
Austeniittisesta ruostumattomasta teräksestä valmistettujen rakenteiden palotekninen mitoitus

Yhteyshenkilö: Unto Kalamies
Teräsrakenneyhdistys r.y.
Eteläranta 10, 00130 HELSINKI
puh. 09-17284449, fax 09-17284444
e-mail unto.kalamies@rtt.tliitot.fi

Menetelmän kuvaus: Tämän ohjeen mukaan voidaan arvioida laskennallisesti austeniittisesta ruostumattomasta teräksestä valmistettujen putkiprofiilien kestävyyttä tulipalotilanteessa.
Esitetyllä menetelmällä voidaan mitoittaa ruostumattomia teräsrakenteita palosuojaamattomana käytettäväksi R30 palonkestoajaluokan teräsrakenteissa.

Menetelmän rajoitukset: Tätä menetelmää voidaan käyttää seuraavin edellytyksin:

- rakenne on valmistettu materiaalista Polarit 710, 720, 725, 731, 744, 750, 752, 755, 757, 761 tai 770 tai näitä vastaavista materiaaleista
- rakenneosia on normaalilämpötilassa poikkileikkausluokassa 1 tai 2
- puristetun sauvan dimensioton hoikkuus normaalilämpötilassa $\lambda_{20} \leq 1.5$
- palkkien mitoituksessa kiepahdus ei ole määräävä
- normaalilämpötilan kuormat määritetään Eurocode 1:n osien 2.1 [1] ja 2.3 - 2.7 [3 - 7] mukaan ja palotilanteen kuormat Eurocode 1:n osan 2.2 [2] mukaan

Teräsrakenneyhdistyksen Normitoimikunta on käsitellyt Teräsnormikortin ja todennut sen täyttävän eurooppalaisen esistandardin ENV 1993-1-4 [8] vaatimukset. Teräsnormikortin käyttäjällä on vastuu kortin ohjeiden käytöstä.

Tämä Teräsnormikortti on voimassa toistaiseksi.

Helsingissä maaliskuun 23. päivänä 1999

TERÄSRAKENNEYHDISTYS R.Y.

TRY TERÄSNORMIKORTTI
10/1999

N:o

[korvaa Teräsnormikortin N:o 7/1998]

Pertti Sandberg
puheenjohtaja

Kai Rätty
toimitusjohtaja

1 Yleistä

Tässä normikortissa esitetty yksinkertaistettu laskentamenetelmä käsittelee ruostumattomasta teräksestä valmistettujen vedettyjen, taivutettujen, puristettujen tai yhtä aikaa puristettujen ja taivutettujen rakenteiden kestävyyslaskentaa tulipalotilanteessa. Laskentamenetelmä koskee austeniittisia ruostumattomia teräksiä Polarit 710, 720, 725, 731, 744, 750, 752, 755, 757, 761 tai 770 tai näitä vastaavia teräslatuja.

2 Laskentamenetelmä

Tätä laskentamenetelmää sovelletaan yksittäisille rakenneosille. Nimellisenä lämpötila-aika käyränä voidaan käyttää ohjeessa ENV 1991-2-2 [2] määritettyjä käyriä.

Poikkileikkausarvot lasketaan valmistajan antamien mittojen perusteella. Poikkileikkauksen oletetaan olevan ominaisuuksiltaan homogeeninen ja kuuluvan joko poikkileikkausluokkaan 1 tai 2 määritettynä ohjeen ENV 1993-1-4 [8] mukaan. Poikkileikkausluokka määritetään normaalilämpötilassa.

Laskentamenetelmän periaate on, että laskenta perustuu vastaaviin yhtälöihin kuin ruostumattomien terästen normaalilämpötilamitoitus Teräsnormikortin N:o 6/1997 [9] mukaan, mutta materiaalin mekaanisten ominaisuuksien (kimmokerroin ja myötöraja) arvoja redusoidaan kohonneissa lämpötiloissa taulukon 1 mukaan. Pienennyskerroimet on määritetty transienttikokeiden perusteella. Pienennyskerroin on perusmateriaalille ja kylmämuovatuille materiaalille erilainen. Perusmateriaalin pienennyskerroin on määritetty materiaalille, jonka lujuus on 290 N/mm^2 ja kylmämuovatuun materiaalin lujuus 590 N/mm^2 .

