

PUURAKENTEIDEN VARMUUSLUKUJEN TASAPUOLINEN MÄÄRITYS RAKENTEELLISEN LUOTETTAVUUSANALYYSIN AVULLA

Alpo Ranta-Maunus
Juha Kurkela

Rakenteiden Mekaniikka, Vol. 38,
No. 2, 2005, ss. 23-26

TIIVISTELMÄ

Eurocode-standardien käyttöönotto lähestyy ja ne jättävät kansallisesti päätettäviksi turvallisuustason määrittelevät kertoimet. Tämän johdosta kaikissa Euroopan maissa mietitään mm. kuormien ja materiaalien osavarmuuslukuja. Rakenteellinen luotettavuusanalyysi antaa teoreettisen viitekehysten varmuuslukujen kalibroimiseksi. Myös Eurocoden Suunnitteluperusteet -osa antaa ohjeita varmuuskerrointen määrittämiseksi.

Tämän kirjoituksen tarkoituksena on kiinnittää huomio eräisiin epäjohton-mukaisuuksiin, mitä varmuuslukujen kalibroinnissa on esiintynyt ja myös esittää malli miten kirjoittajien käsityksen mukaan varmuuskerrointen kalibrointi olisi tehtävä.

LÄHTÖKOHTA

Yleisesti hyväksytty lähtökohta on, että varmuustason määrittäminen tulisi perustua kokemukseen. Tämä on mainittu ensimmäisenä vaihtoehtona Eurocodessa. Kokemus tarkoittaa nykyisen varmuustason hyväksyttävyyden arviointia. Suomen ja Pohjoismaiden nykyistä varmuustasoa on pidettävä riittävänä, koska sellaisia puurakenteiden vaurioita ei ole tiedossa, jotka olisivat aiheutuneet liian alhaisesta varmuudesta. Vuonna 2003 tapahtunut Jyväskylän messukeskuksen katon romahdus johtui toisaalta siitä, että käytetyn esinormin laskentakaavat antoivat kaksinkertaisen kestävyys todelliseen verrattuna ja toisaalta karkeat valmistusvirheet alensivat kapasiteetin edelleen puoleen. Siis rakenne kesti neljäsosan tavoitteesta. Tällaisia perustavaa laatua olevia karkeita virheitä vastaan ei voi taistella varmuusluvulla.

Kahdenkymmenen vuoden aikana tapahtuneet puurakenteiden vauriot on analysoitu ja niistä voitiin päätellä että 10 % korkeampi varmuusluku ei olisi pelastanut varmuudella yhdeltäkään sortumalta. Jos epäselviksi jääneet tapaukset arvioidaan tällaisiksi, vaurioiden vähenemisenä saatu hyöty olisi ollut korkeintaan 0,5 % korkeamman varmuusluvun aiheuttamasta rakennuskustannuksen lisäyksestä [1],[2].

Tällä perusteella arvioidaan, että puurakenteiden nykyinen varmuustaso on vähintään riittävä. Rakenteiden luotettavuus on toki varmistettava, ja siihen tarvitaan laadun varmistusta eri keinoin.

NYKYISTEN RAKENTEIDEN LUOTETTAVUUSINDEKSI B

Svensson ja Thelandersson [3] ovat analysoineet, mikä on Ruotsin normien mukaisten puurakenteiden (lähinnä palkit) luotettavuusindeksi β . Tulokseksi saadaan joko 4,0 tai 4,8 riippuen siitä, mitä kuormajakaumia käytetään. Jos muuttuvaa kuormaa pidetään normaalijakautuneena (variaatiokerroin 0,4) saadaan korkeampi arvo, ja jos kuormaa pidetään Gumbel-jakautuneena (sama variaatiokerroin), saadaan alempi arvo. Johtopäätös tästä on, että tavoitteeksi asetettava β -indeksi riippuu muista valinnoista, erityisesti kuormien jakaumista, eikä se ole riippumaton luotettavuutta kuvaava suure. Ruotsin esimerkin valinnoilla laskettuna $\beta = 4$ on sopiva taso, kun lumikuorma oletetaan Gumbel-jakautuneeksi.

