ja Tulokset-välilehden jälkeiset osat määritetään vain tarvittaessa. Yritys hallitsee tällä hetkellä kaikki muut ohjelman osiot lukuun ottamatta Jänne-osiota. Tämän työn tarkoituksena on opetella käyttämään ohjelman Jänne-osiota ja varmistaa tuloksien oikeellisuus erilaisilla vertailuilla ja laskelmilla. Yritys on korvannut Jänne-osion käytön TASSU RS03 -ohjelmalla ja lisännyt STRAP-tulosteisiin käsin TASSU:lla saadut jänteiden rasiotukset, mikä tekotapana on hyvin työlästä etenkin isoissa silloissa ja vaatii ylimääräistä tarkkaavaisuutta.

2.2 TASSU RS03 -ohjelma

TASSU RS03 on laskentaohjelma, jolla mitoitetaan jännitetyjä palkkirakenteita. Ohjelman on laatinut suomalainen Toivo Palosaari 80-luvulla. Ohjelma on ilmaiseksi käytettävissä, ja ohjelma laskee Suomen betoninormien mukaan. Ohjelma muodostaa palkin jäykkyysmatriisin differenssimenetelmän mukaan (Palosaari 1980-luku, 1). Ohjelma on pääosin datapohjainen, ja siihen syötetään numeroarvoina tarvittavat tiedot. Ohjelma

ratkaisee jännitetyn palkin häviö-, taipuma-, jännevoima-, tavutusmomentti-, leikkausvoima- ja jännitysrasitukset. Ohjelman päivitys on loppunut 90-luvun lopulla, eikä ohjelma toimi Windows XP:tä uudemmissä käyttöjärjestelmissä. Ohjelmaan ei ole enää saatavilla tuotetukea.

Ohjelmalla mallinnetaan erilaisia staattisesti määrättyjä ja määräämättömiä jännitettyjä palkkeja, mutta tukirakenteita ei ole mahdollista mallintaa rakenteeseen. Ohjelma käsittelee kaikki tuet nivelellisinä rullatukina. Alusrakenteiden puutteellisesta mallintamisesta johtuen ohjelmalla ei ole mahdollista huomioida palkkiin jäykästi kiinnittyvien tukirakenteiden vaikutuksia. Tästä syystä TASSU:lla ei voida huomioida tukirakenteiden aiheuttamaa vaikutusta jännevoimaan.

Kuvassa 3 on esitetty 2 sivua TASSU:n tuloslistauksesta. Ohjelman tulokset luetaan lukuarvoina. Ohjelma laskee määrättyin välein rasitukset. Kuvassa 3 näkyvä $x = 0 \dots 52.8$ m tarkoittaa palkin etenemää palkin päästä. Ohjelman etuna on sen yksinkertainen ja nopea käytettävyys. Ohjelman käyttämiseen riittää se, että on syöttänyt palkin poikkileikkausmitat, jännevälitiedot, jännetiedot, lämpötilakuormat ja liikennekuormat sekä antaa muutaman koordinaatin jänteen kulusta, jonka kautta ohjelma iteroi jänteen kulun. Ohjelmalla voi nopeasti määrittää jänteiden lukumäärän ja geometrian, joka on etenkin tarjousvaiheessa hyvä ominaisuus, kun 3D-rakennemallia ei ole saatavissa. Toisaalta STRAP:lla voidaan yhtä hyvin tehdä samanlainen yksinkertainen rakennemalli, joka koostuu vain yhdestä palkista.

TULOS										
34.5	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.184	.00	1.58	
36.5	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.180	.00	1.58	
38.6	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.180	.00	1.58	
40.6	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.180	.00	1.58	
42.6	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.191	.00	1.58	
44.7	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.282	.00	1.58	
46.7	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.468	.00	1.58	
48.7	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.736	.00	1.58	
tuki	3									
50.8	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.970	.00	1.58	
52.8	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	1.000	.00	1.58	

* Siuronkosken ratasilta 2,05+24,35+24,35+2,05
* B2000 JANNEPALKKI , JANTEET 12kpl 2250

X	V0	MV0	dP%	Mg1	Mg2	Mp1	Mp2	dS1	dS2	dT1	dT2	Mvp
.0	15.42	5.75	-16	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.0
tuki	1											
2.0	15.65	5.36	-15	-.71	-.93	-.81	.00	.00	.00	.00	.00	.0
4.1	15.90	1.91	-14	1.41	1.93	-.90	1.57	-.05	.05	-.07	.13	.2
6.1	16.04	-2.17	-14	3.02	4.10	-.98	2.82	-.10	.10	-.13	.27	.4
8.1	16.23	-5.03	-14	4.13	5.59	-1.09	3.69	-.14	.14	-.20	.40	.6
10.2	16.42	-6.41	-14	4.73	6.40	-1.25	4.26	-.19	.19	-.27	.54	.8
12.2	16.54	-6.45	-14	4.83	6.53	-1.42	4.51	-.24	.24	-.34	.67	1.0
14.2	16.58	-6.28	-14	4.42	5.98	-1.59	4.44	-.29	.29	-.40	.81	1.1
16.3	16.62	-6.10	-14	3.51	4.75	-1.75	4.05	-.33	.33	-.47	.94	1.3
18.3	16.55	-5.81	-15	2.10	2.83	-1.92	3.37	-.38	.38	-.54	1.08	1.5
20.3	16.22	-3.08	-14	.18	.24	-2.09	2.39	-.43	.43	-.61	1.21	1.7
22.3	15.90	2.90	-14	-2.25	-3.04	-2.34	1.20	-.48	.48	-.67	1.35	1.9
24.4	15.54	10.74	-16	-5.17	-7.00	-3.24	.50	-.53	.53	-.74	1.48	2.1
tuki	2											
26.4	14.96	13.77	-16	-8.61	-11.64	-4.76	.34	-.57	.57	-.81	1.62	2.3
28.4	15.54	10.74	-16	-5.17	-7.00	-3.24	.50	-.53	.53	-.74	1.48	2.1
30.5	15.90	2.90	-14	-2.25	-3.04	-2.34	1.20	-.48	.48	-.67	1.35	1.9
32.5	16.22	-3.08	-14	.18	.24	-2.08	2.39	-.43	.43	-.61	1.21	1.7
34.5	16.55	-5.81	-15	2.10	2.83	-1.92	3.37	-.38	.38	-.54	1.08	1.5
36.5	16.62	-6.10	-14	3.51	4.75	-1.75	4.05	-.33	.33	-.47	.94	1.3
38.6	16.58	-6.28	-14	4.42	5.98	-1.58	4.45	-.29	.29	-.40	.81	1.1
40.6	16.54	-6.45	-14	4.83	6.53	-1.41	4.51	-.24	.24	-.34	.67	1.0
42.6	16.42	-6.41	-14	4.73	6.40	-1.24	4.26	-.19	.19	-.27	.54	.8
44.7	16.23	-5.03	-14	4.13	5.59	-1.07	3.69	-.14	.14	-.20	.40	.6
46.7	16.04	-2.17	-14	3.02	4.10	-.97	2.82	-.10	.10	-.13	.27	.4
48.7	15.90	1.91	-14	1.41	1.93	-.88	1.57	-.05	.05	-.07	.13	.2
tuki	3											
50.8	15.65	5.36	-15	-.71	-.93	-.79	.00	.00	.00	.00	.00	.0
52.8	15.42	5.75	-16	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.0

Sivu 7

TULOS													
2.0	-7.8	.2	-7.8	-.2	-6.3	-.4	-5.5	-.9	-6.3	-.4	-6.1	-.4	
4.1	-6.5	-1.2	-6.5	-1.2	-6.2	-.6	-5.3	-1.2	-7.9	.5	-5.9	-.2	
6.1	-4.1	-2.8	-4.1	-2.8	-5.0	-1.5	-3.9	-2.2	-8.0	.5	-4.5	-.7	
8.1	-2.4	-4.0	-2.4	-4.0	-4.0	-2.2	-2.7	-3.0	-8.0	.4	-3.5	-1.2	
10.2	-1.7	-4.5	-1.7	-4.5	-3.7	-2.5	-2.1	-3.5	-8.3	.5	-3.0	-1.3	
12.2	-1.8	-4.5	-1.8	-4.5	-3.8	-2.5	-2.0	-3.6	-8.8	.8	-2.9	-1.2	
14.2	-1.6	-4.7	-1.6	-4.7	-3.4	-2.7	-1.4	-4.1	-8.5	.6	-2.4	-1.3	
16.3	-.9	-5.1	-.9	-5.1	-2.4	-3.4	-.1	-4.9	-7.3	-.2	-1.3	-2.0	
18.3	.2	-5.8	.2	-5.8	-.8	-4.4	1.7	-6.0	-5.2	-1.5	.4	-3.0	
20.3	-1.5	-5.2	-.5	-5.2	-.5	-4.4	2.2	-6.2	-4.2	-2.1	.8	-3.1	
22.3	-3.9	-2.9	-3.9	-2.9	-2.3	-3.2	.8	-5.2	-5.0	-1.4	-.8	-1.9	
24.4	-8.7	.4	-8.7	.4	-5.1	-1.2	-4.0	-7.1	-1.1	-3.3	-.4	-.4	
tuki	2												
26.4	-8.3	.3	-8.3	.3	-3.5	-2.3	1.8	-5.9	-5.5	-1.0	-1.2	-1.1	
28.4	-8.7	.4	-8.7	.4	-5.1	-1.2	-4.0	-7.1	-1.1	-3.3	-.4	-.4	
30.5	-3.9	-2.9	-3.9	-2.9	-2.3	-3.2	.8	-5.2	-5.0	-1.4	-.8	-1.9	
32.5	-.5	-5.2	-.5	-5.2	-.5	-4.4	2.2	-6.2	-4.2	-2.1	.8	-3.1	
34.5	.2	-5.8	.2	-5.8	-.8	-4.4	1.7	-6.0	-5.2	-1.5	.4	-3.0	
36.5	-.9	-5.1	-.9	-5.1	-2.4	-3.4	-.1	-4.9	-7.3	-.2	-1.3	-2.0	
38.6	-1.6	-4.7	-1.6	-4.7	-3.4	-2.7	-1.4	-4.0	-8.5	.6	-2.4	-1.3	
40.6	-1.8	-4.5	-1.8	-4.5	-3.8	-2.5	-2.0	-3.6	-8.8	.8	-2.9	-1.2	
42.6	-1.7	-4.5	-1.7	-4.5	-3.7	-2.5	-2.1	-3.5	-8.3	.5	-3.0	-1.3	
44.7	-2.4	-4.0	-2.4	-4.0	-4.0	-2.2	-2.8	-3.0	-8.0	.4	-3.5	-1.2	
46.7	-4.1	-2.8	-4.1	-2.8	-5.0	-1.5	-3.9	-2.2	-8.0	.5	-4.5	-.7	
48.7	-6.5	-1.2	-6.5	-1.2	-6.2	-.6	-5.3	-1.2	-7.9	.5	-5.9	-.2	
tuki	3												
50.8	-7.8	.2	-7.8	.2	-6.3	-.4	-5.5	-.9	-6.3	-.4	-6.1	-.4	
52.8	-8.8	.5	-8.8	.5	-7.4	.4	-7.4	.4	-7.4	.4	-7.4	.4	

* Siuronkosken ratasilta 2,05+24,35+24,35+2,05
* B2000 JANNEPALKKI , JANTEET 12kpl 2250

Sivu 8

Kuva 3. TASSU-tulostussivu.

TASSU-ohjelman päivityksien loppumisen vuoksi ohjelma on jäänyt vanhanaikaiseksi ja esimerkiksi kuomien varmuuskertoimet ovat vanhojen mitoitusyhdistelyn mukaiset, eikä niitä ole mahdollista vaihtaa. Kuormatietoja syötettäessä ohjelmaan tulee kuormat huomioida aina korjauskertoimilla, jotta kuormat ovat uuden Eurokoodin mukaisilla varmuuskertoimilla kerrottuja. Ohjelmalla voi laskea murto- ja käyttörajatilan mitoituksen samalla laskennalla, mutta pitkäaikaisen käyttörajatilan mitoitukselle joudutaan tekemään vielä erillinen laskenta, jotta kuormat saadaan kerrottua oikeilla pitkäaikaisen yhdistelyn mukaisilla kertoimilla.

3 JÄNNITETYN RAKENTEEN MITOITTAMINEN

3.1 Jännepunos

Jännepunos on teräksestä valmistettu köysipunos eli teräsvaijeri. Kuvassa 4 on esitetty jännepunos ja jänteen päässä oleva ankkurilevy. Jännepunoksesta käytetään myös nimitystä *jänne*. Jännepunoksien yhteydessä sanalla *kaapeli* tarkoitetaan useita jännepunoksia, jotka kulkevat samassa putkessa ja ankkuroidaan samaan ankkuriin. Jännepunoksen muodostavia teräslankoja kutsutaan *säikeiksi*. Jännitettävään betonirakenteeseen asennetaan raudoituksen yhteydessä kaapeliputket, joiden sisälle jänteet asennetaan. Kun silta on valettu ja betoni on saavuttanut halutun lujuuden, jännepunokset jännitetään palkin päästä tai päistä vetämällä punoksiin jännitys tunkin avulla. Jännittämisen jälkeen jännepunokset lukitaan kiilaamalla ankkuriin kiinni, minkä jälkeen jänneputki injektoidaan betonilla. Jännepunokset puristavat palkkia, minkä vuoksi jännitetty betonirakenne voidaan mitoittaa puristettuna rakenteena.



Kuva 4. Jänneankkurin rakenne (Federal Highway Administration 2016).

Numero selitteet: 1 kaapeli, 2 ankkuri, 3 jännepunos, 4 säikeet ja 5 injektointiputki (kuvaan 4 on lisätty selitenumerot jälkikäteen).

3.2 Sillan mitoittaminen

Sillan mitoittaminen on monivaiheinen ketju, joka sisältää paljon laskentaa, mutta myös paljon asiakirjoja ja selvityksiä. Uudesta sillasta on olemassa tilaajalta lähtötietona pääpiirustus, josta ilmenee tilaajan toivoma rakenne ja sillan ulkoiset mitat, joita voidaan tarvittaessa muuttaa, mikäli ilmenee tarve, eikä mittojen muuttamiselle ole tilan aiheuttamia rajoituksia.

Liikennevirasto on ohjeistanut siltojen suunnittelun ja mitoittamisen. Liikennevirasto on Suomen valtion virasto, joka toimii liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalalla. ”Liikennevirasto vastaa valtion liikenneverkosta, eli teistä, rautateistä ja suuresta osasta vesiväyliä. Liikennejärjestelmää ylläpidetään ja kehitetään yhdessä muiden toimijoiden kanssa.” (Liikennevirasto 2016) Liikennevirasto on laatinut useita ohjeita, joissa on yksityiskohtaisesti esitetty selventävinä ohjeina, miten sillat tulee suunnitella ja mitoittaa. Betonirakenteisen sillan mitoittamisen 3 tärkeintä Eurokoodien soveltamisohjetta ovat seuraavat:

1. Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet NCCI 1: ohjeistaa, millaisille kuormille silta tulee kulloinkin mitoittaa (kevyen liikenteen sillat, tie- ja rautatiesillat).
2. Betonirakenteiden suunnittelu NCCI 2: ohjeistaa siltojen betonirakenteiden mitoittamisen.
3. Geotekninen suunnittelu NCCI 7: ohjeistaa siltojen ja pohjarakenteiden mitoittamisen. Lisäksi on olemassa vielä erillinen sillan geotekninen suunnitteluohje.

Liikenneviraston julkaisemat ohjeet on ladattavissa kokonaisuudessaan Liikenneviraston internetsivuilta veloitusetta.

Sillan mitoittaminen alkaa rakennemallin tekemisestä ja sillalle määritetään Liikenneviraston NCCI 1:n ja sillan geoteknisten ohjeiden mukaan kuormat. Kun rakennemalli on valmis ja sillalle on mallinnettu kuormat, siirrytään tarkastelemaan sillan rakenteiden rasituksia Tulokset-osioon. Tulos-osiossa tehdään eri kuormien yhdistelyt NCCI 1 mukaan. Kuormitusyhdistelmiä on eri rajatiloissa noin 10 kpl, ja rajatiloja on 5 erilaista. Eurokoodin mukaiset kuormitustilat ovat murtotila (*mrt*), käyttörajatila ominaisyhdistelmä (*ktlo*), käyttörajatila tavallinen (*ktlt*), pitkäaikainen käyttörajatila (*ktp*) ja onnettomuusyhdistelmä (*omt*). Edellä suluissa mainitut lyhenteet ovat omia lyhenteitä, eivätkä

ne ole yleisessä käytössä. Kuvassa 5 on esitetty esimerkkinä, miltä näyttää rautatiesilan kuormien yhdistelytaulukko.

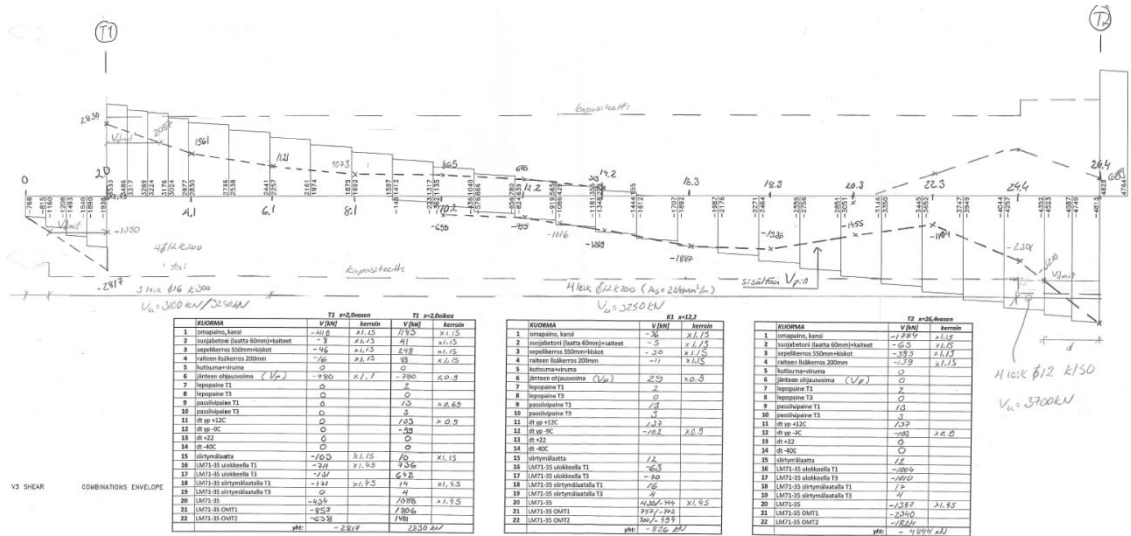
No.	Title	1:O...	2:S...	3:s...	5:Kuti...	6:j...	LM71...	L...	L...	LM71-...	Pass...	dT...	siirty...	lisak...
1	---PALKKI---	1.												
2	M (mrt 0)	1.35	1.35	1.35	1.35								1.35	1.35
3	M (mrt 1a)	1.15	1.15	1.15	1.15		1.45			1.45	0.54	0.9	0.9	1.15
4	M (mrt 1b)	0.9	0.9	0.9	0.9		1.45			1.45	0.69	0.9	1.15	
5	M (mrt 6a)	1.15	1.15	1.15	1.15		1.16			1.16	1.5	1.5	0.9	1.15
6	M (mrt 6b)	0.9	0.9	0.9	0.9		1.16			1.16	1.5	1.5	1.15	
7	M (ktlo 1a)	1.	1.	1.	1.		1.			1.	0.6	0.6	1.	1.
8	M (ktlo 6a)	1.	1.	1.	1.		0.8			0.8	1.	1.	1.	1.
9	M (ktit 1b)	1.	1.	1.	1.		0.8			0.8	0.5	0.5	1.	1.
10	M (ktit 6b)	1.	1.	1.	1.		0.8				0.6	0.6	1.	1.
11	M (ktp 1c)	1.	1.	1.	1.							0.5	1.	1.
12	M (omt 1)	1.	1.	1.	1.			1.		0.8	0.5	0.5	1.	1.
13	M (omt 2)	1.	1.	1.	1.				1.	0.8	0.5	0.5	1.	1.

Kuva 5. STRAP:n kuormien yhdistelytaulukko.

Opinnäytetyön kehitystyön ideana on, että samalla ohjelmalla pystytään ratkaisemaan luotettavasti kaikki kuormitukset ja jännepunoksien aiheuttamat rasitukset. Näin tehtynä jännepunoksien aiheuttamat rasitukset pystytään yhdistelemään valmiiksi STRAP FEM -ohjelmassa ja ohjelmasta saadaan tulostettua suoraan valmiita rasituskuvaajia.

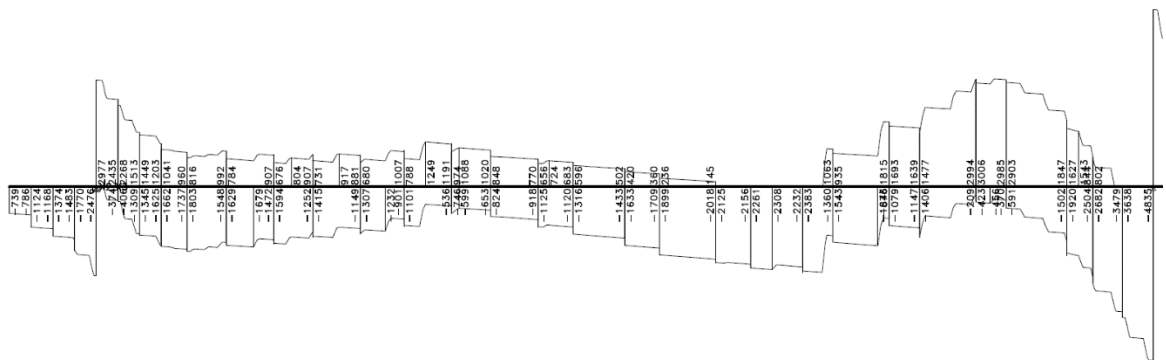
Jännepunokset aiheuttavat seuraavanlaisia rasituksia ja lisäkuormia rakenteille: taivutusmomentti, leikkausvoima, palkin ylä- ja alapinnan jännitys, taipuma ja puristusvoima sekä mahdollisesti vääntömomentti. Jännepunoksien aiheuttamat rasitukset yhdistellään murtotilassa kertoimella 0,9/1,1 ja muissa käyttörajatiloissa kertoimella 1,0. Jännepunoksien erityispiirre kuormana on se, että jännepunoksien aiheuttamat rasitukset ovat muuttuvia ajan myötä, koska puristusvoimassa tapahtuu häviötä betonin kutistuman/viruman, jänneteräksen relaksaation ja ankkuriliukuman vuoksi. Tästä syystä jännepunoksien rasituksia käsitellään kahdessa eri ajan hetkessä $t = 0$ (heti jännittämisen jälkeen) ja $t = \infty$ (äärettömällä ajan hetkellä, jolloin jänteiden hiipumat ovat tapahtuneet). Rakenne tarkistetaan aina myös jännittämishetkellä tapahtuville rasituksille.

Kuvassa 6 on esitetty sillan leikkausvoimakuvaaja, joka on tehty yrityksen nykyisen laskentatavan mukaan. STRAP:illa on laskettu ja yhdistelty kaikki rasitukset lukuun ottamatta jänteiden aiheuttamia rasituksia. Kuvan 6 porrastava kuvaaja on STRAP:sta saatu yhdistelyjen leikkausvoimakuvaaja. Käsin piirretty katkoviiva on STRAP:sta saadun leikkausvoimayhdistelyn ja varmuuskertoimilla kerrotun TASSU:n jännepunosten leikkausvoimien summa.



Kuva 6. Käsin yhdistelty leikkausvoima.

Leikkausvoimakuvaajan kaltainen käsin yhdistelty kuvaaja tehdään myös taivutusmomenttikuvaajalla eri käyttörajatiloissa (mrt, ktlo, ktl, ktp, omt) sekä leikkausvoiman onnettomuustilalle (omt). Kuvaajien täydentäminen käsimenetelmin vaatii tarkkuutta ja huolellisuutta sekä paljon aikaa. Käsin laskemisessa on aina olemassa myös riski, että mitoitusarvoja tulee tehtyä, yhdisteltyä tai luettua väärin koneelta. Kuvan 6 silta on ulokkeellinen kaksiaukkoinen silta, joka on symmetrinen. Symmetrisessä sillassa riittää kuvaajien piirtäminen vain sillan puolikkaasta, koska toinen puoli on pelikuvana samanlainen, mutta on olemassa myös paljon siltoja, jotka eivät ole symmetrisiä. Tällöin sillasta joudutaan piirtämään kuvaajat koko sillan pituudelta ja aikaa kuluu huomattavasti enemmän mitä pidempi matka joudutaan yhdistelemään ja piirtämään käsin.



Kuva 7. STRAP:n leikkausvoimakuvaaja.

Kun opittiin mallintamaan STRAP:illa jännepunokset, saatiin ohjelmasta suoraan kokonaan valmiiksi yhdisteltyjä voimasuurekuvaajia. Kuvassa 7 on esitetty STRAP:sta tulos-

tettu leikkausvoimakuvaaja, joka sisältää myös jänteiden vaikutuksen. Kuvassa 7 on esitetty sama leikkausvoimakuvaaja, mikä on kuvassa 6 käsin tehty.

3.3 Betonirakenteen mitoittaminen

Siltojen betonirakenteet mitoitetaan Eurokoodin soveltamisohjeen NCCI 2:n mukaan. Tässä opinnäytetyössä ei ole tarkoitus perehtyä betonirakenteiden poikkileikkauksen mitoittamiseen, koska betonirakenteiden mitoittaminen tapahtuu pääsääntöisesti valmiilla kaavoilla, jotka on esitetty Eurokoodien standardeissa. Betonirakenteen suunnitteluprosessin ymmärtämiseksi seuraavassa kappaleessa on selitetty lyhyesti, mihin rasiituskuvaajia käytetään.

Rasiituskuvaajista saadaan kulloisenkin poikkileikkauksen rasiitukset. Rasiituksia ovat taivutusmomentti, leikkausvoima, vääntömomentti sekä niiden johdantona rakenteen jännitys ja taipuma. Yrityksessä betonirakenteiden poikkileikkaukset mitoitetaan Excel-taulukkolaskentasivujen avulla.

Jännitetylle poikkileikkaukselle lasketaan murtotilan taivutusmomenttikapasiteetti ja tarvittaessa lasketaan puristuspuolen sekä vetopuolen harjateräksset poikkileikkauksen kapasiteetin parantamiseksi. Poikkileikkausmitoitussivulla varmistetaan myös, että poikkileikkaus on riittävän sitkeä, eikä niin sanottua haurasmurtumaa pääse tapahtumaan. Soveltamisohjeessa NCCI 2 on esitetty ehdot, joilla varmistetaan jännitetyn betonipoikkileikkauksen riittävä sitkeys. Poikkileikkauksen taivutusmomentin aiheuttaman halkeaman sallittu halkeamaleveys tarkistetaan ominaisen ja tavallisen käyttörajatilan yhdistelyille, sekä poikkileikkauksen yläpinnan ja alapinnan jännitykset tarkistetaan pitkäaikaisen käyttörajatilan yhdistelylle.

Betonipoikkileikkaus mitoitetaan myös leikkaukselle ja väännölle, mutta ainoastaan murtorajatilassa. Sen lisäksi betonirakenne tarkistetaan vielä yhdistetyille rasiituksille seuraavien kaavojen avulla. Leikkausvoiman ja vääntömomentin yhteisvaikutuksen osalta on täytettävä kaavan 1 ehto, sekä taivutus- ja vääntömomentin yhteisvaikutuksen osalta on täytettävä kaavan 2 ehto.

$$\frac{Td}{T_{umax}} + \frac{Vd}{V_{umax}} \leq 1, \text{ (Liikennevirasto NCCI 2 2014, 60)}$$

Kaava 1. Leikkausvoiman ja väännön ehto.

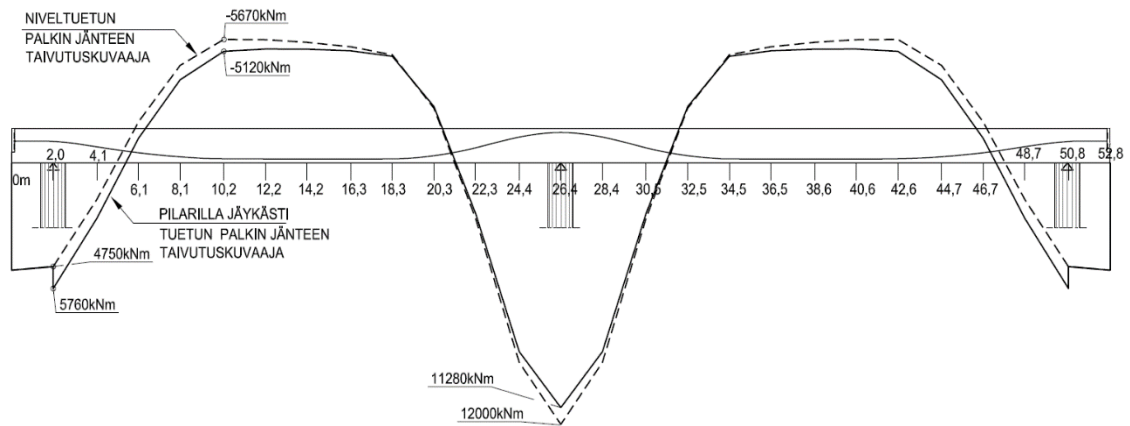
$$\frac{Td}{T_{umax}} + \frac{Md}{M_{pl}, R_{dmax}} \leq 1, \text{ (Liikennevirasto NCCI 2 2014, 60)}$$

Kaava 2. Taivutuksen ja väännön ehto.

Yhdistetty rasitus on usein rakenteen kriittisissä kohdissa mitoittava tekijä. Tarkastus voidaan tehdä murtorajatilan tarkkojen arvojen sijaan maksimiarvoilla ($T_{dmax}/M_{dmax}/V_{dmax}$), jolloin mitoitus on varmalla puolella, jos ehto täyttyy. Jos poikileikkauksen kapasiteetti on tiukalla yhdistetylle rasitukselle, tarkistetaan ehtolause vastaaville arvoille. STRAP:lla voidaan katsoa yksittäinen kohta, siten että ohjelma listaa yhdistelyistä rasitukset ja vastaavat rasitukset. Toisin sanoen ohjelmalla voidaan katsoa vaikka maksimileikkausvoima jossakin kohtaa ja sitä vastaava väännön arvo, mutta koska yhdistelyistä puuttuu jännepunoksien rasitukset, joudutaan vastaavissa rasituksissa huomioimaan käsinlaskennalla jännepunoksien vaikutus. Yhdistettyjen rasituksien mitoitusarvojen ja määräävien kohtien havaitseminen helpottuu huomattavasti, kun ohjelmassa on valmiiksi huomioitu jännepunoksien aiheuttamat rasitukset.

3.4 Nykyisen mallintamisen ongelmat

Yrityksen jännepunoksien mallintaminen on työläs prosessi nykyisellä tekotavalla. TASSU:n rajoituksesta johtuen ohjelmalla voi vain määritellä jännerasitukset oikein niveltuetuilla palkeilla. Kuvassa 8 on esitetty esimerkkinä, mitä eroa on niveltuetun ja jäykästi tuetun palkin taivutusmomenttikuvaajassa.



Kuva 8. Jännevoiman momenttikuvaaajan ero jäykän ja nivelellisen tuen kesken.

Kuvasta 8 huomataan, kuinka taivutusmomenttia kertyy päätyuille enemmän, koska pilari vastustaa siirtymistä ja kerää osan jännevoiman aiheuttamasta taivutusmomentista. Pilari vaikuttaa palkin jännepunoksien puristusvoimaan (aksaalivoimaan) heikentävästi ja on jännevoiman yksi häviötekijä. Jos tuki olisi äärettömän jäykkä, niin tällöin palkkia puristava voima ei pääsisi tuen ohi. Jäykän kiinnityksen vaikutus on riippuvainen siitä, kuinka jäykkä pilari on. Mitä pidempi ja hoikempi pilari on, sitä vähemmän se vaikuttaa jännepunoksien rasitukseen ja lähestyy nivelellisesti tuetun rakenteen toimintaa.

Pitkässä sillassa, jossa on useita palkkiin jäykästi kiinnittyviä tukia ja jännepunoksia, jotka kulkevat yhtämittaisina tukien yli, kertaantuu tukien aiheuttama jännevoiman häviön vaikutus. Tästä syystä on halu kehittää laskentaa ja parantaa mitoituksen tarkkuutta. Opinnäytetyön vertailuosassa on tutkittu yksiaukkoisen ja pitkän sillan avulla sitä, millainen ero on palkin rasituksissa, kun sama palkki lasketaan nivelellisesti ja suoraan pilarille tuettuna. Vertailun avulla haluttiin saada tuentatavasta johtuva mitoitusero tietoon.

Jännepunoksien aiheuttamat rasitukset vaikuttavat kannen lisäksi myös sillan alusrakenteisiin. Palkin kokoonpuristuminen ja kansirakenteen taipuminen vaikuttaa pilarien rasitukseen. Mitoitusohjelma TASSU laskee palkin siirtymät pitkäaikaisella kuormituksella, jonka avulla on saatu selville jännepunoksien ja kansirakenteen aiheuttama kokonaistaipuma. Alusrakenteiden mitoituksessa on tähän asti huomioitu jänteiden vaikutus siten, että on tehty STRAP-malliin ylimääräinen kuorma, joka toimii jänteen ohjausvoimana. Ohjausvoima on haettu STRAP-malliin oikeansuuruiseksi etsimällä ohjausvoiman ja kansipalkin taipuma samanlaisiksi TASSU:n taipuma-arvojen kanssa. Kannen

oikean taipumisen avulla on saatu oikea kiertymä STRAP:n tukisolmulle, ja pilarille on näin saatu huomioitua jännepunoksien aiheuttama vaikutus. Jännepunoksien aiheuttama palkin kokoonpuristuma lasketaan käsin ja mallinnetaan STRAP-rakennemalliin lämpötilakutistumakuormana, jonka avulla saadaan pilarille jänteiden kokoonpuristumisesta aiheutuneet rasitukset. Jännepunoksien aiheuttamat rasitukset alusrakenteille on edellä kerrotulla tavalla tehtävissä, mutta laskentatapa on työläs ja karkea. Laskentatapa johtaa kuitenkin riittävän tarkkoihin mitoitusarvoihin. Kun opittiin mallintamaan STRAP-ohjelmalla jännepunokset, saatiin jänteiden aiheuttamat rasitukset alusrakenteille suoraan samasta mitoitusohjelmasta ja alusrakenteiden mitoitus yksinkertaistui ja laskenta tarkentui. Lisäksi pystyttiin helpommin ja monipuolisemmin tarkastelemaan eri ajan hetkillä jännepunoksien aiheuttamia rasituksia sillan eri rakenteille.

4 STRAP FEM -OHJELMAN JÄNNEOSIO

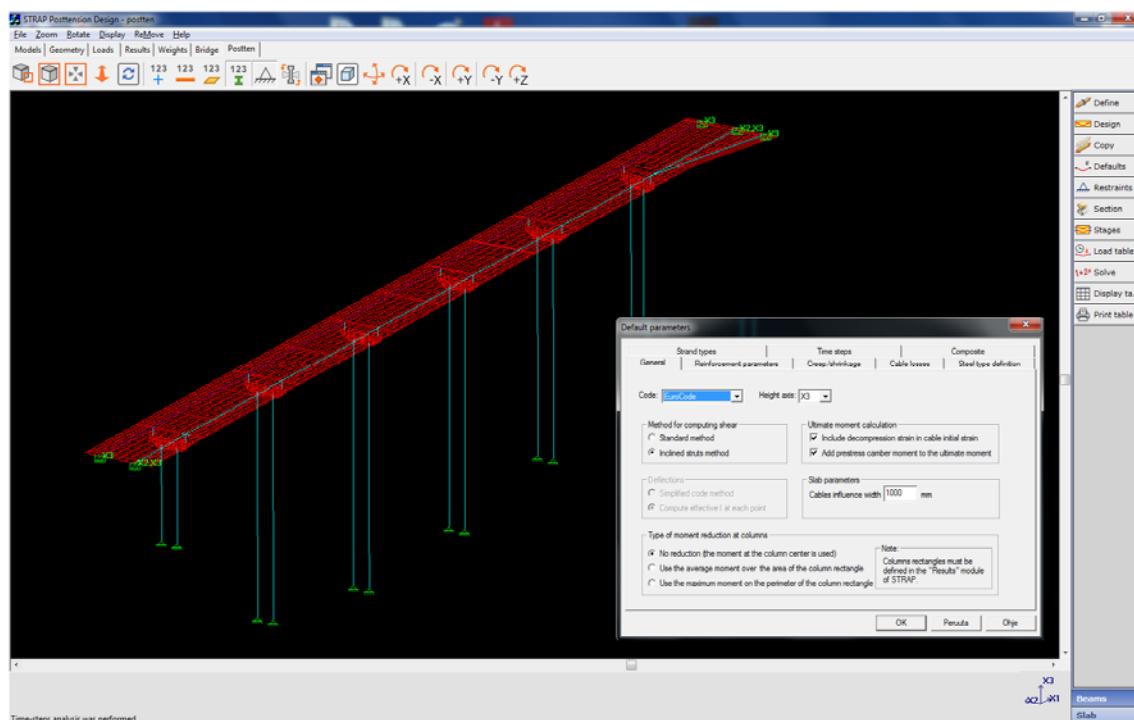
4.1 Jännepunoksien määrittely

Opinnäytetyön ensimmäisenä tehtävänä oli opetella määrittämään jännepunokset STRAP-ohjelmaan. Ohjelman jänneosion tutustuminen alkoi suoraan kokeilemalla ohjelmaa. Jänneosion opetteluun yhteydessä tutustuttiin jänteiden laskentateoriaan. Jännepunosteoriaan tutustuminen tapahtui lukemalla teos Jännebetonirakenteiden mekaniikka ja mitoitus (Suomen Betoniyhdistys ry 1989). Teorian lukemisessa perehdyttiin erityisesti kirjan kohtiin, jotka keskittyivät jännepunoksien eri häviöiden (kutistuma, viiruma, relaksaatio, kaapelikitka, mutkaisuus ja ankkuriliukuma) teoriaan. Sen lisäksi perehdyttiin jännepunoksista aiheutuvien taivutusmomentin, leikkausvoiman, halkeilumomentin ja jännityksien laskentaan sekä pakkomomentin määrittelyyn. Opinnäytetyön aiheen valinnassa oltiin tietoisia siitä, että teorian tietämystä on hyvä parantaa jännitettyistä rakenteista. Opinnäytetyö tarjosi hyvän tilaisuuden kehittää jännepunoksien laskennan tietämystä. Juuri tästä syystä haluttiin tehdä opinnäytetyö jännepunoksien laskemisesta.

Tietoa jänteiden mallintamisesta eri FEM-laskentaohjelmilla saatiin katsomalla Youtubesta eri ohjelmien mallinnusvideoita. Erityisesti mieleen jäi internetistä löytyvä mallinnusvideo, jossa mallinnetaan MIDAS-ohjelmalla jänteitä kotelopalkkisiltaan (Youtube 2016). Vaikka mitoitusohjelmat ovat keskenään erilaisia, on niiden välillä kuitenkin havaittavissa samankaltaisuuksia, ja mallintamisen opetteluaiheessa oli paljon hyötyä katsoa, kuinka jännepunoksia määritellään eri laskentaohjelmilla. Videoiden katselemisesta saatiin idea, että onko Atirin tuotetuella mahdollista laatia jänteiden mallintamisesta opetusvideo STRAP:n jänneosiosta? Iso-Britanniassa sijaitsevaan tuotetukseen otettiin yhteyttä sähköpostitse, ja he olivat innostuneita ideasta sekä lupasivat tehdä opetusvideon jänteiden mallintamisesta. Luvattua videota ei kuitenkaan koskaan saatu, koska valmistaja ilmoitti, että aikataulusyistä heillä ei ollut mahdollisuutta tehdä sitä lähiaikoina. Jänneosion opetteluun muodoksi tuli itseopiskelu lukemalla ohjelman ohjeita ja kokeilemalla ohjelman eri ominaisuuksia.

Ohjelman ohjeissa on kerrottu, mitä eri ohjelman määrittelykohdat tarkoittavat, mutta varsinaista käyttöopastetta ohjelmassa ei ole. Ohjelman valikot etenevät osittain loogisesti ja osittain epäloogisesti. Tietoja täytetään kohta kerrallaan ohjelmaan. Ohjelman

valikot ja ohjeistus ovat englanninkielisiä. Kuvassa 9 on esitetty STRAP:n jänneosion päänäkö, jossa oikealla puolella näkyy painikkeita, joista määritellään jänteiden erilaiset ominaisuudet. Kuvassa 9 näkyy yksi avattu valikkoikkuna, joka sisältää 9 erilaista alavälilehteä. Ennen ohjelman käyttöönottamista tuli selvittää, mikä on oikea ohjelmanpolku jänteiden määrittelemisessä ja mitä kaikkea erilaiset ominaisuudet tarkoittavat ja kuinka ne vaikuttavat tuloksiin. Ohjelmassa voi valita mitoitus-standardiksi Eurokoodin, mutta on olemassa myös maakohtaisia määrittelyjä, joita on noudatettava mitoittamisessa.



Kuva 9. STRAP:n jännepunosio.

Opinnäytetyön liitteessä 1 on laadittu jännepunoksien määrittelyohje STRAP-ohjelman jänneosiosta, jonka avulla yrityksen työntekijät voivat opetella jännepunoksien määrittelemistä ja laskemista ohjelmalla. Ohjeen tarkoituksena on alustaa ja nopeuttaa työntekijöitä ohjelman jänneosion käyttöönotossa, minkä jälkeen tarkempi ohjeistus ja tiedon vaihtoa käydään suullisella tasolla lähiopetuksena. Ohjeessa on listattuna 44 eri päävaihetta jännepunoksien määrittelemisestä, ja jokaisesta eri vaiheesta on esitetty kaappauskuva ohjelmasta sekä kaappauskuviiin on lisätty ohjelistan selitenumerot.

Opinnäytetyöllä oli 3 päätavoitetta, joihin yritys halusi saada vastauksen. Ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää, kuinka STRAP-jänneosiota käytetään, ja ohjelman käytöstä laaditaan opastus yrityksen muita työntekijöitä varten. Toisena tavoitteena oli selvittää

ja varmistaa tuloksien oikeellisuus. Kolmantena tavoitteena oli, selvittää kuinka käyttökelpoinen ohjelma on ja mitä uutta ohjelma mahdollistaa.

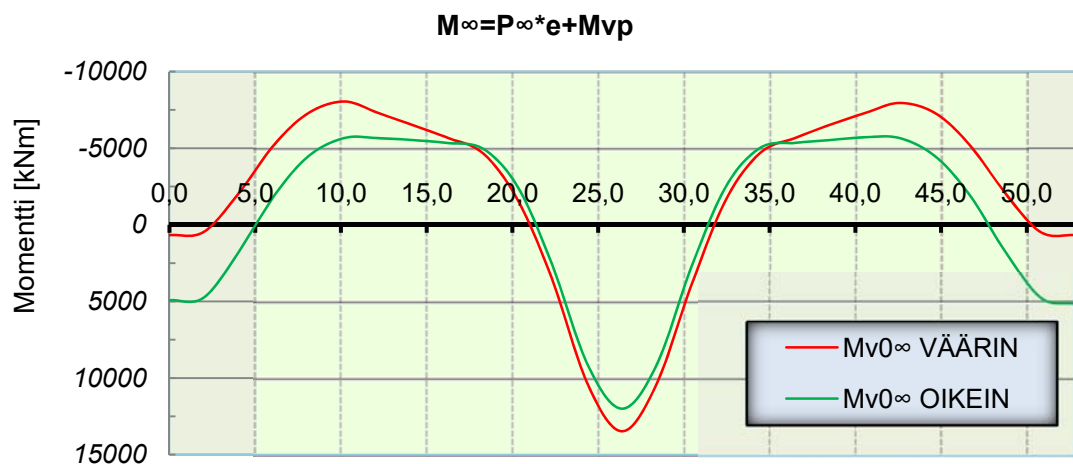
Opinnäytetyö on nyt edennyt ensimmäisen tavoitteen loppuun, joka sisälsi ohjelman käytön opetteluun. Näin jälkikäteen voidaan todeta, että ohjelman käyttö on yksinkertaista ja vaivatonta, mutta ohjelman jänneosion opetteleminen oli iso prosessi, joka sisälsi paljon ohjelman manuaalin lukemista ja useita yhteydenottoja ohjelman tuotukseen. Ohjelman käytön opettelu vaati noin 150 työtuntia. Ohjelman käytön opettelu hankaloitti ohjelmasta paljastuneet piilevät koodivirheet.

4.2 Havaitut ongelmat

4.2.1 Taivutusmomentti

Ennen tuloksien vertailemista tuli varmistua, että ohjelman käyttö oli ymmärretty oikein. Ohjelman oikean käytön varmistamiseksi tarkasteltiin yksinkertaisen kaksiaukkoisen L-palkin tuloksia, josta oli myös TASSU:lla tehty jänneajo. Tarkasteltaessa jännepunosten tuloksia huomattiin aksiaalivoiman ja leikkausvoiman täsmäävän TASSU:n tuloksien kanssa, mutta STRAP:sta saadut taivutusmomenttitulokset eivät täsmänneet tarkasti TASSU:n kanssa.

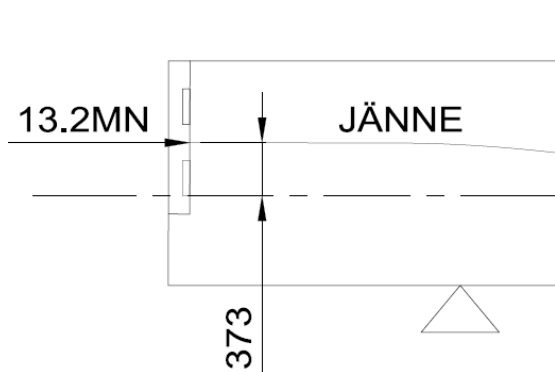
Kuviossa 1 on esitetty, kuinka STRAP laski väärin jännepunosten taivutusmomentin. Punainen viiva kuvastaa STRAP:sta saatua ensimmäistä taivutusmomenttikuvaajaa ja vihreä kuvaa oikeata taivutusmomenttikuvaajaa.



Kuvio 1. Jänneiden väärä ja oikea momenttikuvaaja.

Malliesimerkin sillan L-palkki on ulokepalkki, jonka jännevälit ovat 2,0 + 24,4 + 24,4 + 2,0 m. STRAP:n tuotetuen vastaavalta kysyttiin, miksi taivutuskuvaajat eroavat toisistaan. Tuotetukeen lähetettiin tiedot, miten jänteet oli määritetty rakennemalliin. Tuotetuki pyysi lisäksi lähettämään laskentamallin heille tarkastettavaksi. Laskentamalli toimitettiin tuotetuella. Jonkin ajan kuluttua saatiin vastaukseksi, että punokset on määritetty oikein laskentamalliin ja ohjelman tulokset ovat oikein.

