

Trågbroar

Järnvägsbroar med genomgående ballast

Anders Fridlund

Jonas Svensson

Rapport TVBK-5059
ISSN 0349-4969
ISRN: LUTVDG/TVBK--5059--SE

Trågbroar

Järnvägsbroar med genomgående ballast

EXAMENSARBETE TVBK-5059

Handledare: Annika Mårtensson

LUND DECEMBER 1992

Anders Fridlund
Jonas Svensson

FÖRORD

Initiativet till detta examensarbete togs av Per Carlsson på Banverket södra regionen. Arbetet har utförts vid avdelningen för Bärande Konstruktioner på Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet som är obligatoriskt för Civilingenjörer påbörjades under sommaren 1992.

Ett stort tack måste riktas till Per Carlsson, samt till alla andra på Banverket som hjälpt oss att få fram material till detta examensarbete. Vår handledare på skolan Annika Mårtensson förtjänar en eloge för att hon tålmodigt läst igenom våra texter och givit oss konstruktiv kritik och synpunkter på arbetet.

Lund i december 1992

Anders Fridlund och Jonas Svensson



ILLUSTRATION: JAN STENMARK

Det viktiga finns mellan raderna, ja, kanske inte ens i den här boken utan en helt annan, förklarade han.

SAMMANFATTNING

Syftet med examensarbetet har varit att undersöka och jämföra förutsättningar vid byggnation och underhåll av stålträgsbroar med betongträgsbroar. Resultaten visar att det är tekniskt möjligt att lösa de problem som är specifika för ståltråg. Däremot har underlaget varit dåligt för en ekonomisk bedömning av exempelvis vilka extra kostnader det medför att reducera bullernivån för ett ståltråg till samma nivå som för ett betongtråg.

Korrosion

Rost har länge varit ett problem för stålbroar. Trågbroar har sina största rostproblem på trågbotten, där både vatten och smuts lätt samlas. Även de mekaniska påfrestningarna är stora på trågbotten eftersom ballasten rör sig. Numera finns det bra material som både skyddar mot rost och mekanisk nötning, t ex gummipolyuretanblandning.

Bullermätning

Utförda mätningar visar att stålträgsbroar bullrar något mera än betongträgsbroar. Skillnaden mellan medelvärdena för respektive brotyp blev 6 dB. De inbördes variationerna är dock så stora att fler mätningar behöver göras för att säkert kunna bedömma skillnaden i bullernivå.

Bullerdämpning

Bullernivån för tåg som passerar en bro är högre än den för tåg på banvall. Orsaken till detta är tillskott av luftljud som härrör från svängningar i konstruktionen, s k stomljud. Här beskrivs två metoder för att dämpa dessa stomljud. Underlagsmattor: Läggs under ballasten i en trågbro. För trågbroar av betong blir dämpningen försumbar. För trågbroar av stål kan man räkna med en dämpning på 3-4 dB. Dämpande sandwichkonstruktioner: Betong dämpar uppkomna svängningar i konstruktionen mycket bättre än stål. Detta är en av huvudorsakerna till att stålbroar bullrar mera. Stålets dämpningsförmåga kan emellertid väsentligt ökas genom utförande av en så kallad sandwichkonstruktion. Om dessa metoder används bör det vara möjligt att bullerdämpa en stålträgsbro så att denna inte bullrar mer än en betongträgsbro.

Ekonomiska aspekter

Vår undersökning indikerar att valet mellan brotyper av olika material (stål eller betong) är av underordnad ekonomisk betydelse. Underhållskostnaderna ligger också på ungefär samma nivå. Valet av brotyp och konstruktionsmaterial styrs främst av tekniska förutsättningar samt hänsynstagande till exempelvis buller.

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	I
INNEHÅLL	II
1. INLEDNING	1
2. BROAR	2
2.1.1 Historik	2
2.1.2 Järnvägsbroar	2
2.2 Val av brotyp	3
2.2.1 Ekonomi	3
2.2.2 Buller	4
2.2.3 Spårjustering	4
2.2.4 Grundläggning	4
2.2.5 Konstruktionshöjd	4
2.2.6 Korrosion	4
2.2.7 Utmattning	5
2.3 Vanliga brotyper	6
2.3.1 Självbärande betongtråg	6
2.3.2 Självbärande ståltråg	6
2.3.3 Samverkansbro med betongtråg över bärande stålkonstruktion	7
2.3.4 Icke självbärande ståltråg	8
2.3.5 Däckbro med genomgående ballast	8
2.3.6 Skanska-bron	8
2.3.7 Bro i England	9
3. KORROSION	11
3.1 Normer	12
3.2 Exempel på korrosionstyper för stålbroar	12
3.3 Rostskyddsbehandling	13
3.3.1 Förbehandling	13
3.3.2 Färgmaterial	13
3.3.3 Skiktjocklek	14
3.3.4 Applicering	14
3.3.5 Färgtyper	14
3.3.6 Förzinkning	15
3.4 Konstruktiv utformning	16
3.5 Skydd mot mekanisk påverkan	17
3.6 Exempel på rostskyddssystem för ståltråg	18
4. BULLERMÄTNING	19
4.1 Akustik	19
4.2 Beräkningsmodell	20
4.2.1 Utgångsvärde	20
4.2.2 Hastighetskorrektion	21
4.2.3 Avståndsdämpning	21
4.2.4 Tågtypskorrektion	22
4.2.5 Markkorrektion	22

4.2.6 Skärmskorrektion	23
4.2.7 Inverkan av störande buller	23
4.2.8 Mätthöjdskorrektion	23
4.2.9 Mätförfarande	23
4.3 Resultat av mätningar	24
4.3.1 Slutsatser	24
5. BULLERDÄMPNING	25
5.1 Introduktion	25
5.2 Underlagsmattor för ballast	26
5.2.1 Modellering av stomljudsutbredning	26
5.2.2 Tillskottsdämpning	27
5.2.3 Undersökningsobjekt	28
5.2.4 Källimpedans	29
5.2.5 Beräkningar och mätvärden	30
5.3 Dämpande sandwich-konstruktioner	31
5.3.1 Verkningsätt hos treskikts sandwich-konstruktion	31
5.3.2 Förlustfaktorns beroende av motplåtens längd	33
5.3.3 Problem vid användandet av sandwich-konstruktioner	34
5.3.4 Fullskaleförsök	35
6. EKONOMISKA ASPEKTER	36
6.1 Byggnadssätt	36
6.1.1 Betongbroar	36
6.1.2 Stålbroad	37
6.2 Underhåll	37
6.3 Kostnader	38
REFERENSER	40
BILAGA 1-5	

1. INLEDNING

De äldsta järnvägsbroarna i Sverige, från senare hälften av 1800-talet, blev utförda i stål då spännvidden översteg stenvälvbroarnas förmåga. Dessa stålbroar hörde till den tidens mest avancerade konstruktioner. Den armerade betongen började konkurrera med stålet i början av 1900-talet och blev dominerande på 1940-talet. I dagens brobestånd dominerar betongbroarna starkt på stomjärnvägarna. På den övriga delen av järnvägsnätet, där ombyggnadsverksamheten haft mindre omfattning, är hälften av broarna stålbroar.

Stålbroarna har under tidigare år drabbats av SJ:s strävan att spara pengar. Underhållet har inte fått tillräckliga anslag. Intervallet mellan bromålningarna har förlängts, vilket inte är en bra sparmetod. Ökade krav på broarnas bärförmåga, bl a för att klara de ökade påfrestningarna från snabbtåg, samt hög ålder i kombination med bristande underhåll har lett till ett stort behov av nya broar. Enligt Banverkets långtidsplanering bör ca 300 broar, varav det helt övervägande antalet är stålbroar, ersättas med nya broar före år 2000. Sammanlagt har Banverket ca 1000 stålbroar och drygt 2000 betongbroar. Stålbroarnas genomsnittsålder är ca 70 år, de äldsta är över 100 år. Behovet av stora spännvidder som direkt kan sägas kräva stålkonstruktioner är begränsat i vårt land. I Banverkets brobytesprogram ingår dock ett antal större broar, där förstudier visar att överbyggnader av stål är lämpligast, t ex bron över Götaälv i Göteborg.

I Sverige har sedan länge betongbroar byggts trågformade och fyllts med ballast, samma material som i banvallen. Med hjälp av ballasten kommer vibrationerna att dämpas innan de når konstruktionen och ger upphov till stomljud. Ballasten medför dock även en del problem, t ex vikten ökar väsentligt för den redan tunga betongkonstruktionen och konstruktionen har en i jämförelse med andra brotyper hög konstruktionshöjd. Den höga konstruktionshöjden kan vara ett problem när utrymmet nedåt är begränsat t ex vid passagen av en trafikled. Genom att använda detta konstruktionskoncept på stålbroar i stället för på betongbroar skulle dessa problem kunna minskas. I t ex Tyskland har man sedan länge använt sig av denna konstruktionstyp. Stålträgsbroar skulle kunna göras lättare och lägre än motsvarande av betong. Ett problem är dock hur man ska utföra rotskyddet inne i träget då miljön där är mycket aggressiv, dessutom är bullernivån märkbart högre för trågbroar av stål än av betong.

Syftet med detta examensarbetet är att undersöka tekniska och ekonomiska förutsättningar för stålträgsbroar med genomgående ballast.

2. BROAR

I första hand kommer i detta kapitel olika typer av järnvägsbroar att behandlas. Som inledning kommer emellertid först en kort allmän historik.

2.1.1 Historik

I äldre tider utfördes broar praktiskt taget uteslutande av trä eller sten. Mindre träbroar kunde utformas som några stockar lagda över ett vattendrag, vid större träbroar använde man spännverk eller liknande konstruktioner. Stenbroarna byggdes som valv. Ett flertal stenbroar ända sedan århundranden f Kr finns bevarade. De flesta byggdes av romarna med spännvidder upp till ca 25 m. Ett exempel på en sådan bro är Pons Fabricius i Rom (62 f Kr), vilken fortfarande är i bruk. På 1700 -talet byggdes fortfarande flertalet större broar som stenvalv med spännvidder upp till ca 70 m.

Det dröjde ända till senare delen av 1700 -talet innan man började bygga broar av järn, till en början huvudsakligen gjutjärn. När man på 1800 -talet lärde sig framställa stål i större skala och valsa plåt och profilstänger blev stålet det mest allmänna brobyggnadsmaterialet. Genom de många möjligheterna stålet ger till skiftande konstruktiv utformning utvecklades nya bärande system för broar, exempelvis: balkbroar, fackverksbroar, bågbroar och hängbroar.

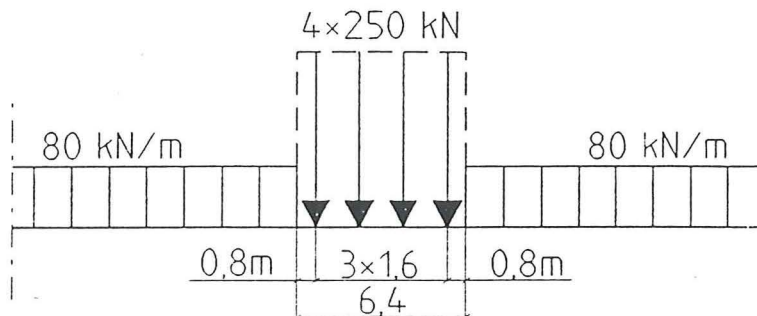
I början av 1900 -talet började den armerade betongen utvecklas och användas vid brobyggnad. Till en början användes betongbroarna vid förhållandevis små spännvidder (mindre än 25 m) som platt- eller balkbroar samt vid större spännvidder som bågbroar. Ett exempel på en stor bågbro av betong i Sverige är Sandöbron över Ångermanälven (1943) med 264 m spännvidd (då världens största betongbågbro).

Ytterligare steg i brobyggnadsteknikens utveckling markeras av att svetsning började användas på 1930 -talet samt utvecklingen av spännbetongen under 1940 -talet. Spännbetongen har möjliggjort utförande av balkbroar av betong med stora spännvidder och därigenom har stålet i viss grad trängts tillbaka som brobyggnadsmaterial. Tillkomsten av spännbetong har även medfört att man börjat bygga broar av prefabricerade betongelement.

2.1.2 Järnvägsbroar

Den största skillnaden mellan en järnvägsbro och en vägbro är storleken på de laster som man konstruerat bron för. Trafiklasten på en järnvägsbro är till sin karaktär mer enhetlig och bestämd än vad som gäller för en vägbro. Den tyngsta delen av ett tåg är normalt loket. Även om variationer finns beträffande lokens utformning, så utgörs lasten i de flesta fall av ett antal relativt nära varandra placerade stora axeltryck. Lasten från loket blir helt avgörande för de sekundära konstruktionerna och även för huvudkonstruktionen vid små spännvidder. På grund av detta är det av underordnad betydelse hur lasten från vagnarna väljs. Lasten från vagnarna blir huvudsakligen av betydelse för huvudkonstruktionen och därför kan man beskriva den som lastens medelintensitet och anta att denna fördelas jämnt.

Enligt Järnvägsbronormen gäller: Bro skall beräknas för tåglast UIC 7 som är den av UIC (Union Internationale des Chemins de fer - internationella järnvägs-unionen) rekommenderade tåglasten. Vid speciella fall kan man dimensionera för tåglast Trans eller Malm.

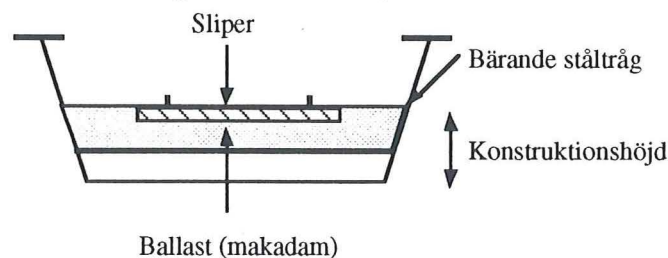


Figur 2.1 Tåglast enligt UIC 71

Tåglasters dynamiska inverkan beaktas genom att alla laster ökas med ett dynamiskt tillskott som är beroende av tågets hastighet, bronns spännvidd samt ballastdjup. Tillskottet ökar för ökad hastighet och minskad spännvidd. Reduktion av den dynamiska förstoring-faktorn för ballastdjup görs först när överfyllnaden utöver 0.6 m ballast uppgår till minst 0.4 m, dvs. ett totalt djup på minst 1.0 m. De krafter som orsakas av fordonens bromsning kan vid vägbroar normalt anses vara av underordnad betydelse medan de däremot vid järnvägsbroar kan uppgå till betydande storlek. I Järnvägsbronormen antas bromskraften av tåglast UIC 71 uppgå till 20 kN/m, dock max 4000 kN.

2.2 Val av brotyp

På lång sikt strävar Banverket efter att samtliga broar ska vara av trågtyp. Några av de faktorer som påverkar kostnad och prioriteringsordning vid ersättandet av befintliga broar med trågbroar samt allmänna för- och nackdelar med trågbroar kommer att behandlas här. För att öka tydligheten har vi valt att endast jämföra självbärande trågbroar av betong och stål med genomgående ballast (se figur 2.2) med stålbroar som har slipers skruvade direkt mot överfläns (kallas i fortsättningen för stålbroar).



Figur 2.2 Tvärsnitt av en självbärande stålträgsbro med genomgående ballast

2.2.1 Ekonomi

Trots att stålbroar kostar betydligt mindre kommer de inte att konkurrera med trågbroar i normala fall. På bansträcka vars framtida existens är osäker kan emellertid vid akut utbytsbehov stålbro bli aktuell. De ekonomiska aspekterna behandlas närmare i kapitel 6.

2.2.2 Buller

Buller från spårbunden trafik är ett stort problem i våra tätorter, inte minst buller från brokonstruktioner. Man har försökt att på olika sätt minska detta problem. De vanligaste metoderna har varit att sätta upp bullerskärmar och att begränsa tågens hastighet. Skillnaden i bullernivå mellan trågbroar och stålbroar är avsevärd, ca 10 dBA högre jämfört med betongtråg och 5-6 dBA jämfört med ståltråg. Detta är ett tungt vägande skäl till att man vill byta ut gamla stålbroar i tätorter mot trågbroar. Bulleraspekten kommer närmare att behandlas i kapitel 4 och 5.

2.2.3 Spårjustering

I en trågbro kommer spåren att ligga fritt i makadam, precis som på banvallen. Det kontinuerliga underhållet av spår och banvall kommer därmed att underlättas. Detta innebär ekonomiska besparingar vilket kommer att förbättra denna brotyps totalekonomi.

2.2.4 Grundläggning

Vid nybyggnation av broar står grundläggningen för upp till en tredjedel av kostnaderna för en traditionell betongbro. Detta gör att man i så stor utsträckning som möjligt använder de befintliga fundamenten vid utbyte av en gammal bro. Detta är inte helt problemfritt beroende på de betydligt större tyngderna för trågbroar jämfört med stålbroar. Tyngden av en ståltrågsbro är (beroende av spännvidden) ca tre gånger större, och en betongtrågsbro ca sju gånger större än tyngden av en stålbros. Därmed kommer grundläggningens kostnader för en betongtrågsbro i allmänhet bli betydligt större än för en ståltrågsbro. Grundförhållanden och möjligheten att genomföra grundförstärkning är därför viktiga faktorer i valet mellan betong- och ståltråg.

2.2.5 Konstruktionshöjd

Den för en järnvägsbro intressanta höjden är den från underkant av konstruktionen till spåret, se figur 2.2. Denna höjd benämns konstruktionshöjd. Konstruktionshöjden för en trågbro är större än för en stålbros, detta gäller särskilt trågbroar av betong. Vid byte av brotyp kan därför problem uppstå då utrymmet under bron är begränsat, t ex vid passagen av en väg. En möjlighet att kompensera för den ökade konstruktionshöjden är att höja spårnivån fram till bron, men då tåg är känsliga för stigningar innebär detta att en höjning måste fördelas på en lång sträcka. En höjning av konstruktionshöjden på en meter kräver vid 10 ‰ extra lutning (i normala fall största tillåtna lutningen) en justeringssträcka på 100 m på var sida av bron. Eftersom trågbroarna är bredare krävs vid brobyte i allmänhet även en breddning av banvallen fram till bron, en sk bankbreddning.

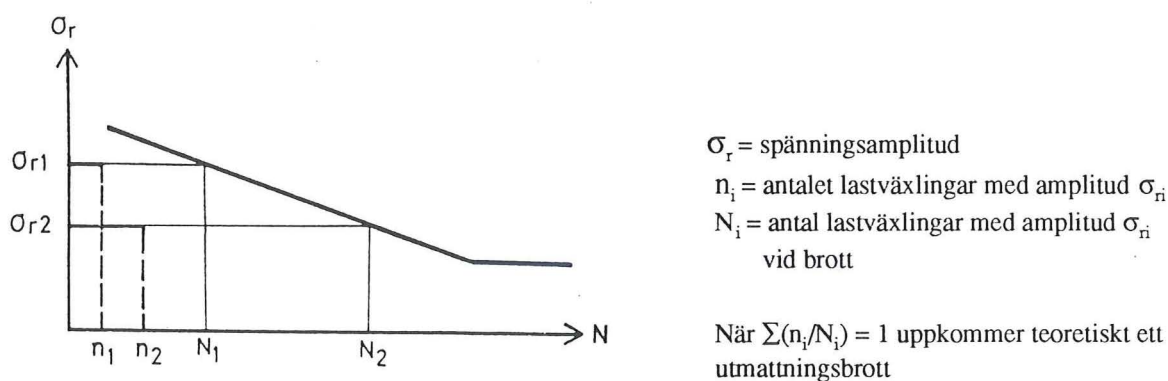
2.2.6 Korrosion

Ett stort problem för ståltrågsbroar är den aggressiva miljön inne i tråget. Både fukt och smuts samlas på trågets botten. Utöver detta kommer de mekaniska angreppen från

ballasten. Besiktningar för att kontrollera eventuella rostskador inne i tråget försvåras av den överliggande ballasten. Vad man kan göra för att lösa eller åtminstone minska rostproblemen kommer närmare att beskrivas i kapitel 3. Den aggresiva miljön är även ett problem vid betongtråg t ex kloridinträngning, men detta faller utanför examensarbetet att närmare beskriva.