LASKENTAESIMERKKI

Esimerkissä valitaan samat jakaumat ja lähes samat parametrit kuin Svensson ja Thelandersson saadessaan ruotsalaisille rakenteille $\beta=4,0$ (taulukko 1). Lujuudelle käytetään Lognormaalijakaumaa, lumikuormalle Gumbel-jakaumaa ja muut suureet ovat normaalijakautuneita. Tässä laskennassa ei ole käytetty mallin epätarkkuutta eikä taivutusvastuksen epätarkkuutta. Asian vaikutus on tutkittu erikseen, kun kuormasuhde on 0,5. Tällöin on lisättävä 0,1 tarvittavaan materiaalin osavarmuuslukuun, jos halutaan ottaa huomioon mallin epävarmuus (variaatiokerroin = 10 %).

Taulukko 1. Luotettavuusanalyysissä käytettyjen parametrien arvot.

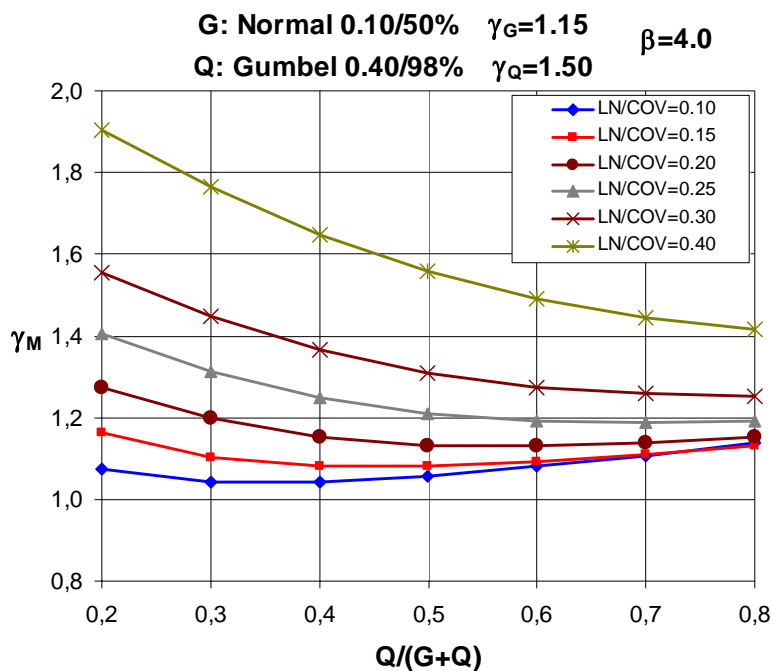
| | Ruotsalaisten käyttämä | | Tässä tutkimuksessa käytetty | |
|--------------------|------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------|
| | variaatiokerroin % | karakteristinen arvo | variaatiokerroin % | karakteristinen arvo % |
| Lujuus | 20 | 5 | parametri | 5 |
| Taivutusvastus | 2 | 50 | - | - |
| Pysyvä kuorma | 5 | 50 | 10 | 50 |
| Lumikuorma | 40 | 98 | 40 | 98 |
| Mallin epätarkkuus | 10 | - | - | - |

Laskenta on tehty VTT:n tarkoitukseen räätälöidyllä Excel-pohjalla [4]. Siinä voi ottaa huomioon kaksi kuormaa ja laskea suoraan tarvittavat γ_M -arvot kun kuormien kertoimet annetaan. Muiden epätarkkuuksien vaikutus on tutkittu erikseen sveitsiläisen ETH:n CodeCal-ohjelmalla. VTT:n ja ETH:n ohjelmia on myös käytetty toistensa toiminnan oikeellisuuden varmistamiseen ja havaittu niiden antavan hyvin tarkasti saman tuloksen.

Esimerkissä on valittu pysyvän kuorman osavarmuusluvuksi 1,15 ja muuttuvan kuorman osavarmuusluvuksi 1,5. Muuttuvana kuormana on käytetty Etelä-Suomelle tyypillistä lumikuormaa (variaatiokerroin 0,4). Lattiakuormille ja Pohjois-Suomen lumikuormalle olisi perusteltua käyttää pienempää variaatiokerrointa, jolloin päädyttäisiin alempaan γ_M -arvoon.

