

Taivutustelan halkaisijan määrittäminen

Auli Lastunen

dipl.ins., eurokoodiasiantuntija
Rakennustuoteollisuus RTT
auli.lastunen@rakennusteollisuus.fi

Taivutustelan halkaisijan yhteys valmiin raudoitteen taivutussäteeseen ei ole määritettävissä pelkästään geometrian säännöillä. Seuraavassa tekstissä kerrotaan millä perusteella taivutussäde tulisi määritellä ja mitä asioita suunnittelussa ja tuotannossa tulisi huomioida.

Kaksi erilaista B500B-terästä

Ympäristöministeriön asetus hitsattavien betoniterästen ja betoniteräsverkkojen olennaisista teknisistä vaatimuksista määrittelee B500B-teräkset eurokoodi-yhteensopivasti. Ennen sen voimaantuloa oli voimassa SFS 1268 Betoniteräkset. Hitsattava kuumavalssattu harjatanko B500B, joka on edelleen voimassa. Se määrittelee taivutettavuuden vaativammin kuin em. asetus. Sitä käytetään mm. siltarakenteissa.

Taivutustelan minimihalkaisija

Taivutustelan halkaisijaa määritettäessä tulee ottaa huomioon tangon vaurioituminen ja betonin vahingoittuminen tangon taivutuskohdan sisäpuolella. Valitsemalla riittävän iso taivutustela vältetään molemmilta.

Tangon vaurioitumisen osalta eurokoodi ja sen kansalliset liitteet antavat seuraavat vähimmäisarvot taivutustelan halkaisijalle:

- Eurokoodi SFS-EN 1992-1-1
 - 4 ϕ , kun $\phi \leq 16$ mm
 - 7 ϕ , kun $\phi > 16$ mm
- Ympäristöministeriön kansallinen liite
 - 4,5 ϕ , kun $\phi \leq 16$ mm
 - 9 ϕ , kun $\phi > 16$ mm
- Väyläviraston ohje (haat, koukut ja lenkit)
 - 4 ϕ , kun $\phi \leq 10$ mm
 - 5 ϕ , kun $\phi > 10$ mm ja $\phi \leq 20$ mm
 - 7 ϕ , kun $\phi > 20$ mm

Ympäristöministeriön kansallisessa liitteessä todetaan myös: "Taivutustelan vähimmäis-

halkaisijana voidaan käyttää vaihtoehtoisesti arvoja, jotka ovat vähintään 2 kertaa kyseisen teräsluokan taivutuskokeessa käytettävän tuurnan halkaisija." Tämä mahdollistaa periaatteessa pienempienkin taivutustelojen käytön, tosin aika konservatiivisesti. Asetus hitsattavien betoniterästen ja betoniteräsverkkojen olennaisista teknisistä vaatimuksista määrittelee, että taivutuskokeessa taivutustelan enimmäishalkaisijat ovat:

- 3,0 ϕ , kun $\phi \leq 16$ mm
- 6,0 ϕ , kun $\phi > 16$ mm.

Standardin SFS 1300 Betoniteräkset. Hitsattavien betoniterästen ja betoniteräsverkkojen vähimmäisvaatimukset mukaiset teräkset täyttävät ympäristöministeriön aseuksen vaatimukset.

Taivutustelan halkaisijan määrittely tangon vaurioitumisen kannalta ei riitä, vaan aina tulee huomioida myös, ettei taivutustelan halkaisija ei ole liian pieni betonin vahingoittumisen kannalta.

Raudotteiden suunnittelu

Ennen eurokoodiaikaa rakennesuunnittelija määritteli suunnitelmiin raudoitteiden taivutussäteen, jolla tarkoitetaan valmiin raudoitteen sisäpuolista sädettä. Eurokoodi määrittelee taivutustelan minimihalkaisijan, joka suunnittelijan tulee ilmoittaa suunnitelmassa. Valmiin raudoitteen sisäpuolinen säde eli taivutussäde ei ole suoraan laskettavissa

taivutustelan halkaisijasta, koska teräksen muodonmuutos on osin palautuva. Teräs pitää siis taivuttaa pienemmällä telalla ja hiukan yli, jotta saadaan haluttu taivutussäde. Ylitaivuttamisesta ei suunnittelijan tarvitse välittää. Sen sijaan taivutustelan halkaisijan valintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota.

Valmiin raudoitteen taivutussäteen ja taivutuksessa käytetyn taivutustelan halkaisijan välistä suhdetta voidaan arvioida B500B-teräkselle seuraavan kaavan avulla:

$$\phi_m = 0,9 \times 2 \times r, \text{ jossa}$$
$$\phi_m \text{ on taivutustelan halkaisija}$$
$$r \text{ on taivutussäde}$$

Lisäksi suunnittelijan tulee ottaa huomioon, että harjatangon ulkomitta on jonkin verran nimellismittaa suurempi, johtuen pinnan harjakuvioinnista. Ulkomitta on yleensä suunnilleen 7...18 % nimellismittaa suurempi, ohuimmilla tangoilla vähemmän (7 %) ja paksuimmilla enemmän (18 %).

Taivutustelan valinta

Betonirakenteiden toteutusstandardi SFS-EN 13670 ohjeistaa valitsemaan taivutustelan halkaisijan Renard-sarjasta. Renard-sarja on matemaattinen määrittely, joka tuottaa tässä yhteydessä sarjan (25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630). Valmistajilla ei välttämättä ole käytössään kaikkia Renard-sarjan teloja ja toisaalta käytössä voi olla myös muun kokoisia teloja. Suunnittelijan tulisi



1 Jännitetyn, jatkuvan palkkisillan pääkannatin-palkin keskeneräistä raudoitusta. Etualalla palkin raudoituksesta on asennettu uloin hakaraiditus ja taaempänä on asennettu myös pääraudoitusta ja sisimmäiset hakaraiditteet.

