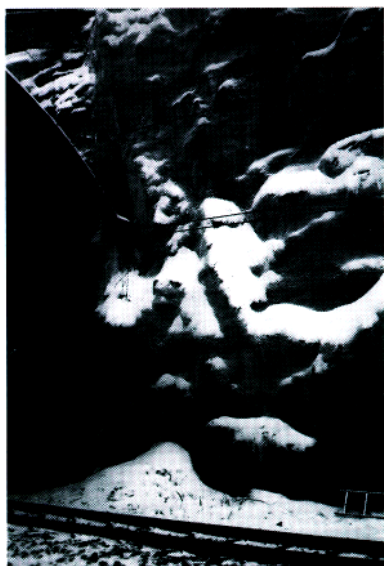


SveBeFo



STIFTELSEN SVENSK BERGTEKNISK FORSKNING
SWEDISH ROCK ENGINEERING RESEARCH

ELFORSK



SPRUTBETONGS BESTÄNDIGHET - Inventering

Erik Nordström

SveBeFo Rapport 26 / ELFORSK nr 96:18

STIFTELSEN SVENSK BERGTEKNISK FORSKNING
SWEDISH ROCK ENGINEERING RESEARCH
SveBeFo Rapport 26
ELFORSK nr 96:18

SPRUTBETONGS BESTÄNDIGHET - Inventering

**Durability of sprayed concrete -
Field investigation**

Erik Nordström, Vattenfall Utveckling AB

FÖRORD

Beständighet hos berganläggningar och betongkonstruktioner har blivit en allt viktigare fråga i och med att normer och tekniska anvisningar numera ofta innehåller uttalade krav på en viss livslängd hos nya konstruktioner. Kraven är delvis en följd av det allmänt formulerade kravet på "stadga, stabilitet och beständighet" i gällande byggnorm. Bristande dokumentation av status hos befintliga konstruktioner och bristfällig kunskap om aktuella nedbrytningsprocesser gör det svårt för projektörer och byggare att belägga vilken beständighet som kan förväntas hos en anläggning.

SveBeFo och Elforsk har funnit ett gemensamt intresse i att påbörja forskning för att närmare klarlägga beständigheten hos sprutbetongkonstruktioner, för SveBeFo:s räkning i samband med berganläggningar, för Elforsk även för reparation av betongkonstruktioner i kraftanläggningar. Även reparation av bropelare och andra betongkonstruktioner, i särskilt utsatt miljö, har varit av allmänt intresse och har bidragit till ett särskilt engagemang från Vägverket och Banverket i projektets referensgrupp.

Föreliggande rapport redovisar sålunda resultaten av en fältundersökning av sprutbetongförstärkningar utförda mot berg och betong och av olika ålder. Undersökningen är ett viktigt första steg i en planerad större satsning på ökad kunskap om sprutbetongens livslängd, och resultaten ska tillsammans med erfarenheter från andra arbeten bilda grund för fortsatta insatser. Det kan gälla såväl utvidgad fältuppföljning som laboratorieundersökningar; bland annat föreslås i denna rapport särskilda studier av fiberkorrosion i sprutbetong.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av *Tommy Ellison, Besab, Lars Hammar, Elforsk, Lars Johansson, CBI, Peter Jonsson, Stabilator, Bo Malmberg, J&W, Jan Malmtorp, Banverket, Mikael Björnbäck och Bengt Freiholtz, Vägverket, Jan Alemo, Vattenfall Utveckling, och undertecknad*. Gruppens stora engagemang både under planeringsfasen och genomförandet noteras tacksamt och vi ser fram emot en intressant diskussion om fortsatt forskning inom området med en ytterligare vidgad krets av intressenter.

Stockholm i september 1996

Tomas Franzén

SAMMANFATTNING

Sprutbetong har flera fördelar vid utförandet jämfört med konventionell betong. Vid reparation av betongkonstruktioner eller vid bergförstärkning t.ex. krävs oftast ingen formsättning. Om stålfiberarmerad sprutbetong används krävs inte heller något armeringsarbete före sprutning. Detta gör att användandet av sprutbetong ökar.

Sprutbetong är ingen ny uppfinning men utveckling av nya material och nya metoder för sprutning gör att det finns ett behov av kunskapsåterföring. Sprutbetongens beständighet är ett sådant område. Tidigare har en litteraturstudie i ämnet sprutbetongs beständighet genomförts [1], och detta projekt har som övergripande mål att vidareutveckla kunskapen inom området genom fältobservationer. Projektet syftar också till att belysa områden där fortsatt forskning behövs. Huvuddelen av arbetet har bestått i att inventera och besikta sprutbetongkonstruktioner av olika ålder (den äldsta från 1957) och olika typ av konstruktion. SveBeFo och Elforsk AB har tillsammans stått för finansieringen.

En generell slutsats är att huvuddelen av de besiktade objekten är av hög kvalitet. De uppfyller sin avsedda funktion i både reparations- och bergförstärkningssammanhang. Det finns dock några problemområden och nedan presenteras dessa tillsammans med några övriga observationer och slutsatser.

- Dräner som byggts för att leda bort inläckande vatten från sprickor i berg uppvisar ofta sprickor. Mest troligt beror detta på för smal och felaktig isolering i kombination med frostbelastning.
- Vidhäftningen mot berg har legat inom området 0.1-0.4 MPa och mot betong 1.3-2.0 MPa, vilket kan betecknas som tämligen normala värden.
- Endast begränsad korrosion påträffades på stålfibrer i sprickor, även vid relativt höga kloridhalter. Fibrerna verkar skyddade inne i sprickan. Ingen vägtunnel med våtsprutad stålfiberarmerad sprutbetong utsatt för klorider ingår dock i undersökningen.
- Impregnering av sprutbetongens yta på reparationer verkar förbättra beständigheten mot kloridinträngning.
- Stålglättning av sprutbetongens yta har inte påverkat vidhäftningen till den reparerade betongen i de undersökta objekten.
- Det är nödvändigt att ta fram specifikationer för det aktuella objektet, för vilka metoder och vilka materialsammansättningar som skall användas.

Fortsatt forskning föreslås på stålfiberkorrosion i sprickor för att belägga vilka sprickvidder som kan tillåtas utan risk för korrosion i olika miljöer. Dessutom bör man vidare studera betydelsen av eventuell korrosion för bärförmågan efter uppsprickning.

SUMMARY

The advantages in execution make sprayed concrete a suitable material for both rock strengthening and repair of concrete structures. Especially advantageous is sprayed concrete with steel fibres which eliminates the work effort connected with mesh reinforcement. The trend is also an increased use of this type of material. Sprayed concrete is not a brand new material, but there is a constant development of constituent materials and equipment. There is a continuous need of feed back regarding eg durability. Corrosion in wet-mix steel fibre reinforced sprayed concrete is an area of special interest.

The aim of this project is to compile and develop knowledge about durability of sprayed concrete. Previous work in this direction is a literature study [1]. The project is also aiming to shed light on areas where further research is needed. The work has consisted of an inventory and examination of old sprayed concrete structures (the oldest from 1957) and the project is financed by SveBeFo and Elforsk AB.

Generally the examined sprayed concrete structures are of high quality. They also fulfil their purpose for rock strengthening or concrete repair. In spite of this some problems could be found. These and other conclusions are presented below.

- The drains built for drainage of water, leaking through fractures in the rock, often show up cracks, most probably due to too narrow or poor insulation in combination with frost attack.
- The bonding strength of sprayed concrete on rock was measured in the range 0.1-0.4 MPa and on concrete 1.3-2.0 MPa, which are normal values for the type of structure.
- Only limited corrosion could be found on steel fibres crossing cracks, even at a high content of chlorides. The fibres seem to be protected in the crack. However, no road tunnels with wet-mix sprayed concrete and steel fibres combined with chlorides were investigated in this inventory.
- Impregnation of the sprayed concrete surface on repairs seems to increase the durability against eg chloride penetration.
- Steel trowelling of the sprayed concrete surface has not effected the bonding strength to the repaired concrete in the examined objects.
- It is important to give clear specifications for the current object on what methods and material compositions to be used.