Laskentamenetelmä perustuu seuraaviin oletuksiin:

- Laskelmissa käytettävän myötörajän f_y tulee perustua nimelliseen arvoon tai valmistajan takaamaan arvoon.
- Myötöraja f_y on jännitys, mikä vastaa 0.2 % suuruista pysyvää venymää.
- Mikäli kylmämuovaksen tuoma lujuus hyödynnetään, käytetään kylmämuovatuille materiaalille määriteltyä myötörajän pienennyskerrointa, mutta mikäli laskennassa käytetään nimellisiä arvoja, käytetään perusmateriaalille määriteltyjä pienennyskerroimen arvoja. Mikäli kylmämuovatuun materiaalin lujuus on alhaisempi kuin 590 N/mm^2 , voidaan myötörajän pienennyskerroimen arvot interpoloida perusmateriaalin ja kylmämuovatuun materiaalin pienennyskerroimen arvojen välillä.
- Yksinkertaistettua laskentamenetelmää voidaan soveltaa, kun dimensioton hoikkuus puristetulle rakenneosalle normaalilämpötilassa on enintään 1.5 eli $\bar{\lambda}_{20} \leq 1.5$.
- Kimmokerroimen arvo normaalilämpötilassa on $E_a = 170\,000 \text{ N/mm}^2$.

Taulukko 1. Ruostumattoman teräksen pienennyskertoimien arvot korkeissa lämpötiloissa. Pienennyskertoimet lämpötilassa θ_a suhteessa lämpötilaa 20°C vastaaviin arvoihin f_y ja E_a .

Lämpötila θ_a [$^\circ\text{C}$]	Kimmokertoimen pienennyskerroin $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$	Perusmateriaalin myötörajan pienennyskerroin $k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$	Kylmämuovatus materiaalin myötörajan pienennyskerroin $k_{y,\theta} = f_{y,\theta} / f_y$
20	1.0	1.0	1.0
100	0.981	0.739	0.829
200	0.963	0.643	0.777
300	0.944	0.622	0.752
400	0.915	0.553	0.728
500	0.868	0.529	0.701
600	0.795	0.474	0.610
700	0.688	0.399	0.377
800	0.539	0.220	0.171
900	0.339	0.107	0.061

Taulukon 1 mukaiset pienennyskertoimet voidaan esittää yhtälömuodossa seuraavasti:

Kimmokertoimen pienennyskerroin:

$$k_{E,\theta} = -1.3483 \cdot 10^{-9} \cdot T^3 + 7.2735 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 - 3.0217 \cdot 10^{-4} \cdot T + 1.0056 \quad (1)$$

Perusmateriaalin myötörajan pienennyskerroin:

$$k_{y,\theta} = -3.2182 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 + 2.3090 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 5.6363 \cdot 10^{-3} \cdot T + 1.1037 \quad , \quad \text{kun } T \leq 300^\circ\text{C} \quad (2a)$$

$$k_{y,\theta} = 2.2337 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 2.2509 \cdot 10^{-3} \cdot T + 1.0962 \quad , \quad \text{kun } 300^\circ\text{C} < T \leq 500^\circ\text{C} \quad (2b)$$

$$k_{y,\theta} = -1.0309 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 + 5.8419 \cdot 10^{-4} \cdot T + 4.9485 \cdot 10^{-1} \quad , \quad \text{kun } 500^\circ\text{C} < T \leq 700^\circ\text{C} \quad (2c)$$

$$k_{y,\theta} = 3.2646 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 6.6838 \cdot 10^{-3} \cdot T + 3.4777 \quad , \quad \text{kun } 700^\circ\text{C} < T \leq 900^\circ\text{C} \quad (2d)$$

Kylmämuovatus materiaalin myötörajan pienennyskerroin:

$$k_{y,\theta} = -2.7097 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 + 1.7610 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 3.9098 \cdot 10^{-3} \cdot T + 1.0714 \quad , \quad \text{kun } T \leq 300^\circ\text{C} \quad (3a)$$

$$k_{y,\theta} = -1.0135 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 + 1.1993 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 4.8818 \cdot 10^{-3} \cdot T + 1.4105 \quad , \quad \text{kun } 300^\circ\text{C} < T \leq 600^\circ\text{C} \quad (3b)$$

$$k_{y,\theta} = 1.1543 \cdot 10^{-8} \cdot T^3 - 2.2889 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 1.2765 \cdot 10^{-2} \cdot T - 1.3024 \quad , \quad \text{kun } 600^\circ\text{C} < T \leq 900^\circ\text{C} \quad (3c)$$

