

CHALMERS



Viltbroar i Sverige

En jämförelsestudie på rörbroar av stål som alternativ till traditionella betongbroar vid uppförande av faunapassager

Examensarbete inom högskoleingenjörprogrammet Byggingenjör

Anders Borgelöv
Lars Johansson

Institutionen för bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2007
Examensarbete 2007:48

Examensarbete 2007:48

Viltbroar i Sverige

En jämförelsestudie på rörbroar av stål som alternativ till traditionella betongbroar vid
uppförande av faunapassager

ANDERS BORGELÖV, LARS JOHANSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2007

Wildlife overpasses in Sweden – A comparison of corrugated steel structures and traditional concrete bridges

ANDERS BORGELÖV, 1979

LARS JOHANSSON, 1978

© ANDERS BORGELÖV, LARS JOHANSSON

Diploma thesis 2007:48

Department of Civil and Environmental Engineering

Chalmers University of Technology

SE-412 96 Göteborg

Sweden

Telephone +46 (0)31-772 1000

Omslag: Faunapassage av BoxCulverts med gabionavslut. 3D-animerad av Niklas Johansson, SWECO VBB.

Chalmers Tekniska Högskola

Göteborg, Sweden 2007

Sammanfattning

Infrastrukturens utbyggnad och intensifiering skapar barriärer i naturen vilka leder till ökad fragmentering av landskapet. På global nivå anses denna fragmentering vara ett av de största hoten mot den biologiska mångfalden, tillsammans med klimatförändringar, föroreningar och överexploatering av enskilda arter. Utbyggnaden av transportinfrastrukturen innebär normalt bara förbättringar för människor. För djuren är situationen dock annorlunda då de behöver naturområden med tillräcklig storlek och kvalitet för att kunna finna föda, söka skydd och föröka sig. Fragmentering av naturen leder till att det blir svårare för djuren att förflytta sig mellan olika områden och det genetiska utbytet mellan olika populationer minskar, detta kan på sikt leda till att hela viltstammar kan dö ut.

Problem med barriäreffekt och fragmentering har hittills inte varit lika stora i Norden som i övriga Europa. Men i dagens infrastrukturprojekt blir det allt vanligare att tvärpassager skapas för djuren, antingen över eller under vägen/järnvägen. Större vilt passerar helst inte i trånga passager och därför framstår en passage över barriären ofta som det bästa alternativet. De faunapassager som hittills byggts i Sverige har varit av typen traditionell betongbro. På senare tid har dock intressanta tekniska alternativ kommit på marknaden, då främst rörbroar av stål.

Examensarbetet syftar till att ge en bakgrundsbeskrivning av djurens behov och funktionen hos olika typer av faunapassager. Tekniken kring rörbrokonstruktioner beskrivs och en jämförelsestudie av faunapassager uppförda som traditionella betongkonstruktioner och rörbroar av stål belyser för- och nackdelar för de olika brotyperna.

En stor del av arbetet är baserat på litteraturstudier samt studier av referenser i form av befintliga faunapassager i Sverige och i utlandet. Studiebesök vid såväl rörbrokonstruktioner som vid befintliga faunapassager av betong har gjorts. Samtal med tillverkare av rörbroar och personer vid Vägverket och Banverket samt projektörer samt konstruktörer har alla bidragit med information.

Under vår studie har vi kunnat konstatera att faunapassager är viktiga för att minska den negativa inverkan av fragmentering som utbyggnad av transportinfrastrukturen medför. Den slutsats vi kan dra av vår jämförelsestudie är att rörbroar av stål mycket väl kan konkurrera med traditionella betongkonstruktioner vid uppförande av faunapassager. Ekonomiskt är rörbron avsevärt billigare vilket tillsammans med betydligt kortare byggtider ger de klaraste fördelarna gentemot betongbron. Det finns dock vissa detaljer kring rörbrokonstruktionen som bör beaktas särskilt. Vattenproblematiken på rörets utsida och anslutning mellan rör och fundament är två känsliga områden som vi har givit särskild uppmärksamhet i en tekniskdetaljstudie.

Nyckelord: rörbro, SuperCor, faunapassage, viltbro, jämförelsestudie

Abstract

The expansion and intensification of infrastructure results in barriers in natural environments which, in turn, lead to an increased fragmentation of the landscape. On a global level this fragmentation is regarded as one of the largest menaces to the biological multitude, beside climate changes, pollution and overexploitation of single species. The expansion of the transportation infrastructure normally only leads to improvements for humans. The situation is different for the animals that need natural habitats of adequate size and quality to find food, shelter and to be able to breed. The fragmentation of the natural environment reduces the animals' possibility to move between different areas and the genetic exchange between different populations decreases. In the long-term this can cause entire wildlife populations to die out.

Until now the problems with barrier effect and fragmentation has not been as large in the Nordic countries as in other European countries. But in the infrastructure projects of today it is getting more common that crossings are established for the animals, either over or under the road/railway. Larger wildlife does not willingly pass in small passages and therefore overpasses seem to be the best alternative. The wildlife crossings which are built in Sweden up until today are of the traditional concrete bridge type. Lately some alternatives have turned up on the market, foremost corrugated steel structures.

This Bachelor of Science thesis aims to describe the needs of the animals and the function of different kinds of wildlife crossings. The technology of corrugated steel structures is described and evaluated in a comparison study between wildlife crossings built as traditional concrete bridges and steel structures.

A major part of the thesis is based on literature studies and existing wildlife crossings are used as references. Study visits at both corrugated steel structures and wildlife crossings made of concrete have been made. Interviews with manufacturers and employees at the Swedish National Road Administration and the Swedish National Rail Administration have also contributed with information.

This study has been able to establish that wildlife crossings are important to avoid fragmentation problems caused by expansion of the infrastructure. Overpasses are particularly important for elks and deer that avoid passing under the road.

The conclusion of the comparison study is that corrugated steel structures can compete with concrete bridges regarding wildlife crossings. Economy and shorter construction time are the most significant benefits. A special technical study treats the connection between steel and concrete and also the problems with water leakage.

Keywords: corrugated steel, SuperCor, wildlife crossings

Förord

Examensarbetet omfattar 11 poäng och är en obligatorisk del av Byggingenjörsprogrammet 120 poäng vid Chalmers Tekniska Högskola, institutionen för bygg- och miljöteknik. Arbetet har genomförts på SWECO VBBs Göteborgskontor mellan mars 2007 och maj 2007.

Vi vill i detta förord tacka samtliga personer som varit med och bistått oss i vårt arbete, speciellt vill vi tacka:

- Javad Homayoun, gruppchef och Erik Lööv, konstruktör vid avdelningen för bygg- och anläggningskonstruktion på SWECO VBB i Göteborg. Genom Javad fick vi möjlighet att göra examensarbetet i samarbete med SWECO och Erik, som också varit vår handledare, kom med uppslaget om faunapassager och rörbroar.

- Sören Lindgren, Chalmers Tekniska Högskola, examinator som varit behjälplig under hela projektet.

Göteborg, maj 2007

Anders Borgelöv

Lars Johansson

Innehållsförteckning

Sammanfattning	IV
Abstract	V
Förord	VI
Innehållsförteckning	VII
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och avgränsning	1
1.3 Metod	1
2 Faunapassager i infrastrukturen	3
2.1 Infrastrukturens påverkan på landskap och djurliv	3
2.1.1 Djurliv.....	3
2.1.2 Landskap.....	4
2.2 Lokalisering och utformning av faunapassager	4
2.2.1 Lokalisering.....	5
2.2.2 Utformning	5
2.3 Brotyper vid faunapassager	7
2.4 Estetisk tillämpning	7
2.4.1 Faunapassagen i väggrummet.....	8
2.4.2 Faunapassagen över vägen	9
3 Teknisk beskrivning av rörbroar	10
3.1 Föreskrifter och normer.....	10
3.2 Konstruktion och materialegenskaper	10
3.3 Grundläggning och geoteknik	13
3.3.1 Membrantätning.....	15
4 Jämförelsestudie av alternativ till viltbroar	16
4.1 Förutsättningar och jämförelser	16
4.1.1 Teknik.....	18
4.1.2 Ekonomi.....	18
4.1.3 Estetik.....	19
4.1.4 Miljö	20
4.1.5 Flexibilitet	20
4.2 Resultat	21
4.3 Slutsats.....	22
5 Teknisk detaljstudie och förslag på praktiska lösningar	24
5.1 Vattenpåverkan av konstruktionens utsida	24
5.2 Anslutning med stålprofil mot betongfundamentet	25
6 Avslutning	26
6.1 Diskussion	26
6.2 Rekommendationer.....	27
6.3 Slutsats.....	28
7 Referenser	29
7.1 Litteratur.....	29
7.2 Elektroniska källor	29
7.3 Muntliga källor.....	29

Bilagor

- Bilaga 1a Kostnadsberäkning för traditionell betongbro
- Bilaga 1b Kostnadsberäkning för rörbro
- Bilaga 2 Bilder på rörbroar och faunapassager
- Bilaga 3a 3D-viualisering alt. 1
- Bilaga 3b 3D-viualisering alt. 2

1 Inledning

Detta kapitel beskriver bakgrund, syfte, avgränsning och metod för examensarbetet.

1.1 Bakgrund

Byggande och brukande av vägar och järnvägar skapar barriärer i naturen och är den främsta orsaken till fragmentering av landskapet. Denna fragmentering anses på global nivå vara ett av de största hoten mot den biologiska mångfalden, tillsammans med klimatförändringar, föroreningar och överexploatering av enskilda arter. Utvidgningen av transportinfrastrukturen påverkar vanligtvis människors resvanor, restider och trafiksäkerhet positivt, men för djuren förändras situationen negativt. När djurens befintliga livsmiljöer, habitat, skärs av ökar risken att djuren antingen försöker ta sig över barriären och på så sätt utgör en trafikfara, eller så splittras viltstammarna. Uppdelning av viltstammar kan på sikt leda till att de helt försvinner.

I dagens infrastrukturprojekt blir det allt vanligare att tvärpassager skapas för djuren, antingen över eller under vägen/järnvägen. Större vilt går inte gärna genom trånga passager och därför framstår en passage över barriären ofta som det bästa alternativet.

Problem knutna till barriärer och fragmentering har fram till nu inte varit lika uttalade i Norden som i övriga Europa. Då området är relativt outforskat i Sverige har få formella kvalitetskrav fastställts, vare sig funktionsmässiga eller tekniska. De faunapassager som hittills byggts har traditionellt varit av typen betongbro. På senare tid har dock nya tekniska alternativ uppkommit, då främst rörbroar av stål.

1.2 Syfte och avgränsning

Projektet syftar till att ge en grundläggande beskrivning av djurens behov samt att klargöra skillnader och funktioner hos faunapassager, tekniken bakom rörbroar beskrivs särskilt. I en jämförelsestudie av faunapassager uppförda som traditionella betongkonstruktioner samt rörbroar av stål belyses faktorer såsom teknik, ekonomi, estetik, miljö och flexibilitet. En teknisk detaljstudie av ett förslag på anslutningen mellan rörprofil och betongfundament utförs dessutom.

