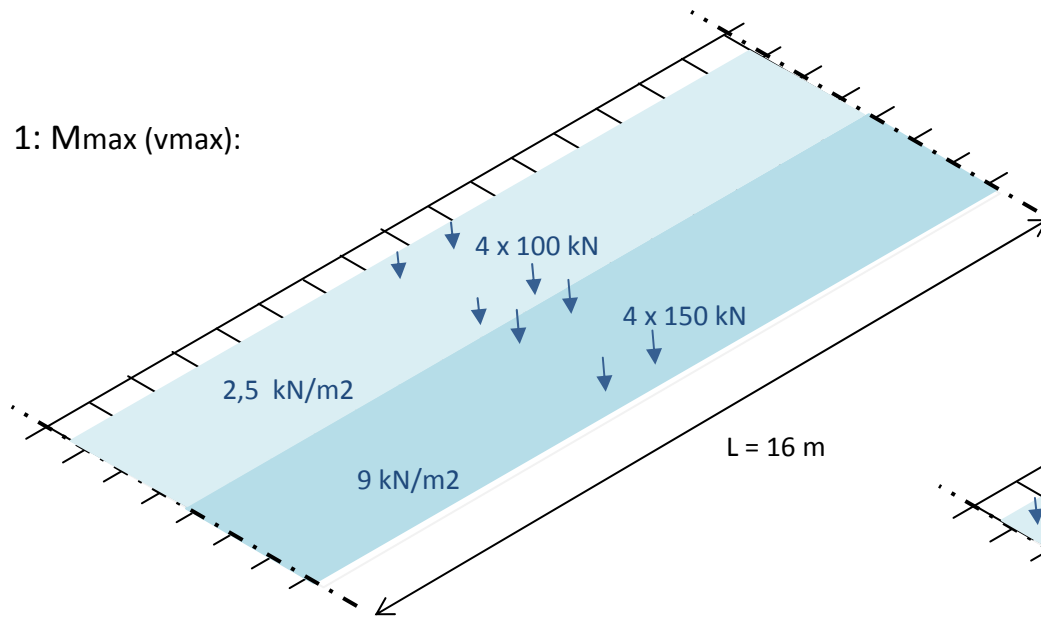
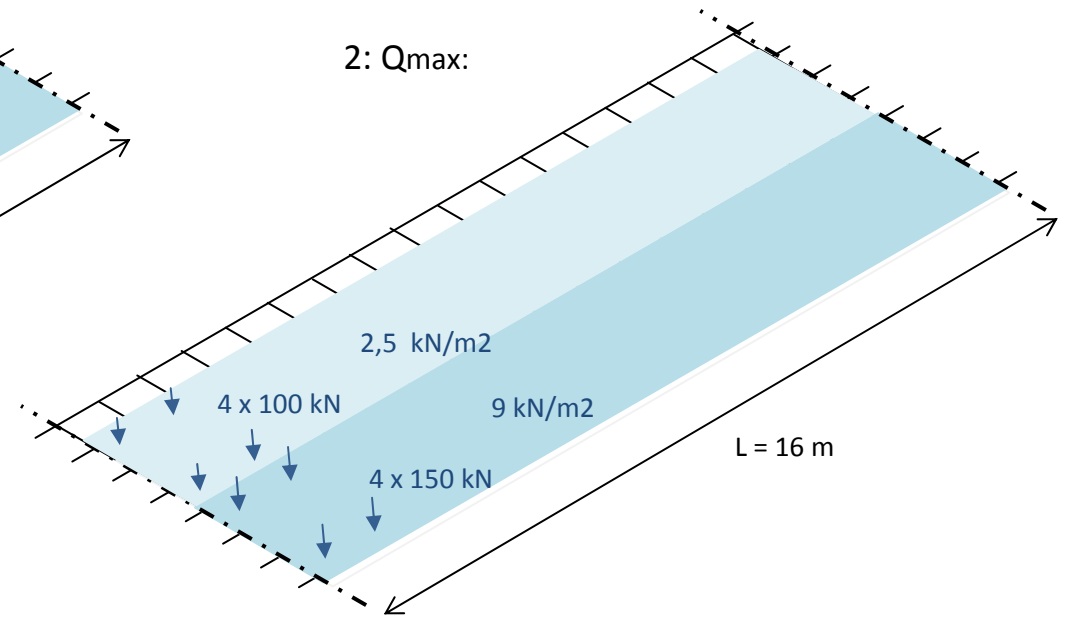