Further research is proposed on the process of steel fibre corrosion in cracks to determine acceptable crack widths for different environmental conditions. Another area of interest is the effect of corrosion on the toughness capacity after cracking.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	INLEDNING	1
2.	URVALSKRITERIER	2
3.	METODIK VID BESIKTNING	3
3.1	Insamling av objektspecifik information	3
3.2	Övergripande undersökning	3
3.2.1	Fältmetoder	3
3.2.2	Laboratorieundersökningar	4
3.3	Utförligare undersökning	4
3.3.1	Fältmetoder	4
3.3.2	Laboratorieundersökningar	5
4.	BESIKTNINGAR	7
4.1	Berg som underlag	8
4.1.1	Eugeniätunnarna, Stockholm	8
4.1.2	Graversfors, Norrköping	10
4.1.3	Skogbytunneln, Halmstad	13
4.1.4	Stornorrfors kraftstation, Umeå	15
4.1.5	Umluspens kraftstation, Storuman	18
4.1.6	Viskantunnarna, Varberg	20
4.1.7	Ödstunnarna, Kramfors	23
4.2	Betong som underlag	25
4.2.1	E20 vid Lerums järnvägsstation, Lerum	25
4.2.2	E4 vid Scandic hotell, Norrköping	26
4.2.3	E4 vid Stora Åby, Ödeshög	26
4.2.4	Forshuvuds kraftstation, Borlänge	29
4.2.5	Hölleforsens kraftstation, Bispgården	31

4.2.6	Nämforsens kraftstation, Näsåker	32
4.2.7	Stadsforsens kraftstation, Bispgården	36
4.3	Korrugerad plåt som underlag	39
4.3.1	E20, Lerum (stålfiberarmerad)	39
4.3.2	E20, Lerum (konventionellt armerad)	42
5.	LIKNAVDE UNDERSÖKNINGAR.....	44
6.	DISKUSSION	45
7.	SLUTSATSER.....	47
8.	ERKÄNNANDEN	48
9.	REFERENSER	49
	BILAGA 1., Miljöklassning enligt BBK 94.....	51
	BILAGA 2., Beskrivning av RCT-metoden.....	53

1. INLEDNING

Vid byggandet av anläggningskonstruktioner ovan jord såväl som vid undermarksbyggande är sprutbetong ett material som är vanligen förekommande. I framtiden kommer användandet troligen att öka i omfattning. De produktionstekniska fördelarna med minskade arbetsinsatser vid användning av t.ex. stålfiberarmerad sprutbetong torde vara ett av skälen till detta. En annan produktionsteknisk och ekonomisk fördel är minskat behov av formbyggnad, en kostnad som i vissa fall kan vara mycket stor. Vad gäller undermarksbyggandet är "Ringens-projektet" i Stockholm ett bra exempel på ett stort förestående objekt som kommer att leda till omfattande användning av sprutbetong.

Inom kraftindustrin finns en mängd äldre betongkonstruktioner som redan uppvisar, eller kommer att uppvisa ett behov av reparationsinsatser. Även här kan de utförandemässiga fördelarna visa sig göra sprutbetongen till ett lämpligt alternativ. T.ex. så krävs här vanligen ingen formsättning alls, utan betongen som skall repareras kan istället utgöra form.

Sprutbetongen är ett gammalt, och för vissa tillämpningar, ett väl beprövat material. Det finns dock fortfarande stora brister vad gäller erfarenhetsåterföringen av hur gamla sprutbetongkonstruktioner klarat sig ur beständighetssynvinkel. Det finns också ny teknik som behöver följas upp. Våtsprutade konstruktioner med stålfiberinblandning är ett exempel på en sprutbetongtyp som borde följas upp mer. Viss kunskap om beständighet finns ute hos enskilda beställare och entreprenörer, men en sammanställning av denna saknas fortfarande.

Denna rapport får betraktas som ett steg i en långsiktig satsning på att sammanställa, och ta fram ny, kunskap om beständighet på sprutbetongområdet. Tidigare arbete har t.ex. resulterat i en litteratursammanställning av arbeten som behandlar sprutbetongs beständighet [1].

Föreliggande rapport har bl.a. som syfte att öka kunskapen om beständighet hos sprutbetong utförd med dagens teknik. Den syftar också till att ge kunskap om sprutbetongkonstruktioners status och eventuellt förekommande skadetyper samt att belysa vilka områden som har ett fortsatt forskningsbehov. Rapporten beskriver en inventering som Vattenfall Utveckling AB har utfört på uppdrag av SveBeFo och Elforsk AB. Inventeringen har bestått i att undersöka ett antal sprutbetongkonstruktioner i fält med avseende på beständighet. De objekt som har studerats är ett axplock ur den stora mängd konstruktioner som beställare och entreprenörer har rekommenderat vid en efterfrågan om studieobjekt.

Urvalsprinciperna har varit att välja så gamla konstruktioner som möjligt producerade med relevanta sprutmetoder, samt att dessa skall ha utsatts för olika miljöpåverkan. I undersökningen har också både sprutbetong mot berg och betong studerats. Armeringstypen är en annan faktor som spelat roll vid urvalet.

2. URVALSKRITERIER

För att få en god spridning mellan olika typer av sprutbetongkonstruktioner och miljöer gick Vattenfall Utveckling AB ut med en förfrågan till olika beställare och entreprenörer. Där efterfrågade vi lämpliga sprutbetongobjekt att studera vid vår inventering. Gensvaret var över förväntan och intresset för området sprutbetongs beständighet verkar vara stort. Antalet objekt var så stort att ett urval var nödvändigt.

Kriterierna för urvalet har varit följande:

Ålder. Det primära urvalskriteriet som också har styrts av vilken metod som har tillämpats. De torrsprutade konstruktionerna har kunnat väljas relativt gamla då metoden har förändrats i begränsad omfattning. Våtsprutade konstruktioner har av naturliga skäl inte kunnat bli lika gamla då metoden tillsammans med stålfibrer inte använts i Sverige i någon större omfattning förrän på 80-talet.

Konstruktionstyp. En jämn blandning mellan sprutbetong mot berg och sprutbetong mot betong har eftersträfvats.

Armeringstyp. Indelning i kategorierna stålfiberarmerad, konventionell armering och oarmerad sprutbetong har gjorts. I första hand har konstruktioner med stålfiberarmering valts ut.

Miljö. Målet har varit att välja ut konstruktioner i så många kategorier som möjligt. T.ex. så har sprutbetong i bergrum med relativt konstant temperatur och fukthalt såväl som broreparationer som utsätts för uteklimat och stänk av tössalter tagits med.

Dokumentation. De objekt som saknar uppgifter om sin historik har fått stå tillbaka för väldokumenterade (även muntlig information) objekt.

Tillgänglighet. Intressanta konstruktioner som inte varit tillgängliga har fått strykas tillsvidare. Möjligen kan dessa bli aktuella om tillfälle erbjuds senare.

3 METODIK VID BESIKTNING

Vid en övergripande besiktning är antalet undersökningsmetoder begränsade. För en grundlig undersökning i fält krävs en stor mängd utrustning för urtag av provkroppar t.ex.. Därför beslutades det på ett tidigt stadium att man först skulle göra en övergripande besiktning för att göra en uppskattning av konstruktionernas status. Om man efter denna undersökning bedömde konstruktionen som intressant ur någon särskild synvinkel skulle en ytterligare, utförligare undersökning kunna göras.