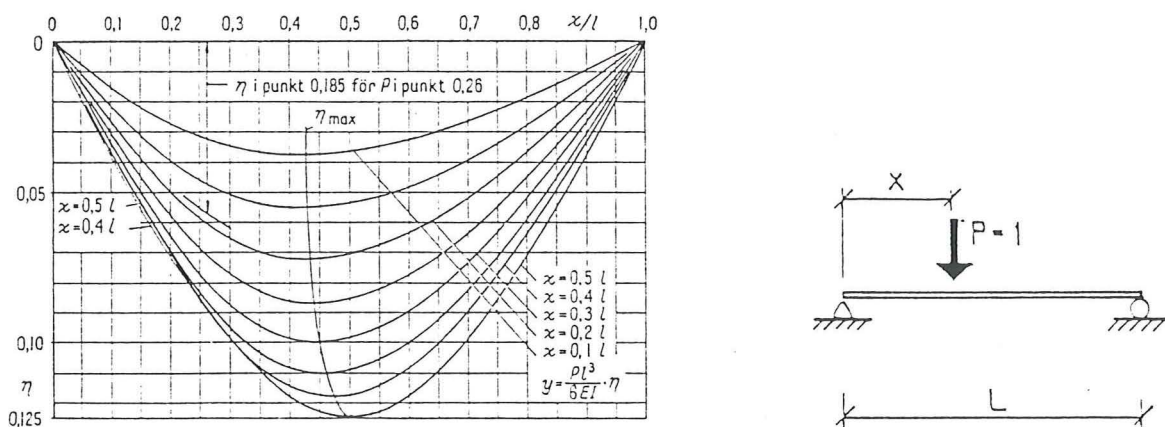
2.2.7 Utmattning

Utmattning är ett gammalt problem inom järnvägstekniken. Om man vill beräkna livslängden för en detalj utsatt för ett känt antal spänningsvariationer av skiftande storlek är Palmgren-Miner's delskadehypotes vara en användbar teori. Se figur 2.3. Passerande tåger upphov till varierande spänningar hos järnvägsbroar, vilka kan leda till utmattningsprickor i konstruktionen. Som framgår av bilden påverkar förutom spänningsamplituden, även antalet på- och avlastningar uppkomsten av utmattningsprickor.



Figur 2.3 Exempliering av Palmgren - Miner's delskadeteori

Spänningsamplituden är inte enbart beroende av storleken på den påförda lasten, utan även på det dynamiska tillskottet. Med hjälp av influenslinjen kan snittmoment eller nedböjning i valfri position av en kraft inom det påverkade området beräknas (se figur 2.4). Som ett enkelt, idealiserat exempel kan man ta en bro bestående av två balkar i längdriktningen, primärbärverket. Mellan dessa balkar går tvärbalkar, sekundärbärverket. På dessa tvärbalkar vilar sedan spåret. När ett idealiserat tåg (jämnt utbredd belastning) passerar över bron kommer de tvärgående stängerna att utsättas för en belastning per hjulaxel. De längsgående balkarna kommer däremot att utsättas för en belastning per tågöverfart. Detta beror på att de omfattas av en enda influenslinje. Av detta framgår att trågbroarna har en stor fördel då de inte har något sekundärbärverk. Om tåglasten var helt jämt utbredd skulle en trågbro därför endast utsättas för en belastning per tågöverfart. Detta är givetvis inte fallet men spänningsvariationerna kommer att bli betydligt lägre och färre. Emellertid kommer lite av denna fördel att försvinna beroende på att den högre vikten ger en högre medelspänning i konstruktionen. För en och samma cykliskt varierande belastning kommer den bärande del som har den högsta medelspänningen att få en lägre utmattningshållfasthet



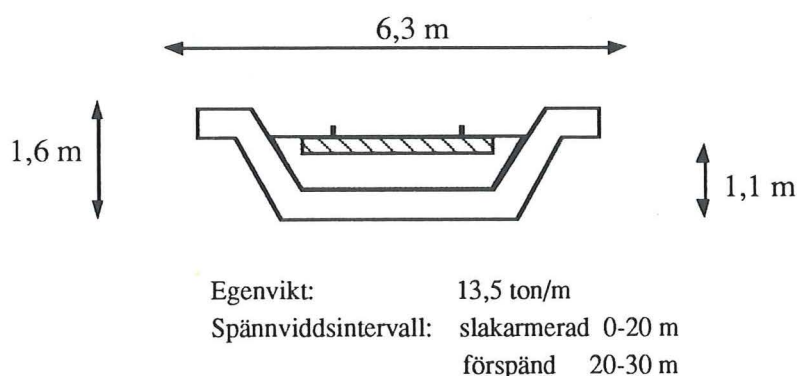
Figur 2.4 Influenslinjer för nedböjning av en fritt upplagd tvåstödsbalk med konstant tröghetsmoment

2.3 Vanliga brotyper

Vanligen kommer inte valet att enbart stå mellan självbärande trågbroar av betong respektive stål. Här kommer därför även en del andra vanliga typer av trågbroar att presenteras översiktligt.

2.3.1 Självbärande betongtråg

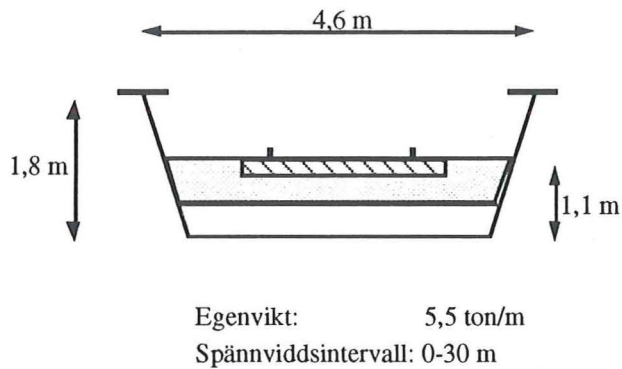
Självbärande betongtråg används då utrymmet under bron är begränsat. Beroende på den höga egenvikten måste i allmänhet det gamla brofundamentet bytas ut. Detta är den vanligaste brotypen numera i Sverige.



Figur 2.5 Självbärande betongtråg, se bilaga 4 och 5, med mått som i figuren är spännvidden ~24 m

2.3.2 Självbärande ståltråg

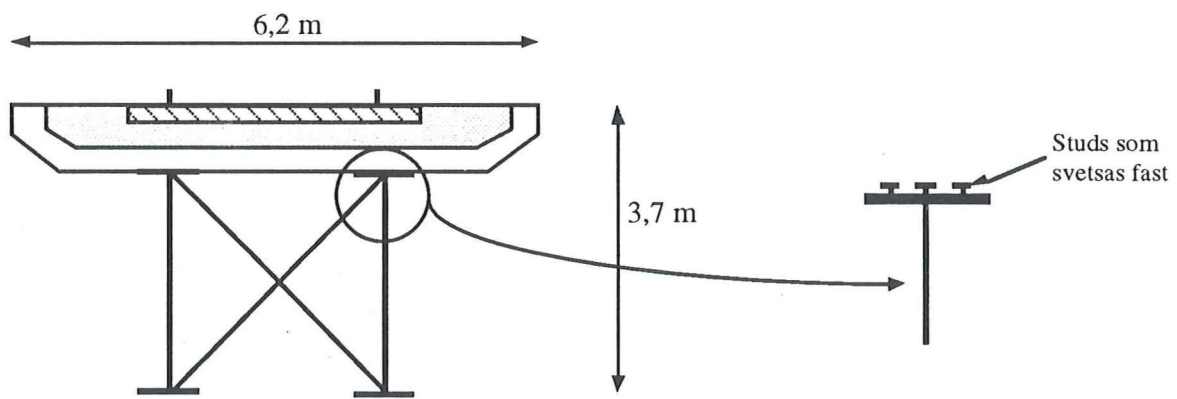
Liksom de självbärande betongträgen används de självbärande stålträgen när utrymmet under bron är begränsat. Vid stora spännvidder kan konstruktionshöjden göras något lägre med ett ståltråg. Det gamla brofundamentet kan ofta användas.



Figur 2.6 Självbärande ståltråg, se bilaga 1 och 2, med mått som i figuren är spännvidden ~25 m

2.3.3 Samverkansbro med betongtråg över bärande stålkonstruktion

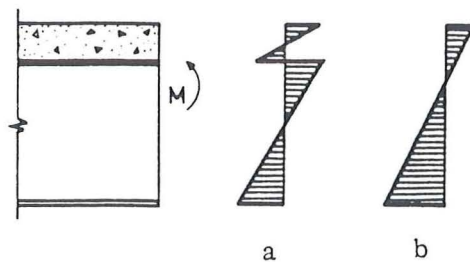
Används då utrymmet i höjddled inte är begränsat och spännvidderna är långa. Samverkan mellan stål och betong kan erhållas med dymlingar ("studs"). Andra metoder finns också, exempelvis påsvetsade slingor (byglar) av armeringsjärn. Järnvägsbroar av stål balkar med betongfarbana skall beräknas såväl med som utan samverkan mellan stål och betong i brons längdled. Utmattning och deformation behöver enbart beräknas med samverkan.



Spännviddsintervall: 30-70 m

Figur 2.7 Samverkansbro med betongtråg, se bilaga 3, med mått som i figuren är spännvidden ~55 m.

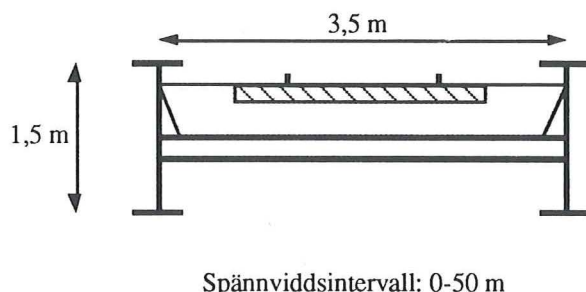
Figur 2.8 Fastsvetsade "studs"



Figur 2.9 Töjningsfördelning i en balk med pågjuten betongplatta: a) utan samverkan b) full samverkan

2.3.4 Icke självbärande ståltråg på bärande stålkonstruktion

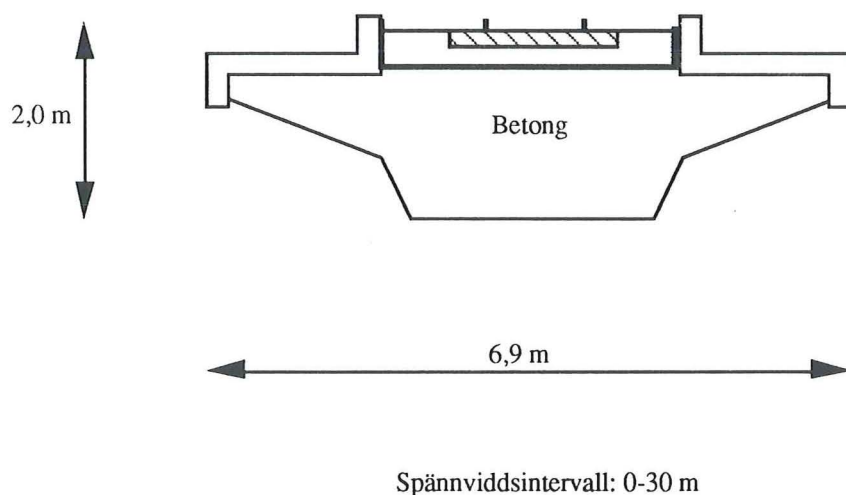
Används när utrymmet i höjddled är begränsat och spännvidderna är medellånga. Låg egen- vikt gör att gamla brofundament ofta kan användas.



Figur 2.10 Icke självbärande ståltråg, med mått som i figuren är spännvidden ~15 m

2.3.5 Däckbro med genomgående ballast

Används normalt vid korta spännvidder, typ s k vägportar eller då konstruktionshöjden inte är avgörande. Vid långa spännvidder blir nämligen konstruktionshöjden mycket hög.



Figur 2.11 Däckbro med genomgående ballast, vanlig konstruktionstyp hos Deutsche Bundesbahn

2.3.6 Skanska-bron

Skanska stålteknik AB har i samarbete med Banverket gjort ett förslag på en stålträgsbro med genomgående ballast. Bron består av en halvcylinder med alla avstyvningar belägna utanpå bron. Montering sker på liknande sätt som för andra järnvägsbroar av stål: Brosektionerna levereras på järnväg till närmaste järnvägsstation, där ihopsvetsning och

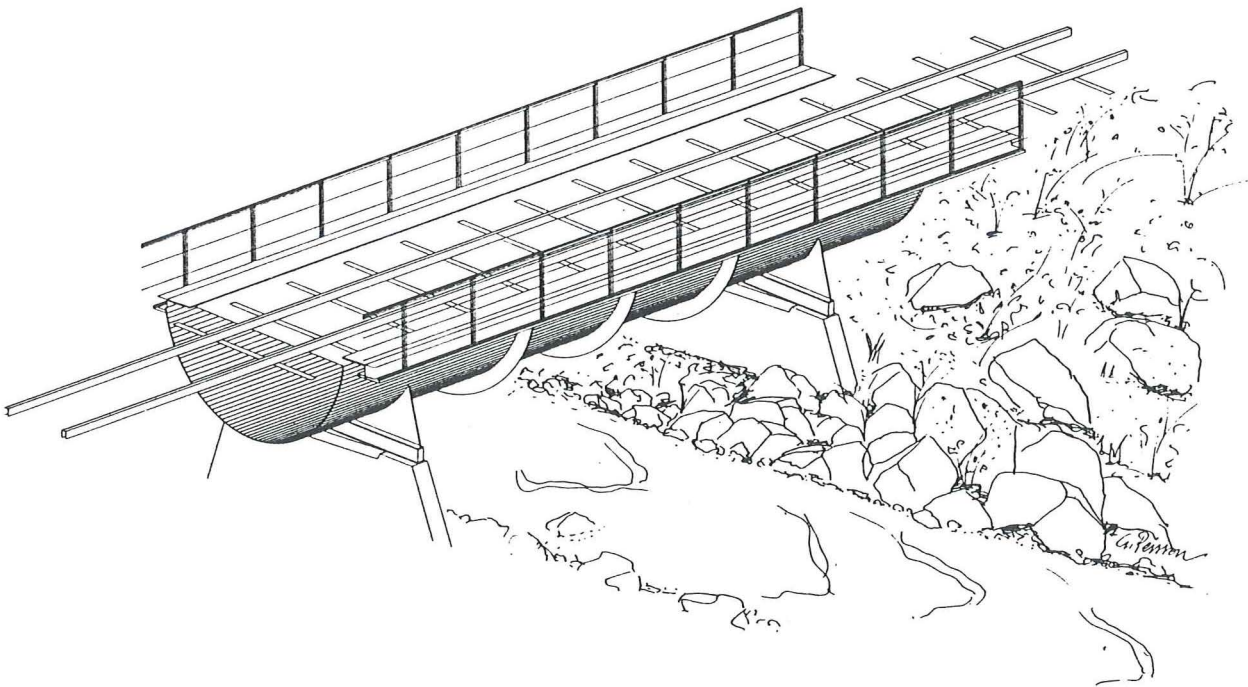
montering av bron kommer att ske. Efter färdigmålning av bron transporteras den fram till brostället. Inlyftning av bron beräknas ske med mobilkran. Därefter fylls tråget med ballast. Spåren kan nu läggas och justeras direkt.

Fördelar: - Låg stålvikt ger ett lågt pris
- Alla avstyvningar placerade utanpå bron ger möjligheter till ett bra korrosionsskydd

Nackdelar: - Hög konstruktionshöjd begränsar användningsområdet
- Hög egenvikt kan ge problem vid användandet av gamla brofundament

Följande var ett förslag till bro över Tvärån:

Spännvidd	15 m
Totalhöjd	2,5 m
Konstruktionshöjd	2,2 m
Stålvikt	1,0 ton/m
Egenvikt	10 ton/m



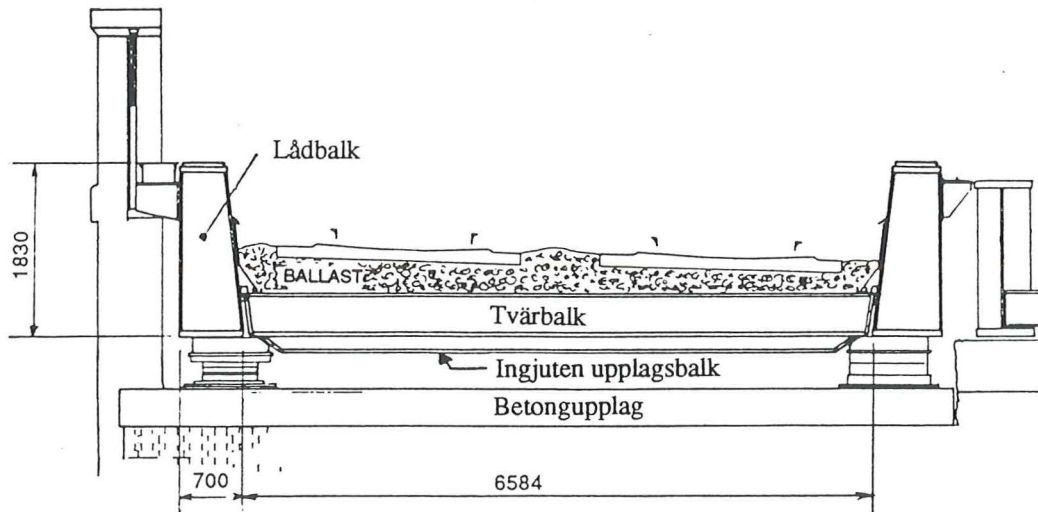
Figur 2.12 Skanska-bron

2.3.7 Bro i England

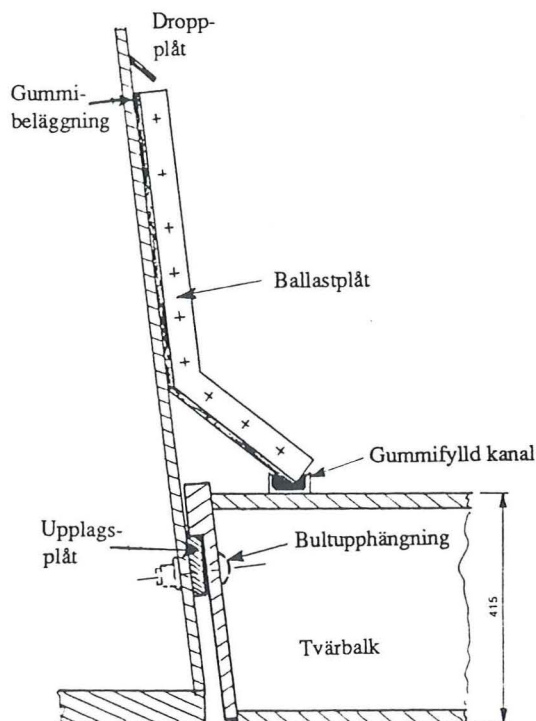
British Rail byggde 1989 en intressant bro. Bron är belägen över en livligt trafikerad huvudväg i stadsbebyggelse. Den gamla bron som var en järnkonstruktion byggd 1870, hade för dålig bärighet för de nya trafiklasterna, samt för hög bullernivå. Kraven man ställde på bron var: hög bullerdämpning, låg konstruktionshöjd, låg egenvikt och ett snabbt brobyte. Resultatet blev en stålbro med ett icke självbärande tråg. Bron färdigställdes på fabrik i lämpliga sektioner, så att den kunde monteras med mobilkran.

Det bärande systemet består av två lådbalkar (se figur 2.13). Krafterna förs ned från trågbotten via T-balkar som sitter fastbultade i lådbalken (se figur 2.14). För att förhindra korrosionsangrepp på insidan av lådbalkarna, placerade man en avfuktningssystem på insidan av balkarna.

