



RAKENNUSTIETO >

Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> rakennustieto.fi/rk/palvelut

Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuista artikkeleista](#)

EN 1993-1-5: Teräsrakenteiden suunnittelu, Levyrakenteet

Jouko Kouhi, Diplomi-insinööri
jouko.kouhi@vtt.fi

2

SÄÄNNÖKSET
OHJEET

1 Johdanto

Standardin EN 1993-1-5 soveltamisalasta todetaan seuraavaa:

Standardi EN 1993-1-5 sisältää ohjeet levymäisten rakenteiden lommahdusmitoituksesta (koskee sekä jäykistämättömiä että jäykistettyjä levykenttiä). Kuormien tulee olla levyn tason suuntaisia.

Jos kuormat vaikuttavat myös levyn tasoa vastaan kohtisuorassa suunnassa, viitataan standardiin ENV 1993-1-7. (Työ ko. esistandardin muuntamiseksi EN-standardiksi ei ole vielä alkanut).

Standardi EN 1993-1-5 sisältää ohjeet shear-lag-ilmieron huomioon ottamiseksi.

Mikäli kyse on väsyttävästä kuormasta viitataan standardiin EN 1993-1-9 ja kun on kyse levykentän hengittämisestä, viitataan osaan EN 1993-2.

Normaalijännitysten kuormittamien levyrakenteiden mitoittaminen tapahtuu ns. tehollisten arvojen perusteella. Yläindekseillä ”p” ja ”s” erotellaan kaksi eri tehollisen leveyden käsitettä seuraavasti:

- ”tehollinen^p” tarkoittaa levyn lommahduksen vaikutuksia
- ”tehollinen^s” tarkoittaa shear lag-ilmieron vaikutuksia.

Mikäli kyse on em. ilmiöiden yhteisvaikutuksesta, yläindeksiä ei käytetä.

2 Suunnitteluperusteet ja mallinnus

Levyn lommahduksen vaikutus jäykkyyteen kokonaisanalyysissä voidaan jättää huomioon ottamatta, jos puristetun levyosan tehollinen pinta-ala on suurempi kuin standardissa EN 1993-1-5 esitetty raja-arvo. Ko. raja-arvo on kansallinen parametri. Standardin EN 1993-1-5 osalta ehdotusta Suomen kansalliseksi liitteeksi ei ole vielä laadittu.

3 Shear lag-ilmieron vaikutukset sauvojen mitoitukseen

Shear-lag-ilmieron osalta todetaan seuraavat yleiset asiat:

- Standardissa EN 1993-1-5 esitetään ohjeet siitä, milloin shear-lag-ilmieron vaikutukset murtorajatilassa voi jättää huomioon ottamatta. Lisäksi esitetään ohjeet, miten shear-lag-ilmio otetaan tarvittaessa huomioon murtorajatilassa.
- Vastaavalla tavalla standardissa EN 1993-1-5 esitetään ohjeet siitä, milloin shear-lag-ilmieron vaikutukset käyttörajatilassa voi jättää huomioon ottamatta. Lisäksi esitetään ohjeet, miten shear-lag-ilmio otetaan tarvittaessa huomioon käyttörajatilassa. Nämä ohjeet koskevat myös mitoitus väsymisen suhteen.

Shear-lag-ilmieron vaikutus otetaan tarvittaessa huomioon käyttämälle tehollisia leveyksiä. Näillä tehollisilla leveyksillä ei ole mitään tekemistä lommahduslaskelmien yhteydessä käytettävien tehollisten leveyksien kanssa.

4 Normaalijännitysten aiheuttamat levyn lommahdusvaikutukset

4.1 Yleistä

Todetaan, että standardin EN 1993-1-5 mitoitushojeiden reunaehdot ovat:

- Levykentät ovat suorakaiteen muotoisia kuitenkin siten, että levyn vastakkaisten reunojen välinen kulma saa olla enintään 10 astetta. Jos ko. kulma on suurempi, mitoittaminen tehdään levykentän suurimpia mittoja käyttäen.
- Levykenttä voi sisältää pituus- ja/tai poikkijäykisteitä tai levykenttä voi olla jäykistetty.
- Laipan uuman suuntainen lommahdus on esitetty.