3.1 Insamling av objektspecifik information

För att på ett effektivt sätt kunna göra en undersökning krävs vetskap om sprutbetongkonstruktionens utformning, funktion, tillgänglighet och utförande. För att erhålla all denna kunskap krävs god hjälp från ägare och / eller entreprenör. I enstaka fall är dokumentationen god med uppgifter om vilka materialsammansättningar och metoder som har använts vid utförandet. I bland t.o.m. resultat från utförda provningar. Andra objekt kan kräva intervjuer av personer som, på ett eller annat sätt, har varit inblandade vid utförandet. En kombination av de båda har visat sig vara det bästa.

3.2 Övergripande undersökning

En övergripande undersökning kan utgöra en god och relativt billig metod att uppskatta sprutbetongkonstruktioners status. Tanken med denna undersökning är att få en bild av hur sprutbetongen klarat sig ur beständighetsperspektiv och inte att få tillräckligt med information för att bedöma t.ex. ett eventuellt reparationsbehov.

3.2.1 Fältmetoder

Det finns ett antal enkla metoder som kan säga relativt mycket om sprutbetongkonstruktionen status. Några av dessa är:

Okulär granskning. Den enklaste metoden att utföra, men kanske den svåraste när det gäller att tolka informationen. Det kräver god kunskap om betongs beteende vid olika typer av belastningar i form av både kraftspel och miljö. Man kan t.ex. kontrollera ev. uppsprickningar och sprickmönster och därur bedöma orsaken till uppkomsten av dessa. Man kan också studera ev. utfällningar och dess lägen i konstruktionen. Även andra avvikelser i form av färgskiftningar o.d. kan ge information om konstruktionens status eller anledningen till denna. Den okulära granskningen ger oftast en möjlighet att skapa en helhetsbild tillsammans med de andra undersökningar som görs. Enstaka provningsresultat ur en konstruktion som inte kompletterats med okulär granskning saknar oftast relevans för att göra en totalbedömning av dess status.

Sprickviddsmätning. Görs i sin enklaste form med en sprickbreddsmätare. Kan ge en ledning om orsaken till sprickans uppkomst.

Bomknackning. Genom knackning med hammare på sprutbetongytan kan man lätt identifiera partier där dålig eller ingen vidhäftning mot underlaget finns. Man kan också hitta partier med sprutbetong av dålig kvalitet.

Uppsamling av borrhax. Med en batteridrivna bormaskin kan man enkelt borra ur och samla upp borrhax från sprutbetongen. Kaxet kan sedan användas t.ex. för att kontrollera kloridhalten. Det ger ingen fullständig kloridprofil, men en uppskattning om närvaron av klorider.

Karbonatiseringskontroll. I ett borrhål eller på andra nyexponerade ytor kan man med fenolftaleinlösning kontrollera karbonatiseringsdjupet i sprutbetongen. Betong som inte färgas röd är karbonatiserad.

Fotografering och videodokumentation. Vid behandling av insamlad information är det ett bra stöd för minnet att ha foton och videoupptagningar från objektet. Det kan också förhindra onödiga återbesök genom att nya frågeställningar kan få svar i detta material.

3.2.2 Laboratorieundersökningar

Eftersom syftet med denna typ av undersökning endast är att göra en övergripande statuskontroll av sprutbetongkonstruktionen, görs inte särskilt många undersökningar i lab.

Kloridhalter. Det uppsamlade borrhaxet kontrolleras med avseende på kloridhalt enligt RCT-metoden.

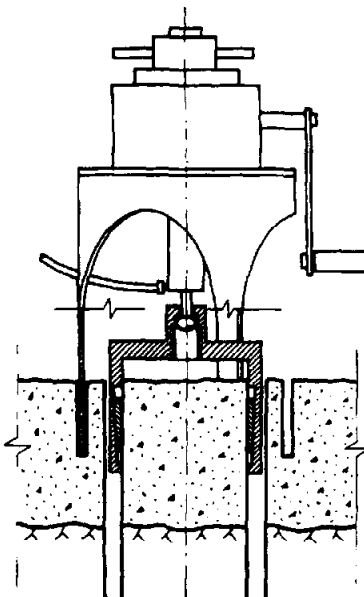
3.3 Utförligare undersökning

Om det bedöms nödvändigt kan en mer utförlig besiktning utföras. I allmänhet kräver detta dock en större mängd utrustning och är mer tidsödande. Men resultatet blir istället en noggrannare och säkrare bild av konstruktionens kondition.

3.3.1 Fältmetoder

Har man väl tagit steget och bestämt sig för en utförligare undersökning krävs vanligen en bormaskin t.ex. för urtag av borrhärdor eller för kontroll av vidhäftningshållfasthet. Detta medför i fält oftast ett behov av elverk som kan driva bormaskin och eventuella pumpar för kylvatten till bormingen.

Vidhäftning. Med utrustning enligt fig. 3.1 kan man kontrollera sprutbetongens vidhäftning mot dess underlag. För att utföra provningen krävs borrar med dubbelmantlad borkrona. Provkroppens diameter är 72 mm.



Figur 3.1 Utrustning för vidhäftningsprovning enl. SS 13 72 43.
Equipment for testing of bonding strength according to SS 13 72 43.

Okulär granskning av kärnor. I borkärnornas mantelytor kan man kontrollera om några försvagningszoner eller annan skiktning kan ses. Man kan också studera ev. korrosion på armeringsjärn eller stålfiber.

Kärnbörning i sprickor. För att studera korrosionen av armering och stålfibrer i sprickor kan man förlägga kärnbörningen så att en spricka korsar borkärnan. Vid delning av kärnan längs sprickan kan man så studera armeringskorrosionen. Man kan också få en uppfattning om hur ett eventuellt urlakningsförlopp har påverkat betongen i anslutning till sprickan.

3.3.2 Laboratorieundersökningar

Med borrarutrustning med sig i fält är det möjligt att ta ur provkroppar för utförligare analys i lab.

Kloridprofil. Ur en borkärna borrar borkax på olika avstånd från ytan och analyseras med avseende på kloridhalten i betongen t.ex. enligt RCT-metoden. Därigenom kan en kloridprofil tas fram.

Tryckhållfasthet. Vid uttagning av borrhärnor kan även kärnor för bestämning av tryckhållfasthet göras i lab. Förutom ett värde på aktuell tryckhållfasthet i konstruktionen får man ett mått på sprutbetongens kvalitet. Tryckhållfastheten är också kopplad till permeabiliteten då en låg hållfasthet oftast innebär en porösare och mer permeabel sprutbetong.

Fibermängd. Genom nedkrossning av borrhärnor kan man plocka ur stålfibrer för att få en uppfattning om den faktiska fibermängden i sprutbetongen.

4 BESIKTNINGAR

Enligt beskrivning i kap. 2 har ett antal olika objekt valts ut för besiktning. Resultatet av besiktningarna redovisas i detta avsnitt objektsvis indelade i sprutbetong mot berg (7st), betong (7st) och korrugerad plåt (2st). En enkel sammanställning av de olika objekten redovisas i tabell 4.1-4.3. Om man istället gör en indelning enligt miljöklassning i BBK 94 [2] med avseende på frostbelastning och korrosion får man en fördelning enligt tabell 4.4. I bilaga nr. 1 redovisas vilka bedömningsgrunder som gäller för indelningen i de olika klasserna. A ger vilken klassning som gäller för armeringskorrosion och B för frostbelastning. Siffran 1 indikerar den lindrigaste miljön och 4 den mest aggressiva.

Vid bedömning av uppmätta kloridhalter i betong kan nämnas att Vägverket i Bro 94 [3] ställer kravet att den fria kloridjonhalten i procent av cementets vikt, ska vara mindre än 0.30% i nivå med armeringen (ospänd). Vid reparation ska kloridhaltig betong avlägsnas till nivån 0.15%.