Fakta om bron:	Spännvidd:	24,0 m
	Bredd:	8,0 m
	Konstruktionshöjd:	1,0 m
	Stålvikt:	6,6 ton/m



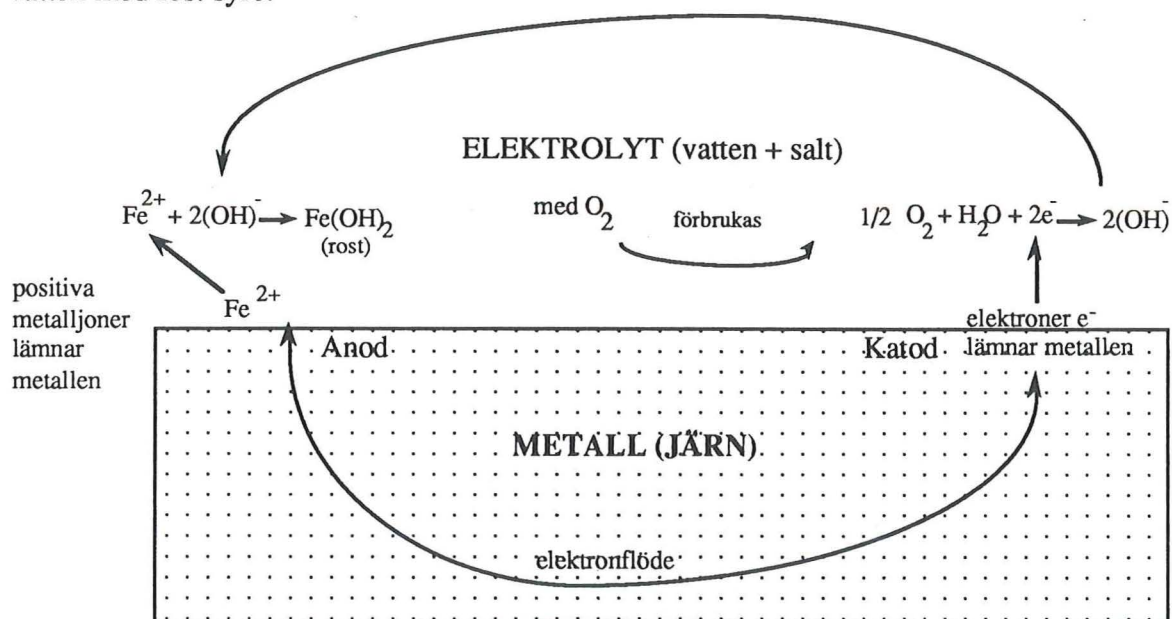
Figur 2.13 Tvärsnitt av den Engelska bron



Figur 2.14 Detaljbild av infästning och skyddsplåt

3. KORROSION

Korrosion är en elektrokemisk process, dvs ett förlopp där kemiska förändringar äger rum under inverkan av elektriska potentialskillnader. Genom potentialskillnader erhålles ett överskott av negativt laddade elektroner på vissa delar av metallytan (katoden) och motsvarande underskott på andra delar (anoden). Se figur 3.1, som visar korrosion av järn i vatten med löst syre.



Figur 3.1 Korrosion av järn i vatten med löst syre.

Elektronunderskottet vid anoden innebär att vissa metallatomer övergår till positivt laddade metalljoner, som kan gå i lösning eller förena sig med negativa joner, om en elektrolyt finns närvarande. Vid denna process förbrukas metallen, vilket kallas för att metallen korroderar. Korrosionsangreppet sker alltså vid de delar av metallytan som har positiv potential (anoden). För att korrosionsprocessen skall kunna fortgå fordras en elektronacceptor vid metallens katodyta. Den vanligaste elektronacceptorn är syre + vatten, som tar upp elektronerna och bildar hydroxidjoner. För att hydroxidjonerna skall kunna förflytta sig mellan katoden och anoden krävs en elektrolyt (vatten + t ex salt).

Korrosionshastigheten beror förutom på relativ fuktighet och syrehalt, även på temperaturen. Korrosionen ökar även med ökande halt av föroreningar. I luft sker praktiskt taget ingen korrosion då RF är lägre än 60 % eller då temperaturen är under $0^\circ C$. Miljön runt metallkonstruktionen har således avgörande betydelse för korrosionens förlopp och hastighet. Miljön har också stor betydelse för valet av rostskydd och för dess livslängd. Som hjälp vid val av rostskydd har korrosionsmiljön av Rostskyddsnormen indelats i fem miljöklasser M0 - M4. M0 är den minst aggressiva miljöklassen.

3.1 Normer

Banverket har utarbetat en egen norm kallad Järnvägsbronorm BVH 541.2. Normen bygger på Vägverkets Bronorm 88, men har anpassats till järnvägstrafik med en del ändringar och tillägg. Normen tar bl a upp minimikrav för målningsystem, garantitid, detaljkrav på ytbehandling under garantitid samt underhåll. För detaljkrav på målnings-system hänvisas till Bronorm 88 och BVH 541.2.

3.2 Exempel på korrosionstyper för stålbroar

Allmän korrosion

Sker med ungefär samma hastighet på hela ytan. Omfattningen kan anges genom vikt förlusten per ytenhet. Den här korrosionstypen sker i regel genom verkan av korrosionsceller utan särskiljbara anod- och katodytor. I kust och industrimiljö kan avfrätningen uppgå till 0,5 mm/10 år.

Gropfrätning

Är en lokal korrosion som ger frätgropar i metallytan. Vid denna typ av korrosion verkar i allmänhet korrosionsceller med särskiljbara anod- och katodytor. Detta resulterar i en större korrosionshastighet än allmänkorrosionen.

Spaltkorrosion

Förekommer vid små trånga utrymmen som vätskefylls. Exempel på dessa är:

- mellan plåtar i skruv- och nitförband
- vid svets skarvar
- mellan stålplåtar och betongfundament

Korrosionsutmattning

Då ett material utsätts för växlande belastningar (t ex järnvägsbroar) kan skador uppstå, fast belastningen ger upphov till spänningar som ligger betydligt lägre än materialets brottspänning. Om detta sker tillsammans med korrosion, vilket påskyndar skadeprocessen avsevärt, talar man om korrosionsutmattning. Tiden tills korrosionsutmattningsbrott beror av antalet belastningsväxlingar och storlek på belastning. Resultatet påverkas också av frekvensen hos belastningsväxlingarna och belastningskurvans form, se också avsnitt 2.2.6.

3.3 Rostskyddsbehandling

Den vanligaste metoden för rostskydd av stålkonstruktioner är rostskyddsmålning. Förutom miljön och konstruktionsutformningen är följande faktorer avgörande för livslängden hos en rostskyddsmålning:

- förbehandling
- färgmaterial
- skiktjocklek
- applicering

En rostskyddsmålning kan i princip skydda stålytan på tre sätt:

Isolering: En tät färgfilm som inte släpper igenom fukt, syre och kemiska föroreningar. Förutsätter god vidhäftning.

Passivering: Rostskyddspigment som aktivt hindrar korrosionen t ex blymönja, zinkkromat och zinkfosfat. Måste alltid kombineras med isolering av ytan.

Katodiskt skydd: Beläggning av stålytan med en metall som är oädlare än stål, vanligtvis zink. Katodisk skyddsverkan bör kombineras med isolering av ytan. Vid målning med färger med hög halt metallisk zink erhålls både katodisk skyddsverkan och isolering av ytan.

3.3.1 Förbehandling

För att få ett bra rostskydd måste förbehandlingen utföras med största noggrannhet. Med förbehandling avses rengöring av stålytan från rost, valshud, fett, smuts och andra föroreningar. Den ska även ge underlag för god vidhäftning mellan färg och stålyta. De förbehandlingsmetoder som förekommer är: blästring (förkortas Sa), skrapning och stålborstning (förkortas St). Förbehandlingen indelas i noggrannhetsgrader 1, 2, 2 1/2, 3, där 3 är högst noggrannhetsgrad, ren metallyta, (för närmare beskrivning se SIS 055900).

3.3.2 Färgmaterial

En komplett rostskyddsmålning är uppbyggd av två eller flera färger som kompletterar varandra.

Grundfärgen ska ha god vidhäftning till underlaget, förhindra rostspridning samt isolera ytan.

Mellanfärgen ska ha god vidhäftning mot grundfärgen och ytterligare isolera ytan. Används i vissa fall för att bygga upp den totala skiktjockleken, därför läggs den ofta på i tjocka skikt. Kan förstärkas med speciella pigment som ger ett tätare och mindre fuktgenomträngligt skikt, t ex järnglimmer.

Täckfärgen ska vara tät samt beständig mot sol, fukt och föroreningar. Samtliga färger i ett färgsystem bör ges olika kulör eller nyans så att både målare och kontrollant kan se vilka skikt som pålagts.

3.3.3 Skikttjocklek

Färgskiktets tjocklek är av avgörande betydelse för rostskyddsmålningens beständighet och livslängd. Grundfärgen måste ha tillräcklig skikttjocklek för att täcka alla ojämnheter i ytan. Tjockleken bör därför överstiga 40 µm. Livslängden hos en rostskyddsmålning är grovt räknat proportionell mot den totala skikttjockleken.

3.3.4 Applicering

Applicering av hela målningssystem inklusive täckskikt ska som regel göras helt färdigt i verkstad eller målningstation. Målning sker idag oftast genom sprutmålning. Penselmålning används bara för mindre underhåll- och reparationsarbeten. Vid målning utomhus måste man beakta hur kyla, regn, fukt och stark solvärme påverkar resultatet.

3.3.5 Färgtyper

Färgtyper som rekommenderas för utomhuskonstruktioner är bl a dessa:

Alkydfärger

Billiga och lätta att applicera. Som rostskyddspigment används t ex zinkfosfat. Alkydfärgen har god väderbeständighet i ren atmosfär, dess vattenbeständighet är begränsad. Användningsområde miljöklass M0 -M2.

KP-färger

Baserade på klorkautschuk, vinyl eller lösningsmedelbaserad akryl som bindemedel. Bra rostskyddsfärger för svåra påfrestningar. Vattenbeständigheten är mycket god. Användningsområde miljöklass M1 - M4.

Epoxifärger

Tvåkomponentfärger som ställer höga krav på applicering. Epoxi har utmärkt beständighet mot vatten, kemikalier samt mekanisk påverkan. Korrosionsbeständigheten utomhus är utmärkt, men härdigheten mot UV-ljus är mindre god. Vidhäftningsförmågan mot zink är bra, och som grundfärg rekommenderas normalt zinkrik färg. Användningsområde är miljöklass M3-M4. En viss sprickrisk har observerats vid användande av dessa färger i de fall då mekanisk påverkan sker samtidigt.

Tjärepoxi

Är en modifierad epoxifärg. Tjärepoxin är mycket robust med utmärkt väder-, vatten- och mekanisk beständighet. Den finns i två former nämligen mörk (tjärmodifierad) och ljus (hartsmodifierad). Den mörka tjärepoxin har bättre vattenbeständighet och används för konstruktioner utsatta för vatten. Användningsområde är miljöklass M3 - M4.

Polyuretanfärg

Täckfärg som används då man vill ha en mycket väderbeständig, blank och mekaniskt hållbar yta. Färgen har utmärkt vattenbeständighet, samt hög beständighet mot mekanisk nötning. Användningsområde är miljöklass M3 - M4.

Zinksilikatfärg

Zinkrik tvåkomponentfärg med silikat som bindemedel. Används som grundfärg i de mest högbeständiga rostskyddssystemen för utomhusbruk. Som täckfärg används KP-färg eller epoxi. Användningsområde miljöklass M3 - M4.

Blymönja

Används som grundfärg vid manuell underhållsmålning. Ytan behöver ej sandblästras och färgen kan därför användas vid trånga utrymmen där man inte kommer åt med sandblästring.

Bitumenfärger och varmasfalt

Används vid konstruktioner som ska utsättas för vatten eller stark fuktig atmosfär, då förbehandlingen endast är skrapning eller borstning.

3.3.6 Förzinkning

Efter målning är förzinkning den vanligaste rostskyddsmetoden. Förzinkning skyddar stålet på tre sätt:

- isolering av ytan
- zink korroderar mycket långsammare än stål
- katodiskt skydd genom att zink är oädlare än stål

Varmförzinkning

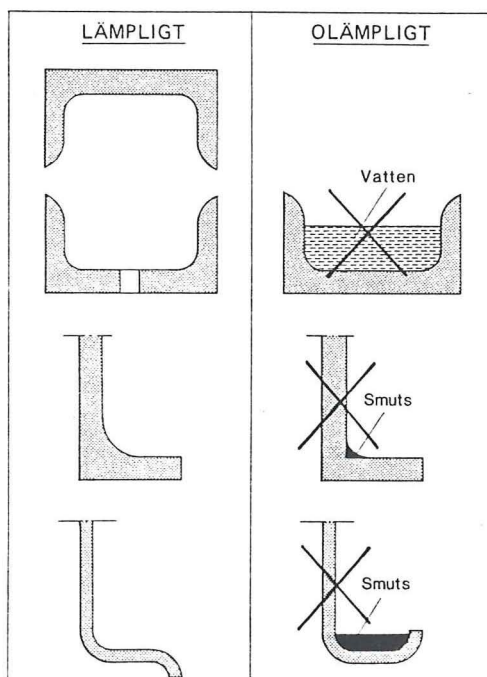
Varmförzinkning ger ett mycket gott rostskydd med lång livslängd. Livslängdskostnaden för en varmförzinkning blir ofta lägre än för en kvalificerad rostskyddsmålning. Används främst för konstruktioner där det är svårt att komma åt med blästring och målning. Varmförzinkning är lämpligt för ihåliga konstruktioner, då man automatiskt får en skyddsbeläggning på insidan. Slutna konstruktioner måste förses med luftningshål, i annat fall finns risk för att konstruktionen kan sprängas när den förs ned i det heta zinkbadet. Svetsade konstruktioner kan varmförzinkas, men viss risk finns för deformationer och sprickor.

Sprutförzinkning

Sprutförzinkning kan användas då ytorna är för stora för varmförzinkning, eller då man behöver en kompletterande förzinkning vid svetsställen. Som förbehandling för sprutförzinkning krävs blästring till noggrannhetsgrad Sa 2 1/2. Sprutförzinkning är en dyr metod samt svårt att utföra på befintliga konstruktioner. Vid förbättring av svetsställen kan man som alternativ använda en zinkrik färg. Galvanopasta är en sådan färg som består av zinkpulver (> 92%) i epoxiester eller akrylharts. Pastan blir självklart inte så beständig som sprutförzinkning eller varmförzinkning.

3.4 Konstruktiv utformning

Rostskyddet ska planeras redan på konstruktionsstadiet, både vad gäller konstruktiv utformning och valet av rostskyddssystem. Den konstruktiva utformningen har nämligen stor betydelse för konstruktionens motståndskraft mot korrosion. Konstruktionens utformning betyder även mycket för möjligheten att applicera rostskyddet samt för framtida underhåll.



Figur 3.1 Undvik sådan utformning att "fickor" med kvarstående vatten eller smuts uppkommer

Några regler för den konstruktiva utformningen är:

- Jämna och släta konstruktioner eftersträvas. Avstyvningar och andra påsvetsade delar bör undvikas där det går, det är ofta både billigare och bättre att öka gods tjockleken.
- Trånga anslutningar, vrår och spalter som kan ansamla smuts och fukt ska undvikas. Detta är punkter där korrosion först börjar uppträda och kan accelerera.
- Skarpa hörn och kanter bör undvikas. Där får man ofta tunnare skikt-tjocklek vid rostskyddsmålning. Radien bör vara större än 3 mm.
- I sammansatta konstruktioner måste man vara noga med att tätsvetsa för undvikande av spaltkorrosion och eventuell sprängverkan.
- Ytor där vatten- eller fuktansamlingar kan ske ska undvikas eller förses med väl tilltagna dräneringshål i varje fack. Dräneringshål bör ha en diameter på minst 20 mm. Dropp bör ej ske på andra konstruktionsdelar.

- Slutna konstruktioner bör utföras tätsvetsade. Konstruktioner där vatten kan tränga in förses med dräneringsöppningar i lågpunkter.
- Direkt sammanfogning av olika metaller bör om möjligt undvikas. Måste man använda olika material ska dessa för undvikande av galvanisk korrosion isoleras från varandra. Exempelvis genom isolerande mellanlägg.
- I sammansatta konstruktioner och konstruktionsdelar ska det finnas utrymme för applicering och underhåll av rotskydd.

Moderna svetsade konstruktioner har renare och slätare ytor än gamla nitade konstruktioner. Detta är gynnsamt för rotskydd och livslängd. Inte minst gäller detta för moderna stålbroar med jämna släta plåtbalkar eller lådbalkar i jämförelse med gamla nitade fackverkskonstruktioner. Man kan därför förvänta sig bättre motståndskraft och längre livslängd hos moderna konstruktioner.

3.5 Skydd mot mekanisk påverkan

När ett tåg passerar en trågbro kommer ballastmaterialet i tråget att röra sig. Denna rörelse i kombination med den stora tyngd som ligger an mot trågbotten gör att trågbotten utsätts för en stor mekanisk påverkan. För att rotskyddet inte snabbt skall nötas bort behövs ett mekaniskt skydd. Detta skydd kan ha olika uppbyggnad, men det bör vara relativt mjukt och följsamt.

Ett skydd som man har använt inom Banverket under lång tid är en asfaltsmassa (Mastix). Denna massa består av ungefär 15 % asfalt OA 65, 25 % finsand 0,2 mm, 40 % kalkstensmjöl, 20 % stenkross 1-3 mm. Under asfaltmassan har man ofta ett rotskydd uppbyggt av ett epoxisystem.

Ett annat sätt är att kombinera rotskydd och mekaniskt skydd. Då används en gummi-polyuretanblandning som kan sprutas på i önskad tjocklek. Det här materialet som går under namnet Procoat 2010 i Sverige har en hög elasticitet. Vid temperaturer på -30°C har det en töjningsgrad på 62 %. Denna typ av skydd har ännu inte använts i Sverige men är inprojekterad i en del nya broar. För ytterligare produktinformation hänvisas till Sune Nygren på Procoat Innovation AB.

I Norge har man byggt trågbroar under lång tid, och har skaffat sig en stor erfarenhet av dessa. Där har man uppmärksammat en del problem med de broar som belagts med olika epoxisystem i trågbottnar (Erik Jensen Metalliseringsverket AF). Epoxi som är mycket hårt och sprött har spruckit sönder, vilket har medfört vatteninträning och rostskador. Faktorer som kan ha orsakat detta är förutom stålets stora temperaturberoende, de stora växelspanningar som en järnvägsbro utsätts för. Detta medför att ett bra rotskydd måste ha en viss elasticitet så att det kan följa med stålets rörelser.

En motsägande uppgift om epoxisystemens problem har vi fått från Deutsche Bundesbahn. I Tyskland har man använt epoxisystem på trågbottnar under 25 år, under den tiden har man inte kunnat påvisa några problem med dessa.

3.6 Exempel på rostskyddssystem för ståltråg

Nedan följer några exempel på rostskyddssystem som projekterats för ståltrågsbottnar. För behandling av övriga delar av tråget hänvisas till Banverkets föreskrifter.

Bro över Svartån

Ritningsnummer: B 506
Byggnadsår: 1984
Rengöring: sandblästring Sa 2 1/2
Grundmålning: zink-silikatfärg >70 µm
Täckmålning: klorkautschuk >100 µm
Mekaniskt skydd: asfaltsmassa typ Mastix 10 mm

Bro över Korsnäsån

Ritningsnummer: B 6421
Byggnadsår: 1987
Rengöring: sandblästring Sa 2 1/2
Grundmålning: zinketylsilikatfärg >75 µm
Täckmålning: lösningsmedelfri tjärepxi >2000 µm
Mekaniskt skydd: asfaltsmassa typ Mastix 10 mm

Projekterad bro över Våljeån

Ritningsnummer: B 1292
Byggnadsår: planerad till 1993
Rengöring: sandblästring Sa 2 1/2
Grundmålning: Procoat washprimer 5-10 µm
Täckmassa: Bottenplåt 20 mm Procoat
Sidoplåtar 8 mm Procoat

Projekterad bro över Mellansundet

Byggnadsår: planerad till 1993
Rengöring: sandblästring Sa 2 1/2
Grundmålning: Procoat washprimer 5-10 µm
Täckmassa: Procoat 2010, 2-komp. elastisk
gummipolyuretanmassa >4 mm

4. BULLERMÄTNING

För att ge en uppfattning om skillnad i bullernivå hos stål- och betongtrågbroar med genomgående ballast kommer data från mätningar att presenteras. För mätningarna utvaldes följande järnvägsbroar: Tierp, Korsnäs, Marma och Odenslätt. Broarna är belägna i Dalarna och norra Uppland. De två första är av stål och de två senare av betong. Stål och betongbroarna har inbördes likartade konstruktionslösningar, detta gör att möjligheterna att eliminera störande inverkan från omgivningen ökar. För detta ändamål krävs även en modell för korrigerande av omgivningens inverkan, vilken kommer att presenteras senare. Kapitlet inleds med en kort genomgång av den teori i akustik som är nödvändig för förståelsen av resultaten från bullermätningarna.