LIIMAPUISET PALKKISILLAT

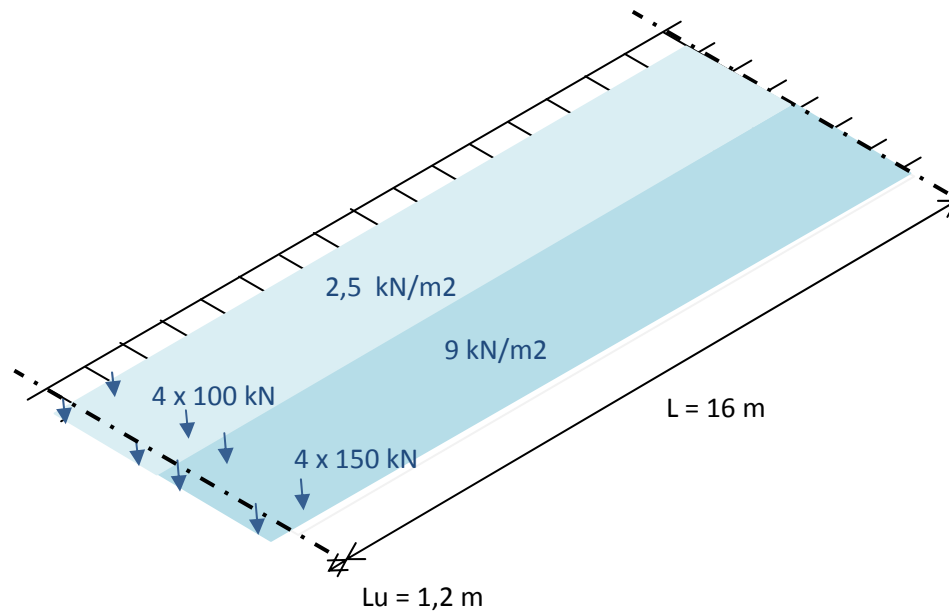
1: M_{max} (v_{max}):



2: Q_{max} :



3: R_{max} :



Eurokoodi LM 1

8 -palkkinen liimapuinen arinasilta

Jm 16 m, Hl 6,5 m

Kuva 1

PALKKIEN MITOITUS		Murtorajatila		Liikennekuorma+g				12.03.10		Taulukko 1		
EC-mitoitus; leikkausluoke = h _{ec} (ratkaistu h _{ec})								k _{mod} = 1,1		γ _M = 1,2		
Silta	Palkki			Kuormat (murtorajatilassa)		TIEH (mukana jännitysten vertailemiseksi)		Ulokevaikutus 1,375*				
		h _{ec}	A	W	Q _{max}	M _{max}	τ	σ	Fbd:	EUROCODE	Fvd=4,033 Fmd=29,33	
	b									M _{max}	τ	
P1p-8-4,5	0,190	0,600	0,1140	0,01140	249	293	3,28	25,68	28,70	304,4	417	36,58 (Q)
P1p-8-4,5	0,190	0,671	0,1275	0,01426	249	293	2,93	20,53	28,35	304,4	417	29,25 M
P1p-8-6,5	0,190	0,688	0,1307	0,01499	305	385	3,50	25,71	28,27	349,8	457	30,51 (Q)
P1p-8-6,5	0,190	0,703	0,1336	0,01565	305	385	3,42	24,62	28,20	349,8	457	29,22 M
P1p-16-4,5	0,190	0,741	0,1408	0,01739	306	899	3,26	51,73	28,04	378,2	1088	62,55 (Q)
P1p-16-4,5	0,190	1,083	0,2058	0,03714	306	899	2,23	24,22	26,88	378,2	1088	29,28 M
P1p-16-6,5	0,190	0,858	0,1630	0,02331	408	1075	3,76	46,13	27,58	438,1	1232	52,84 (Q)
P1p-16-6,5	0,190	1,152	0,2189	0,04202	408	1075	2,80	25,59	26,70	438,1	1232	29,31 M
Mitoittaneet jännitykset alleviivattu												
Ylittyneet taivutusjännitykset kursivoitu												
Vertailujännitykset lihavoitu												