Kyseessä olevan paloaltistuksen aikana t tulee yksittäiselle rakenneosalle olla voimassa ehto:

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t} \quad (4)$$

missä $E_{fi,d}$ on kuormitusten mitoitussarvo palomitoitustilanteessa määritettynä ohjeen ENV 1991-2-2 [2] mukaan

$R_{fi,d,t}$ on rakenneosan kestävyuden mitoitussarvo palotilanteessa ajan hetkellä t . Vedetyillä sauvoilla tämä vastaa mitoitussarvoa $N_{fi,t,Rd}$, taivutetuilla rakenteilla taivutuskestävyyden mitoitussarvoa $M_{fi,t,Rd}$ ja puristetuilla rakenteilla puristuskestävyyden mitoitussarvoa $N_{b,fi,t,Rd}$, määritettynä kohtien 2.1, 2.2 ja 2.3 mukaan.

2.1 Vedetyn sauvan kestävyys

Vedetyn sauvan kestävyuden mitoitussarvo $N_{fi,t,Rd}$ ajan hetkellä t on:

$$N_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,\max} N_{Rd} \left[\frac{\gamma_{M,1}}{\gamma_{M,fi}} \right] \quad (5)$$

missä $\gamma_{M,1}$ on aineosavarmuusluku normaalilämpötilamitoituksessa [10]
 $\gamma_{M,fi} = 1.0$ (teräksen mekaanisten ominaisuuksien aineosavarmuusluku palotilanteessa) [11]
 N_{Rd} on vedetyn sauvan kestävyys normaalilämpötilamitoituksessa ohjeen ENV 1993-1-4 [8] mukaan
 $k_{y,\theta,\max}$ on ruostumattoman teräksen myötörajan pienennyskerroin taulukon 1 mukaan. Pienennyskerroin määritetään ajan hetkellä t vastaten poikkileikkauksessa saavutettavaa korkeinta lämpötilaa.

2.2 Taivutuskestävyys

Taivutuskestävyyden mitoitussarvo $M_{fi,t,Rd}$ ajan hetkellä t on:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,\max} M_{Rd} \left[\frac{\gamma_{M,1}}{\gamma_{M,fi}} \right] \quad (6)$$

missä $\gamma_{M,1}$ on aineosavarmuusluku normaalilämpötilamitoituksessa [10]
 $\gamma_{M,fi} = 1.0$ (teräksen mekaanisten ominaisuuksien aineosavarmuusluku palotilanteessa) [11]
 M_{Rd} on poikkileikkauksen taivutuskestävyys normaalilämpötilamitoituksessa ohjeen ENV 1993-1-4 [8] mukaan
 $k_{y,\theta,\max}$ on ruostumattoman teräksen myötörajan pienennyskerroin taulukon 1 mukaan. Pienennyskerroin määritetään ajan hetkellä t vastaten poikkileikkauksessa saavutettavaa korkeinta lämpötilaa.

Puristetun laipan mitoituksessa ohjeen ENV 1993-1-4 [8] mukaisen dimensiottoman hoikkuuden $\bar{\lambda}_{LT}$ tulee olla ≤ 0.4 .

2.3 Puristuskestävyys

Nurjahduskestävyyden mitoitusarvo $N_{b,fi,t,Rd}$ ajan hetkellä t on puristetulle sauvalle

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} A k_{y,\theta,max} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (7)$$

missä χ_{fi} on taivutusnurjahduksen pienennyskerroin

$k_{y,\theta,max}$ on ruostumattoman teräksen myötörajan pienennyskerroin taulukon 1 mukaan. Pienennyskerroin määritetään ajan hetkellä t vastaten poikkileikkauksessa saavutettavaa korkeinta lämpötilaa.

$\gamma_{M,fi} = 1.0$ (teräksen mekaanisten ominaisuuksien aineosavarmuusluku) [11]

Nurjahduksen pienennyskerroin χ_{fi} määritetään kuten normaalilämpötilassa ENV 1993-1-4:n [8] kohdan 5.4.2 mukaan paitsi, että:

(1) Dimensioton hoikkuus $\bar{\lambda}_{\theta,max}$ lämpötilassa $\theta_{a,max}$ lasketaan kaavasta:

$$\bar{\lambda}_{\theta,max} = \bar{\lambda} \sqrt{k_{y,\theta,max} / k_{E,\theta,max}} \quad (8)$$

missä

$k_{y,\theta,max}$ on ruostumattoman teräksen myötörajan pienennyskerroin taulukon 1 mukaan. Pienennyskerroin määritetään ajan hetkellä t vastaten poikkileikkauksessa saavutettavaa korkeinta lämpötilaa.