Palkin ulokkeella taivutusmomentissa oli 4 250 kNm ero, mitä ei voitu pitää hyväksyttävänä. Jänteiden aiheuttama taivutusmomentti muodostuu kahdesta eri asiasta. Jänteen aksiaalivoiman etäisyydestä palkin painopisteeseen $P \cdot e$ ja pakkomomentista, joka syntyy välitukien estäessä siirtymät. Ulokkeella ja yksiaukkoisilla rakenteilla pakkomomenttia ei synny, koska niissä ei ole siirtymiä estäviä tukia ja rakenne pääsee siirtymään vapaasti. Käsinelaskennalla varmistettiin, kuinka paljon jänteet aiheuttavat taivutusmomenttia ulokkeelle. Kuvassa 10 on esitetty käsin tarkasteltavan palkin uloke. Ulokkeen pituus on noin 2 m sekä palkin korkeus on 1,575 m ja leveys 2,100 m. Kuvan 10 katkoviiva kuvastaa palkin painopisteakselia. Kuvassa 10 jänne esittää kahden eri jänteen geometrian keskilinjaa.



Kuva 10. Palkin uloke.

$$M_{\text{jänne}} = P \cdot e = 13200 \text{ kNm} \cdot 0,373 \text{ m} = 4920 \text{ kNm}$$

Edellä esitetty momenttilaskelma lähetettiin STRAP:n tuotetuella ja esitettiin kysymys, miksi metodi $P \cdot e$ ei päde STRAP:n esittämien taivutusmomenttituloksien kanssa. Lähes heti tuotetuki vastasi, että kysymys on toimitettu eteenpäin ja viikon kuluttua tuotetuesta tuli ilmoitus, että he ovat löytäneet ohjelmasta koodausvirheen, joka ilmenee vain, kun palkin poikkileikkausprofiilina on L-profiili ja korkeusakselina on X3-akseli. Nämä mainitut asetukset olivat juurikin näin tarkastelumallissa. Tuotetuki korjasi koo-

dausvirheen ja ohjelman tuli antaa päivittää itsensä automaattisesti, minkä jälkeen ohjelma laski taivutusmomentin oikein.

4.2.2 Punoksen pidentymä

Opinnäytetyön laatimisen aikana toimistoon tuli muutossuunniteltavaksi toisen yrityksen laatima uusi tiesilta. Muutossuunnittelun aikana kävi ilmi, että sillan palkeissa oli kapasiteettivaje ja sillan jännemäärää tuli lisätä paikoin. (Insinööritoimisto Suunnittelukide Oy, henkilökohtainen tiedonanto 4.9.2015.) Ulokkeellisen laattapalkkisillan jännevälit ovat 2,3 + 32,0 + 32,0 + 2,3 m ja alkuperäisessä suunnitelmassa oli päästä päähän meneviä jäniteitä 6 kpl/ palkki. Sillan jänneiden kulkua muutettiin siten, että 4 kpl jäniteistä meni palkin läpi yhtämittäisinä, sekä 2 kpl jäniteistä alkoi päädyistä ja päätettiin keskituen yli passiiviankkureilla. Edellä esitetyn tavan mukaan tehtynä keskituelle saatiin kokonaisjännemääräksi 8 kpl ja kenttiin 6 kpl. Sillan jänneiden aiheuttamat rasitukset laskettiin STRAP:illa, ja rasituskuvaajat vaikuttivat oikeanlaisilta (jänneosion käytön varmistaminen oli vielä silloin kesken). Siltaa suunniteltaessa tutustuttiin ensimmäistä kertaa jänneohjelman passiiviankkuripään määrittelemiseen ja jänneiden pidentymistaulukoon. Pidentymätaulukkoa tarkasteltaessa havaittiin, että lyhyet toisesta päästä vedettävät jänneet venyivät enemmän kuin jänneet, jotka vedettiin sillan molemmista päistä. Tämä ei voi pitää paikkaansa.

Kuvan 11 nro 1 geometria sisältää 4 kpl päästä päähän meneviä Y1600/1860 jäniteitä. Nro 2 ja Nro 3 sisältävät kummatkin 2 kpl jäniteitä, jotka kulkevat palkin puolikkaan osalla. Kuvassa 13 on esitetty ohjelman aluksi laskemat virheelliset punoksien pidentymät.

CABLE NO. = 1

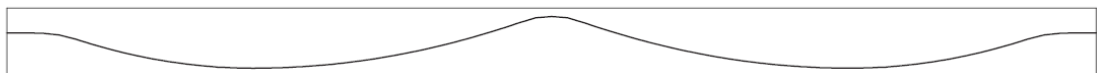
No. of strands = 60, Strand type : Y1600/1860, % of jacking = 8.500E+001, Total force of all strands= 12240.[kN]
Cable is bonded

JACKING SEQUENCE :

Stage 1: TRANSFER

Strands 1-60 jacked from two sides to 1.000E+002%, Total force of jacked strands =12240.[kN]

CABLE GEOMETRY :



CABLE NO. = 2

No. of strands = 30, Strand type : Y1600/1860, % of jacking = 8.500E+001, Total force of all strands= 6120.[kN]
Cable is bonded

JACKING SEQUENCE :

Stage 1: TRANSFER

Strands 1-30 jacked from left side to 1.000E+002%, Total force of jacked strands =6120.[kN]

CABLE GEOMETRY :



CABLE NO. = 3

No. of strands = 30, Strand type : Y1600/1860, % of jacking = 8.500E+001, Total force of all strands= 6120.[kN]

Cable is bonded

JACKING SEQUENCE :

Stage 1: TRANSFER

Strands 1-30 jacked from right side to 1.000E+002%, Total force of jacked strands =6120.[kN]

CABLE GEOMETRY :



Kuva 11. Laskentamallin jännegeometriat.

Define the jacking sequence of the cables:

Cable no.	No. of strands	Total prestress force of strands [kN]	Prestress [%]	Jacking side	Stage name	Substage no.
1	1 - 60	12240.	100	Both	TRANSFER	0
2	1 - 30	6120.	100	Left	TRANSFER	0
3	1 - 30	6120.	100	Right	TRANSFER	0

Kuva 12. Laskentamallin jännevoimat.

Elongation of cables from jacking , beam no. 1

Cable no.	Jacking time day	Cab. len. before jacking [cm]	Jacking side	Jacking strands	Jacking force percent %	Elongation at jacking time [mm]
1	20.0	6874.5	Both	60	100	448
2	20.0	3937.3	Left	30	100	461
3	20.0	3937.3	Right	30	100	461

Time-steps analysis was performed.

Kuva 13. Virheelliset pidentymät (elongation).

Jänneiden pidentymä tarkistettiin käsinlaskennan avulla.

$$\text{Pituuden muutos } \Delta l = \frac{FL}{EA}, \text{ (Tammertekniikka 2002, 139)}$$

$$F = \text{palkin keskimääräinen jännevoima} \quad L = \text{jänneen pituus}$$

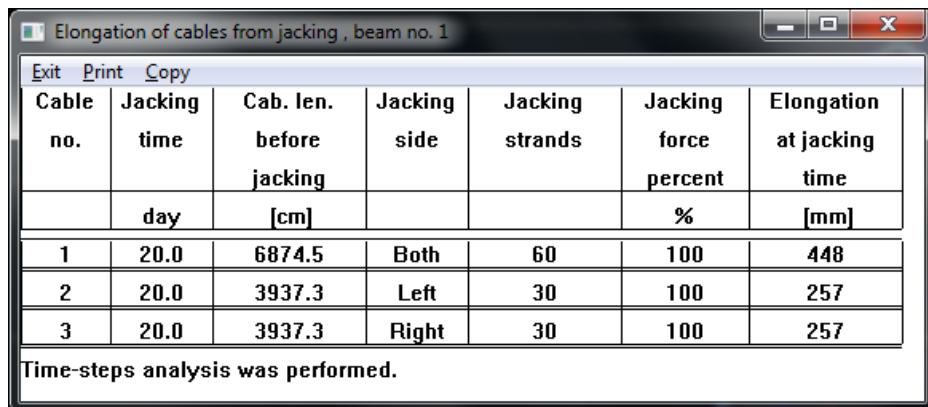
$$E = \text{jänneteräksen kimmokerroin} \quad A = \text{jänneen pinta - ala}$$

Kaava 3. Pituuden muutos.

$$Nro 1: 2,735 * 10^6 N * \frac{68745 \text{ mm}}{19500 \frac{N}{\text{mm}^2} * 2250 \text{ mm}^2} = 428 \text{ mm}$$

$$Nro 2\&3: 2,735 * 10^6 N * \frac{39373 \text{ mm}}{19500 \frac{N}{\text{mm}^2} * 2250 \text{ mm}^2} = 245 \text{ mm}$$

Käsinlaskennalla varmistettiin, että ohjelman ilmoittamat pidentymät olivat virheellisiä. Tuotetukeen otettiin yhteyttä, ja heille toimitettiin käsin tehdyt laskelmat sekä mallin tiedosto. Ohjelmatoimittaja vastasi viikon kuluessa vapaasti suomennettuna seuraavasti: Lyhyempien jänteiden laskennassa oli erhe, jonka ATIR on nyt korjannut. Ohjelma päivitti automaattisesti itsensä, jonka jälkeen ohjelma laski jänteiden pidentymät oikein. Kuvassa 14 on esitetty ohjelman määrittelemät oikeat jänteiden pidentymät, jotka täsmäsivät käsinlaskennan kanssa.



Cable no.	Jacking time	Cab. len. before jacking	Jacking side	Jacking strands	Jacking force percent	Elongation at jacking time
	day	[cm]			%	[mm]
1	20.0	6874.5	Both	60	100	448
2	20.0	3937.3	Left	30	100	257
3	20.0	3937.3	Right	30	100	257

Time-steps analysis was performed.

Kuva 14. Oikeat pidentymät.

Rakennesuunnittelija määrittää aina punoksien pidentymät, jotka kirjataan jännittämissasiakirjaan. Jännittämissasiakirjan lukee jänteiden jännittäjä, joka kirjaa asiakirjaan toteutuneet pidentymät (vetoarvot). Edellä kuvatun toimenpiteen avulla varmistetaan, että kaapeleihin on vedetty suunniteltu voima. Kaapeleiden vetovoimaa tarkkaillaan myös voimamittarien avulla.

4.2.3 Jännehäviö

Jänneosion opetteluun yhteydessä törmättiin sellaiseen seikkaan, että kun määritetään jänteiden aaltoisuus- ja kaapelikitkahäviöitä, tulee ohjelmaan antaa kaapelivalmistajien ilmoittama aaltoisuusluku $\beta = 0,005 \text{ rad/m}$ ja kaapelikitkaluku $\mu = 0,21 \text{ rad}^{-1}$ kuvan 15 määräyksikkunaan ja ohjeistuskuvan 16 mukaan.

Friction losses	
Wobble friction loss: $\mu \cdot K =$	0.00105 1/ m
Curvature friction loss : $\mu =$	0.21

Kuva 15. Aaltoisuus- ja kitkaluku.

Friction Loss:

The losses due to friction, $\Delta P_u(x)$, are calculated according to:

$$\Delta P_u(x) = P_{\max}(1 - e^{-R(\theta + kx)}) \quad (5.45)$$

The loss consists of two components:

- friction wobble: $\Delta P_u(x) = P_{\max}(1 - e^{-Rkx})$
- friction curvature: $\Delta P_u(x) = P_{\max}(1 - e^{-R\theta})$

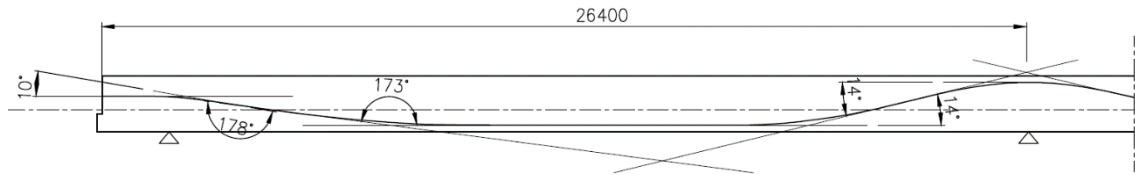
Kuva 16. Ohjelman manuaalin häviöiden opastussivu.

Ohjelmaan syötetään kaapelikitkaluku suoraan, mutta aaltoisuusluku ilmoitetaan $\beta \cdot \mu = 0,19 \cdot 0,005 = 0,00105$. Aaltoisuusluvun ilmoittaminen ylimääräisen kertomisen kautta on erikoista, koska ohjelmalle on jo kerran annettu kaapelikitka, minkä jälkeen pitää vielä antaa luku, joka kerrotaan ensin jo annetulla luvulla. Ohjelmaan pitäisi saada antaa suoraan aaltoisuusluku, jonka jälkeen kone voi kertoa keskenään luvut. Opettelun yhteydessä vauhtisokeudessa annettiin ohjelmaan suoraan aaltoisuusluku, jolloin ohjelma laski jännevoimalle liian suuria häviöitä. Virheen huomaamista hankaloitti lisäksi se, että ohjelman häviöiden tulostauksessa lukee ylhäällä, että $K = 0,00105$, joka ei ole totta. Kun vertaa kuvaa 15 kuvaan 17, niin huomataan, että $K \cdot \mu = 0,00105$. Ohjelmassa on ristiriita täytettävien ja tuloksen ilmoittamien tietojen välillä.

Friction and Draw-in losses table for cable no. 1, at t = 30000, beam no. 1								
Exit Print Copy								
Parameters: curvature frict.: $\mu=0.210$, wobble frict.: $K=0.00105$, draw-in: dist=0.006								
Point no.	Coord. [m]		Cable length	Accum. angle	Losses [kN]			Resulting force [kN]
	x	y			curvature	wobble	draw-in	
261	26.40	-0.182	27.758	0.791	2694.63	489.72	0.00	14728.13

Kuva 17. Jännehäviötaulukko.

Väärin syötetyt kaapeliluvut kävivät ilmi, kun verrattiin aaltoisuuden ja kaapelikitkan kokonaishäviöiden suuruutta käsinlaskentaan. Kaavassa 4 on esitetty kaapelihäviöiden käsinlaskenta NCCI 2-sovellusohjeen mukaan laskettuna.



Kuva 18. Jänteiden aaltoisuus.

Jänteiden aaltoisuus- ja kaapelikitkahäviö laskettiin palkin puolivälin kohtaan, jossa häviöt ovat suurimmillaan.

$$\Delta P\mu(x) = Pmax(1 - e^{-\mu(\theta+kx)}), \text{ (Liikennevirasto NCCI 2, 45)}$$

$$Pmax = \text{esijännitysvoima} \quad \theta = \text{jänteen muutosten summa}$$

$$e = \text{neperinluku} \quad \mu = \text{kitkakerroin} \quad k = \text{aaltoisuusluku}$$

$$x = \text{jänneteräksen pituus kohdassa } x$$

$$\text{Kulmien summa } 10^\circ + 2^\circ + 7^\circ + 14^\circ + 14^\circ = 47^\circ \text{ (0,82 rad)}$$

$$P\mu = 17910kN * (1 - e^{-0,21 \text{ rad}^{-1}(0,82 \text{ rad} + 0,005 * 26,4)}) = 3 \text{ 245 kN}$$

Kaava 4. Aaltoisuus- ja kaapelikitkahäviö.

STRAP laskee jänteiden kaapelikitkan ja mutkaisuuden häviöksi $2\,695\text{ kN} + 489\text{ kN} = 3\,184\text{ kN}$, ja käsinlaskemalla tulokseksi saatiin $3\,245\text{ kN}$. Nyt pystyttiin toteamaan, että ohjelmaan on määritetty oikein kaapelihäviötiedot. Tuloksien pieni 2 %:n ero johtuu siitä, että STRAP-ohjelma laskee käsinlaskentaa tarkemmin jänteen kulmien määrän.

4.3 Ongelmien yhteenveto

Jänneosion opettelun yhteydessä havaitut ongelmat vakuuttivat sen seikan, että ohjelman tulokset tuli käydä perusteellisesti läpi sekä tuoda vanhan ja uuden ohjelman mahdolliset tuloksien eroavaisuudet esille. Hyvänä asiana voidaan pitää, että jo ohjelman opettelun yhteydessä tuli vakavaksikin luokiteltavia vääristymiä esille, koska nyt ohjelmien vertailu ei tunnu turhalta toimenpiteeltä, vaan tärkeältä työltä, ja virheet toimivat hyvänä motivaationa vertailun tekemiselle.

Ohjelmointivirheitä esiintyy harvakseltaan ohjelmissa. Yrity maailmassa työtehtävät on määritetty paloittain, ja jokaiseen työtehtävään on oma erikoisosaaja. Laskentaohjelmistojen fyysisesti tekevät tietotekniikan koodaajat, jotka eivät välttämättä ymmärrä rakenteiden statiikkaa ja lujuusoppia, minkä seurauksena tekijän on vaikea tarkistaa omaa tuotostaan. Toinen laskentaohjelmien vaara on se, että ohjelma toimii tietyissä rajoissa oikein käytettynä oikein, mutta itse käyttäjä ei tunne ohjelman rajoja tai ei osaa mallintaa oikein rakenteita, jolloin saadut rasitukset ovat väärin. Ohjelmien avulla monimutkaisten rakenteiden laskeminen on käsinlaskentaa verrattuna huomattavasti helpompaa ja tarkempaa, mutta ohjelmat myös vieraannuttavat insinöörin teoriasta. Yleisenä mielipiteenä voidaan todeta, että koulun ja työelämän tulisi painottaa ja panostaa enemmän sitä, että henkilö hallitsee käsinlaskennan teorian vähintään perustasolla, eikä vain laske tietokoneohjelman mukana.

Tietokoneohjelmien käytössä tulee myös ymmärtää se tosiasia, että lähes kaikki vanhat ja hyvin pitkälle kehittyneet FEM-laskentaohjelmat ovat peräisin 80-luvulta. Ohjelmat ovat ajan mittaan kehittyneet, ja ohjelmien kehitys tapahtuu siten, että ohjelman päälle luodaan uusia tasoja, jotka mahdollistavat uusien ominaisuuksien lisäämisen ohjelmaan. Ohjelman alimmalla tasolla on aina ohjelman runkodata. Ajan kuluessa ihmiset vaihtavat työpaikkoja ja tekijöiden tietoa häviää, minkä seurauksena ohjelmistoyrityksessä ei ole välttämättä enää tietoa siitä, kuinka ohjelman vanhimmat osat laskevat ja muodostavat tuloksen. Ohjelmien kehityksen yhteydessä luodaan erillisiä testausohjelmia, jotka käyvät läpi ohjelmaa ja testaavat päivityksen vaikutusta ohjelman

tuloksiin. Testausohjelman tarkoitus on varmistaa myös alimpien tasojen toimivuus päivityksien yhteydessä, koska henkilöstöllä ei voi olla tietoa siitä, mihin kaikkiin asioihin 30 vuotta vanhaan ohjelmaan tehdyt uudet päivitykset saattavat vaikuttaa. Testausohjelmien laatiminen on hyvin kallis prosessi, jolloin testaaminen saatetaan jättää säästösyistä vähemmälle tai pahimmillaan jätetään kokonaan tekemättä. Tämä asia taas saattaa johtaa siihen, että ennen oikein toimineeseen ohjelmaan tulee virhe, jolloin ohjelma voi antaa väärä tuloksia. Tästä päättelemällä tullaan taas siihen tosiasiaan, että ohjelman käyttäjän tulee hallita riittävällä tasolla myös teoria ja ymmärtää, minkälaisia tulosten kuuluu olla suurin piirtein kulloisessakin tapauksessa, jotta on mahdollista erottaa virheellinen ja oikea laskenta.

5 JÄNNETULOKSIEN VERTAILU

5.1 Vertailumallit

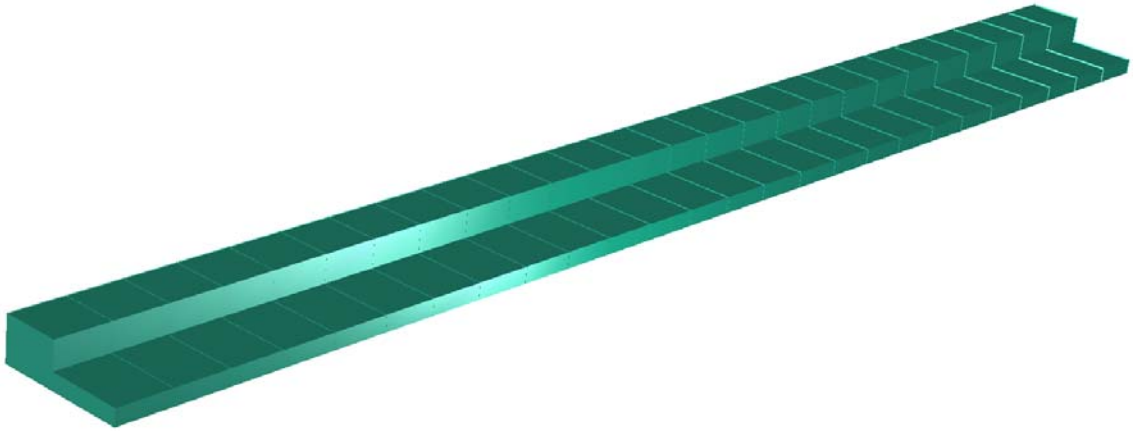
Kun STRAP:n jänneosion käyttö oli hallussa, siirryttiin seuraavaan vaiheeseen, jossa tarkoituksena oli varmistaa STRAP:n tuloksien oikeellisuus. Vertailu tehtiin rakennemallilla, joka pystyttiin mallintamaan oikein TASSU:lla. Siuronkosken rautatiesilta valikoitui vertailumalliksi, koska sillassa on kaikilla tuilla laakerit, mikä vastaa nivelliitosta. Silta on ulokkeellinen kaksiaukkoinen laattapalkkisilta. Sillan pituus on 52,8 m, ja silta on symmetrinen, mikä rajoittaa tarkastelupisteiden määrän sopivaksi.

Vertailussa STRAP:lla tehtiin kaksi erilaista mallia, joita verrattiin TASSU:n tuloksiin. TASSU-ohjelmassa palkin poikkileikkauksena on kannen puolikkaan poikkileikkaus. STRAP:lla tehtiin TASSU:n kaltainen palkkimalli sekä lisäksi mallinnettiin koko kansi, jota kutsutaan *kansimalliksi*. Kansimallissa kannen laattaelementtien sillan pituussuuntainen kimmokerroin on tiputettu lähelle nollaa ($E = 1 \text{ GPa}$), jotta laatta ei kerää rasituksia ja pääpalkeille saadaan näin kaikki rasitukset. Sillan kansielementit mitoitetaan erillisessä mallissa, joka on asiana opinnäytetyön aihealueen ulkopuolella. Kansimallissa laattaelementtien poikkisuuntainen kimmokerroin on $0,5 E$ ($E = \text{betonin kimmokerroin } 33 \text{ GPa}$). Kannen poikkisuunnan kimmokerroin lasketaan puolikkaaseen arvoon, jolloin kannen kuormien jakaantuminen kohdistuu enemmän yhdelle palkille kuin molemmille sillan palkeille. Alennettu kimmokerroin kuvastaa halkeillutta betonia.

STRAP:n laskiessa kansimallilla jänteiden rasituksia on mahdollista, että osa jänteiden puristusvoimasta häviää laattaelementeille sillan poikkisuunnassa, mikä aiheuttaa vääristymää kansimallin tuloksiin. Koska jänneosion palkin poikkileikkaus sisältää jo kannen puolikkaan pinta-alan, puristusvoima ei saisi mennä laattaelementeille, mutta sitä ei voida kokonaan estää, kun mallinnetaan koko kansi. Kansimallin tuloksia verrattiin STRAP:n ja TASSU:n palkkimalleihin, jotta nähtiin, paljonko laattaelementit aiheuttivat häiriötä tuloksiin. Palkkimallin jännevoimien tulokset ovat kansimallin tuloksia oikeampia, koska palkkimallissa ei ole kahteen kertaan mallinnettuja osia. Kuvassa 19 on esitelty vertailtavan sillan sauvarakenne, ja kuvassa 20 on esitetty renderöitynä kuvan 19 sauvamalli.

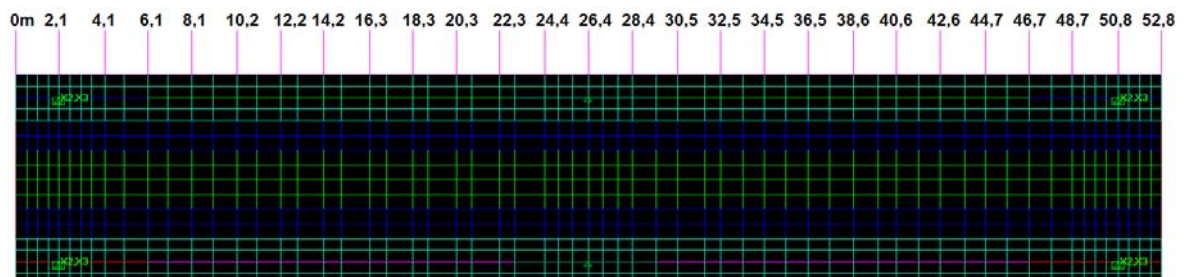


Kuva 19. STRAP-palkkimalli.

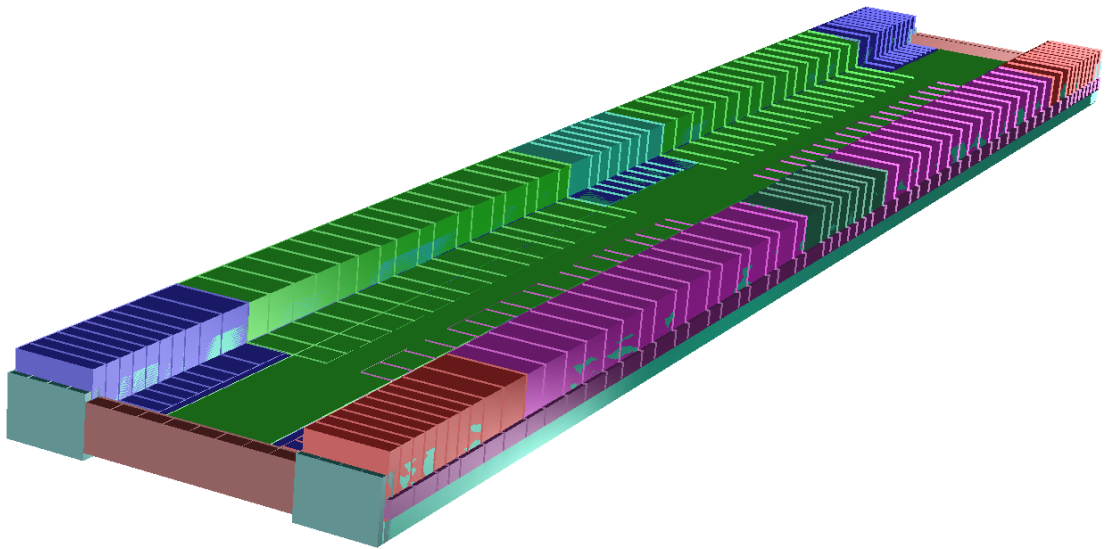


Kuva 20. STRAP-palkkimalli renderöitynä.

Kuvassa 21 on esitetty kansimalli ylhäältäpäin katsottuna, ja kuvassa 22 on sama malli renderöitynä. Sillassa on kiinteä laakerituki keskellä, ja sillan päissä on pituussuunnassa auki olevat laakerituet. Kuvan 21 yläreunaan on piirretty mitta-asteikko 0 m...52,8 m. Rasituksien vertailu suoritetaan kaikissa mitta-asteikolla esitetyissä tarkastuspisteissä.

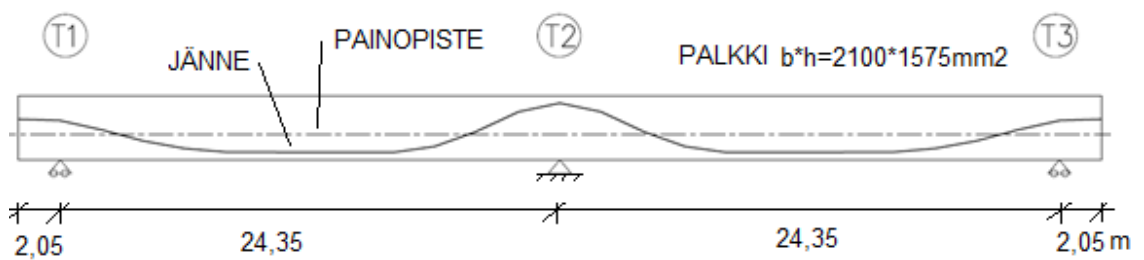


Kuva 21. STRAP-kansimalli.



Kuva 22. STRAP-kansimalli renderöitynä.

Vertailussa käytettiin vuonna 2012 tehtyä Siuronkosken TASSU-jänneajoa. STRAP-ohjelmaan mallinnettiin TASSU:n arvojen mukaan jänteet ja häviöarvot, jotta tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään.



Kuva 23. Siuronkosken ratasillan jännegeometria.

Kuvassa 23 on esitetty tarkasteltavan sillan jännegeometria. Luvussa 5 esitetyt kuvaajat löytyvät suurempina liitteestä 2. Lisäksi liitteessä on esitetty kuvaajien tarkastelupisteiden tarkat arvot taulukoituina. Siuronkosken TASSU:n jänneajo ja sillan jännepiirustus on esitetty liitteessä 3.

5.2 Puristusvoima

Vertailu aloitettiin jännevoimasta, koska se vaikuttaa kaikkiin muihin jänteiden aiheuttamiin rasitusarvoihin. Jännevoiman häviöt tarkastellaan häviötekijä kerrallaan palkin aloitusasteessa $x = 0$ ja palkin keskellä pisteessä $x = 26,4$ m, missä häviöt ovat suurimmillaan. Tulokset tarkistettiin kahdessa eri ajan hetkessä, $t = 0$ tarkoittaa hetkeä heti jännittämisen jälkeen ja $t = \infty$ (ääretön) tarkoittaa hetkeä, jolloin jänteissä on tapahtunut kaikki pitkäaikaiset häviöt. Palkin kaikki jänteet menevät yhtämittaisina palkin koko matkalla ja ne jännitetään molemmista päistä yhtä aikaa.

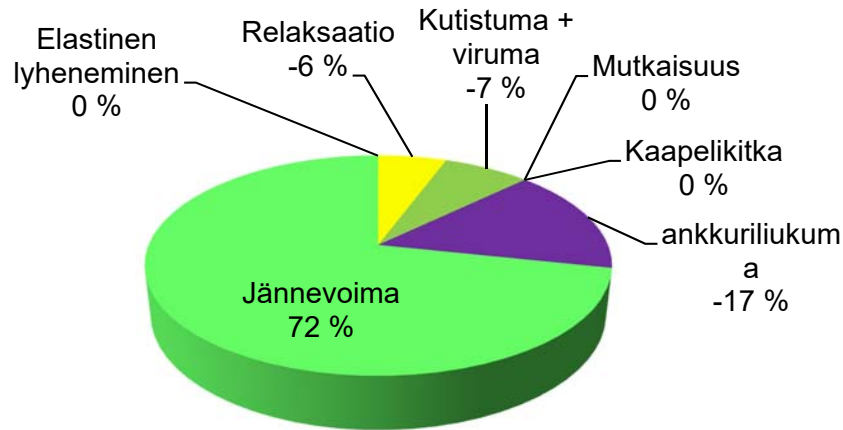
Taulukko 1. Jännehäviöarvot.

Jänteen ominaisuudet	arvo	yksikkö
kaapelikitka μ	0,21	rad ⁻¹
aaltoisuusluku β	0,005	rad/m
ankkuriliukuma ja päästö dk	6	mm
betonin kutistuma es	-0,0002	
betonin virumaluku ϕ	1,5	
relaksaatio	7,5	%
jännepunos S1560/1770 6kpl/palkki		

Taulukko 2. Jännehäviöt.

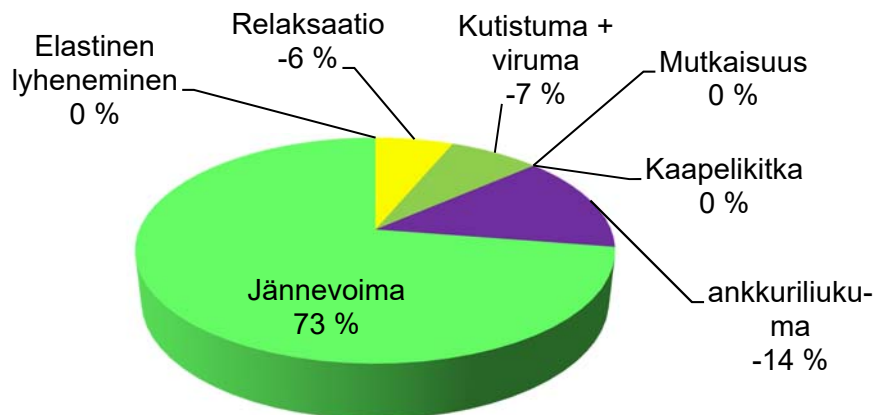
Ajan hetkellä $t = 0$	Häviöt palkin päässä $x=0$		Häviöt palkin keskellä $x=26,4$	
	STRAP [kN]	TASSU [kN]	STRAP [kN]	TASSU [kN]
Relaksaatio	0	0	0	0
Kutistuma + viruma	0	0	0	0
Kaapelikitka	0	0	-2 695	-2 457
Mutkaisuus	0	0	-489	-489
ankkuriliukuma	-2 777	-2 484	0	0
Jännevoima	15 148	15 420	14 584	14 960
häviöt yhteensä:	-2 777	-2 484	-3 184	-2 946
Summa (tarkistus)	-17 925	-17 904	-17 768	-17906
Ajan hetkellä $t = \infty$	Häviöt palkin päässä $x=0$		Häviöt palkin keskellä $x=26,4$	
	STRAP [kN]	TASSU [kN]	STRAP [kN]	TASSU [kN]
Relaksaatio	-1 015	-1 122	-9 65	-1 122
Kutistuma + viruma	-1 283	-1 301	-1 476	-1 331
Kaapelikitka	0	0	-2 695	-2 457
Mutkaisuus	0	0	-489	-489
ankkuriliukuma	-2 777	-2 484	0	0
Jännevoima	12 834	12 952	12 180	12 566
häviöt yhteensä:	-5 075	-4 907	-5 625	-5 399
Summa (tarkistus)	-17 909	-17 859	-17 805	-17 965

**STRAP jännitysvoiman jakaantuminen,
kun $x = 0$ m ja $t = \infty$**



Kuvio 2. STRAP:n jännehäviöt sillan päässä.

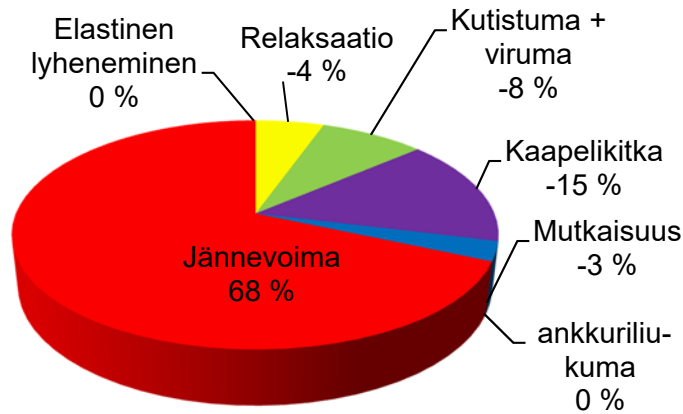
**TASSU jännitysvoiman jakaantuminen,
kun $x = 0$ m ja $t = \infty$**



Kuvio 3. TASSU:n jännehäviöt sillan päässä.

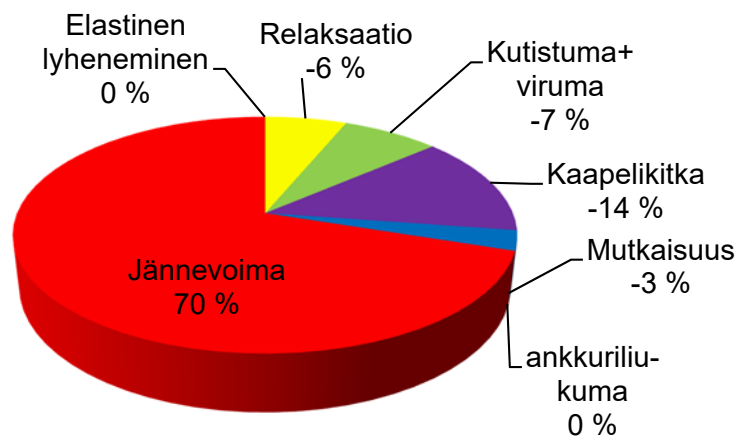
Palkin pään pitkäaikaiset häviöt ovat STRAP:ssä ja TASSU:ssa lähes samat. Ankkuriliukumassa on 3 %:n ero ja jännevoimassa on 1 %:n ero, joka on pieni.

**STRAP jännitysvoiman jakaantuminen,
kun $x = 26,4$ m ja $t = \infty$**



Kuvio 4. STRAP:n jännehäviöt sillan keskellä.

**TASSU jännitysvoiman jakaantuminen,
kun $x = 26,4$ m ja $t = \infty$**

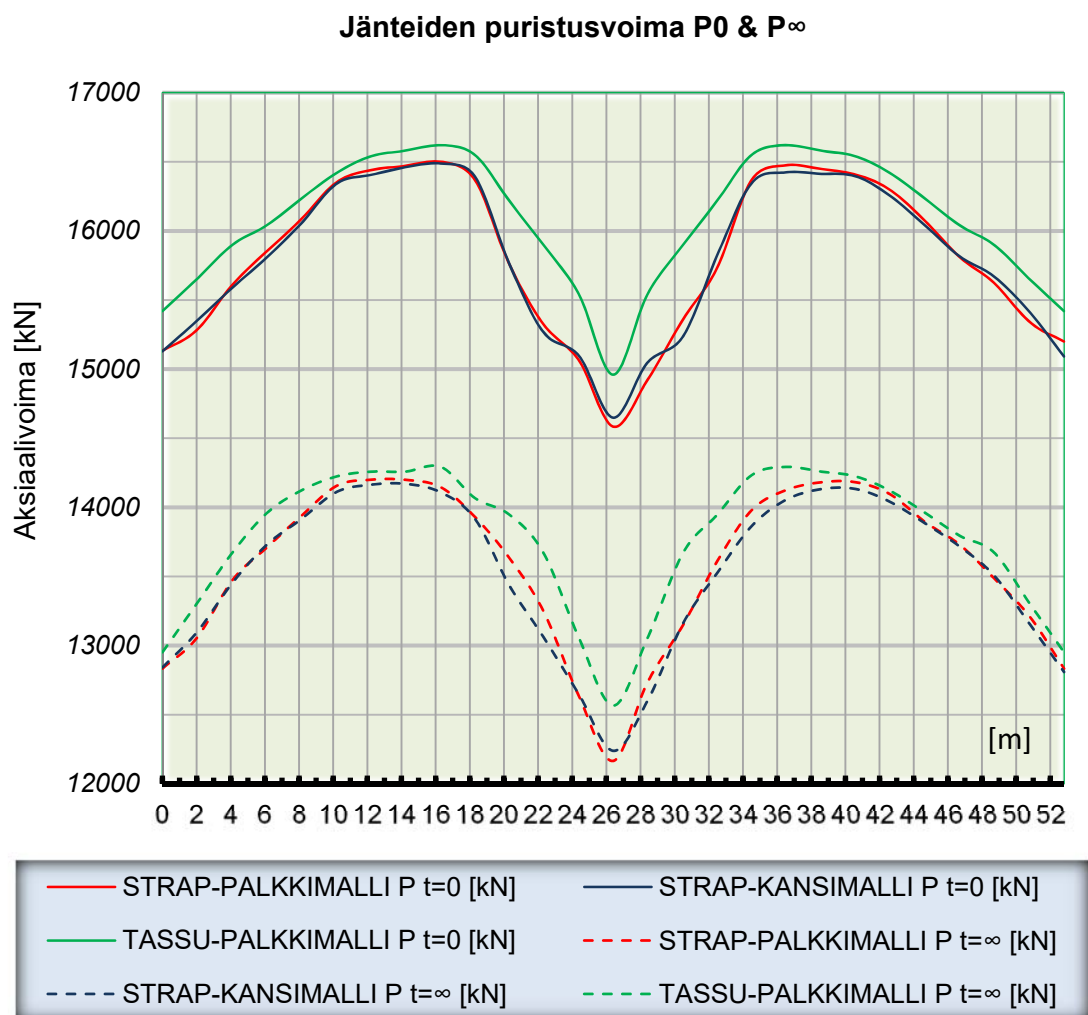


Kuvio 5. TASSU:n jännehäviöt sillan keskellä.

Palkin keskellä pitkäaikaiset häviöt ovat STRAP ja TASSU:ssa lähes samat. Kaapelikitkan 1 %:n kokonaisero ja 10 %:n (2 457 kN/ 2 695 kN) häviöero tulee siitä, että TASSU laskee geometrian karkeasti ja saa mutkaisuuden määräksi 0,72 rad, STRAP saa 0,79 rad ja käsinlaskettuna saatiin 0,81 rad. Relaksaatiossa on 2 %:n ero, joka on selitettävissä sillä, että eri ohjelmiin annetaan relaksaatiot hieman eri tavalla. STRAP:n kokonaisrelaksaatioksi asetettiin 7,5 %, kun TASSU laskee relaksaatioksi 7,5 %, kun 0,7fp ja 3,0 % kun 0,5fp, väliarvot lasketaan polynomisesti (= käyrä). Relaksaatioiden

ero on pieni. Elastisella lyhenemisellä tarkoitetaan jännevoimahäviötä, joka syntyy kun jäniteitä vedetään eri aikana, jolloin ensin vedetyt jäniteet löystyvät, kun loput jäniteet jännitetään ja kappale kokoonpuristuu vielä lisäjännitysten myötä. Esimerkissä jäniteet vedetään yhdenaikaisesti päistään, jolloin ensin vedetyille jäniteille ei synny kappaleen lyhenemisestä johtuvaa jännevoimahäviötä. Todetaan, että jäniteiden lopullinen kokonaisvoima on STRAP:ssä oikein ja TASSU:n puristusvoimaa tarkempi.

Kuviossa 6 on esitetty palkin puristusvoima palkin matkalla. Keskituki T2 sijaitsee kohdassa $x = 26,4$ m ja päätytuet kohdissa $x = 2,0$ m ja $50,8$ m.

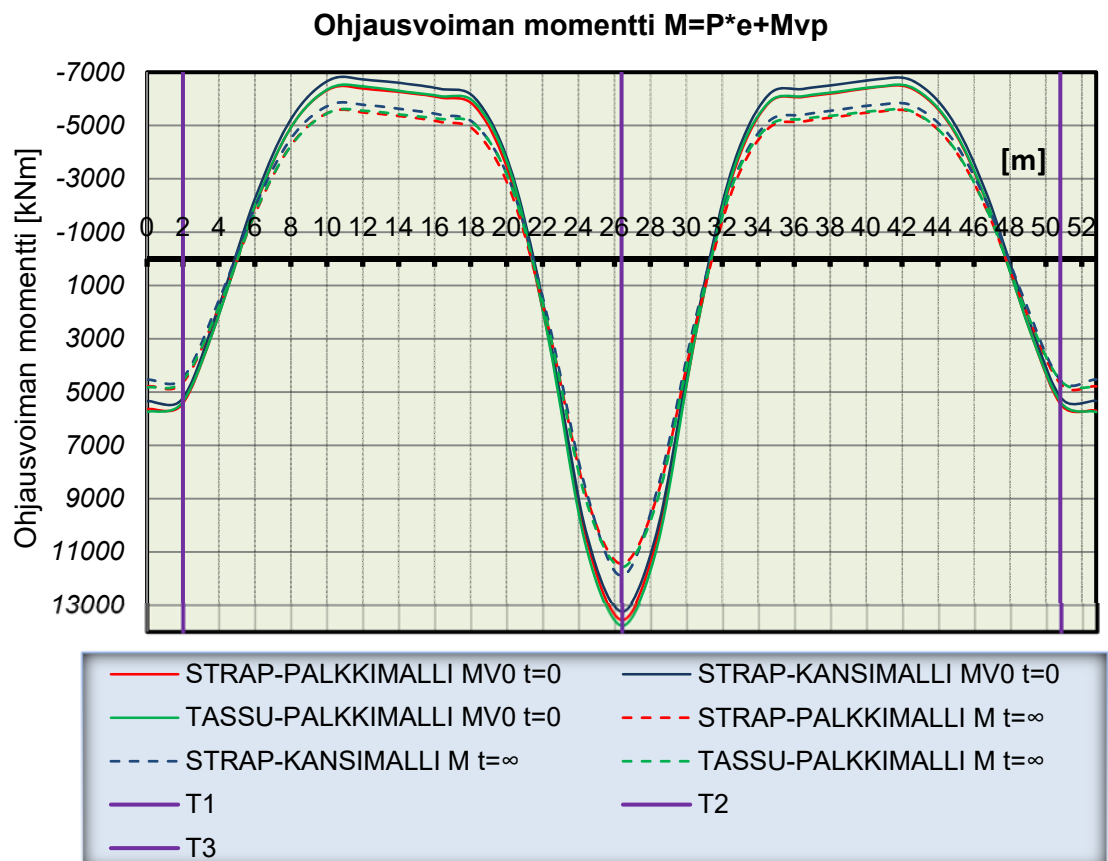


Kuvio 6. Puristusvoimavertailu.

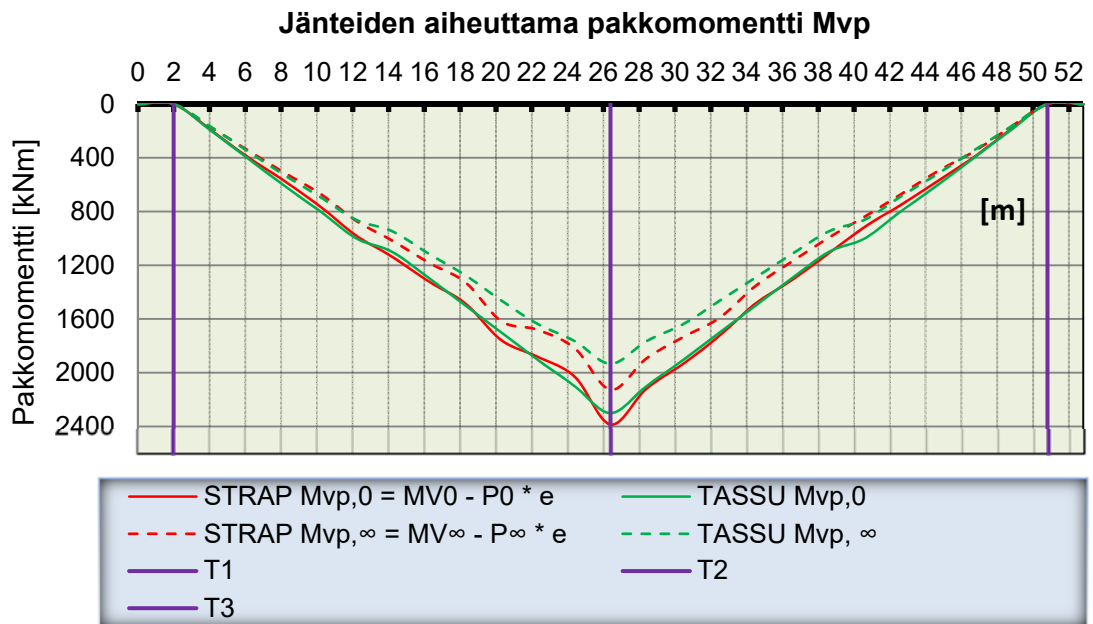
Taulukko 3. Häviötaulukko.