TAIPUMAN VAATIMA PALKIN KORKEUS				Liikennekuorma	13.03.10	Taulukko 2		
Silta	Palkki	Tyypisarja:		L/400:n vaatima:	L/200:n vaatima:	Momenttista:		
B	H	A	I	H_{TIEH}	H_{EC}	H_{EC}		
		(Malliolet.)						
P/p-8-4,5	0,190	0,666	0,1265	0,00468	0,685	0,785	0,623	0,671
P/p-8-6,5	0,190	0,900	0,1710	0,01154	0,727	0,780	0,619	0,703
P/p-16-4,5	0,190	1,233	0,2343	0,02968	1,241	1,335	1,060	1,083
P/p-16-6,5	0,190	1,300	0,2470	0,03479	1,248	1,319	1,047	1,152
Lihavoitu kursivi: taipuma mitoittaisi								

PUUSILTAEUROKODI EN 1995-2

Tarkasteluita ja vertailuja

Nuvo Engineering Oy

Risto Mäkipuro 17.03.2010

1. Yleissilmäys Puusiltaeurokoodiin ja sen kansalliseen liitteeseen

Puusiltoja koskevan Eurokoodin työ aloitettiin parisenkymmentä vuotta sitten. Tuote on käynyt läpi muutoksia ja tarkennuksia, siitä on poistettu osia. Lopputuloksen hyvänä puolena voi mainita lyhyiden verrattuna moniin muihin Eurokoodin osiin.

Lyhydestä tosin seuraa tilanne, että asiakirja ei itsessään anna kovin paljon – suunnittelun alaisena oleva sovellusohje voisi olla hyvin tarpeellinen suunnittelun apuvälineenä Puusiltaeurokoodin tehokasta ja objektiivista käyttöä varten.

Virallisten pakollisten tekstien ja määritelmien jälkeen tärkeä asia ko. normissa on luettelo aineosavarmuusluvuista. Tämä on siinäkin mielessä merkittävä, että kansallisessa liitteessä voidaan puuttua näihin ns. suositeltuihin kertoimiin.

Eurocode 1995-2:n suosituksiin olemme Suomessa puuttuneet sekä puurakenteiden yleisen Eurokoodi 1995-1:n että Puusiltaeurokoodin osalla. Sahatavaran varmuuskerrointa on kasvatettu, liimapuun alennettu ja puuhun liittyvien osien tarkastelutapaa on rationalisoitu. Puusiltaosassa on pääpiirteittäin noudatettu yleisen osan periaatteita, poikkeuksena jännitystä kohtisuoraan syitä vastaan koskevan osavarmuusluvun alentaminen tietyillä ehdoilla ja kimmomoduulin kasvattaminen värähtelyn ja sysäyslisän vaikuttaessa. Ajoneuvoliikenteen ja kevyen liikenteen kuormia voidaan suosituksista poiketen yleensä pitää puusilloissa hetkellisinä. Taipumien raja-arvot on kiinnitetty vaihteluvälin ylärajalle.

Puusiltaeurokoodi ei tuo suuria muutoksia aikaisempaan mitoituskäsitteeseen. Vielä on kuitenkin mainittava kevyen liikenteen siltojen värähtelyiden ottaminen mukaan käsittelyyn. Normi on ohjeissaan vielä sangen seestymätön, mutta tämäkin on tärkeä askel; tulevaisuus tuo tullessaan varmasti täsmällisen ohjeistuksen.

2. Laskelmien taustan tarkastelua

Kolmisen vuotta sitten tein vertailevia laskelmia Eurokoodin vaikutuksista puusiltojen suunnitteluun. Tilanne on muuttunut siitä ajasta – Eurokoodit elävät ja tulevat vastaisuudessakin muuttumaan. Seuraavassa vertailen esimerkkilaskennan lisäksi myös ohjeiden muutosvaikutuksia.