- Levykenttä voi sisältää pieniä reikiä ja aukkoja ilman, että niiden vaikutusta tarvitsee erikseen ottaa laskelmissa huomioon. Yksityiskohtaiset rajat, ks. standardi EN 1993-1-5.

Esistandardi ENV 1993-1-1 sisältää myös liitteen N, joka koskee reikäisten palkkien mitoittamista. Ko. osaa ei olla tällä hetkellä muuntamassa EN-standardiksi.

4.2 Kestävyys levyn suuntaisten normaalijännitysten suhteen

Todetaan, että:

- Lommahdus otetaan huomioon käyttämällä tehollisia arvoja, kuten esim. ohjeessa B7. Itse tehollisten leveyksien kaavat antavat useimmissa tapauksissa lähes saman tuloksen kuin ohje B7.
- Poikkileikkausluokan 4 sauvojen stabiilius lasketaan kuten muutoinkin, mutta laskelmissa käytetään tehollisten arvojen mukaan määritettyjä poikkileikkausarvoja.
- Erona ohjeeseen B7 verrattuna on, että jännitykset (ja kestävyys) voidaan laskea laipan keskilinjan mukaan.

4.3 Tehollinen poikkileikkaus

Mikäli shear-lag-ilmiö tulee ottaa huomioon, käytetään myös tehollisia arvoja, joita merkitään yläindeksillä "s". On huomattava, että shear-lag-ilmiö otetaan huomioon myös vedetyn laipan osalta.

Lommahdusta tarkasteltaessa tehollisten arvojen laskemisesta todetaan seuraavat yleiset lähtökohdat:

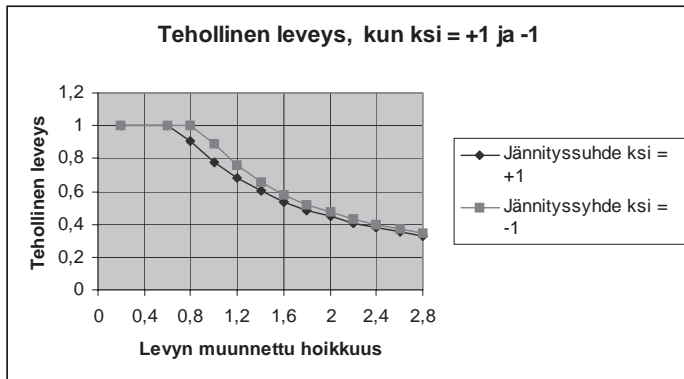
- Tehollinen pinta-ala A_{eff} määritetään olettamalla, että poikkileikkaukseen kohdistuu vain keskeinen aksiaalinen puristus.
- Epäsymmetrisillä poikkileikkauksen painopisteakselin siirtymisestä aiheutuva epäkeskeisyys otetaan huomioon.
- Tehollinen taivutusvastus W_{eff} määritetään olettamalla, että poikkileikkaukseen vaikuttaa vain taivutusjännityksiä. Kahden akselin suhteen tapahtuvassa taivutuksessa tehollinen taivutusvastus määritetään molempien pääakselin suhteen.
- Laskelmissa käytetään laipan keskilinjoja.
- Laskelmien lähtökohta on, että jokainen voimakomponentti (N, M) käsitellään erikseen. Vaihtoehtoisesti laskelmat voidaan tehdä vaikuttaville kuormitusyhdistelmille eli N ja M vaikuttavat samanaikaisesti.

Standardissa EN 1993-1-5 esitetään ohjeet myös hybridirakenteiden mitoittamiseksi.