Tulokset on esitetty kuvassa 1. Niistä havaitaan, että lujuuden variaatiokerroin vaikuttaa

varsin vähän tulokseen, kun se on alle 0,2. Tulosten tulkinta puumateriaalien osalta on taulukossa 2 ottaen huomioon, että puurakenteiden muuttuvan kuorman ja kokonaiskuorman suhde on välillä 0,5-0,8. Jos otetaan lisäksi huomioon mallin epävarmuus Svenssonin ja Thelanderssonin laskelman mukaisesti, taulukon 2 lukuihin on lisättävä 0,1, eli puumateriaalien γ_M -arvot olisivat välillä 1,2 ...1,4.



Kuva 1. Taulukon 1 parametreilla laskettu tarvittava materiaalin osavarmuusluku, jotta päästään luotettavuusindeksiin $\beta = 4$, kun lujuuden variaatiokerroin (lognormaalijakauma sovitettuna alimpiin arvoihin) on 0,1 ...0,4. Q ja G tarkoittavat muuttuvan ja pysyvän kuorman ominaisarvoja.

Taulukko 2. Puumateriaalien γ_M -arvot kun kuvan 1 lukuihin lisätään 0,1.

| Materiaali | Variaatiokerroin | γ_M |
|-------------------------------------|------------------|------------|
| Sahatavara C30 ja alempi | 0,3 | 1,4 |
| Sahatavara C35 ja parempi, puulevyt | 0,2 | 1,25 |
| Liimapuu ja kertopuu | 0,1 ...0,15 | 1,2 |

TULOSTEN ARVIOINTIA

Taulukossa 2 esitetyt puumateriaalien osavarmuusluvut perustuvat nykyiseen rakenteiden luotettavuustasoon, kansallisesti valittuihin kuorman osavarmuuslukuihin ja kokeelliseen tietoon materiaalien lujuuden jakaumasta.

Lasketut esimerkit vastaavat Etelä-Suomen kattopalkkien olosuhteita. Muiden vaakarakenteiden kuormat tunnetaan vähintään yhtä tarkasti kuin lumikuorma eli saadut varmuusluvut ovat niillekin riittäviä. Lujuuden variaatiokerroin on saatu taivutuskokeista. Puristuslujuuden variaatiokerroin on pienempi ja vetolujuuden suurempi kuin taivutuslujuuden. Vedettyjen rakenneosien osalta tulos ei ole konservatiivinen, varsinkin koska vetomurtuma on hauras, ja niiltä olisi perusteltua vaatia suurempaa luotettavuutta. Eurocode 5:ssä on kuitenkin lähdetty yksinkertaisuuden vuoksi siitä, että varmuusluvut ovat samoja kaikille murtumistavoille. Suunnittelukäytännössä olisikin kiinnitettävä erityistä huomiota puun hauraisiin murtumistapoihin. Muilta osin tulosta on pidettävä konservatiivisena.

KIRJALLISUUTTA

- [1] Ranta-Maunus A., "*Target Safety Level in Reliability Analysis of Timber Structures*", Proceedings of WCTE 2002 Conference, Shah Alam, 2002.
- [2] Törmänen, J. and Leskelä, M.V., "Puurakenteiden vauriot 1980 –1995", Tutkimusraportti RTL 0021, Oulun yliopisto. 60 p. ISBN 951-42-4509-1, 1996.
- [3] Svensson S., Thelandersson S., "*Aspects on reliability calibration of safety factors for timber structures*", Holz als Roh- und Werkstoff, Vol.61, No.5, 2003, pp.336-341.
- [4] Ranta-Maunus A., Fonselius M., Kurkela J. & Toratti T., Reliability analysis of timber structures. VTT Research Notes 2109, Espoo 2001, 102 p. + app. 3 p.

Alpo Ranta-Maunus,
puurakentamisen tutkimusprofessori, VTT
Juha Kurkela, tutkija, VTT

alpo.ranta-maunus@vtt.fi
juha.t.kurkela@vtt.fi