

# Last- och lasteffektspektra för vägbroar

*Av Per Christiansson*

*Särtryck ur Väg- och vattenbyggaren nr 4, 1977*

# Last- och lasteffektspektra för vägbroar

Per Christiansson\*

## Introduktion

Under senare år har utmattningspåverkan i samband med vägbroar uppmärksammas i allt högre grad. Flödet av tunga fordon på vägarna ökar samtidigt som en tendens mot högre materialutnyttjande i konstruktionerna märks.

De nya bronormerna [1], vilka utförligt kommenteras på annan plats i tidskriften, innehåller bl a den nyheten att en bro stålöverbyggnad skall dimensioneras för utmattningslast bestämd genom lastgruppen i ekvivalentlast typ 1 (samt av laster orsakade av broöppningar). Dessa nya regler har bl a tillkommit på grund av inträffade utmattningsbrott speciellt i infästningsdetaljer. Nedan beskrivs av författaren framtagna teoretiska modeller [2], vilka kan användas för beräkning av fordonslast och därav orsakade lasteffekter uttryckta i statistiska termer. Modellerna arbetar med tämligen enkla inputvariabler vilka beskriver trafik-, fordons- och brokaraktäristika uttryckta både i deterministiska och icke deterministiska termer.

Modellerna medger exempelvis att de utmattningslaster vilka förväntas uppträda i framtiden kan uppskattas. Vidare är det möjligt att göra bedömningar av typen; vilka laster och lasteffekter (påkänningar i olika delar av bron) kan förväntas överskridas inom 50 år med en viss sannolikhet. I beräkningarna tas även hänsyn till de lasteffekter, som uppstår av mötande och köande fordon, vilka på grund av sin låga sannolikhet att inträffa är svåra eller omöjliga att få fram via mätningar.

I ett exempel nedan redovisas dimensionerande lasteffektspektrum enligt bronorm jämfört med teoretiskt beräknat och mätt spektrum. Vidare är ett tillåtet lasteffektspektrum enligt byggsvetsnormen [3] inlagt i samma figur.

I slutet av artikeln beröres de i Vägverkets regi planerade fältmätningar som tillsammans med modeller, som de nedan beskrivna, skall skapa underlag för säkrare bedömningar av dimensionerande trafiklast.

Forskningsarbetet har finansierats av Statens Vägverk (Brosektionens utvecklingsavdelning) och har tidigare redovisats vid Nordiska forskningsdagar för stålkonstruktioner i Helsingfors 1976, [4].

## Lastspektrum, lasteffektprocess, lasteffektspektrum

För att möjliggöra en korrekt behandling av fordonslasterna är det önskvärt att dessa uttryckes i statistiska termer. I byggsvetsnormen talar man om spänningsspektiva (eller lasteffektspektra<sup>1</sup>) vilka uttrycker antalet (absolut eller relativt) påkänningsväxlingar som förväntas överstiga eller vara lika med olika påkänningsnivåer. På detta sätt kan en fördelning av beräknade laster eller lasteffekter uttryckas i en tämligen lättförståelig form, *fig 1*.

## Analys av lasteffektprocess

När ett fordon passerar över en bro ger det upphov till lasteffekter, exempelvis i form av påkänningar, i olika delar av brokonstruktionen, *fig 2*. Den uppkomna lasteffektprocessen kan tolkas som influensfunktioner av enskilda fordon men även som överlappande influensfunktioner av flera fordon.

Lasteffektprocessen måste kondenseras på något sätt, exempelvis till ett spektrum, för att göras lätthanterlig.

I samband med utmattning är det *lasteffektväxlingarnas* amplitud som bedöms vara av största intresse. Således kommer lasteffektspektrumet att uttrycka antalet (absolut eller relativt) lasteffektväxlingar som förväntas överskrida eller vara lika med olika nivåer. Dessa lasteffektspektra kan sedan jämföras med tillåtna spektra, vilket också sker i byggsvetsnormen till vilken nya bronormen hänvisar. Utplockningen av lasteffektväxlingar ur processen kan göras

på många olika sätt beroende på hur lasteffektväxlingen definieras. Den i *fig 3* antydda metoden, LECOUNT (load effect count), som är beskriven i de teoretiska modellerna ger samma resultat som det i byggsvetsnormen skisserade förfaringsättet dock med den skillnaden att LECOUNT även anger på vilka nivåer lasteffektväxlingarna inträffade.

