



3-Nivelkaari

Vaativien puurakenteiden suunnittelu -koulutus 2018

Moduuli 2

Jani Pitkänen

PUUINFO

Kaaren poikkileikkaukset ja muodot

- Tasakorkea massiivipoikkileikkaus (yleisin)
- Ristikkorakenteet (liimapuu ja LVL)
- Kotelo-poikkileikkaus
- I-poikkileikkaus

Kaaren poikkileikkaukset ja muodot

- Kaaren muoto valitaan siten, että momenteista tulee mahdollisimman pieniä
- Tämä tarkoittaa sitä, että kuorma myötäilee määräävän kuormitusyhdistelmän puristuslinjaa
- Koska kuormitusyhdistelmiä on useita, joudutaan tekemään kompromisseja
- Yleisimmät kaaren muodot ovat ympyrä ja paraabeli
- On mahdollista tehdä muitakin, kuten mm. elliptinen muoto.

Kaaren poikkileikkaukset ja muodot

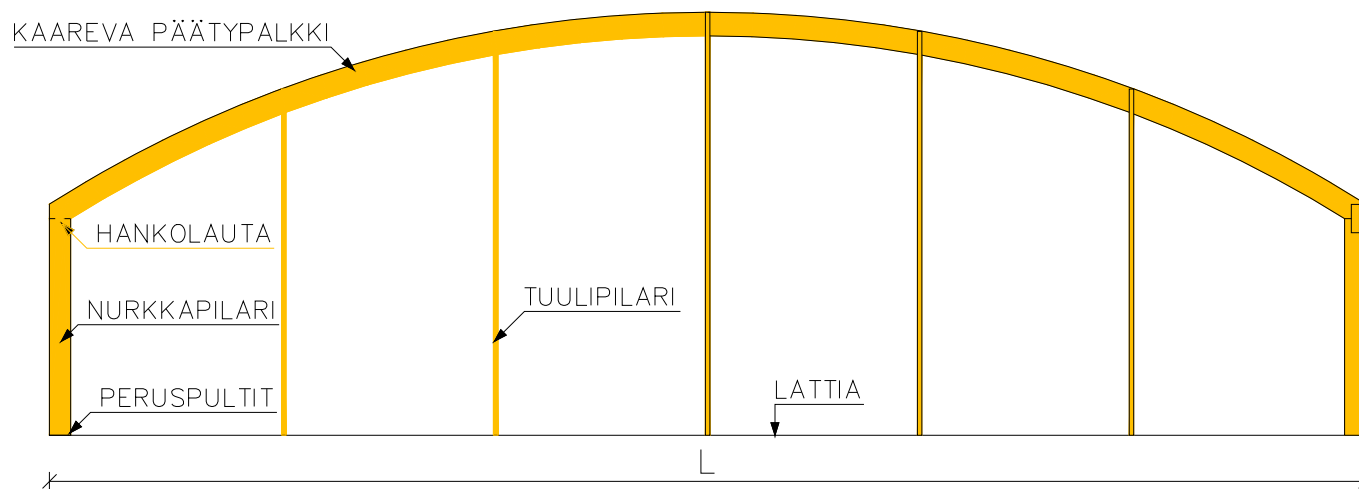
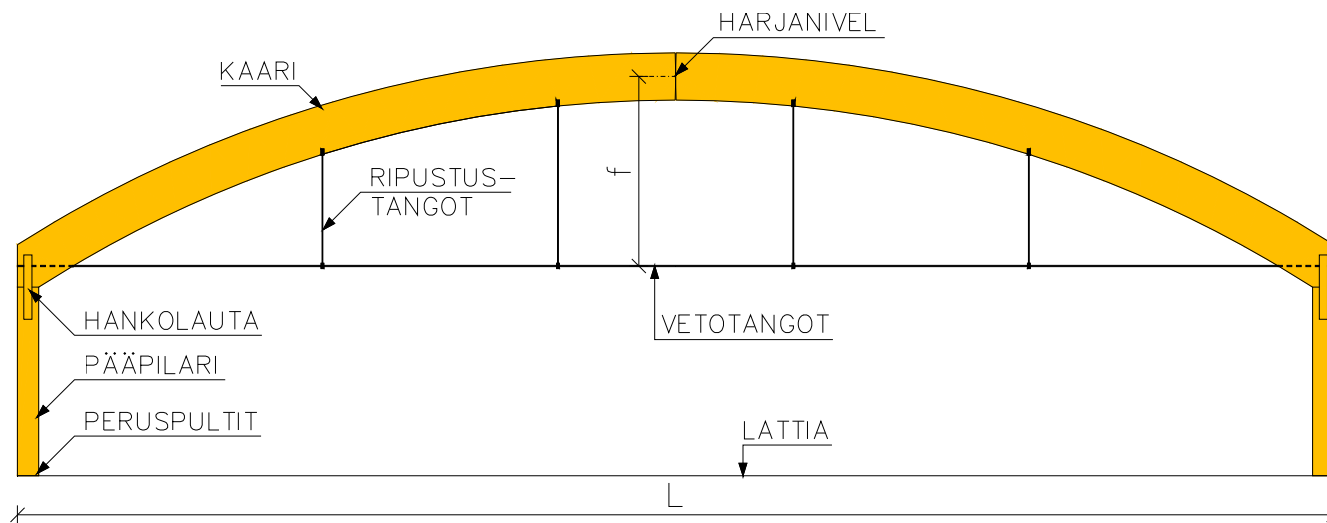
- On suositeltavaa käyttää 3-nivelkaaria, koska ne ovat staattisesti määrättyjä
- 2-nivelkaaria ja täysin jäykkiä kaaria tulisi välttää (staattisesti määräämättömiä), koska mm. mahdolliset tukien siirtymät aiheuttavat sisäisiä jännityksiä
- Lisäksi suurilla jänneväleillä tulee vastaan mahdolliset kuljetusongelmat, jolloin suuria kaaria ei voida kuljettaa kokonaisina, vaan ne kuljetetaan usein kahdessa (3-nivelkaari) tai jopa neljässä osassa (vaatii momenttijäykkiä liitoksia)