Jämförelsen avgränsas till viltbroar och ekodukter, se kapitel 2 underkapitel 2.2.2, där viltstråken passerar över vägen/järnvägen. Faunapassagera dimensioneras enligt Bro 2004 med supplement 1 och BV Bro 8 för svenska förhållanden med avseende på klimat, halkbekämpning och djurarter.

1.3 Metod

Huvuddelen av informationen har erhållits genom litteraturstudier samt studier av referenser i form av befintliga faunapassager i Sverige och i utlandet. En betydande del av denna rapport bygger på muntliga kontakter och möten med personer inom olika områden som här presenteras lite närmre.

Lars Hansing är konstruktionsansvarig vid ViaCon AB. Under inledningsfasen av detta examensarbete höll Lars en presentation av företaget och dess produkter samt anordnade ett studiebesök till en större rörbro i Gånghester. Lars har under arbetets gång bidragit med ritningsmaterial och att svara på frågor angående rörbroar.

Mattias Olsson är doktorand vid Karlstads universitet och har i sin forskning studerat hur motorvägar med viltstängsel och faunapassager påverkar älgars rörelsemönster. En stor del av forskningen är förlagd till de tre faunapassagerna vid Grytingen, Myren och Hogstorp och dess omgivning strax norr om Uddevalla. Mattias slutliga avhandling avslutas den 8 juni 2007. Mattias har tillhandahållit delar av sitt material vilket legat till grund för de biologiska aspekterna i rapporten. Studiebesök har gjorts vid de tre faunapassagerna.

Ingela Svensson är landskapsarkitekt på SWECO FFNS. Ingela har varit med och diskuterat den estetiska gestaltningen och växtligheten på viltbronns översida.

Anders Genne arbetar som konstruktör på SWECO VBB och var uppdragsledare för projektering och konstruktion av viltbron vid Grytingen och har även konstruerat ett flertal mindre rörbroar. Anders har varit behjälplig med att svara på frågor och tillhandahålla ritningsmaterial rörande både betong- och rörbrokonstruktioner.

Niklas Johansson är konstruktör på SWECO VBB och har gjort 3D-visualiseringar på två tänkbara faunapassager utformade som rörbrokonstruktion över motorväg. Niklas har stor erfarenhet av konstruktion av rörbroar.

Martin Laninge jobbar med brofrågor och har varit med och uttryckt Vägverkets syn på styrkor och svagheter hos rörbroar.

Peter Lidemar är teknikansvarig broingenjör på Banverket och har i likhet med Martin varit med och delgivit Banverkets syn på rörbroar.

2 Faunapassager i infrastrukturen

Infrastrukturens utbredning och intensifiering har ökat markant de senaste årtiondena. Under samma period har tillväxten på älg och rådjur varit stor beroende på avsaknaden av rovdjur, förbättrade habitat och selektiv jakt. I takt med ökande bestånd och högre trafikintensitet har även viltolyckorna ökat avsevärt. Från 1990-talet och framåt har årligen fler än 4000 älgolyckor och 20000 rådjursolyckor rapporterats till polisen, men mörkertalen är stora (Olsson Widén 2008) (Vägverket Banverket 2005). Det är svårt att sätta ett pris på humanvärden, men förmodligen uppgår de totala kostnaderna för viltolyckorna till 3 miljarder kronor varje år. Av denna kostnad står älg för 1,1 miljarder och övriga hjortdjur för 1,5 miljarder (Vägverket Banverket 2005).

2.1 Infrastrukturens påverkan på landskap och djurliv

För att djur ska kunna söka skydd, finna föda och föröka sig krävs naturområden med erforderliga kvalitéer och tillräcklig storlek. Vägar och järnvägar bildar barriärer i naturen och gör att djurens habitat splittras. Fragmenteringen av naturen leder till att det blir svårare för djuren att förflytta sig mellan olika områden och det genetiska utbytet mellan olika populationer minskar, detta kan på sikt leda till att hela viltstammar kan dö ut (Vägverket Banverket 2005).



Figur 2.1 *Infrastrukturen skapar barriärer i naturen*

2.1.1 Djurliv

Infrastrukturens direkta påverkan på djurlivet beskrivs i "Vilda djur och infrastruktur - en handbok för åtgärder" (Vägverket Banverket 2005) med fem olika effekter. Här kommer en kort presentation av dessa.

Förlust av livsmiljö beskriver den direkta förlusten och förändringen av mark och omgivning. Totalt täcks 1,5 % av Sveriges yta av vägar och järnvägar, därtill kommer också bankar, skärningar, parkeringar och rastplatser m.m. som förändrar livsvillkoren för djuren. Denna effekt kan förstärkas ytterligare om vägen/järnvägen byggs i närheten av en naturlig viltbarriär, såsom vattendrag eller bebyggelse.

Barriäreffekt är ett ofta förbisett problem som ökar med trafikintensiteten på vägen. Då trafikmängden överstiger 10 000 fordon per dygn blir barriäreffekten nästan total för de flesta arter.

Trafikdödlighet i Sverige påverkar normalt inte djurbestånden på nationell nivå, lokalt kan dock viltolyckor hota vissa djurarter. Antalet älgar och rådjur som dör i trafiken uppgår till ca 10 % av dem som årligen skjuts vid jakt.

Nya livsmiljöer och korridorer bidrar med både positiva och negativa effekter. Vägkanter och banvallar bildar ofta förbindelser så djur kan förflytta sig mellan olika platser. De tjänar också som livsmiljö för många arter, uppemot en tredjedel av den svenska floran kan återfinnas i vägkanterna.

Föroreningar och störningar uppstår alltid till följd av byggnation av transportinfrastruktur. Trafikens intensitet, hastighet samt omgivningen påverkar omfattningen av problemen. Luftföroreningar såsom partiklar och marknära ozon, dagvatten och vägsalt är vanligt förekommande utsläpp. Även buller och belysning kan störa djurens naturliga vanor.

2.1.2 Landskap

Fragmentering är den företeelse som har störst inverkan på landskapet. Med fragmentering avses uppdelning av livsmiljöer där de mindre delarna isoleras från varandra med ett minskat antal individer som följd. Djurarter som kräver stora sammanhängande habitat påverkas mest, ex. varierar storleken på älgarnas hemområden mellan 1000-5000 ha (Olsson Widén 2005).

Initialt kan effekterna av fragmentering vara obetydliga för en art, men vid ett s.k. tröskelvärde kan tillståndet bli så allvarligt att det leder till artens försvinnande från ett område (Vägverket Banverket 2005). Problemen med fragmentering har hittills varit betydligt mindre i Norden än i övriga Europa där trafikintensiteten är högre. Jämförelsevis är Sveriges medelstorlek på obruten mark 400 km² mot Belgiens 20 km², i EU är medeltalet 130 km² (Vägverket Banverket 2005). De största problemen finns dock i Nederländerna (http://www.vti.se/templates/Page____2881.aspx) som dessutom är ensamma om att ha en rikstäckande plan för att undvika ytterligare fragmentering samt att återskapa förbindelser mellan avskurna biotoper (Vägverket Banverket 2005).

Ofta leder utveckling av infrastrukturen till att tidigare orörda områden tas i anspråk för ex. handel, bostäder och industri. Detta är indirekta effekter som påverkar djurens livsmiljöer negativt (Vägverket Banverket 2005).

2.2 Lokalisering och utformning av faunapassager

Vid utbyggnaden av större vägar såsom europavägar och riksvägar där trafikmängden är hög är det i många fall nödvändigt att hindra större djur från att ta sig ut på vägen. För att reducera viltolyckorna är viltstängsel det mest kostnadseffektiva alternativet. Stängslet ska leda djuren till lämpliga passagemöjligheter och har visat sig reducera antalet älgolyckor med 75-80 % och rådjursolyckor med ca 55 % (Vägverket Banverket 2005).

Begreppet faunapassage är relativt nytt och outforskat i Sverige och typen planskilda faunapassager har endast byggts på ett fåtal platser. 2002 påbörjades, på uppdrag av Vägverket, en

forskningsstudie vid Karlstads Universitet som syftar till att utvärdera tre faunapassager, två över- och en underpassage utefter E6 strax norr om Uddevalla. I studien har 24 älgar försetts med sändare för att kunna följa älgarnas rörelsemönster, projektet förväntas fortgå till sommaren 2007 (Olsson Widén 2005).

Då Banverket inte har lika omfattande viltolycksproblematik som Vägverket har det hittills inte byggts några planskilda faunapassager för storvilt där djuren passerar över järnväg. (Peter Lidemar, Banverket)

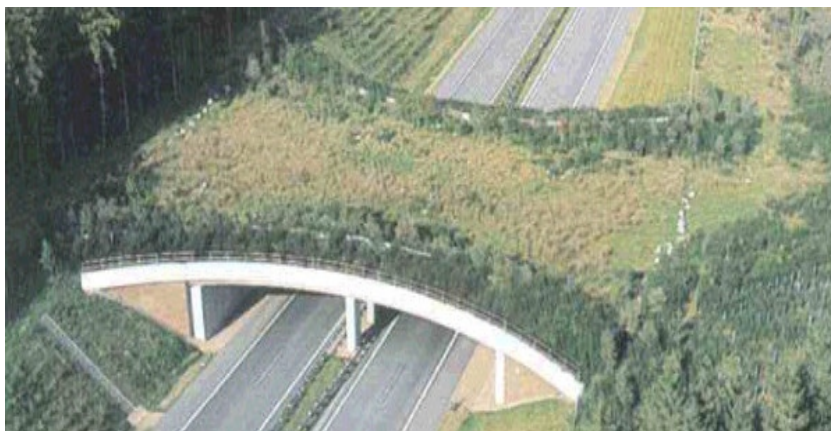
2.2.1 Lokalisering

Byggandet av faunapassager innebär stora kostnader, därför är det viktigt att det finns kunskap om och att hänsyn tas till det omgivande landskapet. Viktiga faktorer att ta hänsyn till är landskapets grundläggande struktur samt inverkan av mänsklig aktivitet, förekommande djurarter och deras rörelsemönster samt omgivningens framtida förändringar, såväl mänskliga som naturliga (Sektion Utformning av vägar och gator 2004). Forskningsstudien vid Karlstads Universitet påvisar att det inte bara är passagens storlek och landskapets form som påverkar djuren utan också tillgången på andra passagemöjligheter. Ingen av de 24 älgarna i studien valde exempelvis att passera genom undergången (Olsson Widén 2008).

2.2.2 Utformning

Alla möjligheter att passera vägen eller järnvägen är viktiga för djurlivet. I begreppet faunapassager inryms flera olika typer, allt från smådjurstunnlar och strandpassager under broar till ekodukter och viltbroar. Detta examensarbete behandlar främst:

Ekodukt en bro som leder omgivande natur över vägen och binder samman hela livsmiljöer och ekosystem, ingen mänsklig trafik förekommer. Vegetationen är viktig på en ekodukt, den ska vara så lik omgivningen som möjligt och kunna fungera som gömsle åt mindre djur. Det är viktigt att vegetationen är av rätt typ och sköts på rätt sätt för att fungera enligt önskemålen och inte påverka den tekniska konstruktionen (Vägverket Banverket 2005). En ekodukt bör vara 30–80 m bred (Sektion Utformning av vägar och gator 2004).