Pitkäaikainen häviö [%]														
x	0,0	2,0	4,1	6,1	8,1	10,2	12,2	14,2	16,3	18,3	20,3	22,3	24,4	26,4
STRAP-PALKKIMALLI	15,2	14,6	13,7	13,5	13,3	13,4	13,6	13,8	14,3	14,9	13,5	13,5	16,1	16,6
STRAP-KANSIMALLI	15,1	14,7	13,7	13,1	13,3	13,6	13,7	13,9	14,4	15,1	14,8	14,4	16,2	16,5
TASSU-PALKKIMALLI	16,0	15,0	14,0	13,0	13,0	13,4	13,8	14,0	14,0	15,0	14,0	14,0	16,0	16,0
x	26,4	28,4	30,5	32,5	34,5	36,5	38,6	40,6	42,6	44,7	46,7	48,7	50,8	52,8
STRAP-PALKKIMALLI	16,6	14,7	14,4	13,5	14,6	14,3	13,8	13,6	13,5	13,5	13,2	13,7	13,9	15,6
STRAP-KANSIMALLI	16,5	16,3	13,6	14,5	15,2	14,4	13,9	13,8	13,6	13,4	13,3	13,8	14,7	15,1
TASSU-PALKKIMALLI	16,0	16,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	15,0	16,0

5.3 Taivutusmomentti



Kuvio 7. Taivutusmomenttiverailu.



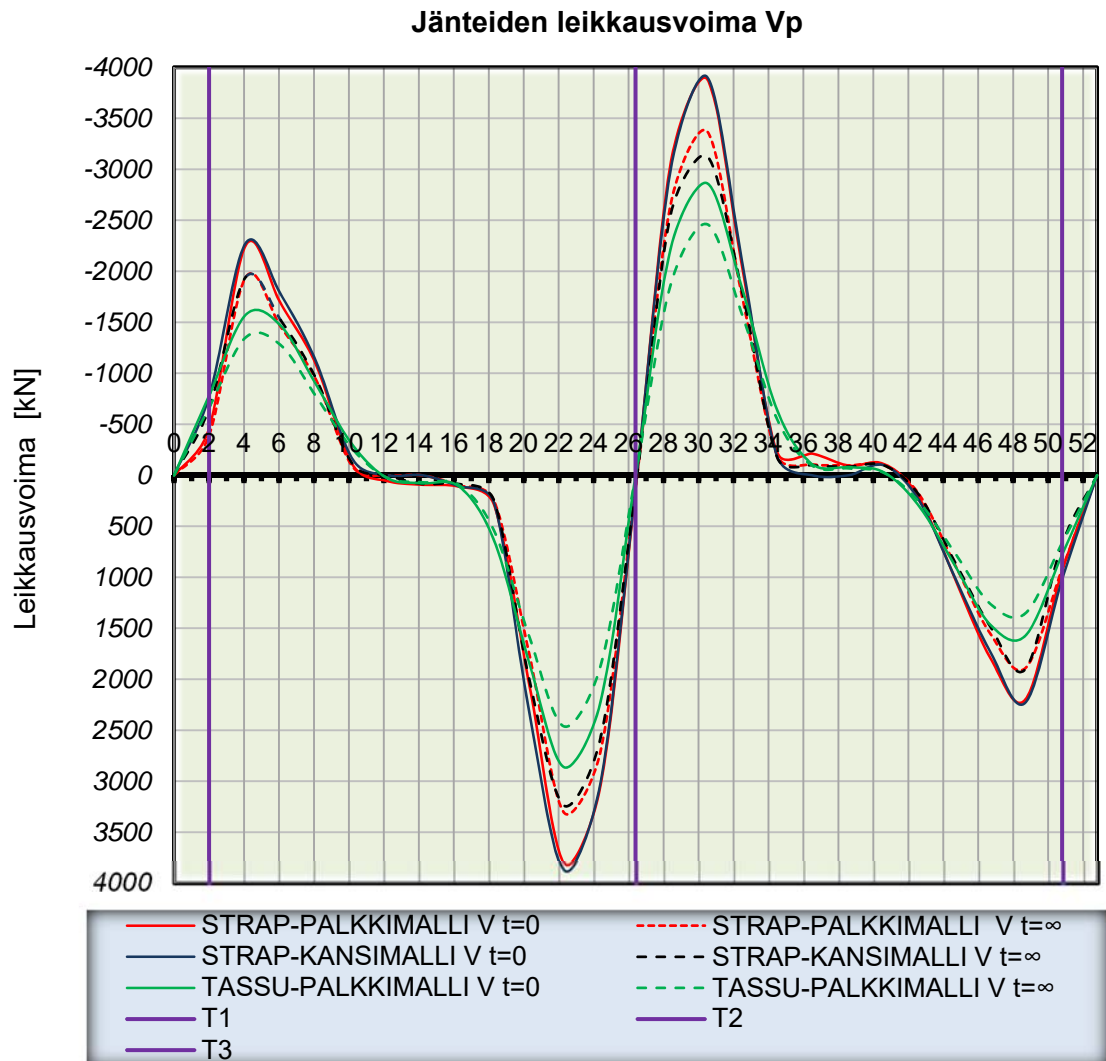
Kuvio 8. Pakkomomenttiverailu.

TASSU:n ja STRAP:n palkkimallien taivutusmomentit mukailevat toisiaan kuvioissa 7 ja 8, eikä momenteissa ole merkittäviä eroja. Kansimallin taivutusmomentti hetkellä $t = 0$ on vähän koholla kentissä, ja keskituella taivutusmomentti jää vajaaksi palkkimalleihin verrattuna. STRAP:n kansi- ja palkkimallin ero on kentässä 342 kNm (5 %) ja keskituella 315 kNm (2 %). Kansimallin taivutusmomentin erilaisuus johtuu kannen laattaelementeistä.

FEM-mallinnusohjelma ratkaisee elementtimenetelmän avulla voimasuureet. Lainaus Matti Lähteenmäen Elementtimenetelmän perusteista: ”Elementtiverkko kuvaa todellista kappaletta usein vain likimääräisesti varsinkin pinta- ja solidirakenteilla, mikä aiheuttaa saataviin tuloksiin virhettä. Tämä mallinnusvirhe ei lujuuslaskennassa ole kovin merkittävä, mikäli käytetään kaarevareunaisia ja riittävän pieniä elementtejä (Lähteenmäki 2016, s.2).”

Siltamalleissa on käytetty tietoisesti isoja elementtejä, jotta mallin laskenta ei käy liian raskaaksi. Opinnäytetyön tutkittavan kansimallin pituussuuntainen elementtijako on 1 m, mitä voidaan pitää sallittavan kokoisena elementtijakona. Taivutusmomenttiyhdistelyn kokonaisuudessa 340 kNm on määränä pieni, ja kansimallin avulla mitoittaminen on varmuuskertoimet tietäen hyvin turvallisen rajan sisäpuolella.

5.4 Leikkausvoima



Kuvio 9. Leikkausvoimavertailu.

Leikkausvoimakuvioista 9 havaittiin, että STRAP:n palkkimalli ja kansimalli mukailevat tarkasti toisiaan. TASSU:n leikkausvoima-arvot poikkeavat rajusti tukien lähellä, jossa leikkausvoima on aina suurimmillaan. Keskituen edessä kohdassa $x = 22,3$ m leikkausvoima on suurimmillaan. STRAP:lla on saatu V_p :ksi 3 800 kN heti jännittämisen jälkeen ja TASSU:n vastaava arvo oli 2 862 kN. Leikkausvoimien ero on peräti 33 %. Jänteiden osavarmuuskerroin on 1,1/ 0,9 (+/-10 %) murtoratilassa, eikä 33 %:n heittoa voida jättää huomioimatta. Puristusvoimaksi $P_{0,x = 22,3}$ saatiin STRAP:lla 15 237 kN ja TASSU:lla 15 900 kN, mikä lisää leikkausvoimien eroavaisuuksien kummallisuutta, koska mitä suu-

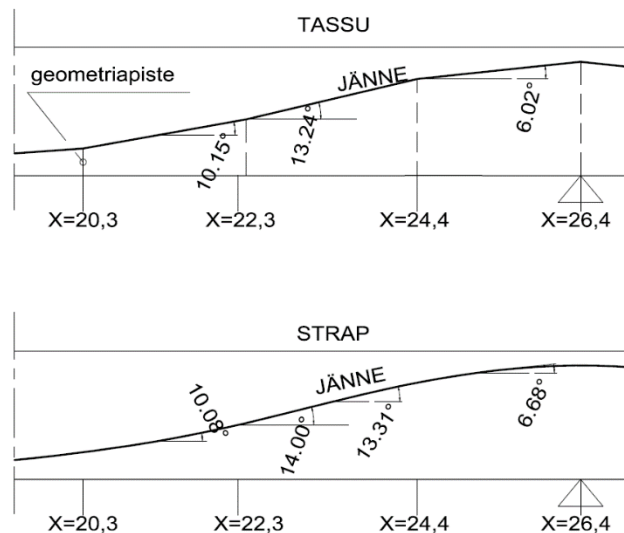
remppi jännevoima on, sitä enemmän on leikkausvoimaa jänteen kohdassa, jossa geometria on nouseva tai laskeva. Nyt TASSU:ssa on enemmän jännevoimaa ja vähemmän leikkausvoimaa. Käsinelaskennan avulla selvitettiin, mikä on leikkausvoiman oikea suuruus kohdassa $x = 22,3$.

Jänneiden leikkausvoima lasketaan kaavalla 5. Leikkausvoiman suuruuteen vaikuttaa jännegeometrian kulma α ja jännevoima P . TASSU:n ohjeissa ei ole kerrottu, kuinka ohjelma määrittää jännegeometrian kulman tai kuinka ohjelma laskee jännepunoksien leikkausvoiman. TASSU:n tulokset on esitetty 2 m:n välein. STRAP:n jännegeometria on määritetty tarkasti, ja ohjelman tulokset saa tarvittaessa vaikka 5 cm:n välein.

$$V_p = P \sin \alpha(x), \text{ (Suomen Betoniyhdistys ry 1989, 73)}$$

Kaava 5. Jänteen leikkausvoima.

Kuvassa 24 on esitetty STRAP:n ja TASSU:n jännegeometria. TASSU:n jännegeometria oletetaan ohjelman ilmoittamien 2 m:n välein kulkevien pisteiden mukaan. STRAP:ssa jänteiden geometriana on jänteiden todellinen geometria.



Kuva 24. Jännekulma.

TASSU:n kulma α otettiin jänteen geometrian pisteiden kautta kulkevan linjan mukaan ja STRAP:n leikkausvoima laskettiin todellisen kulman mukaan.

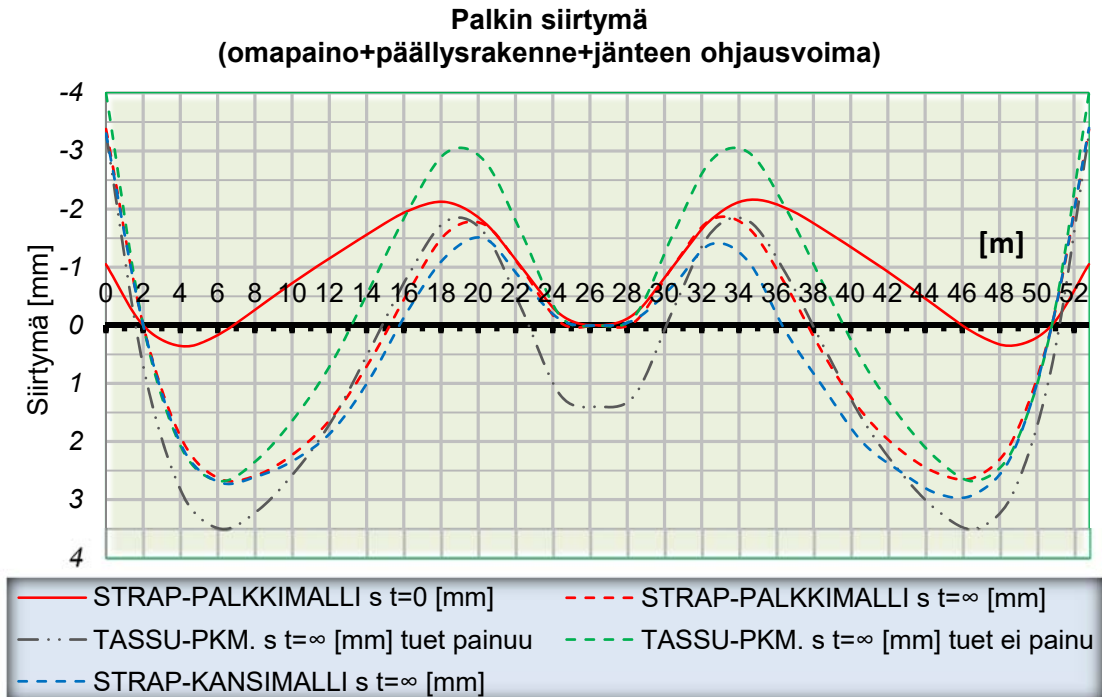
$$V_{p0, Tassu} = 15900 \text{ kN} * \sin(10,15^\circ) = 2800 \text{ kN}$$

$$V_{p0, Strap} = 15237 \text{ kN} * \sin(14,00^\circ) = 3690 \text{ kN}$$

Esitetyn mukainen käsinlaskenta voisi selittää ohjelmatuloksien eroavaisuuden. Mahdollinen selitys on, että TASSU ei löydä tarkkaa kulmaa pisteessä $x = 22,3$. Jos ohjelma löytäisi kulman $13,24^\circ$, olisi V_{pmax} tällöin TASSU:ssa 3 641 kN. Oletettua teoriaa tukee myös aiemmin opinnäytetyössä todettu seikka, että TASSU ei laske oikein mutkaisuuden määrää. STRAP:llä saatiin kulmamuuтокsien summaksi keskituella 0,79 rad ja TASSU:n vastaava luku oli 0,72 rad (käsinlaskettuna 0,81 rad). Tutkittavassa esimerkissä TASSU:n kulmamäärä oli 91 % todellisesta kulmasumman kokonaismäärästä. Käsinlaskennan perusteella todettiin, että STRAP:n määrittämä leikkausvoima on tarkka arvo ja todellinen jänteen leikkausvoima. TASSU:n määrittelemä leikkausvoima on epätarkka, ja sitä voidaan pitää jopa virheellisenä, koska leikkausvoiman tarkkuus ei ole kuorman varmuuskertoimella 0,9/ 1,1 kerrottuna oikean suuruusluokan sisäpuolella.

5.5 Taipuma

Kuviossa 10 on verrattu STRAP- ja TASSU-mallien taipumia. TASSU:n tuloksissa on esitetty vain pitkäaikainen taipuma, koska ohjelma ei laske jännittämisen jälkeistä taipumaa. STRAP-kansimallista on esitetty ainoastaan palkin jännittämisen jälkeinen taipumakuvaaja, jossa on yhdistelyä $1,0 * omapaino + 1,0 * pintarakenteet + 1,0 * jänneohjausvoima, t = 0$. Pitkäaikaisessa yhdistelyssä on huomioitu viruma ja kutistuma 2,5:n kertoimella, jolloin yhdistely on muotoa $2,5 * omapaino + 2,5 * pintarakenteet + 2,5 * jänneohjausvoima, t = \infty$. TASSU-ohjelmassa tuet ovat jousia, joille on määritetty tukijäykkyys ja tukipainuman suuruus. Jousituennan vuoksi TASSU:ssa jänne pääsee painumaan tukien kohdalla. Tukipainuma on korjattu TASSU:n tuloksiin nolaksi, koska tuet eivät voi todellisuudessa painua. TASSU:n painumattomia arvoja voitiin verrata STRAP:n taipuma-arvojen kanssa. STRAP-mallissa tuet ovat niveltukia, ja niveltukien kohdalla taipuma on 0.



Kuvio 10. Taipumavertailu.

Taipumakuvaajasta todettiin, että kentässä TASSU:n ja STRAP:n taipumat ovat samansuuruisia, eikä merkittävää eroa ole. Tuen lähellä TASSU:n taipuma on ylöspäin 1,3 mm suurempi kuin STRAP:n taipuma-arvo. TASSU:n tukialueen taipuma-arvoihin vaikuttaa jousituenta ja tukipainuma. Taipuma-arvot ovat erittäin lähellä toisiaan, ja kuvaajien muoto on sama hetkellä $t = \infty$ kaikissa malleissa. Todettiin, että 2 mm:n ero ei ole mitään kokoluokassa, jossa jänneväli on 24,4 m, ja STRAP:n taipumalaskenta on mittatarkkuudeltaan oikean rajan sisällä.

5.6 Jännitys

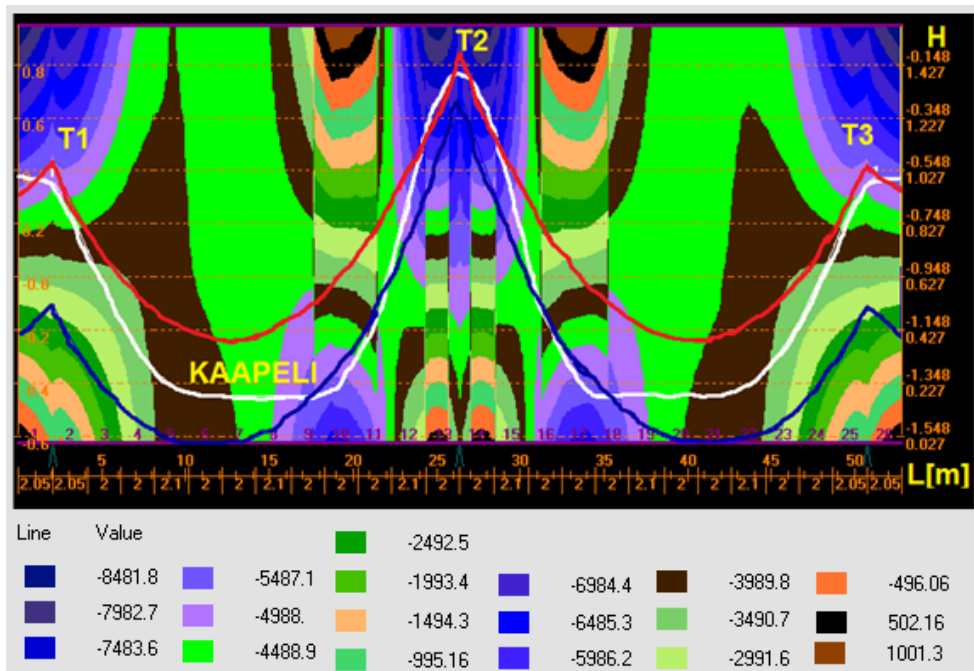
Viimeisenä vertailuasiana oli vielä palkin ylä- ja alapinnan jännitykset. Palkin jännitykset tarkastetaan siltarakenteissa pitkäaikaiselle käyttötilayhdistelylle ja sillan omapainolle. Palkin pitkäaikaisessa yhdistelyssä ei saa esiintyä betonin vetokestävyyttä suurempia vetojännityksiä, ja vedetyissä kohdissa betonin liallinen halkeilu estetään harjateräksillä. Esimerkkisillan betoni on C30/37, jonka vetokestävyys $f_{ctd} = 1,5$ Mpa. Jännityksen käsinlaskennassa on käytetty STRAP:n palkkimallin voimasuurearvoja P^∞ ja $M_{j\grave{a}nne^\infty}$.

Jännityksen laskentakaavassa P on jännevoima, A on poikkileikkauksen pinta-ala, $M_{kuormat}$ on omapainon ja ulkoisten kuormien aiheuttama taivutusmomentti, $M_{kaapeli}$ on jänneiden aiheuttama taivutusmomentti, y on laskettavan pinnan etäisyys poikkileikkauksen painopisteestä ja I on poikkileikkauksen jäyhyysmomentti.

$$\delta = \frac{P}{A} + (M_{kuormat} + M_{kaapeli}) * \frac{y}{I} \quad (\text{Atirsoft 2015})$$

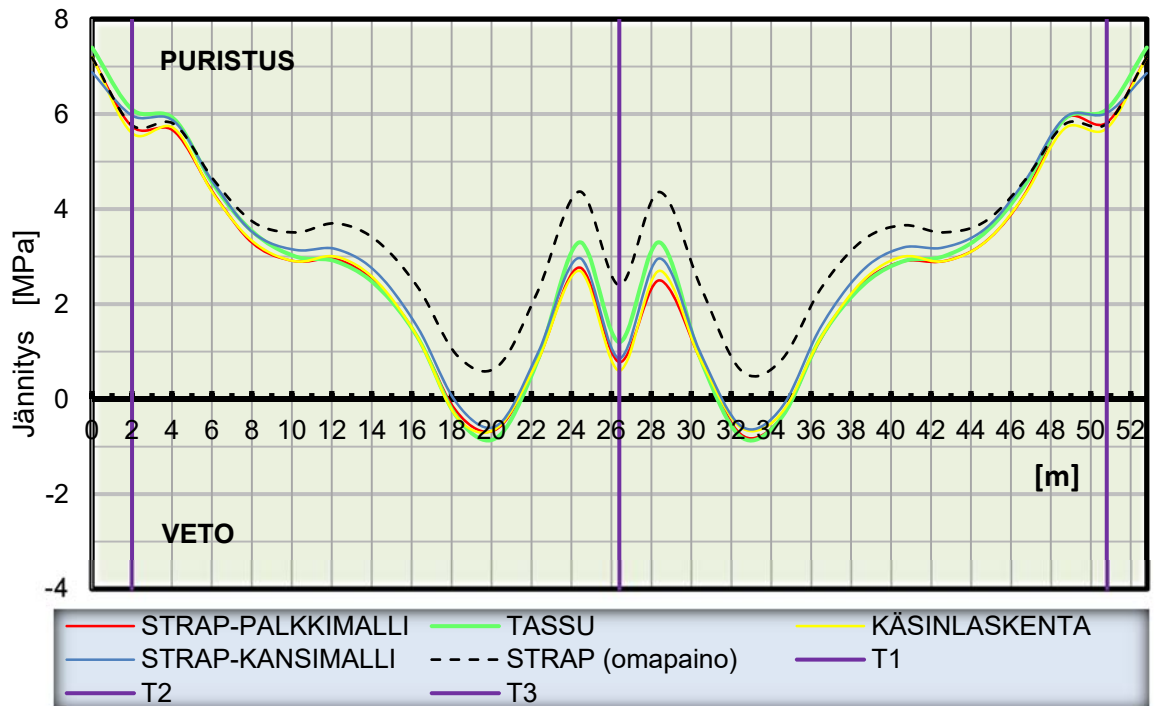
Kaava 6. Jännitys.

Kuvassa 25 on esitetty STRAP-palkkimallin jännityskuvaaja, joka auttaa jännitysyhdistelmien tarkastelemista ja oikean jännegeometrian hakemista. Kuvan 25 kontuurikuvaajasta nähdään palkin jännitys (N/mm^2) palkin eri korkeudella. Kuvaaja esittää eri yhdistelystä saadun suurimman jännityksen.



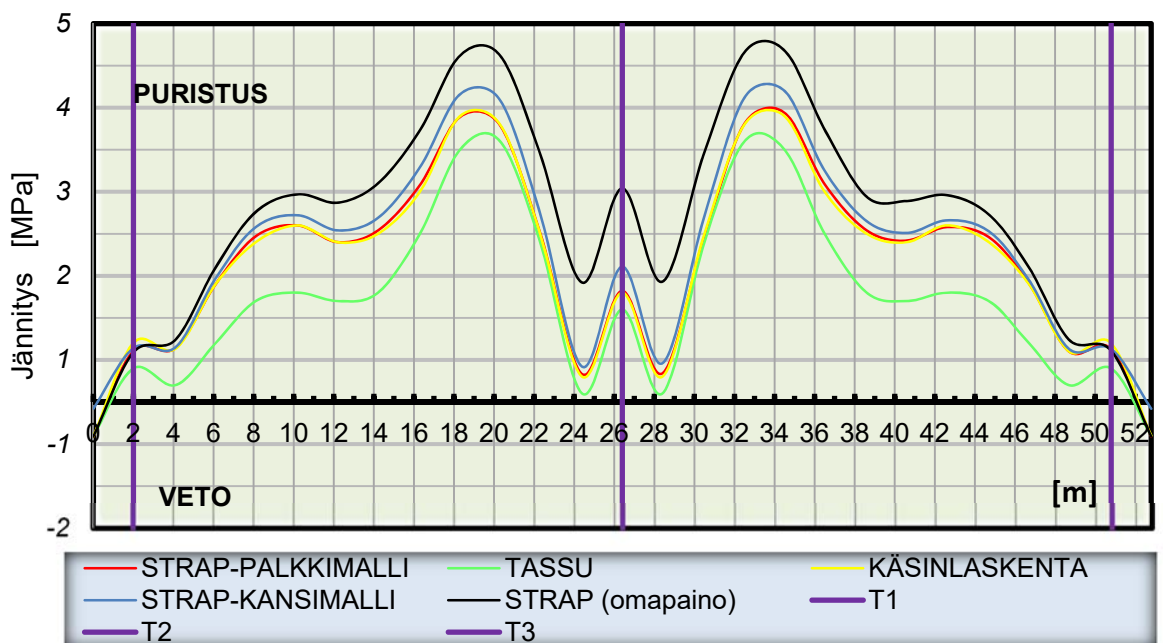
Kuva 25. Palkin jännitys.

Palkin yläpinnan jännitys, kun P^∞ ja yhdistelynä on käyttötila pitkäaikainen sekä pelkkä omapaino



Kuvio 11. Yläpinnan jännitysvertailu.

Palkin alapinnan jännitys, kun P^∞ ja yhdistelynä on käyttötila pitkäaikainen sekä pelkkä omapaino



Kuvio 12. Alapinnan jännitysvertailu.

Kuvioiden 11 ja 12 mallien eri jännityskuvaajat ovat muodoltaan samanlaisia. Palkin yläpinnan jännitystuloksissa ei ole eroja, mutta TASSU:n alapinnan jännitys eroaa STRAP:sta ja käsinlasketusta alapinnan jännityksestä. TASSU:n alapinnan jännitys erosi 0,5 MPa kohdassa $x = 13$ m verrattuna STRAP:n määrittelemään jännitykseen. TASSU:n jännevoima on 0,5 % suurempi kuin STRAP:n.

Todettiin, että STRAP:n määrittelemät jännitykset ovat tarkat, koska ne ovat yhdenmuukaisia käsinlaskennan kanssa ja TASSU:n alapinnan jännitys on epätarkka kentän alapinnassa.

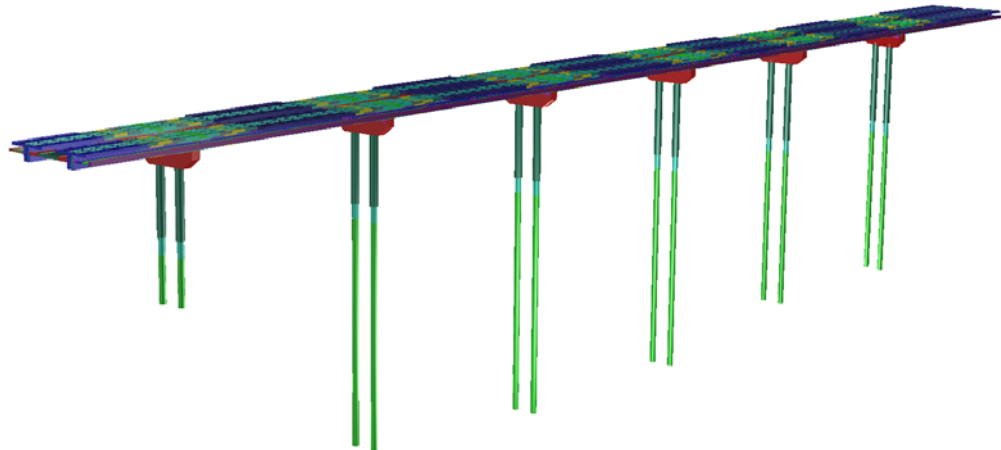
5.7 Vertailujen yhteenveto

Vertailun yhteenvetona todetaan, että STRAP:n palkkimallin ja kansimallin jännehäviöt, puristusvoima, taivutusmomentti, leikkausvoima, taipuma ja jännitysarvot ovat tarkat ja oikein. STRAP:llä voi luotettavasti ratkaista jänteiden rasiutukset. Myös TASSU:n tulokset ovat oikeanlaisia, mutta osittain epätarkkoja. TASSU:n määrittelemässä aaltoisuusluvussa, puristusvoimassa, leikkausvoimassa ja alapinnan jännityksessä on epätarkkuutta. Vertailu suoritettiin L-profiilisella poikkileikkauksella, mutta tarkistusvertailu suoritettiin myös suorakulmiolla ja T-poikkileikkauksella, koska opinnäytetyötä tehdessä havaittiin L-profiilissa virhe, jonka tuotetuki korjasi. Tästä syystä tehtiin tarkistusvertailu yleisesti käytettävillä poikkileikkauksilla, jotta voitiin varmistua, että ohjelma laskee oikein myös muilla poikkileikkauksilla. Pistoluonteisessa tarkistusvertailussa ei havaittu ongelmia (suorakulmio- ja T-tarkistusvertailuja ei ole esitetty opinnäytetyössä).

6 JÄYKKÄ TUENTA

6.1 Moniaukkoinen silta

Tässä luvussa on käyty vielä kahden vertailumallin avulla läpi STRAP:n ja TASSU:n eroja. Yhdeksi vertailumalliksi otettiin yrityksessä vuonna 2014 suunniteltu Asemapäällikönkadun silta (Insinööritoimisto Suunnittelukide Oy, henkilökohtainen tiedonanto 7.2.2014). Silta on laattapalkkisilta ja sillan pituus on 202,3 m. Kuvan 26 silta valittiin vertailtavaksi, koska ensinnäkin silta on pitkä, joka voi tuoda esille jotain uutta, ja toiseksi siltaan on kiinnitetty jäykästi alusrakenteiden pilarit, jolloin voitiin tarkastella niiden vaikutusta jänteisiin. Lisäksi vertailumallin avulla haettiin tuntumaa sille, kuinka paljon jäykkä tuenta vaikuttaa jännepunoksien rasituksiin. Sillan pilarit on perustettu porapaalujen varaan, ja siltapaikalla maa on pehmeää. Paalun ja pilarin yhteispituus vaihtelee 16...44 m.



Kuva 26. Asemapäällikönkadun sillan renderöity rakennemalli.

6.2 Moniaukkoisen sillan vertailu

Sillan pituudesta johtuen sillan vertailukaaviot on esitetty liitteessä 4 Asemapäällikönkadunsilta. Sillasta tutkittiin jänteiden aksiaalivoima, taivutusmomentti, leikkausvoima sekä palkin ylä- ja alapintojen jännitykset.

Puristusvoimakuvaajista P_0 :sta ja P_∞ :stä todettiin, että puristusvoima laskee STRAP:ssa pilarien jälkeen. Jänteet kokoonpuristavat palkkia, ja mitä kauempana pal-

kin liikekeskiöstä pilari on, sitä suurempi on kokoonpuristumisliike, ja puristusvoima pienenee sitä enemmän, mitä enemmän jänteet taivuttavat pilaria ja mitä jäykempi pilari on. Asemapäällikkönkadun sillan keskimmäisten tukien jälkeen jännevoima ei enää laske, koska ne sijaitsevat liikekeskiön lähellä. Pilarien vaikutus puristusvoimaan on pieni, koska pilarit ovat pitkiä ja liitos toimii melkein nivelliitoksen tavoin. TASSU:n vastaava kuvaaja on suurempi kuin STRAP:n pilarien kohdalla, koska rakennemallissa ei ole pilareita. TASSU:n ja STRAP:n puristusvoimakuvaajat ovat hyvin samanmuotoiset molemmissa ajanhetkillä ($t = 0$ ja $t = \infty$). STRAP:n puristusvoima on noin 5...13 % pienempi, mikä johtuu pilarien aiheuttamasta häviöstä ja STRAP:n tarkemmasta aaltoisuushäviön määrittelemisestä. STRAP huomioi jännelaskennassa kannelle päättyvien jänteiden muutososan geometrian. TASSU:n laskennassa kannelle päättyvien jänteiden vaikutus on huomioitu erillisessä laskennassa. Palkin puristusvoimakuvaajasta nähdään, kuinka STRAP:n ja TASSU:n puristusvoimakuvaajat erkanevat toisistaan eri suuntiin lähes vakiokulmassa. Erkaneminen johtuu siitä että TASSU määrittää epätarkasti kaapeleiden aaltoisuusmäärän. Kohdassa $x = 105$ m hetkellä $t = 0$ on STRAP:n puristusvoima 16 626 kN ja TASSU:n vastaava luku on 18 830 kN.

Taulukko 4. Puristusvoiman muodostuminen kohdassa $x = 105$.

STRAP:n 16 626 kN puristusvoima sisältää seuraavat häviötekijät	[kN]
Kannelle päättyvien jänteiden ankkurointigeometria	1 380
TASSU:n ja STRAP:n ohjelmaan syötetty tuen T8 geometriaero	174
TASSU:n hukka aaltoisuusmäärä (voimana)	500
Pilarien vaikutus	150
TASSU:n puristusvoima	18 830
	-1 380
	-174
	-500
	-150
yhteensä:	16 626

Taulukko 4 selitti STRAP:n ja TASSU:n ohjelmien puristusvoimakuvaajien voimaeron. Taulukon 4 häviöarvot selvitettiin siten, että mallinnettiin STRAP-ohjelmaan TASSU:n jännegeometrian, jossa jänteet tulevat lennossa mukaan läpi menevien jänteiden radalle (ei todellinen geometria). STRAP huomio laskennassa kaikki häviötekijät, ja TASSU:n lukuarvoihin huomioitiin erikseen taulukon häviötekijät.

Jänteiden taivutusmomenttikuvaajasta nähtiin, kuinka STRAP:lla laskettujen kenttien ja tukien maksimitaivutusmomentti on pienempi, koska jäykkä tuenta rajoittaa taivutusmomentin muodostumista ja TASSU:ssa on 5...13 % suurempi puristusvoima. STRAP:n ja TASSU:n pakkomomenttikuvaajat ovat samanmuotoisia ja -suuruisia.

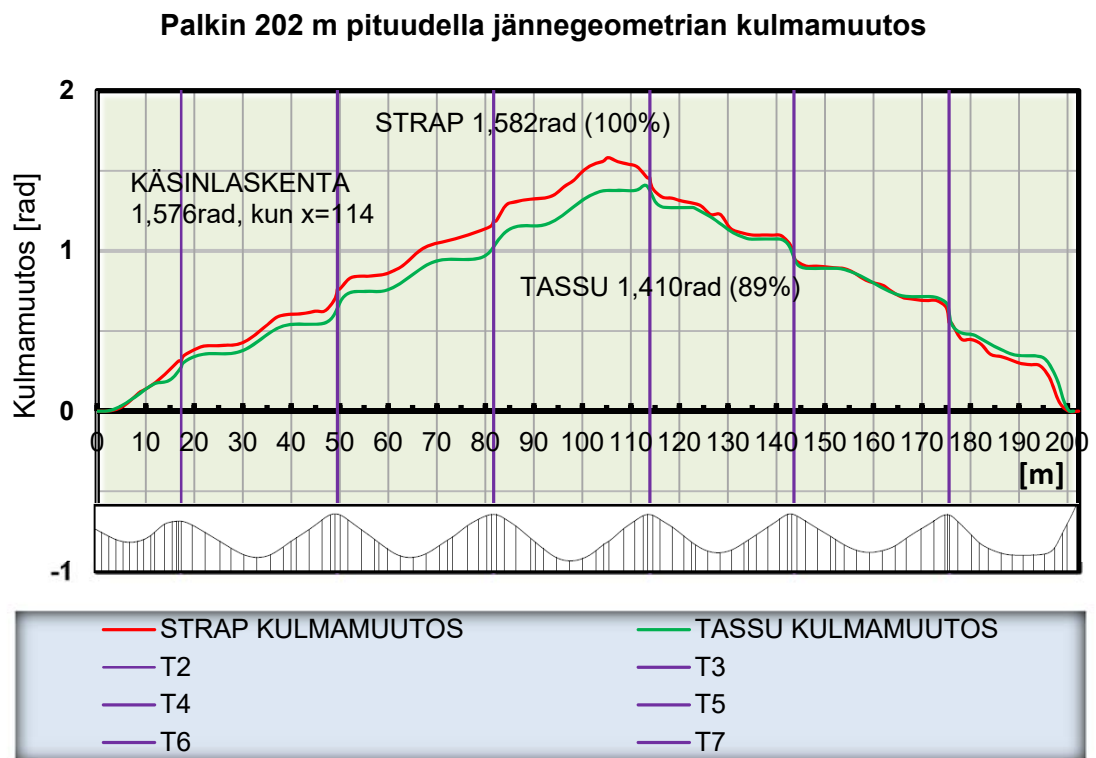
Jännityskuvaajasta nähtiin, että palkin ala- ja yläpinta pysyvät puristettuina sillan omapainolla. Palkin pitkäaikaisessa käyttötilayhdistelyssä yläpinta pysyy puristettuna ja alapinnan vetojännitykset ovat alle betonin vetokestävyyden f_{ctd} . STRAP:n jännitykset täsmäsivät käsinlaskennan kanssa. Tukien lähellä STRAP:n jännitystulokset eroavat paikoin hieman käsinlaskennasta, koska palkin leveys on muuttuva ja mallin solmujako on harvahko (2 m), minkä vuoksi käsinlaskennassa on pientä epätarkkuutta, koska kerätyt taivutusmomenttiarvot eivät ole tarkkoja. Ohjelma laskee käsinlaskentaa tarkemmin, koska se jakaa palkin sisäisesti tiheämmälle solmujaolle.

Leikkausvoimakuvaajassa STRAP:lla ja TASSU:lla on eroa hieman leikkauksen huipukohdissa. STRAP:n leikkausvoimakuvaajasta nähdään, kuinka kannelle päätetyt jänteet vaikuttavat erisuuntaisena leikkausvoimana verrattuna läpi meneviin jänteisiin. TASSU ei huomioi kannelle päättyvien jänteiden geometriaa (päätyville jänteille tehdään TASSU:lla erillinen tarkistus). TASSU olettaa kannelle päättyvien jänteiden geometrian olevan samanlainen kuin läpi menevien jänteiden geometria on. TASSU-ohjelmassa on jännevoimaa enemmän kuin STRAP-mallissa johtuen TASSU:n epätarkasta jännevoimalaskennasta ja ohjelmien erilaisista annetuista jänteiden geometriasta. Eri ohjelmien leikkausvoimakuvaajat täsmäsivät hyvin toisiinsa, koska TASSU:ssa on enemmän puristusvoimaa. TASSU:n leikkausvoimakuvaaja muodostuu siten, että ohjelma määrittää liian pienen leikkausvoima-arvon, mutta koska ohjelma ei huomioi kaikkia häviötekijöitä, leikkausvoima ylsi samaan arvoon kuin STRAP. TASSU-ohjelma määrittä teoria-arvoa pienemmän leikkausvoiman, ja toinen mallinnuksen puute (kannen jännepäät) korjasi leikkausvoima-arvon oikean suuruiseksi.

Leikkauskuvaajan viereen on tuotu jänneiden geometriakuva, josta voi verrata, kuinka lisäjänneet aiheuttavat notkahduksen leikkausvoima-arvoon. Todettiin, että STRAP:n leikkausvoiman mitoitusarvot ovat tarkkoja.

6.3 Kulmamuuutosvertailu

TASSU laskee leikkausvoiman, puristusvoiman ja kaapelin aaltoisuuden epätarkasti joissakin kohdissa. Tästä syystä päätettiin Asemapäällikönkadun sillasta tutkia vielä sillan päästä päähän kulkevan yhden jännekaapelin kulmamuuтокsien eroavaisuuksia ohjelmien välillä. Kuviossa 13 on esitetty ohjelmien määrittelemät kulmamuuтокset.



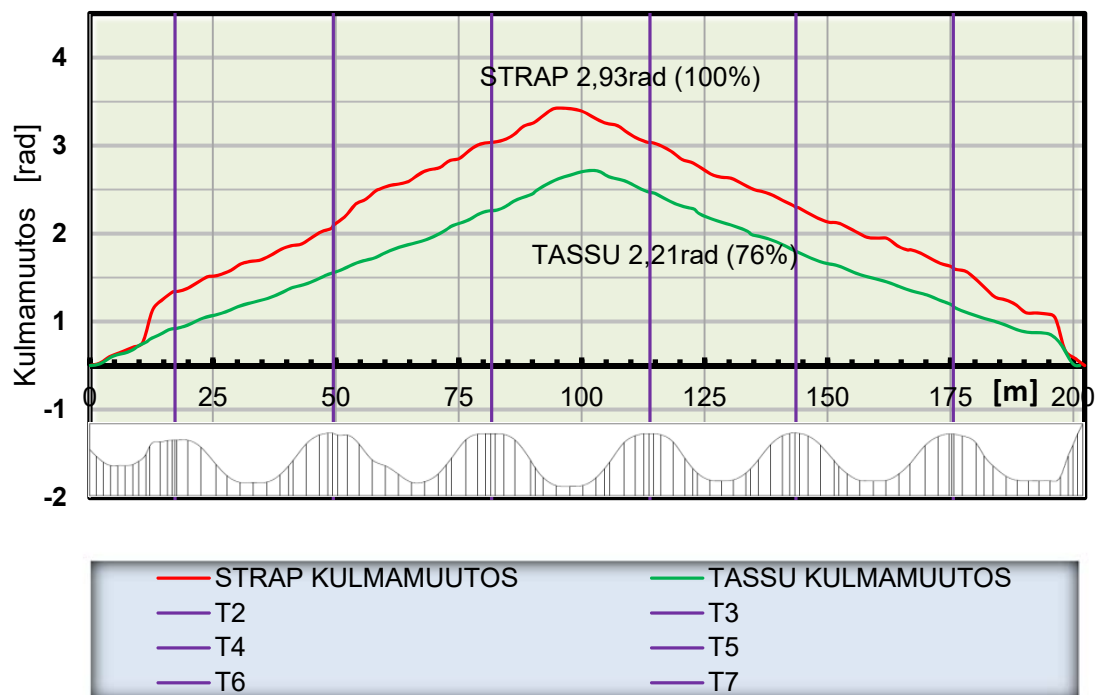
Kuvio 13. Jännekaapelin kulmamuuтокs.

Kuvion 13 alaosassa on näytetty kaapelin geometria ja geometrian alapuolella olevat pystyviivat ovat TASSU:n tarkastelupisteitä. Geometriakuva on venytetty korkeussuunnassa, jolloin kuva korostaa noin viisinkertaisesti korkeuseromuutoksia. Todellinen korkeuden ja pituuden suhde on 1:101, ja kuvan muutettu suhde on 1:18. Palkin pituus on 202,3 m ja korkeus noin 2,0 m.

Palkin keskelle siirryttäessä STRAP sai kulmamuuoksen summaksi 1,582 rad (100 %) ja TASSU:n vastaava luku oli 1,41 rad (89 %). Tarkasteltavassa tapauksessa TASSU:n määrittelemästä kulmamuuoksesta puuttuu läpimenevästä jänneestä 11 %, joka on jo merkittävä määrä. Jos palkin jännittämisvoima olisi 22 MN, palkin pituus 200 m ja todellinen kulmamäärä keskellä 1,58 rad, niin 11 % aaltoisuushäviön osuus olisi 500 kN. Todettiin, että STRAP:n kulmamuuokslaskenta on tarkka.

Ohjelmien häviölaskentaa päätettiin tutkia vielä siten, että tehtiin testiluontoinen jännegeometria, jossa jännegeometriassa on tiukkoja kaarteita. Kaarteet ovat kuitenkin sellaisia, joihin jännekaapeli voidaan vielä asentaa. Tällä testauksella tutkitaan kuinka ohjelmat tunnistavat nopeasti muuttuvan geometria. Kuviossa 14 on esitetty testin kulmamuuokslaskenta ohjelmittain.

Testipalkin 202 m pituudella jännegeometrian kulmamuuotos



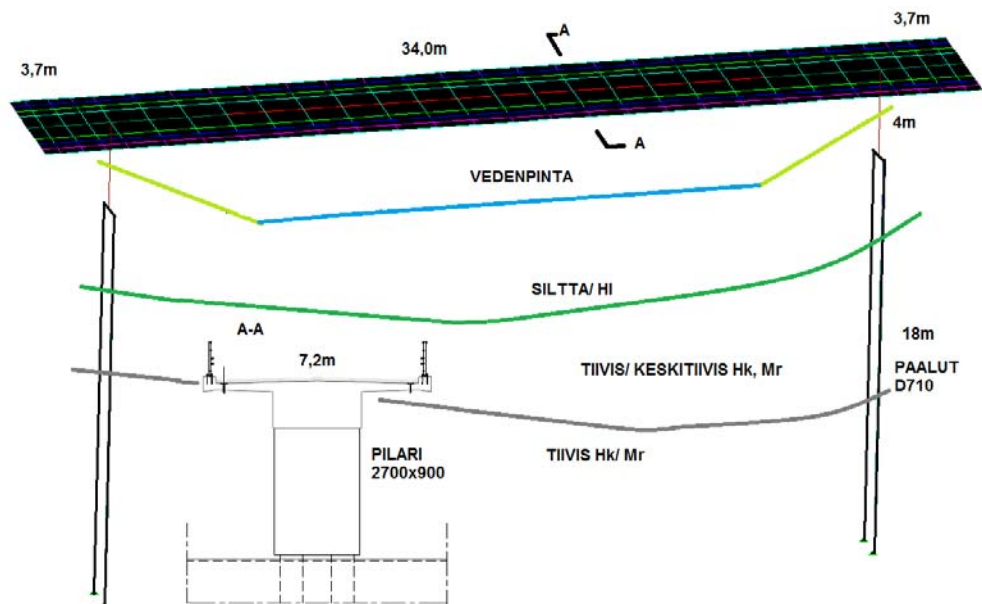
Kuvio 14 Testi jännekaapelin kulmamuuotos.

Kuviosta 14 havaittiin, kuinka kuvion vasemmalla ja oikealla reunalla STRAP-ohjelma huomio jännekaapelin kulmamuuoksen, mutta TASSU-ohjelma ei havainnut vasemmanpuoleista tiukkaa kaarretta ja oikeanpuoleisesta kaarteesta TASSU huomioi osan. Testikulmamuuokslaskennassa TASSU ei huomioinut 24 % jännekaapelin kulmamää-

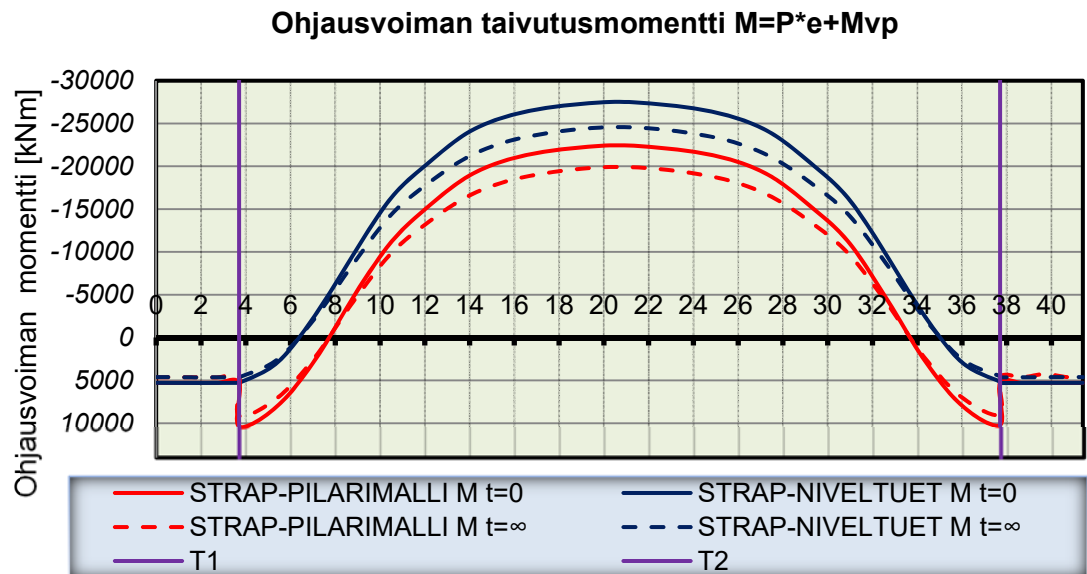
rästä. Kuvion 13 kulmamäärän laskennassa TASSU ei huomionnut 11 % todellisesta kulmamäärästä. Havaintojen perusteella todetaan, että TASSU:n kulmamäärälaskennan tarkkuus on riippuvainen jännekaapelin geometriasta. Mitä enemmän jännegeometriassa on tiukkoja kaarteita, sitä enemmän TASSU:n kulmamuuotoslaskennassa on heittoa todelliseen kulmamäärään nähden.