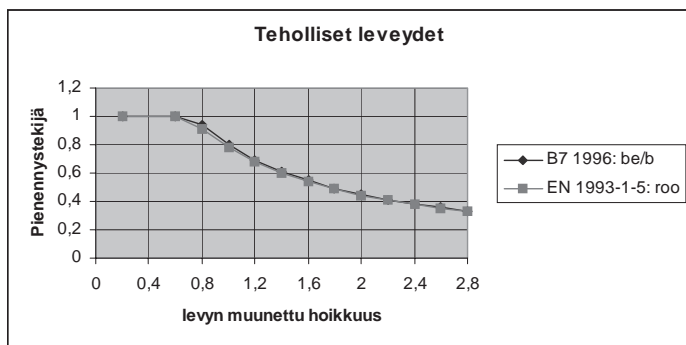
4.4 Pituussuunnassa jäykistämättömät taso-osat

Lommahduslaskelmat tehdään käyttäen tehollisia arvoja kuten ohjeessa B7. Ohjeeseen B7 verrattuna erot ovat hyvin pieniä. Kahdelta reunalta tuetuille levyille ja yhdeltä reunalta tuetuille levyille esitetään hieman erilaiset kaavat.

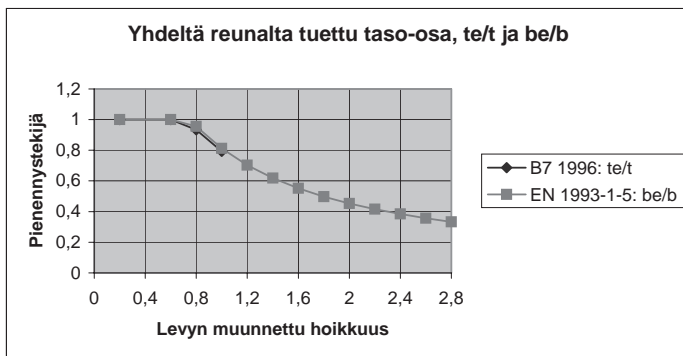
Kahdelta reunalta tuetulla levyllä pienennystekijä riippuu myös jännityssuhteesta ψ . Kuvassa 1 esitetään pienennystekijä muunnetun hoikkuuden funktiona, kun jännityssuhde ψ saa arvot +1 ja -1. Kun $\psi = +1$, kyseessä on tunnettu ns. Winterin kaava. Kuvassa 2 esitetään pienennystekijän vertailu ohjeeseen B7, kun $\psi = +1$.



Kuva 1. Tehollinen leveys (pienennystekijä ρ) muunnetun hoikkuuden $\lambda \rho$ funktiona jännityssuhteen ψ arvoilla +1 ja -1. Kahdelta reunalta tuettu levy. /1/



Kuva 2. Tehollinen leveys (pienennystekijä ρ) muunnetun hoikkuuden $\lambda\rho$ funktiona jännityssuhteen ψ arvolla +1. Kahdelta reunalta tuettu levy. Vertailu ohjeen B7 1996 ja EN 1993-1-5:n välillä. /1/



Kuva 3. Tehollinen leveys ja tehollinen paksuus (pienennystekijä ρ) muunnetun hoikkuuden $\lambda\rho$ funktiona. Yhdeltä reunalta tuettu levy (uloke). Vertailu ohjeen B7 1996 ja EN 1993-1-5:n välillä. B7 1996 rajoittaa muunnetun hoikkuuden arvoon $\lambda\rho \leq 1,06$ suurten muodonmuutosten välttämiseksi. /1/

Kuvassa 3 esitetään vertailua ohjeeseen B7, kun kyseessä on yhdeltä reunalta tuettu levy.

Koteloprofiilien osalta on syytä korostaa sitä, että jännityssuhde lasketaan siten, että ensin määritetään puristetun laipan tehollinen leveys ja uuman jännityssuhde määritetään näin saadun ”uuden bruttopoikkileikkauksen” perusteella.