Figur 2.2 *Ekodukt i Nederländerna*

Viltbro en vägbro anpassad för djurens passager. Djurens krav styr och vägen har sekundär betydelse. Djur störs lätt av människor, därför får endast vägar med mycket låg trafik förenas med viltövergång. Bredden på en viltbro avsedd för klövdjur bör vara 7 m plus vägbredden (Vägverket Banverket 2005).



Figur 2.3 *Viltbro vid Grytingen E6 Sverige*

Nedan beskrivs för kännedom kort två typer av faunapassager där djurlivet passerar under vägen/järnvägen dessa behandlas dock inte mer ingående i examensarbetet.

Landskapsbro används för att undvika att vägen skär av känsliga naturområden. Den naturliga vegetationen fortsätter in under vägen och hänger ihop med naturen på andra sidan. Landskapsbron ska likt ekodukten fungera för alla djurarter i området och bör vara minst 5 m hög och 80 m lång för att djuren ska uppleva att landskapet fortsätter på andra sidan (Sektion Utformning av vägar och gator 2004).



Figur 2.4 *Landskapsbro E4*

Viltport är en vägport anpassad för att kunna användas av djur. Den ställer inte samma krav på upplevelse som landskapsbron utan anpassas i större utsträckning efter andra behov och de förekommande djurens minimikrav. Beroende på storlek, utformning och anpassning till naturen kan viltporten användas av samtliga djurarter (Vägverket Banverket 2005).



Figur 2.5 Viltport vid Myren E6 Sverige

Generella utgångspunkter vid utformning av viltbroar och ekodukter är att de skall kunna användas av ett så stort antal arter som möjligt. Avskärmningar längs bronns kanter skall förhindra att djur tar sig ut på vägen samt att skydda djuren från trafikens buller och strålkastarreflexer, älgar kräver en höjd på minst 2 m. För att hjortdjur skall använda passagerna bör det vara fri sikt till andra sidan. Jakt bör inte förekomma i nära anslutning till ekodukten/viltpassagen (Vägverket Banverket 2005).

2.3 Brotyper vid faunapassager

Fram till idag har svenska viltbroar endast utgjorts av betongbroar vilket är ett traditionellt sätt att bygga. Inom betongtekniken finns mycket kunskap och en stor trygghet då broarna dimensioneras för en lång livslängd. Rörbroar av stål är ett alternativ som idag finns tillgängligt på den svenska marknaden i dimensioner som tidigare inte varit möjliga och kan därför konkurrera med betongbron. Sedan 2004 tillverkar svenskbaseade företaget ViaCon SuperCor korrugerade stålprofiler, se kap. 4.1, i Europa på licens av kanadensiska företaget AIL, Atlantic Industries Limited (<http://www.viacon.se/prod/Supercor.pdf>), vilket är en typ av rörbro som medger stora spännvidder och ger en tekniskt sett bra slutprodukt.

En annan möjlig brotyp vid uppförande av faunapassager är prefabricerade valvbågar av betong. Någon tillverkare av färdiga koncept för de storlekar som i denna rapport är aktuella finns dock inte i Sverige. Däremot finns det i bl.a. Nordamerika och England intressanta alternativ med tekniska lösningar för valvbågar med stora spännvidder av prefabricerad betong. Koncepten skulle kunna vara relevanta att jämföra med ViaCon SuperCor om tillverkning fanns i Sverige. Alternativet att importera prefabricerade betongkonstruktioner bedöms dock varken vara miljövänligt eller kostnadseffektivt. I Norge används en typ av tunnelsystem av betong som även tillämpas vid brobyggnad av bland annat faunapassager (Martin Laninge, Vägverket).

På kontinenten har åtskilliga faunapassager byggts i varierande utförande, såväl betong- som stålkonstruktioner. Ett urval av bilder på befintliga faunapassager återfinns i Bilaga 2.

2.4 Estetisk tillämpning

Vid byggande av faunapassager är utformningen viktig för helhetsintrycket. Med ny teknik skapas också nya möjligheter att ur estetisk synvinkel påverka slutresultatet. Då både djur och människor

kommer att bruka konstruktionen, om än på olika sätt, måste hänsyn tas till båda grupperna. Djuren är den primära målgruppen men vissa delar av konstruktionen kommer endast att vara synlig för människor. I Bilaga.2 visualiseras ett antal intressanta faunapassager i Europa.

2.4.1 Faunapassagen i vägrummet

De viltbroar som hittills byggts i Sverige har utformats som vanliga trafikbroar och försetts med ljud- och ljusavskärmningar utmed broräckena. De smälter väl in i trafikmiljön och många bilister noterar inte skillnaden. Men då större hänsyn skall tas till naturlandskapet kan dock en betongbro vara svår att anpassa till omgivningen varvid en rörbro kan vara lämpligare. Valvbron kan genom sin mjukare geometri upplevas som mer organisk och kan antas smälta in bättre i omgivningen. Då konstruktionen består av två eller fler parallella rör bör samma tvärsnittsform användas för att ge ett harmoniskt helhetsintryck (Ingela Svensson, SWECO FFNS).

Avskärmning för ljud och ljus samt skyddsanordning är nödvändiga, ofta kombineras dessa och utformningen styrs av aktiviteten uppe på bron. På en ekodukt krävs endast viltstängsel samt fallskydd för de människor som eventuellt kommer att vistas på bron, medan en viltbro där trafik förekommer måste förses med vägräcken dimensionerade enligt Bro 2004.

Förutom sin praktiska funktion kan avskärmningen också förstärka bronns estetiska kvalitéer. De kan utföras på ett flertal sätt och av olika material t.ex. träplank, vegetationsskärm eller stenmur. Bilden nedan visar en variant med 2 m höga icketransparenta plexiglasskivor.

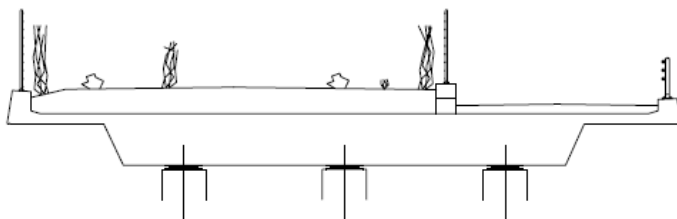


Figur 2.6 *Avskärmning, viltbro vid Grytingen E6 Sverige*

Det omgivande landskapet skapar möjligheter men medför även begränsningar till designen av bron och det är först då faunapassagens placering är bestämd som de estetiska aspekterna blir aktuella.

2.4.2 Faunpassagen över vägen

Utöver brons fasader blir själva överfarten en yta där estetiska värden spelar in. Planteringar av varierande art har i första hand en gynnsam för djuren men möjliggör också en starkare anknytning till omgivningen. En möjlighet är att leda över delar av den befintliga växtligheten över bro och slänter. Allt för kraftig rotstruktur bör dock undvikas då denna kan gräva sig djupt ner och negativt påverka kringfyllnad och markdukar. Under planeringsskedet skall nödvändiga jordtjocklekar tas i beaktning då de medverkar till en högre överfyllnad. För gräs rekommenderas 0,3 m medan det för buskar krävs 0,6 m och för träd ett hela 1 m tjockt jordlager (Vägverket Banverket 2005). Arrangemang med stenar eller genom överhöjning av en del av brobredden kan hjälpa till att dela av en viltbro på ett rent och effektivt sätt.



Figur 2.7 *Avdelning av viltbro genom överhöjning och viltstängsel*

3 Teknisk beskrivning av rörbroar

I Bro 2004 definieras rörbro:

Bro, som genom samverkan mellan rör och jord, ges erforderlig bärförmåga och där rörets tvärsnitt har en radie som är konstant eller föränderlig över tvärsnittet.

Rörbroar av stål är en generell benämning på broar som byggs upp av vanligtvis korrugerade krökta plåtar till en trumma eller valv som genom samverkan med omkringliggande packad jord utgör den bärande konstruktionen (Pettersson Sundquist 2006). Denna konstruktion benämns i Bro 2004 som en multipelkonstruktion av stål. Även multipelkonstruktioner av prefabricerade betongelement kan sättas samman till en rörbro, rapporten avgränsas dock till konstruktioner av stål i varierande profil då de i Sverige finns tillgängliga för de stora spännvidder som blir aktuella vid uppförande av faunapssager.

3.1 Föreskrifter och normer

Vid projektering av rörbroar i Sverige är Bro 2004 från Vägverket och BV Bro 8 från Banverket de för närvarande gällande normerna. Bro 2004 anger att beräkningar av rörbroar av stål ska göras med beräkningsmodell enligt ”Dimensionering av rörbroar” utarbetad av Kungliga Tekniska Högskolan, sektionen för byggkonstruktion. Säkerheten i denna metod har bekräftats genom fullskaleförsök.

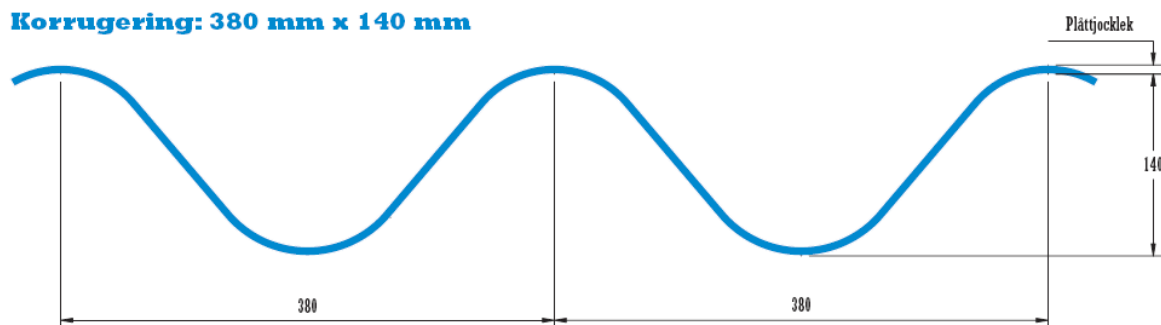
3.2 Konstruktion och materialegenskaper

En valvbåge av korrugerad stålplåt har i sig självt inte hög kapacitet med avseende på lastupptagning. Tillsammans med jordmaterial av god kvalitet och en tillfredställande packningsgrad kan dock en samverkanskonstruktion med mycket höga hållfasthetsegenskaper erhållas redan vid relativt små överfyllnadshöjder (Pettersson Sundquist 2006). Genom en kraftig korrugering kan relativt tunna plåtar användas för stora spännvidder, SuperCor är den starkaste förekommande korrugeringen på marknaden med en styvhet som vida överstiger konventionella korrugeringar. Enligt tillverkaren finns möjlighet till spännvidder över 20 m (<http://www.viacon.se/prod/Supercor.pdf>).

SuperCor tillverkas i plåttjocklekar mellan 4-7 mm och har en korrugering som är 380 mm x 140 mm. Varje segment är 762 mm brett och längderna varierar med en maxlängd kring 5 m. Plåtarna levereras till byggplatsen i buntar och sammanfogas där med skruvar och muttrar. Det är viktigt att montage sker på ett korrekt sätt och att skruvförbanden uppfyller erforderliga åtdragningsmoment (<http://www.viacon.se/prod/Supercor.pdf>).