Tabell 4.1 Besiktade objekt med berg som underlag.
Examined objects with sprayed concrete on rock.

Län	Plats	Typ	Metod	Armering	Utfört	Ägare
AB	Eugeniatunnarna, Stockholm	vägtunnel	torr	konv.	90/93	VV
E	Graversfors, Norrköping	försk. jvg.tunnel	torr	?	60	BV
N	Skogbytunneln, Halmstad	jvg.tunnel	torr	konv.	ca85	BV
AC	Stornorrors, Umeå	intagstunnel	våt	stålfiber	85	V-fall
AC	Umluspen, Storuman	vent.ort	våt	stålfiber	90	V-fall
N	Viskantunnarna, Varberg	vägtunnel	torr	stålfiber	80	VV
Y	Ödstunnarna, Kramfors	jvg.tunnel	torr	konv.	57	BV

Tabell 4.2 Besiktade objekt med betong som underlag.
Examined objects with sprayed concrete on concrete.

Län	Plats	Typ	Metod	Armering	Utfört	Ägare
P	E20 Lerums jvgstn., Lerum	rep. vägbro	torr	konv.	90	VV
E	E4 Scandic, Norrköping	rep. vägport	torr	?	ca90	VV
E	E4 St. Åby, Ödeshög	rep. vägbro	torr	konv.	91	VV
W	Forshuvud, Borlänge	rep. kranfund.	torr	-	91	Stora
Z	Hölleforsen, Bispgården	rep. skibord	torr	stålfiber	90	V-fall
Y	Nämforsen, Näsåker	rep. skibord	torr	plastfiber	90	V-fall
Z	Stadsforsen, Bispgården	rep. skibord	torr	stålfiber	89	V-fall

Tabell 4.3 Besiktade objekt med korrugerad plåt som underlag.
Examined objects with sprayed concrete on corrugated sheet.

Län	Plats	Typ	Metod	Armering	Utfört	Ägare
P	E20, Lerum	rep. vägtrumma	torr	stålfiber	91/92	VV
P	E20, Lerum	rep. vägtrumma	torr	konv.	91/92	VV

Tabell 4.4 Objekt indelade enligt miljöklassning i BBK 94 [2].
Environmental classification of objects according to BBK 94 [2].

MILJÖKLASS		KORROSION			
		A1	A2	A3	A4
FROST	B1	-	Stornorrfors Umluspen E20,Lerum, (trumma,fiber)	-	-
	B2	-	Öds Skogby Forshuvud	-	-
	B3	-	Graversfors	Nämforsen Stadstorsen Hölleforsen E20,Lerum, (trumma,konv)	Eugenia
	B4	-	-	-	Viskan E4,Norrköping E4,Ödeshög E20,Lerum (bro)

4.1 Berg som underlag

4.1.1 Eugeniätunnlarna, Stockholm

Konstruktion: - bergförstärkning, vägtunnlar

Miljöklassning: - A4 B4

Utförandeår: - 1989-91

Sprutbetong: - torrmetoden
 - oarmerad, nät-/lösjärnsarmerad
 - std cement, stenmax 8 mm, K35

Övrigt: dräner av cellplasttyp och mineralullstyp

De tvåfiliga vägtunnlarna är ca. 300 m långa och ligger längs E4 vid Norrtull i Stockholm. Tunnlarna är sprutbetonerade i tak och på väggar, utom i tunnelmynningarna där det finns ca 20 m konventionell betong.



Figur 4.1 S:a infarten av norrgående tunnel längs E4 vid Eugenia, Sthlm.
*South mouth of north bound tunnel along E4 by Eugenia,
 Stockholm.*

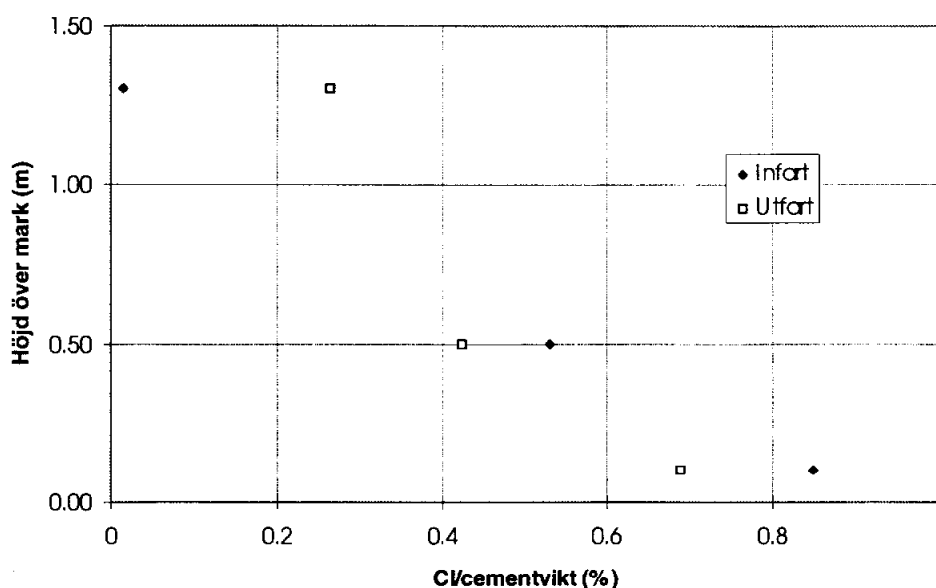
Generellt är tunnlarna förstärkta med oarmerad sprutbetong 50 mm i tak och anfang samt 25 mm på väggar. Vid sämre bergkvalitet finns nät- eller lösjärnsarmerad sprutbetong 80-100 mm. Övrig förstärkning är selektiv bultning generellt och i sämre partier systematisk bultning i tak. Sprutbetongdräner finns ca. var 15:e meter i huvudsak i de inre 150 m (norrgående tunnel).

Bomknackning i manhöjd utfördes och inga bompartier kunde lokaliseras förutom över sprutbetongdräner.

Sprickor synliga främst i taket där vissa partier hade omfattande sprickbildning och i vissa fall kalkutfällningar. De flesta sprutbetongdränerna uppvisade sprickor och i vissa fall kalkutfällningar (se drän i figur 4.1 högra delen).

Enligt en ny undersökning i samband med planerade reparationer har det konstaterats att sprutbetongdränernas isolering är ca. 500 mm bred. Uppbyggnaden är från berget och utåt cellplast/mineralull (50/30 mm), reveteringsnät och sprutbetong (15-70 mm).

Urtag av borrhax för analys av kloridhalt gjordes i sprutbetongen vid infart och utfart ur tunneln. På båda ställena togs tre prover på olika höjd (0.1m, 0.5 m och 1.3m). Alla prover togs ur den norra väggen i södergående tunnel. Resultaten redovisas i figur 4.2.



Figur 4.2 Kloridhalter i Eugeniattunneln uppmätta på borrkax från betongens yta enligt RCT-metoden.
Chloride contents in the Eugenia tunnel, measured on drilling debris from the concrete surface according to the RCT-method.

Kommentar:

Generellt verkar själva sprutbetongen vara av god kvalitet men det finns frågetecken kring konstruktionens beständighet då sprickbildningen i vissa partier är omfattande. Främst på sprutbetongdräner. Detta i kombination med höga kloridhalter borde leda till korrosionsproblem.

Isoleringen i dränerna är för smal och dessutom blir mineralullsdränernas funktion snabbt nedsatt då vattnet i isoleringen fryser vid låga temperaturer. Vägverket planerar åtgärder och utredningsarbete pågår.