$k_{E,\theta,max}$ on ruostumattoman teräksen kimmokertoimen pienennyskerroin taulukon 1 mukaan. Pienennyskerroin määritetään ajan hetkellä t vastaten poikkileikkauksessa saavutettavaa korkeinta lämpötilaa.

2.4 Leikkauskestävyys

Leikkauskestävyyden mitoitusarvo $V_{fi,t,Rd}$ ajan hetkellä t on:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,max} V_{Rd} \left[\frac{\gamma_{M,1}}{\gamma_{M,fi}} \right] \quad (9)$$

missä $\gamma_{M,1}$ on aineosavarmuusluku normaalilämpötilamitoituksessa [10]

$\gamma_{M,fi} = 1.0$ (teräksen mekaanisten ominaisuuksien aineosavarmuusluku palotilanteessa) [11]

V_{Rd} on poikkileikkauksen leikkauskestävyys

normaalilämpötilamitoituksessa ohjeen ENV 1993-1-4 [8] mukaan

$k_{y,\theta,max}$ on ruostumattoman teräksen myötörajan pienennyskerroin taulukon 1 mukaan. Pienennyskerroin määritetään ajan hetkellä t vastaten poikkileikkauksessa saavutettavaa korkeinta lämpötilaa.

2.5 Puristuksen ja taivutuksen yhteisvaikutus

Rakenneosan, johon kohdistuu yhdistetty taivutus ja puristus, nurjahduskestävyyden mitoitusarvo $R_{fi,t,d}$ ajan hetkellä t todennetaan tarkistamalla ENV 1993-1-1:n [10] mukaiset ehdot kaavoista (5.51) ja (5.52) siten, että kertoimille k_y ja k_z ei sovelleta ylärajaa 1.5. Laskennassa käytetään ajan hetkeä t vastaavia sisäisten voimien ja momenttien sekä kestävyuden arvoja. Aineosavarmuusluvun $\gamma_{M,t}$ sijasta käytetään palotilanteen aineosavarmuuslukua $\gamma_{M,fi}$.

3 Opastavia tietoja

Ruostumattomat teräkset jaotellaan ryhmiin niiden kemiallisen koostumuksen, mikrorakenteen ja lämpökäsittelyn perusteella. Suoritettujen tutkimusten [12, 13, 14] perusteella on voitu todeta, että korkeissa lämpötiloissa austeniittisten ruostumattomien terästen lujuusominaisuudet pienenevät vähemmän kuin rakenneterästen lujuusominaisuudet.

Palotilan lämpötilan nousu voidaan määrittää joko standardilämpötilakäyrän [15] tai ns. parametriseen lämpötila-aikakäyrän mukaan. Parametrisessa lämpötila-aikakäyrässä otetaan huomioon aukkojen vaikutus ja palavan materiaalin määrä. Eurocode 1, osa 2.2 [2] mahdollistaa parametriseen palomallin käytön, kun tilan suuruus on korkeintaan 100 m^2 .

Rakenteen loppulämpötila määritetään lämpötila-analyysin perusteella. Poikkileikkauksen loppulämpötila riippu poikkileikkauksen dimensioista ja materiaalin termisistä ominaisuuksista. Suojaamattoman ohutseinämäisen poikkileikkauksen lämpötila lähestyy 30 minuutin palon jälkeen ympäröivän kaasun lämpötilaa. Palotilan lämpötila 30 minuutin standardipalon jälkeen on $842 \text{ }^\circ\text{C}$. Esimerkiksi neliöpoikkileikkauksella $25 \times 25 \times 3$ loppulämpötila standardipalossa 30 minuutin palon jälkeen on $834 \text{ }^\circ\text{C}$ ja vastaavasti neliöputkella $150 \times 150 \times 5$ $804 \text{ }^\circ\text{C}$.