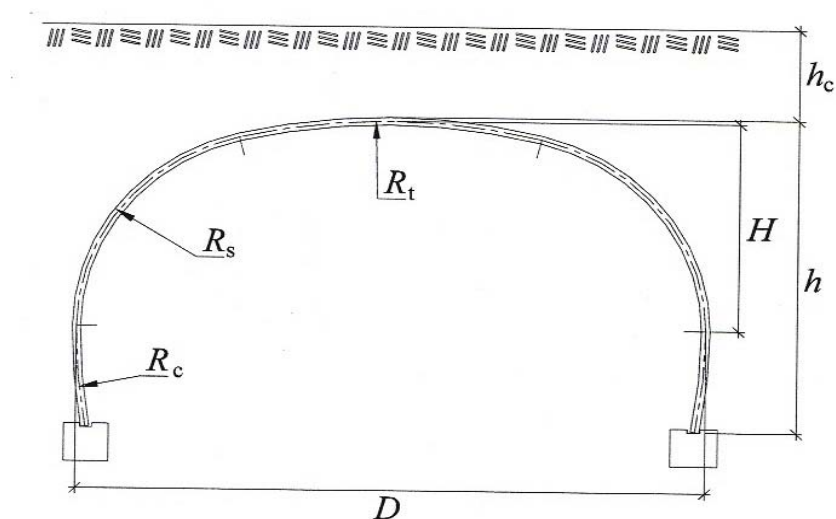
Förtillverkningsgraden varierar och det är mycket vanligt att ett antal plåtar sammanfogas vid sidan av bron innan de lyfts på plats och monteras till en komplett enhet (Lars Hansing, ViaCon).

Korrugering: 380 mm x 140 mm



Figur 3.1 SuperCor korrugering

De aktuella profilerna för faunapassager över väg är främst boxculvert och flerradie valvbåge då tvärsnittet medger hög fri höjd även längs kanterna. Kravet på fri höjd är normalt 4,70 m över hela vägbanan men eftersom stål räknas till lätt överbyggnad där påkörning kan ge svåra konsekvenser väljs normalt en fri höjd av 5,10 m (Avdelningen för bro och tunnel 1996).

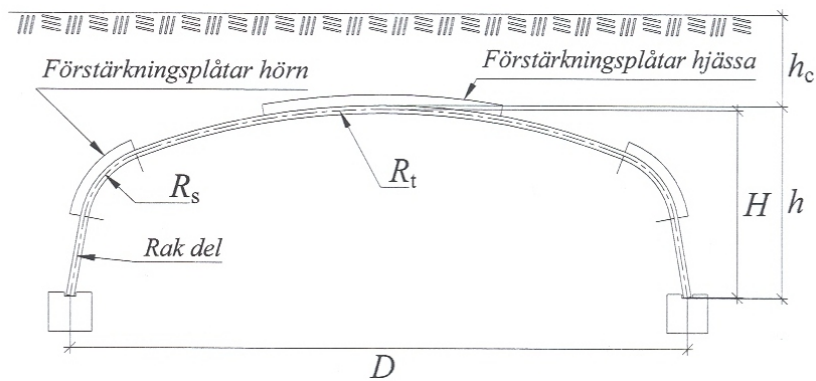


Figur 3.2 Valvbåge med tre olika radier toppradie, sidoradie och hörnradie en s.k. flerradie valvbåge

H = vertikalt avstånd mellan rörbrons hjässa och den höjd på vilken rörbron har sin största bredd.

h_c = överfyllnadshöjd h = rörprofilens höjd D = spännvidd

R_t = toppradie R_s = sidoradie R_c = hörnradie



Figur 3.3 Boxculvert med områden där tvärsektionen kan förstärkas markerade

De olika tvärsnittens användningsområden varierar beroende av vilka krav på byggnadshöjd, gestaltning, och bärförmåga som ställs. Med ökande toppradier och spännvidder ökar momenten i hjässan och bärförmågan minskar, det kan då bli nödvändigt att förstärka konstruktionen. Förstärkningen utförs genom att addera en spegelvänd plåt i den kritiska zonen och på så sätt öka böjmotståndet (<http://www.viacon.se/prod/Supercor.pdf>).



Figur 3.4 Förstärkningsplåt

Hos rörbrokonstruktionerna tillkommer ofta någon form av kantbalk som ändavslutning, vilken har till uppgift att fungera som en upplagskant för släntmaterial och ibland även styva upp konstruktionen (http://www.ail.ca/files/SuperCor_brochure_V6.pdf). Kantbalken används också för att förstärka bronns estetiska uttryck. Oftast tillverkas kantbalken av betong och formsättningen blir då en besvärlig, tidskrävande och kostsam faktor som blir särskilt påtaglig när röret avslutas snedskuret. Det är också sannolikt att kantbalkarna kommer att öka rörbronns underhållsbehov.

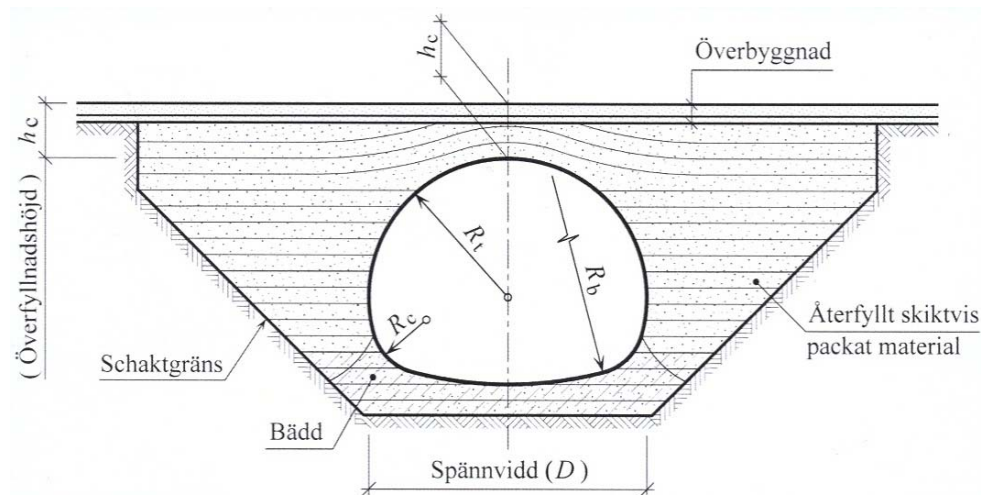


Figur 3.5 Kantbalkar som ändavslutning, viltpassage över A2 i Polen

Förutom hållfasthetsparametrar är beständigheten en avgörande faktor då bronormerna ställer höga krav. Det finns noggrant beskrivet i Bro 2004 vad som krävs för 80 års teknisk livslängd, vilket ofta är ett krav för stora konstruktioner i vägmiljö. SuperCor plåtar är som standard varmförzinkade med ett zinksikt som har en medeltjocklek på 85 μm enligt SS-EN 1461 vilket ger en hög resistans mot korrosion. I vägmiljö, som gäller upp till 6 m över vägen, med 80 års livslängd är detta dock inte tillräcklig utan där behöver zinksiktet kompletteras. Rostmån om 1 mm samt epoxibehandling med en tjocklek av 300 μm är nödvändigt (Lars Hansing). Vid multipelkonstruktioner måste alla skarvar och skruvförband också korrosionsbehandlas enligt samma förutsättningar (<http://www.viacon.se/prod/Supercor.pdf>). Enligt ViaCon garanteras 100 års livslängd på deras konstruktioner med förbehållet att dimensionering och montage är utfört på korrekt sätt. Då inspektion och reparation av en rörbros utsida är omöjlig utan stora kostnadskrävande ingrepp är det ytterst viktigt att konstruktionen uppfyller Vägverkets krav på livslängd. Banverket kräver 120 års livslängd och för att uppfylla detta behövs även en förstärkt korrosionsbehandling av rörbrokonstruktionens utsida (Peter Lidemar, Banverket).

3.3 Grundläggning och geoteknik

I en rörbrokonstruktion är det stålets samverkan med jordmassorna runt konstruktionen som avgör dess bärförmåga. Den del av återfyllningen som ligger närmast röret och som skapar samverkan med stålet benämns i "Dimensionering av rörbroar" som kringfyllnad. Den måste utgöras av jordmaterial med kvantifierbara egenskaper med avseende på tjälfarlighet, dränering och bärförmåga (Pettersson Sundquist 2006), det får inte heller förekomma reaktivt material som har negativ inverkan på stål eller fogmaterial (Vägverket 2004). Kraven på kringfyllnad gäller för ett i "Dimensionering av rörbroar" definierat område runt röret eller valvet. Utanför detta område är kravet på massorna inte lika strikt definierat, där kan befintliga massor oftast användas avseende funktion, krav kan dock tillkomma på tjälfarlighet samt på dess bärförmåga (Pettersson Sundquist 2006). För att skydda stålet och dess galvaniseringssikt mot nötning vid packning placeras en geotextil mellan rörkonstruktionen och kringfyllnadsmaterialet (Lars Hansing, ViaCon).

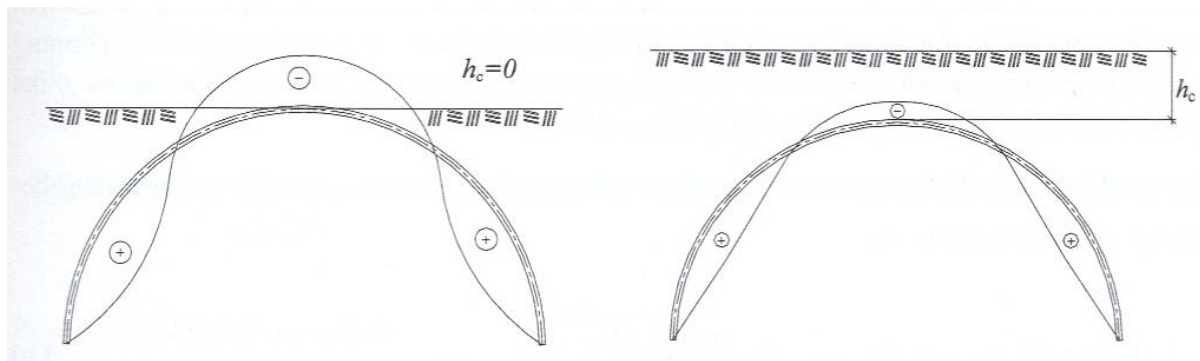


Figur 3.6 Packningsområde kring rörprofil

Packningsgraden och möjligheten att kunna utföra en fullgod packning kan bli dimensionerande för avstånden mellan profilerna vid parallella rörbroar. Packning av kringfyllnad skall utföras i enighet med Bro 2004 och en separat arbetsbeskrivning skall uppföras för stödpackningen

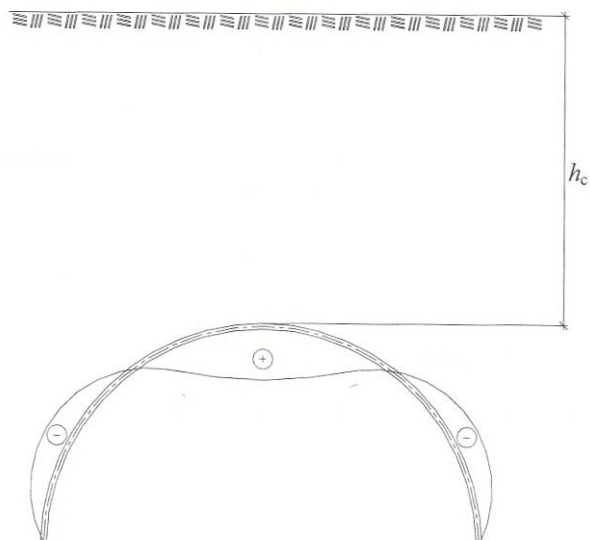
(Vägverket 2004). Stålkonstruktionen är flexibel och små sättningar kan godtas men schaktarbeten och grundläggning skall trots det utföras noggrant, vid rörbroar som utförs som valvbågar kan betongfundament används som grundläggning, i detta fall förs lasten ned till fundamenten som då kan behöva grundförstärkas med exempelvis pålning (http://www.ail.ca/files/SuperCor_brochure_V6.pdf).