Mikäli jännitys on pienempi kuin myötöraja, voidaan tehollinen leveys lommahduslaskelmissa määrittää todellisen jännityksen perusteella, joka johtaa iteratiivisiin laskelmiin.

Jos levyn sivusuhte on pienempi kuin yksi, levyn pilarimainen käyttäytyminen voi muodostua määrääväksi. Yksityiskohtat, ks. standardi EN 1993-1-5.

4.5 Pituussuunnassa jäykistetyt levyt

Pituussuunnassa jäykistettyjen levyjen osalta viitataan standardiin EN 1993-1-5. Suomen ohjeessa B7 pituussuunnassa jäykistettyjä levyjä ei käsitellä, ne on aikanaan jätetty tarkoituksella pois.

4.6 Todentaminen

Mitoituskriteerinä normaali jännityksille on, että poikkileikkausten tehollisten arvojen perusteella laskettu jännitys ei saa ylittää myötörajaa. Tarvittaessa jännitystarkasteluissa otetaan huomioon toisen kertaluvun vaikutukset.

5 Leikkauslommahduskestävyys

5.1 Perusteet

Standardi EN 1993-1-5 käsittelee seuraavia perustapauksia:

- Päätyjäykistettä ei käytetä
- Jäykkä päätyjäykiste (ns. vahva päätyjäykiste)
- Ei-jäykkä päätyjäykiste (ns. heikko päätyjäykiste).

Lisäksi todetaan seuraavat reunaehdot:

- Levykenttien tulee olla suorakaiteen muotoisia kuitenkin siten, että levykentän reunojen välinen kaltevuuskulma saa olla enintään 10 astetta. Jos ko. kaltevuus on suurempi, mitoi-

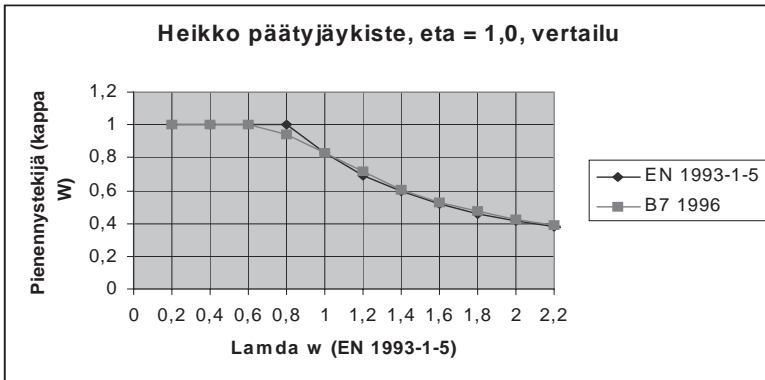
tus tehdään käyttäen levykentän suurimpia sivumittoja mitoituksessa.

- Levykenttä voi olla jäykistetty pituus ja/tai poikkisuunnassa.
- Levykenttä voi sisältää pieniä reikiä ja aukkoja ilman, että niitä pitää erikseen ottaa huomioon. Yksityiskohtat, ks. standardi EN 1993-1-5.

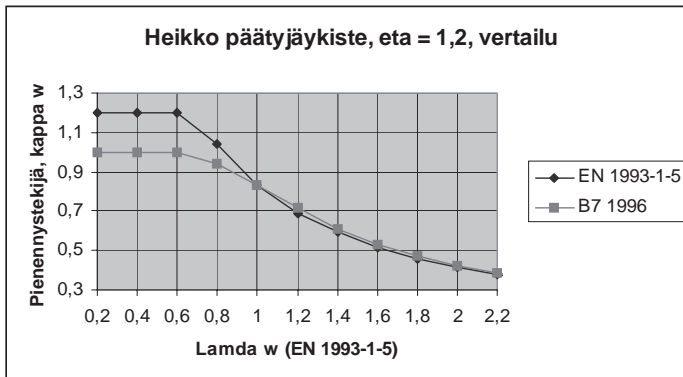
5.2 Kestävyuden mitoitusarvo

Merkittävimmät erot ohjeeseen B7 verrattuna:

- Leikkauskestävyys koostuu kahdesta osasta: uuman osuudesta ja laipan osuudesta. Laipan osuus on yleensä pieni. Ohje B7 ei käsittele laipan osuutta.