Vertailulaskelmien kohteiksi valittiin Tiehallinnon liimapuupalkkisiltojen n. 35 vuotta käytössä olleen tyyppiirustussarjan neljä siltaa, jännemitat 8 ja 16 metriä ja hyötyleveydet 4,5 ja 6,5 metriä. Palkkien poikkileikkaukseksi otettiin kolmesta mahdollisesta kapein 190 mm, joka on usein todettu taloudellisimmaksi. Viides vertailukohde on puu-betoni-liittopalkkisilta (Huhmarhaaran silta, Valkeala), jännemitta 18 m ja hyötyleveys 7,5 m.

Lisäksi on yksinkertaistettu periaatteellinen laskuesimerkki kuvan 1 mukaisille kuormituskaavioille arinasillalle Jm 16 Hl 6,5. Siitä voi osapuilleen seurata erilaisten kertoimien käyttöä Puusiltaeurokoodin mukaan mitoittaessa.

3. Kuormat

Vanhoista Tiehallinnon käyttämistä kuormakaavioista on pääkannatteiden mitoituksessa tarkasteltu kuormakaaviota 1. Raskas erikoiskuorma II, jota on tyyppisarjassa sovellettu, ei mitoiteta, mikä johtuu osittain puusiltoihin sovellettavan sysäyslisän alhaisuudesta, 20 %; se on muissa silloissa 40%.

Eurocode-kuormista pääkannatteiden mitoituskuormina ovat LM 1 ja LM 3; viimeksi mainittu on tarkoitettu kansallisessa liitteessä määritettäväksi raskaaksi kuormaksi. LM 3 on kaavailtu jätettäväksi pois vähäliikenteisten siltojen kuormituksista. Se olisi varsinkin jatkuvien siltojen välituilla mitoittava.

Laskentaesimerkin kuormien sijoittelu on nähtävissä kuvassa 1.

4. Käytetyt varmuus- ja korjausluvut

Tiehallinnon liikennekuorman osavarmuusluku murtorajatilassa on 1,8 ja omanpainon 1,2. Eurocode-kuormien murtorajatilan osavarmuusluvun suositusarvo on 1,35. Omallepainolle käytetään osavarmuuslukua 1,15.

Vanhon normien murtorajatilan aineosavarmuusluku on puulle 1,3, jota on korjattu aika- ja kosteusluokkakertoimilla. Aikaluokaksi on valittu C, hetkellinen (kuormitus aika alle 10 h) ja kosteusluokaksi 2 (ulkoilmassa kuivana oleva puumateriaali). Näiden tekijöiden yhteisvaikutus on 1,3, jolloin kokonaiskertomiseksi ominaislujuuksille tulee 1. Vielä taivutuslujuuteen vaikuttaa liimapuupalkin korkeudesta riippuvainen kerroin C_f , joka on otettu huomioon vertailussa.

Eurokoodi 1995-2:n kansallinen liite määrittelee liimapuun lujuuden osavarmuusluvuksi 1,2. Ominaislujuuksia korjataan kuormitusajan (hetkellinen) ja kosteustilan (käyttöluokka 2) huomioon ottavalla kertoimella $k_{mod} = 1,10$. Palkin korkeudesta riippuvia kertoimia ei tässä tarkastelussa ole tarvittu; ne tulevat käyttöön, kun palkin korkeus alittaa 600 mm.

Hyvin kauan, perinteisesti, puusilloille on käytetty sysäyslisää 20% muiden materiaalien 40%:n sijasta. Vaikka arvot sinänsä ovat tyypillisesti hatusta vedettyjä, niin näiden prosenttilukujen suhde pohjautuu realiteettiin: puu kestää lyhytaikaisia kuormia selkeästi paremmin kuin pitkäaikaisia. Muilla rakennusaineilla (muoveja lukuunottamatta) tätä ominaisuutta ei ole. Nykynormeissa on sysäyslisä haluttu sisällyttää kuormiin eli se on kaikille materiaaleille 40%:n luokkaa.