4.1 Akustik

Ljudet utgörs av små snabba tryckväxlingar kring rådande atmosfärstryck. Tryckväxlingarna kallas ljudtryck och dess medelvärde är noll. Vi måste därför beskriva ljudtrycket på annat sätt än med dess medelvärde. Om man kvadrerar ljudtrycket och tar medelvärdet av kvadraten får man ljudtryckets varians. För att få effektivvärdet, vilket svarar mot standardavvikelsen, drar man roten ur detta värde. Enheten för ljudtryckets effektivvärde är Pascal. Bestämning av effektivvärdet kan ske över såväl tid som rum. Det senare innebär att mikrofonen flyttas mellan olika mätpunkter. Ljudmätande instrument ger vanligen inte effektivvärdet som utdata. Istället används en logaritmisk skala, decibelskalan. I denna relateras det mätta effektivvärdet till en referensnivå. Referensnivån brukar väljas som det svagaste ljudtryck örat kan uppfatta vid 1000 Hz, detta ljudtryck kommer då att motsvara 0 dB. Mätvärden uttryckta i decibel kallas ljudnivå eller nivå.

Uttrycket för ljudtrycksnivå är:

$$L_p = 20 \log (p/p_{\text{ref}}) \text{ dB} \quad (4.1)$$

L_p = ljudnivån

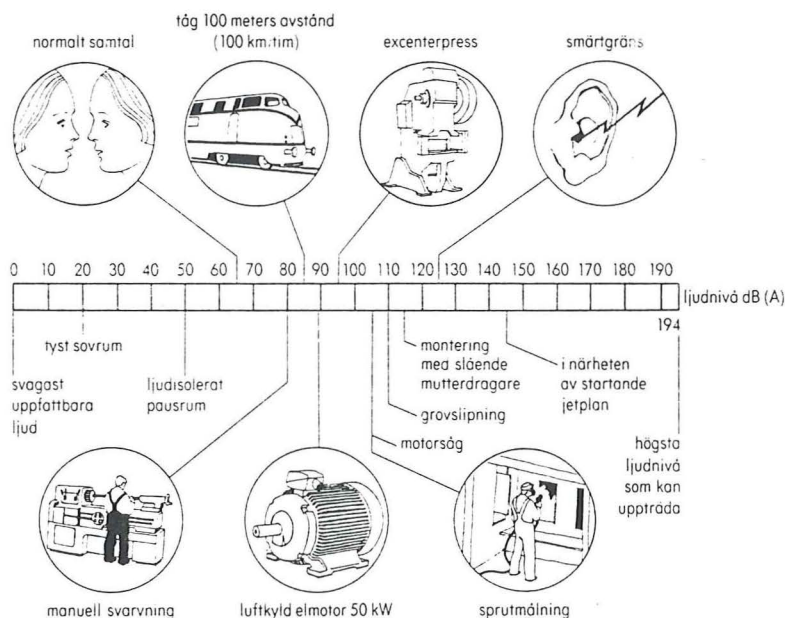
p = ljudets effektivvärde

p_{ref} = vald referensnivå, vanligen $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

I en del akustikböcker påstås hörseln vara logaritmisk, men detta stämmer inte. Den upplevda styrkan är nästan proportionell mot ljudets effektivvärde. En fördubbling av ljudtryckets effektivvärde ökar nivån med 6 dB. Denna tumregel stämmer bäst i området 30-50 dB. För högre nivåer upplevs en ökning på 9 dB som en fördubbling av hörstyrkan.

Eftersom hörseln är olika känslig vid olika tonhöjdsområden är det väsentligt att känna till vilka delar av ljudets effektivvärde som hör till olika tonhöjdsområden. Beroende på hur detaljerade upplysningar man är ute efter används huvudsakligen tersbandsfilter och okt-avbandsfilter. Vid bullermätningar används vanligen det senare. Ljudmätningstrustningarna är även utrustade med en annan typ av filter. Dessa är inte av bandkaraktär, vilka spärar stora delar av tonhöjdsområdet, utan tar med hela spektrumet.

För att anpassa det avlästa värdet något till hörselns egenskaper adderas istället reduktions-tal, vilkas storlek skiljer sig mellan de olika oktaverna, till de uppmätta värdena. Dessa vägningsfilter har fått beteckningarna A, B och C filter. Det filter som framför allt används vid bullermätning är A-filtret. A-filtret dämpar relativt mycket i basområdet. Detta stämmer väl med att hörtröskeln där ligger betydligt högre.



Figur 4.1 Illustrering av decibelskalan [24]

4.2 Beräkningsmodell

För att kunna jämföra mätningar utförda vid olika broar behövs en korrektionsmodell. Modellens uppgift är att genom olika korrektioner justera det uppmätta värdet så att det kommer att motsvara en fiktiv mätning vid standardiserade förhållanden. Förutsättningarna för denna fiktiva mätning är:

- Tio meters mätavstånd
- Eldrivet lok som kör med konstant hastighet av 80 km/h
- Hård mark (se förklaring under "Markkorrektion")
- Inga störande ljud och vindstilla

Modellen bygger på data från [8] och [9].

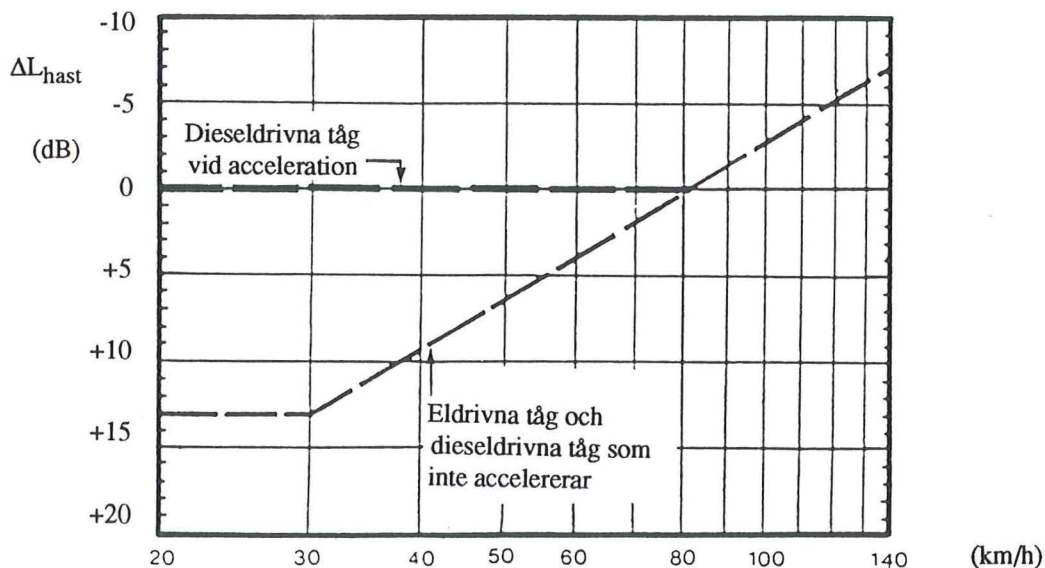
4.2.1 Utgångsvärde

Utgångsvärdet utgörs av den på platsen uppmätta bullernivån. Mätningen utförs med instrumentinställningen "slow". Detta innebär att det av instrumentet visade värdet är ett

medelvärde av bullernivån under en tidsperiod. Fördelen med detta är att kortvariga extremvärden inte nämnvärt påverkar mätresultatet. Resultatet av mätningen uttrycks i dBA, sammanvägt för hela frekvensspektrumet.

4.2.2 Hastighetskorrektion

Bullernivån påverkas till stor del av tågets hastighet. Korrektion för skillnad i tåghastighet framgår av figur 4.2.

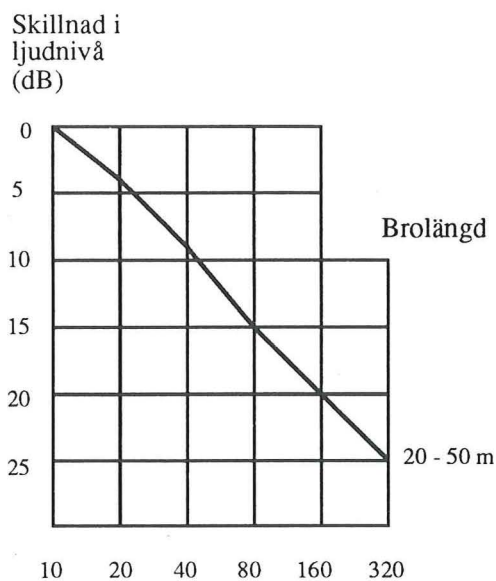


Figur 4.2 Korrektion för skillnad i tåghastighet [9]

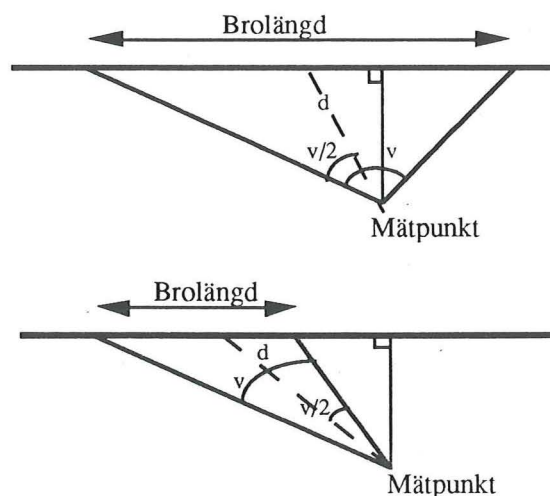
4.2.3 Avståndsdämpning

Med avståndsdämpning avses en sänkning av ljudnivån beroende på att ljudet sprider sig. Beroende på ljudkällans egenskaper kan två olika modeller för ljudspridning användas. I den första utgörs ljudkällan av en i förhållande till mätavståndet lång sträcka. Detta kallas en linjekälla. Från en linjekälla sprids ljudet cylindriskt. Man kan visa att detta medför att varje gång avståndet till källan fördubblas kommer man att få en dämpning på 3 dB. Den andra möjligheten är att man har en i förhållande till mätavståndet liten ljudkälla. Detta kallas en punktkälla. Från en punktkälla kommer ljudet att sprida sig sfäriskt. För sfärisk ljudspridning får man en dämpning på 6 dB varje gång som avståndet till källan fördubblas.

Vid bullermätning på broar kommer bron att vara den dominerande ljudkällan, banvallen kommer endast att ge ett mindre tillskott. Som längd på ljudkällan kommer därför bronns längd att användas. Med hjälp av figur 4.3 kan korrektion göras för skillnader i avstånd från mät punkt till bullerkällan. Beräkningen av avståndet från mät punkten till bullerkällan framgår av figur 4.4.



Figur 4.3 Korrektion för avståndskillnad (m)

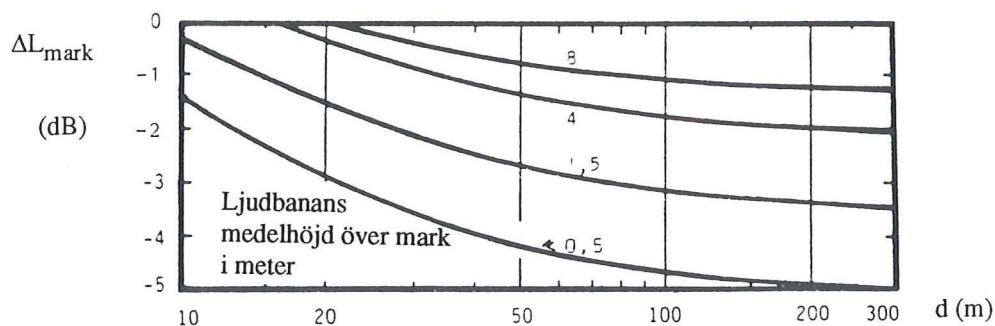
Figur 4.4 Beräkning av mätsträckan, d (m)

4.2.4 Tågtypskorrektion

Bullernivån mellan el- och dieseldrivna tåg skiljer sig enligt figur 4.2 inte nämnvärt. Endast då det dieseldrivna tåget accelererar behöver korrektion göras. Enligt [9] är skillnaden i ljudnivå mellan gods- och passagerartåg försumbar. För elektriska motorvagnståg X1, X9 och X10 adderas 3 dBA till det uppmätta värdet.

4.2.5 Markkorrektion

Mark som består av asfalt, vattenyta etc betraktas som hård. Med detta menar man att dess ljuddämpande förmåga är försumbar. Åker, snö etc anses däremot vara mjuka. För dessa får man en dämpning som är beroende av avstånd och medelhöjd över mark mellan bullerkälla och mätpunkt se figur 4.6. När det ligger snö på bro och banvall kan man anta en dämpning på 1 dB i vår bräkningsmodell.

Figur 4.5 Korrektioner för mjuk mark [9], d = avstånd från banans mittlinje, (m)

4.2.6 Skärmkorrektion

För beräkning av skärmkorrektion hänvisas till [9]. I de här utförda mätningarna har bara skärmning av icke önsvärda ljud förekommit, t ex bilbuller och buller orsakat av tåg på banvall.

4.2.7 Inverkan av störande buller

Vid mätning kan det vara svårt att undvika störningar från icke önskade bullerkällor. Dessa källor kan t ex vara buller från en närliggande väg, eller del av tågset som befinner sig på banvallen. Känner man till bullernivån från dessa störande källor kan man lätt eliminera inverkan från dessa på mätresultatet. Antingen korrigerar man enbart för den största bullerkällan eller, vilket är bättre, korrigerar man för en sammanlagd bullernivå för alla störande bullerkällor. Utgångsvärdet för korrektionen fås genom att ta skillnaden mellan det erhållna mätvärdets ljudnivå och bullerkällans ljudnivå. Korrektionen blir enligt tabell.4.1.

Differens	0-1	2-3	4-9	>9
ΔL (dB)	-3	-2	-1	0

Tabell 4.1 [9]

4.2.8 Mät höjdskorrektio n

I vissa fall kan det vara svårt att placera mätstationen så att denna hamnar i nivå med bullerkällan. Vid stålbroar är bullernivån under bron något högre än den i jämnhöjd med spåret, varför man bör tänka på att placera mätstationen i samma höjdläge vid samtliga mätstationer. För betongbroar är denna skillnad i allmänhet försumbar.

4.2.9 Mätförfarande

Även om vi försökt skapa en modell för korrektioner av skillnader i mätningförutsättningar, så är det en fördel om man vid själva mätningen försöker få så lika förutsättningar som möjligt. Noggrannheten blir större då korrektioner ej behöver göras, eftersom korrektionerna är förenklingar. Bäst placerar man sig så att man har hård mark fram till mätobjektet (t ex vatten eller asfalt) och mjuk mark fram till resterande banvall, eftersom mjuk mark bättre dämpar det störande tågbullret. En sådan placering fås ofta automatiskt då broarna går över vattendrag eller vägar. Mätavståndet var normalt ca 25 m vid våra mätningar.

Som mätinstrument valdes ett enkelt handhållet instrument med inbyggd mikrofon, vilket är fullt tillräckligt vid denna typ av mätning. Mätningarna utfördes med mätinställningen slow, så att korta maxvärden inte tilläts slå igenom. Nu erhöles istället ett medelvärde över en tidsperiod. Vidare användes mätenheten dBA vilket är brukligt vid bullermätningar.

Tågens hastighet bestämdes genom att en bestämd sträcka av spåret uppmättes med måttband, denna sträcka dividerades sedan med den tid det tog för tåget att passera sträckan.

4.3 Resultat av mätningar

Tabellen nedan visar resultat och korrigeringar enligt vår beräkningsmodell. De broar som mätningar gjorts på är ståltråg och betongtråg. För närmare tekniska och geografiska data på broarna hänvisas till bilaga 1-4.

Bro	Utgångs värde	Korrekationer (dBA)					Korrigerat värde
		Hastighet	Avstånd	Tågtyp	Mark	Buller	
Korsnäs stål	71	9	4	0	1	0	85
	72	4	4	3	1	0	84
Tierp stål	80	2	5	0	0	0	87
	82	2	5	3	0	0	92
	82	2	5	0	0	0	89
Marma betong	80	-4	4	0	0	0	80
Odenslätt betong	84	-6	5	0	0	-1	82

Tabell 4.2 Bullerresultat av egna mätningar mellan ståltråg och betongtråg

4.3.1 Slutsatser

Av mätningresultaten kan man utläsa att stålträgsbroarnas medelvärde ligger på ca 87 dBA och att betongträgsbroarna har ett medelvärde på 81 dBA. Variationen mellan stålbroarnas ytterlighetsvärden är 8 dBA, medan betongbroarna har en variation på 2 dBA. Betongbroarna har en medelbullernivå som ligger ca 6 dBA under stålbroarna. Resultatet stämmer med tidigare mätningar, de visar nämligen att betongträgsbroar har en bullernivå som understiger stålträgsbroarna med 5-10 dBA.

5. Bullerdämpning

Av mätningarna i förgående kapitel framgår att bullernivån var märkbart högre för stål-trågsbroar än för betongtrågsbroar. I detta kapitel ska metoder för att minska bullret från järnvägsbroar i allmänhet och ståltrågsbroar i synnerhet behandlas.

5.1 Introduktion

Det buller som man hör när ett tåg passerar på banvallen består av två huvuddelar: aerodynamiskt fartbuller, samt från spår och hjul direkt utstrålat ljud. När tåget passerar en bro tillkommer buller som härrör från stomljud i brokonstruktionen. Med stomljud avser man mekaniska svängningar inom det hörbara frekvensintervallet. Några viktiga egenskaper hos stomljud är:

- Stomljud ger upphov till ljudutstrålning
- Stomljud uppkommer lätt men är svårt att eliminera
- Stomljud överförs lätt över stora sträckor
- Vid extremt stora amplituder kan de upprepade svängningarna leda till akustisk utmattning

Ett flertal mekanismer kan ge upphov till stomljud t ex: korta stötar, periodiska krafter, rörliga tidskonstanta krafter så kallade rullförlopp. Stomljudet kan bestå av flera olika rörelseförlopp i materialet: longitudinella vågor, t ex kompressionsvågor; transversella vågor, t ex skjuvvågor; böjsvängningar. För uppkomsten av luftljud har böjsvängningarna den största betydelsen.

Vid de ovannämnda angreppsmekanismerna finns det följande grundmetoder för att hålla nere bullernivån i en stålkonstruktion:

- a. Höjning av den mekaniska impedansen vid angreppsstället
- b. Avskiljning genom elastisk upplagring
- c. Dämpning genom energiuttag från stomljudet

Vad som menas med impedans under punkt a. ovan är inte helt självklart. Den som intresserar sig mera för teorin bakom hänvisas till [10]. Annars räcker det att känna till att man med hjälp av impedansen räknar fram en vibrationshatighet (hur snabbt partiklarna svänger fram och tillbaka i materialet) enligt följande:

$$v = F/Z \tag{5.1}$$

v vibrationshastigheten
F den angripande kraften
Z impedansen

Problemet med buller i brokonstruktioner kan delas in i fyra delar. I var och en av de fyra

delarna kan olika metoder för att dämpa bullret eller förhindra att det uppkommer tillgripas. De fyra delarna är:

1. Systemet hjul/skena

Dämpning av de, beroende på rullförloppet i skena och hjul, uppkomna böjsvängningarna.

2. I systemet skena/stålbärverk

Minska spridningsmöjligheten genom elastiska upplag för skenorna, ökning av trögheten genom att öka massan med t ex ballast (makadam). Ballasten kommer även att öka konstruktionens dämpning. Dämpningen kan sedan ytterligare ökas genom att placera en underlagsmatta under ballasten.

3. I själva bärverket

Dämpning av de inducerade böjsvängningarna, detta gäller främst stålkonstruktioner.

4. Sekundär dämpning med hjälp av bullerskärmar.

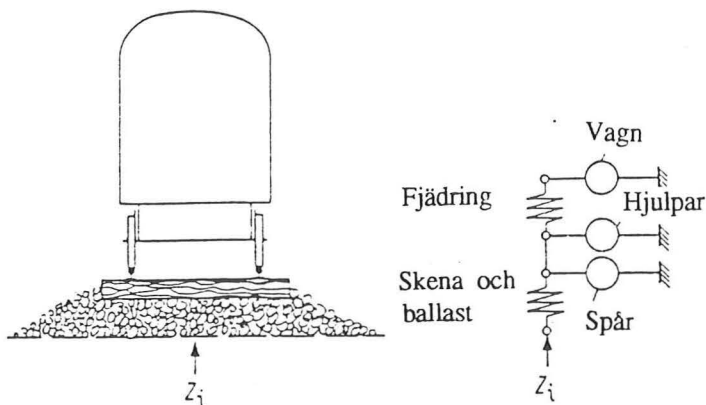
En fullständig utredning av dessa fyra punkter ligger utanför ramen för detta examensarbete. Här kommer endast dämpande underlagsmattor och dämpning i själva stålkonstruktionen att presenteras närmare.