## Teoretiska modeller

I *fig 4* och *fig 5* är de teoretiska modellerna LOSP (load spectra calculation) och NULESP (numerical load effect spectra calculation) skisserade. Modellerna är utförligt beskrivna i [2]. Den använda lösningsmetodiken kallas systematisk sampling, vilken kan karakteriseras som en styrd simulering. Med LOSP-modellens hjälp beräknas lastspektra med hjälp av uppgifter om totalviktsfördelningar för fordonsbeståndet, lastningsgradfördelningar och körsträckefördelningar, se *fig 4*.

I NULESP-modellen beräknas därefter lasteffektspektra varvid indata utgöres av (förutom lastspektrumet) av influensfunktioner (längs och tvärs korriktionen), sidlägesfördelning, fördelning av dynamisk förstöringsfaktor samt trafikdata. I beräkningarna kan man välja mellan att betrakta fordonsvikterna som koncentrerade laster, som fria axlar eller som axlar, bundna till fordonstyper med bestämda axelavstånd, bärande bestämda andelar av fordonsvikten. Det är således nödvändigt att vid input specificera de olika fordonstypernas utseende.

## Exempel på beräkning av påkänningspektra

*Fig 7* visar beräknade lasteffektspektra för den i *fig 6* skisserade brokonstruktionen (ortotropt stäldäck ingående i bro över Södertälje kanal). I detta fall var influenslinjen så kort att axelviktspektra (fria axlar) användes som last-

\* Tekn dr  
LTH  
Fack  
220 07 Lund. Tel 046-12 46 00

<sup>1</sup> kollektiv = spektrum  
spänning = påkänning (= lasteffekt)

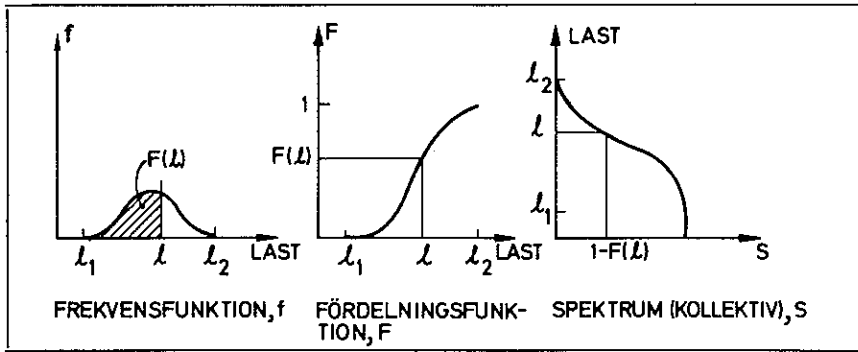


Fig 1. Representation av laster och lasteffekter i statistiska termer

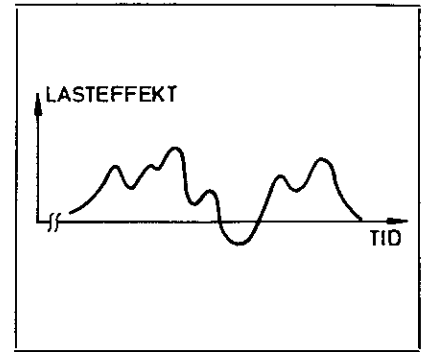


Fig 2. Del av lasteffektprocess

Fig 3. Utplöckning av lasteffektväxlingar med hjälp av LECOUNT-rutinen (load-effect count). Siffrorna anger den ordning som utplöckningen sker med i detta exempel.