Ajoneuvojen aiheuttama sysäys on lyhytaikainen, sekunnin luokkaa, joten sen voidaan katsoa kuuluvan aikaluokkaan hetkellinen (instantaneous). Kun hetkellisen kuorman osuus on näin suuri, tapahtuu puurakenteiden yleisten mitoitusperiaatteiden mukaan koko mitoitus hetkellisen luokan mukaan. Näin päästään lyhytaikaisen kuorman kertoimen 0,9 tilalta lukuun 1,1.

Mainittu kuormitusajan lyhenemisestä johtuva puun lujuuden kasvu 22,5 % on varsin vaatimaton verrattuna kokeellisiin tuloksiin. Esim. Sugijama esittää vastaavaksi (1 viikko – 1 s) taivutuslujuuden lisäykseksi 73 % (Kärkkäinen: Puun rakenteesta ja ominaisuuksista, s.151).

Puun lujuusarvoja on Eurocodessa kautta linjan pienennetty mahdollisesti lumisissa maissa sattuneiden hallisortumien säikäyttämänä. Tätä lujuusreduktiota on tarpeetonta tuoda sinällään siltoihin, sillä kysymys on jälleen kuormitusajasta: kuukauden lumikuorma pudottaa puun lujuuden noin puoleen hetkelliseen kuormaan verrattuna. Hallin katon kuormitushistoriassa kuukausi tulee etelässäkin muutamassa vuodessa täyteen.

5. Materiaaliarvot

Vertailun vuoksi mainittakoon vanhojen normien ominaisarvoja (Puurakenteiden suunnitteluohje RIL 120-2004). Liimapuun L40 lujuudet f_k ja kimmomoduulin keskiarvo:

Taivutus	31
Puristus kohtisuoraan syitä vastaan	4,3
Leikkaus	2,4
Kimmomoduuli	8 500

Eurocode-mitoitukseen vastaavat arvot liimapuulle GL 32c ovat standardista EN 1194:1999:

Taivutus	32
Puristus palkin tukialueella ($f_{c,90,k}$)	3,3
Leikkaus	3,2
Kimmomoduuli	13 700

Huomattakoon, että syitä vastaan kohtisuoran puristuksen arvoksi on merkitty homogeenisen liimapuun arvo normaalin 3,0 tilalle. Tämä johtuu Eurokoodin laatijan ajattelemattomuudesta: palkin tukialueella korkean lujuusluokan lamellit sijaitsevat maksimipuristuksen alueella eikä ole mitään syytä käyttää palkin keskiosan rupulamellien arvoa. Suunnittelijan pitää siis joskus käyttää omaa ajattelukykyään.

6. Rakenneanalyysi

Tyyppiirustussarjan rakenneanalyysi tehtiin 1970-luvun puolivälissä ranskalaisen Courbonin esittämällä menetelmällä, jossa ei rakenneta arinamallia, vaan kansirakenne otetaan huomioon jatkuvana. Tämä on tietenkin oikeampi malli, mutta menetelmässä käytetyt sarjakehitykset suppenevat suhteellisen hitaasti. Tämä voi johtaa joissakin tapauksissa epätarkkuuteenkin, vaikka ohjelmoitavalla laskimella päästiin varsin pieniin virhedifferensseihin – tosin joskus vasta jopa sadan termin jälkeen.

Nyt tehtyä varsinaista vertailulaskentaa varten kaikki esimerkkisillat laskettiin elementtimenetelmällä arinamallia käyttäen molempien suunnitteluohjeiden mukaisilla kuormilla. Näin saatiin vertailutarkastelu laskentamenetelmästä riippumattomaksi.

Kuormat sijoitettiin epäkeskisesti siten, että määräävä vaikutus saatiin taivutusmomenttia, leikkausvoimaa ja tukireaktiota varten. Taipuma laskettiin maksimimomenttia vastaavasta kuormitusasennosta tyyppisarjan palkkikooilla. Eurokoodin vuoksi palkkikoot muuttuivat, ja taipumavaatimuksen täyttämiseksi palkkien korkeusvaatimukset tarkasteltiin ratkaisemalla taipuman peruskaava suoraan korkeuden suhteen.