6.4 Ulokkeellinen yksiaukkoinen silta

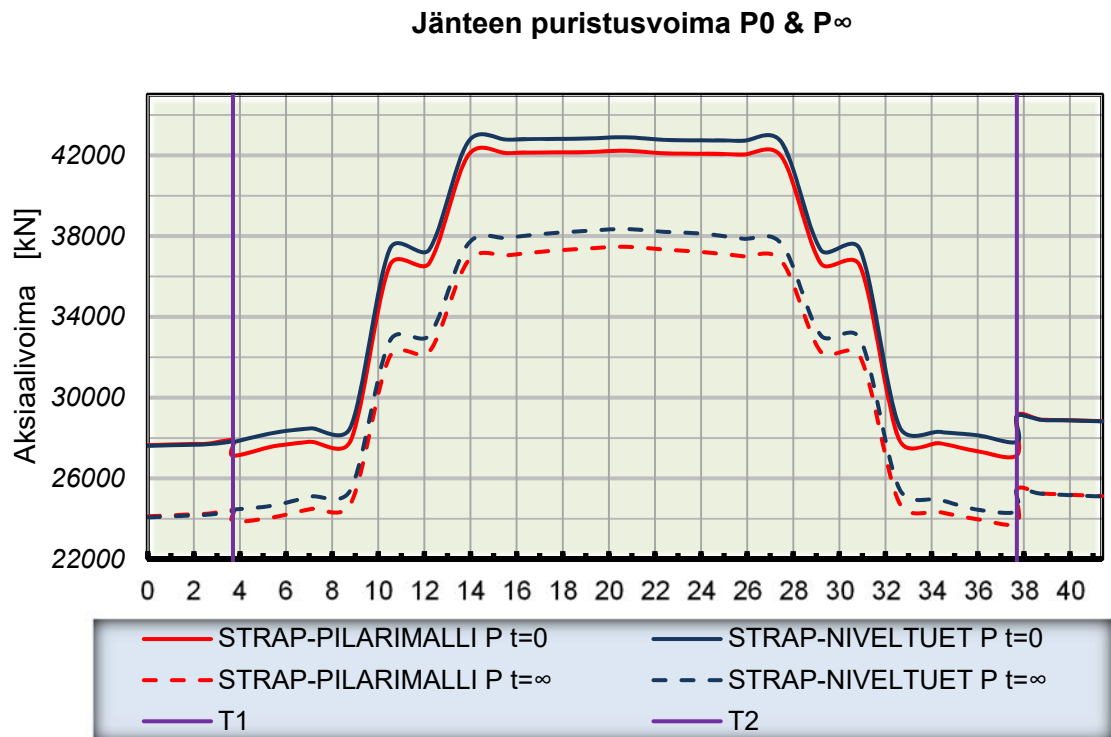
Toiseksi tuentatavan vertailumalliksi valittiin yrityksessä suunniteltava ulokkeellinen yksiaukkoinen silta (Insinööritoimisto Suunnittelukide Oy, henkilökohtainen tiedonanto 10.12.2015). Sillan jänneväli on $3,7 + 34,0 + 3,7$ m, ja sillan massiiviset pilarit kiinnittyvät jäykästi palkkiin. Tämä malli valittiin vertailtavaksi yksiaukkoisuuden vuoksi, koska yksiaukkoisessa sillassa ei ole tasapainottavia toisia aukkoja, jolloin tuentatapa vaikuttaa paljon taivutusmomentin rasituksiin. Kuvassa 27 on esitetty sillan pohjaolosuhteet. Sillan tuennan merkityksen vertailu toteutetaan vertailemalla STRAP-pilarimallia ja STRAP-mallia, jossa pilarit on korvattu niveltuilla, mikä vastaa TASSU:n rakennemallia. TASSU:n ja STRAP:n tulokset ovat lähes samanlaisia, kun tuenta on nivelellinen.



Kuva 27. Yksiaukkoinen silta.



Kuvio 15. Ohjausvoiman taivutusmomentti.



Kuvio 16. Jänteen puristusvoima.

6.5 Yksiaukkoisen sillan vertailu

Saadut vertailukuviot 15 ja 16 havainnollistivat, kuinka pilarit vaikuttavat palkin rasitukseen. Kanteen kiinnittyvät pilarit pienentävät jänneiden taivutusmomentin rasitusta noin 3 000 kNm enemmän kuin niveltuet, ja jäykkä kiinnitys aiheuttaa noin 600 kN:n jännevoimahäviön. TASSU:lla tämän kaltaisen sillan mitoittamisessa pitää ensin selvittää STRAP:n avulla jänneiden kokoonpuristumista vastaava lämpötilakuorma. TASSU:n taipuma-arvojen perusteella selvitetään jännegeometrian aiheuttama pilarin ja palkin liitossolmun kiertymä, jolloin saadaan pilareille jänneiden aiheuttama taivutusmomentin rasitus. Kiertymän suuruuden määrittäminen TASSU:sta on vähän epätarkkaa, koska niveltuettu palkki kiertyy enemmän kuin jäykästi tuettu palkki, mutta todellisuutta suuremmalla kiertymällä määritettynä laskenta on turvallisen rajan sisäpuolella. Kun tiedetään pilarin taivutusmomentti, tulee tämä taivutusmomentti vähentää TASSU:n jänneiden taivutusmomenttirasituksesta. Jänneiden aiheuttamasta pilarin taivutusmomentista voidaan laskea pilarien aiheuttama jännevoimahäviö. Pilarien aiheuttama jännevoimahäviö vähennetään TASSU:n puristusrasituksista. Jäykän tuen ja niveltuettun palkin taivutusmomenttien suhteella voidaan selvittää jäykästi tuetun palkin jänneiden pakkomomentti. Edellä esitetyllä tavalla tehtynä päästään tarpeeksi tarkkaan lopputulokseen, mutta se vaati suunnittelijalta ylimääräistä aikaa ja huomattavasti enemmän ymmärrystä rakenteen statiikasta kuin että tulokset voidaan vain lukea suoraan yhdestä ohjelmasta.

7 HALKEILURAJATILA

Jännitettyjen rakenteiden mitoittamisesta on määrätty ohjeet siitä, kuinka suuri betonin halkeamaleveys saa olla käyttörajatilassa. STRAP-ohjelma laskee poikkileikkaukselle halkeilumomentin M_{cr} , jonka avulla jännegeometriaa määriteltäessä nähdään, halkeako poikkileikkaus käyttörajatilassa. Käyttörajatilan omapainon (pois luettuna jännepunoksien rasitukset) ja ulkoisten kuormien aiheuttaman taivutusmomentin ylittäessä M_{cr} -momentin, tulee poikkileikkauksen halkeamaleveys laskea ohjeisiin perustuvalla käsinlaskennalla (Excel-taulukkolaskentaohjelmalla), jonka avulla määritetään tarvittavat vetoteräksset. Ohjelman laskema halkeilumomentti M_{cr} sisältää jänteiden aiheuttaman taivutusmomentin, ja ohjelman määrittelemä halkeilumomentti on ulkoisten kuormien sallittu taivutusmomenttikapasiteetti halkeilemattomalle rakenteelle.

$$M_{cr} = W_{full} * f_{ctm} + M_o, \text{ (STRAP 2015)}$$

Kaava 7. Halkeilumomentti.

$$M_o = 0,90\sigma_{pty} * W_{full} \text{ (sidottu punos)}, \text{ (EU EN1992 – 1 – 1 2004, 81)}$$

Kaava 8. Nollavenymämomentti.

W_{full} = poikkileikkauksen taivutusvastus painopisteen suhteen (I/y), f_{ctm} = betonin vetokestävyys ja s_{pty} =jännepunoksien aiheuttama jännitys vedetyssä pinnassa (EU EN1992-1-1 2004, 81).

STRAP:n määrittelemä betonin taivutusmomenttikapasiteetti halkeilulle on tarkistettu liitteessä 5 siten, että betonin halkeaman laskentaohjelmalla on laskettu STRAP:n halkeilumomenttia vastaava halkeamaleveys. Taulukkolaskentaohjelman halkeilumomenttiin on huomioitu jänteiden aiheuttama pakkomomentti, koska taulukkolaskentaohjelma ei sitä tiedä muuten. Saatujen tuloksien perusteella havaittiin halkeamaleveyden olevan lähellä nolaa ja todettiin, että ohjelman määrittelemä halkeamamomentti on oikein. STRAP:lla voi tarkastella eri käyttörajatilojen jännityksiä, ja tarkastelemalla ominaiskäyttörajatilan jännityksiä nähdään, ylittyykö betonin puristusjännitys f_{cd} , jolloin poikkileikkaukseen tulee lisätä puristusteräksiä estämään puristumurtuma.

8 UUSI LASKENTATAPA

Opeteltu ohjelman sovellusosa on osoittautunut toimivaksi, ja sen avulla pystytään laskemaan tarkemmin erilaisia rakenteita. Suurin etu saavutetaan siinä, kun TASSU:n jännelaskenta vaihdetaan STRAP:n jännelaskentaan, milloin samassa ohjelmassa pystytään tekemään voimasuureiden yhdistelyt. STRAP:sta saadaan valmiita mitoituskuvaajia suoraan. Lisäksi TASSU:ssa ei ole eurokoodin mukaista yhdistelyä, eikä kaikkia kuormia, jolloin palkin yläpinnan ja alapinnan jännitystarkastelu on suoritettu Excel - taulukoilla. STRAP:ssa on kaikki kuormat, ja yhdistelmien jännitykset saadaan suoraan ohjelmasta. Taulukossa 5 on esitetty arvio siitä, kuinka paljon aikaa kuluu jänteiden vaikutuksen sisältävien voimasuurekuvaajien tekemiseen vanhalla ja uudella tavalla, kun palkin pituus on 50 m.

Taulukko 5. Laskenta-ajat.

Arvio jänteiden vaikutuksien määrittämisestä 50m pituiselle palkille Tassulla ja Strapilla	TASSU	STRAP
	[h]	[h]
Tassun rakennemallin määrittäykset	3	0
Strapin jänneosion määrittäykset	0	1
jännegeometrian määrittäminen	7,5	7,5
Md kuvaajaan piirtäminen	3	0
Mktlo kuvaajan piirtäminen	3	0
Mkltl kuvaajan piirtäminen	3	0
Mktp kuvaajan piirtäminen	3	0
Momt kuvaajan piirtäminen	3	0
Vd kuvaajan piirtäminen	7,5	0
ohjausvoiman määrittäminen alusrakennemalliin	4	0
ohjausvoiman määrittäminen kansimalliin	2	0
jänteiden kokoonpuristuminen lämpötilakuormalla	1	0
jännityslaskenta excel-taulukot	15	0,5
pakkomomentin määrittäminen	0	2
yhteensä:	55	11

Tuntiarvion mukaan sillan laskenta-aikaa säästetään uudella laskentatavalla 50 m:n pituisella sillalla 44 h, 100 m:n sillalla 88 h ja 200 m:n pituisella sillalla 176 h.

Yrityksessä suunnitellaan vuodessa noin 2...4 kpl keskipitkiä jännitettyjä siltoja, mikä tarkoittaa yhteensä noin 150 m jännitettyä palkkia/vuosi. Jos suunnittelijan veloitusarvo on 70 €/h, niin uudella laskentatavalla rahallinen säästö on vuodessa $44 \text{ h} / 50 \text{ m} * 150 \text{ m} * 70 \text{ €/h} = 9\,240 \text{ €}$ ja 10 vuodessa 92 400 €.

Lisäksi uudella ohjelmalla voi tarkistaa, halkeako betonipoikkileikkaus käyttörajatilassa. Vanhassa laskentatavassa tarkasteltiin noin 2 m:n välein poikkileikkauksen halkeaminen ja halkeamaleveys käsinlaskennan avulla. Oletetaan, että 50 m:n pituisesta palkista tarkistetaan 34 m:n matkalta alapinnan halkeamaleveys ja 16 m:n matkalta tarkistetaan palkin yläpinnan halkeamaleveys, mikä tarkoittaa $34/2+16/2=25$ kpl Excel-taulukkolaskentasisivujen laatimista. Yhden laskentasisivun tietojen keräämiseen ja laatimiseen kuluu noin 20 min (0,3 h) aikaa. Yhteensä 25 kpl käyttörajatilan laskentasisivun laatimiseen kuluu aikaa $25*0,3=7,5$ h ja noin 80 %:ssa laskentasisivuissa betoni ei halkea, jolloin STRAP:illa säästetty aika on $0,8*7,5 \text{ h} = 6,0 \text{ h} / 50 \text{ m}$. Vuotuisella tasolla säästettävä rahamäärä on $6,0 \text{ h} / 50 \text{ m} * 150 \text{ m} * 70 \text{ €/h} = 2\,700 \text{ €}$. Todellisuudessa säästöt ovat vielä suurempia, koska jännegeometriaa laadittaessa nähdään, jo halkeileeko betoni käyttörajatilan rasituksilla. Jännegeometrian laatimisessa on mahdollista hakea sellainen jännegeometria, jossa betoni ei halkea. Vanhassa laskentatavassa jouduttiin välillä tarkistamaan halkeamaleveys erillisellä laskentasisivulla ja muuttamaan jännegeometriaa, jos geometria ei ollut toimiva. Tämä aiheutti sen, että osa palkin kohdista jouduttiin mitoittamaan useaan kertaan.

Uusi laskentatapa säästää huomattavasti aikaa, mutta lisäksi uusi laskenta on tarkempi ja vähemmän virhealtis kuin vanha laskentatapa. Uusi laskentatapa on tarkempi, koska sillä voidaan huomioida alusrakenteet todellisen kiinnityksen mukaan ilman rajoituksia, ohjelma tekee valmiiksi yhdistelyt ja jännityslaskelmat, jolloin tuloksissa ei ole käsin teon ja viivoittimella lukemisen aiheuttamaa heittoa. Lisäksi uudella laskentatavalla laskenta tarkentuu, koska pienellä vaivalla voidaan tarkastella helposti jänteiden aiheuttamia rasituksia eri ajan hetkillä ($t_0 - t_\infty$), kun vanhassa laskentatavassa luettiin lähinnä maksimiarvoja, joita käytettiin kaikissa ajanhetkissä. Uusi laskentatapa on vähemmän virhealtis. Uudessa laskentatavassa ei tarvitse suorittaa jännerasituksien käsin lisäilyä voimasuurekuvaajiin, eikä tarvitse laskea jännityksiä Excel-taulukoilla. Taulukoihin kerätään paljon eri tietoja, jolloin on mahdollista, että jokin luku tulee kirjattua väärin. STRAP:ssa jännegeometrian laatiminen on vaivatonta ja opetellun ohjelman avulla on helpompi löytää toimivampi jännegeometria kuin TASSU:lla, koska ohjelma ehdottaa ja tarjoaa optimaalisinta jänteen kulkua, mutta sen lisäksi sillä pystytään

muuttamaan jännegeometriaa ja tarkastelemaan heti geometrian muutoksesta aiheutuneita rasituksia. Halkeilumomentin laskennan avulla betonipoikkileikkauksen laatu paranee käytännössä, koska pystytään suunnittelemaan vaivattomasti vähemmän halkeileva rakenne.

STRAP-ohjelma mahdollistaa nopean ja yksinkertaisen jännepunoksien tarkistustelmän. Vanhassa laskentatavassa jännekaapelit kulkevat kaapeleiden jännegeometrian keskiarvon linjassa. STRAP:lla määritetään kaapelit samalla tavalla kuin TASSU:ssa, kun haetaan oikea jänteiden määrä ja geometria. Kun jännepiirustus on laadittu ja piirustukseen on piirretty jänteet omille paikoilleen, pystytään AutoCAD-tiedostosta tuomaan jänteet STRAP-malliin, jolloin jänteet ovat todellisilla linjoillaan. Näin voidaan varmistaa, että piirretty geometria vastaa laskennassa käytettyä geometriaa tai jatketaan laskentaa todellisen jännegeometrian mallintamisen jälkeen. Yrityssuunnittelussa tapahtuu aina välillä suunnitteluvirheitä ja tiedetään, että suunnittelutyössä on tapahtunut tilanne, jossa suunniteltu jännegeometria on muuttunut jännepiirustuksen laatimisen yhteydessä, jolloin voimasuureet eivät ole vastanneet laskentaa. Edellä kerrotulla varmistustavalla voidaan tällaisen virheen mahdollisuus karsia pois ja parannetaan suunnittelun turvallisuutta. Kukaan ei tee virheettömiä suunnitelmia, ja tästä syystä suunnittelussa on olemassa varmuuskertoimet, jotka sallivat tietyissä rajoissa olevat virheet. Virheistä ei saa lannistua, vaan niistä pitää ottaa opiksi ja pyrkiä kehittämään toimintaa niiden pohjalta. Opittu virhe on paras tapa oppia parantamaan turvallisuutta.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA TOIMENPITEET

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten käytössä olevalla STRAP FEM-ohjelmalla voi mallintaa jänteitä. Tutkimustyön lopputuloksena saatiin, että jännitetyjä rakenteita voidaan mitoittaa ohjelmalla. Tulokset on käyty läpi vertailun avulla. Vertailun avulla löydettiin sekä STRAP:sta että TASSU -ohjelmasta virheitä. STRAP-ohjelman virheet ilmoitettiin ohjelmiston laatijalle, joka korjasi ohjelman virheet. Opinnäytetyön tuloksena saatiin kehitettyä FEM-ohjelmaa korjaamalla siitä koodivirheitä pois. TASSU-ohjelman tiedostamaton virheellinen leikkausvoima- ja aaltoisuuslaskenta tuotiin yrityksen käyttäjien tietoisuuteen. TASSU-ohjelman kehitys on lopetettu, eikä ohjelmaa päivitetä enää. Lisäksi opinnäytetyötä tehdessä kehityttiin jännepunoksien suunnittelemisessa ja koetaan arvokkaaksi asiaksi.

Opinnäytetyön avulla opittiin jännitetyjen rakenteiden teoriaa, mutta sen lisäksi työ kehitti tekijän englannin kielen taitoa ja ongelmanratkaisukykyä. Englannin kieli kehittyi lukuisten ohjelmiston laatijan kanssa käytyjen viestien avulla sekä lukemalla ohjelman englanninkielistä manuaalia ja opettelemalla käyttämään englanninkielistä ohjelmaa. Ohjelman käytön opetteluun yhteydessä vastaan tuli uusia rakennusalan sanoja, jotka on rakennusalan ammattilaisen hyödyllistä osata.

STRAP-ohjelmalla pystytään laskemaan luotettavasti eri tavalla tuettuja palkkeja, ja yrityksen laskentamallit ovat jatkossa todellisten rakenteiden mukaisia. Mallinnuksessa otetaan huomioon jatkossa pilarien vaikutus rakenteeseen ja leikkausvoima sekä puristusvoima saadaan laskettua STRAP-ohjelman avulla tarkemmin. Uuden ohjelman avulla pystytään lisäksi mallintamaan haastavia monimuotoisia rakenteita, joita ei voitu mallintaa ennen vanhalla ohjelmalla. Haastava rakenne voisi olla esimerkiksi ristiin jännitetty betonilaatta, jännitetty kotelopalkki ja jännitetty komposiittirakenne.

FEM-ohjelmalla pystytään tekemään palkin eri yhdistelyjen jännitystarkastelut, eikä erillistä Excel-taulukkolaskentaa tarvitse enää tehdä. Kuormitusyhdistelyjen lopulliset rasituskuvaajat saadaan tulostettua ohjelmasta, eikä käsin yhdistelyä tarvitse enää tehdä. Yrityksen laskenta-aikaa säästetään tulevaisuudessa, koska ylimääräinen käsinlaskenta jää vähemmälle. Opinnäytetyön liitteessä 1 on esitetty ohjeistus jänteiden määrittämisestä ohjelmaan. Ohjeistus antaa hyvän lähtökohdan ohjelman jänneosion opettelulle yrityksen muille työntekijöille.

Monella asialla on kriittiset hetket oppimisen ja kehittymisen yhteydessä. Myös tällä opinnäytetyöllä oli vaikeat hetkensä. Opinnäytetyön eteneminen pysähtyi useammaksi kuukaudeksi, koska ohjelma laski virheellisesti, eikä ohjelmiston laatija ymmärtänyt olevansa väärässä. Ongelma ratkesi vasta, kun teoria oli useaan kertaan esitetty ohjelmiston tekijälle. Ongelman ylitse pääseminen vaati sinnikkyyttä ja opetti sen, että tuloksien oikeellisuus tuli aina varmistaa ristiriitaisissa tilanteissa käsinlaskennalla tai muulla kolmannella tavalla, jota sovellettiin myös myöhemmin opinnäytetyön muissa epäselvissä kohdissa.

Opinnäytetyön eri kokonaisuuksiin käytetyt ajat ja käytetty kokonaisu aika:

1. *STRAP-ohjelman jänneosion käytön opettelu, koodivirheiden oikaisu ja käyttöopasteen laatiminen 170h.*
2. *Siltojen rakennemallien ja vertailukaavioiden teko 340 h.*
3. *Opinnäytetyön tekstiosan laatiminen 250 h.*
4. *Ajatustyö ja jännitettyjen rakenteiden itseopiskelu 100 h.*

Yhteensä: 860 h (30.5.2015-13.6.2016)

10 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä saavutettiin sille asetetut tavoitteet. Ratkaistiin FEM-ohjelman avulla jännitettyjen rakenteiden rasi-tukset, selvitettiin kuinka hyödyllinen ohjelma on työkäytössä ja kuinka uusi laskentatapa vaikuttaa kustannuksiin ja suunnittelun laatuun. Lopputuloksena saatiin, että uuden ohjelman avulla pystytään laskemaan suunnittelukustannuksia. Uusi laskentatapa on tarkempi kuin vanha, minkä seurauksena suunnittelun laatu parani.

Opinnäytetyö toi esille modernin suunnittelun vaarat ja vanhan laskennan karkeuden. Modernin suunnittelun vaarana on, että ohjelmat laskevat virheellisesti, eikä käyttäjä tiedosta ohjelmavirhettä. Vertailutyössä kävi ilmi myös se tosiasia, että vanha laskentaohjelma on paikoin epätarkka, mikä voi johtaa virheelliseen suunnitteluun. Uuden ja vanhan ohjelman lopputuloksena todettiin, että nykyaikainen FEM-mallinnusohjelma laskee tarkasti ja sillä on helpompaa mitoittaa vaikeita rakenteita kuin TASSU:n kaltaisella numereellisella ohjelmalla. Uudesta ohjelmasta on lisäksi helpompi havaita mallinnusvirheet ja ohjelman tekemät laskentavirheet, koska tuloksia voidaan tarkastella kuvaajien avulla.

TASSU on 80-luvun ja Nokia-puhelimien kulta-aikoina ollut ymmärrettävästi hyvä ohjelma, koska sillä on voitu mitoittaa jännitetyjä rakenteita käsinlaskentaa nopeammin. Ohjelman ilmainen saatavuus on mahdollistanut ohjelman käytön monissa yrityksissä. Elementtilaskentaohjelmat ovat olleet vielä 90-luvulla kalliita ja kankeita käyttää johtuen tietokoneiden alhaisesta kapasiteetista. 2000-luvulle siirryttäessä tietokoneet ovat saavuttaneet riittävän kehitystason ja ohjelmien hinnat ovat laskeneet ohjelmistojen välisen kilpailun myötä. TASSU-ohjelman todettiin 2010-luvulla jääneen vanhahtavaksi ohjelmaksi, joka korvataan 3D-pohjaisella laskentaohjelmalla. TASSU kuuluu Suomen silta-suunnittelun historiaan ja on oman aikakautensa ohjelma. Katukuvasta on poistunut suurimmaksi osaksi klassiset Nokian näppäinpuhelimet. Saman aikakauden TASSU-ohjelma on enää harvassa suunnittelutoimistossa käytössä eikä se kuulu enää suunnittelutyön modernien työkalujen joukkoon. FEM-ohjelmalla laskeminen on modernia vuonna 2016. Opinnäytetyön tekeminen oli kuin rekan ajaminen myrskyssä, joka lopulta pääsi ehjänä perille.

There's a way to do it better – find it (Thomas A. Edison)



Kuva 28. Työn hengennostatus mielikuva (BIGTRUCKDRIVINGJOBS 2016).

LÄHTEET

Atirsoft 2015, STRAP-ohjelman ohjekirja.

Atirsoft 2016. About us. Viitattu 19.3.2016 www.atirsoft.com/webportal/node/55.

BIGTRUCKDRIVINGJOBS 2016. Opinnäytetyön hengennostatus mielikuva. Viitattu 26.4.2016 http://www.bigtruckdrivingjobs.com/trucking_resources/trucking_pictures/Peterbilt.html.

Bijan, O. 1994. Unbonded and Bonded Post-Tensioning Systems in Building Construction A Design and Performance Review, Arizona. Viitattu 17.1.2016 <http://www.post-tensioning.org/Uploads/technote5.pdf>.

Dywidag 2016. Bonded Post-Tensioning Systems using Strands. Viitattu 19.3.2016 www.dywidag-systems.com/uploads/media/DYWIDAG-Bonded-Post-Tensioning-Systems-using-Strands-EU.pdf Dywidag Bonded Post-Tensioning Systems using Strands.

EU EN1992-1-1 2004. European standard Eurocode 2 Bryssel.

Federal Highway Administration 2016. US Department of Transportation. Dywidag-System International Figure 2. Photo. Viitattu 15.1.2016 www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/bridge/13028.

Kaasalainen 2014. Mervi Kaasalainen Siuronkosken ratasillan valokuva. Viitattu 24.4.2016 <http://kuvakisa.ning.com/photo/siuronkosken-ratasilta>.

Liikennevirasto NCCI 1 2014. Eurokoodien soveltamisohje Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet - NCCI 1, Helsinki (5.9.2014, 24.2014 Liikenneviraston ohjeita).

Liikennevirasto NCCI 2 2014. Eurokoodien soveltamisohje Betonirakenteiden suunnittelu - NCCI2, Helsinki (16.9.2014, 25.2014 Liikenneviraston ohjeita).

Liikennevirasto NCCI 7 2013, Eurokoodin soveltamisohje Geotekninen suunnittelu (siltojen ja pohjarakenteiden suunnitteluohjeet) – NCCI 7, Helsinki (11.7.2013, 35.2013 Liikenneviraston ohjeita).

Liikennevirasto 2016. Liikenneviraston toiminta. Viitattu 29.04.2016 <http://www.liikennevirasto.fi/liikenneverkko>.

Lähteenmäki 2016. Matti Lähteenmäki Elementtimenetelmän perusteet. Viitattu 19.3.2016 http://personal.inet.fi/koti/mlahteen/arkistot/elpe_pdf/johdanto.pdf.

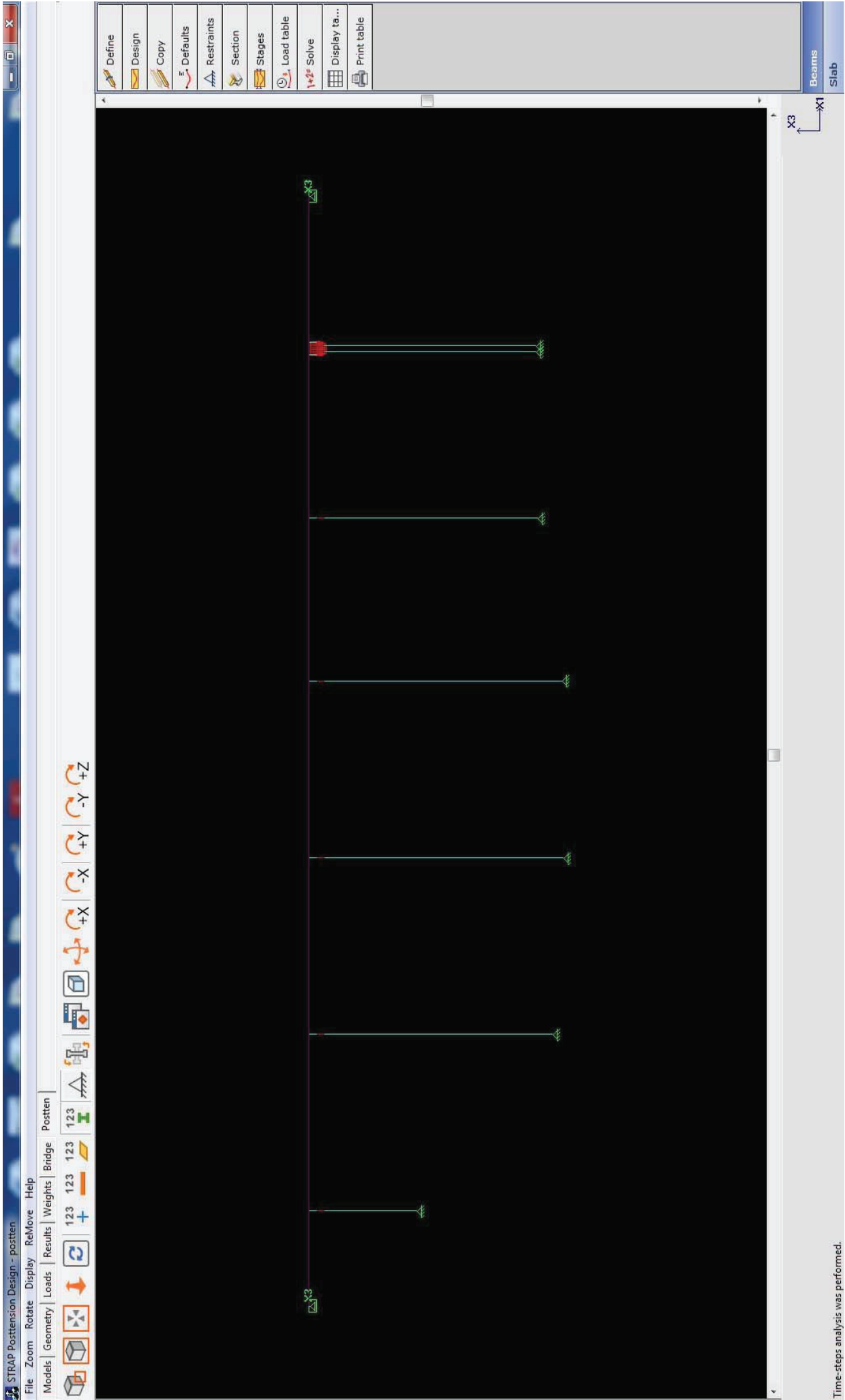
Palosaari 1980-luku. Palosaari Toivon RS03 jännebetonipalkki ohjelman ohjekirja.

Suomen Betoniyhdistys ry 1989. Jännebetonirakenteiden mekaniikka ja mitoitus. Helsinki Suomen Betonitieto Oy.

Tammertekniikka 2002, Tekniikan kaavasto. Työryhmä: Mikko Mäkelä, Lauri Soininen, Seppo Tuomola ja Juhani Öistämö.

Youtube 2016. Post Tensioned Box Girder Bridge - midas Civil Online Training. Viitattu 19.03.2016 <https://www.youtube.com/watch?v=4fP5M1LRHRQ>.

Seuraavassa listassa on esitetty ohjelmaan annetut jännelaskennan tiedot annettavassa järjestyksessä. Liitteessä 1 on esitetty jänneosion kaikki välilehdet ja kuviin on lisätty listanumero. Suluissa on esitetty esimerkki lukuarvo.			
1	Valitse mitoitusstandardi (Eurokoodi).	28	Määritä punostyyppin teräspinta-ala (1,5cm ²) ja jänneteräksen maksimi 0,1-raja (fp0,1k=1560).
2	Määritä palkin korkeus akseli (X3).	29	Määritä ohjelmaan halutut ajanhetket, joille lasketaan jännepunoksien rasitukset (0, 30, 60, 120, 365, 730, 30000 d).
3	Määritä palkin leikkausvoimametri (lasketaan 45° leikkauskulmalla).	30	Komposiittipalkkien määrityksillä ei ole nyt merkitystä, koska rakenne ei sisällä eri osia.
4	Määritä palkin maksimitaivutuskapasiteetin Mu laskennassa huomioitavat seikat (sisällytetään kaapelin alkuperäiseen venymään betonin paineen alenemisesta johtuva venyminen/ sisällytetään esijännitys taivutus P*(e)+Mvp Mu taivutuskapasiteetin laskentaan/ määritykset eivät vaikuta rasituskuvaajiin).		<u>Define-valikko:</u>
5	Määritä jänteiden vaikutusleveys laattaelementille (1000mm).	31	Maalaa palkkielementit, joihin haluat määrittää jännepunoksia.
6	Valitse pilarin tukimomentin tasoitus (ei).		<u>Section-valikko:</u>
7	Määritä pituussuuntaisen harjateräksen vetolujuus (fy=500MPa).	32	Määritä jännepunospalkin poikkileikkaus rakennemallin sauvaelementeille. Liikenneviraston ohjeistuksen mukaan sillan kansi tulee mitoittaa siten, että kannen palkit kantavat kuormat ilman kansilaattaa. Palkkiin saa ottaa kannen laattaosaa ainoastaan tehollisen leveyden verran mukaan. Varsinaiseen Strapin rakennemalliin on mallinnettu palkin poikkileikkaukset tehollisen leveyden mukaan, mutta Strapin jänneosiin annetaan palkin poikkileikkaukseksi puolikasosa, jolloin saadaan jänteiden aiheuttamat rasitukset todellisen painopisteen mukaan.
8	Määritä harjateräksen kimmokerroin (E=200000MPa).		<u>Design-valikko ja valitse palkki, johon haluat määrittää jänteet:</u>
9	Määritä leikkausvoimaharjateräksen vetolujuus (fy=500MPa)	33	Määritä Define cable alivalikossa punoksien kokonaismäärä/kaapeli ja valitse haluttu kaapeliteräs, sekä kirjoita kaapelin alku- ja loppupiste metreinä, sekä anna jännittämisprosentiksi 85% (NCCI 2 s.43, 0,85fp0,1k).
10	Määritä palkin suojabetonipeite ylä- ja alapintaan. Ohjelma määrittää harjateräksien tehollisenkorkeuden suoraan tämän asetuksen mukaan (80mm).	34	Ohjelma laskee kaapelin jännittämisvoiman.
11	Määritä ylä- ja alapinnan harjateräksien määrä (4000mm ²).	35	Parameters alivalikosta voit tarkistaa tiedot ja valitse Jacking sequence välilehdellä punoksen jännittämispaat (vasen/oikea tai molemmat).
12	Määritä betonin kimmokerroin (E=34000MPa).	36	Cable geometri alivalikossa valitse haluttu punos, jolle haluat määrittää jänteen Define cable-valikossa on mahdollista määrittää erilaisilla tavoilla jännepunoksen Geometrian voi määrittää piirtämällä kolme pistettä, joiden kautta jännepunos
13	Määritä betonin lujuus (fck=35MPa).		* Listaan voi antaa halutun määrän jännepunoksen kulun pisteitä, joiden kautta ohjelma piirtää jänteet.
14	Määritä valamispäivä (0).		* Ohjelmaan voi tuoda AutoCad DXF tiedostosta jänteen kulun koko geometrian.
15	Määritä rakenteen kosteus (50%).		* Kaapeli-valikossa on myös erilaisia apuyökaluja, joiden avulla voidaan muuttaa annettua jänteen geometriaa.
16	Valitse sementtityyppi (normaali).	37	Kun jänteen geometria on annettu, niin poistutaan valikosta painamalla End
17	Määritä ympäristön lämpötila (20C).	38	Display cable alivalikosta voi määrittää, mitkä kaapelit näkyvät piirtopöydällä.
18	Anna rakenteen kutistumäviöarvo (0.00024).	39	Design direction alivalikosta näet palkin poikkileikkauksen kuvana ja valitse korkeussuunnan positiivinen suunta.
19	Valitse viruman laskentatapa (ohjelma laskee standardin mukaan).	40	Restrein alivalikosta määritä palkin tukisolmut (tarvittaessa) tai käytä samoja tukia, jotka on määritetty mallin geometria osassa.
20	Määritä kaapeliputken halkaisija pituus- ja poikkisuunnassa (98mm).	41	Display result tables alivalikosta pääset tarkastelemaan jännepunoksien tuloksia: yleiset tiedot, geometria tiedot, yhdistely tiedot, yhdistelyn leikkaus-/taivutusrasitukset V/M, sekä niiden poikkileikkauksen leikkauskestävyyden Vcmax, kokonaistaivutus laskennasta nähdään poikkileikkauksen taivutuskestävyyttä koskevat tiedot, maksimi/mininimi siirtymät, ylä- ja alapinnan jännitykset, jännehäviötiedot (kaapelikitka, mutkaisuushäviö, ankkuriliukuma, kutistuma, viruma, relaksaatio) ja jännittämisen aikainen kaapelivenymä.
21	Määritä jännepunoksen kimmokerroin (E=195000MPa).		<u>Palaa main menun kautta jänteiden päänäköymään:</u>
22	Valitse jännepunoksen tyyppi (sidottu) . Tohtori Bijan O. tieteellisessä artikkelissa on kerrottu sidotun ja ei sidotun jänteen eroista (Bijan O. 1994).	42	Stages alivalikosta voi määrittää erilaisten rakennusaikaisten tilanteiden vaiheita (työnaikainen betonin lujuus ja sallittu jännitys).
23	Määritä ankkuriliukuman lukuarvo (5mm).	43	Load alivalikosta näet päällä olevat tarkasteltavat yhdistelyt. Näkyvillä on ne yhdistelyt, jotka ovat ohjelman päätulos (result) yhdistelytaululla päällä. Jos kaikki yhdistelyt ovat sammutettuina näkyy jänneosiassa kuormat yksittäin listattuna. Load Table valikossa yhdistelyn kohdalle pitää valita Service only, kun halutaan tarkastella yhdistelyn jännityksiä, jolle on määritetty omat kertoimet, jolloin ohjelma laskee määritettyjen kertoimien avulla yhdistelyn jännitykset. M- ja V-taulukotuloksia tarkasteltaessa tulee alusvetopainikkeen asennoksi valita Service&Factored tai Factored.
24	Määritä kaapelin aaltoisuusluku (0,00095/m, mu*K=0,005*0,19).	44	Solve painiketta painamalla ohjelma ratkaisee jännepunosten rasitukset kuormiksi määritetyille ajankohdille. Ratkaisemisen jälkeen ohjelman päätulososioon ilmestyy jännepunoksien kuormat. Nyt jännepunoksien rasitukset voi lisätä yhdistelyihin. Päätulostaululla voi tarkastellaseuraavia jänteiden aiheuttamia rasituksia taivutusmomentti, leikkausvoima, aksiaalivoima, taipuma, tukireaktiot ja vääntö. Palkin yläpinnan ja alapinnan jännityksiä voi tarkastella vain jänneosion listauksesta.
25	Määritä kaapelikitkan lukuarvo (mu=0,21).		
26	Määritä jännepunoksen relaksaation arvo (kokonaisrelaksaatio 7,5%).		
27	Valitse kaapeli luettelosta tai luo kaapeliluetteloon käytettävä punostyyppi, kirjoittamalla punostyyppin jännitysvenymäkuvaajan tiedot NCCI 2 ohjeistuksen		
*	Jännepunoksia koskevat tiedot on otettu Dywidag punosvalmistajan teknisestä selosteesta Dywidag Bonded Post-Tensioning Systems using		



Default parameters

Strand types | Reinforcement parameters | Creep/shrinkage | Cable losses | Composite | Steel type definition

General **1** Code: EuroCode Height axis: X3 Ultimate moment calculation

Method for computing shear

- Standard method **3**
- Inclined struts method

Deflections

- Simplified code method
- Compute effective I at each point

Slab parameters

Cables influence width: 1000 mm **5**

Type of moment reduction at columns **6**

- No reduction (the moment at the column center is used)
- Use the average moment over the area of the column rectangle
- Use the maximum moment on the perimeter of the column rectangle

Note: Columns rectangles must be defined in the "Results" module of STRAP.

OK Peruta Ohje

Default parameters

Strand types | Reinforcement parameters | Creep/shrinkage | Cable losses | Composite | Steel type definition

General **12** E of concrete = 34000 MPa f_{ck} - concrete strength 35 MPa Casting at day = 0

Humidity 50% **15** Cement type normal Prevailing temperature 20 **17** (EC2, BS5400)

Estimated shrinkage+creep loss = 13 % Always use estimate for creep and shrinkage losses

Shrinkage loss

- Compute according to the Code
- Factor to multiply shrinkage **18** strain = 0.00024 Half total shrinkage at 100 days User given strain * f_s / (C_{st} + t)
- User given strain * (1 - exp(-kt))

Creep loss **19**

- Compute according to the Code
- Factor to multiply creep **1**
- User creep factor * (1 - exp(-kt))
- Creep factor = 3
- Half total Creep at 100 days
- User creep factor * t^{0.6} / (10 * t^{0.6} + 0.6)
- Creep factor = 3

OK Peruta Ohje

Default parameters

Strand types | Reinforcement parameters | Creep/shrinkage | Cable losses | Composite | Steel type definition

General Longitudinal reinforcement f_y = 500 MPa **7**

Reinforcement modulus E = 200000 MPa **8**

Shear reinforcement f_y = 500 MPa **9**

Cover

Top = 45 mm **10**

Bottom = 45 mm

Default steel area

Top = 4000 mm²

Bottom = 4000 mm² **11**

OK Peruta Ohje

Default parameters

Strand types | Reinforcement parameters | Creep/shrinkage | Cable losses | Composite | Steel type definition

General Duct size

Ventic. size H = 98 mm. **20**

Horiz. size B = 98 mm.

Cables type

- Bonded **22**
- Unbonded

Draw-in losses

Draw-in distance = 5 mm **23**

For estimates assume draw-in loss = 15 % Always use estimate for draw-in losses

Relaxation losses

- Compute according to the Code
- After 1000 hours relaxation = 2.5 %
- Assume total relaxation = 7.5 % **25**
- Low relaxation strands

Elastic shortening losses

For estimates assume loss of 3 % Always use estimate for elastic shortening losses

Friction losses

Wobble friction loss: mu * K = 0.00095 1/m **24**

Curvature friction loss: mu = 0.19 **25**

When estimating friction losses assume:

Wobble loss = 7.5 % Curvature loss = 7.5 %

Always use estimate for wobble losses

Always use estimate for curvature losses

OK Peruta Ohje


Default parameters

General | Strand types | Reinforcement parameters | Creep/shrinkage | Cable losses | Composite | Steel type definition

Type: TYPE-1860 Name: TYPE-1860 Tensile strength (fpk): 1860 MPa

no.	Strain	Stress [MPa]
1	0.	0.
2	0.00829	1617.
3	0.015	1617.
4	0.02	1617.
5	0.03	1617.
6		
7		
8		

NCCL-2 kuva 3.12 jänneteräksen jännitys-venymäkuvaaja s.24



OK Peruuta Ohje

Default parameters

General | Reinforcement parameters | Creep/shrinkage | Cable losses | Composite | Steel type definition

Add to the list the times of each stage divided into: [no division]

List of time steps in addition to the times of the stages:

no.	Time (days)
1	0.
2	30.
3	60.
4	120.
5	365.
6	730.
7	30000.
8	
9	
10	
11	
12	
13	

To add a time step - insert its time in the first empty line (the program will insert the line in the right place).
To delete a time step - delete its time.

OK Peruuta Ohje

Default parameters

General | Reinforcement parameters | Creep/shrinkage | Cable losses | Composite | Steel type definition

no.	Type name	Strand area (cm ²)	max. stress (MPa)	Steel type
9	SF1205	15.235	1465.	TYPE-1465
10	SF1905	24.125	1465.	TYPE-1465
11	SF3105	39.395	1465.	TYPE-1465
12	SF106	1.815	1465.	TYPE-1465
13	SF206	3.63	1537.	TYPE-1537
14	SF306	5.445	1537.	TYPE-1537
15	SF406	7.26	1537.	TYPE-1537
16	SF706	12.705	1537.	TYPE-1537
17	SF1206	21.78	1537.	TYPE-1537
18	SF1906	34.485	1537.	TYPE-1537
19	SF2206	39.93	1537.	TYPE-1537
20	Y1600/1860	1.5	1600.	TYPE-1860

OK Peruuta Ohje

Default parameters

General | Reinforcement parameters | Creep/shrinkage | Cable losses | Composite | Steel type definition

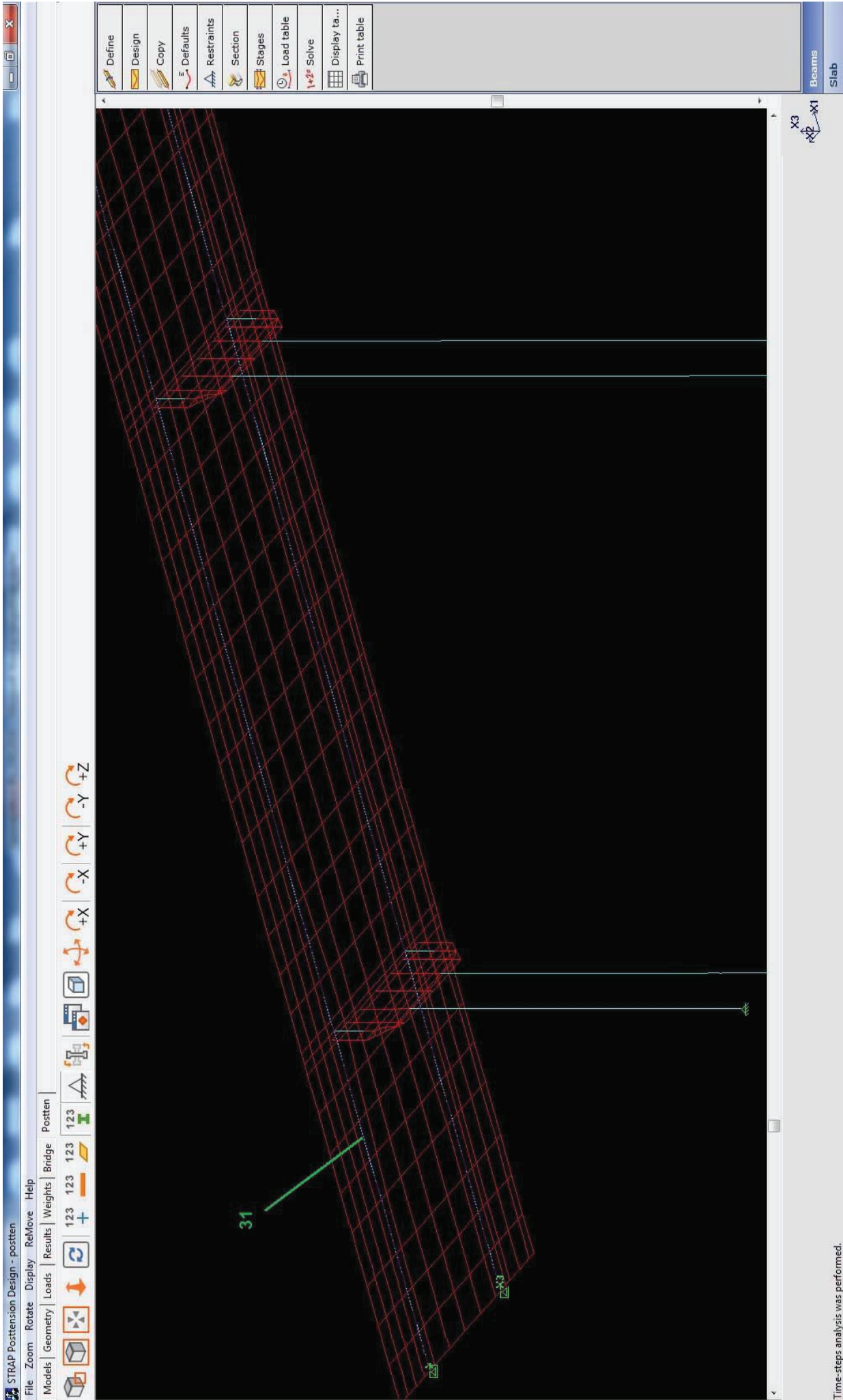
Compute forces due to differential shrinkage
 Compute forces due to differential creep

For differential shrinkage calculation, age of topping at "topping casting" time is [1] [days]

Composite concrete data

Same as non composite
 Define topping data

OK Peruuta Ohje



Assign sections to beams

- Assign a regular section property
- Assign a composite section with rectangular topping
- Assign a section for non-composite stage and another for composite stage
- Return to STRAP geometry definition property

32

Select a

No.	Description
23	T1050/1570+6625/360
24	T1113/1570+6625/360
25	T1238/1570+6625/360
26	T1363/1570+6625/360
27	T1488/1570+6625/360
28	T1550/1570+6625/360
29	T1050/1660+7025/360

III

Assign Cancel

Cable definition

Cable no.	No. of strands	Strand type	Start coord. [m]	End coord. [m]	Jacking percentage [%]	Total force [kN]
1	30	Y1600/1860	0.	200.93	85	6120
2	30	Y1600/1860	0.	199.21	85	6120
3	15	Y1600/1860	0.	120.63	85	3060
4	15	Y1600/1860	0.	88.62	85	3060
5	15	Y1600/1860	74.262	200.01	85	3060
6	15	Y1600/1860	106.4	200.01	85	3060
7	30	Y1600/1860	12.312	182.3	85	6120
8						

Total force of all cables = 30600.