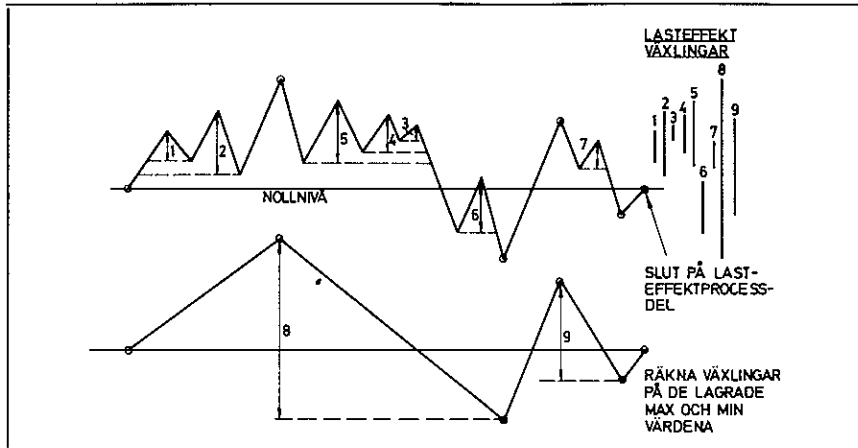
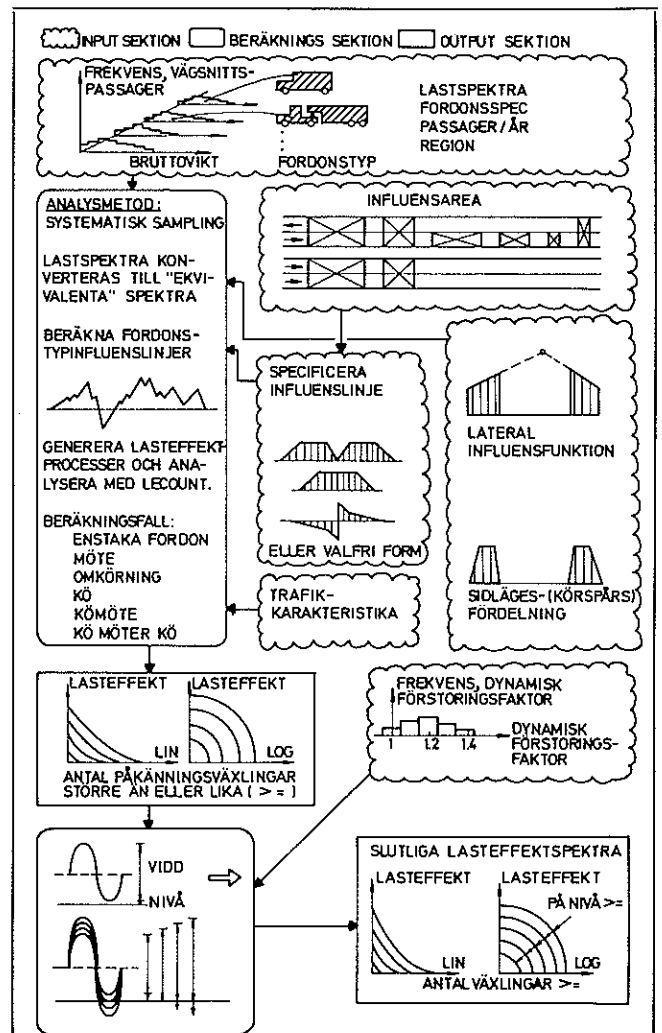
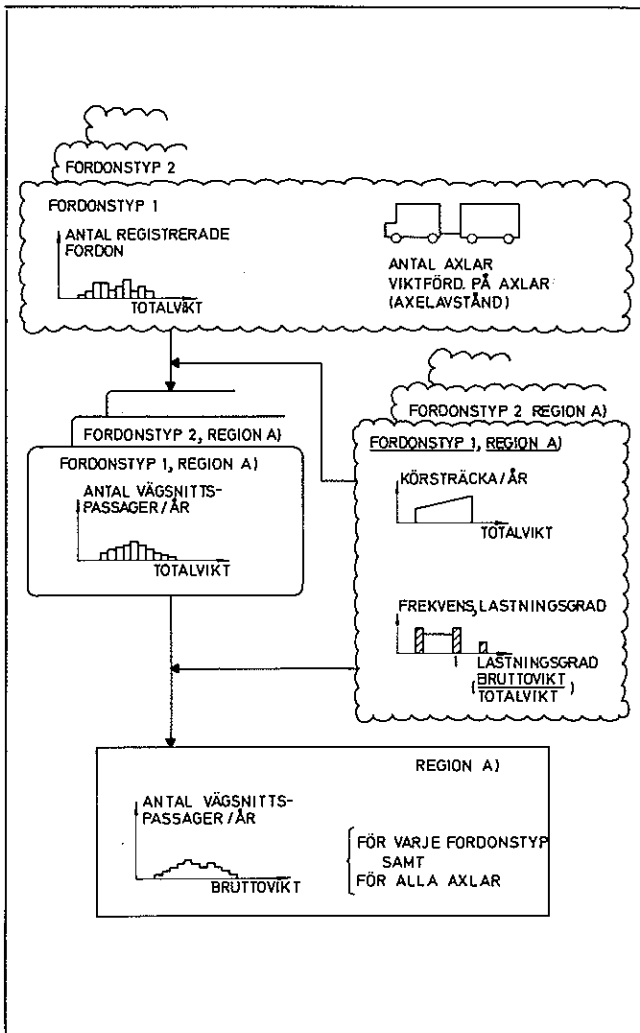