7. Normien vertailutulosten tarkastelu

7.1 Leikkaus- ja taivutusjännitykset

Normien vertailun periaatteellinen tulos on nähtävissä taulukoissa 1 ja 2. Taulukon 4 ylemmässä osassa on nähtävissä, että palkkien korkeutta joudutaan kasvattamaan otettaessa Eurocode käyttöön. Kullekin sillalle on laskettu vaadittava korkeus sekä leikkausjännitystä että taivutusmomenttia kriteerinä pitäen. Viimeisessä sarakkeessa on kirjaimella Q tai M esitetty kumpi on tarkastelun kohteena; ei-mitoitettava on sulkeissa. Edellisessä sarakkeessa on tarvittava palkin korkeuslisä nykymitoitukseen verrattuna. Sitä edellisessä sarakkeessa on korkeuksien suhteellinen ero. Tätä edellisessä sarakkeessa on Eurocoden mukaan mitoitettujen palkin korkeus taulukosta 3.

Vertailusta on nähtävissä, että suurten pyöräkuormien rasittamissa siltapalkeissa leikkausjännitys on erityisen ankara mitoituskriteeri. Tämä on puusiltojen suunnittelijoiden tiedostama seikka, mutta onko tämä nieltävä totuutena? Asia näyttää korostuvan Eurocodea käytettäessä.

Puu on voimakkaasti anisotrooppinen aine, joten sen käyttäytymistä palkin tukien lähialueella ei voida kovinkaan hyvin kuvata teknisen taivutusopin perusteella. Puupalkki ei leikkaudu vinosti kuten betonipalkki, eikä myöskään teräspalkin tavalla. Ainoa käytännössä esiintyvä leikkausmurtuma kulkee puun syiden välissä, tosin usein leikkaustasoa vaihtaen, jolloin vetomurtoakin tulee kuvaan mukaan. Rajatilassa leikkaushalkeamien on kuljettava tukilinjan taaksekin, yleensä palkin päätyyn saakka, jonne myös jännitystarkastelu tulisi ulottaa.

On myös otaksuttavissa, että leikkaushalkeaman syntymistä estää sitä vastaan kohtisuora puristusjännitys, joka on suuri pyöräkuorman sijaitessa tuen lähellä, maksimileikkausvoiman määräävällä kuorma-asennolla.

Käytännön suunnittelutyössä leikkausvoiman määräävyyttä voidaan vähentää pidentämällä tukilinjan ylittävää uloketta. Toinen mahdollisuus on nostaa palkin korkeutta tuella, kuten Huhmarhaaran sillassa on tehty.

Sillan palkkien leventäminen saa leikkaus- ja taivutuskriteerien vaikutukset (palkin korkeus) lähentymään toisiaan.

Eurokoodin vaikutus tyyppisarjan palkkien mittoihin on suuri, vaikka leikkausvoiman määräävyyttä mitoituskriteerinä voitaisiin vähentää teknisen taivutusopin mukaisesta.

Toisaalta sarjan mukaan rakennettujen siltojen määrä on suuri, eikä leikkausmurtumista johtuvia vaurioita tiettävästi ole esiintynyt, joten emme suinkaan liiku riskialueella.

Teknillisen korkeakoulun sillanrakennuksen laboratoriossa tekemiäni kokeiden ja teoreettisen tutkimuksen perusteella olen kirjoittanut yksinkertaisen kaavan, jonka perusteella tuen yli ulottuvan ulokkeen vaikutus leikkauskapasiteettiin voidaan arvioida. Kaava näyttäisi sopivan koetuloksiin, se on hieman konservatiivinen, mutta riittävän ulokkeen antama lujuuslisäys riittää lähes kaikissa käytännön siltakohteissa. Toisaalta vertailevien kokeiden vähäisyys (3*3*2 kpl) ei vielä anna kovin hyvää kuvaa menetelmän luotettavuudesta. Ehkä alkuvaiheessa ennen täydentäviä kokeita voitaisiin hyödyntää 2/3 leikkauskapasiteettilisästä?

Toisaalta leikkausmitoituksen suhteen voitaisiin olla jonkin verran uskaliaita, sillä palkin tukireaktio lisää syiden välistä puristusta ja siten leikkauslujuutta. Lisäksi puupalkin vaakasuoraan tapahtuva leikkaus ei voi olla ensisijainen murtumissyty toisin kuin esim. betonipalkissa.