Magnel diagram units: p=[kN] e=[cm]

Magnel at L=0.
For stage no. 1.2
Change

Magnel at L=100.75-101.75
For stage no. 1.2
Change

Magnel at L=202.3
For stage no. 1.2
Change

Delete cable Insert cable Move up Move down

Parameters

Creep/shrinkage | Cable losses | Jacking sequence | Duct size | Composite

Define the jacking sequence of the cables:

Cable no.	No. of strands	Total prestress force of strands [kN]	Prestress [%]	Jacking side	Stage name	Substage no.
1	1-30	6120	100	Both	TRANSFER	0
2	1-30	6120	100	Both	TRANSFER	0
3	1-15	3060	100	Both	TRANSFER	0
4	1-15	3060	100	Both	TRANSFER	0
5	1-15	3060	100	Both	TRANSFER	0
6	1-15	3060	100	Both	TRANSFER	0
7	1-30	6120	100	Both	TRANSFER	0

Add Delete

OK

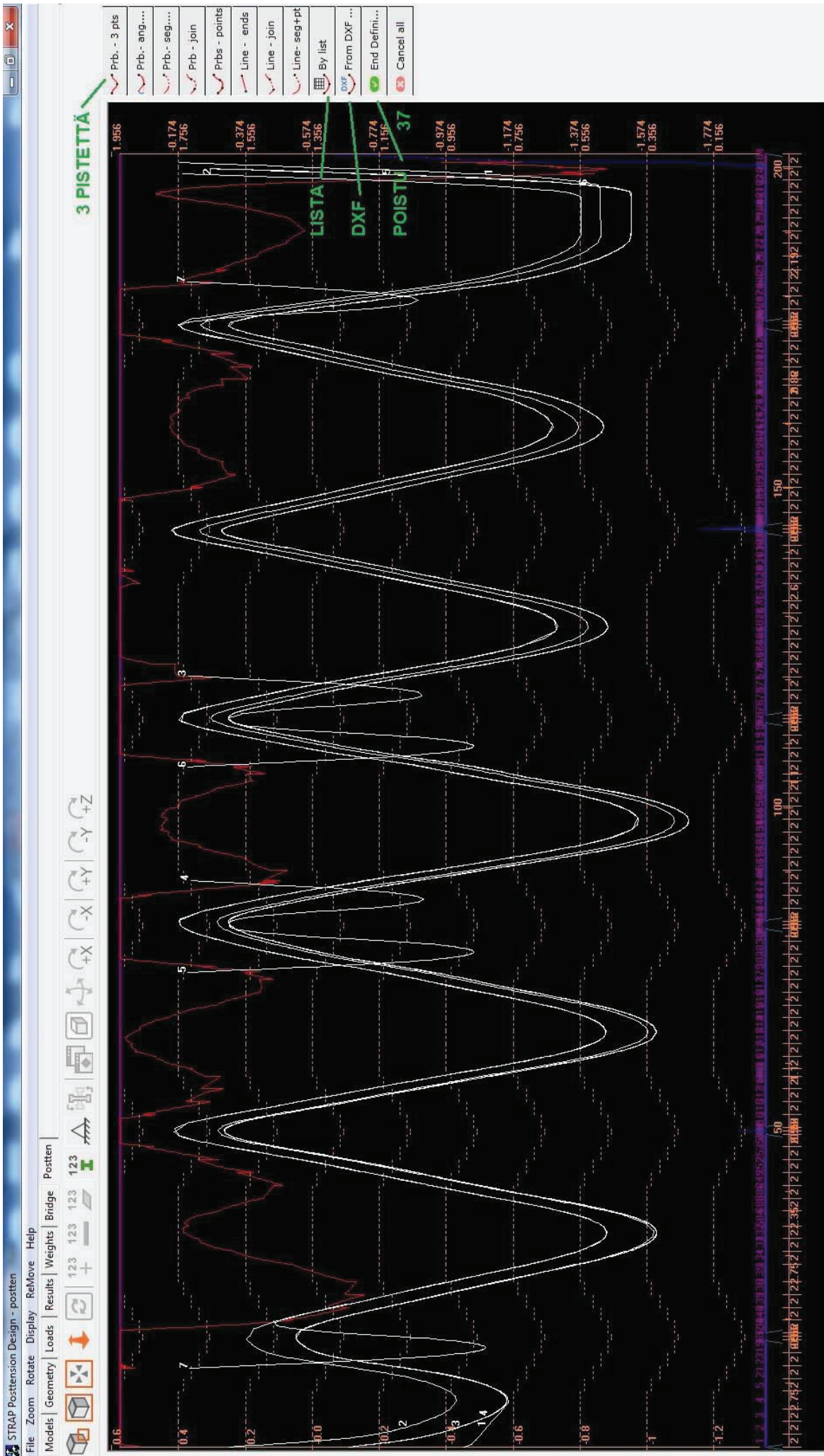
Penuuta Ohje

Cable selection

Select the cable from the following list:

Cable no.	No. of strands	Strand type	Start coord. [m]	End coord. [m]	Jacking percentage [%]	Total force [kN]	Geom. defined
1	30	Y1600/1860	0.	200.93	85	6120	yes
2	30	Y1600/1860	0.	199.21	85	6120	yes
3	15	Y1600/1860	0.	120.63	85	3060	yes
4	15	Y1600/1860	0.	88.62	85	3060	yes
5	15	Y1600/1860	74.262	200.01	85	3060	yes
6	15	Y1600/1860	106.4	200.01	85	3060	yes
7	30	Y1600/1860	12.312	182.3	85	6120	yes

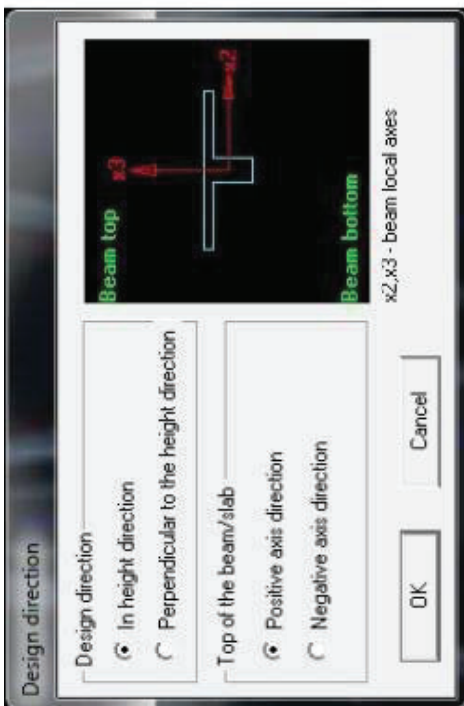
OK Cancel



Define cable
Edit cable

Time-steps analysis was performed.

39



40



Stages definition

Stage no.	Name	Start at t= [days]	Allowable tensile stress [MPa]	Allowable compressive stress [MPa]	Model stage
1	TRANSFER	20.	1.	20.	Whole model
2	WORKING	40.	0.	20.	Whole model

42

Edit Stages

Add Delete

OK Cancel

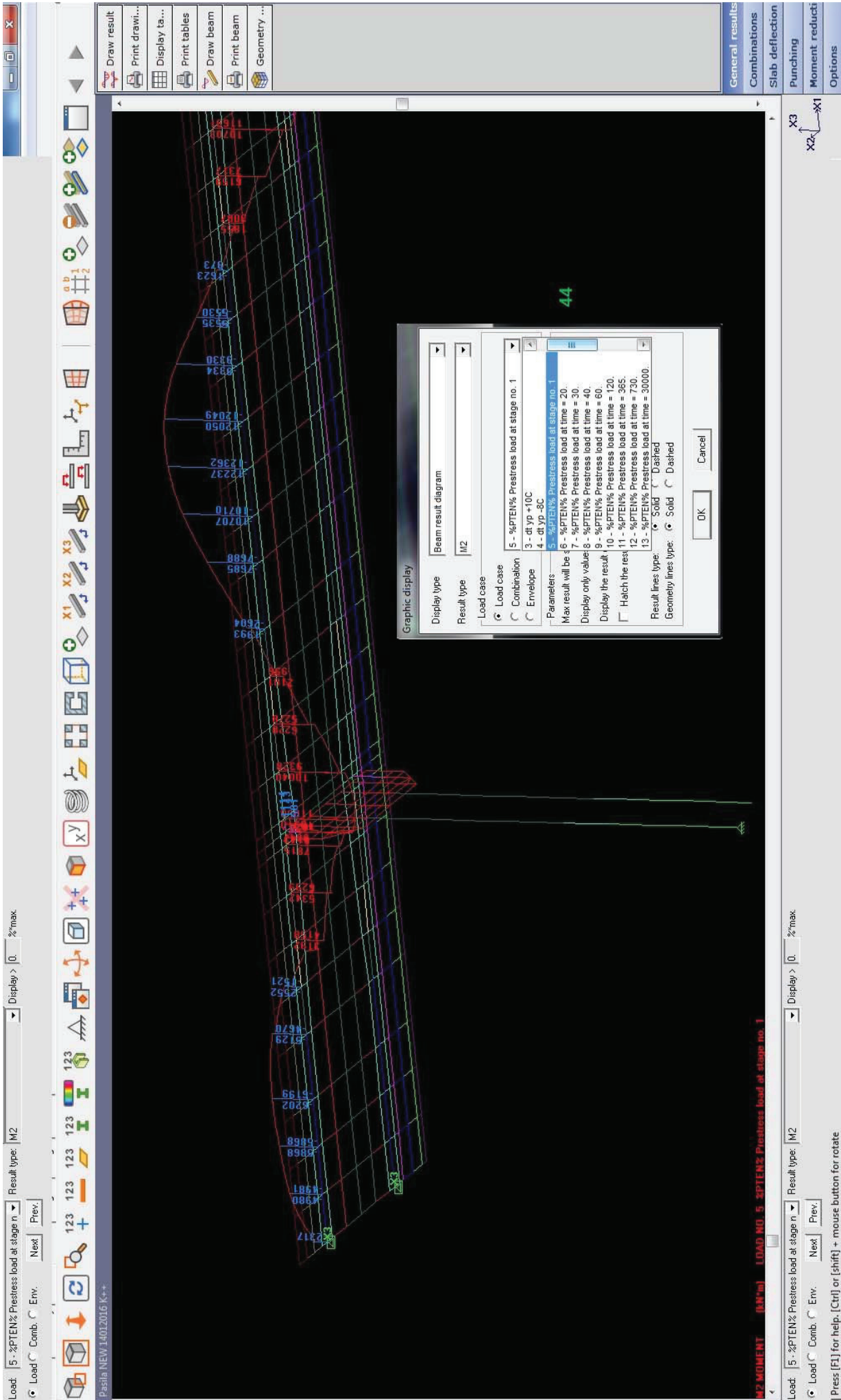
Combinations properties

comb.	Name	Start time	End time	Permanent	Service/Factored
1	k1p 1 #1	TRANSFER	Infinity	Yes	Service only
2	k1p 1 #2	TRANSFER	Infinity	Yes	Service only
3	k1p 1 #3	TRANSFER	Infinity	Yes	Service only
4	k1p 1 #4	TRANSFER	Infinity	Yes	Service only
5	k1p 1 #5	TRANSFER	Infinity	Yes	Service only
6	k1p 1 #6	TRANSFER	Infinity	Yes	Service only
7	k1p 1 #7	TRANSFER	Infinity	Yes	Service only
8	k1p 1 #8	TRANSFER	Infinity	Yes	Service only

43

Note: start time and end time are defined by the start time assigned to the selected stages

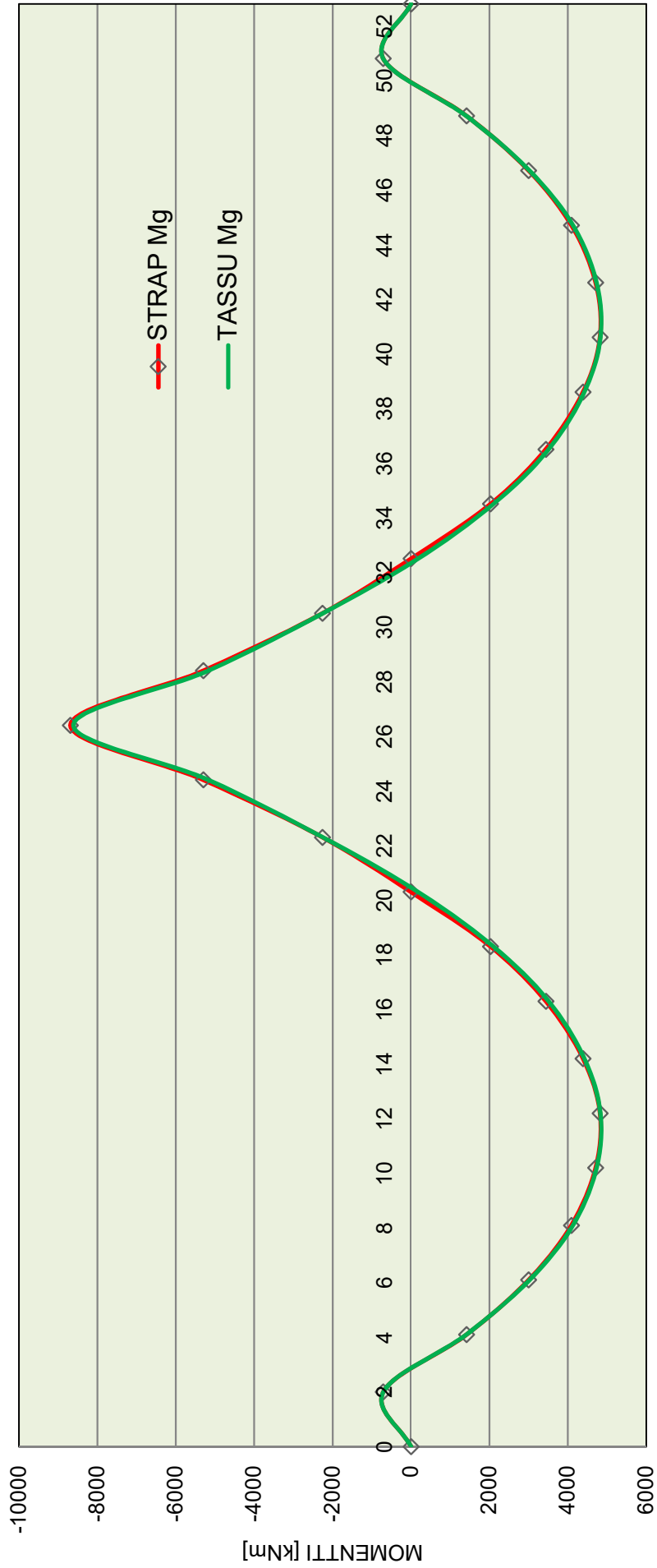
OK Cancel



Tassun ja Strapin palkin omapainon taiputuskuvaajat

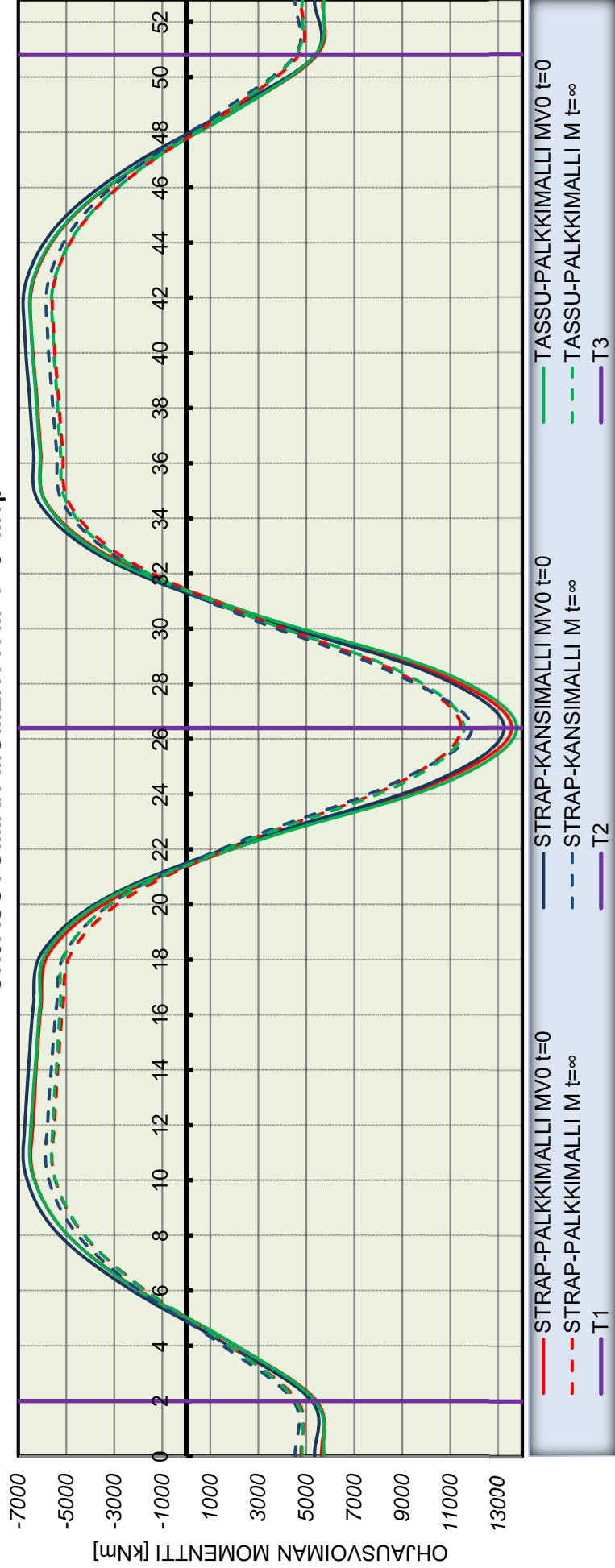
x	T1										T2										T3									
	0,0	2,0	4,1	6,1	8,1	10,2	12,2	14,2	16,3	18,3	20,3	22,3	24,4	26,4	28,4	30,5	32,5	34,5	36,5	38,6	40,6	42,6	44,7	46,7	48,7	50,8	52,8			
STRAP Mg [kNm]	0	-710	1418	2999	4090	4707	4819	4389	3438	2029	0	-2259	-5294	-8688	-5294	-2259	0	2029	3438	4389	4819	4707	4090	2999	1418	-710	0			
TASSU Mv0 t=0 [kNm]	0	-710	1410	3020	4130	4730	4830	4420	3510	2100	180	-2250	-5170	-8610	-5170	-2250	180	2100	3510	4420	4830	4730	4130	3020	1410	-710	0			

Mg



x	T1										T2										T3									
	0,0	2,0	4,1	6,1	8,1	10,2	12,2	14,2	16,3	18,3	20,3	22,3	24,4	26,4	28,4	30,5	32,5	34,5	36,5	38,6	40,6	42,6	44,7	46,7	48,7	50,8	52,8			
STRAP-PALKKIMALLI MVO t=0	5639	5420	1881	-2129	-5031	-6382	-6369	-6242	-6050	-5668	-2861	2845	10389	13557	10415	2882	-2966	-5783	-6068	-6242	-6437	-6370	-4989	-2135	1881	5435	5697			
STRAP-KANSIMALLI MVO t=0	5341	5222	1581	-2434	-5389	-6697	-6711	-6560	-6375	-5984	-3220	2549	10180	13242	10138	2547	-3282	-6089	-6372	-6551	-6727	-6675	-5300	-2452	1575	5370	5330			
TASSU-PALKKIMALLI MVO t=0	5750	5360	1910	-2170	-5030	-6410	-6450	-6280	-6100	-5810	-3080	2900	10740	13770	10740	2900	-3080	-5810	-6100	-6280	-6450	-6410	-5030	-2170	1910	5360	5750			
STRAP-PALKKIMALLI M t=∞	4783	4630	1619	-1861	-4377	-5541	-5532	-5411	-5215	-4846	-2478	2409	8969	11867	8989	2441	-2567	-4940	-5230	-5412	-5571	-5531	-4342	-1867	1619	4645	4783			
STRAP-KANSIMALLI M t=∞	4534	4455	1368	-2102	-4606	-5785	-5768	-5614	-5409	-5017	-2679	2256	8642	11890	8603	2251	-2730	-5110	-5407	-5608	-5777	-5745	-4575	-2118	1363	4541	4524			
TASSU-PALKKIMALLI M t=∞	4830	4556	1643	-1866	-4326	-5513	-5547	-5401	-5246	-4997	-2649	2494	9022	11567	9022	2494	-2649	-4939	-5246	-5401	-5547	-5513	-4326	-1866	1643	4556	4830			

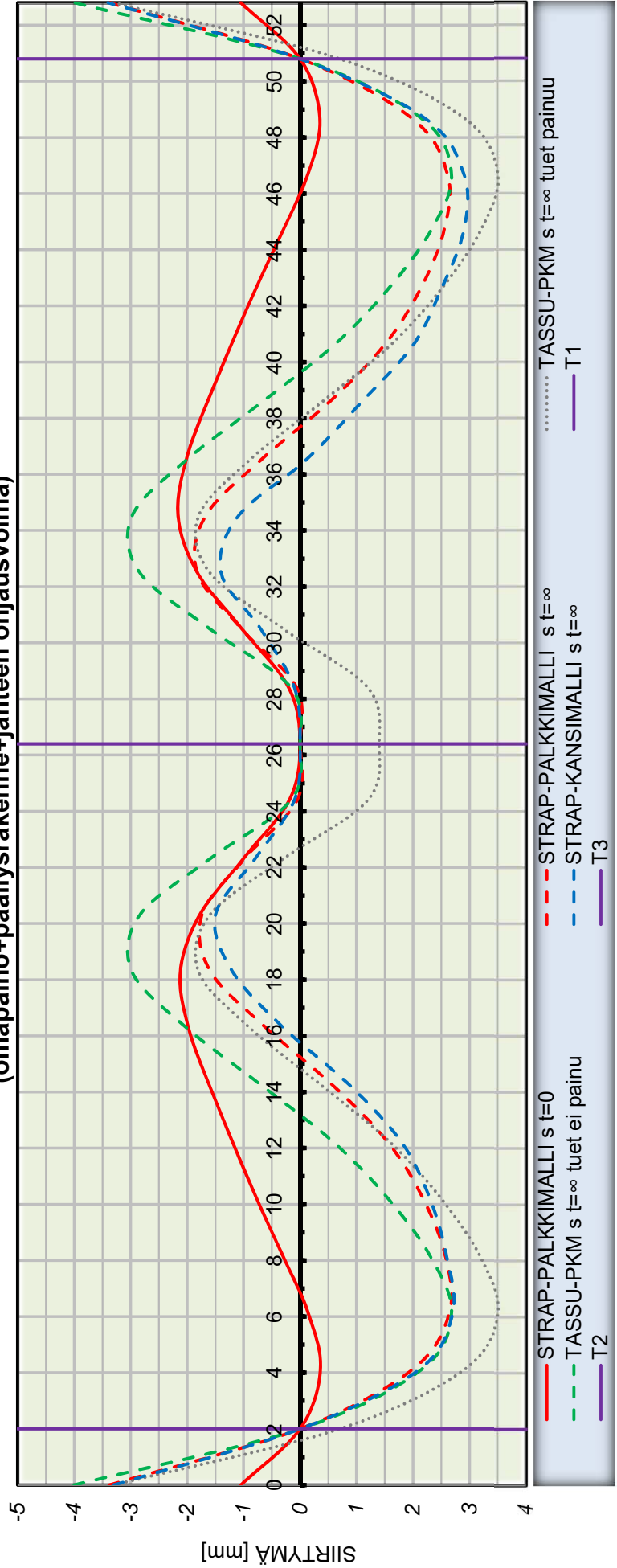
OHJAUSVOIMAN MOMENTTI $M=P \cdot e + M_{vp}$



x	T1										T2										T3									
	0,0	2,0	4,1	6,1	8,1	10,2	12,2	14,2	16,3	18,3	20,3	22,3	24,4	26,4	28,4	30,5	32,5	34,5	36,5	38,6	40,6	42,6	44,7	46,7	48,7	50,8	52,8			
omapaino x1 + pintarakenteet x1 + janne t=0 x1																														
STRAP-PALKKIMALLI s t=0	-1,05	0,00	0,36	0,15	-0,29	-0,77	-1,19	-1,60	-1,98	-2,12	-1,78	-1,01	-0,19	0,00	-0,20	-1,03	-1,82	-2,16	-2,02	-1,64	-1,22	-0,79	-0,30	0,14	0,35	0,00	-1,05			
omapaino x2,5 + pintarakenteet x2,5 + janne t=aareton x2,5																														
STRAP-PALKKIMALLI s t=∞	-3,38	0,00	1,98	2,64	2,58	2,18	1,56	0,60	-0,61	-1,59	-1,74	-0,99	-0,05	0,00	-0,06	-1,04	-1,82	-1,68	-0,70	0,53	1,49	2,13	2,55	2,61	1,97	0,00	-3,37			
STRAP-KANSIMALLI s t=∞	-3,30	0,00	2,10	2,70	2,60	2,30	1,80	0,90	-0,30	-1,20	-1,50	-0,80	-0,10	0,00	-0,10	-0,70	-1,40	-1,10	0,10	1,10	2,00	2,50	2,90	2,90	2,20	0,00	-3,40			
TASSU-PKM s t=∞ tuet painuu	-3,30	0,70	2,90	3,50	3,20	2,50	1,60	0,40	-0,90	-1,80	-1,60	-0,30	1,20	1,40	1,20	-0,30	-1,60	-0,90	0,40	1,60	2,50	3,20	3,50	2,90	0,70	0,00	-3,30			
TASSU-PKM s t=∞ tuet ei painuu	-4,00	0,00	2,14	2,68	2,32	1,56	0,60	-0,66	-2,02	-2,98	-2,84	-1,60	-0,16	0,00	-0,16	-1,60	-2,84	-2,98	-2,02	-0,66	0,60	1,56	2,32	2,68	2,14	0,00	-4,00			
Tassun korjausluku (tuet ei painuu)	-0,70	-0,70	-0,76	-0,82	-0,88	-0,94	-1,00	-1,06	-1,12	-1,18	-1,24	-1,30	-1,36	-1,40	-1,36	-1,30	-1,24	-1,18	-1,12	-1,06	-1,00	-0,94	-0,88	-0,82	-0,76	-0,70	-0,70			

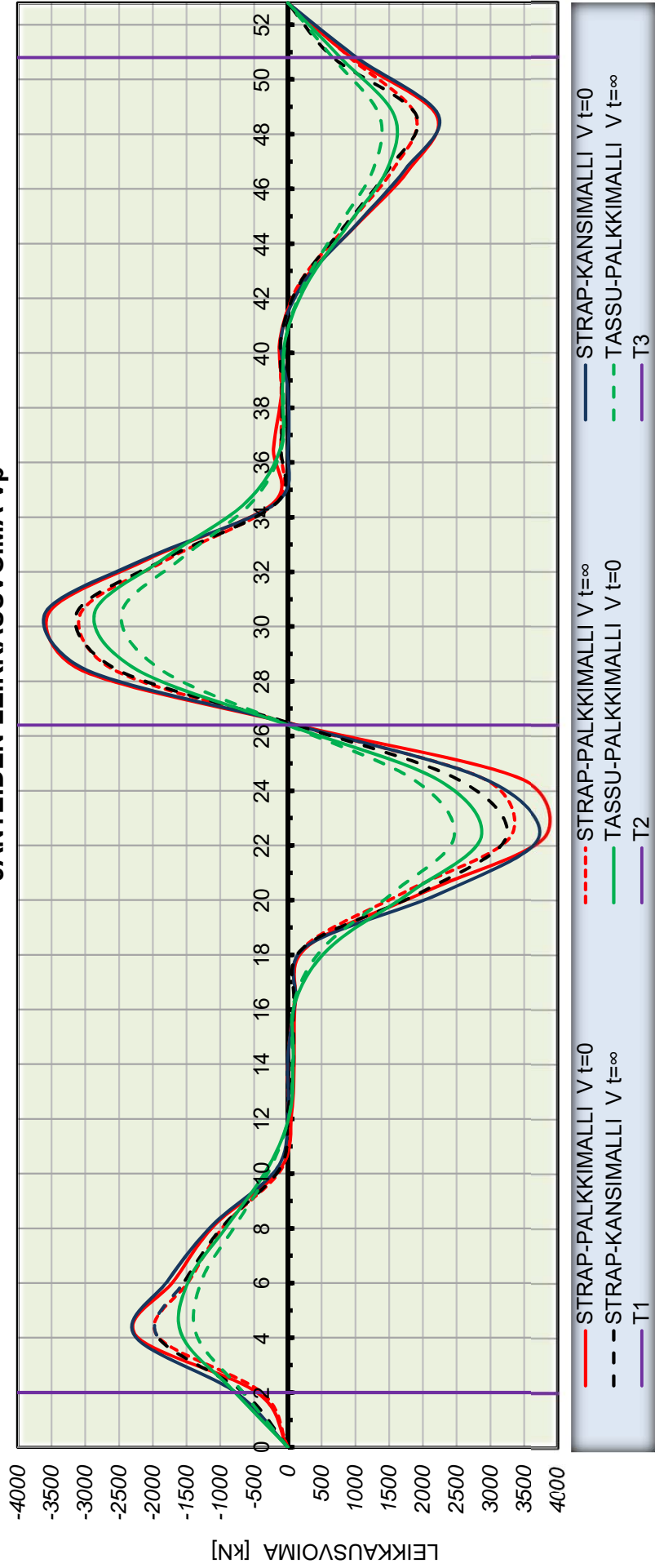
PALKIN SIIRTYMÄ

(omapaino+päällysrakenne+jänteen ohjausvoima)



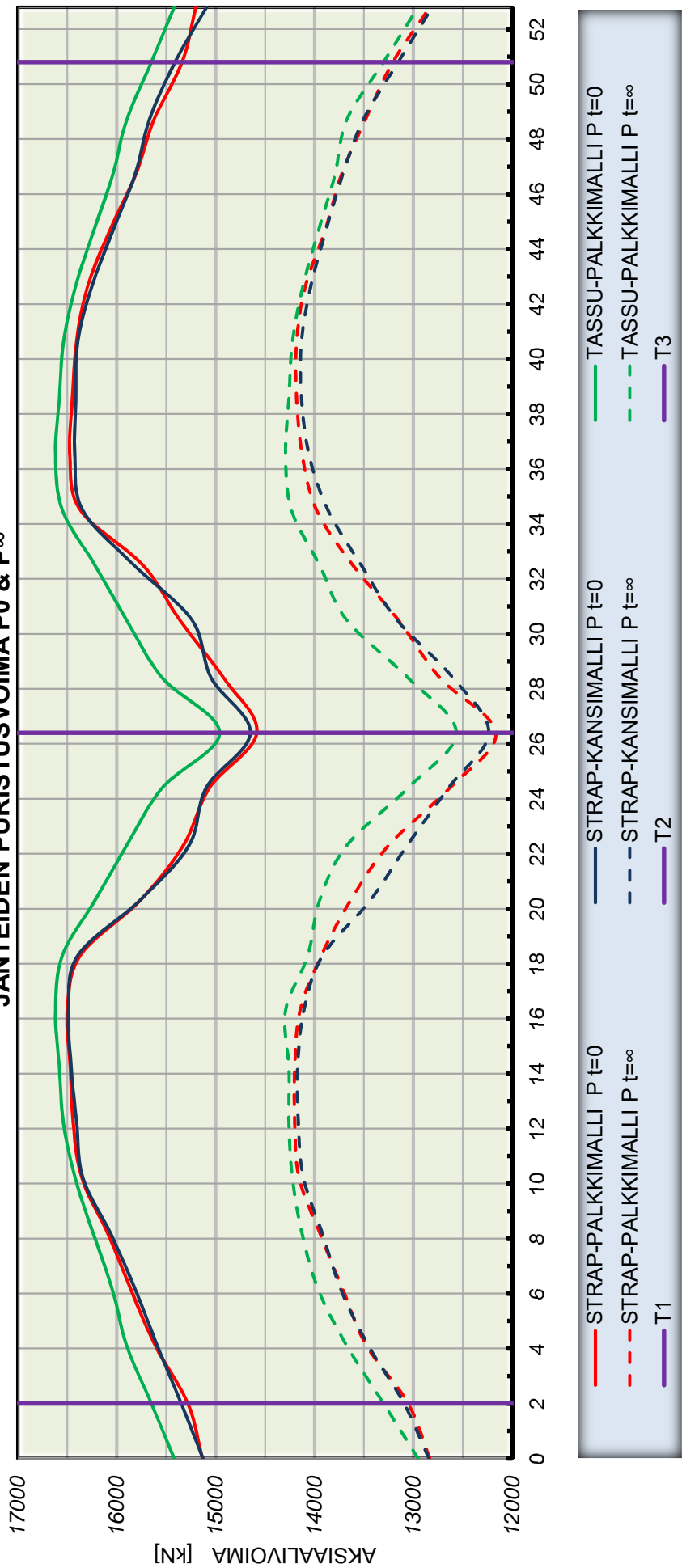
	T1										T2										T3									
	0,0	2,0	4,1	6,1	8,1	10,2	12,2	14,2	16,3	18,3	20,3	22,3	24,4	26,4	28,4	30,5	32,5	34,5	36,5	38,6	40,6	42,6	44,7	46,7	48,7	50,8	52,8			
STRAP-PALKKIMALLI V t=0	0	-457	-2255	-1681	-1091	-105	57	93	113	288	2027	3804	3487	136	-3052	-3541	-2040	-222	-212	-94	-111	214	1027	1793	2199	941	0			
STRAP-KANSIMALLI V t=0	0	-770	-2277	-1774	-1124	-159	0	0	110	268	2309	3721	2941	117	-2970	-3593	-2088	-182	0	-98	-98	242	1015	1734	2229	1021	0			
TASSU-PALKKIMALLI V t=0	0	-780	-1573	-1466	-895	-299	29	79	111	637	1828	2862	2221	0	-2221	-2862	-1828	-637	-111	-79	-29	299	895	1467	1573	779	0			
STRAP-PALKKIMALLI V t=∞	0	-390	-1943	-1456	-944	-88	0	0	100	249	1737	3293	2929	119	-2563	-3066	-1747	-193	-107	-98	-98	182	888	1555	1890	919	0			
STRAP-KANSIMALLI V t=∞	0	-657	-1944	-1520	-955	-114	0	85	86	247	1987	3234	2527	118	-2509	-3127	-1798	-174	-99	-85	-98	190	860	1485	1900	671	0			
TASSU-PALKKIMALLI V t=∞	0	-663	-1353	-1276	-779	-259	25	68	95	541	1572	2461	1866	0	-1866	-2461	-1572	-548	-95	-68	-25	257	770	1262	1353	662	0			

JÄNTEIDEN LEIKKAUSVOIMA Vp



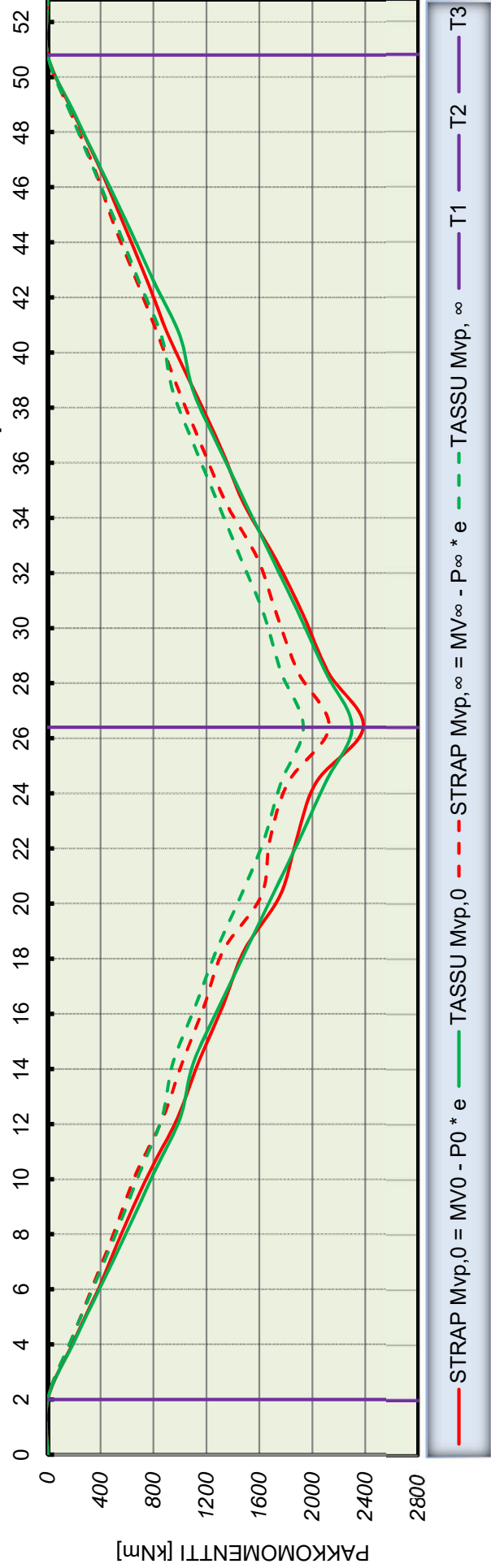
x	T1										T2										T3									
	0,0	2,0	4,1	6,1	8,1	10,2	12,2	14,2	16,3	18,3	20,3	22,3	24,4	26,4	28,4	30,5	32,5	34,5	36,5	38,6	40,6	42,6	44,7	46,7	48,7	50,8	52,8			
STRAP-PALKKIMALLI P t=0	15133	15281	15611	15852	16080	16353	16440	16470	16500	16369	15763	15327	15062	14584	14920	15362	15736	16368	16475	16448	16407	16299	16068	15810	15625	15340	15200			
STRAP-KANSIMALLI P t=0	15129	15348	15590	15807	16051	16342	16405	16460	16488	16394	15768	15269	15096	14649	15046	15239	15826	16345	16424	16413	16396	16256	16036	15815	15671	15412	15092			
TASSU-PALKKIMALLI P t=0	15420	15650	15900	16040	16230	16420	16540	16580	16620	16550	16220	15900	15540	14960	15540	15900	16220	16550	16620	16580	16540	16420	16230	16040	15900	15650	15420			
STRAP-PALKKIMALLI P t=∞	12834	13054	13474	13709	13935	14156	14200	14200	14146	13931	13636	13252	12631	12166	12733	13152	13613	13979	14124	14182	14182	14096	13891	13729	13487	13208	12834			
STRAP-KANSIMALLI P t=∞	12843	13095	13455	13729	13913	14112	14164	14171	14109	13917	13438	13064	12645	12239	12600	13165	13528	13864	14054	14133	14133	14041	13882	13716	13508	13154	12809			
TASSU-PALKKIMALLI P t=∞	12953	13303	13674	13958	14121	14224	14259	14259	14293	14088	13949	13674	13054	12566	13054	13674	13949	14233	14293	14259	14224	14121	13958	13794	13674	13303	12953			

JÄNTEIDEN PURISTUSVOIMA P0 & P∞



x	T1										T2										T3									
	0,0	2,0	4,1	6,1	8,1	10,2	12,2	14,2	16,3	18,3	20,3	22,3	24,4	26,4	28,4	30,5	32,5	34,5	36,5	38,6	40,6	42,6	44,7	46,7	48,7	50,8	52,8			
STRAP-PKM. Mv0 t=0 [kNm]	5639	1881	-2129	-5031	-6382	-6369	-6242	-6050	-5668	-2861	2845	10389	13557	10415	2882	-2966	-5783	-6068	-6242	-6437	-6370	-4989	-2135	1881	5435	5697				
STRAP-PKM. P t=0 [kN]	15133	15281	15611	15852	16080	16363	16440	16500	16369	15763	15327	15062	14584	14920	15362	15736	16368	16475	16448	16407	16299	16068	15810	15625	15340	15200				
e	0,373	0,36	0,108	-0,16	-0,35	-0,44	-0,45	-0,45	-0,44	-0,29	0,063	0,555	0,766	0,556	0,062	-0,3	-0,44	-0,45	-0,45	-0,44	-0,35	-0,16	0,108	0,356	0,373					
STRAP Mvp,∞ = Mv∞ - P0 * e	0	0	195	391	565	764	980	1137	1326	1485	1758	2030	2386	2119	1930	1723	1484	1313	1110	913	753	571	395	194	0	0				
TASSU Mvp,0	0	0	200	400	600	800	1000	1100	1300	1500	1700	1900	2100	2300	2100	1900	1700	1500	1300	1100	800	600	400	200	0	0				
x	0,0	2,0	4,1	6,1	8,1	10,2	12,2	14,2	16,3	18,3	20,3	22,3	24,4	26,4	28,4	30,5	32,5	34,5	36,5	38,6	40,6	42,6	44,7	46,7	48,7	50,8	52,8			
STRAP-PKM. M t=aareton [kNm]	4783	4630	1629	-1840	-4345	-5518	-5478	-5346	-5139	-4760	-2380	2514	8828	11445	8843	2546	-2468	-4854	-5154	-5347	-5488	-4310	-1845	1630	4677	4783				
STRAP-PKM. P t=aareton [kN]	12834	13054	13474	13709	13935	14156	14200	14200	14146	13931	13636	13252	12631	12166	12500	13152	13613	13979	14124	14182	14182	14096	13891	13729	13487	12834				
e	0,373	0,36	0,108	-0,16	-0,35	-0,44	-0,45	-0,45	-0,44	-0,29	0,063	0,555	0,766	0,556	0,062	-0,3	-0,44	-0,45	-0,45	-0,44	-0,35	-0,16	0,108	0,356	0,373					
STRAP Mvp,∞ = Mv∞ - P∞ * e	0	0	174	340	504	668	869	1016	1184	1328	1615	1679	1818	2126	1893	1731	1589	1353	1174	992	837	672	496	352	173	0	0			
TASSU Mvp,∞	0	0	172	348	522	693	862	946	1118	1275	1462	1634	1764	1932	1764	1634	1462	1290	1118	946	868	688	516	344	172	0	0			