Kaaren poikkileikkaukset ja muodot

- Kaaret voidaan tukea suoraan perustuksiin tai pilareiden päälle
- Oli tuenta tapa mikä tahansa tulee muistaa tukiin kohdistuvan pystykuorman lisäksi vaakavoima
- Vaakavoima otetaan kiinni yleensä vetotangoilla
 - Jos kyseessä on pilareiden päähän sijoitettava kaari, niin vetotangot ripustetaan kaaresta
 - Kun kyseessä perustuksiin tuettava kaari, niin vetotangot sijoitetaan perustusten tasoon maan alle

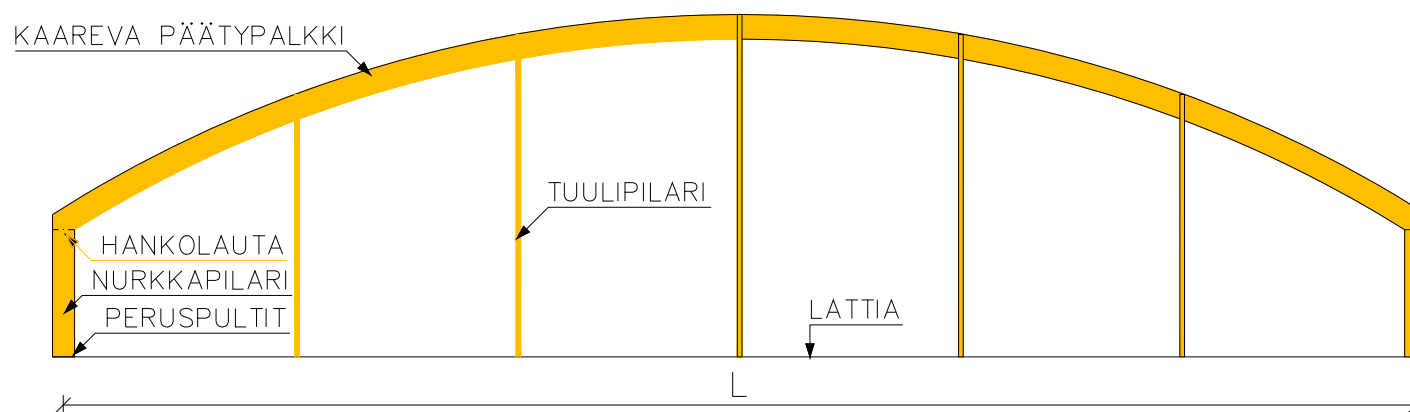
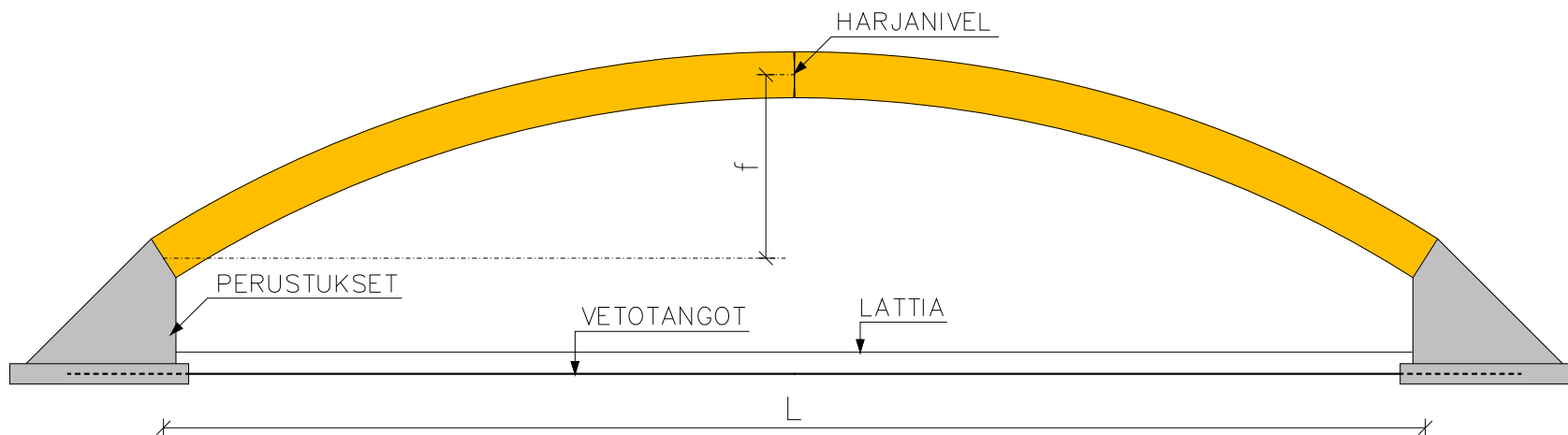
Kaaren poikkileikkaukset ja muodot

Vetotangollinen kaari (pilareiden päässä)



Kaaren poikkileikkaukset ja muodot

Perustuksiin tuettu kaari



Kaaren poikkileikkaukset ja muodot

- Vetotangolliset, pilarin päihin tukeutuvien kaarien suositeltavat jänneväli on 25...50 m
- Perustuksiin tukeutuvien kaarien suositeltavat jänneväli on 40...100 m
- Molemmissa tapauksissa kaaren poikkileikkauksen korkeus on noin jänneväli (L) / 35
- Tämä riippuu myös kaarien jaosta
- Suositeltava kaarijako
 - Pilari-kaarirungolle on 4,8...8,4 m
 - Perustuksiin tukeutuvalla 6,0...9,6 m.