Nyt kehitetyllä menetelmällä leikkausjännitys lasketaan jakamalla leikkausvoima palkin vaakasuoralle pinta-alalle, jota on teknisen taivutusopin vastaavasta kaavasta kasvatettu ulokealueen antamaa kapasiteetin lisäyksen mukaan.

$$A = bh(1 + \alpha - \alpha^2/2)$$

jossa

$$\alpha = a/2h; \quad \alpha < 1; \quad \text{jos } a > 2h \text{ niin } \alpha = 1, \text{ jos } a \leq 0,2 \text{ niin } \alpha = 0.$$

a = ulokkeen pituus laakerilinjasta lukien

h = palkin korkeus

b = palkin leveys

$$\tau = 3Q/2A$$

Maksimissaan kaava lisää palkin leikkauskapasiteettia 50 % ulokkeen pituudella $a \geq 2h$.

7.2 Tukipaine

Eurocode-liikennekuorma aiheuttaa tukireaktioiden selvän kasvun. Pahan kukkuraksi lujuutta kohtisuoraan syitä vastaan [N/mm^2] on radikaalisti pienennetty: 4,3:sta 3,0:aan normaalissa (combined) liimapuupalkissa. Perustellusti voitaneen käyttää alalamellien lujuutta hyväksi eli soveltaa homogeenisen palkin lujuutta 3,3.

Teräslevyt puun pintaa vasten tukialueella pitenevät ja paksunevat paljon. Laskin summittaisesti tukilevyn mitat sillalle Plp-16-6,5: pituus 800 mm ja paksuus 60 mm edellyttäen että tukilevy pystyy vapaasti kiertymään tukilinjan ympäri.

Leveämpien palkkien käyttö lyhentää levyjä, ja muutenkin esim. 240 mm:n levyiset palkit voisivat olla taloudellisin vaihtoehto, jos leikkausvoimamitoituskin sitä puoltaa. Toisaalta taipumarajoitus tulee helpommin kriittiseksi.

Ehkä helpoin keino välttyä rumien ja tehottomien ylipitkien levyjen käytöltä on käyttää pystysuoria puuhun liimattuja teräksiä. Ne voivat olla levyyn valmiiksi hitsattuja minimietäisyydellä toisistaan olevia harjatankoja.

Vaurioriskiä voitaisiin vähentää korvaamalla tavanomaiset 10...20 millimetrin neopreenilevyt riittävän rotaation sallivilla "oikeilla" laakereilla. Myös teräslevyä kerrostamalla voidaan saada levy taipumaan juohevammin, mikä estää kynnyksen muodostuminen puuhun. Näin vältetään mahdollisen paikallismurron synty levyn reunan kohdalla.

7.3 Taipuma

Puun käyttörajatilan kimmomoduuleja on Eurokoodiin kasvatettu, joten taipumat eivät johda niin radikaaleihin mittojen kasvuun kuin leikkausvoima. Toisaalta jos palkkien leveyttä kasvatetaan, taipumat tulevat helpommin mitoittaviksi.

Vertailulaskelmien mukaan taipuma näyttää tulevan herkästi mitoittavaksi, esimerkkitapauksissa kaikissa jos raja-arvoksi otetaan 1/400. Vähäliikenteisten teiden silloille sallitaan Puusiltaeurokoodin mukaan 1/200, jolloin taipuma ei juuri tule mitoittavaksi.

Nykykäytännön mukaan taipuma lasketaan sysäytlisän sisältävästä kuormasta. Tästä syystä olisi perusteltua käyttää hetkellisen kuorman kimmomoduulia, mihin ei kuitenkaan ole annettu suoraan mahdollisuutta. Suurin Eurokoodissa käytettävä kimmomoduuli on $E_{0,g,mean}$, joka vastannee viiden minuutin kokeiden keskiarvoa. Sysäytlisää vastaava kuorman kesto-aika on sekunnin luokkaa, jolloin kimmomoduuli on parisenkymmentä prosenttia korkeampi.