4.1.2 Graversfors, Norrköping

Konstruktion: - bergförstärkning, förskärning till järnvägstunnel

Miljöklassning: - A2 B3

Utförandeår: - 1959-60

Sprutbetong: - torrmetoden
 - nätarmerad #50 mm, Ø4 mm

Förskärningen ligger vid dubbelspårig järnvägstunnel längs sträckan Norrköping-Katrineholm.



Figur 4.3 Förskränning till järnvägstunnel i Graversfors.
Open cut to the Graversfors railway tunnel.

Vid besiktning av sprutbetongen verkar ett skikt vara sprutat före nätning och vidare påslag. Vid de ställen det var möjligt att kontrollera sprutbetongtjockleken (skadade partier) varierade den mellan 10 och 40 mm. I den nedre delen av förskränningen har sprutbetongen lossnat i ett skikt parallellt med nätarmeringen. Även enstaka partier högre upp har lossnat och fallit ned. Bakom armeringen kunde även sönderflagad betong ses (se figur 4.4). Bomknackning av de nedre 2 m utförd och i anslutning till de partier där sprutbetongen lossnat kunde bompartier lokaliseras.



Figur 4.4 Detalj av skada i förskärning till tunnel i Graversfors.
Detail of damage in open cut to the tunnel in Graversfors.

Karbonatiseringsdjupet kontrollerades och befanns vara mindre än 1 mm. En analys av borrhax gav att kloridhalten var mindre än 0.003% Cl/betongvikt. I övrigt kunde sprickor och enstaka kalkutfällningar ses på ytan. Vid knackning i överkant av en kalkutfällning upptäcktes dålig betong som smulades sönder.

Kommentar:

P.g.a. snö och frostig sprutbetong var det svårt att göra en fullständig okulärbesiktning av hela förskärningen, men skadorna är koncentrerade till den nedre delen och där är sprutbetongen tunn. Den sönderflagade betongen kan ha uppkommit genom bristande frostbeständighet och vara resultatet av upprepad nedfrysning och upptining. Delaminering av sprutbetongskiktet är förmodligen en kombination av frostbelastning och senare korrosion av armeringsmattan som har ett litet täckskikt i de skadade delarna.

Betongen som smulades sönder ovan en spricka har urlakats och hållfastheten har därför satts ned.

4.1.3 Skogbytunneln, Halmstad

Konstruktion: - bergförstärkning, järnvägstunnel

Miljöklassning: - A2 B2

Utförandeår: - 1983

Sprutbetong: - torrmetoden
- nät-/lösjärnsarmerad

Övrigt: dräner



Figur 4.5 S:a mynningen av Skogbytunneln, Halmstad-Brännarp.
South mouth of the Skogby tunnel, Halmstad-Brännarp.

Tunneln är en 215 m järnvägstunnel för dubbelspår längs sträckan Halmstad-Getinge. Sprutbetongtjockleken är 60-135 mm beroende på bl.a. armeringsförhållandet. Vanligast är 80-100 mm och nätarmering. I vissa partier kompletterat med armeringsjärn $\phi 12$ mm. Taket är också bultat.

För att minska problemen med vatteninläckning och isbildning har delar av tunneln täckts med isolermattor för att dränera ned vattnet i marken.

Vid bomknackning upptäcktes enstaka bompartier på västra sidan. Strykning på sprickor i berg i vissa partier nästan parallell med tunneldragningen och i flera fall där sprutbetongen anbringats uppåt mot en slät betongyta finns bompartier. En del spruckna dräner med kalkutfällningar kunde ses (se figur 4.6).



Figur 4.6 Detalj av drän med sprickbildning och kalkutfällning som självläkt.
Detail of drain with cracking and limedeposits causing "self-healing".

Kommentar:

Generellt är den synliga sprutbetongen i gott skick, förutom dränerna som i några fall uppvisar omfattande sprickbildning. Därför finns tveksamheter kring beständigheten på nätarmeringen i dränerna.

Partier med sprutbetong av sämre kvalitet är troligen intäckta av de isolermattor som monterats i tunneln.

Åtkomligheten i tunneln vid besiktningen var begränsad p.g.a. tät linjetrafik.

4.1.4 Stornorrfors kraftstation, Umeå

Konstruktion: - bergförstärkning, intagstunnel

Miljöklassning: - A2 B1

Utförandeår: - ca.1987

Sprutbetong: - våtmetoden
 - anläggningscement 450-470 kg/m³, stenmax 8 mm
 - stålfibrer Dramix 30 mm/0.5 och Hörle 30 mm
 - tjocklek >70 mm
 - vattenglasaccelerator på fuktiga partier

Stornorrfors kraftstation ligger vid Umeälven ca. 15 km uppströms Umeå. Stationen är underjordiskt och till huvuddelen färdigställdes den 1958. En utbyggnad gjordes 1985 då ett fjärde aggregat byggdes. Förstärkningsarbeten påbörjades i intagstunnlarna 1986 som sprutades enligt våtmetoden med stålfiberarmerad sprutbetong. I dag är alla delar utom botten i intagstunnlarna sprutbetonerade.

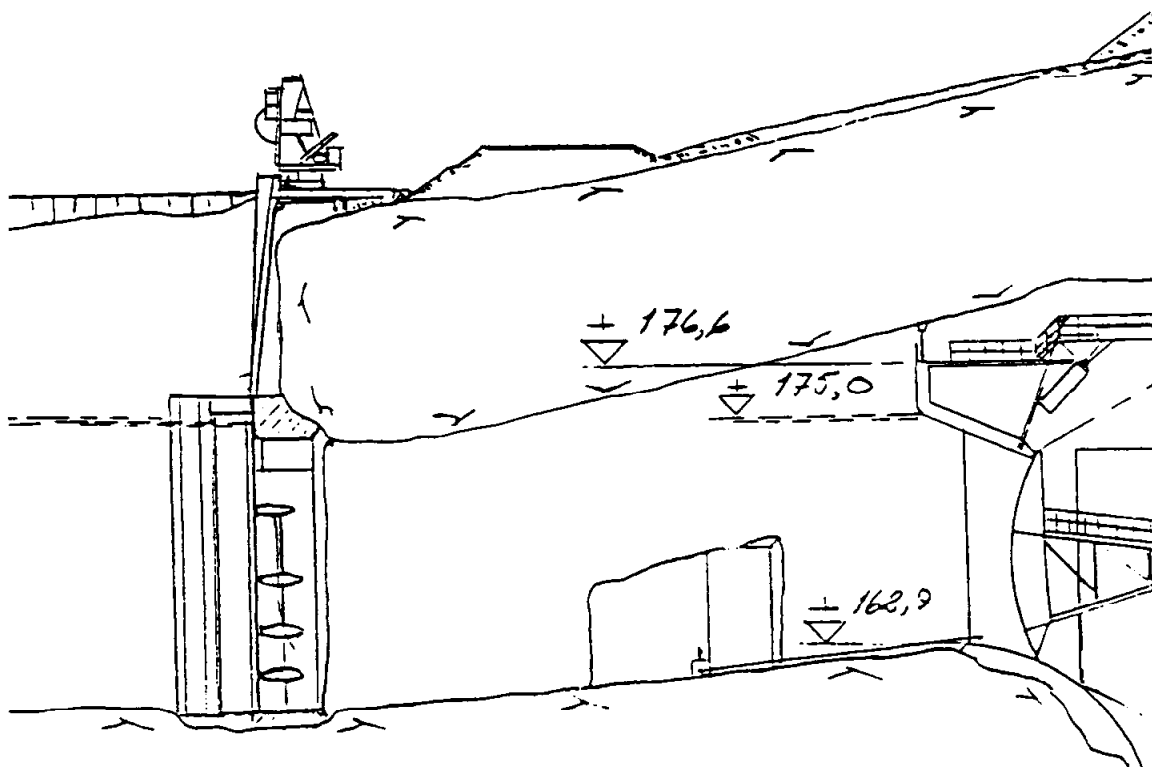
Tidigare utfördes en inspektion av intag G3 med dykare p.g.a. av att sten fallit ned mot spiralen och då kunde man konstatera att partier av sprutbetongen under vatten hade lossnat (ca. 10m²). Reparationer av undervattensskadan kommer ev. att ske under 1997 då en torrläggning av intaget kommer att göras.