Taulukko 1

Taivutustelan halkaisija eri määrittelyjen mukaan

Tangon halkaisija	Talonrakennus			Sillanrakennus (NCCI 2)	
	Ympäristöministeriön Rakentamismääräyskokoelmassa esitetty ohjeellinen, kansallisen liitteen mukainen minimiarvo	SFS 1268 -mukaisen teräksen minimiarvo	Pääraudoitukselle suositeltava arvo	Minimiarvo haoille, koukuille ja lenkeille	Minimiarvo pääraudoitukselle
6	27	24		24	144
8	36	32		32	192
10	45	40		40	240
12	54	60		60	288
16	72	80	200, (300)	80	384
20	180	100	300, (400)	100	480
25	225	175	400, (500)	175	600
32	288	224	500, (640)	224	768 *)

*) Näin isoa ei välttämättä löydy, eikä edes kaikkiin koneisiin mahdu.

jättää suunnitelmiin vähimmäistelan arvo eikä valita kokoa Renard-sarjan teloista. Tämä on tärkeää erityisesti silloin, jos tuotannossa käytetään jostain sitkeämpää terästä (esim. SFS 1300:n mukaisen tilalla SFS 1268:n mukaista) kuin on suunniteltu.

Pääraudoitteille suositeltavat telat ovat 200, 300, 400 ja 500 mm. Nämä soveltuvat useisiin käytännön tapauksiin pääteräksille 16 mm, 20 mm, 25 mm ja 32 mm. Näillä teloilla saadaan raudoitteet tehokkaasti tehtyä puoliautomaattisilla koneilla. Taivutuspenkillä voi käyttää isompiakin teloja (esim. 640 ja 725), mutta tuotanto on hitaampaa ja vastaavasti kalliimpaa. Näissäkin tapauksissa tulee huomioida muodonmuutoksen palautuminen.

Kaiken kaikkiaan onkin hyvä merkitä suunnitelmiin, onko tela valittu tangon vaurioitumisen vai betonin vahingoittumisen kannalta. Ainakin jälkimmäinen tulisi tuoda selkeästi esiin, jotta tuotannossa voidaan valita sopiva tela oikein perustein. Raudoitevalmistaja käyttää yleensä teräksen taivutettavuuden mukaista pienintä sallittua taivutustelaa, koska sillä saadaan vähiten hajontaa taivutuskuuluihin ja parasta tuottavuutta.

Mallintaminen

Raudoitteiden mallinnuksessa olisi hyvä pyrkiä menettelyyn, jossa vähimmäistelat ja niistä saatavat taivutussäteet määräytyvät automaattisesti mallin parametritiedoista, ainakin niissä tapauksissa, joissa käytetään teräksen taivutettavuudesta riippuvia vähimmäisteloja.

Esimerkkejä

Virheellisesti ilmoitettu taivutustelan arvo ei välttämättä vaikuta suunnitelman toteuttamiseen juuri mitenkään. Kuitenkin erityisen kapeilla rakenteilla (pilarit, palkit, seinät, laatat) liian suuri taivutustelan halkaisija aiheuttaa toleranssia suurempaa mittaepätarkkuutta raudoituksiin.

Erityisesti K-tyypin raudoitteella on syytä ottaa huomioon x-mitan määrittelyssä, että

taivutussäde on suurempi kuin puolet telan halkaisijasta ja lisäksi, että teräksen todellinen ulkomitta on nimellismittaa suurempi.

Esimerkki 1

- Tankopaksuus 20 mm
- Täyttää SFS 1268 taivutettavuusvaatimuksen
- Telan vähimmäiskoko on 100 mm

Lenkin ulkoleveys x on noin $2 \times 20 \text{ mm} \times 1,15 + 100 \text{ mm} / 0,9 = 46 \text{ mm} + 111 \text{ mm} = 157 \text{ mm}$.

Nimellismitoilla laskettuna ulkoleveys x olisi 140 mm. Erotus on siis 17 mm, joka on suurempi kuin normaaliluokan raudoitteen kyseisen mitan toleranssi, joka on +/- 5 mm ($x \leq 200 \text{ mm}$).

Esimerkki 2

- Tankopaksuus 20 mm teräs
- Täyttää SFS 1300 taivutettavuuden vähimmäisvaatimuksen
- Telan vähimmäiskoko on 180 mm.

Lenkin ulkoleveys x on noin $2 \times 20 \times 1,15 + 180 / 0,9 = 46 \text{ mm} + 200 \text{ mm} = 246 \text{ mm}$.

Nimellismitoilla laskettuna ulkoleveys x olisi 220 mm. Erotus on siis 26 mm, joka on suurempi kuin normaaliluokan raudoitteen kyseisen mitan toleranssi, joka on +/- 10 mm ($200 \text{ mm} < x \leq 500 \text{ mm}$).

Johtopäätökset

Raudoitussuunnitelmasta pitäisi pystyä erottamaan ne taivutetut teräkset, joiden telan vähimmäiskoko perustuu teräksen taivutettavuuteen, niistä taivutetuista teräksistä, joiden telan halkaisija perustuu betonin kestävyyteen.



2



3



4

2 Raudoitetyyppi K.

3 Tuplataivuttimen taivutustelat.

4 Etualalla isompia taivutusteloja ja taustalla tuplataivutin, jossa 200 mm telat.

5 Hakasautomaatin erikoistuurnat.



5