Kuva 4. Leikkauslommahduskestävyyden pienennystekijä ei-jäykälle (heikko) päätyjäykisteelle, kun $\eta = 1,0$. Vertailu EN 1993-1-5 ja B7 1996 välillä. /1/



Kuva 5. Leikkauslommahduskestävyyden pienennystekijä ei-jäykälle (heikko) päätyjäykisteelle, kun $\eta = 1,2$. Vertailu EN 1993-1-5 ja B7 1996 välillä. /1/

- Standardi EN 1993-1-5 sallii myötölujenemisen hyväksikäytön, jos teräslaji on enintään S460. Myötölujenemisen hyväksikäyttö on kansallinen parametri. Ko. parametrille η suositellaan arvoa 1,20.

Todetaan, että standardin EN 1993-1-5 mukainen leikkauskestävyys on likipitään sama kuin ohjeen B7 mukainen leikkauskestävyys, jos myötölujenemistä ei oteta huomioon. Kuvat 4 ja 5 havainnollistavat tilannetta.

6 Kestävyys poikittaisille kuormille

Pistekuormakestävyuden laskemiseksi esitettävä laskentamenetelmä poikkeaa merkittävästi ohjeen B7 tai esistandardin ENV 1993-1-1 mukaisesta menetelmästä. Toisaalta monissa tapauksissa lopputuloksissa ei välttämättä ole suuria eroja. Standardin EN 1993-1-5 mukainen laskentamenetelmä perustuu lähinnä ruotsalaiseen n. kymmenen viime vuoden aikana tehtyihin tutkimuksiin ja kokeisiin.

7 Yhteisvaikutus

7.1 Leikkausvoiman, taivutusmomentin ja aksiaalisen voiman yhteisvaikutus

Koko Eurocode 3:n yleisperiaate on, että jokainen rasitus tarkistetaan olettaen sen vaikuttavan

yksinään ja sen lisäksi tarkistetaan erityyppisten rasitusten yhteisvaikutus ns. yhteisvaikutuskaavojen avulla.

Kuvassa 6 esitetään standardin EN 1993-1-5 M-N-V-yhteisvaikutuskaava graafisesti. Kaa- vat, ks. standardi EN 1993-1-5.

$$\eta_1 = \frac{\text{Taivutusmomentin mitoitusarvo}}{\text{Poikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen kestävyuden mitoitusarvo}}$$

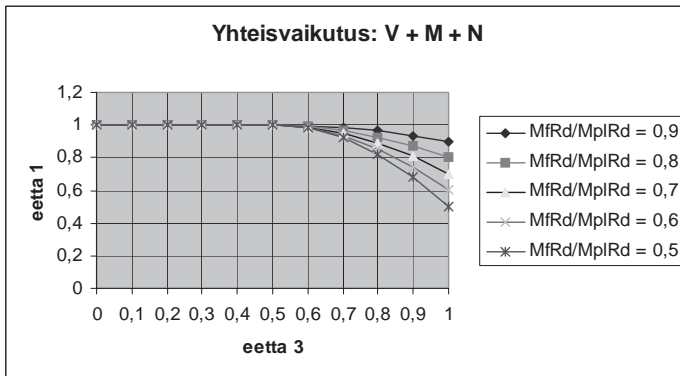
$$\eta_3 = \frac{\text{Leikkausvoiman mitoitusarvo}}{\text{Leikkauskestävyyden mitoitusarvo}}$$