Övergripande undersökning

Eftersom endast en liten del av intagstunnlarna är åtkomlig utan båt (figur 4.7) blev undersökningen mycket begränsad. Först undersöktes tunneln till aggregat G1.

Genom stickprov kunde man konstatera att sprutbetongens tjocklek är större än 70 mm. Utstickande fibrer har korroderat men endast någon mm in i sprutbetongen är de helt

opåverkade. Inga synlig sprickor eller bompartier kunde lokaliseras. Några enstaka kalkutfällningar som självläkt kunde dock ses.



Figur 4.7 Schematisk bild över intagstunnlar för aggregat G4 vid Stornorrfors kraftstation.
Skeleton sketch over headrace tunnel for unit G4 in the Stornorrfors power plant.

Vid intaget till aggregat G3 fanns stålfiberarmerad sprutbetong med fibrer av typen Hörle. Prover på utstickande fibrer har tagits. Karbonatiseringsdjupet kontrollerades och konstaterades vara mindre än 1 mm. Inga spår av klorider kunde heller hittas. Inga bompartier i tak eller på väggar i de undersökta delarna. Utstickande fibrer är korroderade men någon mm in i sprutbetongen är de opåverkade. Gamla provplatser för kontroll av vidhäftning in situ kunde ses.

Utförlig undersökning

Då klimatet varierar i begränsad omfattning beslutades att även en noggrannare kontroll av ev. fiberkorrosion skulle utföras. Kontroll av vidhäftningshållfasthet och kärnborrning i sprickor gjordes därför från en gummibåt vid intaget för aggregat G3. Resultatet av vidhäftningsprovnigen redovisas i tabell 4 nedan.

Tabell 4.4 Uppmätt vidhäftningshållf., Stornorrfor kraftstation intagstunnel G3.
Measured bonding strength, Stornorrfor power plant, headrace tunnel G3.

Prov	Hållf. (MPa)	Brott i btg/berg (%)	Kommentar
V1	> 0.2	0/100	sprickigt berg
V2	> 0.4	0/100	
V3	> 0.2	0/100	
V4	-	0/100	brott vid borrar

Platsen för prov V1 låg i närheten av kärnboringen i spricka och sannolikt finns här en krosszon i berget, varför V2-V4 är utförda några meter ifrån den förmodade zonen. Även här erhöles brottet i berget och resultaten är som synes relativt låga. "Större än"-tecknet före värdet innebär att vidhäftningshållfastheten är minst det uppmätta värdet eftersom brottet ej uppstod i skiktet mellan sprutbetong och berg. Sprutbetongens tjocklek är mellan 70-150 mm.

Vid undersökning från båt kunde man konstatera att mycket få sprickor var synliga i sprutbetongen, vid tidigare nämnda krosszon fanns dock en spricka som prov kunde tas ur. Kärnor borrades ur på 0.1m, 0.5 m och 1.25 m över medelvattenytans nivå. När kärnorna delades längs med sprickan kunde det konstateras att relativt få fibrer korsade sprickorna.

Stålfibrer som korsar sprickan uppvisar ingen korrosion utan endast fibrer i sprutbetongens yta är korroderade. Fiber som finns i ytan med ett tunt pastaskikt över sig har inte heller korroderat, utan endast helt fria utstickande fibrer har korroderat.

Med fenolftaleinlösning kontrollerades karbonatiseringsdjupet i sprickorna och det redovisas i tabell 4.5.

Tabell 4.5 Karbonatiseringsdjup i spricka, Stornorrfor kraftstation.
Carbonation depth in crack, Stornorrfor power plant.

Prov	Höjd över v.y. (m)	Karb.djup (mm)
I	1.25	1-10
II	0.5	1
III	0.1	0

Sprickan i kärna I har självläkt så att sprickan har fyllts igen med en kalkutfällning och när kärnan delas kan man se att mängden utfällning ökar mot sprickans mynning.

I kärna II kan kalkutfällning ses i sprickan från ca. 10 mm djup men ingen synlig utfällning finns vid sprickmynningen.

Kärna III passerar ingen spricka men denna klövs ändå för att studera fibrer inne i kärnan. Vid klyvning kan man direkt konstatera att antalet fibrer är betydligt större i denna "konstgjorda" spricka jämfört med i den självuppkomna.

På en av borrkärnorna ($\varnothing = 71.5$ mm, $l = 63.5$ mm) provades även tryckhållfastheten och den uppmättes till 109 MPa.

För att utröna fibermängden i sprutbetongen gjordes en nedkrossning av en kärna och detta resulterade i ca. 70 kg fibrer/m³ betong. Fibrerna är av typen Hörle $l = 30$ mm, $\varnothing = 0.6$ mm.

Kommentar:

Konstruktionen verkar generellt vara i mycket gott skick med få sprickor och andra skador i de delar som kunnat besiktas. Fiberkorrosionen är koncentrerad till sprutbetongens yta och efter tio års användning finns inga indikationer på korrosion inne i sprickor eller sprutbetong.

Resultaten av vidhäftningsprovningsen (tabell 4.4) pekar mot att berget är av relativt dålig kvalitet vid provplatserna. Om skadorna under vatten sammanfaller med den förmodade krosszonen är detta troligen anledningen till delamineringen av sprutbetongen. Dock borde den höga fiberhalten ha hållit ihop sprutbetongen så att inga bitar fallit bort.

Att antalet fibrer i den uppkomna sprickan är få jämfört med i andra delar av sprutbetongen pekar mot att sprickans lokalisering kan bero på detta.

Tryckhållfastheten på den provade borrkärnan är anmärkningsvärt hög och tyder på att sprutbetongen är av mycket hög kvalitet. Man får beakta att det enbart handlar om en borrkärna, men det höga resultatet är en tydlig indikation på dess kvalitet.

4.1.5 Umluspens kraftstation, Storuman

Konstruktion: - bergförstärkning, ventilationstunnel

Miljöklassning: - A2 B1

Utförandeår: - 1990

Sprutbetong:

- våtmetoden
- anläggningscement 450-475kg/m³, stenmax 8 mm
- stålfibrer Dramix 30 mm
- vattenglasaccelerator på fuktiga partier
- betongtjl. 50 mm fiberarm. + 20 mm oarm.

Kraftstationen ligger vid Umeälven i Storuman och färdigställdes 1957. Arbetena 1990 bestod i att förstärka en ventilationsort med vittrande berg.

Vid undersökningen, som utfördes både från mark och med hjälp av "sky-lift", lokaliserades inga bompartier vid bomknackning och några större sprickor kunde inte heller ses. Däremot finns kraftiga kalkutfällningar i taket där orten svänger (se figur 4.8). Sprutbetongtjockleken uppmäts till 35-90 mm med stålfibrer.



Figur 4.8 Kalkutfällningar i ventilationsort, Umluspens kraftstation.
Lime deposits in ventilation gallery, Umluspen power plant.

Borrkax är urtaget från tak och karbonatiseringsdjupet konstaterades vara mindre än 1 mm samt kloridhalten <0.003 % Cl/betongvikt. Förutom den undersökta delen av orten finns även partier med mindre kalkutfällningar.

Kommentar:

Då inga sprickor är synliga i ytan torde genomläckningen av vatten och de påföljande kalkutfällningarna kunna hänföras till partier med mer permeabel betong. Troligen har högre tillsats av vattenglasaccelerator använts på detta fuktigare parti och därigenom orsakat högre porositet och permeabilitet hos sprutbetongen.