För rörbroar med cirkulära eller elliptiska tvärsnitt behövs inget fundament men rörbädden skall dimensioneras enligt Bro 2004. För valvbågar finns två typer av fundament, stål och betong, det är dock bara betongfundament som är tillåtna av Vägverket (Lars Hansing, ViaCon), fundamenten kan liknas vid anfangen hos en valvbro. I Sverige används både prefabricerade och platsgjutna betongfundament. Ofta kan det bli aktuellt med prefabricerade fundament vid strömmande vattendrag då det är känt cement kan skada fiskarnas gälar. Höjden på fundamenten varierar beroende av funktionskrav men ett stående krav är att anslutningen mellan stål och betong ska vara belägen minst 0,5 m över medelvattennivån, MW (Vägverket 2004). Montage av stålprofilen till fundamentet sker vanligtvis till en ingjuten u-profil av stål (<http://www.viacon.se/prod/Supercor.pdf>), anslutningar kommer att behandlas närmre i kap. 5



Figur 3.7 Momentfördelning i rörprofilen vid varierande överfyllnadshöjd

Inverkan av trafiklast på valvet är starkt beroende av överfyllnadens tjocklek (Pettersson Sundquist 2006). ”Dimensionering av rörbroar” tar upp överfyllnad som en avgörande faktor till en fungerande konstruktion. Överfyllnaden är viktig för att fördela ut laster i marken och verka som ett mothåll för stålprofilen. Vid för höga överfyllnader kan jordmassorna istället ge ett negativt bidrag till konstruktionens hållfasthet (Pettersson Sundquist 2006). Vanligtvis utförs överfyllnaden som en 0,6-1,0 m tjockt lager av definierat material, jordmaterial för plantering av växter tillkommer utöver detta. För förhindra att rötter tränger ner i kringfyllnaden måste dessa lager avskiljas med ex. geotextil.



Figur 3.8 Vid stora överfyllnadshöjder kan momentet ändra riktning

3.3.1 Membrantätning

Vid rörbroar i vägmiljö med krav på 80-års livslängd är det nödvändigt att konstruktionen skyddas från att regnvatten eller andra vätskor kan strömma mot konstruktionen. Vatten kan läcka in vid skarvar, skruvförband eller vid anslutningar med eventuella nedisnings- och korrosionsproblem som följd. För att förhindra detta måste ett tätskikt anordnas över konstruktionen, vanligen utförs det med ett geomembran, en tunn gummiduk. Förutom att en god täthet mot både vatten och kemiska produkter garanterar tillverkaren en god åldringsbeständighet. Stora ytor kan täckas då skarvarna på geomembranet svetsas ihop. För att materialet skall fungera tillfredsställande måste dock båda sidorna täckas med en geotextil eller ett sandlager för att skydda mot perforering (<http://www.viacon.se/prod/Supercor.pdf>).



Figur 3.9 Vattenläckage mellan betongfundament och u-profil

4 Jämförelsestudie av alternativ till viltbroar

Detta kapitel behandlar en jämförelsestudie av alternativa konstruktionslösningar för viltpassager. I studien beskrivs först förutsättningarna varefter de aktuella kriterierna utreds och slutligen sammanfattas studien med resultat och slutsats.

4.1 Förutsättningar och jämförelser

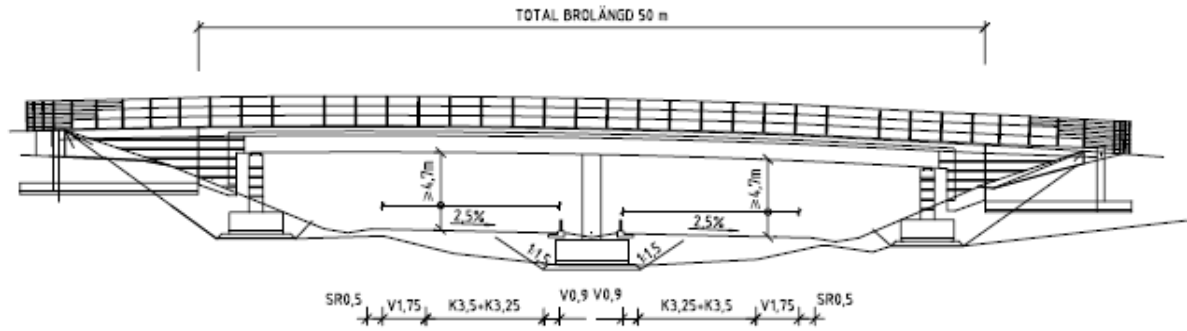
Utgångspunkten i denna utredning har varit att hitta helhetskoncept som kan konkurrera med en traditionell betongbro vid uppförande av viltbroar. En bred alternativstudie ligger till grund för jämförelsestudien och en genomsökning av marknaden på alternativ som kan uppfylla de svenska förhållandenas krav har gjorts. Trots ingående eftersökningar har relativt få intressanta alternativ påträffats och efter utvärdering av dem har ett efter ett förkastats och kvar står endast rörbroar tillverkade av stål. Det är det enda helhetskonceptet som finns i en geografisk närhet som gör konstruktionerna ekonomiskt och miljömässigt slagkraftiga. Jämförelsestudien består därför i att vikta för- respektive nackdelar hos rörbroar av stål emot en referensbro av betong då en viltbro ska uppföras. Genom ett objektiva och granskande förhållningssätt bedöms två alternativa utformningar av rörbroar på en rad viktiga punkter, där teknik, ekonomi, estetik, miljö och flexibilitet utgör huvudgrupperna.

En konceptuell modell används för att på ett rättvist sätt värdera insamlad data där aspekterna i respektive område viktas till ett motiverat omdöme och ett totalbetyg. Tabellen nedan beskriver egenskaperna med betygskalan från negativ till positiv. Noll motsvaras av referensbron som är en viltbro uppförd som en traditionell betongbro och positiva/negativa omdömen ges i förhållande till detta alternativ.

--	=	Negativt
-	=	Något negativt
0	=	Ingen skillnad i jämförelse med en traditionell betongbro
+	=	Något positivt
++	=	Positivt

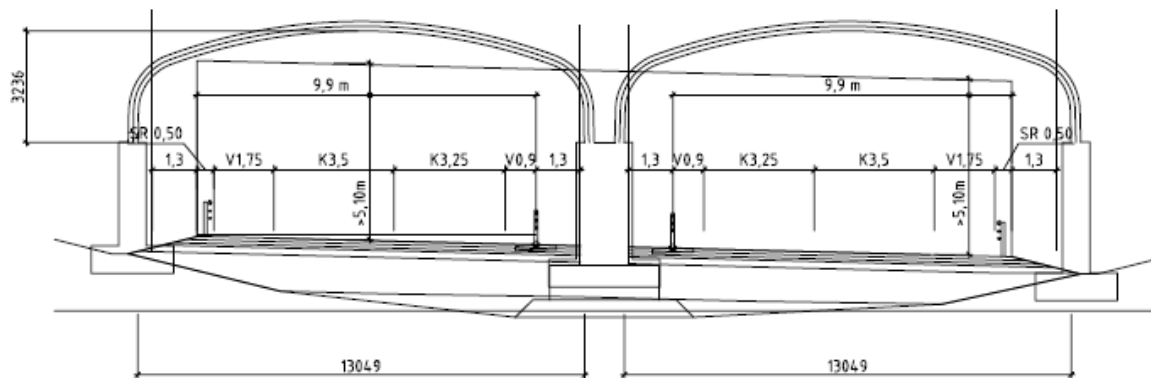
Tabell 4.1 Betygskala

De tre alternativen anläggs på samma plats med en timglasformad övergång som har medelbredden 18 meter vilken även blir hjässlängden för rörbroalternativen, betongbroens längd, 50 m, är vald med hänsyn till släntlutningar enligt "VGU - Vägars och gators utformning" (Sektion Utformning av vägar och gator 2004). Viltbroarna anläggs över en 2+2 väg motsvarande motorväg med låg standard i VGU. Detta har valts då det är ett ekonomiskt sätt att anlägga 2+2 väg och används i ett flertal pågående vägprojekt. Samtliga alternativ antas vara belägna i bergskärnig, vilket oftast är fallet vid lokalisering av viltbroar, varvid pålning för grundläggning inte blir aktuell. Betongfundamenten har samma tvärsnitt i de båda rörbroalternativen och samtliga tre viltbroalternativen dimensioneras för trafiklast.



Figur 4.1 Elevation betongbro

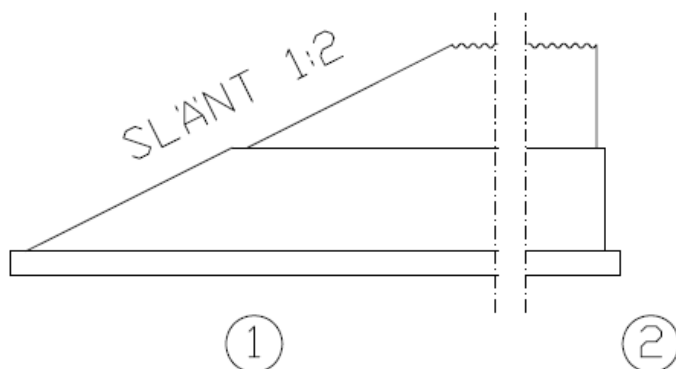
Alternativ 0: Traditionell betongbro av samma typ som viltbron vid Grytingen, tvåspansbro med ändskärmar och fristående stödmurar.



Figur 4.2 Tvärsektion rörbro

Alternativ 1: Rörbrokonstruktion av stål av typen BoxCulvert med snedskuren avslutning och slänter med lutningen 1:2.

Alternativ 2: Rörbrokonstruktion av stål av typen BoxCulvert med en rak avslutning bestående av gabioner.



Figur 4.3 Elevation över de två avslutningsalternativen

4.1.1 Teknik

Tekniken att bygga rörbroar med tillräckligt stora spännvidder för att kunna konkurrera med betongbroar vid passager över motortrafikleder och motorvägar är relativt ny i Sverige. Den nya tekniken medför att inga referensobjekt med tillräcklig ålder kan säkerställa tillverkarens angivna livslängder. Därför har betongbron genom beprövad teknik, lång tradition och stora erfarenheter klara fördelar gentemot rörbron.

