Vibrasjoner i gangbruer 2024-11-19 Hauke Burkart

Bakgrunn

Mens 2. generasjon Eurokoder angir komfortklasser for gangbruer er dette lite nevnt i 1. generasjon. Bransjen benytter en fransk Setra-rapport som grunnlag, som nok også er blitt brukt aktivt som grunnlag til 2. generasjon Eurokoder. For begge deler må det velges en ønsket komfortklasse. For å gjøre dette enhetlig og som konkurransegrunnlag, bør et valg av komfortklasse behandles i TRV. Det er også lagt opp som et prosjekt- eller myndighetsspesifikt krav i 2. generasjon og inne en nasjonalt bestemt parameter.

Teknisk bakgrunn

Egenfrekvensen til ei bru med hensyn på vibrasjoner bestemmes av egenvekten (herunder andel av nyttelasten), stivheten og spennvidden og i tilfelle det gjøres en dynamisk analyse også dempningsfaktorer. Frekvensen og tilhørende akselerasjon man aksepterer er et valg man må ta. For lette overgangsbruer som er utsatt for ubehagelige svingninger vil det ofte være nødvendig å gjøre tiltak så som økt vekt eller økt stivhet, som begge vanligvis fører til økt materialbruk.

Det er foreslått følgende inndelinger av komfortklasser:

Setra

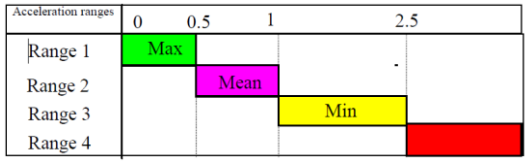


Table 2.1: Acceleration ranges (in m/s²) for vertical vibrations

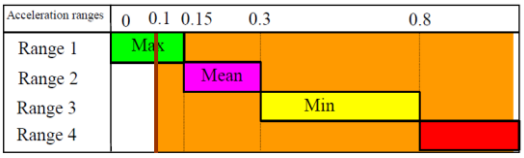


Table 2.2: Acceleration ranges (in m/s²) for horizontal vibrations

EN 1990:2023

Table H.1— Comfort levels

Comfort level	Degree of comfort	$a_{lim,v}$ m/s²	$a_{lim,h}$ m/s²
CL3	Maximum	≤ 0,5	≤ 0,1
CL2	Medium	≤ 1,0	≤ 0,3
CL1	Minimum	≤ 2,5	≤ 0,8
CL0	No limit set	-	-

Med unntak av maks komfortklasse horisontalt, satt til 0,15 m/s² i Setra og 0,10 m/s² i EN 1990:2023, er inndelingen i Setra blitt overtatt av 2. generasjon Eurokoder som basis-verdi.

Setra beskriver klassene slik:

> *Maximum comfort*: Accelerations undergone by the structure are practically imperceptible to the users.
> *Average comfort*: Accelerations undergone by the structure are merely perceptible to the users.
> *Minimum comfort*: under loading configurations that seldom occur, accelerations undergone by the structure are perceived by the users, but do not become intolerable.

og foreslår følgende bruk:

> Class IV: seldom used footbridge, built to link sparsely populated areas or to ensure continuity of the pedestrian footpath in motorway or express lane areas.

Class III: footbridge for standard use, that may occasionally be crossed by large groups of people but that will never be loaded throughout its bearing area.
Class II: urban footbridge linking up populated areas, subjected to heavy traffic and that may occasionally be loaded throughout its bearing area.
Class I: urban footbridge linking up high pedestrian density areas (for instance, nearby presence of a rail or underground station) or that is frequently used by dense crowds (demonstrations, tourists, etc.), subjected to very heavy traffic.

Merk her at klassene er snudd mellom Setra og 2. generasjon Eurokoder, slik at Setra sin klasse med høyest krav er klasse 1, mens i Eurokodene er det CL 3 (comfort level).

Sammen med komfortklassen må man også ta et valg knyttet til densiteten av fotgjengere som inngår i vekten. Ofte vil nok densiteten av fotgjengere spille en mindre rolle da konstruksjonen i seg selv er tyngre og betyr relativt mer for beregningene.

Setra

Load cases to select for acceleration checks				
Traffic	Class	Natural frequency range 1	2	3
Sparse	III	Case1	Nil	Nil
Dense	II		Case 1	Case 3
Very dense	I	Case 2	Case 2	Case 3

Case No. 1: Sparse and dense crowd
Case No. 2: Very dense crowd
Case No. 3: Crowd complement (2nd harmonic)

Class	Density *d* of the crowd
III	0.5 pedestrians/m^2
II	0.8 pedestrians/m^2

*Very dense crowd foreslås mellom 1 og 2 personer/m^2 i rapporten

EN 1991-2:2023

Table G.1 — Traffic classes and harmonic load models

Traffic Class	Description	(G.4) Pedestrian stream P/m^2 (A)	(G.5) Pedestrian group n_w (B)	(G.6) Jogging group n_j (C)
TC 1	Very weak traffic	0,1	1	0
TC 2	Weak traffic	0,2	2	0
TC 3	Dense traffic	0,5	4	1
TC 4	Very dense traffic	1,0	8	2
TC 5	Exceptionally dense traffic	1,5	16	4

d = density [P/m^2 = pedestrians on loaded surface]
n_w = number of pedestrians in a group
n_j = number of joggers in a group

NOTE 1 As an example:
TC 2(A) = load model of pedestrian stream with pedestrian density of 0,2 × P/m^2
TC 4(B) = load model of group of 8 pedestrians
TC 3(C) = load model of a single jogger
NOTE 2 Further guidance for the selection of design situations, depending on the usage and location of the bridge, is presented in EN 1990:2023, A.2.8.3 and Annex H.
For pedestrian stream load model minimum of 15 persons on the bridge deck should be assumed unless otherwise defined in the National Annex or for the individual project.

Foreslåtte valg og anbefaling for TRV

For å danne et enhetlig grunnlag som kan danne basis i de fleste prosjektene foreslås det å benytte følgende parameter:

- $a_{lim,v} \leq 1{,}0$ m/s^2 og $a_{lim,h} \leq 0{,}3$ m/s^2, tilsvarende CL 2 i EN 1990:2023
- 1 person/m^2 tilsvarende TC 4 i EN 1991-2:2023

Bruer i stasjonsområder kan oppleve en relativt konsentrert strøm av mennesker, men samtidig er det stor forskjell mellom steder. Det anbefales at dette blir et *bør*-krav da det ikke har betydning for sikkerheten. Valg av 1 person per kvadratmeter handler ikke om bruas kapasitet til mere, men i hvilket tilfelle man skal regne komfortkriterie. Bruas bruddkapasitet bestemmes av egne lastmodeller.

/Setra/ Sétra Technical guide – *Footbridges – Assessment of vibrational behaviour of footbridges under pedestrian loading*. October 2006
/EN 1990:2023/ CEN European Standard – *Eurocode – Basis of structural and geotechnical design* – March 2023
/EN 1991-2:2023/ CEN European Standard – *Eurocode 1 – Action on structures – Part 2: Traffic loads on bridges and other civil engineering works* – November 2023