Fig 4. Tablå över modell för beräkning av lastspektra (LOSP load spectra calculation)

Fig 5. Tablå över modell för beräkning av lasteffektspektra (NULESP numerical loadeffect spectra calculation)



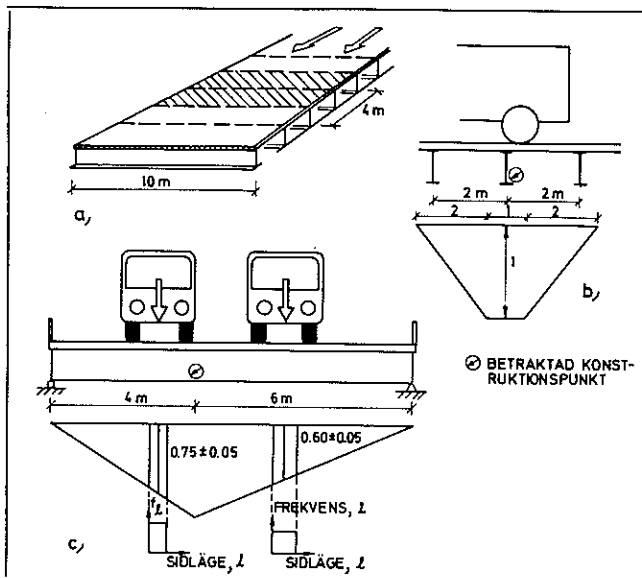


Fig 6. Tvärbalk vid Södertälje kanal

- Ortotropt stäldäck
- Longitudinell influenslinje
- Specifikationer för sidlägesinverkan

indata till NULESP. Överlappande effekter av omkörningar beräknades eftersom influensfunktionen sträckte sig över två filer i tvärläng. I fig 7 är även det av Vägverket mätta lasteffektspektrumet inlagt. Som synes är det möjligt att med modellens hjälp beräkna även sällsynta lasteffektväxlingar av hög amplitud (orsakade av överlappande axlar). ( $\sigma_r$  större än ung 50 MPa.)

I figuren är även redovisat det dimensionerande lasteffektspektrum som erhålles ur bronormens kapitel 09.24 (kurva a).  $\sigma_{rd}$  är den dimensionerande (maximala) påkänningsvidden som erhålles om lastgruppen i ekvivalentlast typ 1 passerar däck (se fig 7). Det föreskrives att det dimensionerande typiserade spektrumet omfattar  $N=2 \cdot 10^6$  växlingar samt har lutningen  $p=1/3$ .

Ur byggsvetsnormen erhålles, enligt tabell 3:32, tillåten påkänningsvidd  $\sigma_{rt}=87,2$  MPa för  $N$  och  $p$  enligt ovan, samt med största förbandfaktorvärdet  $K_x=5$  (kurva b). (De 100 största växlingarna försummas vid beräkningarna). Figuren antyder att det dimensionerande spektrumet enligt bronormen i detta fallet ligger något under mätt och teoretiskt beräknat spektrum. Mellan de två senare råder god överensstämmelse.

Man skall dock ej dra för stora slutsatser ur detta enstaka exempel. Som synes har en kraftig extrapolation av det mätta spektrumet gjorts (14 dagar — 50 år) vidare har för det beräknade spektrumet gjorts vissa antaganden om t ex fördelning av dynamisk förstoringfaktor, som ej är bekräftade genom mätningar. I detta exempel kan vissa svårigheter uppstå med att erhålla tillåtna spektra som ligger över det teoretiskt beräknade för  $K_x$  värden över 3,5.