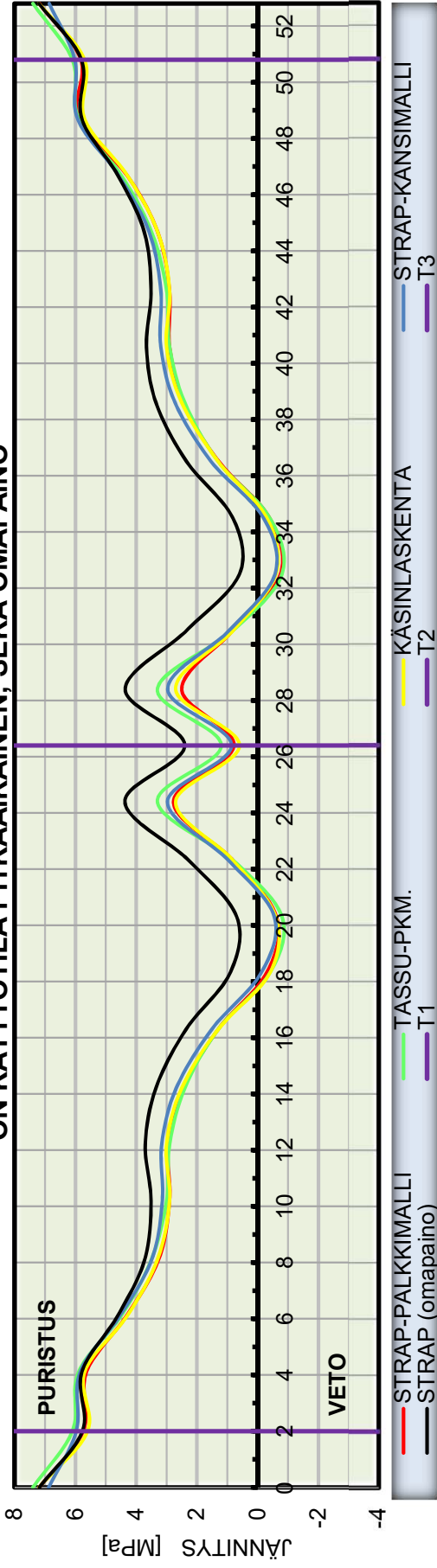
JÄNTEIDEN AIHEUTTAMA PAKKOMENTTI Mvp



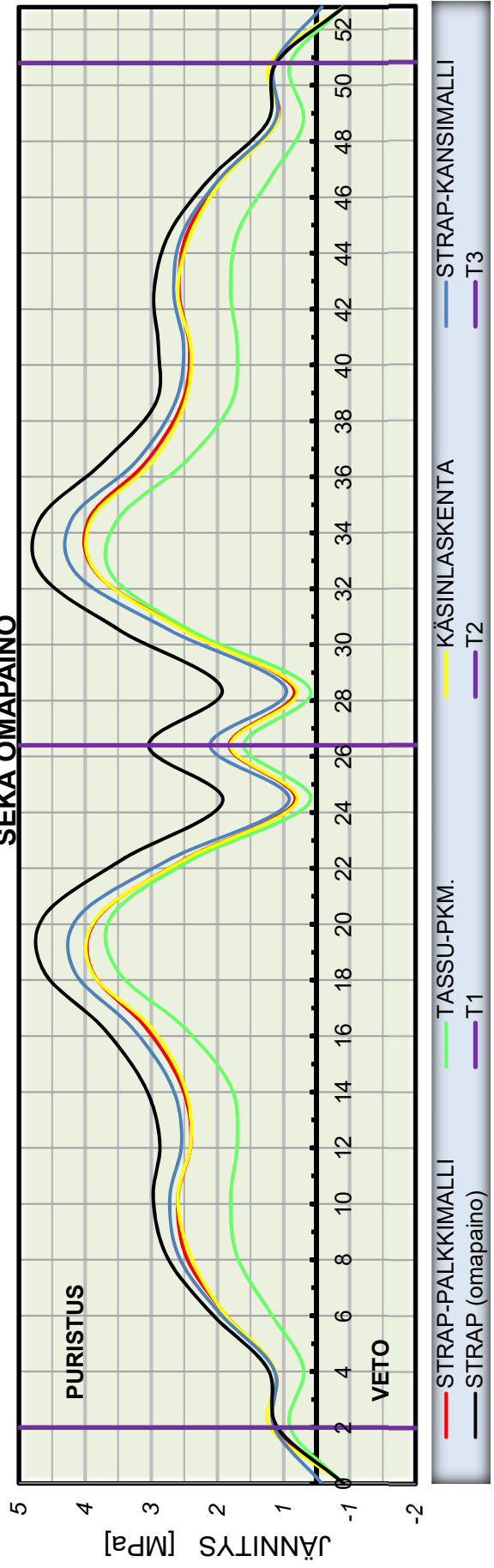
X	STRAP-PALKKIMALLI				TASSU-PKM.				STRAP-KANSIMALLI				KÄSINLASKENTA				STRAP OMAPAINO	
	MAKSIMI		MINIMI		G+3PTm				MAKSIMI		MINIMI		MINIMI		MINIMI		YP	AP
	YP	AP	YP	AP	YP	AP	YP	AP	YP	AP	YP	AP	YP	AP	YP	AP	YP	AP
0,0	7,2	-0,4	7,2	-0,4	7,4	-0,4	6,1	0,4	6,9	-0,1	6,9	-0,1	6,9	-0,1	7,2	-0,4	7,19	-0,41
2,0	5,7	0,6	5,7	0,6	6,1	0,6	5,9	0,2	6,0	0,6	6,0	0,6	6,0	0,6	5,6	0,7	5,77	0,59
4,1	6,1	0,8	5,6	0,6	5,9	0,2	6,1	0,9	6,1	0,9	5,9	0,7	5,9	0,7	5,7	0,6	5,79	0,74
6,1	4,9	1,8	4,3	1,4	4,5	0,7	5,1	1,9	5,1	1,9	4,5	1,5	4,5	1,4	4,3	1,4	4,61	1,6
8,1	4,2	2,6	3,3	2,0	3,5	1,2	4,3	2,7	4,3	2,7	3,5	2,1	3,3	1,9	3,3	1,9	3,72	2,26
10,2	4,1	2,9	2,9	2,1	3,0	1,3	4,3	3,0	4,3	3,0	3,1	2,2	2,9	2,1	2,9	2,1	3,51	2,47
12,2	4,4	2,9	2,9	1,9	2,9	1,2	4,6	3,0	4,6	3,0	3,2	2,0	3,0	1,9	3,0	1,9	3,7	2,37
14,2	4,2	3,2	2,5	2,0	2,4	1,3	4,4	3,4	4,4	3,4	2,7	2,2	2,5	2,0	2,5	2,0	3,35	2,6
16,3	3,4	4,0	1,3	2,6	1,3	2,0	3,5	4,2	3,5	4,2	1,5	2,8	1,3	1,3	1,3	2,5	2,36	3,23
18,3	2,1	5,0	-0,3	3,4	-0,4	3,0	2,1	5,2	2,1	5,2	-0,1	3,7	-0,4	3,4	3,4	0,91	0,91	4,12
20,3	2,0	5,1	-0,6	3,3	-0,8	3,1	2,0	5,3	2,0	5,3	-0,6	3,6	-0,6	3,3	3,3	0,69	0,69	4,12
22,3	3,8	4,0	0,8	2,0	0,8	1,9	3,7	4,2	3,7	4,2	1,0	2,2	0,8	2,0	0,8	2,26	2,26	2,95
24,4	6,0	2,5	2,8	0,3	3,3	0,1	6,0	2,6	6,0	2,6	3,0	0,4	2,7	0,3	2,7	0,3	4,37	1,42
26,4	4,3	3,7	0,8	1,3	1,2	1,1	4,2	3,9	4,2	3,9	0,9	1,6	0,6	1,3	0,6	2,4	2,4	2,54
28,4	6,1	2,5	2,5	0,3	3,3	0,1	6,0	2,6	6,0	2,6	3,0	0,5	2,7	0,3	2,7	0,3	4,36	1,43
30,5	3,8	3,9	0,8	2,0	0,8	1,9	3,7	4,2	3,7	4,2	0,9	2,2	0,8	2,0	0,8	2,33	2,33	2,97
32,5	1,9	5,1	-0,8	3,3	-0,8	3,1	1,9	5,4	1,9	5,4	-0,6	3,6	-0,6	3,3	3,3	0,6	0,6	4,16
34,5	2,0	5,0	-0,4	3,4	-0,4	3,0	2,0	5,2	2,0	5,2	-0,2	3,7	-0,3	3,4	3,4	0,82	0,82	4,18
36,5	3,4	4,0	1,3	2,6	1,3	2,0	3,5	4,1	3,5	4,1	1,5	2,8	1,3	2,5	1,3	2,34	2,34	3,24
38,6	4,2	3,2	2,4	2,0	2,4	1,3	4,4	3,3	4,4	3,3	2,7	2,2	2,5	2,0	2,5	2,0	3,35	2,44
40,6	4,4	2,9	2,9	1,9	2,9	1,2	4,6	3,0	4,6	3,0	3,2	2,0	3,0	1,9	3,0	1,9	3,66	2,39
42,6	4,1	2,9	2,9	2,1	3,0	1,3	4,3	2,9	4,3	2,9	3,2	2,2	2,9	2,1	2,9	2,1	3,51	2,46
44,7	4,2	2,5	3,3	2,0	3,5	1,2	4,4	2,6	4,4	2,6	3,6	2,0	3,3	1,9	3,3	1,9	3,74	2,23
46,7	4,9	1,8	4,3	1,4	4,5	0,7	5,2	1,8	5,2	1,8	4,6	1,5	4,3	1,4	4,3	1,4	4,61	1,6
48,7	6,2	0,8	5,9	0,6	5,9	0,2	6,2	0,8	6,2	0,8	5,9	0,6	5,7	0,6	5,7	0,6	5,79	0,74
50,8	5,8	0,6	5,8	0,6	6,1	0,4	6,0	0,6	6,0	0,6	6,0	0,6	5,7	0,7	5,7	0,7	5,8	0,61
52,8	7,2	-0,4	7,2	-0,4	7,4	-0,4	6,9	-0,1	6,9	-0,1	6,9	-0,1	7,2	-0,4	7,2	-0,4	7,2	-0,41

*) Käsinskentä on tehty Strapin palkkimallin arvoilla (P^∞ ja M^∞) C30/37 fctd=1,5N/mm2

PALKIN YLÄPINNAN JÄNNITYS, KUN P_{∞} JA YHDISTELYNÄ ON KÄYTTÖTILA PITKÄAIKAINEN, SEKÄ OMAPAINO



PALKIN ALAPINNAN JÄNNITYS, KUN P_{∞} JA YHDISTELYNÄ ON KÄYTTÖTILA PITKÄAIKAINEN, SEKÄ OMAPAINO



Jännitystarkastelu -väsytyks, pysyvät kuormat, palkki (L-pokkileikkaus)		TAIVUTUS AP/YP MINIMI VETO = MINUS & PURISTUS = PLUS														
		KTP	T	T1	K	K	K	K	K	K	K	K	K	T	T	T2
Etäisyys tuelta 1 tai 2		x [m]	0,0	2,0	4,1	6,1	8,1	10,2	12,2	14,2	16,3	18,3	20,3	22,3	24,4	26,4
Jännevoima ($t=\infty$)		P_{∞} [MN]	12,8	13,1	13,5	13,7	13,9	14,2	14,2	14,2	14,1	13,9	13,6	13,3	12,6	12,2
Taivutusmomentti (sis +Mvp)		M [MNm]	0	-1,381	1,565	3,766	5,3	6,194	6,41	5,91	4,687	2,826	0,4	-2,817	-6,885	-11,263
Poikkileikkauksen bruttopoikkipinta-ala		A_{brutt} [m ²]	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901
Suojaputkien poikkipinta-ala (6 kpl per poikkileikkaus, $a=0,0075m^2$)		A_{sp} [m ²]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Poikkileikkauksen nettopoikkipinta-ala		A_{net} [m ²]	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901
Palkin korkeus		h [m]	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575
Neutraaliksielin etäisyys palkin alapinnasta		e_{na} [m]	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627
Neiömomentti		I [m ⁴]	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991
Taivutusvastus alapinnan suhteen $W=I/e_{na}$		Wa [m ³]	1,579	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,579
Taivutusvastus yläpinnan suhteen $W=I/(h-e_{na})$		Wy [m ³]	1,046	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,046
Jänteiden painopisteen etäisyys palkin alapinnasta		e_j [m]	1,000	0,970	0,736	0,468	0,282	0,191	0,180	0,180	0,180	0,184	0,332	0,690	1,184	1,395
Jänteiden painopisteen etäisyys neutraaliksieliltä		e [m]	-0,373	-0,343	-0,109	0,159	0,345	0,436	0,447	0,447	0,447	0,443	0,295	-0,063	-0,557	-0,768
Jännitykset alapinnassa		σ_N [MPa]	-2,62	-2,66	-2,75	-2,80	-2,84	-2,89	-2,90	-2,90	-2,89	-2,84	-2,78	-2,70	-2,58	-2,48
Jännevoiman puristuskomponentti		σ_{Mj} [MPa]	3,03	2,83	0,93	-1,38	-3,04	-3,91	-4,02	-4,02	-4,00	-3,91	-2,55	0,53	4,45	5,91
Taivuttavat momenttikuormitukset		σ_M [MPa]	0,00	-0,87	0,99	2,38	3,35	3,92	4,06	3,74	2,97	1,79	0,28	-1,78	-4,36	-7,13
YHTEENSÄ		σ_a [MPa]	-0,4	0,7	0,8	1,8	2,5	2,9	2,9	3,2	3,9	5,0	5,0	4,0	2,5	3,7
Jännitykset yläpinnassa		σ_N [MPa]	-2,62	-2,66	-2,75	-2,80	-2,84	-2,89	-2,90	-2,90	-2,89	-2,84	-2,78	-2,70	-2,58	-2,48
Jännevoiman puristuskomponentti		σ_{Mj} [MPa]	-4,57	-4,28	-1,41	2,09	4,60	5,91	6,07	6,07	6,05	5,91	3,85	-0,80	-6,73	-8,93
Taivuttavat momenttikuormitukset		σ_M [MPa]	0,00	1,32	-1,50	-3,60	-5,07	-5,93	-6,13	-5,66	-4,48	-2,70	-0,43	2,70	6,59	10,77
YHTEENSÄ		σ_y [MPa]	7,2	5,6	5,7	4,3	3,3	2,9	3,0	2,5	1,3	-0,4	-0,6	0,8	2,7	0,6

Jännitystarkastelu		TAIVUTUS AP/YP MAKSIMI														
		VETO = MIINUS & PURISTUS = PLUS														
KTP		T	T1	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	T	T	T2
Etäisyys tuelta 1 tai 2	x [m]	0,0	2,0	4,1	6,1	8,1	10,2	12,2	14,2	16,3	18,3	20,3	22,3	24,4	26,4	
Jännevoima ($t=\infty$)	P ∞ [MN]	12,8	13,1	13,5	13,7	13,9	14,2	14,2	14,2	14,1	13,9	13,6	13,3	12,6	12,2	
Taivutusmomentti (sis +Mvp)	M [MNm]	0	-1,381	1,875	4,384	6,226	7,439	7,961	7,766	6,863	5,308	3,2	0,276	-3,472	-7,544	
Poikkileikkauksen bruttopoikkipinta-ala	A _{brutt} [m ²]	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901
Suojaputkien poikkipinta-ala (6 kpl per poikkileikkaus, a=0,0075m ²)	A _{sp} [m ²]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Poikkileikkauksen nettopoikkipinta-ala	A _{net} [m ²]	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901	4,901
Palkin korkeus	h [m]	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575	1,575
Neutraaliksielin etäisyys palkin alapinnasta	e _{na} [m]	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627
Neilömomentti	I [m ⁴]	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991	0,991
Taivutusvastus alapinnan suhteen W=I/e _{na}	Wa [m ³]	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580	1,580
Taivutusvastus yläpinnan suhteen W=I/(h-e _{na})	Wy [m ³]	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045	1,045
Jänteiden painopisteen etäisyys palkin alapinnasta	e _j [m]	1,000	0,970	0,736	0,468	0,282	0,191	0,180	0,180	0,180	0,184	0,332	0,690	1,184	1,395	
Jänteiden painopisteen etäisyys neutraaliksielilta	e [m]	-0,373	-0,343	-0,109	0,159	0,345	0,436	0,447	0,447	0,447	0,443	0,295	-0,063	-0,557	-0,768	
Jännitykset alapinnassa																
Jännevoiman puristuskomponentti	σ_N [MPa]	-2,62	-2,66	-2,75	-2,80	-2,84	-2,89	-2,90	-2,90	-2,89	-2,84	-2,78	-2,70	-2,58	-2,48	
Jännevoiman taivutuskomponentti	σ_{Mj} [MPa]	3,03	2,83	0,93	-1,38	-3,04	-3,91	-4,02	-4,02	-4,00	-3,91	-2,55	0,53	4,45	5,91	
Taivuttavat momenttikuormitukset	σ_M [MPa]	0,00	-0,87	1,19	2,77	3,94	4,71	5,04	4,91	4,34	3,36	2,05	0,17	-2,20	-4,77	
YHTEENSÄ	σ_a [MPa]	-0,4	0,7	0,6	1,4	1,9	2,1	1,9	2,0	2,5	3,4	3,3	2,0	0,3	1,3	
Jännitykset yläpinnassa																
Jännevoiman puristuskomponentti	σ_N [MPa]	-2,62	-2,66	-2,75	-2,80	-2,84	-2,89	-2,90	-2,90	-2,89	-2,84	-2,78	-2,70	-2,58	-2,48	
Jännevoiman taivutuskomponentti	σ_{Mj} [MPa]	-4,58	-4,28	-1,41	2,09	4,60	5,91	6,07	6,07	6,05	5,91	3,85	-0,80	-6,73	-8,94	
Taivuttavat momenttikuormitukset	σ_M [MPa]	0,00	1,32	-1,79	-4,19	-5,96	-7,12	-7,62	-7,43	-6,57	-5,08	-3,10	-0,26	3,32	7,22	
YHTEENSÄ	σ_y [MPa]	7,2	5,6	5,9	4,9	4,2	4,1	4,4	4,3	3,4	2,0	2,0	3,8	6,0	4,2	

* B2000 JANNEPALKKI , JANTEET 12kpl 2250

* B2000 JANNEPALKKI , JANTEET 12kpl 2250

C JÄNTEET 1 KERROKSESSA D0=180

C POIKKILEIKKAUS 1-8

H=1.575

V11=0.0

V12=0.0

BP=2.1

BL=4.80

HL=0.59

DP=0.18

L1=24.35

L2=24.35

LS=2.05+L1+L2+2.05

K1=H

K2=K1

K3=K1

K4=K1

K5=K1

T1=K1

T2=T1

T3=T1

T4=T1

T5=T1

C poikkileikkaus h=

C x=0-17 JA X=

C rivit 1-6

HDS 0 H

HDS 0 (H-K1)

HDS BL (H-K1)

HDS BL (HL)

HDS BP (HL)

HDS BP H

C JANTEIDEN KULKU

C JANTEET 1 7-16

HDS 0 (1.0)

HDS (2.15) (1.0)

HDS (2.05+0.25*L1) DP

HDS (2.05+0.75*L1) DP

HDS (2.05+0.95*L1) (H-DP)

HDS (2.05+L1+0.05*L2) (H-DP)

HDS (2.05+L1+0.25*L2) DP

HDS (2.05+L1+0.75*L2) DP

HDS (LS-2.15) (1.0)

HDS LS (1.0)

C

C sijoitetaan poikkileikkaus

C Poikkileikkausten sijoitus

HPL 1 6 0.0 LS

C HPL 7 12 10.8 18

C HPL 13 18 18 33.75

C HPL 19 24 37.25 53

C HPL 25 30 53 60.2

C

C SJOITETAAN TUET

HTU 10000 0.004 2.05

HTU 10000 0.004 (2.05+L1)

HTU 10000 0.004 (2.05+L1+L2)

C KUORMITUSTEN MAARITYS

HKU 0.043 6.0 1.0 1.0

HKK 0.055 .109 3.2 3.2 25

HKP 0.221 0.062 0.225 0 0

HKP 0.221 0.062 0.217 LS LS

C JANTEET

C HKM

C

HKM 7 16 6 (1.0) (1.0) 0.0 0 LS

C HKM 7 14 1 1.1 -0.3 0.0 0 48

C HKM 7 14 1 -1.3 1.05 0.0 26 63

C HKM 7 14 1 1.1 -0.18 0.0 0 44.5

C HKM 31 42 2 1.8 1.5 0.0 14 71

C

C janteiden ominaisuudet

HPP 33 -0.000236 1.5 0 0 0.00821 0.010 25 9000 4000 2

C Ao Po Aputki myy beta ankkliukuma

HKA 0.002250 2.985 0.007543 0.21 0.005 0.006

HRL 0.075 0.0

HVM "ARS1.VMM"

HVM "ARS2.VMM"

TASSU-OHJELMISTO , Ver 8.15 (05/2005)

* Siuronkosken ratasilta 2,05+24,35+24,35+2,05
 * B2000 JANNEPALKKI , JANTEET 12kpl 2250

C JÄNTEET 1 KERROKSESSA D0=180
 C POIKKILEIKKAUS 1-8

1.575
 0
 0
 2.1
 4.8
 .59
 .18
 24.35
 24.35
 52.8

1.575
 1.575
 1.575
 1.575
 1.575
 K5

C poikkileikkaus h=
 C x=0-17 JA X=
 C rivit 1-6
 HDS 0 1.575
 HDS 0 0
 HDS 4.8 0
 HDS 4.8 .59
 HDS 2.1 .59
 HDS 2.1 1.575

C JANTEIDEN KULKU
 C JANTEET 1 7-16
 HDS 0 1
 HDS 2.15 1
 HDS 8.1375 .18
 HDS 20.3125 .18
 HDS 25.1825 1.395
 HDS 27.6175 1.395
 HDS 32.4875 .18
 HDS 44.6625 .18
 HDS 50.65 1
 HDS 52.8 1

C .
 C sijoitetaan poikkileikkaus
 C Poikkileikkausten sijoitus
 HPL 1 6 0.0 52.8
 C HPL 7 12 10.8 18

C HPL 13 18 18 33.75
 C HPL 19 24 37.25 53
 C HPL 25 30 53 60.2

C .
 C SIOJITETAAN TUET
 HTU 10000 0.004 2.05
 HTU 10000 0.004 26.4
 HTU 10000 0.004 50.75

C KUORMITUSTEN MAARITYS
 HKU 0.043 6.0 1.0 1.0
 HKK 0.055 .109 3.2 3.2 25
 HKP 0.221 0.062 0.225 0 0
 HKP 0.221 0.062 0.217 52.8 52.8

C JANTEET
 C HKM
 C .
 HKM 7 16 6 1 1 0.0 0 52.8
 C HKM 7 14 1 1.1 -0.3 0.0 0 48
 C HKM 7 14 1 -1.3 1.05 0.0 26 63
 C HKM 7 14 1 1.1 -0.18 0.0 0 44.5
 C HKM 31 42 2 1.8 1.5 0.0 14 71

C .
 C janteiden ominaisuudet
 HPP 33 -0.000236 1.5 0 0 0.00821 0.010 25 9000 4000 2
 C Ao Po Aputki myy beta ankkliukuma
 HKA 0.002250 2.985 0.007543 0.21 0.005 0.006
 HRL 0.075 0.0
 HVM "ARS1.VMM"
 HVM "ARS2.VMM"

* Siuronkosken ratasilta 2,05+24,35+24,35+2,05
 * B2000 JANNEPALKKI , JANTEET 12kpl 2250

N:O ESIJ.VOIMA KESKIM.VOIMAT ALA PITUUS VENNYMA
 PAASTO
 1 2.985 2.787 2.684 .002250 52.800 .327 .006

KITKA-ARVOT MYY .210 BETA .0050 E 200000
 X V0 V1 EV alfa(rad)
 .0 2.985 2.571 1.000 .000 .000
 2.0 2.947 2.608 .970 .050 .100
 4.1 2.906 2.650 .736 .108 .016
 6.1 2.882 2.673 .469 .136 .040
 8.1 2.851 2.705 .282 .179 .046
 10.2 2.819 2.737 .191 .222 .040
 12.2 2.800 2.756 .180 .244 .005

C .
 C sijoitetaan poikkileikkaus
 C Poikkileikkausten sijoitus
 HPL 1 6 0.0 52.8
 C HPL 7 12 10.8 18

TULOS

40.6	.746	.075	.067	.000
42.6	.741	.075	.068	.000
44.7	.732	.075	.066	.000
46.7	.724	.075	.065	.000
48.7	.717	.075	.071	.000
50.8	.706	.075	.081	.000
52.8	.696	.075	.087	.000

* Siuronkosken ratasilta 2,05+24,35+24,35+2,05
 * B2000 JANNEPALKKI , JANTEET 12kpl 2250
 SIIRTYMAT(mm) JA TUKIREAKTIOT(MN)

	SIG0	SIG	SI1	SI2	FIG	FI1	FI2
.0	0	-3.3	-2.4	1.2			
tuki 1							
2.0	0	.7	-.0	.1	2.291	-.112	1.275
4.1	0	2.9	-1.0	2.5			
6.1	-1	3.5	-1.9	4.8			
8.1	-2	3.2	-2.7	6.7			
10.2	-3	2.5	-3.4	8.0			
12.2	-4	1.6	-3.8	8.8			
14.2	-5	.4	-4.1	8.9			
16.3	-5	-.9	-4.1	8.4			
18.3	-4	-1.8	-3.9	7.3			
20.3	-3	-1.6	-3.3	5.8			
22.3	-1	-.3	-2.5	3.9			
24.4	0	1.2	-1.4	2.0			
tuki 2							
26.4	0	1.4	.0	.2	4.723	-.084	1.991
28.4	0	1.2	-1.4	2.0			
30.5	-1	-.3	-2.5	3.9			
32.5	-3	-1.6	-3.3	5.8			
34.5	-4	-1.8	-3.8	7.3			
36.5	-5	-.9	-4.1	8.4			
38.6	-5	.4	-4.1	8.9			
40.6	-4	1.6	-3.8	8.8			
42.6	-3	2.5	-3.3	8.0			
44.7	-2	3.2	-2.7	6.7			
46.7	-1	3.5	-1.9	4.8			
48.7	0	2.9	-1.0	2.5			
tuki 3							
50.8	0	.7	-.0	.1	2.291	-.112	1.266
52.8	0	-3.3	-2.4	1.1			

Maksimitaipuman laskeلمان perusteet :
 Laskentapiste x= 46.7 Virumaluku 2.00
 Laskettu suurin taipuma [mm] :
 Kimmoiset , jännevoima hetkellä T=0 :

TULOS

14.2	2.792	2.764	.180	.247	.000
16.3	2.785	2.770	.180	.248	.002
18.3	2.758	2.758	.184	.284	.071
20.3	2.703	2.703	.332	.371	.102
22.3	2.651	2.651	.690	.454	.064
24.4	2.590	2.590	1.184	.553	.135
26.4	2.494	2.494	1.395	.724	.207
28.4	2.590	2.590	1.184	.553	.135
30.5	2.651	2.651	.690	.454	.064
32.5	2.703	2.703	.332	.371	.102
34.5	2.758	2.758	.184	.285	.071
36.5	2.785	2.770	.180	.248	.002
38.6	2.792	2.763	.180	.247	.000
40.6	2.799	2.756	.180	.245	.005
42.6	2.819	2.737	.191	.222	.040
44.7	2.850	2.705	.283	.179	.046
46.7	2.882	2.673	.469	.136	.040
48.7	2.906	2.650	.736	.108	.016
50.8	2.947	2.608	.970	.050	.100
52.8	2.985	2.570	1.000	.000	.000

* Siuronkosken ratasilta 2,05+24,35+24,35+2,05
 * B2000 JANNEPALKKI , JANTEET 12kpl 2250

X V/Vs RELAKSAATIO KUTISTUMA+VIRUMA KIM.PUR

.0	.696	.075	.087	.000
2.0	.706	.075	.081	.000
4.1	.717	.075	.071	.000
6.1	.724	.075	.065	.000
8.1	.732	.075	.066	.000
10.2	.741	.075	.068	.000
12.2	.746	.075	.067	.000
14.2	.748	.075	.068	.000
16.3	.750	.075	.072	.000
18.3	.747	.075	.077	.000
20.3	.732	.075	.074	.000
22.3	.717	.075	.068	.000
24.4	.701	.075	.088	.000
26.4	.675	.075	.089	.000
28.4	.701	.075	.088	.000
30.5	.717	.075	.068	.000
32.5	.732	.075	.074	.000
34.5	.747	.075	.077	.000
36.5	.750	.075	.072	.000
38.6	.748	.075	.068	.000

g1 4.8 Vo -5.7 dV .9 dg 1.7 yht 1.6
Virumat : g1f Vof dVf Vq Vd Vc Ash D B Sf As_s 0
9.5 -11.5 1.4 2.6 yht 2.1
Taipumat yhteensä 3.7

Jännevoiman häviössä ja pintarakenteissa huomioitu
kuorimituksen alkamisajankohta kertoimilla
dVf 0.84 x ja dgf 0.77 x virumaluku

* Siuronkosken ratasilta 2,05+24,35+24,35+2,05
* B2000 JANNEPALKKI , JANTEET 12kpl 2250

LEIKKAUSVOIMAT

X	Vp	Vg	Vq	Vd	Vc	Ash	D	B	Sf	As_s	0
.0	.000	.000	.000	.000	3.694	0	1.58	2.10	.000	0	
tuki 1											
2.0	-.780	.473	.401	.966	3.694	0	1.58	2.10	.446	980	
4.1	-1.573	1.239	.738	1.400	3.187	0	1.58	2.10	.646	1421	
6.1	-1.466	.903	.612	1.188	3.074	0	1.58	2.10	.548	1206	
8.1	-.895	.568	.491	.873	3.016	0	1.58	2.10	.403	885	
10.2	-.299	.232	.386	.704	2.946	0	1.58	2.10	.325	714	
12.2	.029	-.104	-.310	.657	2.886	0	1.58	2.10	.303	666	
14.2	.079	-.440	-.404	1.184	2.957	0	1.58	2.10	.546	1201	
16.3	.111	-.776	-.503	1.738	3.270	0	1.58	2.10	.802	1763	
18.3	.637	-1.112	-.617	1.872	3.694	0	1.58	2.10	.864	1899	
20.3	1.828	-1.448	-.742	1.427	3.694	0	1.58	2.10	.658	1448	
22.3	2.862	-1.783	-.862	1.940	3.114	0	1.58	2.10	.895	1969	
24.4	2.221	-2.119	-.988	2.322	3.493	0	1.58	2.10	1.071	2356	
tuki 2											
26.4	.000	.000	.551	.991	2.492	0	1.58	2.10	.457	1005	
28.4	-2.221	2.119	.988	2.322	3.493	0	1.58	2.10	1.071	2356	
30.5	-2.862	1.783	.863	1.939	3.114	0	1.58	2.10	.894	1967	
32.5	-1.828	1.448	.742	1.427	3.694	0	1.58	2.10	.658	1448	
34.5	-.637	1.112	.617	1.872	3.694	0	1.58	2.10	.864	1899	
36.5	-.111	.776	.503	1.738	3.269	0	1.58	2.10	.802	1763	
38.6	-.079	.440	.404	1.184	2.956	0	1.58	2.10	.546	1201	
40.6	-.029	.104	.310	.657	2.886	0	1.58	2.10	.303	666	
42.6	.299	-.232	-.385	.702	2.945	0	1.58	2.10	.324	712	
44.7	.895	-.568	-.491	.873	3.016	0	1.58	2.10	.403	885	
46.7	1.467	-.903	-.612	1.189	3.074	0	1.58	2.10	.549	1206	
48.7	1.573	-1.239	-.738	1.399	3.186	0	1.58	2.10	.645	1420	
tuki 3											
50.8	.779	-.473	-.400	.611	3.694	0	1.58	2.10	.282	619	
52.8	.000	.000	.000	.000	3.694	0	1.58	2.10	.000	0	

KIMMOINEN KOKOONPURISTUMA 6.0 mm
KESKIMAARAINEN HAVIO 14.9 %

* Siuronkosken ratasilta 2,05+24,35+24,35+2,05
* B2000 JANNEPALKKI , JANTEET 12kpl 2250

X	IX	Eb	Ab	Wu	Wl	As	Es	Hl	Hu
.0	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	1.000	.00	1.58
tuki 1									
2.0	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.970	.00	1.58
4.1	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.736	.00	1.58
6.1	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.468	.00	1.58
8.1	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.282	.00	1.58
10.2	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.191	.00	1.58
12.2	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.180	.00	1.58
14.2	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.180	.00	1.58
16.3	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.180	.00	1.58
18.3	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.184	.00	1.58
20.3	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.332	.00	1.58
22.3	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.690	.00	1.58
24.4	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	1.184	.00	1.58
tuki 2									
26.4	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	1.395	.00	1.58
28.4	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	1.184	.00	1.58
30.5	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.690	.00	1.58
32.5	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.332	.00	1.58
34.5	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.184	.00	1.58
36.5	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.180	.00	1.58
38.6	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.180	.00	1.58
40.6	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.180	.00	1.58
42.6	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.191	.00	1.58
44.7	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.282	.00	1.58
46.7	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.468	.00	1.58
48.7	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.736	.00	1.58
tuki 3									
50.8	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	.970	.00	1.58
52.8	.991	.627	4.900	1.045	-1.579	13500.	1.000	.00	1.58

* Siuronkosken ratasilta 2,05+24,35+24,35+2,05
* B2000 JANNEPALKKI , JANTEET 12kpl 2250

X	V0	MV0	dP%	Mg1	Mg2	Mp1	Mp2	dS1	dS2	dT1	dT2	Mvp
.0	15.42	5.75	-16	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.0
tuki 1												
2.0	15.65	5.36	-15	-.71	-.93	-.81	.00	.00	.00	.00	.00	.0
4.1	15.90	1.91	-14	1.41	1.93	-.90	1.57	-.05	.05	-.07	.13	.2
6.1	16.04	-2.17	-14	3.02	4.10	-.98	2.82	-.10	.10	-.13	.27	.4
8.1	16.23	-5.03	-14	4.13	5.59	-1.09	3.69	-.14	.14	-.20	.40	.6
10.2	16.42	-6.41	-14	4.73	6.40	-1.25	4.26	-.19	.19	-.27	.54	.8
12.2	16.54	-6.45	-14	4.83	6.53	-1.42	4.51	-.24	.24	-.34	.67	1.0
14.2	16.58	-6.28	-14	4.42	5.98	-1.59	4.44	-.29	.29	-.40	.81	1.1
16.3	16.62	-6.10	-14	3.51	4.75	-1.75	4.05	-.33	.33	-.47	.94	1.3
18.3	16.55	-5.81	-15	2.10	2.83	-1.92	3.37	-.38	.38	-.54	1.08	1.5
20.3	16.22	-3.08	-14	.18	.24	-2.09	2.39	-.43	.43	-.61	1.21	1.7

JACKING SEQUENCE : TRANSFER Strands 1-30 jacked from two sides to 100%. Total force of jacked strands =6120 [kN]
CABLE GEOMETRY :

CABLE NO. = 3
No of strands = 15, Strand type : Y1600/1860, % of jacking = 85, Total force of all strands= 3060 [kN]
Cable is bonded

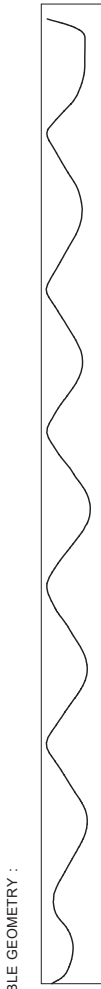
JACKING SEQUENCE : TRANSFER Strands 1-15 jacked from two sides to 100%. Total force of jacked strands =3060 [kN]

CABLE GEOMETRY :



CABLE COORDINATES (mm), relative to section top
Table with columns X, Y and values for various points along the cable.

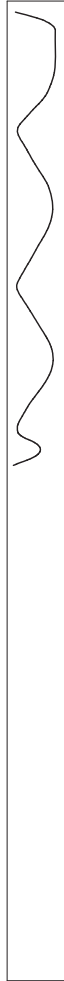
JACKING SEQUENCE : TRANSFER Strands 1-30 jacked from two sides to 100%. Total force of jacked strands =6120 [kN]
CABLE GEOMETRY :



CABLE COORDINATES (mm), relative to section top
Table with columns X, Y and values for various points along the cable.

CABLE NO. = 6
No. of strands = 15, Strand type : Y1600/1660, % of jacking = 85, Total force of all strands= 3060 [kN]
Cable is bonded
JACKING SEQUENCE : TRANSFER
Stage 1: Strands 1-15 jacked from two sides to 100%, Total force of jacked strands =3060 [kN]

CABLE GEOMETRY :



CABLE COORDINATES (mm), relative to section top

Table with 15 columns (X, Y coordinates) and 28 rows of data points for cable geometry.

CABLE NO. = 7
No. of strands = 30, Strand type : Y1600/1660, % of jacking = 85, Total force of all strands= 6120 [kN]
Cable is bonded
JACKING SEQUENCE : TRANSFER
Stage 1: Strands 1-30 jacked from two sides to 100%, Total force of jacked strands =6120 [kN]

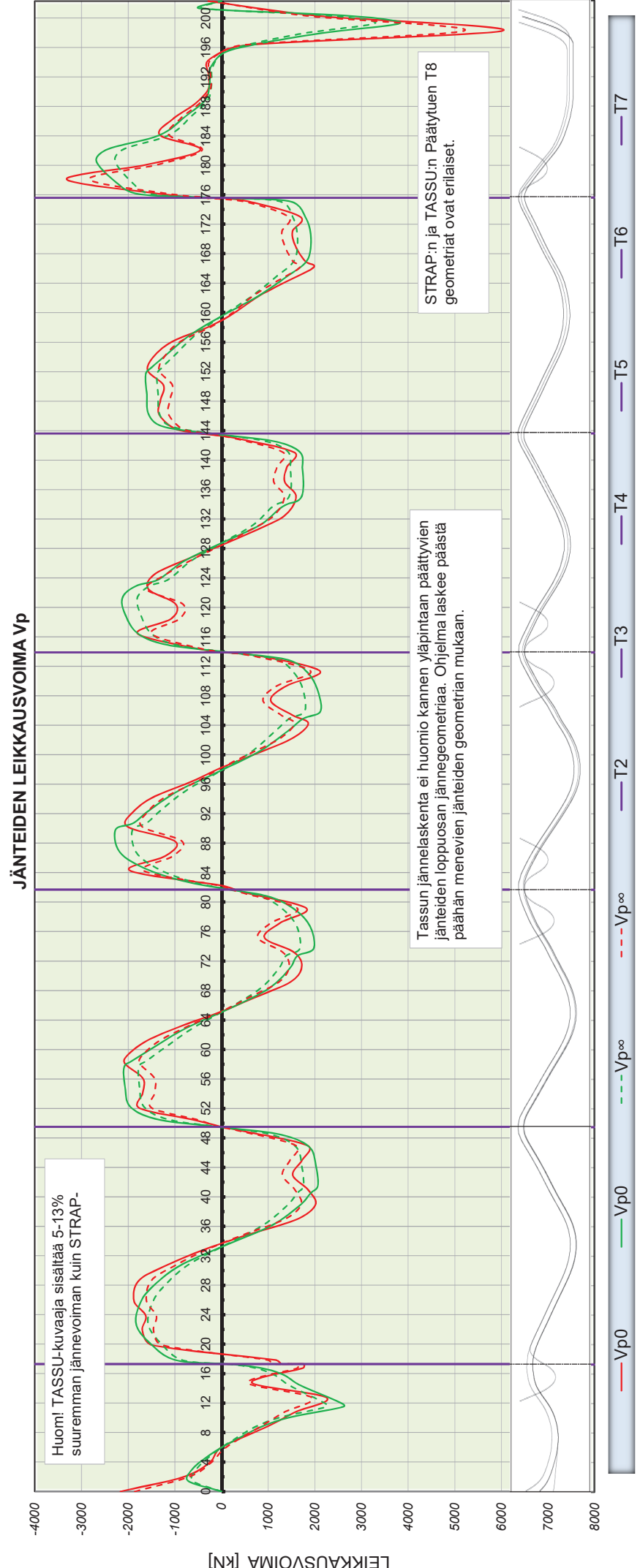
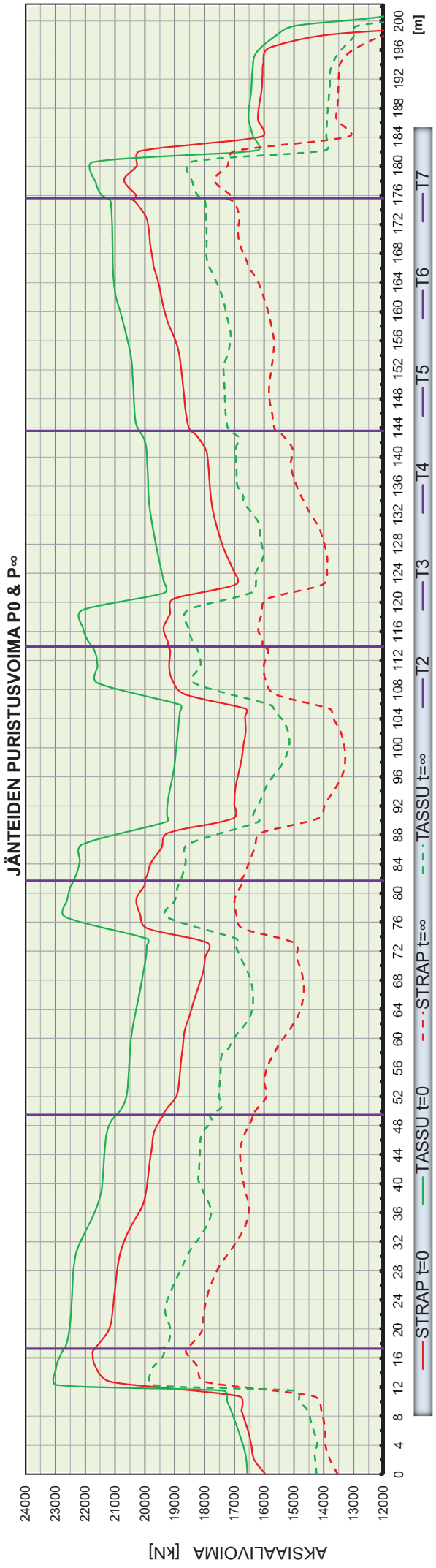
CABLE GEOMETRY :



CABLE COORDINATES (mm), relative to section top

Table with 15 columns (X, Y coordinates) and 48 rows of data points for cable geometry.

Table with columns for STRAP TULOSET, STRAPIN ARVOILLA JÄNNITYKSEN KASINLASKENTA, and Beam. Rows include numerical data for various parameters like x, Mv0, Mv1, Vp0, Vp1, P0, P1, Mvp0, etc., across 203 rows.

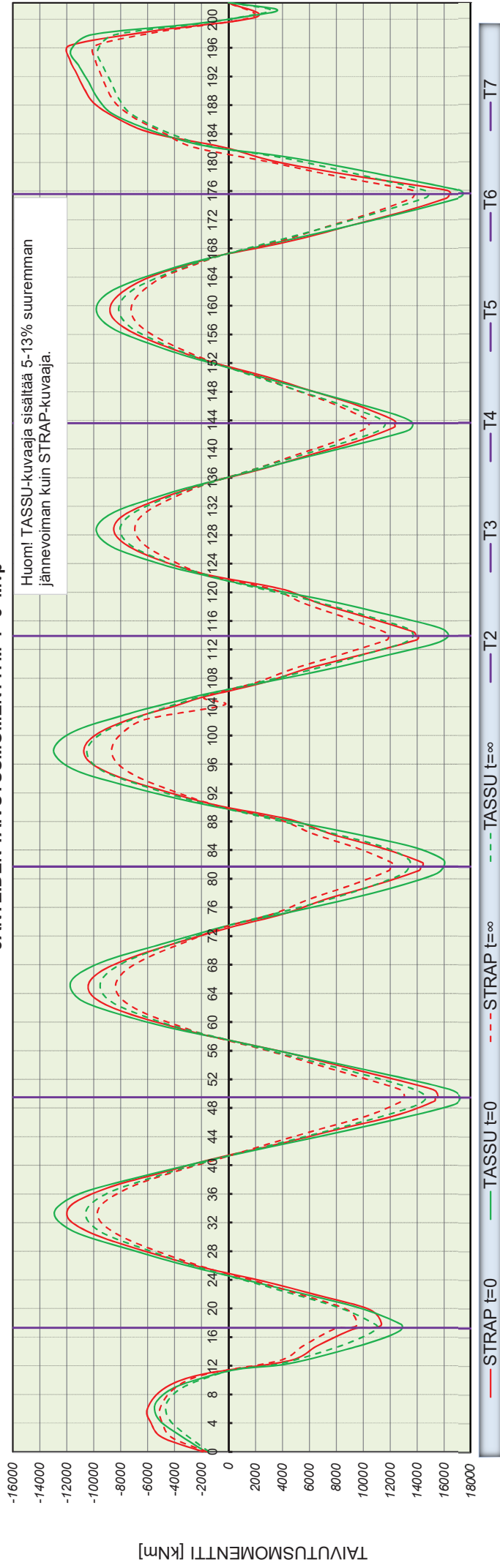


Huom! TASSU-kuvaaja sisältää 5-13% suuremman jännevoiman kuin STRAP.

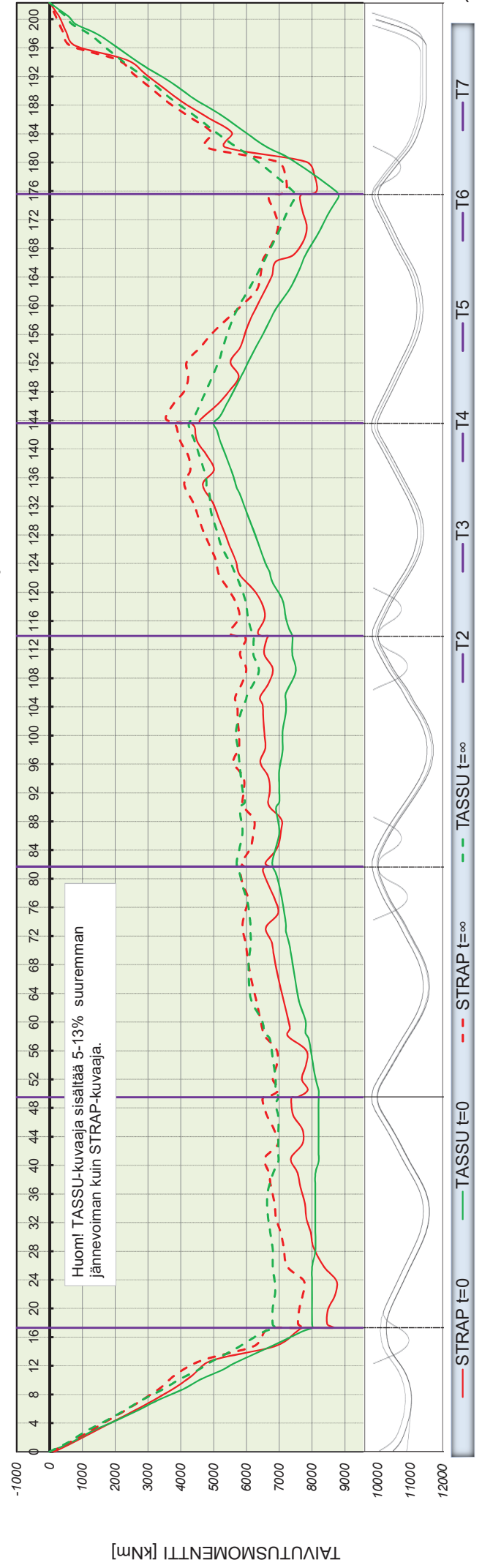
Tassun jännelaskenta ei huomio kannen yläpintaan päättyvien jänteiden loppuosan jännegeometriaa. Ohjelma laskee päästä päähän menevien jänteiden geometrian mukaan.

STRAP:n ja TASSU:n Päättyneen T8 geometriat ovat erilaiset.