Ristikkorakenteinen kaari (liimapuu, LVL)



Kuva: LATE-rakenteet

Ristikkorakenteinen kaari (liimapuu, LVL)



Kuva: Puiinfo

Massiivikaari (liimapuu)



Kuva: Puuinfo

Massiivikaari, vetotangollinen (liimapuu)



Kuva: Puuinfo

Massiivikaari, kupoli (liimapuu)



Kuva: Puuinfo

Kaaren mitoitus

- Kun tehdään mitoitusta, joudutaan usein jakamaan kaari useaan osaan (murtoviiva)
- Kaari kannattaa jakaa riittävän moneen osaan esim. 8-osaan per kaaren puolisko
- Vaikka muunnetaan murtoviivaksi, niin kuormat pitää edelleen katsoa kaaren mukaan, ei esim. kehän mukaan
- Lisäksi tulee nuolikorkeus (f) valita tarpeeksi suureksi, jotta vältytään liian suurilta vaakavoimilta
- Nuolikorkeutta verrataan jänneväliin (L), jolloin niiden välille saadaan riippuvuus
- Suositeltava suhde on $f/L \geq 0,144$

Kaaren mitoitus

- On suositeltavaa käyttää jotain FEM-ohjelmaa, koska mm. siirtymien laskeminen käsin on erittäin työlästä
- Lisäksi kuormitusyhdistelmiä voi olla todella useita, kun huomioidaan
 - Käyttörajatila
 - Murtorajatila
 - Onnettomuusrajatila

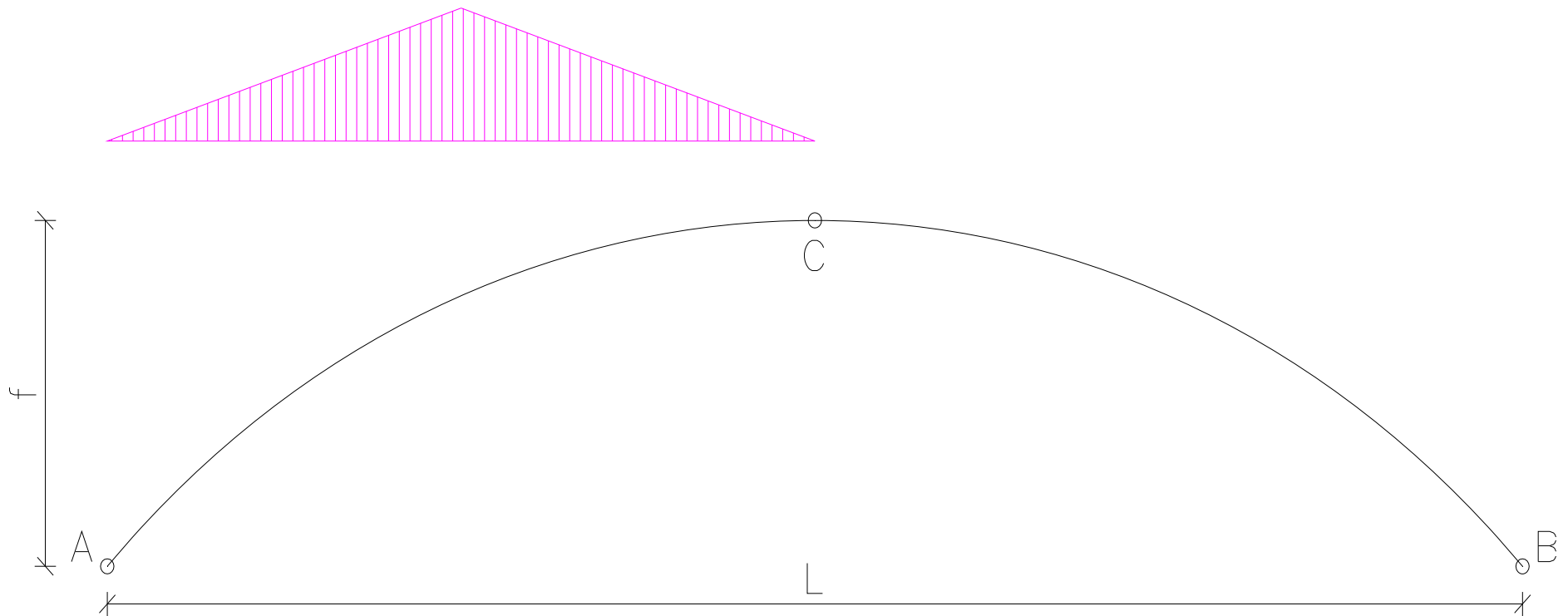
Kaaren mitoitus

Kaarelle tehdään seuraavat mitoitusarkastelut:

1. Taivutuskestävyys maksimi momentin kohdalla
2. Puristuskestävyys maksimi puristusvoiman kohdalla
3. Puristuskestävyys heikompaan poikkileikkauksen suuntaan
4. Leikkauskestävyys maksimi leikkausvoiman kohdalla
5. Yhdistetty taivutus- ja puristuskestävyys
6. Poikittainen veto
7. Kiepahduskestävyys
 - Yläreunan kiepahduskestävyys
 - Yläreunan yhdistetty puristus- ja kiepahduskestävyys
 - Alareunan kiepahduskestävyys
 - Alareunan yhdistetty puristus- ja kiepahduskestävyys
8. Kaaren siirtymien arvioinnit (pysty- ja vaakasiirtymät)

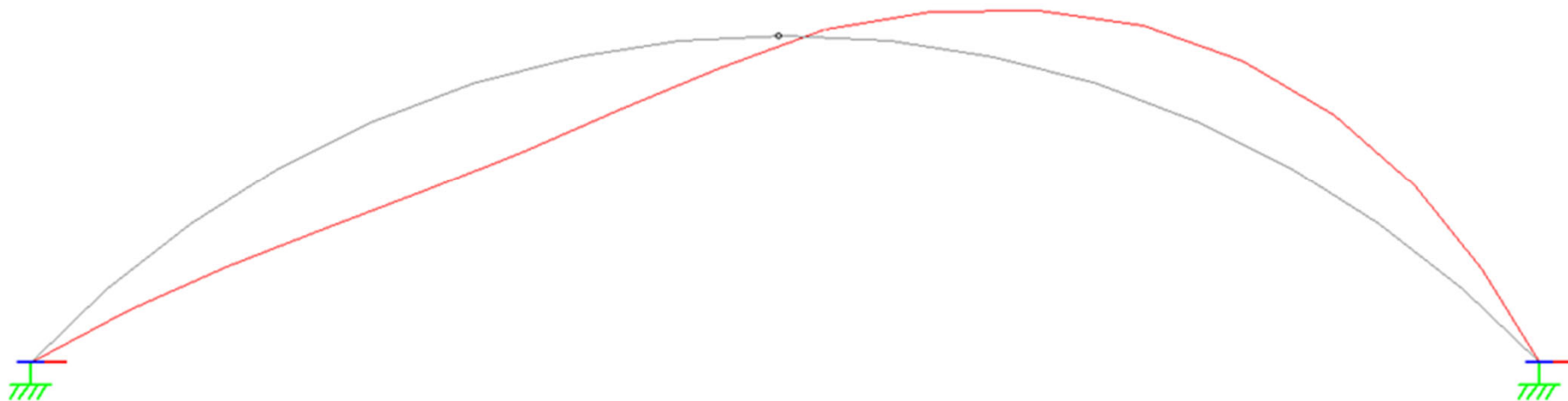
Kaaren mitoituksen erityispiirteitä

Poikittainen veto



Kaaren mitoituksen erityispiirteitä

Poikittainen veto



Kaaren mitoituksen erityispiirteitä

Poikittaisen vedon vahvistukset

- Rakenteita voidaan vahvistaa mm. kierretangoilla
- Esimerkiksi SFS-Intec WB-T –kierretangot
 - Halkaisija: 16 mm ja 20 mm
 - Pituus: 3000 mm (katkaistaan sopivan mittaiseksi)
 - Mitoitus: DIN 1052: 2008-12



