# Komfort hos gång- och cykelbroar

## Examensarbetare: Fredrik Radlert och Julius Åkerblom

När en gång- och cykelbro dimensioneras statiskt i brottgränstillståndet blir det lätt en relativt slank konstruktion. Detta kan ge oönskade effekter då folk passerar över bron i form av vibrationer som kan upplevas som obehagliga. Tillräckligt stora rörelser kan till och med orsaka skada på bron. Om vibrationsfenomenet inte analyseras korrekt vid dimensionering kan åtgärder behöva vidtas i efterhand för att reducera de oönskade svängningarna. Sådana åtgärder kan bli väldigt dyra och tekniskt komplicerade. Det är därför av stor vikt att komfort kan säkerställas i projekteringsstadiet.

Det här arbetet syftar till att på ett pedagogiskt sätt beskriva problem kring vibrationer hos gång- och cykelbroar och att undersöka vilka faktorer som inverkar. En befintlig gång- och cykelbro – Knislingebron – undersöktes även experimentellt.



Knislingebro över E6 vid Trafikplats Arlöv

Frågeställningar i arbetet:

* Vid vilka spannlängder uppstår problem?
* Vad är en rimlig lastmodell?
* Är enkla handberäkningar ett alternativ till tidsödande datormodeller?
* Är materialdämpningsparametrar som åter-finns i litteraturen realistiska för Knislinge-bron?

Krav som rör komfort har blivit allt mer vanligt vid konstruktion av gång- och cykelbroar. Det finns flera exempel på arkitektoniskt intressanta slanka broar med betydande vibrationer som har konstruerats och byggts under de senaste åren och som varit föremål för vibrations-begränsande åtgärder i efterhand.

Krav i normer ställs dock numera på samtliga gång- och cykelbroar. Komfortnivåer kvantifi-eras då i form av maximala tillåtna accelera-tioner av brobanan. För att ta fram dessa för en given bro krävs dynamiska analyser utifrån en lastmodell motsvarande ett antal passerande gångtrafikanter. Modellerna är dock ofta dåligt specificerade.

Brons dämpning (ett mått på den rörelseenergi som övergår i värme) är en annan viktig parameter för att beräkna rimliga accelerations-nivåer. Dämpningen är dock svår att uppskatta för en given konstruktion speciellt i design-stadiet. Värden för dämpning utifrån givna material och uppbyggnad finns att tillgå i litteraturen. Men dessa kan skilja sig mycket från verkligheten. Att mäta dämpningen på ett likartat referensobjekt och använda i analysen är att föredra.

**Analyser** Gång- och cykelbroar har analyserats med finita element programmet Sofistik. Last­modeller infördes i enlighet med Eurokod och Sétra (ett departement inom väg- och brobyggnad i Frankrike). För att undersöka om komfortproblem kan uppstå i en vanlig gång- och cykelbro har en stålfackverksbro över E6 i Knislinge, utanför Malmö (se fig.), analyserats utifrån en dynamisk modell och på basis av normer och annan litteratur.

För verifiering av egenfrekvenser och bestäm-ning av verklig dämpning utfördes också en mätning på bron.

**Resultat** Såväl Eurokod som övriga publi-kationer i ämnet fokuserar i synnerhet på analyser av resonansfrekvenser vid beaktande av komfort. Ifall brons egenfrekvenser ligger tillräckligt långt från en gångtrafikants steg-frekvens anger såväl Eurokod som Sétra att en dynamisk analys inte behöver genomföras. Arbetet har visat att detta är ett rimligt antag-ande, eftersom stegfrekvenser som skiljer sig med en relativt liten marginal från brons egenfrekvenser resulterar i små och acceptabla accelerationer. Det är dock av yttersta vikt att egenfrekvenserna beräknas korrekt, samt att rimliga stegfrekvenser kan bestämmas.



Accelerationer för Knislingebro med spannlängd 45m, för dämpningskvoten 2% och 15 personer som går med frekvenser mellan 0 och 5 Hz.

Enligt Sétra kan en normal gångfrekvens antas vara ca 2 Hz, till skillnad från Eurokod som föreskriver frekvenser upp till 3Hz. Så höga frekvenser får dock anses som mycket ovan-liga. Om man provar att gå i så hög frekvens blir ens gångbeteende onaturligt.

Det har kunnat konstateras att de egen-frekvenser som tagits fram i dator-modellerna stämmer väl överens med de utförda mätning-arna.

Antalet trafikanter som används i belastnings-modellerna ger stora genomslag på accelera-tionerna. Valt antal trafikanter påverkar näm-ligen inte enbart belastningsamplituden, utan även brons egenfrekvenser. Eftersom bron i sig har en massa som är relativt liten ger tillskotts-massan från trafikanterna ofta en märkbar effekt på brons egenfrekvenser. Högre massa ger lägre egenfrekvens. I en bro som Knislinge-bron vars egenfrekvenser i regel ligger över normal gångfrekvens är denna tillskottsmassa negativ ur komfortsynpunkt, eftersom resonans-frekvensen närmar sig belastningsfrekvensen från de gående.

Vid analysen är dämpningen den enskilt viktigaste parametern i komfortanalysen och den svåraste att bestämma.