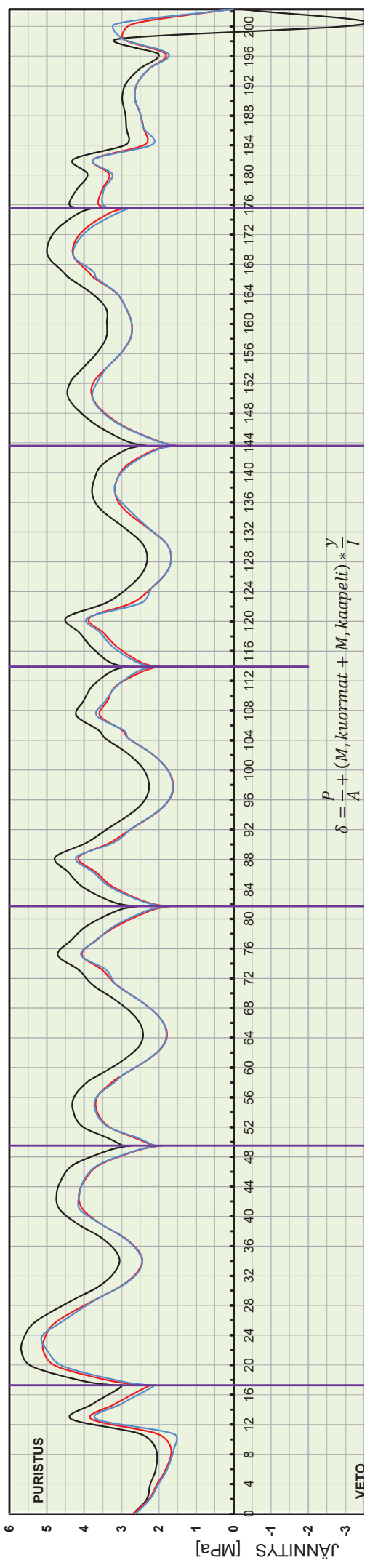
JÄNTEIDEN TAIUTUSMOMENTTI $M=P \cdot e + Mvp$



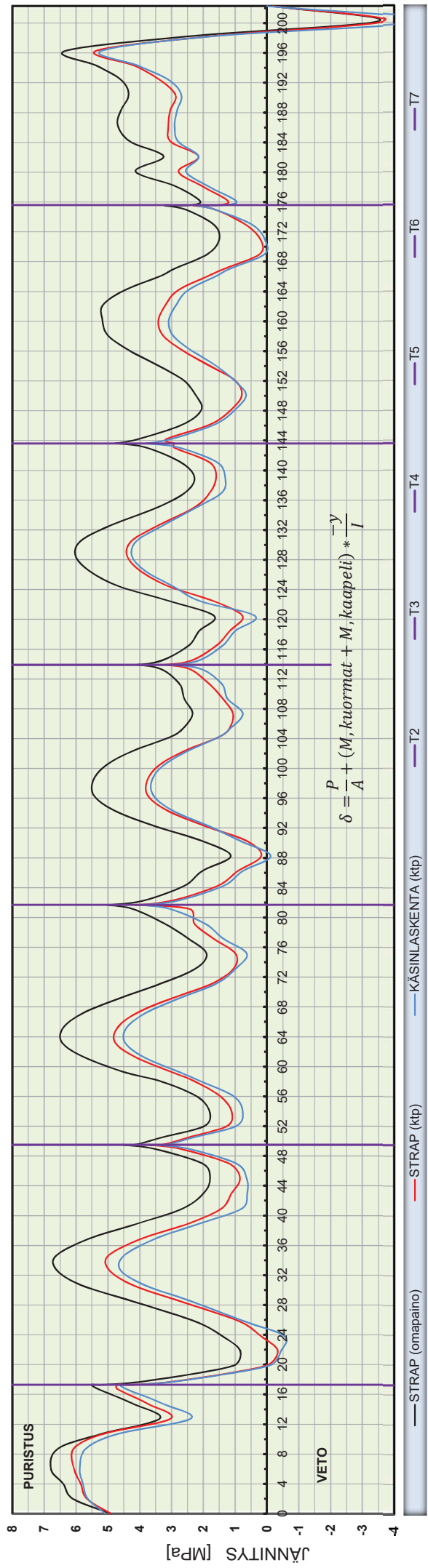
JÄNTEIDEN AIHEUTTAMA PAKKOMOMENTTI Mvp



PALKIN YLÄPINNAN JÄNNITYS, KUN P[∞] JA YHDISTELYNÄ ON KÄYTTÖTILA PITKÄAIKAINEN SEKÄ OMAPAINO

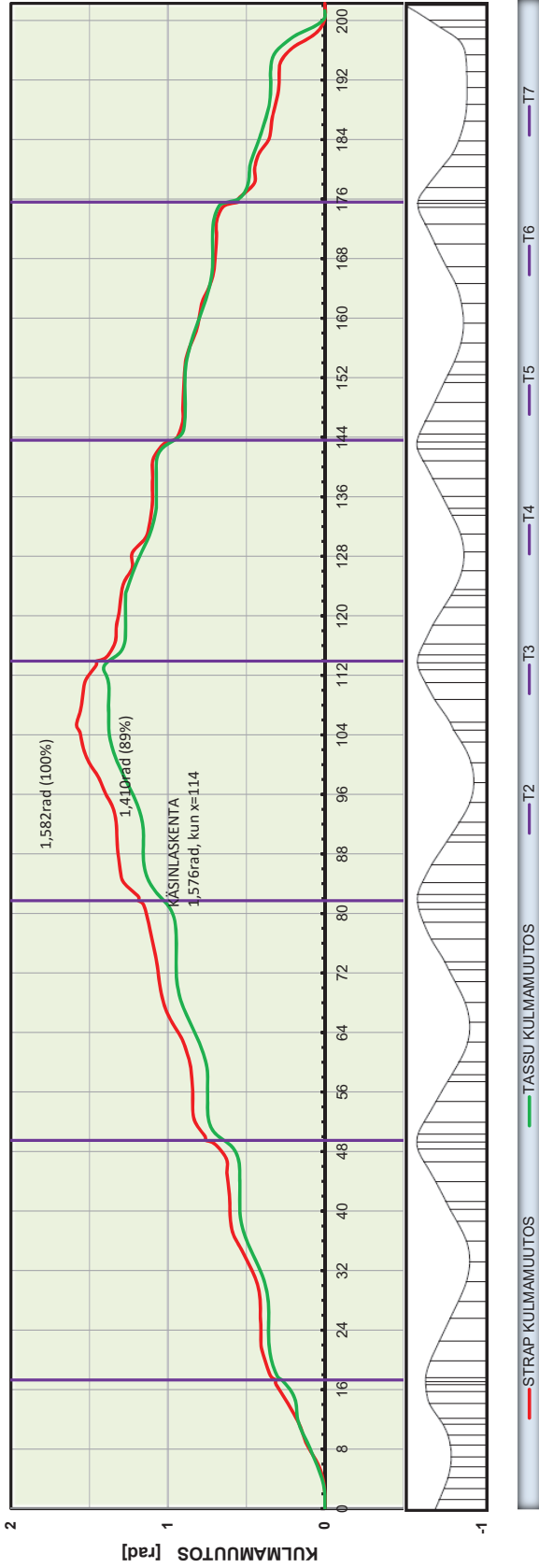


PALKIN ALAPINNAN JÄNNITYS, KUN P[∞] JA YHDISTELYNÄ ON KÄYTTÖTILA PITKÄAIKAINEN SEKÄ OMAPAINO

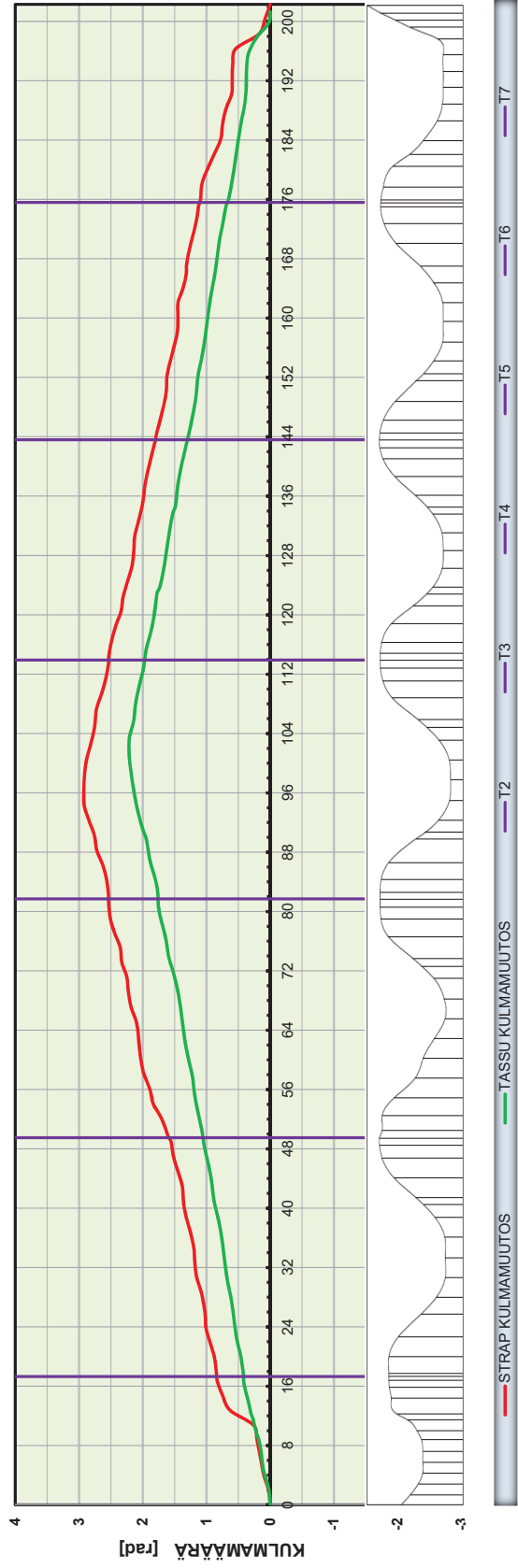


— STRAP (omapaino) — KÄSINLASKENTA (ktp) — T2 — T3 — T4 — T5 — T6 — T7

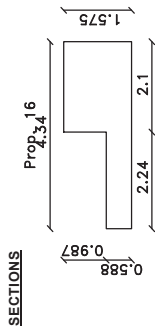
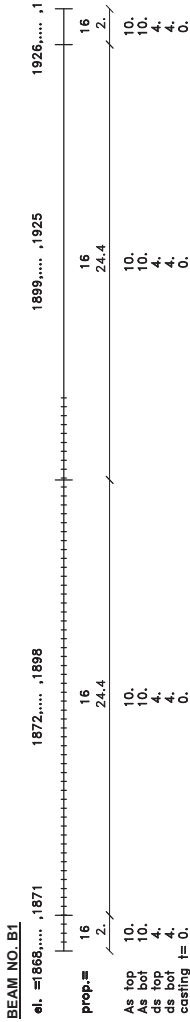
PALKIN KOKO PITUUDELLA KULKEVAN JÄNNEGEOMETRIAN KULMAMUUTOS



TESTIPALKIN KOKO PITUUDELLA KULKEVAN JÄNNEGEOMETRIAN KULMAMUUTOS



GEOMETRY DATA TABLE



PARAMETERS
Design Code = EuroCode, conc. fc = 33, reinf. fy = 500., shear reinf. fy = 500.
Reinf. modulus E = 200000., conc. modulus E = 33000., cables modulus E = 195000.
Humidity = 50 %, cement type = normal, temperature = 20.
Calculation methods: Ultimate moment = include decompression strain,
Shear = standard method, Deflections = use effective I at each point.

CABLE NO. = 1
No. of strands = 90, Strand type : Y1570/1770, % of jacking = 85., Total force of all strands= 17912.5[kN]
Cable is bonded
JACKING SEQUENCE :
Stage 1: TRANSFER
Strands 1-90 jacked from two sides to 100 %, Total force of jacked strands =17912.5[kN]

CABLE GEOMETRY :



CABLE COORDINATES (mm), relative to section top

X	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500
Y	-575	-576	-576	-577	-587	-624	-680	-749	-824	-898	-968	-1033
X	6000	6500	7000	7500	8000	8500	9000	9500	10000	10500	11000	11500
Y	-1094	-1152	-1204	-1250	-1288	-1323	-1352	-1375	-1386	-1389	-1391	-1391
X	12000	12403	13000	13500	14000	14500	15000	15310	15500	16000	16500	17000
Y	-1394	-1395	-1395	-1395	-1395	-1395	-1395	-1395	-1395	-1395	-1395	-1394
X	17500	18000	18500	19000	19500	20000	20500	21000	21500	22000	22500	23000
Y	-1393	-1388	-1382	-1362	-1320	-1278	-1212	-1141	-1051	-952	-837	-713
X	23500	24000	24500	25000	25500	26000	26498	27000	27500	28000	28500	29000
Y	-590	-475	-373	-290	-228	-192	-181	-206	-251	-320	-411	-517
X	29500	30000	30500	31000	31500	32000	32500	33000	33500	34000	34500	35000
Y	-636	-762	-885	-995	-1091	-1173	-1243	-1297	-1342	-1378	-1392	-1393
X	35500	36000	36500	37000	37500	38000	38500	39000	39500	40000	40500	41000
Y	-1394	-1395	-1396	-1396	-1395	-1395	-1395	-1395	-1395	-1395	-1395	-1396
X	41164	41500	42000	42500	43000	43500	44000	44500	45000	45500	46000	46500
Y	-1396	-1395	-1392	-1386	-1375	-1358	-1335	-1307	-1272	-1230	-1183	-1130
X	47000	47500	48000	48500	49000	49500	50000	50500	51000	51500	52000	52500
Y	-1072	-1008	-940	-869	-795	-722	-658	-613	-580	-573	-574	-575
X	52800											
Y	-575											

Betonin halkeamaleveys

X [m]	P _∞ [kN]	M _{cr} [kNm]	M _{vp∞} [kNm]	M _{cr} +M _{vp∞} [kNm]	W _{laskettu} [mm]
0	12843	-8897	0	-8897	0,055
2,1	13095	-8872	0	-8872	0,037
4,1	13455	4977	174	5151	0,022
6,1	13729	8573	340	8913	0,017
8,1	13913	11212	504	11716	0,018
10,2	14112	12489	668	13157	0,015
12,2	14164	12518	869	13387	0,018
14,2	14171	12367	1016	13383	0,015
16,3	14109	12142	1184	13326	0,015
18,3	13917	11682	1328	13010	0,009
20,3	13438	9143	1615	10758	0,024
22,3	13064	4022	1679	5701	0,031
24,4	12645	-12979	1818	-11161	0,061
26,4	12239	-15563	2126	-13437	0,061

Ultimate moments and factored moments at t = 30000 (Units: kN meter), beam no. 1

Member no.	Dist.	Comb	M	Mcr	Ultimate Moment	x/d	Multi/Mcr	M/Mult
1868	0.00	100	-486.3	8898.4	19819.8	0.3213	2.23	0.02
	0.25	11	-592.3	8898.3	19812.4	0.3213	2.23	0.03
1869	0.50	11	-734.5	8898.2	19805.1	0.3213	2.23	0.04
	0.75	11	-923.2	8898.6	19797.9	0.3213	2.22	0.05
1870	1.00	11	-1116.9	8899.6	19791.4	0.3213	2.22	0.06
	1.25	11	-1358.2	8901.3	19786.4	0.3213	2.22	0.07
1871	1.50	11	-1603.8	8910.6	19785.1	0.3213	2.22	0.08
	1.75	11	-1897.4	8909.9	19785.1	0.3213	2.22	0.08
1872	2.00	11	-2195.1	8898.2	19699.2	0.3213	2.22	0.10
	2.25	43	-2200.2	8857.4	19505.3	0.3213	2.20	0.11
1873	2.50	43	-1828.3	8734.7	19081.1	0.3213	2.18	0.10
	2.75	86	-1480.9	8473.5	18424.7	0.3203	2.17	0.08
1874	3.00	86	-934.4	2936.8	5546.5	0.2905	1.89	0.17
	3.25	86	-1409.3	3355.5	6613.5	0.2949	1.97	0.21
1875	3.50	86	1877.2	3812.5	7776.8	0.3018	2.04	0.24
	4.00	86	1880.0	3807.3	7778.5	0.3018	2.04	0.24
1876	4.10	86	2413.4	4387.4	9313.6	0.3096	2.12	0.26
	4.10	86	2939.3	4980.2	10888.9	0.3174	2.19	0.27
1877	4.10	86	2944.5	4982.3	10890.1	0.3174	2.19	0.27
	4.55	86	3676.5	5859.7	13007.5	0.3198	2.22	0.28
1878	5.00	86	4390.8	6695.2	14992.9	0.3213	2.24	0.29
	5.55	86	5173.8	7665.8	17313.1	0.3232	2.24	0.29
1879	6.10	86	5926.6	8573.4	19465.5	0.3247	2.27	0.30
	6.10	86	5922.8	8582.3	19466.0	0.3247	2.27	0.30
1880	6.55	86	6460.2	9287.9	21131.5	0.3262	2.28	0.31
	7.00	86	6980.9	9933.3	22684.6	0.3271	2.28	0.31
1881	7.55	86	7526.2	10631.4	24324.1	0.3281	2.29	0.31
	8.10	86	8041.5	11203.7	25686.8	0.3291	2.29	0.31
1882	8.60	86	8039.5	11208.7	25687.0	0.3291	2.29	0.31
	8.60	86	8415.8	11671.3	26805.7	0.3301	2.30	0.31
1883	9.10	86	8771.5	12058.3	27686.3	0.3306	2.30	0.32
	9.10	86	8774.1	12068.4	27686.3	0.3306	2.29	0.32
1884	9.65	86	9063.9	12416.9	28423.8	0.3311	2.29	0.32
	10.20	86	9328.6	12474.4	28602.9	0.3315	2.29	0.33
1885	10.65	86	9461.5	12506.4	28684.9	0.3315	2.29	0.33
	11.10	86	9582.1	12508.5	28729.6	0.3315	2.30	0.33
1886	11.60	86	9586.7	12508.7	28729.7	0.3315	2.30	0.33
	12.20	86	9637.1	12506.6	28777.3	0.3315	2.30	0.33
1887	12.60	86	9662.5	12501.6	28821.8	0.3315	2.31	0.34
	13.00	86	9545.6	12457.9	28777.5	0.3320	2.31	0.33
1888	13.60	86	9356.0	12406.3	28726.2	0.3320	2.32	0.33
	14.20	86	9127.7	12353.3	28675.6	0.3320	2.32	0.32

Ultimate moments and factored moments at t = 30000 (Units: kN meter), beam no. 1

Member no.	Dist.	Comb	M	Mcr	Ultimate Moment	x/d	Multi/Mcr	M/Mult
1886	14.20	86	9118.4	12353.0	28675.4	0.3320	2.32	0.32
	14.60	86	8895.7	12315.4	28640.4	0.3320	2.33	0.31
1887	15.00	86	8659.9	12277.0	28605.0	0.3320	2.33	0.30
	15.00	86	8671.4	12277.4	28605.2	0.3320	2.33	0.30
1888	15.65	86	8167.7	12210.2	28542.0	0.3320	2.34	0.29
	16.30	86	7629.1	12130.5	28467.3	0.3320	2.35	0.27
1889	16.30	86	7616.8	12130.1	28467.0	0.3320	2.35	0.27
	16.70	86	7211.7	12064.5	28410.7	0.3315	2.35	0.25
1890	17.10	86	6793.3	11997.1	28333.8	0.3315	2.36	0.24
	17.10	86	6801.8	11997.2	28333.9	0.3315	2.36	0.24
1891	17.70	86	6068.7	11861.7	28181.7	0.3315	2.38	0.22
	18.30	86	5305.9	11679.0	27868.7	0.3315	2.39	0.19
1892	18.30	86	5294.6	11674.5	27868.5	0.3315	2.39	0.19
	18.65	70	4793.5	11566.5	27694.3	0.3311	2.39	0.17
1893	19.00	70	4284.9	11080.2	26897.1	0.3306	2.43	0.16
	19.65	70	3238.9	10251.9	25021.4	0.3291	2.44	0.13
1894	20.30	70	2145.3	9139.6	22643.0	0.3276	2.48	0.09
	20.30	70	2131.2	9116.8	22642.9	0.3276	2.48	0.09
1895	20.65	104	1526.8	8420.9	20983.8	0.3267	2.49	0.07
	21.00	104	1059.8	7722.1	19326.1	0.3257	2.50	0.05
1896	21.00	104	1066.6	7685.2	19327.4	0.3257	2.51	0.06
	21.65	104	123.3	5963.6	15403.5	0.3228	2.59	0.01
1897	22.30	91	-5991.2	6641.2	11345.0	0.2905	1.71	0.53
	22.65	91	-6880.0	6614.7	11346.6	0.2905	1.72	0.53
1898	23.00	91	-7369.8	8879.3	17215.9	0.3184	1.94	0.43
	23.00	91	-7360.5	8889.6	17216.5	0.3184	1.94	0.43
1899	23.70	89	-8995.9	11087.9	22637.2	0.3223	2.04	0.40
	24.40	89	-10900.0	12967.1	27435.8	0.3252	2.12	0.40
1900	24.40	89	-10918.8	13009.2	27445.5	0.3252	2.11	0.40
	24.70	89	-11785.4	13685.3	29181.0	0.3262	2.13	0.40
1901	25.00	89	-12659.4	14220.8	30655.9	0.3271	2.15	0.41
	25.34	89	-13681.0	14765.0	32014.3	0.3281	2.17	0.43
1902	25.68	89	-14710.7	15159.3	33092.6	0.3286	2.18	0.44
	25.68	89	-14712.1	15173.1	33091.7	0.3286	2.18	0.44
1903	26.04	89	-15861.6	15422.6	33772.3	0.3291	2.19	0.47
	26.40	93	-17022.0	15510.3	34040.4	0.3291	2.19	0.50
1904	26.40	93	-17022.7	15515.7	34039.7	0.3291	2.19	0.50
	26.74	93	-15937.6	15394.7	33712.0	0.3291	2.19	0.47
1905	27.07	93	-14861.9	15106.1	33071.5	0.3286	2.19	0.45
	27.07	93	-14859.7	15093.5	33072.2	0.3286	2.19	0.45
1906	27.41	94	-13823.9	14786.1	32153.7	0.3281	2.17	0.43
	27.75	94	-12799.6	14299.8	30846.5	0.3271	2.16	0.41
1907	27.75	94	-12797.8	14279.0	30847.4	0.3271	2.16	0.41
	28.07	94	-11848.3	13678.9	29268.2	0.3262	2.14	0.40
1908	28.40	94	-10907.6	12960.2	27397.6	0.3252	2.11	0.40
	28.40	94	-10897.5	12933.0	27398.4	0.3252	2.12	0.40
1909	28.95	94	-9386.8	11512.2	23773.7	0.3228	2.07	0.39
	29.50	94	-7901.1	9875.7	19659.7	0.3203	1.99	0.40
1910	29.50	94	-7902.2	9882.4	19659.1	0.3203	1.99	0.40
	30.00	94	-6841.9	8229.5	15506.5	0.3103	1.88	0.43
30.50	94	-5402.3	6613.7	11344.3	0.2905	1.72	0.48	

Insinööritoimisto SUUNNITTELUKIDE OY	Projekti: Siuronkosken ratasilla 12.131	pvm laat.	20.3.2016	N:o sivu
<p>Jännepalkin halkeamanleveys, lyhytaikainen kuormitus</p> <p>x=0,0 uloke</p> <p>Lähtötiedot</p> <p>laatan leveys uuman <u>alaosan</u> leveys, arvioitu erikseen palkin korkeus laatan paksuus jänteiden etäisyys palkin <u>alapinnasta</u> puristuserästen et. palkin <u>alapinnasta</u> vetoterästen etäisyys palkin <u>alapinnasta</u> vetoterästen pinta-ala puristuserästen pinta-ala jänneterästen pinta-ala momentti, tavallinen yhdistelmä momentti, ominaisyhdistelmä jännevoima vetoterästen kimmomoduli puristuserästen kimmomoduli betonin kimmomoduli jänneterästen kimmomoduli $= E_s / E_{cm}$ $= E_s / E_{cm}$ betonin jännitys <u>alareunassa</u> pitkäaik. kuormista betonin jännitys <u>yläreunassa</u> pitkäaik. kuormista nollavienymä (vastaa betonin puristumaa jänneterästen kohdalla)</p> <p>b = 4,340 m b_w ≈ 2,100 m h = 1,575 m h₁ = 0,580 m d_p = 1,000 m d_s = 0,078 m d_t = 1,509 m A_s = 1000 mm² A_s = 1000 mm² A_p = 13500 mm² M_{hav.} = 8,897 MNm M_{omin.} = 0,000 MNm P = 12,843 MN E_s = 200000 MN/m² E_s' = 200000 MN/m² E_{cm} = 32837 MN/m² E_p = 195000 MN/m² α_s = 6,09 α_s = 6,09 α_p = 5,94 σ_{syf} = 1,000 MN/m² σ_{car} = -7,100 MN/m² Δx_{p0} = 0,000126</p> <p>f_{p0,1k} = 1560 MN/m² f_{p0k} = 1835 MN/m²</p> <p>betoni f_{ck} = 30 MN/m² f_{ctm} = 2,90 MN/m² 1 + φ = 1</p>				
<p>Poikkeileikkauksen jännitysten laskenta</p> <p>σ_s = 12,3 MN/m² vetoteräkselt σ_s = -28,8 MN/m² puristuseräkselt Δσ_p = 20,4 MN/m² jänneteräkselt, lisäys σ_{p0} + Δσ_p = 971,7 MN/m² jänneteräkselt, lopullinen</p> <p>N_{r1} = -3,853 MN N_{r2} = -2,021 MN N_{r3} = -7,228 MN N_s = 0,012 MN N_s = -0,029 MN ΔN_p = 0,275 MN N_p + ΔN_p = 13,118 MN</p> <p>Σ N = 0,00 sisäinen voimatasapaino Σ M = 0,00 sisäinen momentti tasapaino</p> <p>x = 1,1328 m laskettu purist.vyöhd. korkeus σ_c = -6,077 MN/m² betonin puristusjännitys tark.: 13,118 MN -(N_{r1} + N_{c2} + N_{c3} + N_s + N_p)</p> <p>Yhteenveto pitkäaikaisen ja tavallisen yhdistelmän mukaisista jännityksistä: σ_{c,pitk.} = -7,10 N/mm² ≤ -0,203 * f_{ck} ≤ -0,45 * f_{ck} NCCI 2, kaava 7.1 σ_c = -6,08 N/mm² ≤ -0,203 * f_{ck} OK! σ_s = 12,3 N/mm² ≤ 0,025 * f_{yk} ≤ 0,070 * f_{yk} NCCI 2, lau.7.1 σ_p = 971,7 N/mm² ≤ 0,623 * f_{p0,1k} ≤ 0,988 * f_{p0,1k}</p> <p>Yhteenveto ominaisyhdistelmän mukaisista jännityksistä: σ_c = -3,310 N/mm² ≤ -0,110 * f_{ck} ≤ -0,6 * f_{ck} σ_s = -10,7 N/mm² ≤ -0,021 * f_{yk} ≤ -0,8 * f_{yk} σ_p = 973,4 N/mm² ≤ 0,624 * f_{p0,1k} ≤ 0,988 * f_{p0,1k} ja 0,7 * f_{p0k}</p>				

Insinööritoimisto SUUNNITTELUKIDE OY	Projekti: Siuronkosken ratasilla 12.131	pvm laat.	20.3.2016	N:o sivu
<p>Jännepalkin halkeamanleveys, lyhytaikainen kuormitus</p> <p>x=2,0 tuki T1</p> <p>Lähtötiedot</p> <p>laatan leveys uuman <u>alaosan</u> leveys, arvioitu erikseen palkin korkeus laatan paksuus jänteiden etäisyys palkin <u>alapinnasta</u> puristuserästen et. palkin <u>alapinnasta</u> vetoterästen etäisyys palkin <u>alapinnasta</u> vetoterästen pinta-ala puristuserästen pinta-ala jänneterästen pinta-ala momentti, tavallinen yhdistelmä momentti, ominaisyhdistelmä jännevoima vetoterästen kimmomoduli puristuserästen kimmomoduli betonin kimmomoduli jänneterästen kimmomoduli $= E_s / E_{cm}$ $= E_s' / E_{cm}$ $= E_s / E_{cm}$ betonin jännitys <u>alareunassa</u> pitkäaik. kuormista betonin jännitys <u>yläreunassa</u> pitkäaik. kuormista nollavienymä (vastaa betonin puristumaa jänneterästen kohdalla)</p> <p>b = 4,340 m b_w ≈ 2,100 m h = 1,575 m h₁ = 0,580 m d_p = 1,000 m d_s = 0,078 m d_t = 1,509 m A_s = 1000 mm² A_s = 1000 mm² A_p = 13500 mm² M_{hav.} = 8,872 MNm M_{omin.} = 0,000 MNm P = 13,095 MN E_s = 200000 MN/m² E_s' = 200000 MN/m² E_{cm} = 32837 MN/m² E_p = 195000 MN/m² α_s = 6,09 α_s = 6,09 α_p = 5,94 σ_{syf} = -1,200 MN/m² σ_{car} = -6,000 MN/m² Δx_{p0} = 0,000129</p> <p>f_{p0,1k} = 1560 MN/m² f_{p0k} = 1835 MN/m²</p> <p>betoni f_{ck} = 30 MN/m² f_{ctm} = 2,90 MN/m² 1 + φ = 1</p>				
<p>Poikkeileikkauksen jännitysten laskenta</p> <p>σ_s = 9,5 MN/m² vetoteräkselt σ_s = -28,3 MN/m² puristuseräkselt Δσ_p = 19,4 MN/m² jänneteräkselt, lisäys σ_{p0} + Δσ_p = 989,4 MN/m² jänneteräkselt, lopullinen</p> <p>N_{r1} = -3,984 MN N_{r2} = -1,878 MN N_{r3} = -7,477 MN N_s = 0,010 MN N_s = -0,028 MN ΔN_p = 0,262 MN N_p + ΔN_p = 13,357 MN</p> <p>Σ N = 0,00 sisäinen voimatasapaino Σ M = 0,00 sisäinen momentti tasapaino</p> <p>x = 1,1954 m laskettu purist.vyöhd. korkeus σ_c = -5,957 MN/m² betonin puristusjännitys tark.: 13,357 MN -(N_{r1} + N_{c2} + N_{c3} + N_s + N_p)</p> <p>Yhteenveto pitkäaikaisen ja tavallisen yhdistelmän mukaisista jännityksistä: σ_{c,pitk.} = -6,00 N/mm² ≤ -0,200 * f_{ck} ≤ -0,45 * f_{ck} NCCI 2, kaava 7.1 σ_c = -5,96 N/mm² ≤ -0,199 * f_{ck} OK! σ_s = 9,5 N/mm² ≤ 0,019 * f_{yk} ≤ 0,070 * f_{yk} NCCI 2, lau.7.1 σ_p = 989,4 N/mm² ≤ 0,634 * f_{p0,1k} ≤ 0,988 * f_{p0,1k}</p> <p>Yhteenveto ominaisyhdistelmän mukaisista jännityksistä: σ_c = -4,000 N/mm² ≤ -0,133 * f_{ck} ≤ -0,6 * f_{ck} σ_s = -10,5 N/mm² ≤ -0,021 * f_{yk} ≤ -0,8 * f_{yk} σ_p = 994,6 N/mm² ≤ 0,638 * f_{p0,1k} ≤ 0,988 * f_{p0,1k} ja 0,7 * f_{p0k}</p>				

Insinööritoimisto SUUNNITTELUKIDE OY	Projekti: Sturonkosken ratasilla 12.131	pvm laat.	20.3.2016 Jro/sivu	N:o
<p>Jännepalkin halkeamanleveys, lyhytaikainen kuormitus</p> <p>x=6,1</p> <p>Lähtötiedot</p> <p>leveys, jolle vetoteräksset sijoitetaan ($A_{c,eff}$ laskettaessa) uuman <u>läösan</u> leveys, arvioitu erikseen palkin korkeus laatan paksuus jänteiden etäisyys palkin <u>yläpinnasta</u> puristus terästen et. palkin <u>yläpinnasta</u> vetoterästen etäisyys palkin <u>yläpinnasta</u> vetoterästen pinta-ala puristus terästen pinta-ala jänneterästen pinta-ala momentti (<u>alapiirtään</u> vetoa aiheuttava) jännevoima vetoterästen kimmomoduli puristus terästen kimmomoduli betonin kimmomoduli jänneterästen kimmomoduli $= E_s / E_{cm}$ $= E_s' / E_{cm}$ $= E_p / E_{cm}$ betonin jännitys <u>alareunassa</u> pitkäaik. kuormista betonin jännitys <u>yläreunassa</u> pitkäaik. kuormista nollavienymä (vastaa betonin puristumaa jänneterästen kohdalla)</p> <p>b = 4,340 m b_w ≈ 2,100 m h = 1,575 m h₁ = 1,575 m h₂ = 0,580 m d_p = 1,107 m d_s = 0,070 m d_s = 1,497 m A_s = 1000 mm² A_s' = 1000 mm² A_p = 13500 mm² M_{max} = 8,913 MNm M_{min} = 0,000 MNm P = 13,729 MN E_s = 200000 MN/m² E_s' = 200000 MN/m² E_{cm} = 32837 MN/m² E_p = 195000 MN/m² α_s = 6,09 α_s' = 6,09 α_p = 5,94 σ_{c,yr} = -2,200 MN/m² σ_{c,ar} = -5,300 MN/m² Δε_{p0} = 0,000095</p> <p>f_{pd,1k} = 1560 MN/m² f_{pk} = 1835 MN/m²</p> <p>f_{ck} = 30 MN/m² f_{ctm} = 2,90 MN/m² 1 + φ = 1</p>				
<p>Halkeaman leveyden laskenta</p> <p>C_{rise} = 64 mm C_{nom} = 40 mm ΔC_{dev} = 5 mm C_{min,dur} = 35 mm C = 49 mm</p> <p>k₁ = 0,8 (A500HW) k₂ = 0,5 (taivutus)</p> <p>A_s = 1000 mm² φ_{req} = 25 mm σ_s = 4,3 N/mm² h_{c,ef} = 61,1 mm</p> <p>Σ N = 0,000 sisäinen voimatasapaino Σ M = 0,000 sisäinen momentti tasapaino</p> <p>x = 1,392 m laskettu purist.vyöh. korkeus σ_c = -9,43 N/mm² betonin puristusjännitys tark.: -(N_c + N_s + N_t)</p> <p>min (2,5*(h-d);(h-x)/3;h/2) =</p> <p>b_{req} = 0,5*(b_{wp}-b_{web})*h_{c,ef}/(h-h₁) = b_{c,ef}*A_{c,eff} = b_{c,ef}*A_{c,eff} = P_{p,eff} = 0,00377 k₁ = 0,6 S_{c,max} = 1293,6 mm ε_{sm} - ε_{cm} = 0,00001</p> <p>Yhteenveto jännityksistä: σ_{c,alk} = -5,30 N/mm² σ_c = -9,43 N/mm² σ_s = 4,3 N/mm² σ_p = 1024,0 N/mm² σ_{c,alk} = -0,177 * f_{ck} σ_c = -0,314 * f_{ck} σ_s = 0,009 * f_{yk} σ_p = 0,656 * f_{pd,1k} w_{k,yh.} = <=0,45 * f_{ck} w_{max,saal} = 0,200 mm w_{max,saal} = 0,280 mm</p> <p>Yhteenveto ominaisyhdistelmän mukaisista jännityksistä: σ_c = -9,30 N/mm² σ_s = 3,3 N/mm² σ_p = 1025,0 N/mm² σ_c = -0,310 * f_{ck} σ_s = 0,007 * f_{yk} σ_p = 0,657 * f_{pd,1k} w_{k,yh.} = <= 0,6 * f_{ck} w_{max,saal} = <= 0,8 * f_{yk} w_{max,saal} = <= 0,8 * f_{pd,1k} ja 0,7 * f_{pk}</p>				

Insinööritoimisto SUUNNITTELUKIDE OY	Projekti: Sturonkosken ratasilla 12.131	pvm laat.	20.3.2016 Jro/sivu	N:o
<p>Jännepalkin halkeamanleveys, lyhytaikainen kuormitus</p> <p>x=4,1</p> <p>Lähtötiedot</p> <p>leveys, jolle vetoteräksset sijoitetaan ($A_{c,eff}$ laskettaessa) uuman <u>läösan</u> leveys, arvioitu erikseen palkin korkeus laatan paksuus jänteiden etäisyys palkin <u>yläpinnasta</u> puristus terästen et. palkin <u>yläpinnasta</u> vetoterästen etäisyys palkin <u>yläpinnasta</u> vetoterästen pinta-ala puristus terästen pinta-ala jänneterästen pinta-ala momentti (<u>alapiirtään</u> vetoa aiheuttava) jännevoima vetoterästen kimmomoduli puristus terästen kimmomoduli betonin kimmomoduli jänneterästen kimmomoduli $= E_s / E_{cm}$ $= E_s' / E_{cm}$ $= E_p / E_{cm}$ betonin jännitys <u>alareunassa</u> pitkäaik. kuormista betonin jännitys <u>yläreunassa</u> pitkäaik. kuormista nollavienymä (vastaa betonin puristumaa jänneterästen kohdalla)</p> <p>b = 4,340 m b_w ≈ 2,100 m h = 1,575 m h₁ = 0,580 m h₂ = 0,839 m d_p = 0,070 m d_s = 1,497 m A_s = 1000 mm² A_s' = 1000 mm² A_p = 13500 mm² M_{max} = 5,151 MNm M_{min} = 0,000 MNm P = 13,455 MN E_s = 200000 MN/m² E_s' = 200000 MN/m² E_{cm} = 32837 MN/m² E_p = 195000 MN/m² α_s = 6,09 α_s' = 6,09 α_p = 5,94 σ_{c,yr} = -1,200 MN/m² σ_{c,ar} = -6,300 MN/m² Δε_{p0} = 0,000109</p> <p>f_{pd,1k} = 1560 MN/m² f_{pk} = 1835 MN/m²</p> <p>f_{ck} = 30 MN/m² f_{ctm} = 2,90 MN/m² 1 + φ = 1</p>				
<p>Halkeaman leveyden laskenta</p> <p>C_{rise} = 64 mm C_{nom} = 40 mm ΔC_{dev} = 5 mm C_{min,dur} = 35 mm C = 49 mm</p> <p>k₁ = 0,8 (A500HW) k₂ = 0,5 (taivutus)</p> <p>A_s = 1000 mm² φ_{req} = 25 mm σ_s = 5,1 N/mm² h_{c,ef} = 67,2 mm</p> <p>Σ N = 0,000 sisäinen voimatasapaino Σ M = 0,000 sisäinen momentti tasapaino</p> <p>x = 1,373 m laskettu purist.vyöh. korkeus σ_c = -9,30 N/mm² betonin puristusjännitys tark.: -(N_c + N_s + N_t)</p> <p>b_{req} = 0,5*(b_{wp}-b_{web})*h_{c,ef}/(h-h₁) = b_{c,ef}*A_{c,eff} = b_{c,ef}*A_{c,eff} = P_{p,eff} = 0,00343 k₁ = 0,6 S_{c,max} = 1406,5 mm ε_{sm} - ε_{cm} = 0,00002</p> <p>Yhteenveto jännityksistä: σ_{c,alk} = -6,30 N/mm² σ_c = -9,30 N/mm² σ_s = 5,1 N/mm² σ_p = 996,5 N/mm² σ_{c,alk} = -0,210 * f_{ck} σ_c = -0,310 * f_{ck} σ_s = 0,010 * f_{yk} σ_p = 0,639 * f_{pd,1k} w_{k,yh.} = <=0,45 * f_{ck} w_{max,saal} = 0,200 mm w_{max,saal} = 0,280 mm</p> <p>Yhteenveto ominaisyhdistelmän mukaisista jännityksistä: σ_c = -8,06 N/mm² σ_s = -2,8 N/mm² σ_p = 998,2 N/mm² σ_c = -0,269 * f_{ck} σ_s = -0,006 * f_{yk} σ_p = 0,640 * f_{pd,1k} w_{k,yh.} = <= 0,6 * f_{ck} w_{max,saal} = <= 0,8 * f_{yk} w_{max,saal} = <= 0,8 * f_{pd,1k} ja 0,7 * f_{pk}</p>				

Insinööritoimisto SUUNNITTELUKIDE OY	Projekti: Sturonkosken ratasilla 12.131	pvm laat.	20.3.2016	N:o Jrö:sivu
Jännepalkin halkeamanleveys, lyhytaikainen kuormitus				
x=8,1				
Lähtötiedot				
b =	4,340 m	leveys, jolle vetoteräksset sijoitetaan ($A_{c,eff}$ laskettaessa)		
$b_w \approx$	2,100 m	uuman väösan leveys, arvioitu erikseen		
h =	1,575 m	palkin korkeus		
$h_f =$	0,580 m	laatan paksuus		
$d_p =$	1,293 m	jänteiden etäisyys palkin <u>yläpinnasta</u>		
$d_s =$	0,070 m	puristus terästen et. palkin <u>yläpinnasta</u>		
$d_b =$	1,497 m	vetoterästen etäisyys palkin <u>yläpinnasta</u>		
$A_s =$	1000 mm ²	vetoterästen pinta-ala		
$A_s' =$	1000 mm ²	puristus terästen pinta-ala		
$A_p =$	13500 mm ²	jänneterästen pinta-ala		
$ M_{max} =$	11,716 MNm	momentti (alapihtaan vetoa aiheuttava)		
$ M_{min} =$	0,000 MNm			
P =	13,913 MN	jännevoima		
$E_s =$	200000 MN/m ²	vetoterästen kimmomoduli		
$E_s' =$	200000 MN/m ²	puristus terästen kimmomoduli		
$E_{cm} =$	32837 MN/m ²	betonin kimmomoduli		
$E_p =$	195000 MN/m ²	jänneterästen kimmomoduli		
$\alpha_s =$	6,09	$= E_s / E_{cm}$		
$\alpha_s =$	6,09	$= E_s' / E_{cm}$		
$\alpha_p =$	5,94	$= E_p / E_{cm}$		
$\sigma_{c,yr} =$	-2,600 MN/m ²	betonin jännitys alareunassa pitkäaik. kuormista		
$\sigma_{c,ar} =$	-3,800 MN/m ²	betonin jännitys yläreunassa pitkäaik. kuormista		
$\Delta\epsilon_{p0} =$	0,000086	nollavienymä (vastaa betonin puristumaa jänneterästen kohdalla)		
$\sigma_s =$	4,6 MN/m ²	Halkeaman leveyden laskenta		
$\sigma_s =$	64 mm	$c_{t,use} =$		
$\Delta\sigma_p =$	12,8 MN/m ²	$c_{t,com} =$		
$\sigma_{p0} + \Delta\sigma_p =$	104,34 MN/m ²	$\Delta\sigma_{dev} =$		
		$c_{t,min,dur} =$		
		C =		
$N_s =$	-14,044 MN	$k_1 =$		
$N_s =$	0,005 MN	$k_2 =$		
$N_s' =$	-0,047 MN			
$\Delta N_p =$	0,173 MN			
$N_p + \Delta N_p =$	14,086 MN			
$\Sigma N =$	0,000	sisäinen voimatasapaino		
$\Sigma M =$	0,000	sisäinen momentti tasapaino		
		$b_{wit} + 0,5 \cdot (b_{wy} - b_{wst}) \cdot h_{c,ef} / (h - h_f) =$		
x =	1,389 m	laskettu purist.vyöh. korkeus		
$\sigma_c =$	-9,63 MN/m ²	betonin puristusjännitys		
	14,086 MN	tark.: $-(N_s + N_s' + N_p)$		
$\sigma_{c,max} =$	1312,8 mm			
$\sigma_{s,max} =$	62,1 mm			
$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} =$	0,00001			
Yhteenveto jännityksistä:				
$\sigma_{c,palk} =$	-3,80 N/mm ²	$-0,127 \cdot f_{ck}$		
$\sigma_c =$	-9,63 N/mm ²	$-0,321 \cdot f_{ck}$		
$\sigma_s =$	4,6 N/mm ²	$0,009 \cdot f_{yk}$		
$\sigma_p =$	104,34 N/mm ²	$0,669 \cdot f_{p0,1k}$		
		$<= 0,45 \cdot f_{ck}$		
$w_{k,yh} =$	0,018 mm	NCCI 2, kaava 7.1		
		Ok!		
$w_{max0,sall} =$	0,200 mm	NCCI 2, taul.7.1		
$w_{max,sall} =$	0,280 mm			
Yhteenveto ominaisyhdistelmän mukaisista jännityksistä:				
$\sigma_c =$	-9,19 N/mm ²	$<= 0,6 \cdot f_{ck}$		
$\sigma_s =$	1,6 N/mm ²	$<= 0,8 \cdot f_{yk}$		
$\sigma_p =$	104,24 N/mm ²	$<= 0,8 \cdot f_{p0,1k}$ ja $0,7 \cdot f_{pk}$		

Insinööritoimisto SUUNNITTELUKIDE OY	Projekti: Sturonkosken ratasilla 12.131	pvm laat.	20.3.2016	N:o Jrö:sivu
Jännepalkin halkeamanleveys, lyhytaikainen kuormitus				
x=10,2				
Lähtötiedot				
b =	4,340 m	leveys, jolle vetoteräksset sijoitetaan ($A_{c,eff}$ laskettaessa)		
$b_w \approx$	2,100 m	uuman väösan leveys, arvioitu erikseen		
h =	1,575 m	palkin korkeus		
$h_f =$	0,580 m	laatan paksuus		
$d_p =$	1,384 m	jänteiden etäisyys palkin <u>yläpinnasta</u>		
$d_s =$	0,070 m	puristus terästen et. palkin <u>yläpinnasta</u>		
$d_b =$	1,497 m	vetoterästen etäisyys palkin <u>yläpinnasta</u>		
$A_s =$	1000 mm ²	vetoterästen pinta-ala		
$A_s' =$	1000 mm ²	puristus terästen pinta-ala		
$A_p =$	13500 mm ²	jänneterästen pinta-ala		
$ M_{max} =$	13,154 MNm	momentti (alapihtaan vetoa aiheuttava)		
$ M_{min} =$	0,000 MNm			
P =	14,112 MN	jännevoima		
$E_s =$	200000 MN/m ²	vetoterästen kimmomoduli		
$E_s' =$	200000 MN/m ²	puristus terästen kimmomoduli		
$E_{cm} =$	32837 MN/m ²	betonin kimmomoduli		
$E_p =$	195000 MN/m ²	jänneterästen kimmomoduli		
$\alpha_s =$	6,09	$= E_s / E_{cm}$		
$\alpha_s =$	6,09	$= E_s' / E_{cm}$		
$\alpha_p =$	5,94	$= E_p / E_{cm}$		
$\sigma_{c,yr} =$	-2,700 MN/m ²	betonin jännitys alareunassa pitkäaik. kuormista		
$\sigma_{c,ar} =$	-3,000 MN/m ²	betonin jännitys yläreunassa pitkäaik. kuormista		
$\Delta\epsilon_{p0} =$	0,000083	nollavienymä (vastaa betonin puristumaa jänneterästen kohdalla)		
$\sigma_s =$	4,0 MN/m ²	Halkeaman leveyden laskenta		
$\sigma_s =$	64 mm	$c_{t,use} =$		
$\Delta\sigma_p =$	15,5 MN/m ²	$c_{t,com} =$		
$\sigma_{p0} + \Delta\sigma_p =$	1060,9 MN/m ²	$\Delta\sigma_{dev} =$		
		$c_{t,min,dur} =$		
		C =		
$N_s =$	-14,279 MN	$k_1 =$		
$N_s =$	0,004 MN	$k_2 =$		
$N_s' =$	-0,047 MN			
$\Delta N_p =$	0,210 MN			
$N_p + \Delta N_p =$	14,322 MN			
$\Sigma N =$	0,000	sisäinen voimatasapaino		
$\Sigma M =$	0,000	sisäinen momentti tasapaino		
		$b_{wit} + 0,5 \cdot (b_{wy} - b_{wst}) \cdot h_{c,ef} / (h - h_f) =$		
x =	1,401 m	laskettu purist.vyöh. korkeus		
$\sigma_c =$	-9,70 MN/m ²	betonin puristusjännitys		
	14,322 MN	tark.: $-(N_s + N_s' + N_p)$		
$\sigma_{c,max} =$	1234,1 mm			
$\sigma_{s,max} =$	57,9 mm			
$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} =$	0,00001			
Yhteenveto jännityksistä:				
$\sigma_{c,palk} =$	-3,00 N/mm ²	$-0,100 \cdot f_{ck}$		
$\sigma_c =$	-9,70 N/mm ²	$-0,323 \cdot f_{ck}$		
$\sigma_s =$	4,0 N/mm ²	$0,008 \cdot f_{yk}$		
$\sigma_p =$	1060,9 N/mm ²	$0,680 \cdot f_{p0,1k}$		
		$<= 0,45 \cdot f_{ck}$		
$w_{k,yh} =$	0,015 mm	NCCI 2, kaava 7.1		
		Ok!		
$w_{max0,sall} =$	0,200 mm	NCCI 2, taul.7.1		
$w_{max,sall} =$	0,280 mm			
Yhteenveto ominaisyhdistelmän mukaisista jännityksistä:				
$\sigma_c =$	-10,13 N/mm ²	$<= 0,6 \cdot f_{ck}$		
$\sigma_s =$	7,0 N/mm ²	$<= 0,8 \cdot f_{yk}$		
$\sigma_p =$	1061,5 N/mm ²	$<= 0,8 \cdot f_{p0,1k}$ ja $0,7 \cdot f_{pk}$		