5.2 Underlagsmattor för ballast

Avsnittet om dämpande underlagsmattor bygger främst på en bearbetning av artiklen "Einfügungsdämmmaß von Unterschottermatten" [11] och "Unterschottermatten auf einer Eisenbahnbrücke in Stahlbeton-Verbundbauweise" [12]. I artiklarna har man valt att studera en speciell produkt, Sylomer underlagsmattor. För enkelhetens skull kommer även här denna enda produkt att presenteras, men det finns även andra fabrikat för samma ändamål, t ex TICO och Trelleborg.

5.2.1 Modelling av stomljudsutbredning

Eftersom stomljuds utbredningshastighet är stor i jämförelse med tågets hastighet kan tåget ses som två stationära linjekällor. Utbredningen av stomljud från dessa linjekällor kan modelleras på olika sätt. En möjlighet är att betrakta bidraget från de två källorna (skenor) i en punkt mitt emellan dessa. Om man försummar dissipationen (förluster beroende på omvandling till bl a värmeenergi) kan man utgå från att stomljudet utbreder sig lodrät ner genom ballasten. Detta medför att man kan bortse från den radiella divergensen. Approximationen kompenseras genom antagande av en något högre utbredningsförlust. Förutsättningarna för modellen är: passiva överföringselement som här modelleras med fjädrar, se figur 5.1. Fjädrarna bildar ett linjärt system som binder samman krafter och hastigheter vid de båda ändarna. Samband mellan kraft och vibrationshastighet kan beräknas med hjälp av impedansen.



Figur 5.1 Överbyggnad med tåg och deras modellering med fjädrar och massor [10]

5.2.2 Tillskottsdämpning

Differansen mellan stomljudsnivåerna som uppträder i en brokonstruktion med och utan underlagsmatta betecknas som tillskottsdämpningen, ΔL_e , för underlagsmattan. Det bör observeras att även om dämpningen av stomljuds nivå motsvaras av en sänkning av luftljudnivån, så kommer den beräknade sänkningen att bli betydligt större än den som kommer att uppmätas på plats. Detta beror på att stomljudet bara utgör en del av det totala bullret. Som jämförelse kan nämnas att den sammanlagda bullernivån från två lika stora källor kommer att vara 3 dB högre än bullernivån från de enskilda källorna. Vid beräkning av tillskottsdämpningen för ett tunt skikt, som enbart är verksamt med sin styvhet s_M , används ekvation:

$$\Delta L_e = 20 \lg \left| 1 + \frac{j\omega s_M}{\frac{1}{Z_i} + \frac{1}{Z_a}} \right| \text{ dB} \quad (5.2)$$

Z_i den från ovasidan av mattan till källan för stomljudet verksamma impedansen, källimpedansen

Z_a den från undersidan av mattan verksamma impedansen, avslutningsimpedansen

ω vinkelhastigheten

s_M mattans fjäderstyvhet

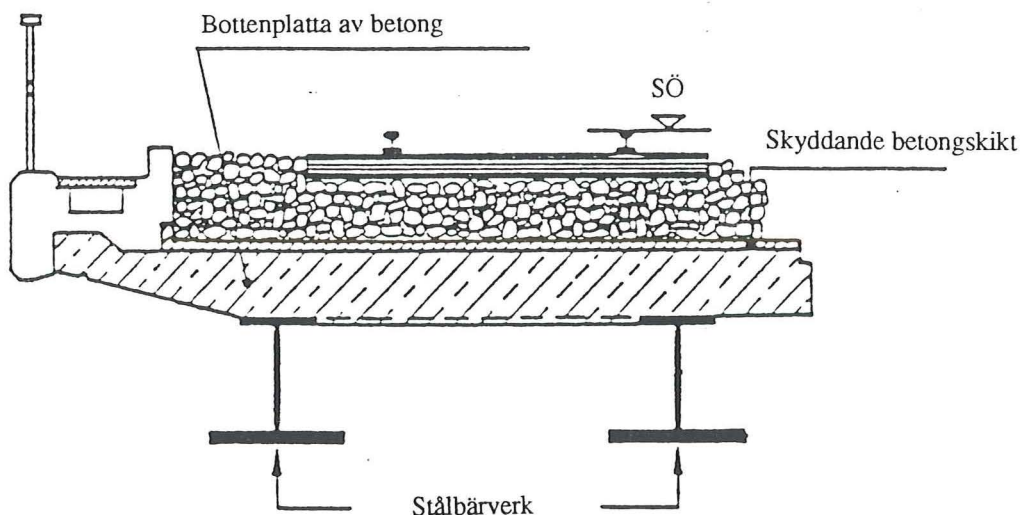
j imaginär storhet

Ekvation (5.2) visar att fjäderstyvheten s_M ska vara så låg som möjligt för att en så stor dämpning som möjligt ska kunna uppnås. Hur låg fjäderstyvhet som kan väljas begränsas av risken för genomslag. Faktorer som påverkar risken för genomslag är: ballastens höjd, slipers dimensionerna, avstånden mellan slipers, spårtyp, tillåtna axeltryck, maximal hastighet.

I många fall är avslutningsimpedansen försumbar, men detta gäller inte alltid. Särskilt vid stålbroar måste dess inverkan ofta beaktas. Hur man går tillväga för att avgöra när avslutningsimpedansen är försumbar beskrivs närmare i [13]. Här kommer beräknade och mätta värden där avslutningsimpedansen är försumbar att presenteras. Anledningen till detta är att förståelsen för teorin bakom underlättas.

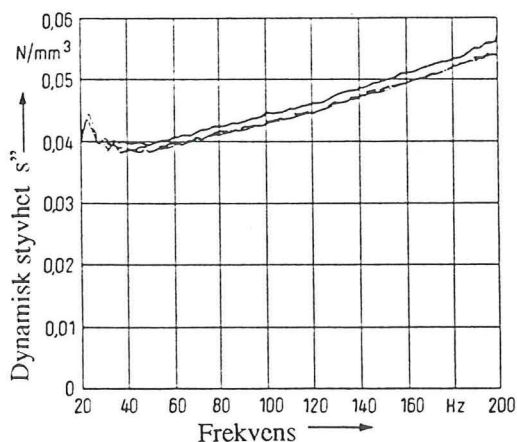
5.2.3 Undersökningsobjekt

Den bro som undersökts är en samverkansbro av stål och betong. Bron är uppdelad på tre spann och rymmer tio parallella spår. Undersökningen utfördes på de två yttersta spåren. Betongplattan är ca 0.4 m hög och vilar på ett stålbärverk bestående av ca 0.8 m höga I-balkar, se figur 5.2.



Figur 5. 2 Samverkansbro av stål och betong, München-Laim [12]

Sylomer D 229, underlagsmattan som används i det beskrivna fallet, har följande egenskaper: förlustfaktor 0.2, dynamisk styvhet $s''_M = 70 \cdot 10^6 \text{ N/m}^3$ vid statisk förbelastning med 60 kPa och mätfrekvens 40 Hz. Enligt [11] så är dock den dynamiska styvheten relativt oberoende av mätfrekvensen för Sylomer underlagsmattor, se figur 5.3.



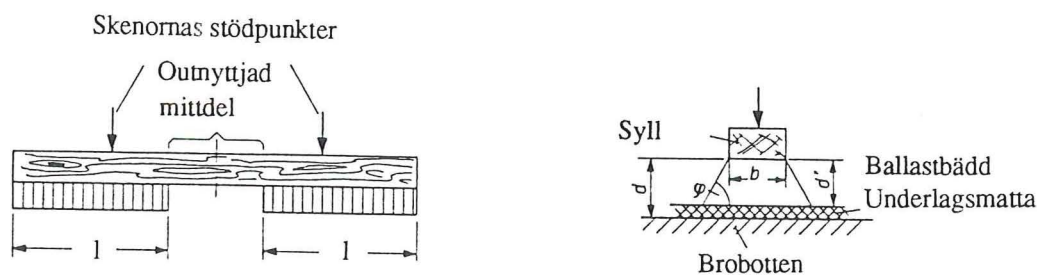
Figur 5. 3 Dynamisk styvhet s'' för underlagsmatta B 851 vid statisk förbelastning med 60 kPa [11]

Med hjälp av den dynamiska styvheten och en framräknad verkningsyta får man fjäderstyvheten.

$$s_M = s'' \cdot A \quad (5.3)$$

s'' dynamisk styvhet
 A verkningsyta

I det aktuella fallet med: 0.26 m breda slipers (b), 2*1 m verksam slipersbredd (l), 0.25 m ballast djup (d') och friktionsvinkel (φ) på 60° till 65°, blir verkningsytan $A \approx 1.4 \text{ m}^2$, se figur 5.4.



Figur 5.4 Beteckningar för framräkning av verkningsytan: l verksam slipersbredd, b slipersbredd, d' ballast djup och φ friktionsvinkeln [11]

Värdet för förlustfaktorn representeras i värdet för fjäderkonstanten av en imaginär del, resultatet blir:

$$s_M = 98 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}} (1 + j0.2)$$

5.2.4 Källimpedans

Sett från översidan av underlagsmattan ligger: ballasten, spåret, hjulparet och slutligen den avfjädrade vagnen. Över resonansfrekvensen för ett fjäder-massa system kan dynamiskt inflytande av massa som ligger över fjädern försummas. Resonansfrekvensen för en järnvägsvagn ligger högst på 10 Hz. Detta innebär att i det intressanta frekvensintervallet kan man bortse från dynamiskt inflytande av vagnsmassan (se figur 5.1). Vagnen kommer däremot genom statisk inverkan att påverka fjäderkonstanten för ballasten. Enligt [10] gäller approximativt:

$$\frac{1}{Z_i} = \frac{j\omega}{s_s} \left[1 - \left(\frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 \right] \quad (5.4)$$

s_s ballaststyvheten

$$\omega_0 = 1,7 \cdot \frac{\left(\frac{s_s}{l}\right)^{3/8} B^{1/8}}{M^{1/2}} \quad (5.5)$$

ω_0 resonansfrekvens

M hjulparets massa

l påverkad banlängd

B böjstyvheten för skenan

Ballaststyvheten ges av:

$$s_s \approx 5 \cdot 10^8 \frac{\text{N}}{\text{m}} (1 + j 0,5)$$

Om man sätter in vanligt förekommande värden kan ekvationerna förenklas. Böjstyvheten för spår kan sättas till $B \approx 5 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2$, den påverkade banlängden $l \approx 0,9 \text{ m}$. Med dessa värden kommer vi att få att $1,7 \cdot (B/s_s l^3)^{1/8} \approx 1$ och då erhålls resonansfrekvensen:

$$\omega_0 \approx \sqrt{\frac{s_s}{M}} \quad (5.6)$$

Källimpedansen, Z_i , består för frekvenser under resonansfrekvensen av massimpedansen Z_m . Över resonansfrekvensen bestäms Z_i av ballastens fjäderstyvhet med beaktande av vågutbredning i ballast från 125 Hz [12].

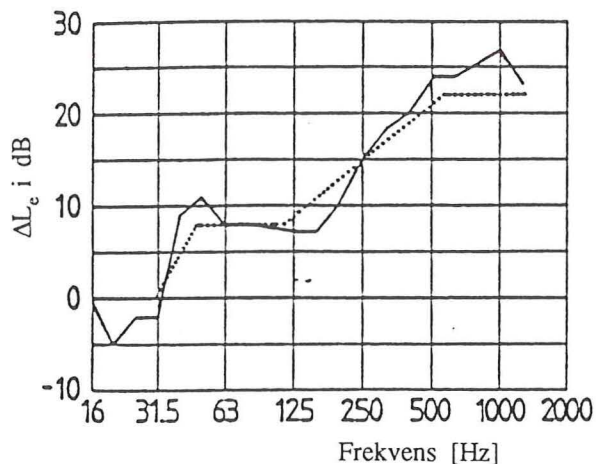
5.2.5 Beräkningar och mätvärden

Denna förenkling kan nu användas för att förenkla ekvation (5.2) för tillskottsdämpning av underlagsmattor:

$$\Delta L_e = 20 \lg \left| 1 + \frac{\frac{s_s}{s_M}}{\left[1 - \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2\right]} \right| \text{ dB} \quad (5.7)$$

Värt att notera är att tillskottsdämpningen enligt formeln tilltar när styvheten för ballasten ökar i jämförelse med styvheten för underlagsmattan.

Som jämförelse till de teoretiskt framräknade värdena gjordes även mätningar. Dessa utfördes på de två yttre spåren, där det ena hade försetts med bullerdämpande underlagsmatta. Mätningarna utfördes på ett och samma tåg: ET 420. Tåget höll vid de tre mättillfällena hastigheten 100 km/h. Mätningar gjordes dels av stomljudet i fem mätpunkter. I figur 5.5 visas medelvärdet för den mätta stomljudsdämpningen tillsammans med den med hjälp av ekvation (5.7) framräknade stomljudsdämpningen.



Figur 5.5 Tillskotts­dämpning av Sylomer D 229 i en samverkansbro [12]

..... Framräknat värde, ekv. (5.7)

— Medelvärde av mätning

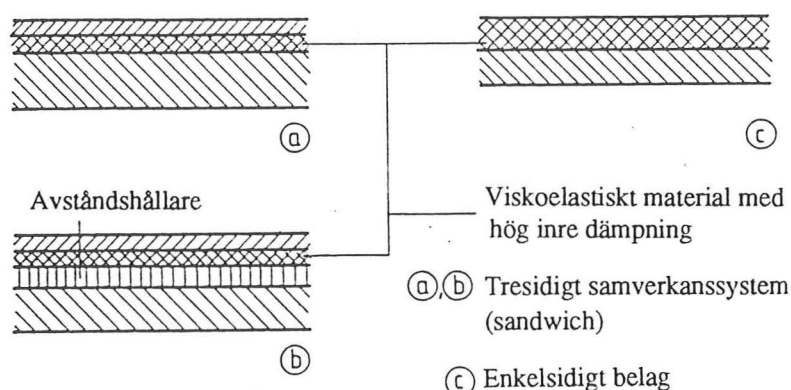
Mätningar gjordes även av luftljudet rakt under bron samt på 25 meters avstånd. Resultat­en av dessa mätningar visar på en dämpning på 13 dBA rakt under bron. För den betydligt intressantare mät­punkten på 25 m avstånd och 3.5 m över spårnivå fick man däremot ingen dämpning alls. Detta beror på att direktljudet från tåget överväger. Det är därför tveksamt om det med nuvarande tåg- och banstandard är intressant att bullerdämpa brokonstruk­tioner enbart med hjälp av underlagsmattor, för att få någon verklig effekt bör de kompletteras med dämpande skärmar. Möjligen skulle man kunna minska ballastmängden med hjälp av underlagsmattor och på så sätt få ner vikten, men för att fastställa detta krävs vidare under­sökningar. För en renodlad stålträgsbro där enligt [8] buller från brokonstruktionen över­väger något i förhållande till direktbullret från tåg skulle man uppskattningsvis kunna få en dämpning på ca 3-4 dB. Tyvärr har inte någon mätning på denna typ av broar hittats i litteraturen..

5.3 Dämpande sandwich-konstruktioner

Följande avsnitt är en bearbetning av en artikelserie som var införda i Stahlbau 1978: [15] och [16].

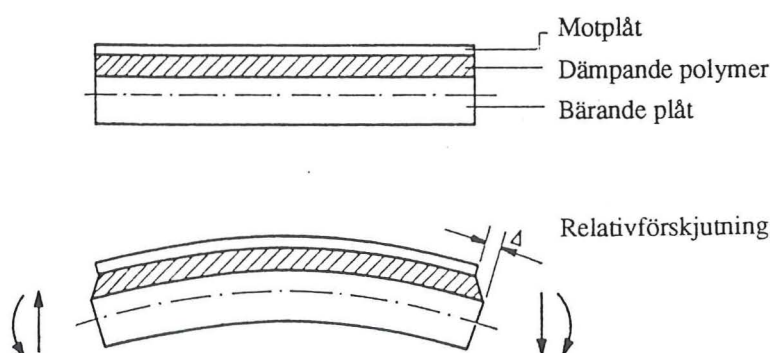
5.3.1 Verknings­­sätt hos treskikts sandwich-konstruktion

Stål har endast en ringa inre dämpningsförmåga. Detta medför att stålkonstruktioner inom ett brett frekvensområde kan försättas i svagt dämpad egensvängning och/eller böj­svängningsresonans med stor amplitud. Särskilt vid broar bestående av delar med stora ytor kommer de inducerade böj­svängningarna att ge upphov till betydande luftljud. Genom att anbringa särskilda polymerer med hög inre dämpning, t ex polyuretan eller bitumenkom­positer, på stålkonstruktionen kan de i konstruktionen befintliga böj­svängningarna däm­pas. Anbringandet av sådana material på den bärande ståldelen sker vanligtvis på en sida, tvåsidiga belag är mera ovanligt. Alternativt kan det utföras som ett symmetriskt eller osymmetriskt samverkanssystem en s k sandwich-konstruktion.



Figur 5. 6 Stomljuddämpande samverkanssystem [15]

I detta avsnitt kommer den osymmetriska sandwich-konstruktionen att presenteras, se figur 5.6. Denna består av ett viskoelastiskt material med hög inre dämpning som anbringats mellan den bärande plåten och en motplåt. Det dämpande polymerskiktet i denna konstruktionslösning verkar i huvudsak genom dämpning av dragande krafter. Dragkrafterna uppkommer på grund av att motplåten tänjs mindre än ytterkanten av den bärande plåten vid böjsvängningar i systemet se fig 5.7.



Figur 5. 7 Deformation av polymer mellan två plåtar i en sandwich-konstruktion p g a böjvågor [15]

Förlustfaktorn η för en sandwich-konstruktion tecknas:

$$\eta = \frac{W_v}{2\pi W_r} \quad (5.8)$$

W_v den vid varje svängning förlorade energin

W_r den vid varje svängning återvunna energin

Storleken för denna faktor ligger för stålbroar, beroende av frekvensen, i storleksordningen $\eta \approx 1 \cdot 10^{-3}$. Vid optimalt utförande kommer förlustfaktorn för en sandwich-konstruktion att ligga i storleksordningen $\eta \approx 1$ till 2. Enligt teorin för svängningsdämpande samverkanssystem [17], beror frekvensen för maximaldämpning av skjuvmodulen G för den dämpande polymeren och elasticitetsmodulen E för motplåten. Storleken på den maximala förlustfaktorn beror av: polymerens förlustfaktor (inte av dess G -modul), E -modulerna för bärande plåt och motplåt samt de geometriska dimensionerna. Om man känner förlustfaktorn för bron före och efter dämpningsåtgärderna kan enligt referenserna [17] och [18] den förväntade luft- och stomljuddämpningen uppskattas. När den angripande kraftpuls

sammanfaller med konstruktionens resonansfrekvens är vibrationshastigheten omvänt proportionell mot förlustfaktorn. För stömljudets effekt erhålls då:

$$P \sim v^2 \sim \frac{1}{\eta^2} \quad (5.9)$$

Uttrycker man stömljudsminskningen till följd av dämpningsåtgärder i decibel:

$$\Delta L = 10 \lg \left(\frac{P_0}{P} \right) \text{ dB} \quad (5.10)$$

Vid resonansfrekvensen får man via förlustfaktorerna en uppskattning av de genom dämpningsåtgärderna förväntade stömljudsdämpningen:

$$\Delta L \approx 10 \lg \left(\frac{\eta}{\eta_0} \right) \text{ dB} \quad (5.11)$$

Vid en bredbandig frekvensblandning, inom vilket en eller flera resonansfrekvenser ligger, är emellertid stömljudseffekten omvänt proportionell mot förlustfaktorn.

$$P \sim \frac{1}{\eta} \quad (5.12)$$

För detta fall blir den förväntade dämpningen av stömljudsnivå i mittfrekvensen:

$$\Delta L \approx 20 \lg \left(\frac{\eta}{\eta_0} \right) \text{ dB} \quad (5.13)$$

Över gränshastigheten för böjvågorna kommer stömljudet helt att överföras till luftljud. Vid frekvenser $f > f_g$ kommer därför ekvationerna (5.8) och (5.11) att stämma bäst. För frekvenser under gränshastigheten kommer ljudutstrålningen snabbt att närma sig noll, såvida inte de för en platta med ändliga dimensioner givna randvilkoren vid böjvängningar medför störningar. Enligt teorin för böjvågutstrålning från ändliga plattor [17] och [19], kan man under gränshastigheten hänföra utstrålningen dels till ett s k fritt fält dels till ett närfält. Frifältsutstrålningen beror väsentligen på medelhastigheten för plattan, böjvåglängden λ_B och plattans längd l . Denna typ av ljudutstrålning kan minskas genom en höjning av förlustfaktorn. Närfältsutstrålningen beror endast av den angripande kraften och plattans massa. Därför kommer den inte att ändra sig vid en höjning av η . Det finns alltså en optimal förlustfaktor utöver vilken ytterligare höjning inte lönar sig eftersom närfältsutstrålningen kommer att överväga. Det kan visas att den optimala förlustfaktorn kan uppskattas till [20]:

$$\eta_{\text{opt}} \approx 0.08 \lambda_B 1/A \quad (5.14)$$

A arean för ett plattelement

5.3.2 Förlustfaktorns beroende av motplåtens längd

Vid antagande av sinusformad deformation får man den största relativförskjutningen mellan motplåt och bärande plåt vid halva böjvåglängden λ_B . Det är därför rimligt att anta att förlustfaktorn inte kommer att påverkas av motplåtens storlek förrän denna blir kortare än halva våglängden. I [15] redovisas resultaten från en rad försök som verifierade detta. Våglängden för stömljudet beror på dess hastighet och frekvens. För 300 Hz kommer den att ligga runt 500 mm i en stålbro.