Rörbrokonstruktioner är ett helhetskoncept som har fördelar på flera punkter gentemot betongbron. Konceptet bidrar till ett industriellt byggande med varierande prefabriceringsgrad samt betydligt kortare byggtider, inga formställningar behövs vilket medför att en rad besvärliga moment försvinner. Rörbronskonstruktionen ger också färre underhållskrävande tekniska detaljer så som lager, fogar och avvattning. Genom sin flexibilitet har stålkonstruktionen också fördelar gentemot betongbron då den klarar av ett visst mått av sättningar.

Genom rörbrons konstruktion krävs mindre bortschaktning av massor än för en betongbro, behovet av fyllnadsmassor är dock större för rörbron. För rörbroarna är alternativet med en rak avslutning betydligt resurssnålare på både betong och schaktmassor. Även åtgången på stål minskar men inte i samma utsträckning. Mängdberäkningen har utförts med hjälp av ritningarna i figur 4.1 och 4.2 ovan och siffrorna bifogas i bilaga 1. Till den raka avslutningens nackdel behöver slänterna ersättas med gabioner eller annan stödskonstruktion som vid höga överfyllnader även måste bakåtförankras för stå emot jordtrycket.

När rörbron ändavslutas med kantbalkar medför det tekniska svårigheter och då i synnerhet alternativet med släntavslutningar. Ändavslutningarna skiljer sig betydligt mellan referensobjektet och rörbroalternativen och kan därför inte jämföras på ett rättvisande sätt.

Alternativ	0	1	2
Erfarenhet/tradition	0	--	--
Byggteknik	0	++	++
Tekniska detaljer	0	+	+
Sättningstålighet	0	+	+
Materialåtgång	0	+	++

Tabell 4.2 Sammanställning av tekniska parametrar

4.1.2 Ekonomi

I de allra flesta projekt är ekonomi den enskilt viktigaste parametern och det är därför av största vikt att en rättvisande helhetskalkyl uppbringas, i slutändan är det ofta totalkostnaden som faller avgörandet. En tämligen korrekt kostnadskalkyl med endast mindre avvikelser bör kunna åstadkommas oavsett brotyp. Detta då erfarenheten av betongbroar är stor och helhetskonceptet för rörbroar gör det enkelt att ange pris för färdigmonterad konstruktion.

I projekteringskedet är rörbron att föredra då beräkningar och dokumentation är betydligt mindre resurskrävande. Vid en estimering och mängdning förefaller rörbroalternativen vara betydligt förmånligare ur ekonomisk synpunkt.

I anläggningsstadiet är referensbron betydligt mer tidskrävande i mantimmar räknat och här har rörbron en av sina största fördelar då byggtiden kan reduceras avsevärt gentemot betongbron.

De ständigt ökande världsmarknadspriserna på metall och rörbrons beroendeställning av stål och zink påverkar priset negativt. Betong har en jämnare kostnadsutveckling men då broar är kraftigt armerade påverkar de stigande stålpriserna kubikmeterpriset negativt.

Kontinuerliga broinspektioner fastställer underhållsbehoven och skall utföras med likvärdiga intervall för båda brotyperna. Underhållsbehovet är omfattande för en betongbro och ligger till grund för att säkerställa funktionen under hela dess livslängd. För betongbron är underhållskostnaderna relativt kända och varierar beroende på den omgivande miljön. Enligt tillverkaren är rörbroar av stål i stort sett underhållsfria medan Vägverket med dagens kunskap inte är säkra på om kostnaden verkligen blir lägre (Martin Laninge, Vägverket). Då rörbron saknar lager och längsgående kantbalkar vilka normalt medför dyra reparationer, så borde detta leda till mindre omfattande underhållskostnader.

Kostnader för projektering, investering, produktion och underhåll samt brons livslängd måste vägas samman för att ge en rättvisande totalkostnad. Om rörbrostillverkarens uppgivna livslängd på 100 år samt antaganden om lägre underhållskostnader stämmer ger det god ekonomisk konkurrenskraft för rörbron. För exakta anläggningskostnader hänvisas till bilaga 1.

Alternativ	0	1	2
Projekteringskostnader	0	+	+
Anläggningskostnader	0	+	++
Underhållskostnader	0	+	+

Tabell 4.3 Sammanställning av ekonomiska parametrar

4.1.3 Estetik

En jämförelse som baseras på arkitektoniska kvaliteter är ofta svårtolkad då personliga värderingar ligger till grund för hur ett objekt upplevs. Genom de båda rörbroalternativen erhålls dock nya gestaltningsmöjligheter som tidigare inte har varit tillgängliga för betongbron.

Betongbron smälter bra in i trafikmiljön tack vare sin traditionella utformning men är samtidigt svårare att anpassa till naturen. För rörbron gäller i stort sätt ett omvänt förhållande där styrkan ligger i att knyta an till den omgivande naturen med sin mer organiska form.

En egenskap hos betongbron är att den rent visuellt inte skär av landskapet i samma utsträckning som en rörbro. I takt med att överfyllnaden ökar kan rörbron upplevas snarare som en tunnel än en bro. Där betongbron känns luftig kan rörbron ge ett intryck av att torna upp sig för trafikanterna, upplevelsen behöver dock inte vara så stark utan är beroende av omgivning och brobredden.

När en stark naturanknytning önskas kan rörbron med sin mer organiska profil vara att föredra framför referensbrons mer kantiga utformning. Med alternativ 1 erbjuds en stor yta för slänter där det estetiska intrycket kan förstärkas och mångsidigheten kan klara av en varierande omgivning. Då vägen går i bergskärning och miljön upplevs stenig och karg kan en rak avslutning med gabioner eller betongmur vara att lämpligt. Genom detta alternativ erhålls en underhållsfri avslutning till skillnad från de där organsikt material används i slänter. Gabioner finns dessutom med frontfickor, ett ca 0,1 m djupt fack i den främre delen av gabionen, som kan fyllas med exklusivare stenmaterial för att höja det estetiska värdet.

Alternativ	0	1	2
Nya gestaltningsmöjligheter	0	+	+
Trafik-/naturanpassning	0	0	0
Visuell barriär	0	-	--

Tabell 4.4 Sammanställning av estetiska egenskaper

4.1.4 Miljö

Utbyggnad av infrastrukturen ger oftast negativa effekter på närmiljön men kan i gengäld ge miljöförbättringar på regionalnivå, bedömningen miljökonsekvenserna måste därför ses i ett vidare perspektiv.

En källa som starkt bidrar till negativ miljöpåverkan är transporter vilka kan reduceras med ökat industriellt byggande. Stålsegmenten transporteras i buntar vilket ger platsbesparande transporter och totalt sett har rörbron betydligt mindre materialvolym som behöver fraktas till byggplatsen gentemot en bro av betong.

Rörbrokonstruktioner av stål medför flera ur miljösynpunkt skadliga behandlingar och material. Galvanisering, epoxibehandling och geomembran är alla material eller metoder som trots små mängder har stor miljöpåverkan. För en betongbro kan formolja, asfaltmastixbeläggning på brobanepattan samt tätnings- och fogmaterial räknas till detta område. Detta är dock variabler som är svåra kvantifiera och väga mot varandra och tas därför inte med i jämförelsen.

Båda brotyperna beräknas ha samma livslängd och därefter tas materialet omhand på olika sätt. För betongen innebär det krossning och återanvändning som fyllnadsmaterial medan armering och stålprofiler återvinns genom nedsmältning.

I samtliga alternativ bör befintliga massor användas för att undvika onödiga transporter. Schaktmassorna blir större hos referensbron medan fyllningen blir betydligt större vid rörbrokonstruktioner och då i synnerhet de med släntavslutning.

Alternativ	0	1	2
Transportbehov	0	+	+
Återanvändning/återvinning	0	0	0

Tabell 4.5 Sammanställning av miljöpåverkande egenskaper

4.1.5 Flexibilitet

Med flexibilitet avses här förmågan att vid olika stadier under konstruktionens livscykel ges möjligheten att göra avsteg från ursprungsplanen utan att detta medför kostsamma olägenheter.

Under projekteringskedet kan stora fördelar fås vid val av en rörbrokonstruktion beroende av väl utarbetade beräkningsmodeller och dimensioneringsmetoder. Detta är även aktuellt då förändringar från ursprungshandlingarna uppkommer. Med små resurser i jämförelse mot betongbron kan ändringar av beräkningar och utformningen utföras i projekteringskedet.

Rörbro tillverkaren kan i produktionsskedet erbjuda beställaren möjligheten att bestämma över prefabriceringsgrad samt genom helhetskonceptet stå för leverans och montering. Då rörbron är uppbyggd av mindre segment kan förändringar av hjässlängden i produktionsskedet i vissa fall tillåtas, vilket är möjligt först då även betongfundamenten kan anpassas. Valvkonstruktionen i sig behöver inga ställningar vilket betongbron är starkt beroende av under byggskedet.

Rörbron har tack vare sin låga vikt samt det faktum att den kan monteras vid sidan av vägbygget en möjlighet att lyftas på plats. Vid utbyte av bro eller anläggning över befintlig väg är detta ett idealiskt tillvägagångssätt då avstängningar av trafiken kan minimeras. Då ett snabbt färdigställande är ett avgörande krav är rörbron helt klart det bättre alternativet.

Genom rörbrons konstruktion omöjliggörs inspektioner och reparationer av brons utsida och omfattande skador kan leda till att bron måste bytas ut. Att detta skulle inträffa i någon större utsträckning är dock inte troligt då ingen av dagens mindre rörbroar har behövt bytas ut (Martin Laninge, Vägverket).

Alternativ	0	1	2
Projekteringsskedet	0	+	+
Produktion/montage	0	+	+
Byggande över befintlig väg	0	++	++
Inspektion/underhåll	0	-	-

Tabell 4.6 Sammanställning av flexibilitetsegenskaper

4.2 Resultat

Genom analys av insamlad information från litteratur och sakkunniga personer har ovanstående matriser betygsatt olika kriterier som vi ansett vara avgörande vid val av brotyp. Resultatet redovisas nedan i en matris med samtliga ingående kategorier samt viktade betyg. De olika parametrarna och betygssystemet kan diskuteras men vi menar att omdömena har viktats på ett oberoende och så rättvisande sätt som möjligt.

Alternativ	0	1	2
Teknik			
Erfarenhet/tradition	0	--	--
Byggteknik	0	++	++
Tekniska detaljer	0	+	+
Sättningsstålighet	0	+	+
Materialåtgång	0	+	++
Σ	0	+3	+4
Ekonomi			
Projekteringskostnader	0	+	+
Anläggningskostnader	0	+	++
Underhållskostnader	0	+	+
Σ	0	+3	+4

Estetik			
Nya gestaltningsmöjligheter	0	+	+
Trafik-/naturanpassning	0	0	0
Visuell barriär	0	–	--
Σ	0	0	-1
Miljö			
Transportbehov	0	+	+
Återanvändning/återvinning	0	0	0
Σ	0	+1	+1
Flexibilitet			
Projekteringsskedet	0	+	+
Produktion/montage	0	+	+
Byggnad över befintlig väg	0	++	++
Inspektion/underhåll	0	–	–
Σ	0	+3	+3
Totalsumma	0	+10	+11

Tabell 4.7 Summering av jämförelsestudiens omdömen

Ur mängdningen i bilaga.1 har följande siffror tagits fram för att belysa de ekonomiska skillnaderna vid de olika alternativen. Siffrorna motsvarar den totala anläggningskostnaden inklusive arbete, underhållskostnader ingår inte i denna matris vilket skulle kunna ändra totalkostnaden sett över hela dess livslängd.