Insinööritoimisto SUUNNITTELUKIDE OY	Projekti: Sturonkosken ratasilla 12.131	pvm laat.	20.3.2016 Jro/sivu	N:o
<p>Jännepalkin halkeamanleveys, lyhytaikainen kuormitus</p> <p>x=2</p> <p>Lähtötiedot</p> <p>leveys, jolle vetoteräksset sijoitetaan ($A_{c,eff}$ laskettaessa) uuman <u>väösan</u> leveys, arviointi erikseen</p> <p>palkin korkeus laatan paksuus jänteiden etäisyys palkin <u>yläpinnasta</u> puristus terästen et. palkin <u>yläpinnasta</u> vetoterästen etäisyys palkin <u>yläpinnasta</u> vetoterästen pinta-ala puristus terästen pinta-ala jänneterästen pinta-ala momentti (<u>alapihtaan</u> vetoa aiheuttava)</p> <p>$b = 4,340$ m $b_w \approx 2,100$ m $h = 1,575$ m $h_t = 0,580$ m $d_p = 1,395$ m $d_s = 0,070$ m $d_b = 1,497$ m $A_s = 1000$ mm² $A_s' = 1000$ mm² $A_p = 13500$ mm² $M_{max} = 13,387$ MNm $M_{min} = 0,000$ MNm $P = 14,164$ MN $E_s = 200000$ MN/m² $E_s' = 200000$ MN/m² $E_{cm} = 32837$ MN/m² $E_p = 195000$ MN/m² $\alpha_s = 6,09$ $\alpha_s = 6,09$ $\alpha_p = 5,94$ $\sigma_{c,yr} = -1,800$ MN/m² $\sigma_{c,ar} = -4,900$ MN/m² $\Delta\epsilon_{p0} = 0,000066$</p> <p>$b = 4,340$ m $b_w \approx 2,100$ m $h = 1,575$ m $h_t = 0,580$ m $d_p = 1,395$ m $d_s = 0,070$ m $d_b = 1,497$ m $A_s = 1000$ mm² $A_s' = 1000$ mm² $A_p = 13500$ mm² $M_{max} = 13,387$ MNm $M_{min} = 0,000$ MNm $P = 14,164$ MN $E_s = 200000$ MN/m² $E_s' = 200000$ MN/m² $E_{cm} = 32837$ MN/m² $E_p = 195000$ MN/m² $\alpha_s = 6,09$ $\alpha_s = 6,09$ $\alpha_p = 5,94$ $\sigma_{c,yr} = -1,800$ MN/m² $\sigma_{c,ar} = -4,900$ MN/m² $\Delta\epsilon_{p0} = 0,000066$</p> <p>$f_{p0,1k} = 1560$ MN/m² $f_{pk} = 1835$ MN/m²</p> <p>betoni $f_{ck} = 30$ MN/m² $f_{ctm} = 2,90$ MN/m² $1 + \varphi = 1$</p> <p>jännevoima vetoterästen kimmomoduli puristus terästen kimmomoduli betonin kimmomoduli jänneterästen kimmomoduli $= E_s / E_{cm}$ $= E_s' / E_{cm}$ $= E_p / E_{cm}$</p> <p>betonin jännitys <u>alareunassa</u> pitkäaik. kuormista betonin jännitys <u>yläreunassa</u> pitkäaik. kuormista nollavienymä (vastaa betonin puristumaa jänneterästen kohdalla)</p>				
<p>Halkeaman leveyden laskenta</p> <p>$\sigma_s = 4,6$ MN/m² vetoteräksset $\sigma_s = -47,4$ MN/m² puristus teräksset $\Delta\sigma_p = 13,0$ MN/m² jänneteräksset, lisäys $\sigma_{p0} + \Delta\sigma_p = 106,2$ MN/m² jänneteräksset, lopullinen</p> <p>$N_p = -14,297$ MN $N_s = 0,005$ MN $N_s' = -0,047$ MN $\Delta N_p = 0,176$ MN $N_p + \Delta N_p = 14,340$ MN</p> <p>$C_{tuse} = 64$ mm $C_{tcom} = 40$ mm $\Delta C_{dev} = 5$ mm $C_{min,dur} = 35$ mm $C = 49$ mm</p> <p>$k_1 = 0,8$ (A500HW) $k_2 = 0,5$ (taivutus)</p> <p>$A_s = 1000$ mm² $\phi_{req} = 25$ mm $\sigma_s = 4,6$ N/mm² $h_{c,eff} = 61,9$ mm</p> <p>$\Sigma(n \cdot \phi_s^2) / \Sigma(n \cdot \phi_s) =$ $\min(2,5 \cdot (h-d); (h-x) / 3; h/2) =$</p> <p>$\Sigma N = 0,000$ sisäinen voimatasapaino $\Sigma M = 0,000$ sisäinen momentti tasapaino</p> <p>$x = 1,389$ m laskettu purist.vyöh. korkeus $\sigma_c = -9,80$ MN/m² betonin puristusjännitys tark.: $-(N_c + N_s + N_s')$</p> <p>$b_{wy} = 0,5 \cdot (b_{wy} - b_{web}) \cdot h_{c,eff} / (h - h_t) =$ $b_{c,eff} \cdot A_{c,eff} =$ $p_{p,eff} = 0,00372$ $k_t = 0,6$ $S_{r,max} = 1308,6$ mm $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,00001$</p> <p>$b_{c,eff} = 4340$ mm $A_{c,eff} = 268702$ mm² $p_{p,eff} = 0,00372$ $k_t = 0,6$ $S_{r,max} = 1308,6$ mm $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,00001$</p> <p>$\sigma_{c,alk} = -0,163 \cdot f_{ck}$ $\sigma_c = -0,327 \cdot f_{ck}$ $\sigma_s = 0,009 \cdot f_{yk}$ $\sigma_p = 0,681 \cdot f_{p0,1k}$</p> <p>$\sigma_{c,alk} = -0,163 \cdot f_{ck}$ $\sigma_c = -0,327 \cdot f_{ck}$ $\sigma_s = 0,009 \cdot f_{yk}$ $\sigma_p = 0,681 \cdot f_{p0,1k}$</p> <p>Yhteenveto jännityksistä:</p> <p>$\sigma_{c,alk} = -0,163 \cdot f_{ck}$ $\sigma_c = -0,327 \cdot f_{ck}$ $\sigma_s = 0,009 \cdot f_{yk}$ $\sigma_p = 0,681 \cdot f_{p0,1k}$</p> <p>Yhteenveto ominaisjänniteilmän mukaisista jännityksistä:</p> <p>$\sigma_c = -11,12$ N/mm² $\sigma_s = 14,1$ N/mm² $\sigma_p = 1074,7$ N/mm²</p> <p>$\sigma_{c,alk} = -0,163 \cdot f_{ck}$ $\sigma_c = -0,327 \cdot f_{ck}$ $\sigma_s = 0,009 \cdot f_{yk}$ $\sigma_p = 0,681 \cdot f_{p0,1k}$</p> <p>Yhteenveto ominaisjänniteilmän mukaisista jännityksistä:</p> <p>$\sigma_c = -11,12$ N/mm² $\sigma_s = 14,1$ N/mm² $\sigma_p = 1074,7$ N/mm²</p>				

Insinööritoimisto SUUNNITTELUKIDE OY	Projekti: Sturonkosken ratasilla 12.131	pvm laat.	20.3.2016 Jro/sivu	N:o
<p>Jännepalkin halkeamanleveys, lyhytaikainen kuormitus</p> <p>x=14,2</p> <p>Lähtötiedot</p> <p>leveys, jolle vetoteräksset sijoitetaan ($A_{c,eff}$ laskettaessa) uuman <u>väösan</u> leveys, arviointi erikseen</p> <p>palkin korkeus laatan paksuus jänteiden etäisyys palkin <u>yläpinnasta</u> puristus terästen et. palkin <u>yläpinnasta</u> vetoterästen etäisyys palkin <u>yläpinnasta</u> vetoterästen pinta-ala puristus terästen pinta-ala jänneterästen pinta-ala momentti (<u>alapihtaan</u> vetoa aiheuttava)</p> <p>$b = 4,340$ m $b_w \approx 2,100$ m $h = 1,575$ m $h_t = 0,580$ m $d_p = 1,395$ m $d_s = 0,070$ m $d_b = 1,497$ m $A_s = 1000$ mm² $A_s' = 1000$ mm² $A_p = 13500$ mm² $M_{max} = 12,364$ MNm $M_{min} = 0,000$ MNm $P = 14,171$ MN $E_s = 200000$ MN/m² $E_s' = 200000$ MN/m² $E_{cm} = 32837$ MN/m² $E_p = 195000$ MN/m² $\alpha_s = 6,09$ $\alpha_s = 6,09$ $\alpha_p = 5,94$ $\sigma_{c,yr} = -2,800$ MN/m² $\sigma_{c,ar} = -2,800$ MN/m² $\Delta\epsilon_{p0} = 0,000085$</p> <p>$b = 4,340$ m $b_w \approx 2,100$ m $h = 1,575$ m $h_t = 0,580$ m $d_p = 1,395$ m $d_s = 0,070$ m $d_b = 1,497$ m $A_s = 1000$ mm² $A_s' = 1000$ mm² $A_p = 13500$ mm² $M_{max} = 12,364$ MNm $M_{min} = 0,000$ MNm $P = 14,171$ MN $E_s = 200000$ MN/m² $E_s' = 200000$ MN/m² $E_{cm} = 32837$ MN/m² $E_p = 195000$ MN/m² $\alpha_s = 6,09$ $\alpha_s = 6,09$ $\alpha_p = 5,94$ $\sigma_{c,yr} = -2,800$ MN/m² $\sigma_{c,ar} = -2,800$ MN/m² $\Delta\epsilon_{p0} = 0,000085$</p> <p>$f_{p0,1k} = 1560$ MN/m² $f_{pk} = 1835$ MN/m²</p> <p>betoni $f_{ck} = 30$ MN/m² $f_{ctm} = 2,90$ MN/m² $1 + \varphi = 1$</p> <p>jännevoima vetoterästen kimmomoduli puristus terästen kimmomoduli betonin kimmomoduli jänneterästen kimmomoduli $= E_s / E_{cm}$ $= E_s' / E_{cm}$ $= E_p / E_{cm}$</p> <p>betonin jännitys <u>alareunassa</u> pitkäaik. kuormista betonin jännitys <u>yläreunassa</u> pitkäaik. kuormista nollavienymä (vastaa betonin puristumaa jänneterästen kohdalla)</p>				
<p>Halkeaman leveyden laskenta</p> <p>$\sigma_s = -3,2$ MN/m² vetoteräksset $\sigma_s = -41,4$ MN/m² puristus teräksset $\Delta\sigma_p = 10,3$ MN/m² jänneteräksset, lisäys $\sigma_{p0} + \Delta\sigma_p = 106,0$ MN/m² jänneteräksset, lopullinen</p> <p>$N_p = -14,265$ MN $N_s = -0,003$ MN $N_s' = -0,041$ MN $\Delta N_p = 0,138$ MN $N_p + \Delta N_p = 14,309$ MN</p> <p>$C_{tuse} = 64$ mm $C_{tcom} = 40$ mm $\Delta C_{dev} = 5$ mm $C_{min,dur} = 35$ mm $C = 49$ mm</p> <p>$k_1 = 0,8$ (A500HW) $k_2 = 0,5$ (taivutus)</p> <p>$A_s = 1000$ mm² $\phi_{req} = 25$ mm $\sigma_s = -3,2$ N/mm² $h_{c,eff} = -7,1$ mm</p> <p>$\Sigma(n \cdot \phi_s^2) / \Sigma(n \cdot \phi_s) =$ $\min(2,5 \cdot (h-d); (h-x) / 3; h/2) =$</p> <p>$\Sigma N = 0,000$ sisäinen voimatasapaino $\Sigma M = 0,000$ sisäinen momentti tasapaino</p> <p>$x = 1,596$ m laskettu purist.vyöh. korkeus $\sigma_c = -8,51$ MN/m² betonin puristusjännitys tark.: $-(N_c + N_s + N_s')$</p> <p>$b_{wy} = 0,5 \cdot (b_{wy} - b_{web}) \cdot h_{c,eff} / (h - h_t) =$ $b_{c,eff} \cdot A_{c,eff} =$ $p_{p,eff} = -0,03256$ $k_t = 0,6$ $S_{r,max} = 36,1$ mm $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,00020$</p> <p>$b_{c,eff} = 4340$ mm $A_{c,eff} = -30712$ mm² $p_{p,eff} = -0,03256$ $k_t = 0,6$ $S_{r,max} = 36,1$ mm $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,00020$</p> <p>$\sigma_{c,alk} = -0,093 \cdot f_{ck}$ $\sigma_c = -0,284 \cdot f_{ck}$ $\sigma_s = -0,006 \cdot f_{yk}$ $\sigma_p = 0,679 \cdot f_{p0,1k}$</p> <p>$\sigma_{c,alk} = -0,093 \cdot f_{ck}$ $\sigma_c = -0,284 \cdot f_{ck}$ $\sigma_s = -0,006 \cdot f_{yk}$ $\sigma_p = 0,679 \cdot f_{p0,1k}$</p> <p>Yhteenveto jännityksistä:</p> <p>$\sigma_{c,alk} = -0,093 \cdot f_{ck}$ $\sigma_c = -0,284 \cdot f_{ck}$ $\sigma_s = -0,006 \cdot f_{yk}$ $\sigma_p = 0,679 \cdot f_{p0,1k}$</p> <p>Yhteenveto ominaisjänniteilmän mukaisista jännityksistä:</p> <p>$\sigma_c = -10,74$ N/mm² $\sigma_s = 10,8$ N/mm² $\sigma_p = 1075,6$ N/mm²</p> <p>$\sigma_{c,alk} = -0,093 \cdot f_{ck}$ $\sigma_c = -0,284 \cdot f_{ck}$ $\sigma_s = -0,006 \cdot f_{yk}$ $\sigma_p = 0,679 \cdot f_{p0,1k}$</p> <p>Yhteenveto ominaisjänniteilmän mukaisista jännityksistä:</p> <p>$\sigma_c = -10,74$ N/mm² $\sigma_s = 10,8$ N/mm² $\sigma_p = 1075,6$ N/mm²</p>				

Insiinööriomisto SUUNNITTELUKIDE OY	Projekti: Sturonkosken ratasilla 12.131	pvm laat.	20.3.2016 Jro/sivu	N:o
--	--	--------------	-----------------------	-----

Jännepalkin halkeamanleveys, lyhytaikainen kuormitus

x=18,3

Lähtötiedot

leveys, jolle vetoteräksset sijoitetaan ($A_{c,eff}$ laskettaessa) uuman väösan leveys, arvioitu erikseen palkin korkeus laatan paksuus jänteiden etäisyys palkin yläpinnasta puristus terästen et. palkin yläpinnasta vetoterästen etäisyys palkin yläpinnasta vetoterästen pinta-ala puristus terästen pinta-ala jänneterästen pinta-ala momentti (alapihtään vetoa aiheuttava)

$b = 4,340$ m
 $b_w \approx 2,100$ m
 $h = 1,575$ m
 $h_t = 0,580$ m
 $d_p = 1,391$ m
 $d_s = 0,070$ m
 $d_6 = 1,497$ m
 $A_s = 1000$ mm²
 $A_s' = 1000$ mm²
 $A_p = 13500$ mm²
 $|M_{max}| = 13,010$ MNm
 $|M_{min}| = 0,000$ MNm
 $P = 13,917$ MN
 $E_s = 200000$ MN/m²
 $E_s' = 200000$ MN/m²
 $E_{cm} = 32837$ MN/m²
 $E_p = 195000$ MN/m²
 $\alpha_s = 6,09$
 $\alpha_s = 6,09$
 $\alpha_p = 5,94$
 $\sigma_{c,yr} = -4,100$ MN/m²
 $\sigma_{c,ar} = -0,500$ MN/m²
 $\Delta\epsilon_{p0} = 0,000112$

$f_{ct,1k} = 1560$ MN/m²
 $f_{tk} = 1835$ MN/m²

betoni $f_{ck} = 30$ MN/m²
 $f_{ctm} = 2,90$ MN/m²
 $1 + \varphi = 1$

jännevoima vetoterästen kimmomoduli puristus terästen kimmomoduli betonin kimmomoduli jänneterästen kimmomoduli $= E_s / E_{cm}$ $= E_s' / E_{cm}$ $= E_p / E_{cm}$ betonin jännitys alareunassa pitkäaik. kuormista betonin jännitys yläreunassa pitkäaik. kuormista nollavienymä (vastaa betonin puristumaa jänneterästen kohdalla)

Poikkeikkauksen jännitysten laskenta

$\sigma_s = 2,8$ MN/m² vetoteräksset
 $\sigma_s = -45,7$ MN/m² puristus teräksset
 $\Delta\sigma_p = 20,4$ MN/m² jänneteräksset, lisäys
 $\sigma_{p0} + \Delta\sigma_p = 1051,3$ MN/m² jänneteräksset, lopullinen

$N_s = -14,150$ MN
 $N_s = 0,003$ MN
 $N_s = -0,046$ MN
 $\Delta N_p = 0,276$ MN
 $N_p + \Delta N_p = 14,193$ MN

$\Sigma N = 0,000$ sisäinen voimatasapaino
 $\Sigma M = 0,000$ sisäinen momentti tasapaino

$x = 1,428$ m laskettu purist.vyöh. korkeus
 $\sigma_c = -9,44$ MN/m² betonin puristusjännitys tark.: $-(N_c + N_s + N_p)$

$\Sigma(n \cdot \phi_1) / \Sigma(n \cdot \phi_1) = \Sigma(n \cdot \phi_1) / \Sigma(n \cdot \phi_1)$
 $\min(2,5 \cdot (h-d); (h-x) / 3; h/2) = \min(2,5 \cdot (h-d); (h-x) / 3; h/2) =$

Halkeaman leveyden laskenta

$c_{tuse} = 64$ mm
 $c_{nom} = 40$ mm
 $\Delta c_{bev} = 5$ mm
 $c_{min,dur} = 35$ mm
 $C = 49$ mm

$k_1 = 0,8$ (A500HW)
 $k_2 = 0,5$ (taivutus)

$A_s = 1000$ mm²
 $\phi_{beq} = 25$ mm
 $\sigma_s = 2,8$ N/mm²
 $h_{c,eff} = 49,2$ mm

$b_{c,ef} = 4340$ mm
 $A_{c,eff} = 213376$ mm²
 $\rho_{p,eff} = 0,00469$
 $k_t = 0,6$
 $s_{r,max} = 1073,4$ mm
 $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,00001$

$w_{k,yh} = 0,009$ mm NCCI 2. kaava 7.1
 $w_{max0,sall} = 0,200$ mm NCCI 2. taul.7.1
 $w_{max,sall} = 0,280$ mm

Yhteenveto jännityksistä:

$\sigma_{c,palkk} = -4,10$ N/mm²
 $\sigma_c = -9,44$ N/mm²
 $\sigma_s = 2,8$ N/mm²
 $\sigma_p = 1051,3$ N/mm²

$\sigma_{c,palkk} = -0,137 \cdot f_{ck}$
 $\sigma_c = -0,315 \cdot f_{ck}$
 $\sigma_s = 0,006 \cdot f_{yk}$
 $\sigma_p = 0,674 \cdot f_{p0,1k}$

Yhteenveto ominaisyhdistelmän mukaisista jännityksistä:
 $\sigma_c = -6,60$ N/mm²
 $\sigma_s = -10,2$ N/mm²
 $\sigma_p = 1049,6$ N/mm²

$\leq 0,6 \cdot f_{ck}$
 $\leq 0,8 \cdot f_{yk}$
 $\leq 0,8 \cdot f_{p0,1k}$ ja $0,7 \cdot f_{pk}$

Insiinööriomisto SUUNNITTELUKIDE OY	Projekti: Sturonkosken ratasilla 12.131	pvm laat.	20.3.2016 Jro/sivu	N:o
--	--	--------------	-----------------------	-----

Jännepalkin halkeamanleveys, lyhytaikainen kuormitus

x=16,3

Lähtötiedot

leveys, jolle vetoteräksset sijoitetaan ($A_{c,eff}$ laskettaessa) uuman väösan leveys, arvioitu erikseen palkin korkeus laatan paksuus jänteiden etäisyys palkin yläpinnasta puristus terästen et. palkin yläpinnasta vetoterästen etäisyys palkin yläpinnasta vetoterästen pinta-ala puristus terästen pinta-ala jänneterästen pinta-ala momentti (alapihtään vetoa aiheuttava)

$b = 4,340$ m
 $b_w \approx 2,100$ m
 $h = 1,575$ m
 $h_t = 0,580$ m
 $d_p = 1,395$ m
 $d_s = 0,070$ m
 $d_6 = 1,497$ m
 $A_s = 1000$ mm²
 $A_s' = 1000$ mm²
 $A_p = 13500$ mm²
 $|M_{max}| = 13,326$ MNm
 $|M_{min}| = 0,000$ MNm
 $P = 14,109$ MN
 $E_s = 200000$ MN/m²
 $E_s' = 200000$ MN/m²
 $E_{cm} = 32837$ MN/m²
 $E_p = 195000$ MN/m²
 $\alpha_s = 6,09$
 $\alpha_s = 6,09$
 $\alpha_p = 5,94$
 $\sigma_{c,yr} = -3,100$ MN/m²
 $\sigma_{c,ar} = -1,900$ MN/m²
 $\Delta\epsilon_{p0} = 0,000090$

$f_{ct,1k} = 1560$ MN/m²
 $f_{tk} = 1835$ MN/m²

betoni $f_{ck} = 30$ MN/m²
 $f_{ctm} = 2,90$ MN/m²
 $1 + \varphi = 1$

jännevoima vetoterästen kimmomoduli puristus terästen kimmomoduli betonin kimmomoduli jänneterästen kimmomoduli $= E_s / E_{cm}$ $= E_s' / E_{cm}$ $= E_p / E_{cm}$ betonin jännitys alareunassa pitkäaik. kuormista betonin jännitys yläreunassa pitkäaik. kuormista nollavienymä (vastaa betonin puristumaa jänneterästen kohdalla)

Poikkeikkauksen jännitysten laskenta

$\sigma_s = 4,0$ MN/m² vetoteräksset
 $\sigma_s = -47,0$ MN/m² puristus teräksset
 $\Delta\sigma_p = 17,3$ MN/m² jänneteräksset, lisäys
 $\sigma_{p0} + \Delta\sigma_p = 1062,4$ MN/m² jänneteräksset, lopullinen

$N_s = -14,299$ MN
 $N_s = 0,004$ MN
 $N_s = -0,047$ MN
 $\Delta N_p = 0,233$ MN
 $N_p + \Delta N_p = 14,342$ MN

$\Sigma N = 0,000$ sisäinen voimatasapaino
 $\Sigma M = 0,000$ sisäinen momentti tasapaino

$x = 1,402$ m laskettu purist.vyöh. korkeus
 $\sigma_c = -9,71$ MN/m² betonin puristusjännitys tark.: $-(N_c + N_s + N_p)$

$\Sigma(n \cdot \phi_1) / \Sigma(n \cdot \phi_1) = \Sigma(n \cdot \phi_1) / \Sigma(n \cdot \phi_1)$
 $\min(2,5 \cdot (h-d); (h-x) / 3; h/2) = \min(2,5 \cdot (h-d); (h-x) / 3; h/2) =$

Halkeaman leveyden laskenta

$c_{tuse} = 64$ mm
 $c_{nom} = 40$ mm
 $\Delta c_{bev} = 5$ mm
 $c_{min,dur} = 35$ mm
 $C = 49$ mm

$k_1 = 0,8$ (A500HW)
 $k_2 = 0,5$ (taivutus)

$A_s = 1000$ mm²
 $\phi_{beq} = 25$ mm
 $\sigma_s = 4,0$ N/mm²
 $h_{c,eff} = 57,5$ mm

$b_{c,ef} = 4340$ mm
 $A_{c,eff} = 249735$ mm²
 $\rho_{p,eff} = 0,00400$
 $k_t = 0,6$
 $s_{r,max} = 1228,0$ mm
 $\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,00001$

$w_{k,yh} = 0,015$ mm NCCI 2. kaava 7.1
 $w_{max0,sall} = 0,200$ mm NCCI 2. taul.7.1
 $w_{max,sall} = 0,280$ mm

Yhteenveto jännityksistä:

$\sigma_{c,palkk} = -3,10$ N/mm²
 $\sigma_c = -9,71$ N/mm²
 $\sigma_s = 4,0$ N/mm²
 $\sigma_p = 1062,4$ N/mm²

$\sigma_{c,palkk} = -0,103 \cdot f_{ck}$
 $\sigma_c = -0,324 \cdot f_{ck}$
 $\sigma_s = 0,008 \cdot f_{yk}$
 $\sigma_p = 0,681 \cdot f_{p0,1k}$

Yhteenveto ominaisyhdistelmän mukaisista jännityksistä:
 $\sigma_c = -8,32$ N/mm²
 $\sigma_s = -4,5$ N/mm²
 $\sigma_p = 1067,1$ N/mm²

$\leq 0,6 \cdot f_{ck}$
 $\leq 0,8 \cdot f_{yk}$
 $\leq 0,8 \cdot f_{p0,1k}$ ja $0,7 \cdot f_{pk}$

Insinööritörmistö SUUNNITTELUKIDE OY	Projekti: Sturonkosken ratasilla 12.131	pvm laat.	20.3.2016 Jro/sivu
---	--	--------------	-----------------------

Jännepalkin halkeamanleveys, lyhytaikainen kuormitus

x=22,3

Lähtötiedot

leveys, jolle vetoteräksset sijoitetaan ($A_{c,eff}$ laskettaessa)
uuman yläosan leveys, arvioitu erikseen
palkin korkeus
laatan paksuus
jänteiden etäisyys palkin yläpinnasta
puristus terästen et. palkin yläpinnasta
vetoterästen etäisyys palkin yläpinnasta
vetoterästen pinta-ala
puristus terästen pinta-ala
jänneterästen pinta-ala
momentti (alapiirtään vetoa aiheuttava)

b = 4,340 m
 $b_w \approx 2,100$ m
 h = 1,575 m
 $h_t = 0,580$ m
 $d_p = 0,885$ m
 $d_s = 0,070$ m
 $d_s = 1,497$ m
 $A_s = 1000$ mm²
 $A_s' = 1000$ mm²
 $A_p = 13500$ mm²
 $|M_{max}| = 5,700$ MNm
 $|M_{min}| = 0,000$ MNm
 P = 13,064 MN
 $E_s = 200000$ MN/m²
 $E_s' = 200000$ MN/m²
 $E_{cm} = 32837$ MN/m²
 $E_p = 195000$ MN/m²
 $\alpha_s = 6,09$
 $\alpha_s = 6,09$
 $\alpha_p = 5,94$
 $\sigma_{c,yr} = -3,000$ MN/m²
 $\sigma_{c,ar} = -0,500$ MN/m²
 $\Delta\epsilon_{p,0} = 0,000058$

leveys, jolle vetoteräksset sijoitetaan ($A_{c,eff}$ laskettaessa)
uuman yläosan leveys, arvioitu erikseen
palkin korkeus
laatan paksuus
jänteiden etäisyys palkin yläpinnasta
puristus terästen et. palkin yläpinnasta
vetoterästen etäisyys palkin yläpinnasta
vetoterästen pinta-ala
puristus terästen pinta-ala
jänneterästen pinta-ala
momentti (alapiirtään vetoa aiheuttava)

b = 4,340 m
 $b_w \approx 2,100$ m
 h = 1,575 m
 $h_t = 0,580$ m
 $d_p = 0,885$ m
 $d_s = 0,070$ m
 $d_s = 1,497$ m
 $A_s = 1000$ mm²
 $A_s' = 1000$ mm²
 $A_p = 13500$ mm²
 $|M_{max}| = 5,700$ MNm
 $|M_{min}| = 0,000$ MNm
 P = 13,064 MN
 $E_s = 200000$ MN/m²
 $E_s' = 200000$ MN/m²
 $E_{cm} = 32837$ MN/m²
 $E_p = 195000$ MN/m²
 $\alpha_s = 6,09$
 $\alpha_s = 6,09$
 $\alpha_p = 5,94$
 $\sigma_{c,yr} = -3,000$ MN/m²
 $\sigma_{c,ar} = -0,500$ MN/m²
 $\Delta\epsilon_{p,0} = 0,000058$

betoni $f_{ck} = 30$ MN/m²
 $f_{ctm} = 2,90$ MN/m²
 $1 + \varphi = 1$

betonin jännitys alareunassa pitkäaik. kuormista
betonin jännitys yläreunassa pitkäaik. kuormista
nollalavennymä (vastaa betonin puristumaa jänneterästen kohdalla)

Halkeaman leveyden laskenta
 $C_{t,use} = 64$ mm
 $C_{t,com} = 40$ mm
 $\Delta C_{t,dev} = 5$ mm
 $C_{t,min,dur} = 35$ mm
 $C = 49$ mm
 $k_1 = 0,8$ (A500HW)
 $k_2 = 0,5$ (taivutus)
 $A_s = 1000$ mm²
 $\phi_{req} = 25$ mm
 $\sigma_s = 5,6$ N/mm²
 $h_{c,ef} = 69,9$ mm

Yhteenveto jännityksistä:
 $\sigma_{c,palk} = -4,20$ N/mm²
 $\sigma_c = -9,48$ N/mm²
 $\sigma_s = 5,6$ N/mm²
 $\sigma_p = 1009,2$ N/mm²
 $\sigma_{c,palk} = -0,140 * f_{ck}$
 $\sigma_c = -0,316 * f_{ck}$
 $\sigma_s = 0,011 * f_{yk}$
 $\sigma_p = 0,647 * f_{p0,1k}$
 $w_{k,yh} = 0,024$ mm
 $w_{max,0,sall} = 0,200$ mm
 $w_{max,sall} = 0,280$ mm
 $\leq 0,45 * f_{ck}$
 OK!
 $\leq 0,6 * f_{ck}$
 $\leq 0,8 * f_{yk}$
 $\leq 0,8 * f_{p0,1k}$ ja $0,7 * f_{pk}$

Yhteenveto ominaisyhdistelmän mukaisista jännityksistä:

$\sigma_c = -6,19$ N/mm²
 $\sigma_s = -11,6$ N/mm²
 $\sigma_p = 1045,1$ N/mm²
 $\sigma_c = -2,234 * f_{ck}$
 $\sigma_s = -0,023 * f_{yk}$
 $\sigma_p = 0,670 * f_{p0,1k}$
 $\leq 0,6 * f_{ck}$
 $\leq 0,8 * f_{yk}$
 $\leq 0,8 * f_{p0,1k}$ ja $0,7 * f_{pk}$

Insinööritörmistö SUUNNITTELUKIDE OY	Projekti: Sturonkosken ratasilla 12.131	pvm laat.	20.3.2016 Jro/sivu
---	--	--------------	-----------------------

Jännepalkin halkeamanleveys, lyhytaikainen kuormitus

x=20,3

Lähtötiedot

leveys, jolle vetoteräksset sijoitetaan ($A_{c,eff}$ laskettaessa)
uuman yläosan leveys, arvioitu erikseen
palkin korkeus
laatan paksuus
jänteiden etäisyys palkin yläpinnasta
puristus terästen et. palkin yläpinnasta
vetoterästen etäisyys palkin yläpinnasta
vetoterästen pinta-ala
puristus terästen pinta-ala
jänneterästen pinta-ala
momentti (alapiirtään vetoa aiheuttava)

b = 4,340 m
 $b_w \approx 2,100$ m
 h = 1,575 m
 $h_t = 0,580$ m
 $d_p = 1,243$ m
 $d_s = 0,070$ m
 $d_s = 1,497$ m
 $A_s = 1000$ mm²
 $A_s' = 1000$ mm²
 $A_p = 13500$ mm²
 $|M_{max}| = 10,758$ MNm
 $|M_{min}| = 0,000$ MNm
 P = 13,438 MN
 $E_s = 200000$ MN/m²
 $E_s' = 200000$ MN/m²
 $E_{cm} = 32837$ MN/m²
 $E_p = 195000$ MN/m²
 $\alpha_s = 6,09$
 $\alpha_s = 6,09$
 $\alpha_p = 5,94$
 $\sigma_{c,yr} = -4,200$ MN/m²
 $\sigma_{c,ar} = 0,700$ MN/m²
 $\Delta\epsilon_{p,0} = 0,000096$

leveys, jolle vetoteräksset sijoitetaan ($A_{c,eff}$ laskettaessa)
uuman yläosan leveys, arvioitu erikseen
palkin korkeus
laatan paksuus
jänteiden etäisyys palkin yläpinnasta
puristus terästen et. palkin yläpinnasta
vetoterästen etäisyys palkin yläpinnasta
vetoterästen pinta-ala
puristus terästen pinta-ala
jänneterästen pinta-ala
momentti (alapiirtään vetoa aiheuttava)

b = 4,340 m
 $b_w \approx 2,100$ m
 h = 1,575 m
 $h_t = 0,580$ m
 $d_p = 1,243$ m
 $d_s = 0,070$ m
 $d_s = 1,497$ m
 $A_s = 1000$ mm²
 $A_s' = 1000$ mm²
 $A_p = 13500$ mm²
 $|M_{max}| = 10,758$ MNm
 $|M_{min}| = 0,000$ MNm
 P = 13,438 MN
 $E_s = 200000$ MN/m²
 $E_s' = 200000$ MN/m²
 $E_{cm} = 32837$ MN/m²
 $E_p = 195000$ MN/m²
 $\alpha_s = 6,09$
 $\alpha_s = 6,09$
 $\alpha_p = 5,94$
 $\sigma_{c,yr} = -4,200$ MN/m²
 $\sigma_{c,ar} = 0,700$ MN/m²
 $\Delta\epsilon_{p,0} = 0,000096$

betoni $f_{ck} = 30$ MN/m²
 $f_{ctm} = 2,90$ MN/m²
 $1 + \varphi = 1$

betonin jännitys alareunassa pitkäaik. kuormista
betonin jännitys yläreunassa pitkäaik. kuormista
nollalavennymä (vastaa betonin puristumaa jänneterästen kohdalla)

Halkeaman leveyden laskenta
 $C_{t,use} = 64$ mm
 $C_{t,com} = 40$ mm
 $\Delta C_{t,dev} = 5$ mm
 $C_{t,min,dur} = 35$ mm
 $C = 49$ mm
 $k_1 = 0,8$ (A500HW)
 $k_2 = 0,5$ (taivutus)
 $A_s = 1000$ mm²
 $\phi_{req} = 25$ mm
 $\sigma_s = 5,6$ N/mm²
 $h_{c,ef} = 69,9$ mm

Yhteenveto jännityksistä:
 $\sigma_{c,palk} = -4,20$ N/mm²
 $\sigma_c = -9,48$ N/mm²
 $\sigma_s = 5,6$ N/mm²
 $\sigma_p = 1009,2$ N/mm²
 $\sigma_{c,palk} = -0,140 * f_{ck}$
 $\sigma_c = -0,316 * f_{ck}$
 $\sigma_s = 0,011 * f_{yk}$
 $\sigma_p = 0,647 * f_{p0,1k}$
 $w_{k,yh} = 0,024$ mm
 $w_{max,0,sall} = 0,200$ mm
 $w_{max,sall} = 0,280$ mm
 $\leq 0,45 * f_{ck}$
 OK!
 $\leq 0,6 * f_{ck}$
 $\leq 0,8 * f_{yk}$
 $\leq 0,8 * f_{p0,1k}$ ja $0,7 * f_{pk}$

Yhteenveto ominaisyhdistelmän mukaisista jännityksistä:

$\sigma_c = -6,19$ N/mm²
 $\sigma_s = -11,6$ N/mm²
 $\sigma_p = 1045,1$ N/mm²
 $\sigma_c = -2,206 * f_{ck}$
 $\sigma_s = -0,023 * f_{yk}$
 $\sigma_p = 0,670 * f_{p0,1k}$
 $\leq 0,6 * f_{ck}$
 $\leq 0,8 * f_{yk}$
 $\leq 0,8 * f_{p0,1k}$ ja $0,7 * f_{pk}$

Insinööritoimisto SUUNNITTELUKIDE OY	Projekti: Siuronkosken ratasilla 12.131	pvm laat.	20.3.2016	N:o sivu
<p>Jännepalkin halkeamanleveys, lyhytaikainen kuormitus</p> <p>x=24.4</p> <p>Lähtötiedot</p> <p>laatan leveys uuman <u>alaosan</u> leveys, arvioitu erikseen palkin korkeus laatan paksuus jätteiden etäisyys palkin <u>alapinnasta</u> puristuserästen et. palkin <u>alapinnasta</u> vetoterästen etäisyys palkin <u>alapinnasta</u> vetoterästen pinta-ala puristuserästen pinta-ala jänneterästen pinta-ala momentti, tavallinen yhdistelmä momentti, ominaisyhdistelmä jännevoima vetoterästen kimmomoduli puristuserästen kimmomoduli betonin kimmomoduli jänneterästen kimmomoduli $= E_s / E_{cm}$ $= E_s / E_{cm}$ betonin jännitys <u>alareunassa</u> pitkäaik. kuormista betonin jännitys <u>yläreunassa</u> pitkäaik. kuormista nollavenyä (vastaa betonin puristumaa jänneterästen kohdalla)</p> <p>b = 4,340 m b_w ≈ 2,100 m h = 1,575 m h₁ = 0,580 m d_p = 1,184 m d_s = 0,078 m d_t = 1,509 m A_s = 1000 mm² A_s = 1000 mm² A_p = 13500 mm² M_{hav.} = 11,161 MNm M_{omin.} = 0,000 MNm P = 12,645 MN E_s = 200000 MN/m² E_s' = 200000 MN/m² E_{cm} = 32837 MN/m² E_p = 195000 MN/m² α_s = 6,09 α_s = 6,09 α_p = 5,94 σ_{syf} = -1,000 MN/m² σ_{kar} = -3,000 MN/m² Δx_{sp} = 0,000076</p> <p>f_{pd,1k} = 1560 MN/m² f_{pk} = 1835 MN/m²</p> <p>betoni f_{ck} = 30 MN/m² f_{ctm} = 2,90 MN/m² 1 + φ = 1</p>				
<p>Poikkeileikkauksen jännitysten laskenta</p> <p>vetoteräks₁ = 13,1 MN/m² vetoteräks₂ = 28,6 MN/m² vetoteräks₃ = 17,2 MN/m² jämmeteräks₁ = 953,8 MN/m² jämmeteräks₂ = 953,8 MN/m² jämmeteräks₃ = 953,8 MN/m²</p> <p>N₁ = -3,757 MN N₂ = -2,046 MN N₃ = -7,058 MN N₄ = 0,013 MN N₅ = -0,029 MN ΔN_p = 0,232 MN N_p + ΔN_p = 12,877 MN</p> <p>σ_s = 13,1 MN/m² σ_s = 28,6 MN/m² Δσ_p = 17,2 MN/m² σ_{p0} + Δσ_p = 953,8 MN/m²</p> <p>N₁ = -3,757 MN N₂ = -1,953 MN N₃ = -6,865 MN N₄ = 0,061 MN N₅ = -0,028 MN ΔN_p = 0,202 MN N_p + ΔN_p = 12,441 MN</p> <p>σ_s = 12,2 MN/m² σ_s = -27,6 MN/m² Δσ_p = 15,0 MN/m² σ_{p0} + Δσ_p = 921,6 MN/m²</p> <p>N₁ = -3,657 MN N₂ = -1,953 MN N₃ = -6,865 MN N₄ = 0,061 MN N₅ = -0,028 MN ΔN_p = 0,202 MN N_p + ΔN_p = 12,441 MN</p> <p>σ_s = 12,2 MN/m² σ_s = -27,6 MN/m² Δσ_p = 15,0 MN/m² σ_{p0} + Δσ_p = 921,6 MN/m²</p>				
<p>Haikkeaman leveyden laskenta</p> <p>c_{true} = 60 mm c_{nom} = 40 mm Δc_{deq} = 5 mm c_{min,deq} = 35 mm c = 49 mm</p> <p>k₁ = 0,8 (A500HW) k₂ = 0,5 (taivutus)</p> <p>A_s = 1000 mm² φ_{eq} = 25 mm σ_s = 13,1 N/mm² h_{c,ef} = 154,1 mm b_{wy} = 2100 mm b_{wa} = 2100 mm b_{ce,ef} = 2100 mm A_{ce,eff} = 323699 mm² P_{0,eff} = 0,00309 k₁ = 0,6 S_{r,max} = 1542,3 mm ε_{sm} - ε_{cm} = 0,00004</p> <p>min (2,5*(h-d)*(h-x)/3;h/2) =</p> <p>laskettu purist.vyöhd. korkeus betonin puristusjännitys -(N_{ci} + NC₂ + NC₃ + N_s + N_p)</p> <p>x = 1,1126 m σ_c = -6,042 MN/m² tark.: 12,877 MN</p> <p>laskettu purist.vyöhd. korkeus betonin puristusjännitys -(N_{ci} + NC₂ + NC₃ + N_s + N_p)</p> <p>x = 1,1232 m σ_c = -5,821 MN/m² tark.: 12,441 MN</p>				
<p>Yhteenveto pitkäaikaisen ja tavallisen yhdistelmän mukaisista jännityksistä:</p> <p>σ_{c,pitk.} = -3,00 N/mm² σ_c = -6,04 N/mm² σ_s = 13,1 N/mm² σ_p = 953,8 N/mm²</p> <p>W_{max,0(sall)} = 0,070 mm W_{max,sall} = 0,098 mm</p> <p>σ_c = -0,100 * f_{ck} σ_c = -0,201 * f_{ck} σ_s = 0,026 * f_{yk} σ_p = 0,611 * f_{pd,1k}</p> <p>W_{max,0(sall)} = 0,070 mm W_{max,sall} = 0,098 mm</p> <p>σ_c = -0,100 * f_{ck} σ_c = -0,201 * f_{ck} σ_s = 0,026 * f_{yk} σ_p = 0,611 * f_{pd,1k}</p>				
<p>Yhteenveto ominaisyhdistelmän mukaisista jännityksistä:</p> <p>σ_c = -6,240 N/mm² σ_s = 1,7 N/mm² σ_p = 976,9 N/mm²</p> <p>σ_c = -0,388 * f_{ck} σ_s = 0,003 * f_{yk} σ_p = 0,626 * f_{pd,1k}</p> <p>σ_c = -1,640 N/mm² σ_s = 78,0 N/mm² σ_p = 1007,0 N/mm²</p> <p>σ_c = -0,388 * f_{ck} σ_s = 0,156 * f_{yk} σ_p = 0,646 * f_{pd,1k}</p>				

Insinööritoimisto SUUNNITTELUKIDE OY	Projekti: Siuronkosken ratasilla 12.131	pvm laat.	20.3.2016	N:o sivu
<p>Jännepalkin halkeamanleveys, lyhytaikainen kuormitus</p> <p>x=26.4</p> <p>Lähtötiedot</p> <p>laatan leveys uuman <u>alaosan</u> leveys, arvioitu erikseen palkin korkeus laatan paksuus jätteiden etäisyys palkin <u>alapinnasta</u> puristuserästen et. palkin <u>alapinnasta</u> vetoterästen etäisyys palkin <u>alapinnasta</u> vetoterästen pinta-ala puristuserästen pinta-ala jänneterästen pinta-ala momentti, tavallinen yhdistelmä momentti, ominaisyhdistelmä jännevoima vetoterästen kimmomoduli puristuserästen kimmomoduli betonin kimmomoduli jänneterästen kimmomoduli $= E_s / E_{cm}$ $= E_s / E_{cm}$ betonin jännitys <u>alareunassa</u> pitkäaik. kuormista betonin jännitys <u>yläreunassa</u> pitkäaik. kuormista nollavenyä (vastaa betonin puristumaa jänneterästen kohdalla)</p> <p>b = 4,340 m b_w ≈ 2,100 m h = 1,575 m h₁ = 0,580 m d_p = 1,395 m d_s = 0,078 m d_t = 1,509 m A_s = 5000 mm² A_s = 1000 mm² A_p = 13500 mm² M_{hav.} = 13,437 MNm M_{omin.} = 0,000 MNm P = 12,239 MN E_s = 200000 MN/m² E_s' = 200000 MN/m² E_{cm} = 32837 MN/m² E_p = 195000 MN/m² α_s = 6,09 α_s = 6,09 α_p = 5,94 σ_{syf} = -2,000 MN/m² σ_{kar} = -1,000 MN/m² Δx_{sp} = 0,000034</p> <p>f_{pd,1k} = 1560 MN/m² f_{pk} = 1835 MN/m²</p> <p>betoni f_{ck} = 30 MN/m² f_{ctm} = 2,90 MN/m² 1 + φ = 1</p>				
<p>Poikkeileikkauksen jännitysten laskenta</p> <p>vetoteräks₁ = 12,2 MN/m² vetoteräks₂ = -27,6 MN/m² vetoteräks₃ = 15,0 MN/m² jämmeteräks₁ = 921,6 MN/m² jämmeteräks₂ = 921,6 MN/m² jämmeteräks₃ = 921,6 MN/m²</p> <p>N₁ = -3,657 MN N₂ = -1,953 MN N₃ = -6,865 MN N₄ = 0,061 MN N₅ = -0,028 MN ΔN_p = 0,202 MN N_p + ΔN_p = 12,441 MN</p> <p>σ_s = 12,2 MN/m² σ_s = -27,6 MN/m² Δσ_p = 15,0 MN/m² σ_{p0} + Δσ_p = 921,6 MN/m²</p> <p>N₁ = -3,657 MN N₂ = -1,953 MN N₃ = -6,865 MN N₄ = 0,061 MN N₅ = -0,028 MN ΔN_p = 0,202 MN N_p + ΔN_p = 12,441 MN</p> <p>σ_s = 12,2 MN/m² σ_s = -27,6 MN/m² Δσ_p = 15,0 MN/m² σ_{p0} + Δσ_p = 921,6 MN/m²</p>				
<p>Haikkeaman leveyden laskenta</p> <p>c_{true} = 60 mm c_{nom} = 40 mm Δc_{deq} = 5 mm c_{min,deq} = 35 mm c = 49 mm</p> <p>k₁ = 0,8 (A500HW) k₂ = 0,5 (taivutus)</p> <p>A_s = 5000 mm² φ_{eq} = 25 mm σ_s = 12,2 N/mm² h_{c,ef} = 150,6 mm b_{wy} = 2100 mm b_{wa} = 2100 mm b_{ce,ef} = 2100 mm A_{ce,eff} = 316258 mm² P_{0,eff} = 0,01581 k₁ = 0,6 S_{r,max} = 435,4 mm ε_{sm} - ε_{cm} = 0,00004</p> <p>min (2,5*(h-d)*(h-x)/3;h/2) =</p> <p>laskettu purist.vyöhd. korkeus betonin puristusjännitys -(N_{ci} + NC₂ + NC₃ + N_s + N_p)</p> <p>x = 1,1232 m σ_c = -5,821 MN/m² tark.: 12,441 MN</p> <p>laskettu purist.vyöhd. korkeus betonin puristusjännitys -(N_{ci} + NC₂ + NC₃ + N_s + N_p)</p> <p>x = 1,1232 m σ_c = -5,821 MN/m² tark.: 12,441 MN</p>				
<p>Yhteenveto pitkäaikaisen ja tavallisen yhdistelmän mukaisista jännityksistä:</p> <p>σ_{c,pitk.} = -2,00 N/mm² σ_c = -5,82 N/mm² σ_s = 12,2 N/mm² σ_p = 921,6 N/mm²</p> <p>W_{max,0(sall)} = 0,070 mm W_{max,sall} = 0,098 mm</p> <p>σ_c = -0,067 * f_{ck} σ_c = -0,194 * f_{ck} σ_s = 0,024 * f_{yk} σ_p = 0,591 * f_{pd,1k}</p> <p>W_{max,0(sall)} = 0,070 mm W_{max,sall} = 0,098 mm</p> <p>σ_c = -0,067 * f_{ck} σ_c = -0,194 * f_{ck} σ_s = 0,024 * f_{yk} σ_p = 0,591 * f_{pd,1k}</p>				
<p>Yhteenveto ominaisyhdistelmän mukaisista jännityksistä:</p> <p>σ_c = -11,640 N/mm² σ_s = 78,0 N/mm² σ_p = 1007,0 N/mm²</p> <p>σ_c = -0,388 * f_{ck} σ_s = 0,156 * f_{yk} σ_p = 0,646 * f_{pd,1k}</p> <p>σ_c = -1,640 N/mm² σ_s = 78,0 N/mm² σ_p = 1007,0 N/mm²</p> <p>σ_c = -0,388 * f_{ck} σ_s = 0,156 * f_{yk} σ_p = 0,646 * f_{pd,1k}</p>				