5.3.3 Problem vid användandet av sandwich-konstruktioner

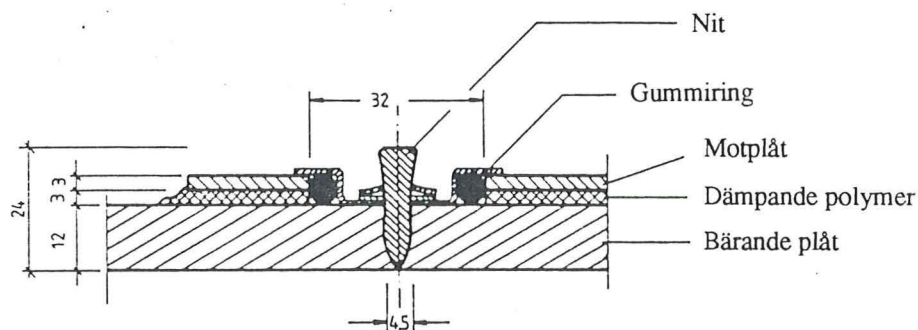
När man ska använda samverkanssystem för dämpning av stömljud krävs att man beaktar även andra problem utöver de rent akustiska som tidigare presenterats.

- hur ska infästning i stålkonstruktionen ske?
- hur påverkar rostskyddet sandwich-konstruktionen?
- vilken är långtidspåverkan av temperaturväxlingar och mekaniska svängningar på konstruktionen?

Här kommer dessa problem endast att behandlas kortfattat. För vidare information hänvisas till [15].

Infästningsproblem

De bullerdämpande polymererna har en tillräckligt stor vidhäftningsförmåga för att uppfylla de akustiska kraven. Däremot har de inte tillräcklig vidhäftning för att på ett säkert sätt hålla motplåten fäst i ett vertikalt eller horisontalt läge. Motplåtens infästning måste ske så att risk för svängningsbrott för motplåten eller den bärande plåten inte uppkommer. De i stålbyggnad vanliga infästningarna med skruvar och bultar kan i regel inte användas för infästning av motplåten, då utmattningshållfastheten för brobärverket starkt skulle ned sättas. För att undvika detta har man utvecklat en särskild fästordning, se figur 5.8.



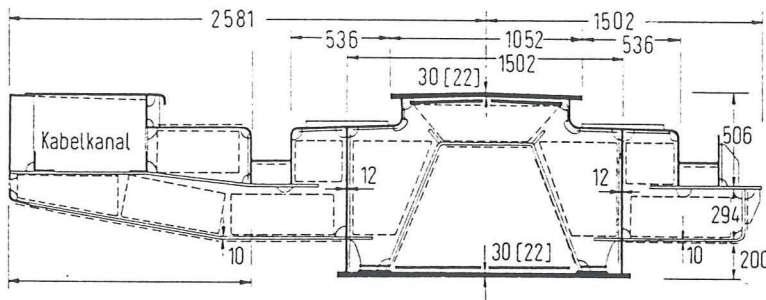
Figur 5. 8 Infästningsanordning för sandwich-konstruktion [9]

Korrosionsproblem

I regel har de dämpande polymererna även rostskyddande egenskaper. Dessa kan emellertid inte utnyttjas utan vidare, då vid utförande av akustisk dämpning inte alla ytor kommer att täckas i tillräcklig grad för att uppfylla krav på rostskydd. Av denna anledning bör brokonstruktionen först förses med ett heltäckande rostskydd. I [15] har undersökts hur samverkan mellan de bullerdämpande polymererna och olika rostskyddssystem fungerar. Bland annat undersöktes rostskyddssystem med bitumenkomposit och epoxyharts. Undersökningen utfördes med ett stort antal lastväxlingar ($2 \cdot 10^6$) och ett brett temperaturintervall ($-30^\circ - 22^\circ \text{C}$). Utan att gå in närmare i detalj på försöken kan nämnas att resultaten var lyckade och god samverkan mellan dämpande polymerer och rostskyddssystem uppmättes.

5.3.4 Fullskaleförsök

I [16] presenteras ett fullskaleförsök utfört på två lådbalksbroar med skenor direkt mot överfläns. Detta är en konstruktionstyp som har betydligt högre bullernivå än trågbroar. Av figur 5.9 framgår dels broarnas tvärsnitt samt var dämpningsåtgärderna satts in.



Denna del finns enbart hos bro I

Figur 5.9 Lådbalkbroarnas tvärsnitt samt var sandwich-konstruktioner har utförts [16]

- Delvis täckt
 - - - - Helt täckt

Här kommer inte närmare att redogöras för detaljer kring försöken, utan endast en del mätdata presenteras. Av tabell 5.1 framgår att bullernivån från en med sandwich-metoden ljuddämpad lådbalksbro av stål inte nämnvärt skiljer sig från den av ett tåg som färdas på banvall. Bullernivån från en stålträgsbro med genomgående ballast som ljuddämpats med denna metod bör bli ytterligare något bättre.

Bro	Mätår	Stomljuds dämpande belag	Medelvärde av luftljud i dBA				Mätning på banvall a = 10 m	
			Mätavstånd från bromitt					
			a = 0	10 m	25 m	50 m		
I	1976	utan	87	88	78	74	68	
		delvis	79	75	69	67		
		helt	72	71	65	64		
	1977	helt och efter 1 år	75	71	68	63	70	
II	1976	utan	89	88 (96)	79 (85)	73 (80)	68	
		delvis	84	73 (-)	65 (72)	60 (66)		
		helt	74	70 (76)	61 (70)	57 (65)		
	1977	helt och efter 1 år	73	73	63	58	70	

Tabell 5.1 Medelvärde för ljudnivån för spårvagn vid hastigheten 40 km/h (60 km/h inom parentes) [16]

6. EKONOMISKA ASPEKTER

Det är många faktorer som påverkar priset på en färdig järnvägsbro. Att direkt jämföra olika broprojekt ur ekonomisk synvinkel är svårt. Alla projekt är unika. Man kan inte bara titta på tillverkningskostnaden utan måste även ta med framtida underhållskostnader.

Vid byte av en gammal bro måste man ta hänsyn till flera aspekter:

Har man möjlighet att använda de gamla brofundamenten och endast bygga en ny broöverdel, eller blir man tvingad att bygga helt nytt?

Om de gamla brofundamenten klarar de nya europeiska lastnormerna, vilken typ av bro ska man då välja för att få den minsta störningen och den kortaste byggtiden?

I de fall man bygger en helt ny bro bredvid den gamla behöver man inte ta hänsyn till tågtrafiken på samma sätt, däremot blir det extra kostnader för ny spårdragning.

Vilket byggnadsmaterial ska man välja till bron: stål, betong eller en kombination?

Hur är tillgängligheten till arbetsplatsen? Finns där en befintlig bilväg så att man kan använda mobilkran, eller behöver man anlägga ny väg?

Som påtalats ovan är det mycket man måste ta hänsyn till vid val av brotyp, och man kan inte generellt säga att en viss brotyp är bättre eller billigare än en annan.

6.1 Byggnadssätt

Den stora kostnaden vid tillverkning av en bro är arbetskostnaden, därför är det av stor vikt att välja lösningar som är enkla och produktionsvänliga. Man kan välja att platstillverka en bro eller att prefabricera den i olika hög grad.

6.1.1 Betongbroar

De flesta nya broar som byggs i Sverige i dag är tillverkade av betong. Detta kan bero på att betongbyggandet har gamla traditioner i Sverige, så har även utvecklingen vad gäller ställnings- och formbyggnadsområdet gynnat betong som byggnadsmaterial. Den felaktiga tron att betong är underhållsfritt har ytterligare bidragit till användningen av denna.

Platsgjutna konstruktioner

Platsgjutna konstruktioner är den vanligaste typen när det gäller betongbroar. Vid kortare spännvidder kan man färdigställa bron bredvid den gamla bron, för att sedan t ex lyfta den nya bron på plats med en större kran. Tiden för avbrottet är normalt sett 24-36 timmar. Vid större spännvidder och när man inte har möjlighet att använda de gamla brofundamenten får man bygga en helt ny bro bredvid den gamla. Detta blir naturligtvis en dyrare variant eftersom det krävs nya brofundament och ny spårdragning. I sammanhanget kan nämnas att enligt uppgifter från entreprenadhåll (Skanska) står grundläggingskostnaden för ca 30 % av den totala byggkostnaden. Vidare står ställnings- och formbyggnadsarbetet för ca 1/3 av kostnaden för överdelen av bron.

Prefabricerade konstruktioner

I ett tidigare utfört examensjobb för Banverket [21] har en jämförelse gjorts mellan platsgjutna och prefabricerade betongkonstruktioner. Där kan man utläsa att tekniskt sett är prefabricerade betongdäck helt jämförbara med platsgjutna däck. Prefabdäcket har en begränsning vid spännvidder över 10-11 meter, då elementen blir alltför tunga. Man har även en viss osäkerhet när det gäller korrosionsbeständigheten av spännstagen, där fogen är den svaga punkten. Tiden det tar för själva brobytet är ca ett dygn. Fördelen med prefabelement är den låga vikten. Det tyngsta prefabelementet på den här bron med en spännvidd på 8.5 m väger 26 ton, medan ett platsgjutet betongdäck för motsvarande spännvidd väger 70 ton. Detta medför att man kan använda en betydligt mindre kran.

Ekonomiskt vinner man inget på att använda prefabelement. Det som skiljer mellan de båda brotyperna är att för prefabbron får man en extrakostnad för ihopsättning av elementen och för transport mellan fabrik och arbetsplats. De platsgjutna betongbroarna har en högre krankostnad. Byggtiden för platsgjutna konstruktioner är längre.

6.1.2 Stålbroar

Stålbroar har haft svårt att hävda sig mot betongbroar när det gäller kortare spännvidder. Stållpriserna varierar med rådande pris på råvarumarknaden och kan därmed variera mycket beroende på tillgång och efterfrågan. I oktober -92 låg stållpriserna förhållandevis lågt. Detta medförde att möjligheten för stålbroar att konkurrera även på kortare spännvidder borde ha förbättrats. Fördelar med stålbroar gentemot betongbroar är: - den lägre vikten, vilket medför att gamla brofundament i högre utsträckning kan användas. - stålbroar kan prefabriceras i stor utsträckning, vilket ger kortare byggtid.

6.2 Underhåll

Banverket har sk generella anvisningar, där man tar upp olika inspektionsrutiner, skadetyper och underhåll. I anvisningarna kan man läsa att *"syftet med inspektionen av järnvägsbroar är att klarlägga vilka åtgärder som kan erfordras för att säkerställa bronns bestånd, bl a med utgångspunkt från de säkerhetskrav som ställs på bron"*

De olika inspektioner som genomförs är bl a följande:

Fortlöpande inspektion utförs minst en gång varje havår, då kontrolleras att bron inte har några synliga skador som påverkar dess bärförmåga.

Helinspektion utförs vart tredje år och då inspekteras alla synliga konstruktionsdelar. Speciellt inspekteras stålöverbyggnader för att finna ev. sprickor och rost samt även med avseende på rörelser i svets-, nit- och skruvförbanden. En provbelastning för att kontrollera nedböjningen genomförs även i vissa fall.

Inspektion av förband i stålkonstruktioner genomförs normalt vart 12:e år. Efter inspektion av nit- och skruvförbanden utförs byte av lösa nitar och erforderlig efterdragning eller byte av skruvar.

Pejling och dykundersökning vid bro med landfästen och mellanstöd i strömmande vatten, då undersöks bl a bottenförhållandena så att inte underskärning av grundläggningen förekommit

Med jämna mellanrum låter Banverket måla om eller bättringsmåla sina stålbroar. När och på vilka broar det bör genomföras bestäms efter den utförda helinspektionen. Man bedömer de uppkomna rostskadorna efter fyra olika "rostgrader". Just ommålning har visat sig vara den ojämförligt största kostnaden vid det fortlöpande underhållet av stålbroar.

Stålbroarna har under tidigare år drabbats av SJ:s strävan att spara pengar. Underhållet har inte fått tillräckliga anslag. Intervallet mellan bromålningarna har förlängts, vilket inte är en bra sparmetod. Detta har lett till att flera broar är i så dåligt skick, att det enda realistiska alternativet är rivning och nybyggnad.

När man upphandlar broar inom Banverket tar man ingen hänsyn till kommande underhåll. Enligt Banverket (Lars Öström norra regionen) har nämligen stål och betong samma underhållsbehov med dagens ytbehandlingsprogram enligt Bronorm 88. En utredning som Deutsche Bundesbahn har gjort visar dock att underhållskostnaden per år för stålbroar är 1.5 gånger högre än för betongbroar, nämligen 1.2 % jämfört med 0.8 %, med avseende på tillverkningskostnaden. Det blir ingen skillnad om det är trågbroar eller ej.

En fördel med stålbroar gentemot betongbroar är att vid större skador har man möjlighet att förstärka stålbron med påsvetsade plåtar. Skador på betongkonstruktioner medför betydligt större ingrepp, och därmed högre kostnader.

6.3 Kostnader

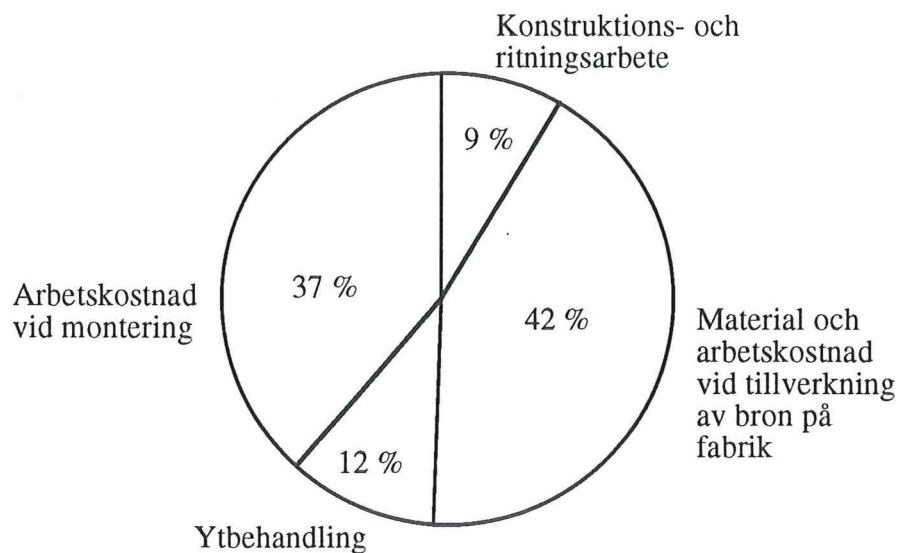
Att göra en kostnadsjämförelse mellan stålträgsbroar och betongträgsbroar är svårt. Det skiljer mycket i förutsättningar och vad som ingår i respektive prisuppgift, vidare är urvalet av stålträgsbroar i Sverige mycket begränsat (fem stycken). De prisuppgifter vi fått från Sverige är grova och från olika årtal, så en detaljerad jämförelse baserad på dessa uppgifter torde vara ganska meningslös. Från utlandet har det inte gått att få tag i några prisuppgifter överhuvudtaget. Enligt Banverket (Ove Malmberg mellersta regionen) ligger

stål och betongbroar i samma prisläge. Priset är ofta inte den avgörande faktorn när det gäller val av brotyp, utan det är andra yttre orsaker som påverkar vilket material man ska välja.

Anbudspriser (exklusive moms -92 års priser) på några broar som byggts i Sverige:

	Brolängd (m)	Pris/m bro	Pris/m bro inkl. landfästen	Pris/ton
Ståltråg Bodån	23.0	52 000 kr/m	bef. landf.	-
Stålbros Laholm	20.6	29 000 kr/m	bef. landf.	12 000 kr/ton
Stålbros Vaggeryd	15.6	40 000 kr/m	bef. landf.	16 000 kr/ton
Betongtråg Malmbäck	4.9	95 000 kr/m	43 000 kr/m	-
Prefabtråg Fagerberg	8.5	91 000 kr/m	45 000 kr/m	-

Det kan vara intressant att se hur kostnaderna fördelar sig på olika poster, som exempel har vi ett förslag på en ståltrågsbro projekterad av Skanska. För närmare beskrivning av bron se avsnitt 2.3.6.



Figur 6.1 Exempel på kostnadsfördelning vid byggandet av en ståltrågsbro

REFERENSER

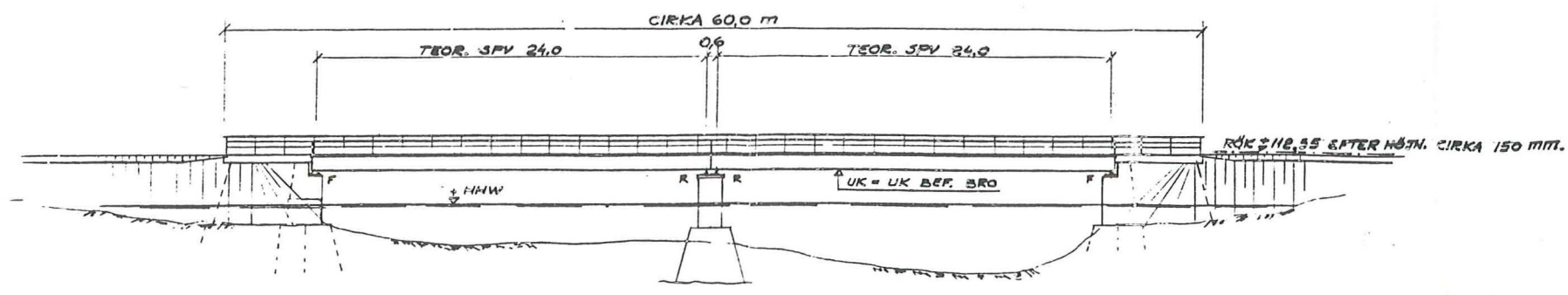
- [1] Johansson Germund, Kompendium i stålbyggnad, CTH 1990
- [2] British Steel General Steels, Bridged in steel British Rail Bridge 1989
- [3] Åkesson Björn, Äldre järnvägsbroar i stål, CTH 1991
- [4] Hillerborg Arne, Kompendium i byggnadsmaterial FK del 2, LTH 1990
- [5] Wallin Lars, Rostskydd för stålkonstruktioner, SBI 1982
- [6] Mattson Einar, Elektrokemi och korrosionslära, Korrosionsinstitutet 1987
- [7] Lindblad Sven, Kompendium i byggnadsakustik, LTH 1990
- [8] Manko Z, Evaluation of noise level of steel railway bridges, Journal of environmental engineering, June 1986
- [9] Buller från spårbunden trafik, beräkningsmodell, Naturvårdsverket rapport 3059
- [10] Kurze U J och Wettschureck R, Erschütterung in der Umgebung von flach liegenden Eisenbahntunneln im Vergleich mit freien strecken, Acustica volym 58 1985
- [11] Kurze U J och Wettschureck R, Einfügungsdämmmaß von Unterschottermatten, Acustica volym 58 1985
- [12] Wettschureck R, Unterschottermatten auf einer Eisenbahnbrücke in Stahlbeton - Verbundbauweise, Müller-BBM DAGA -87
- [13] Wunder H, Betrag der mechanischen Eingangsimpedanz, Müller-BBM Nr 9144 1982
- [14] Willenbrink L, Vergleichende Geräuschemessungen an zwei ohne, Brückenüberbauten, Bericht Nr. 35602 1984
- [15] Hanel J und Seeger T, Experimentelle Untersuchungen an körperschalldämpfenden Verbundsystemen, Stahlbau Nr 1-2 1978
- [16] Hanel J und Seeger T, Schalldämpfungsversuch an der zwei stählernen Eisenbahn-Hohlkastenbrücken, Stahlbau Nr 12 1978
- [17] Cremer L und Heckl M, Körperschall, Springer-Verlag 1967
- [18] Heckl M und Müller H, Taschenbuch der Technischen Akustik, Springer-Verlag 1975