4.1.6 Viskantunnlarna, Varberg

Konstruktion: - bergförstärkning, vägtunnel

Miljöklassning: - A4 B4

Utförandeår: - 1980

Sprutbetong: - torrmetoden
- stålfibrer och oarmerat, fibrer klippt från band vid produktion
- tjocklek 40-80 mm

Övrigt: dräner

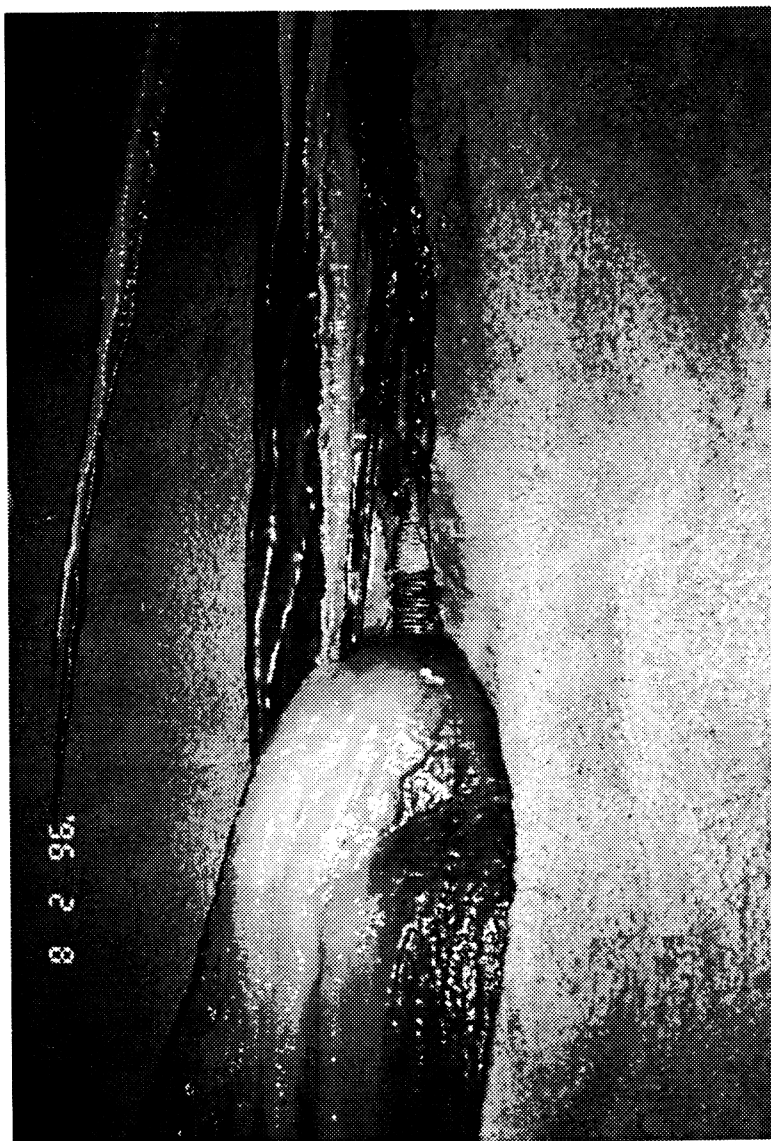
Vägtunnlarna ligger längs motorväg E6 ca. 10 km norr om Varberg. Huvudsakligen finns sprutbetong i tak men också vid dräner som dragits ned till väggfot.



Figur 4.9 Södra mynningen av Viskantunneln, E6 Varberg.
South mouth of the Viskan tunnel, E6 Varberg.

Övergripande undersökning

Bomknackning visade inga bompartier. Vid två av dränerna hade isbildning orsakat sönderfrysning av sprutbetongen (se figur 4.10). Den ena dränen fanns vid tunnelmynningen och den andra ungefär i mitten av tunneln. Orsaken till frysningen torde vara stopp i dränröret.



Figur 4.10 Sönderfrusna sprutbetongdräner i Viskantunneln, E6 Varberg.
Damaged drains caused by freezing in the Viskan tunnel, E6 Varberg.

Urtag av borrhax gjordes på tre ställen vid ca. 0.6 m höjd över mark och kloridhalterna presenteras i tabell 4.6. Vid beräkning av kloridhalter per cementvikt har ett cementinnehåll på 450 kg/m³ antagits.

Tabell 4.6 Kloridhalter i sprutbetong 0.6 m över väg, Viskantunneln.
Chloride content in sprayed concrete 0.6 m above road in the Viskan tunnel.

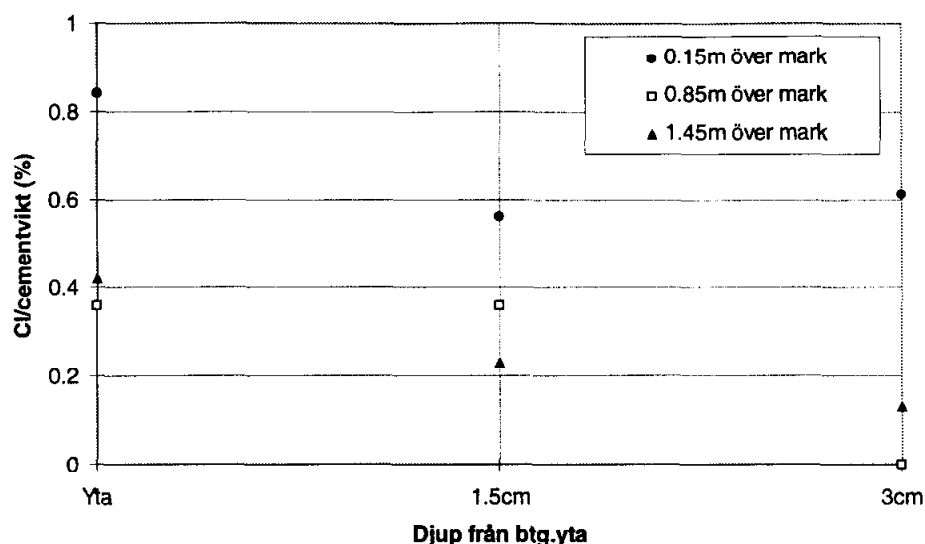
Prov	Cl/Betongvikt (%)	Cl/Cementvikt (%)
1	0.13	0.68
2	0.10	0.52
3	0.30	1.63
Medel	0.18	0.94

Utförlig undersökning

Sprutningarna i Viskantunneln innehåller stålfibrer och utsätts för stänk av tössalter från vägbanan. I den övergripande undersökningen uppmättes höga kloridhalter i sprutbetongens yta. Därför beslutades det att en utförligare undersökning skulle genomföras. In situ-provning av vidhäftning mellan sprutbetong och berg samt kärnborring i sprickor skulle utföras. Undersökningarna koncentrerades till den norrgående körbanans östra tunneldel och som nämndes tidigare är sprutningarna koncentrerade till tak och dräner, men i den norra mynningen finns ett parti med sprutbetong som dragits ner till mark. Av praktiska skäl koncentrerades därför vidhäftningsprovningarna till denna del. Kärnborringen i spricka utfördes på hjässan av en drän i de mittre delarna av tunneln.

Vid borring för vidhäftningsprovning lossnade kärnorna i fyra av fem fall vid borring eller montering av vidhäftningsutrustning. I det femte fallet uppgick vidhäftningshållfastheten till 0.1 MPa. I samtliga fall uppstod brottet i gränsskiktet mellan sprutbetong och berg. Resultaten pekar mot att det vid det aktuella provstället är dålig vidhäftning mellan sprutbetong och berg. Sprutbetongens tjocklek vid platsen för vidhäftningsprovning varierar mellan 40-70 mm.