Alternativ	0	1	2
Total anläggnings kostnad (Mkr)	15,8	11,7	8,6
Avvikelse från alternativ 0 (Mkr)	0	- 4,1	- 7,2
Avvikelse från alternativ 0 (%)	0	- 26 %	- 46 %

Tabell 4.8 Total anläggningskostnad

4.3 Slutsats

Om endast totalbetygen för respektive alternativ beaktas framträder rörbroalternativen vara vida överlägsna betongbron, vilket inte är sant. Betyget bör enbart ses som en antydning och att utifrån det dra allt för stora slutsatser kan vara osäkert och ge en orättvis skildring av verkligheten. Faktorerna kan variera mycket från fall till fall och har dessutom olika värde beroende på situation. Matrisen bör istället användas för att titta på enskilda faktorer där omdömena ger uppriktigare information men även här måste en viss försiktighet vidtas då omdömena inte kan omvandlas till konkreta värden som kronor, meter eller timmar.

Jämförelsestudien tillbakavisar många tvivel och visar på att rörbron är ett konkurrenskraftigt och i flera fall kanske till och med bättre alternativ än den traditionella betongbron. Ekonomiskt är båda rörbroförslagen avsevärt billigare och då i synnerhet alternativet med rak avslutning. Korta byggtider och möjligheten att kunna bygga över befintlig väg med mycket små driftstörningar är utöver den ekonomiska förtjänsten de klaraste fördelarna för stålkonstruktionen.

Miljömässigt framstår en industriellt byggd stålkonstruktions minskade transportbehov som den enda eventuellt avgörande skillnaden. Ur ett livscykelanalysperspektiv skulle möjligen återvinning/återanvändning kanske nå ett avvikande omdöme.

Estetiskt är de individuella uppfattningarna en såpass avgörande faktor att den generella slutsatsen måste vara att samtliga alternativ måste värderas från fall till fall.

5 Teknisk detaljstudie och förslag på praktiska lösningar

Rörbrokonstruktionens huvudstruktur samt ingående komponenter beskrivs i kap. 3 med utgångspunkten att ge en god helhetssyn. Under utredningens gång har dock ett flertal detaljer iakttagits vilka skulle behöva utredas mer ingående. Av dessa har ett par detaljer valts ut i en mer djuplodande studie, i den ingår hur vattenproblematiken skall undvikas samt hur anslutningen mellan stålprofil och betongfundament bör utformas. Befintliga exempel visar på läckageproblematik kring denna infästning men även att elementskarvar skulle kunna vålla problem.

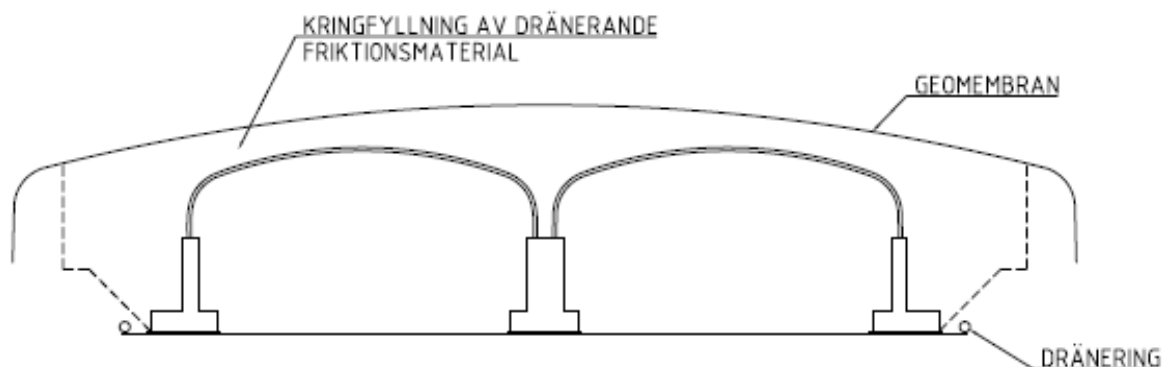
Det största hotet mot konstruktionen antas vara vägsaltet som kommer i kontakt med i stort sett hela insidan av rörkonstruktionen då vägen i detta fall passerar igenom röret. Då rörbrons insida är galvaniserad och epoxibehandlad torde den klara sig bra om inga försvagningar i detta skikt förekommer som vid exempelvis övergångar mellan material. Störst påverkan på konstruktionen sker sannolikt vid övergången mellan stål och betong varför denna detalj behandlas särskilt.

Följande tekniska beskrivningar är endast förslag och skall ses som idéer på hur problemen skulle kunna avhjälpas.

5.1 Vattenpåverkan av konstruktionens utsida

För att hindra dagvatten från att läcka in och vintertid orsaka isbildning används ett geomembran, vilket placeras ut som ett paraply över konstruktionen. Viktigt är att det placeras utanför det definierade kringfyllnadsområdet för att undvika skador vid packning och att en lutning medges över hela ytan för att hindra uppkomst av vattenansamlingar. Geomembranet ska omges av geotextil eller sand på båda sidor för att skyddas mot perforering och skarvsvetsarna skall utföras noggrant för att nå önskat resultat. En tydlig beskrivning av geomembranets placering och dess specifikationer ska upprättas för att förhindra att skador uppstår vid framtida markarbeten. Om arbetet utförs på rätt sätt bör denna lösning ge ett erforderligt skydd då tätheten för geomembran korrekt installerat är mycket hög.

Grundläggningen skall utföras på ett sådant sätt att grundvatten inte kan bli stående mot konstruktionens känsligare delar såsom anslutningen mellan betong och stålprofil. För att säkert undvika problem bör om möjligt konstruktionen dräneras så att grundvattenytan befinner sig under vägbanans nivå.

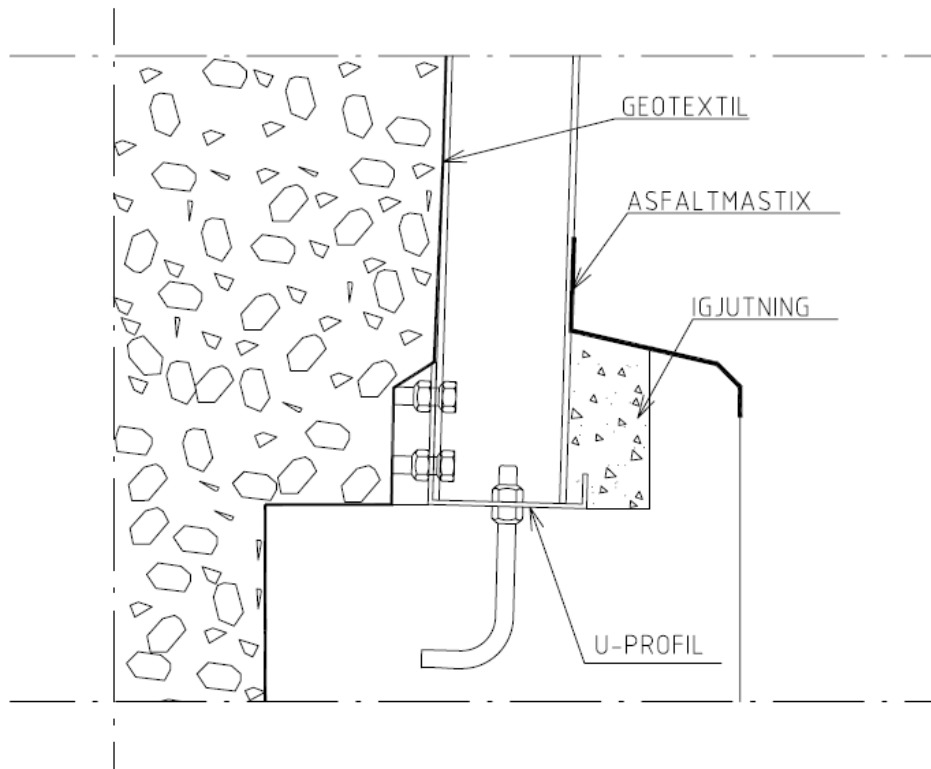


Figur 5.1 Tvärsektion med geomembran som ett "paraply" över konstruktionen

5.2 Anslutning med stålprofil mot betongfundamentet

Anslutningen mellan stålprofil och betongfundament är ett potentiellt kritiskt område där smuts och andra föroreningar kan få fäste. Rörbron kommer som lägst att dimensioneras enligt livslängdsklass L 50, teknisk livslängd lika med 80 år, vilket kräver beständiga lösningar.

Vanligen monteras den korrugerade stålprofilen till en i fundamentet fastbultad u-profil med bultar som sammanbinds från utsidan av konstruktionen. Förslaget behåller denna del av lösningen men utökar fundamentet invändigt med en sarg. Tillsammans med den färdigmonterade stålprofilen bildar sargen ett fack som gjuts igen för att förhindra ansamlingar av föroreningar och fukt. Betongen skall här vara av samma kvalitet som för fundamenten i övrigt. För avrinningens skull bör igjutningen lutas och beläggas med ett lager asfaltmastix eller liknande som ytskikt. Den korrugerade profilen försvårar anslutningen mot plåten och asfaltmastixen måste därför appliceras noggrant för att ge fullgod täthet. För att förhindra inläckage vid förhöjd grundvattennivå kan ett lager asfaltmastix appliceras även utvändigt på anslutningen.



Figur 5.2 Förslag på utformning av anslutning mellan rörprofil och betongfundament

6 Avslutning

I detta kapitel kommer våra egna funderingar och analyser sammanfattas i en diskussion. Våra rekommendationer och slutsatser redovisas också.

6.1 Diskussion

Vi sökte inledningsvis efter olika alternativ till faunapassager, med varierande byggtekniska och ekologiska aspekter, som skulle kunna bli intressanta för svenska förhållanden. Det blev tidigt klart att det enda, för närvarande konkurrenskraftiga, alternativet till betongbron för faunapassager över väg/järnväg är rörbroar av stål.

Problemen med fragmentering är ännu inte särskilt allvarliga i Sverige men vi tycker ändå att Centraleuropa bör användas som ett varnande exempel på vad som kan hända då infrastrukturen byggs ut utan att hänsyn tas till djur och natur. Genom övriga Europas problem har vi i Norden givits möjligheten att undvika fragmenteringsproblematiken redan innan den uppträder.

Även om ekodukten är ett bättre alternativ för djuren anser vi att viltbron, korrekt utförd, är en fungerande och acceptabel kompromiss mellan djur och människors intressen. Vi bedömer utvecklingspotentialen som mycket stor för viltbron oavsett byggnadsmaterial. Med ett kreativt tänkande och hänsynstagande till den omgivande miljön kan framtiden ge smäckra och funktionella viltbroar. Genom tillämpningen med 3D-animeringar av de båda rörbroalternativen tycker vi att en betydligt bättre helhetsbild givits av objekten.