-
- [19] Föller D, Maschinenakustische Berechnungsgrundlagen für den Konstrukteur, VDI-Bericht Nr 239 1975
 - [20] Koch P, Konstruktionsrichtlinien und Verarbeitungsmöglichkeiten an schwingungs-gedämpften Verbundblechen, Klepzig-Fachberichte 74 1966
 - [21] Sahlström F, Prefabbrodäck vid Banverket, Examensarbete utfört vid Höskolan i Falun/Borlänge 1991
 - [22] Östlund Lars, Kompendium i Brobyggnad, LTH 1978
 - [23] Järnvägsbronorm, Banverkets ändringar och tillägg till Vägverkets Bronorm 88
 - [24] Lindhagen Gösta, Kompendium i trafikteknik, LTH 1989

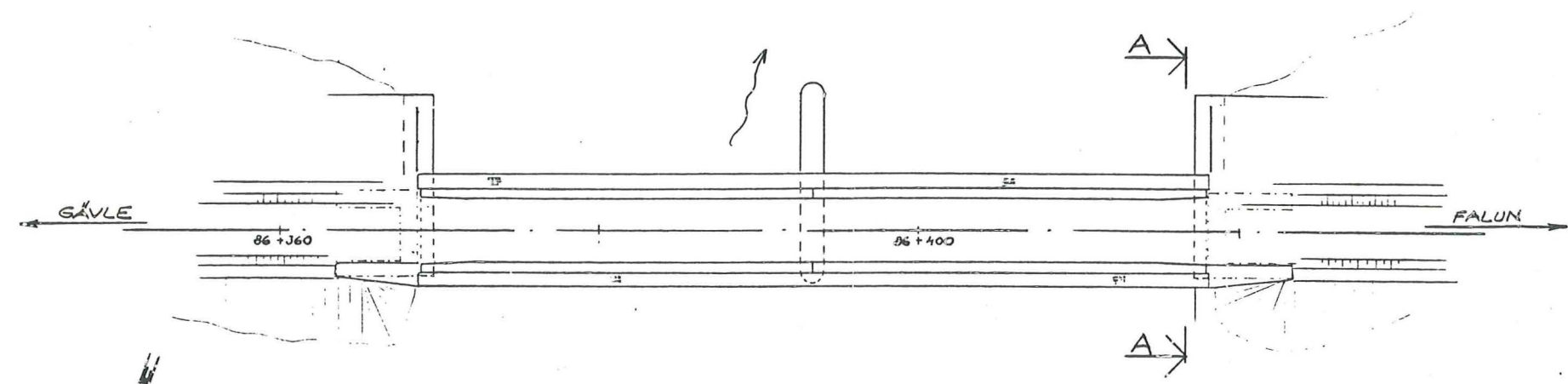
HÖJDSYSTEM RH 70.
 HÖJDFIX: NR 8330, HUS STATIONSVÄGEN 2, EXPANDER-
 BULT MED KULA. HÖJD +111,441

BELASTNING.
 85% AV TÄRLAST TY: F, ALT. LASTGRUPP 1.
NORMER, FÖRESKRIFTER OCH ANVISNINGAR, SE
 RITN. -9 OCH -11.

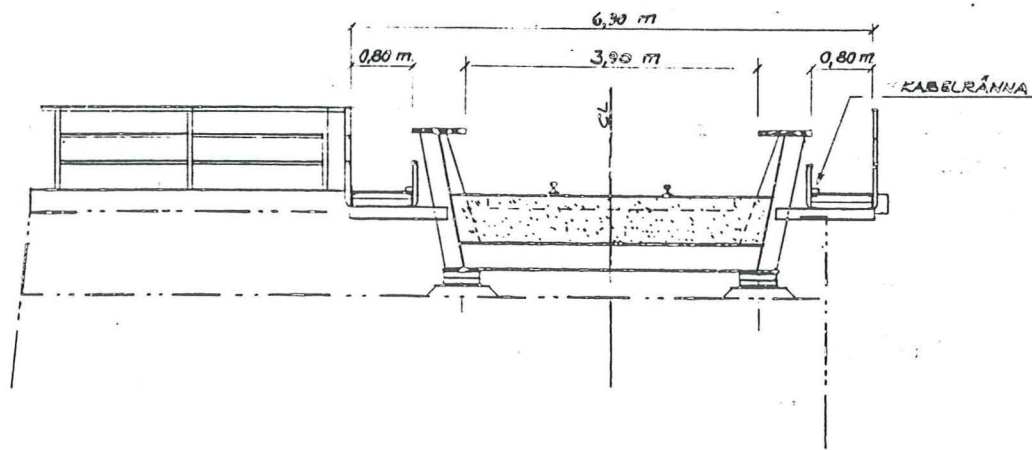
OMBYGGNADEN AVSER:
 1. UTBYTE AV BEFINTLIG STÅLÖVERBYGGNAD MOT
 NY STÅLÖVERBYGGNAD.
 2. ÖMBYGGNAD AV LANDFÄSTEN OCH MELLAN-
 BELARENS ÖVRE DELAR.



ELEVATION — 1:200 —
 F = FAST UPPLAG
 R = RÖRLIGT UPPLAG



PLAN — 1:200 —



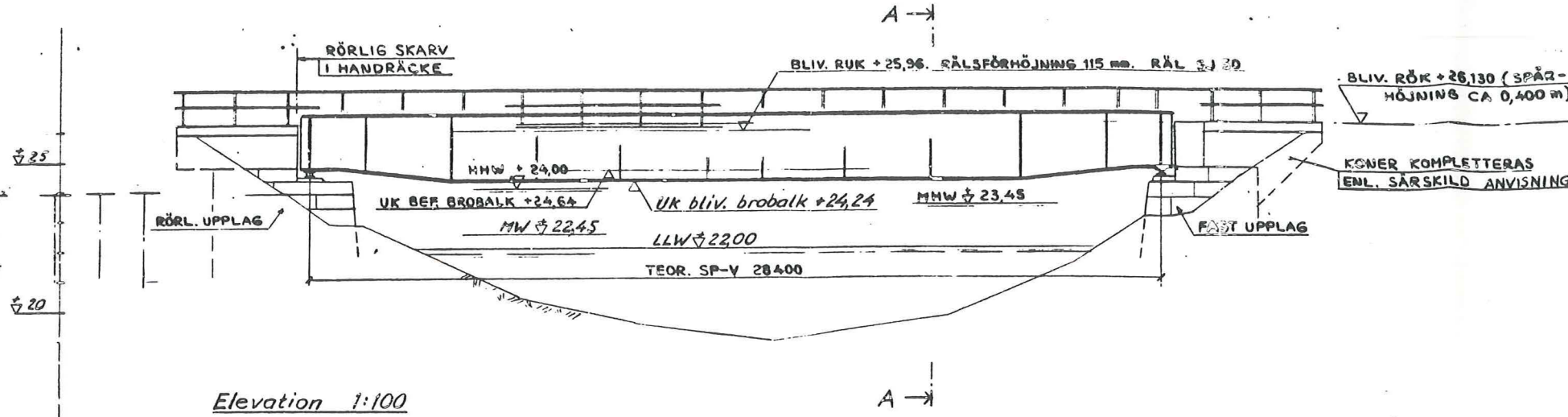
A - A — 1:50 —

RITNINGSFÖRTECKNING

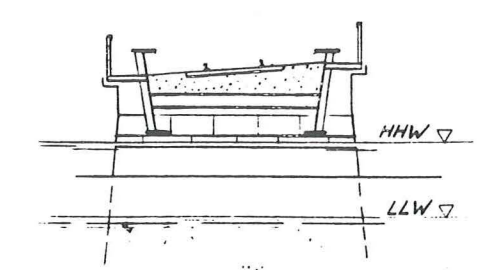
NR	BENÄMNING
B 6421-8	SAMMANSTÄLLNING
- - - 9	LANDFÄSTEN
- - - 10	MELLANSÖD
- - - 11	SAMMANSTÄLLNING, STÅL
- - - 12	ELEVATION, PLAN
- - - 13	TVÄRRAM I FÄLT
- - - 14	TVÄRRAM ÖVER UPPLAG
- - - 15	UPPLAG, ÖVERGÅNGSFLÄTAR
B 2506-5	RÄCKE

ARBETSRTNING

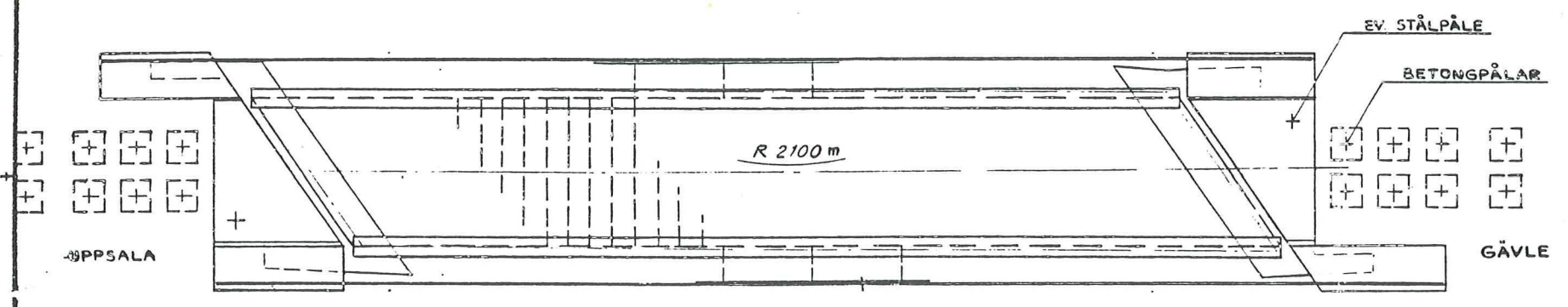
REV.	ANT.	REVIDERINGEN AVSER	SKID	DATUM
SJ SJÄNDELNINGEN BRO- OCH GEOTEKNIKEN 105 80 STOCKHOLM		Ombyggnad av BRO ÖVER KORSNÄSAN Gävle - Falun, km 96+394 Sammanställning		
Sveriges Tekniska 1986-12-02 Sveriges Tekniska		B 6421-8		



Elevation 1:100



Snitt A-A 1:100



Plan 1:100

Underlag för denna ritning:
Bd CST ritn SF-9517 REV A
Lantbruksnämnden i Uppsala län skr 1976-12-30

HÖJDFIX: +25,370 I RAK HÖJDSYSTEM 1970, JÄRNDUBB I ÖSTRA SIDAN AV NORRA LANDFÄSTET, km 60+324 H 3,0 m

TÅGLAST: 0,35 F ALT. LASTGRUPP 1
DIMENSIONERANDE SPÄNNINGECYKELTAL:
HUVUDBALK 6 · 10⁵
ÖVRIGA DELAR 2 · 10⁶
KOLLEKTIVPARAMETER 2/3

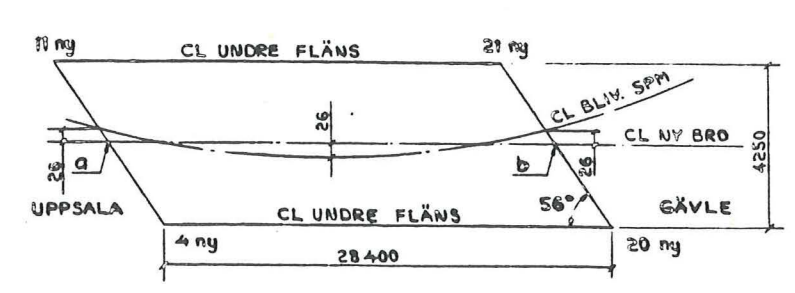
NORMER: STATL. BELASTNINGSBESTÄMMELSER AV ÅR 1960.
STÅLBYGGNADSNORM 70, SLBK-N1 JÄMTE SUPPLEMENT SLBK-N1/S1
BYGGSVETSNORM, SLBK-N2
SKRUVFÖRBANDSNORM 76, SLBK-N3
ROSTSKYDDSNORM, SLBK-N4
BESTÄMMELSER FÖR BETONGKONSTRUKTIONER: B5-1973, B6-1968 OCH B7-1968
STATL. CEMENTBESTÄMMELSER B1-1963

GEOTEKNISKA FÖRHÅLLANDEN: SJ GEOTEKNIKES UT-LÄTANDEN 64/76, 77/76 OCH 26/77

OMBYGGNADEN AVSER:
BEF. STÅLÖVERBYGGNAD BYTS MOT NY (PÅ BEF. LAGERPALLAR)
STENLANDFÄSTENAS ÖVERSTA SKIFT AVLÄGSNAS OCH ERSÄTTS AV BETONGPÅGJUTNING.
TILLFARTSBANKAR FÖRSTÄRKS
KÖNER KOMPLETTERAS

RITNINGSFÖRTECKNING:
HUVUDRITNING B 3204-5
LANDFÄSTEN: MÅTT " -8
STÅLÖVERBYGGNAD: ELEVATION OCH PLAN. GÅNGBANDOR. " -7
STÅLÖVERBYGGNAD: SNITT OCH DETALJER " -8
UPPLAG " -9
LANDFÄSTEN: ARMERING " -10
BEF. STENLANDFÄSTEN B 3204-1
HANDRÄCKE B 2506-1

KOORDINATER FÖR UPPLAGENS MITTPUNKTER OCH CL NY BRO. SPÅRLÄGE

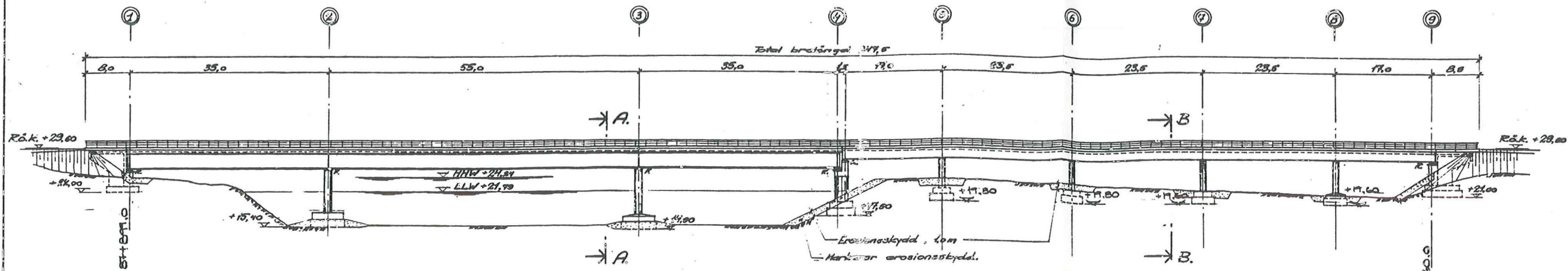


PUNKT	x	y
UPPLAG 4 ny	1123,268	70 846,475
11 ny	1119,030	70 843,589
20 ny	1149,846	70 835,951
21 ny	1148,409	70 833,066
CL BRÖ a	1121,149	70 845,032
b	1147,527	70 834,508

KOORDINATSYSTEM OCH REFERENSER ENLIGT BD CST RITN. SF-9517 A.

ARBETSRTNING
BILDKORT
1-82227/5

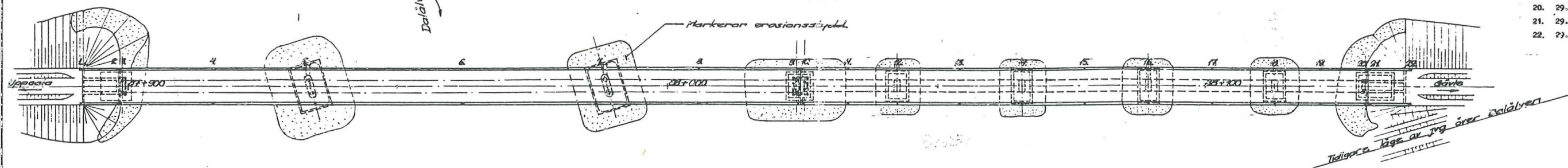
HANDRÄCKET HELT UTRITAT. RÖRL. SKARV VID RÖRL. UPPLAG		780616 F.L.	Ombyggnad av bro över TAMNARÄN Uppsala-Gävle km 60+307 HUVUDRITNING	Skala 1:100 1978-02-10 3204-5
Vattenstånd, broform, tvärsnitt		HUVUDRIT. ALLM. JUST. 770627 F.L.		



Elevation 1:400

GRUNDTRYCK			
Stöd	vani grund	kPa	f _{axo} grund
1	353		406
2	276		441
3	278		444
4	330		394
5	301		399
6	334		403
7	334		403
8	301		399
9	353		401

SLÄPVÄGNING				
Uppströms	Er	+höjd	Redströms	
1	29.550		1	29.549
2	29.542		2	29.548
3	29.549		3	29.541
4	29.522		4	29.522
5	29.551		5	29.538
6	29.553		6	29.550
7	29.573		7	29.535
8	29.527		8	29.545
9	29.541		9	29.555
10	29.526		10	29.553
11	29.563		11	29.576
12	29.535		12	29.555
13	29.576		13	29.581
14	29.536		14	29.536
15	29.560		15	29.565
16	29.536		16	29.542
17	29.555		17	29.565
18	29.548		18	29.538
19	29.564		19	29.555
20	29.546		20	29.542
21	29.513		21	29.517
22	29.535		22	29.529

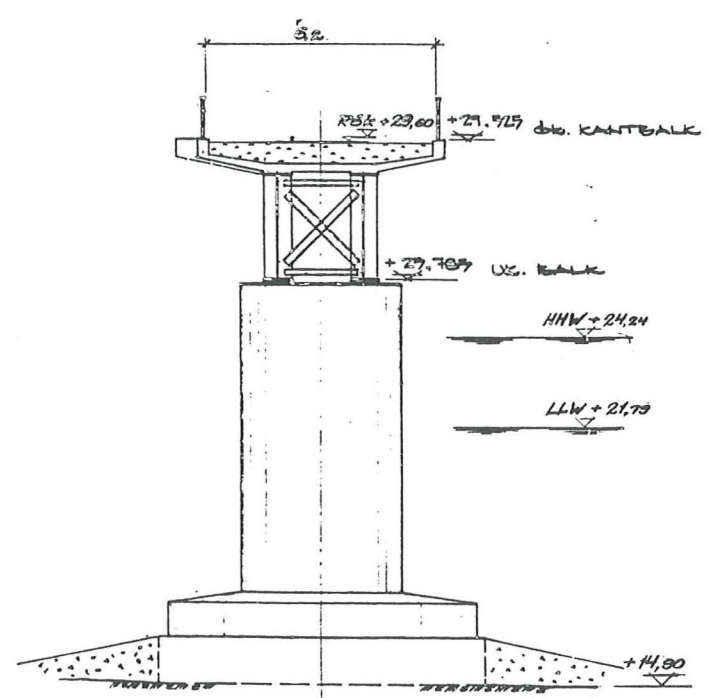


Plan 1:400

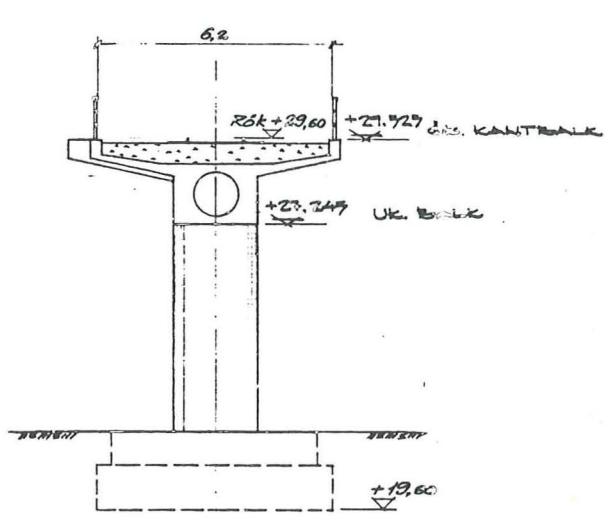
EROSIONSSKYDD
Erosionsskyddet skall utgöras av överst 200-500 mm - diameter minst 0,3 m sankross 0-150 mm.