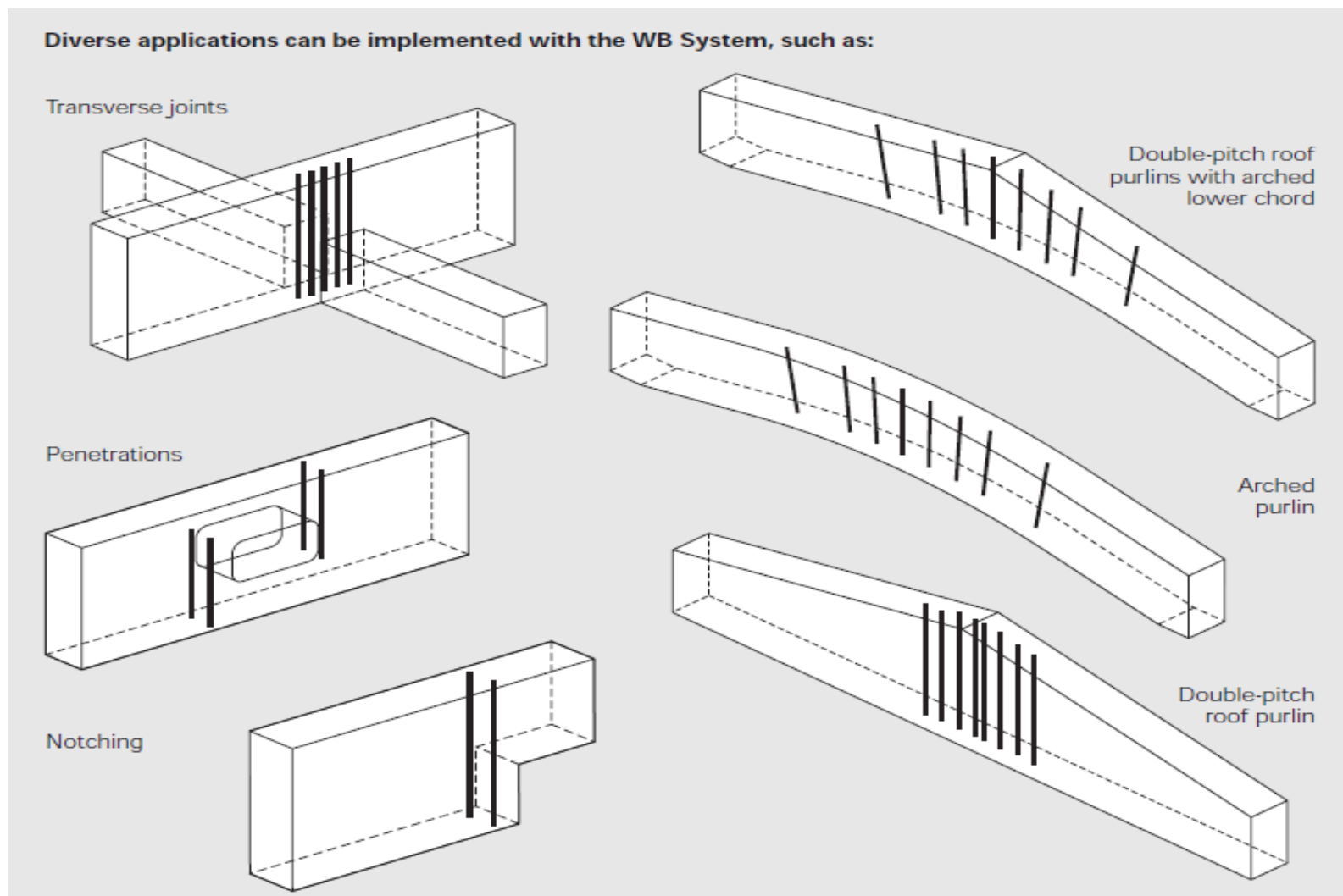
Kuva: SFS Intec

WB-T-d fastener range						
Type		Material		Diameter		Length
		T = carbon steel		d ₁ [mm]		[mm]
WB	-	T	-	16	x	3000
WB	-	T	-	20	x	3000