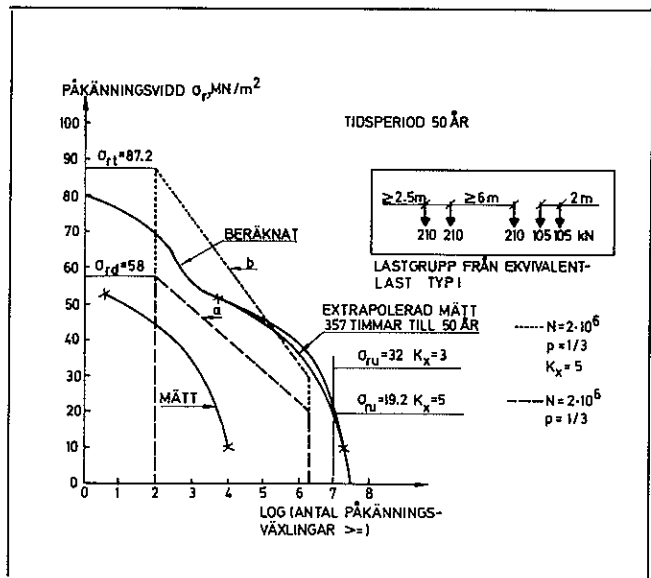


Fig 7. Lasteffektspektra gällande för 50 år för tvärbalken enligt fig 6

a) ——— dimensionerande typiserat spektrum enligt bronorm. Den dimensionerande påkänningsvidden,  $\sigma_{rd}$ , är orsakad av den i figuren inlagda lastgruppen. Enligt normen sättes  $N=2 \cdot 10^6$  och  $p=1/3$ .

b) ..... tillåtet spektrum, med tillåten påkänningsvidd  $\sigma_{rt}$ , enligt byggsvetsnorm för  $N=2 \cdot 10^6$ ,  $p=1/3$  och  $K_x=5$ .

$\sigma_{ru}$  = utmattningsgräns (=  $\sigma_{rt}$  för  $n=10^7$  och  $p=1$ ). I det beräknade lasteffektspektrumet (med hjälp av NULESP-modellen) har ett beräknat lastspektrum (med hjälp av LOSP-modellen) giltigt för år 1973 använts.

### Planerade fältmätningar

Statens Vägverk har utfört registrering och bearbetning av lasteffektprocesser (se fig 7). Härvid har en så kallad level crossing counter använts vilken, som namnet antyder, räknar antalet gånger som lasteffektprocessen passerar olika nivåer när den är växande. De erhållna fördelningarna översätts senare till lasteffektväxlingsspektra. Denna översättning ger endast i vissa fall samma resultat som en mera avancerad analys, exempelvis med hjälp av LECOUNT, skulle gett. Denna senare metod kräver dock att en dator är involverad vid utvärderingen.

Det skulle naturligtvis vara av stort värde att kunna registrera de motsvarande lastspektra utan att införa störningar i trafikströmmen. Tidigare var man hänvisad till att kanalisera fordonen (eller stickprov av dessa) över speciella vägar för att därigenom erhålla data om axelvikter och fordonsvikter. Författaren till denna artikel utvecklade därför en mobil trafikanalysstation för mätning av bl a fordons axellaster, vilken enkelt skulle kunna placeras på vägbanan. Givaren är 12 mm hög och av kapacitiv typ. Den tillhörande elektroniken är så konstruerad att stationen kan arbeta självständigt, varvid insamlade data skickas till den registrerande utrustningen (remsstans eller kassetbandspelare) eller kan en dator anslutas till elektronikenheten. Förutom axel-

vikter erhålles tidpunkter för axelpassager, axelhastigheter samt uppgifter om fordonens sidlägen från en i avfartsrampen inbyggd sidlägesgivare [5].

Statens Vägverk planerar för närvarande samtidiga mätningar av last- och lasteffektspektra där den nämnda trafikanalysstationen samt den ovan beskrivna rutinen för analys av lasteffektprocesser avses användas.

De erhållna resultaten kommer att tillsammans med teoretiska modeller som de ovan beskrivna ge ett säkrare underlag vid framtagning av kommande dimensioneringsregler för broar. □

### Referenser

- [1] Bronormer. TB 103. Statens Vägverk, 1976
- [2] Christiansson, Per: Probabilistic models for calculation of load spectra and load effect spectra for highway bridges. Report 71. Division of Building Technology, Department of Structural Engineering, Lund Institute of Technology, 1976
- [3] Byggsvetsnorm. StBK-N2. Statens Stålbbyggnadskommitté, Svetskommissionen, 1974
- [4] Christiansson, Per: Utmattningslaster för vägbroar. Nordiska forskningsdagar för ställkonstruktioner, Helsingfors, 1976
- [5] Christiansson, Per - Göteson, Bengt: Mobil vägstation för mätning av fordons axellaster, axelhastigheter samt sidlägen i verklig tid. Rapport 63. Institutionen för Byggnadsteknik, Lunds Tekniska Högskola, 1976