ANVISNINGAR
Belastning: Teglást 0,35 x F alt. lastgrupp I konstruktionen hänförs till grupp B (risk för utmattnig).
Normer: Statliga belastningsbestämmelser av år 1960 (1961:12), Statliga cementbestämmelser (B1-1960), Bestämmelser för betongkonstruktioner (B5-1973, utgåva 2, 26-1968, utgåva 2, B7-1968, samt VV Bronnormer 1976 (exkl. 03.2, 03.3 och 03.4)).
Grundförhållanden: Se geotekniskt utlåtande 8/80 av SJ BAPG.
Fiz: Nr 7592 RG, NO SJ-spår. X = 15895,963 Y = 89358,692 höjd +25,57 RH 70.
Återfyllning: Med icke tjälkjutande friktionsmaterial som komprimeras så att sättningar i möjligaste mån undvikas och på sådant sätt att betongytorna ej skadas. Närmast betongytan 0,5 m grovt grus.
Räcke: Enligt SJs ritning nr 2506 -5.
Isolering brobensplatta: Brass hela överyta bestrykes med Aquella extra, 2 gånger.

- RITNINGSPRÖCKNING**
- 8227 -3 Sammanställning
 - 4 Landfäste 9. Utsättning och mått
 - 5 Landfäste 9. Armering
 - 6 Landfäste 1. Utsättning och mått
 - 7 Landfäste 1. Armering
 - 8 Stöd 2 och 3. Utsättning och mått
 - 9 Stöd 2. Armering
 - 10
 - 11 Mellanstöd 5. Utsättning, mått och armering
 - 12 Mellanstöd 6. Utsättning, mått och armering
 - 13 Mellanstöd 7. Utsättning, mått och armering
 - 14 Mellanstöd 8. Utsättning, mått och armering
 - 15 Stöd 4. Utsättning och mått
 - 16 Stöd 4. Armering
 - 17 Stöd 3. Armering
 - 18 Överbyggnad delen 4-9. Mått
 - 19 Överbyggnad delen 4-9. Spännarmering
 - 20 Överbyggnad delen 4-9. Slakarmering
 - 21 Reparation av pelarskiva stöd 2
 - 22 Överbyggnad delen 1-4. Mått
 - 23 Överbyggnad delen 1-4. Armering
 - 24 Dilatationsfogar



Sektion A-A 1:100



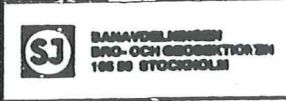
Sektion B-B 1:100

LAGERRITNINGAR

50-2026-1, -2, -3	TOBE RE 200 ± 100	Stöd 1, 4
50-2026-4	TOBE F 750	Stöd 2, 3
50-2080-1, -2, -3	TOBE RE 200 ± 50	Stöd 4, 9

Stållitningar

101	Sammanställning stålbalkar
102	Stålbalkar livplåtar
103	Stålbalkar flänsplåtar
104	Stålbalkar vertikala avstyvningar
105	Stålbalkar horisontella avstyvningar kramlor, knutplåtar, kilar m.m.
106	Vänster stålbalk fack 1-2
107	Höger stålbalk fack 1-2
108	Vänster stålbalk fack 2-3
109	Höger stålbalk fack 2-3
110	Vänster stålbalk fack 3-4
111	Höger stålbalk fack 3-4
112	Tvårförband vid stöd 1 och 4
113	Tvårförband vid stöd 2 och 3
114	Tvårförband i fält



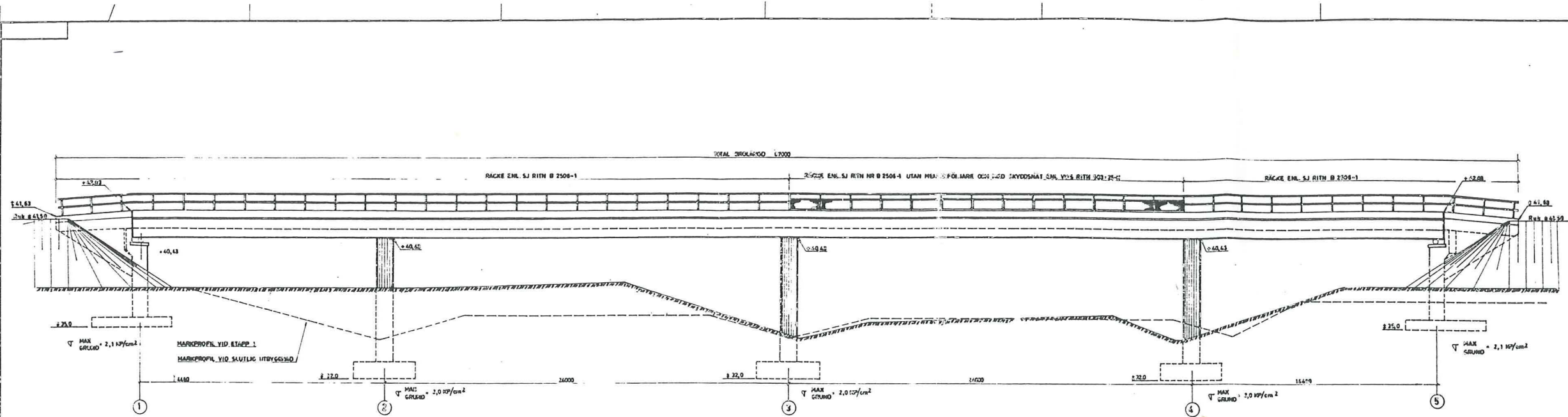
1-508351-3

Entreprenör: AB Nils P Lundh, Västerås

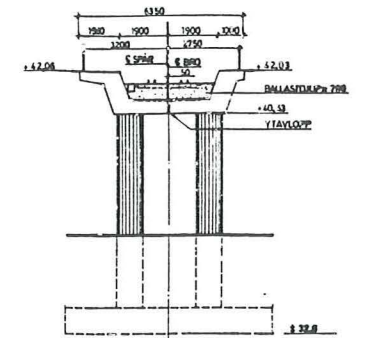
Centerlöf & Holmberg AB	Är eller granskning	25-04-28	A	GA
Best. av Göran Andersson	Bro över Dalaälven vid Ankarleå	Datum	Ret.	Sign.
Oppdr. av Uppsala C - Gävle	Uppsala C - Gävle			
Objektadress 17, 211 20 Hålsjö, Tel. 046/76483	Km 88+040,0			
Sammanställning				
8227				
				3

Km. 88+040

BILDKORT



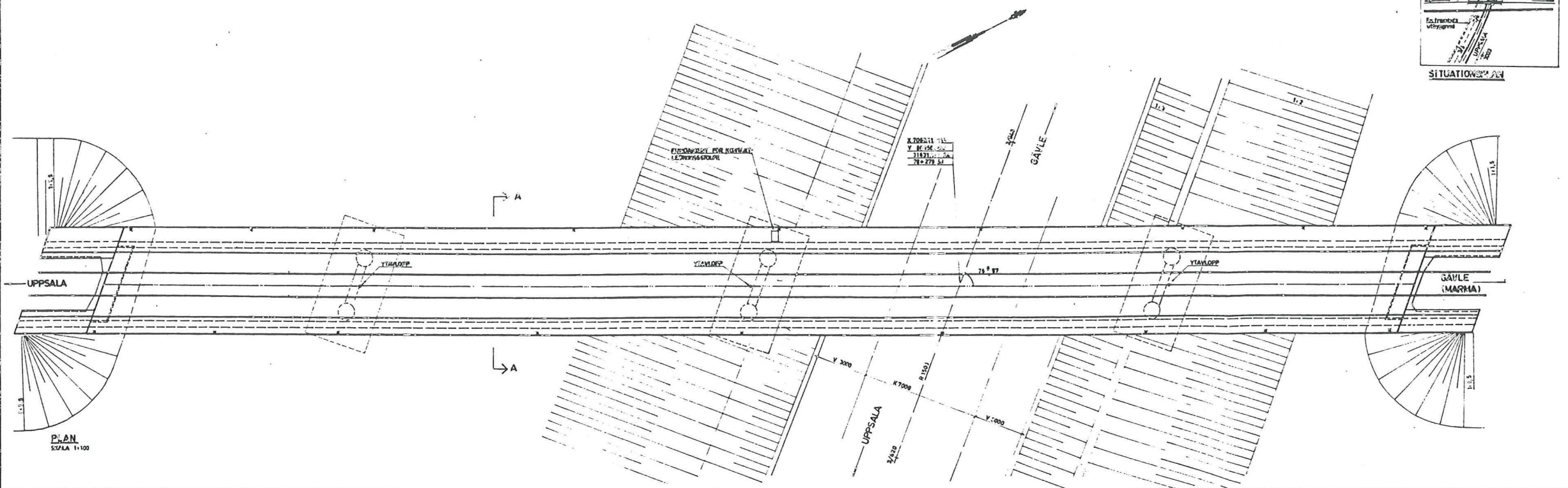
ELEVATION
SKALA 1:100



A-A
SKALA 1:100



SITUATIONEN



PLAN
SKALA 1:100

ALLMÄNNA ANVISNINGAR

RIK
NR 228 344 v 30, 724
BEKÄNNIS
TÄGLAST 0,85 F. ALT. LASTGRUPP 1
TRÄLADNA MÅTTMÄTTNINGAR: ENL. 1915. BEKÄNNIS 1915
LÖPSTREK
SVEVISA BELÄGNINGSBESKRIVNING AV ÅR 1939
CEMENTBESKRIVNING 81-100
JÄRN
ÅR 1932
BEKÄNNIS FÖR BEKÄNNINGSSTRUKTURER 85-1995, 86-1998,
87-1999, 88-1978, 89-1972 VVS BEKÄNNIS: 1989

BEDÖM
BRO I SLD LÅGT HÅLLETT MED LUFT 2,5% MINNED CEMENT-
HÄRSD PER M² BTE. ÖVERVÄN BRÄNNVVS ROGERAN I SAMBAND
MED GÅTTINGEN OCH SÅ ATT PLANET SANT ANGÄVA MÅTT OCH
FÄLL ERHÅLLS. FÖR RIVS EJ FÖR LÅG BEKÄNNIS UPPHÅTT ER-
FÖRDERIS HÅLLBARHET. SLD VÄRDE 4,5 OCH EJ FÖR LÅG
UPPSÄTTNING FÖR EJ SNE FÖRÅN BALKARNAS SJÖFÖR: RIVTS.

SKÅL
KS 40, KS 47.
ERHÅLLNINGSSÄTT
ERHÅLLNINGSSÄTT SE GÖTTEHURT UTÅTÄNDE 800g 1978
FÖLJAND SÄMAM LÄMNINGEN LÄPÖRES MED ICHE DÅLSKÄRANDE
MÅTTORAL PÅ SÄDAN SÄTT ATT BEKÄNNIS EJ SKADAS
I AVSENING: SÖLDB ENL. VVS BEKÄNNIS 1989 BL. 14-6

RITNINGSFÖRTECKNING

RITNING	RITNINGS
SÄTTNINGSSÄTTNING	000
SKISS 1	011
SKISS 2	021
SKISS 3	031
SKISS 4	041
SKISS 5	051
SKISS 6	061
SKISS 7	071
SKISS 8	081
SKISS 9	091
SKISS 10	101
SKISS 11	111
SKISS 12	121

BALKEN
0-85873/0

0 10001

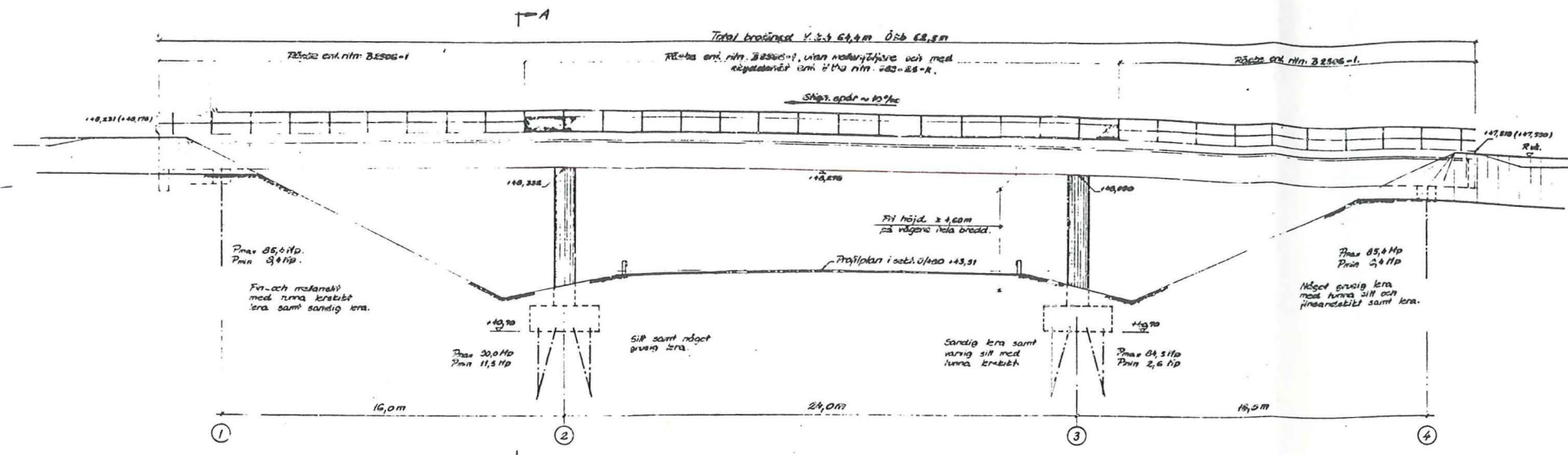
AV ARNESSON BEYER & WÄGNERSTENBERG
TEKNISKA KONTORET
Sveviga 7 • 112 88 Stockholm • 08-78 18 00
FÖRSTÄLLNINGEN AV ERHÅLLNINGEN AV
1979-02-18
Dagmar Sjöström

C. 413
VÄGFORRY ERHÅLLNING S. MARRHA
PÅ VÄG EA UPPSALA - GÄVLE
SÄMAMSKÄLLETTNING
SKALA 1:100

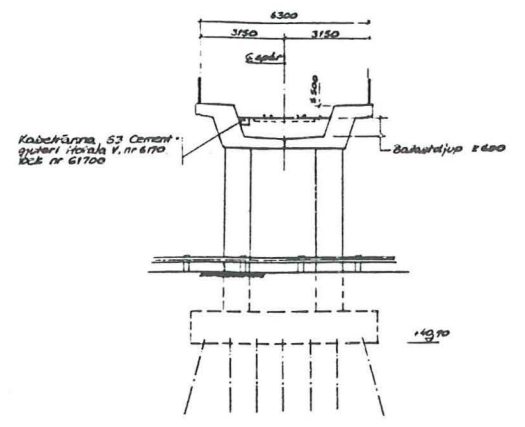
1:20

VMS 83 30 X

E 4 km 78+267

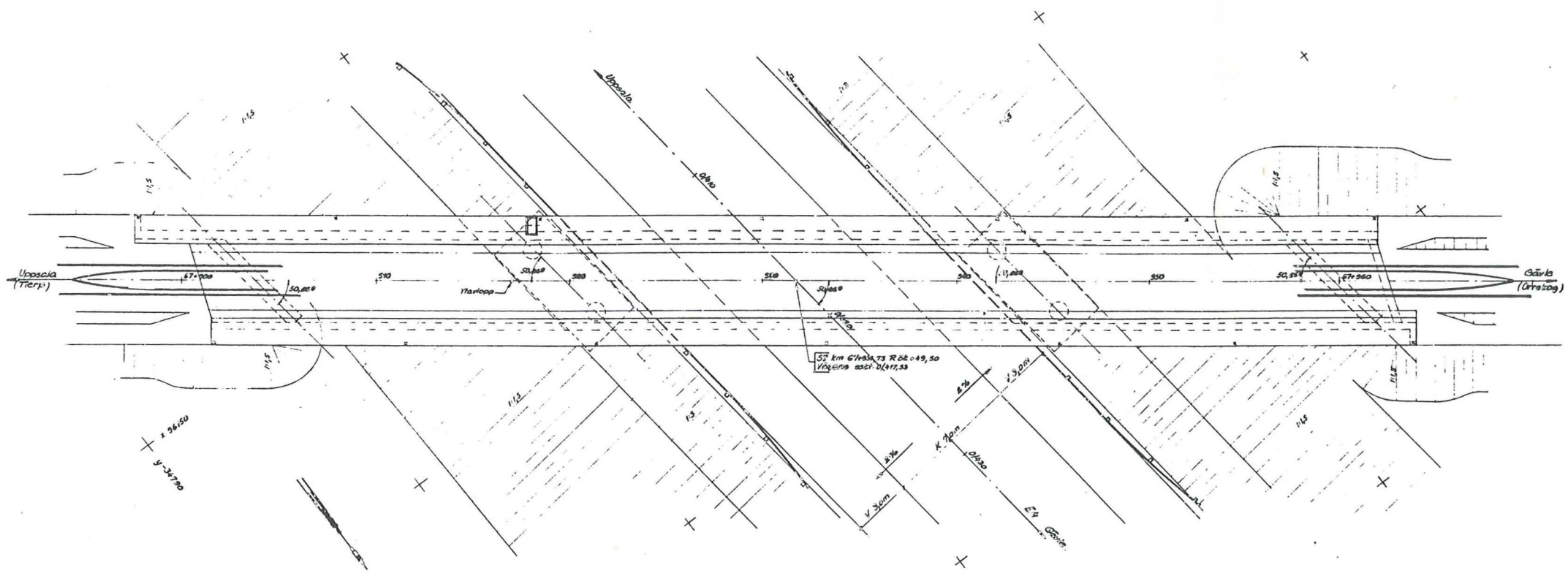


Elevation, 1:100
+höjd mm (!) örnär denna axon.

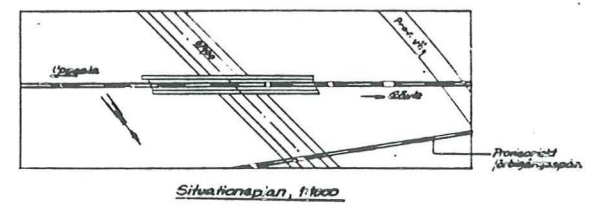


Section A-A, 1:100

Arvistering
 Solastriking: Bronn beräknas för belastningar enl. last 0 från ställiga belastn. best. (SOU 1961:12) med till-
 lämna ökningarna enl. VV bronnormer 1969, Tjglast
 0,85 F alt. lasterupp 1. Konstruktionen hänföres till
 grupp B, dynamiskt påverkade konstruktioner.
 Normer: Arbetet utfördes enligt 1960 års statiska cement-
 best. 1965 och 1969 års bestämmelser för betongkon-
 struktioner (Statens Betongkommitté B1-1960, B5-1965,
 B6 och B7-1966) samt VV bronnormer 1969.
 Fig: Pp 104 H.S.h. 48,399, Pp 106 H.S.h. 49,585. RÅK 4000
Grundförhållanden: Bron grundläggs enl. Statens Geo-
 tekniska Institutets utlåtande nr K 9723 av den 10 juni
 1970 samt K 140 av den 4 febr 1972 i den mån icke annat
 sägs i SJ skrivelse av den 27 juli 1972, der 71750/7314.
Förpällning och pålar under däck för tillfartsbakarna
 se Säng ritn. 0 97 i 1B.
 Återfyllning skall ske samtidigt vid bronns båda ändar
 med frostpassivt material som konstitueras så att
 sättningar i möjligaste mån undviks.
Isolerings: Bronns Överstyror bestyckas
 med Aquapla Extra, eller likvärdigt, i strykriktning.
 * seger avvägringsdubbar enl. Bronnormerna
 14,94 bil. 14-9.
Betringsförteckning
 6310 -1 Pålplan
 -2 Pålare och botterplattor. Mitt o. armering
 -3 Pålplattor vid brotår. Armering
 -4 Överbryggnad, mitt
 -5 Spårarmering
 -6 Slakarmering
 -7 Sammanställning
 -101 Kompletterande armering vid stöd 3 samt
 armering vid förstärkningsordning



Plan, 1:100



BILDMORT
 0-54888

8 3199-1

Entreprenör: AB. Niis P. Lundh, Västerås.

CENTEROF & HÖLMBERG AB	Objekt	Vägar vid Odenslät
	Best. nr	Del Uppåsa - Gävle
	Objekt nr	Km 67+931,33
	Charakter	Sammanställningsritning.
	Blad nr	6310 8 3199-1
	Blad nr	7