Värähtelylaskelmissa kuormitus-aika on puoli vaihetta eli sekunnin murto-osa. Liian alhaisen kimmomoduulin käyttö johtaa väärään frekvenssiin. Parinkymmenen prosentin korotus veisi tulosta ainakin oikeaan suuntaan. Tämä näkökohta tulisi saattaa yleiseurooppalaiseksi käytännöksi Eurokoodin myöhemmissä suosituksissa.

Vallitsevassa siltojen suunnittelukäytännössä taipumarajaa on yhtenäisesti kunnioitettu, vaikkei sitä ole normeissa esitetty sitovana. Eurokoodinkin mukaan taipumarajatila on tyypillisesti käyttörajatilan soveltamissääntö, jonka "soveltuvuus kyseiseen suunnittelutapaukseen on aina erikseen tarkistettava". Niinpä merkittävässä kohteissa suunnittelijan ja rakennuttajan tulisi yhteistuumin selvittää, ettei taipumasuositus johda esteettisessä tai taloudellisessa mielessä

kohtuuttomiin mittoihin.

7.4 Liittopalkkisilta

Edellisestä poiketen liittopalkkisilta näyttäisi sinällään täyttävän tärkeimmät Eurokoodikriteerit. Betonisen kannen suurempi jäykkyys tasaa lähekkäisten akselikuormien vaikutuksen puukantta paremmin. Toinen syy voi olla liittopalkkisillassa käytetty menettely koota palkisto kolmen palkin ryhmäksi, mikä myös tasaa pistemäisten kuormien vaikutusta verkkomaista arinaa paremmin.

Leikkausjännityksistä ei liittopalkissa juurikaan synny huolia, varsinkaan tässä tyypissä, jossa palkin korkeus tuella on suurempi kuin keskellä. Tarvittaessa voidaan vinoon liimattuja teräsvarnoja hyödyntää τ -mitoituksessa, sillä ne ulottuvat leikkausjännitysten maksimialueen ohikin.

Tuen kohdalle ja läheisyyteen syntyvät jännitykset saatiin hallintaan pystysuoria liimattuja tankoja käyttäen, mikä onkin luonnollinen ratkaisu, kun liittopalkkiin joka tapauksessa liimataan suuri määrä vastaavanlaisia terästankoja. Luonnollisinta olisi asentaa teräkset viuhkamaisesti mahdollisimman kapealta tuelta lähtien, mutta tällaisen viuhkan asennus liimaten on mahdotonta, ellei sitten päätetä luottaa puskuliitokseen tankojen ja levyn välillä.

Taipuma ei tule mitoittavaksi kannen betonin aiheuttaman jäykkyytlisän vuoksi. Tämä on puu-betoni-liittopalkkisilloille yleensäkin tunnusomaista ja yksi syistä, jotka puoltavat liittopalkkiratkaisujen yleistymistä.

8. Yhteenveto

Eurokoodin numeerisiin standardiarvoihin ja pääperiaatteisiin emme pysty kansallisella tasolla paljontaan vaikuttamaan. Sen sijaan laskentamenetelmät ja tietyt mitoituskriteerit ovat perustellen käytettävissämme järkipäisen tuloksen saavuttamiseksi. Puupalkin tukialueen jännitystilän (leikkausjännitys ja tukipaine) hallitsemiseksi kokeellinen tutkimus mallinnukseen yhdistettynä esim. diplomityön muodossa voisi olla hyvin kannattava sijoitus. Toki teoreettista asiaa ja tilaa innovatiivisuudelle riittäisi mainiosti väitöskirjaankin. Tutkimuksella saataisiin eväät yksinkertaiselle laskentaohjeelle.

Olen nyt lähestynyt puusiltojen mitoituskysymyksiä eri puolilta ja tullut entistäkin vakuuttuneemmaksi siitä, että puu näyttää soveltuvuutensa ja edulliset erikoispiirteensä juuri siltojen rakennusaineena. Elinkaaren aikaiset säilyvyys ja kunnossapitokysymykset ovat hallinnassa ja ylittävät muita rakennusaineita koskevat ominaisuudet. Eräänä osoituksena voi pitää sitäkin, ettei puusilloissa vakavia vaurioita ole esiintynyt toisin kuin esim. mittavissa hallirakenteissa.