Edellä esitetyn laskentamenetelmän perusteella voidaan todeta, että vedettyjen ja taivutettujen sauvojen kestävyys palotilanteessa on suoraan verrannollinen myötörajan lämpötilariippuvuuteen. Puristettujen rakenteiden kestävyys korkeissa lämpötiloissa on suhteellisesti parempi kuin vedetyillä ja taivutetuilla rakenteilla, koska ruostumattoman teräksen kimmokertoimen arvot korkeissa lämpötiloissa pienenevät hitaammin kuin myötörajan arvot.

Taulukossa 2 on esitetty erityyppisten rakenneosien palotilanteen kestävyuden suhde normaalilämpötilan kestävyYTEEN 30 minuutin standardipalon jälkeen kahdelle eri poikkileikkaukselle. K.o. poikkileikkaukset edustavat ääritapauksia. Rakenteen kestävyys on riittävä, kun palotilanteen rasituksen laskenta-arvon suhde normaalilämpötilan kestävyuden laskenta-arvoon on pienempi kuin taulukossa 2 esitetty suhdearvo.

Taulukko 2. Ruostumattomasta teräksestä valmistetun suojaamattoman rakenteen palotilanteen kestävyys suhde normaalilämpötilan kestävyys 30 minuutin standardipalon jälkeen.

Poikkileikkaus	Loppulämpötila T [°C]	Vedetyt ja taivutetut sauvat	Puristetut sauvat	
			$\bar{\lambda}_{20} = 0.7$	$\bar{\lambda}_{20} = 1.1$
RHS 25x25x3	834	0.18	0.22	0.29
RHS 150x150x6	804	0.22	0.26	0.33

4 Lähdeluettelo

- [1] ENV 1991-2-1. 1994. Eurocode 1: Basis of design and actions on structures, Part 2.1: Densities, self-weight and imposed loads. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 37 p.
- [2] ENV 1991-2-2. 1994. Eurocode 1: Basis of design and actions on structures, Part 2.2: Actions on structures exposed to fire. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 55 p.
- [3] ENV 1991-2-3. 1994. Eurocode 1: Basis of design and actions on structures, Part 2.3: Snow loads. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 59 p.
- [4] ENV 1991-2-4. 1994. Eurocode 1: Basis of design and actions on structures, Part 2.4: Wind actions. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 156 p.
- [5] prENV 1991-2-5. 1996. Eurocode 1: Basis of design and actions on structures, Part 2.5: Thermal actions. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 58 p.
- [6] ENV 1991-2-6. 1997. Eurocode 1: Basis of design and actions on structures, Part 2.6: Actions on structures - Actions during execution. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 32 p.
- [7] prENV 1991-2-7. 1997. Eurocode 1: Basis of design and actions on structures, Part 2.7: Accidental actions due to impact and explosions. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 33 p.
- [8] ENV 1993-1-4. 1996. Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1.4: General rules, Supplementary rules for stainless steels. Brussels: European Committee for Standardization (CEN). 55 p.

- [9] Teräsnormikortti N:o 6/1997. 1997. STALA Oy:n valmistamien putkipalkkien käyttö standardin SFS-ENV 1993-1-1-mukaisissa kantavissa rakenteissa. Teräsrakenneyhdistys r.y. (TRY). 14 s.
- [10] ENV 1993-1-1. 1992. Eurocode No. 3, Design of steel structures - Part 1.1: General rules and rules for buildings. Brussels.: European Committee for Standardization (CEN). 344 p.
- [11] ENV 1993-1-2. 1993. Eurocode No. 3, Design of steel structures - Part 1.2: Structural fire design. Brussels.: European Committee for Standardization (CEN). 66 p.
- [12] Ala-Outinen, T. 1996. Fire resistance of austenitic stainless steels Polarit 725 (EN 1.4301) and Polarit 761 (EN 1.4571). Espoo: Technical Research Centre of Finland. 33p. + app. 30 p. (VTT Research Notes 1760)
- [13] Ala-Outinen, T. & Oksanen, T. 1997. Stainless steel compression members exposed to fire. Espoo: Technical Research Centre of Finland. 41p. + app. 17 p. (VTT Research Notes 1864)
- [14] Sakumoto, Y., Nakazato, T. & Matsuzaki, A. 1996. High-temperature properties of stainless steel for building structures. Journal of structural engineering, vol. 122, No. 4. p. 399 - 406
- [15] ISO 834. 1975. Fire resistance tests. Element of building construction. Switzerland: International Organization of standardization. 16 p.