Kuva: SFS Intec

Kaaren mitoituksen erityispiirteitä

Poikittaisen vedon vahvistukset

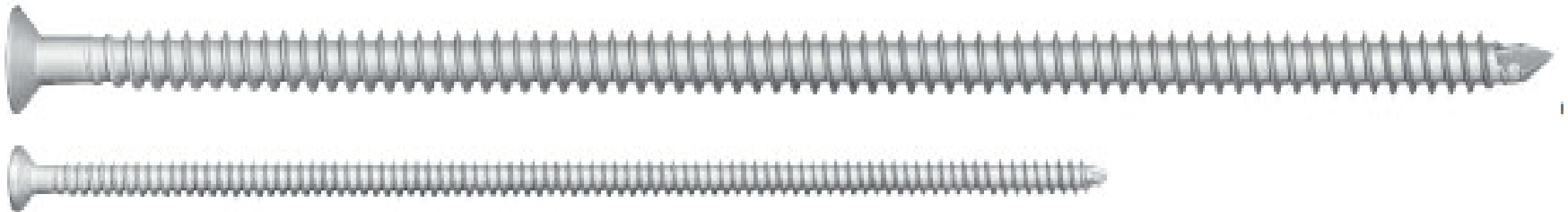


Kuva: SFS Intec

Kaaren mitoituksen erityispiirteitä

Poikittaisen vedon vahvistukset

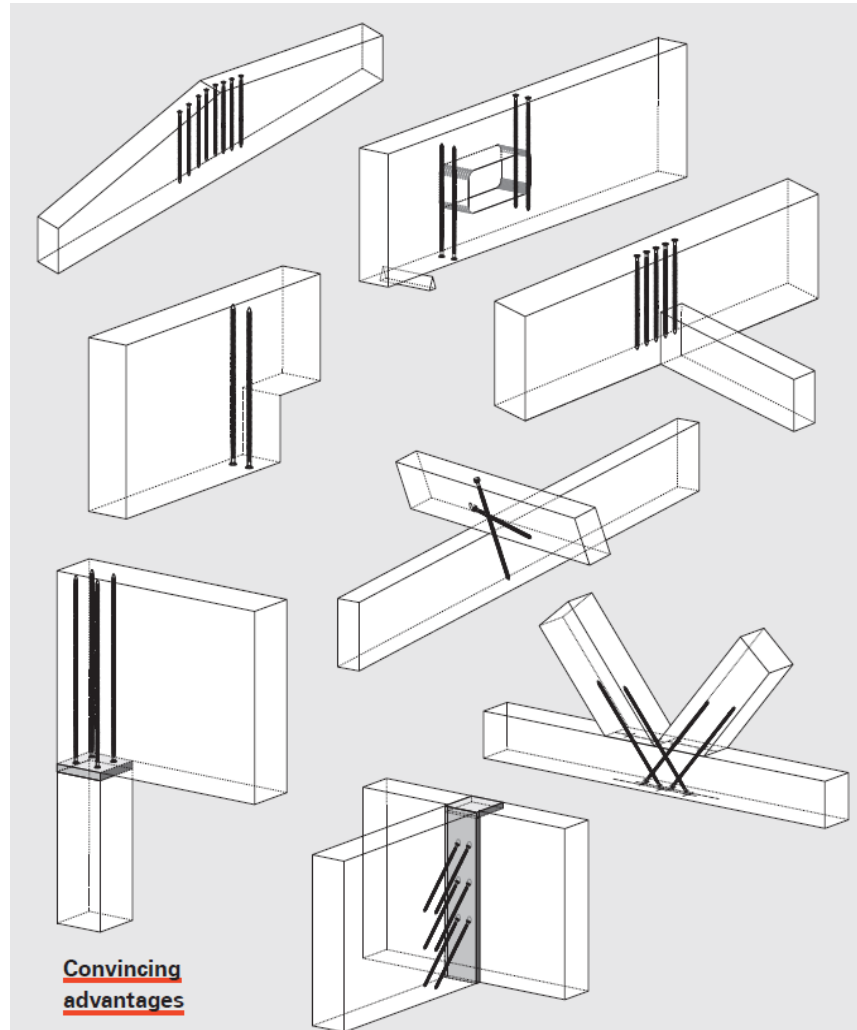
- Rakenteita voidaan vahvistaa mm. kierretangoilla
- Esimerkiksi SFS-Intec WR-ruuvit
 - Halkaisija: 9 mm ja 13 mm
 - Pituus: (9 mm) 250...500 mm ja (13 mm) 400...1000 mm
 - Mitoitus: ETA 12/0062



Kuva: SFS Intec

Kaaren mitoituksen erityispiirteitä

Poikittaisen vedon vahvistukset



Kuva: SFS Intec