7.2 Poikittaisen voiman, taivutusmomentin ja aksiaalisen voiman yhteisvaikutus

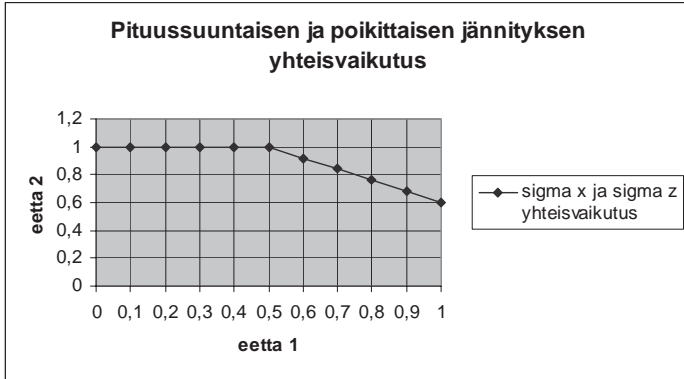
Kuvassa 7 esitetään standardin EN 1993-1-5 mukainen yhteisvaikutuskaava graafisesti. Mahdollisen normaalivoiman vaikutus otetaan huomioon standardin EN 1993-1-1 mukaan taivutuskestävyyttä pienentämällä.

$$\eta_1 = \frac{\text{Taivutusmomentin mitoitusarvo}}{\text{Poikkileikkauksen plastisuusteorian mukainen kestävyuden mitoitusarvo}}$$

$$\eta_2 = \frac{\text{Poikittaisen voiman mitoitusarvo}}{\text{Pistekuormakestävyuden mitoitusarvo}}$$



Kuva 6. Leikkausvoiman, taivutusmomentin ja aksiaalisen voiman yhteisvaikutus graafisesti. Muuttujana suhde $M_{f,Rd}/M_{pl,Rd} \cdot /1/$



Kuva 7. Poikittaisen voiman, taivutusmomentin ja aksiaalisen voiman yhteisvaikutus graafisesti ja yhteisvaikutuskaava. /1/

8 Laipan taipumisesta aiheutuva uuman lommahdus

Laipan taipumisesta aiheutuvaa uuman lommahdusta ei varsinaisesti lasketa, vaan mitoitus perustuu siihen, että uuman hoikkeudelle h_w/t_w asetetaan yläraja. Tässä suhteessa mitoitus tapa on siis samankaltainen kuin ohjeessa B7. Tarpeelliset kaavat, ks. standardi EN 1993-1-5.

9 Jäykisteet ja yksityiskohtat

Jäykisteiden yksityiskohtien mitoituksen osalta viitataan standardiin EN 1993-1-5.

KIRJALLISUUTTA

- /1/ Kouhi J., Eurocode 3 Käsikirja EN 1993-1-5 (tekeillä)
- /2/ Hitsatut profiilit. Käsikirja. Teräsrakenneyhdistys r.y. 277 s. 2000
- /3/ Johansson B., Maquoi R., Sedlacek G., Muller C., Schneider R., Die Behandlung des Beulens bei dunnwandigen Stahlkonstruktionen in ENV 1993-Teil 1.5 (Eurocode 3-1-5), Stahlbau 68 (1999) Heft 11, ss. 857 – 879
- /4/ Maquoi R., Vincent de Ville de Goyet, Some tracs for possible improvement and implementation of Eurocode 3, Stahlbau 68 (1999) Heft 11, ss. 880-888
- /5/ Niemi E. Levyrakenteiden suunnittelu, Teknillinen tiedotus 2/2002, Teknologiateollisuus, 136 s.
- /6/ Veljkovic M. , Johansson B. , DESIGN FOR BUCKLING OF PLATES DUE TO DIRECT STRESS, Div. of Steel Structures Luleå University of Technology S-976 34 Luleå, SWEDEN (Working document)