Om vägverket vill närma sig sina mål gällande ett ökat industriellt byggande, vilket har varit kraftigt eftersatt på anläggningssidan, tror vi att rörbron kan bidra till att främja denna utveckling. Om strävan efter ett ökat industriellt byggande blir tillräckligt framträdande tror vi att det kan hjälpa fram andra helhetslösningar till att ta sig in på den svenska marknaden.

Åsikterna om de två olika brotyperna går på flera områden kraftigt isär och det kanske tydligaste exemplet gäller underhållsbehovet. Lyssnar vi till rörbrostillverkaren är deras konstruktioner i stort sett helt underhållsfria medan man från Vägverket säger att det till och med kan vara lika omfattande som för betongbroar. Vi bedömer dock att sanningen ligger någonstans däremellan då rörbrokonstruktionen består av färre underhållskrävande detaljer och är därför det bättre alternativet på just denna punkt. Skulle problem uppstå på rörbrokonstruktionens utsida tror vi dock att de skulle bli väldigt dyra att åtgärda.

På sikt kommer troligtvis helhetskoncept med rörbroar av betong att finnas tillgängligt på den svenska marknaden, tillverkare för sådana koncept finns redan i USA och Storbritannien. I Norge används ett tunnelsystem med betongelement som möjligen skulle kunna användas i Sverige, vi har dock inte funnit någon konkret information om detta system.

För att hålla oss neutrala och opartiska har vi under projektet försökt att vara lyhörda på synpunkter och åsikter rörande både betongbroar och rörbroar i så stor utsträckning som möjligt. Det har dock inte varit helt enkelt då den tekniska informationen om rörbroar kommer direkt från ViaCon, som är ensamman inom detta område i Sverige. Som motvikt till detta har vi använt intressanta synpunkter ifrån brokonstruktörer på SWECO, Vägverket och Banverket.

Eventuellt kan det tänkas att rörbron gynnas något i jämförelsestudien genom att den får ett betydligt större utrymme i rapporten. Den grundligare beskrivningen av rörbron motiveras av att den är en utmanare och att kunskapen är relativt liten i jämförelse till betongbron.

6.2 Rekommendationer

Viltbron vid Grytingen har nu varit i bruk i flera år och forskning har visat att den fungerar trots att bron översida helt saknar växtlighet. För att så många arter som möjligt skall kunna nyttja bron föreslår vi att mindre buskar och snår planteras. Detta medför inte bara ökade möjligheter för djuren utan höjer dessutom det estetiska värdet. För planteringar bör växter med yttlig rotstruktur och relativt långsam tillväxt väljas för att hålla ner underhållskostnaderna. Träd bör undvikas då de har ett kraftigt rotsystem samt ett stort vindfång och kan vid höga vindstyrkor resultera i stora skador.

Bristen på referensobjekt och den ringa erfarenheten i Sverige förefaller vara rörbrons två största nackdelar vilket gör inledande projekt väldigt viktiga. Att redan från början utarbeta en plan med tekniska lösningar samt att detaljerat utvärdera de första broarna är viktigt för kommande projekt. Anslutningen mellan stålprofil och betongfundament, packning av kringfyllnaden samt geomembranets placering tillhör den kategori med detaljer som är ytterst avgörande för rörbrons funktion. För att garantera funktionen under lång tid bör de här tre detaljerna utformas med största noggrannhet.

För att undvika att skador uppkommer vid framtida markarbeten kring rörbron bör en tydlig dokumentation över konstruktionens väsentliga delar upprättas. Här bör också ansvarsfrågor om konstruktion och omgärdande mark framgå för att förhindra problem i framtiden.

För att få till stånd fler viltbroar framhåller vi rörbron, då prislappen är betydligt lägre än för en betongbro med jämförbar funktion. De dimensioner som anges bör inte minskas då viltbrons funktion kan reduceras eller helt gå förlorad vilket gör investeringen omotiverad. Därför är färre fungerande faunapassager helt klart att föredra framför ett större antal med en undermålig funktion. Även viltbrons anknytning till befintliga viltstråk är avgörande för dess funktion.

Vi är av den bestämda uppfattningen att rörbroar genom en billigare konstruktion och en kort byggtid är det bästa alternativet för viltbroar. Förutom dessa huvudkriterier kan förmågan att knyta an till naturmiljön och ett reducerat antal transporter under byggskedet användas som positiva miljöargument.

För att konstruktionen skall fungera tillfredställande menar vi att vattenproblematiken kring röret och anslutningen mellan stål och betong måste utformas på korrekt vis. De av oss angivna förslagen kan användas som vägledning vid detaljutformning.

Det finns flera intressanta områden som inte har behandlats i denna rapport beroende på ämnets stora omfattning och för att på ett naturligt sätt kunna begränsa rapporten. Förslagsvis kan rörbrons kantbalkar med formsättning och överfartens utformning inklusive avskärmningar utredas mer grundligt. Ett uppslag till examensarbete skulle kunna vara att utarbeta fungerande modeller för LCA, livscykelanalyser, och LCC, livscykelkostnader, för att kunna göra mer exakta jämförelser av faunapassager. Ett annat intressant uppslag kan vara att utreda om prefabricerade rörbroar av betong kostnadseffektivt skulle kunna importeras eller tillverkas i Sverige.

6.3 Slutsats

Det kan konstateras att faunapassager är viktiga för att minska den negativa inverkan som utbyggnaden av transportinfrastrukturen har på djur och natur i form av fragmentering. Om inget görs kommer vi på sikt att få liknande problem som i Centraleuropa och då kommer kostnaderna för åtgärderna bli betydligt större än vad de är idag.

Anläggningskostnaderna av faunapassager för storvilt är stora och även om en ekodukt är att föredra, från djurens synvinkel, är viltbron fullt tillräcklig ur ett svenskt perspektiv i dagsläget. Viltbron bör dock förses med någon form av växtlighet för att ge djuren en så naturlig miljö som möjligt.

Rörbron är billigare än betongbron vilket bör användas som argument då ekonomin är den enskilt viktigaste parametern. Den andra klaraste fördelen är den korta byggtiden vilket i sig också kan fälla avgörande vid valet av brotyp.

Trots nämnda fördelar hos rörbron är betongbron genom tradition och erfarenhet en konstruktion som kommer att stå sig bra även i framtiden. Möjligheten att knyta an till trafikmiljö, den öppna konstruktionen och ett stort urval av utformningslösningar ger även betongbron starka positiva argument.

Genom 3D-animering ges betraktaren nya möjligheter under projekteringsskedet, här kan estetiska fel och brister justeras redan på ett tidigt stadium. Detta kan även vara ett verktyg för att bjuda in en referensgrupp som kan ge sina synpunkter på olika alternativ. Då de estetiska åsikterna varierar mycket från person till person kan dock inga konkreta fördelar tilldelas något av alternativen.

Avslutningsvis vill vi återigen understryka det faktum att rörbron, vid uppförande av faunapassager, i allra högsta grad är ett konkurrenskraftigt alternativ till traditionella betongbroar och framförallt en lösning för framtiden.

7 Referenser

7.1 Litteratur

Avdelningen för bro och tunnel 1996: Broprojektering – En handbok, VV Publ 1996:63

Banverket 2006: BV Bro, utgåva 8 – BVS 583.10

Olsson M. och Widén P. 2005: Utformning av viltpassager – studier av vilt och viltpassager utefter väg E6 i mellersta Bohuslän, årsrapport 2005

Olsson M. och Widén P. 2008: Effects of highway fencing and wildlife crossings on moose (*Alces alces*) movements and space use in southwestern Sweden

Pettersson L. och Sundquist H. 2006: Dimensionering av rörbroar, utgåva 3, 2006

Sektion Utformning av vägar och gator 2004: Vägar och gators utformning, VGU

Vägverket 2004: Bro 2004, VV Publ 2004:56

Vägverket och Banverket 2005: Vilda djur och infrastruktur - en handbok för åtgärder

7.2 Elektroniska källor

AIL, Atlantic Industries Limited, SuperCor-strength in our thinking
http://www.ail.ca/files/SuperCor_brochure_V6.pdf, 2007-03-26

ViaCon AB, SuperCor-framtidens broar
<http://www.viacon.se/prod/Supercor.pdf>, 2007-03-20

VTI - Statens väg och transportforskningsinstitut – Djurens egna övergångsställen
http://www.vti.se/templates/Page_2881.aspx, 2007-04-24

7.3 Muntliga källor

Ingela Svensson, SWECO FFNS (2007-04-27)

Lars Hansing, ViaCon AB (2007-03-29)

Martin Laninge, Vägverket (2007-05-04)

Peter Lidemar, Banverket (2007-05-11)

Bilaga 1a

Referensbro i betong

Material	Enhet	Åtgång	á pris i kkr	Kostnad i kkr
Armerad betong	m ³	1550	5,5	8 525
Spännarmering	ton	28	40	1 120
Räcken	m	140	2,5	350
Lager	st	6	30	180
Beläggning	m ²	864	0,3	259
Isolering	m ²	864	0,35	302
Ställning	m ³	4752	0,15	713
Form	m ²	1380	1	1 380
Bergschakt	m ³	5712	0,5	2 856
Fyllning	m ³	500	0,15	75
Total kostnad				15 760
Area	m ²	864	á-pris	18,2

Bilaga 1b

Rörbro, hjässlängd 18m

Material	Enhet	Åtgång alt.1	Åtgång alt.2	á pris i kk	Kostnad i kkr, alt.1	Kostnad i kkr, alt.2
Längd rörprofil	m	27	18	85	4 590	3 060
Armerad betong inkl. form	m ³	745	314	5,5	4 098	1 727
Räcken	m	100	100	2,5	250	250
Geomembran	m ²	810	810	0,06	49	49
Geotextil	m ²	2430	2430	0,06	146	146
Beläggning	m ²	864	864	0,1	86	86
Bergschakt	m ³	3638	3638	0,5	1 819	1 819
Fyllning	m ³	4199	2586	0,15	629,9	387,9
Gabioner	m ³		350	3		1 050
Total kostnad					11 667	8 575
Rörprofilens vikt, ton/m	2,46	27	18			
Total vikt, ton		132,8	88,6			

Bilaga 2



Figur 1 Ekodukt över motorväg A2 i Polen, SuperCor valvbågar



Figur 2 SuperCor med rak gabionavslutning



Figur 3 SuperCor med stensatt slänt



Figur 4 Ändavslutning med kantbalk av betong



Figur 5 Viltbro över motorväg E6 vid Grytingen



Figur 6 Ovansida viltbro vid Grytingen



Figur 7 Faunapassage i Norge



Figur 8 Ekodukt i Nederländerna



Figur 9 Ekodukt i Frankrike



Figur 10 Ekodukt i Danmark



Figur 11 Ekodukt



Figur 12 Faunapassage i Tjeckien



Figur 13 Faunapassage i Canada



Figur 14 Faunapassage i Nederländerna

Bilaga 3a



*Figur 1 Faunapassage av BoxCulverts med slänter 1:2.
3D-animerad av Niklas Johansson, SWECO VBB.*

Bilaga 3b



*Figur 1 Faunapassage av BoxCulverts med gabionavslut.
3D-animerad av Niklas Johansson, SWECO VBB.*