Vid kärnborringen i spricka kunde man konstatera att sprutbetongen lokalt var tunnare vid sprickan (ca. 20-25 mm). Sprickan korsades på några enstaka ställen av det reveteringsnät som använts vid dränen men några stålfibrer var ej synliga i sprickorna. Nätet var i huvudsak inte korroderat, ej heller i sprickan. Ytterst finns ett 5-10 mm tjockt lager av sprutbetong utan fibrer. Kloridhalterna i betongen runt sprickan kontrollerades och halter enligt figur 4.11 erhöles.



Figur 4.11 Kloridprofil för sprutbetong i Viskantunneln, Varberg.
Chloride profile for sprayed concrete in the Viskan tunnel, Varberg.

Kommentar:

Vid värdering av resultaten från vidhäftningsprovningsen bör man ta hänsyn till att man vid bomknackning av partiet inte kunde lokalisera några bompartier. Sannolikt har resultatet påverkats av att borrarutrustningen var tämligen sliten och därför orsakade en del vibrationer vid borrar. Storleken av påverkan på borkärnorna är svår att värdera.

Den tunna sprutbetongen vid sprickan är en av anledningarna till att sprickan har uppstått just där. Att antalet fibrer i sprickan är lågt kan också vara en av anledningarna till sprickans lokalisering.

Kloridhalterna är relativt höga i den nedersta kärnan och i kombination med sprickvidden ca. 0.2 mm hade man kunnat förvänta sig korrosion på fibrer eller hönsnät.

4.1.7 Ödstunnlarna, Kramfors

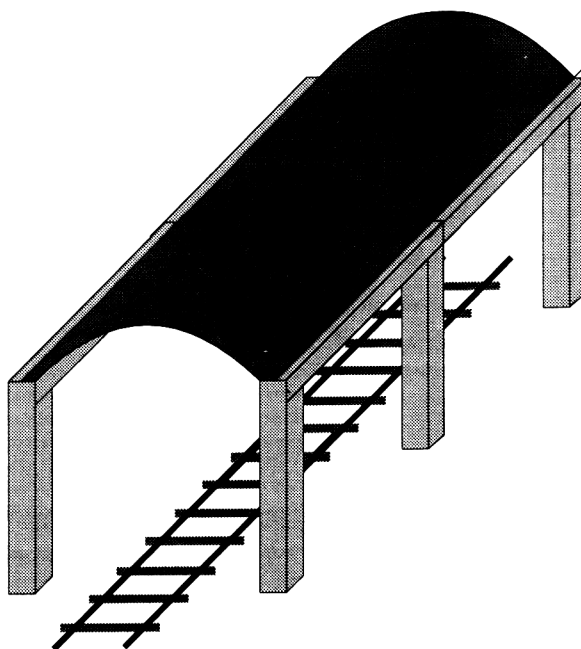
Konstruktion: - valvkonstruktion, järnvägstunnlar

Miljöklassning: - A2 B2

Utförandeår: - 1957-58

Sprutbetong: - torrmetoden
 - konventionell armering

Tunnlarna ligger på sträckan Kramfors-Dunäs och är byggda för en enkelspårig järnväg. Tre av de fyra tunnlarna har sprutbetongförstärkningar och alla tunnlarna har gjuten betong närmast tunnelmynningen. Den fjärde tunneln, från Kramfors sett, är helt i gjuten betong. Konstruktionen i de tre första tunnlarna består av ett pelar-/balksystem med sprutbetong i takvalvet och vanligen fria bergytter på väggarna mellan pelarna. Sannolikt är att sprutbetongen är applicerad mot korrugerad eternit. I hålrummet mellan berg och valv dräneras inläckande vatten ned via rör till marken.



Figur 4.12 Pelar-/balksystem och sprutbetong i Ödstunnlarna.
Column-/beam system and sprayed concrete in Ödstunnlarna.

Vid okulär besiktning kunde bågformiga sprickmönster ses i valvet. Sprickorna ser i huvudsak torra ut och kalkutfällningar i sprickorna tyder på att de har självläkt. I anslutningen mellan sprutbetong och betongbalk har kraftigare kalkutfällningar uppstått. I övrigt ser sprutbetongen helt intakt ut.

Kommentar:

Klimatet i tunneln är relativt konstant i de inre delarna men man kan möjligen exponeras för frostbelastning i tunnelmynningarna. De bågformiga sprickmönstren härrör därför sannolikt från rörelser eller laster i konstruktionen. Med tanke på konstruktionens höga ålder ser sprutningarna ändå ut att vara i bra skick.

För en mer omfattande undersökning av sprutbetongen erfordras skylift och spänningslös kontaktledning.

4.2 Betong som underlag

4.2.1 E20 Lerums järnvägsstation, Lerum

Konstruktion: - pelarreparation

Miljöklassning: - A4 B4

Utförandeår: - 1990

Sprutbetong: - torrmetoden
- anläggningscement, K40, vct<0.40, stenmax. 8 mm, arm. Ø12 mm (enl.spec.)

Övrigt: - efterbehandling genom impregnering med siloxanpreparat

Bro över E20 vid Lerums järnvägsstation uppförd 1965. Åtta pelare reparerades genom sprutbetonering upp till ca. 3 m höjd. Skadorna hade uppstått genom kloridinträngning och därigenom spjälkning av betong p.g.a. armeringskorrosion. Kloriderna härstammar från stänk av trafik på tösaltad väg.

Pelarna vattenbilades före sprutning ned till 10 mm under befintlig armering som rengjordes. Av hänsyn till trafik på bron reparerades endast en tredjedel av varje pelare åt gången. Efter att alla tre delarna är färdiga avslutas med ett påslag runt hela pelaren. Sprutbetongen är ca. 100 mm tjock. Efterhärdningen var föreskriven som dimfuktning i 5 dygn efter sprutning eller alternativt täckning med plastfolie.

Övergripande undersökning

Pelarna uppvisar en del uppsprickning med mycket fina sprickor (sprickvidd <0.1 mm). Enligt uppgift är dessa synliga framförallt vid fuktig väderlek. Bomknackning påvisade endast något enstaka litet bomparti.

Vid stickprovskontroll av kloridhalt blev resultatet 0.17% Cl/cementvikt (antaget 450 kg cement per m³) nära ytan.

Kommentar:

Reparationerna ser intakta ut och verkar vara i gott skick. För att kunna säga mer om konstruktionens kondition krävs utförligare undersökningar.

För konstruktionstypen är det anmärkningsvärt låg kloridhalt i sprutbetongen.

4.2.2 E4 vid Scandic hotell, Norrköping

Konstruktion: - vägportsreparation

Miljöklassning: - A4 B4

Utförandeår: - ca.1990

Sprutbetong: - torrmetoden

Övrigt: - impregnerad yta

Vägport under E4 vid Scandic hotell i Norrköping. Frontmurar och vingar är reparerade med sprutbetong upp till ca. 2 m höjd och den synliga skiktjockleken är 20-25 mm.

Vid den norra frontmuren finns en cykelbana och besiktningen gjordes längs denna del.

Övergripande undersökning

Vid besiktningen kunde inga sprickor eller bompartier lokaliseras och reparationerna verkar helt intakta. Sprutbetongen har fogar som sammanfaller med den underliggande betongens dilatationsfogar.

Kommentar:

Reparationerna i mycket gott skick vid okulär besiktning, trots höga miljöbelastningar. Bra konstruktionslösning med fogar som sammanfaller med den underliggande betongens.

4.2.3 E4 vid Stora Åby, Ödeshög

Konstruktion: - pelarreparation

Miljöklassning: - A4 B4

Utförandeår: - 1990

Sprutbetong: - torrmetoden
- armering Ø12 mm

Övrigt: - efterbehandling med impregnering

Bro vid Stora Åby längs E4 i närheten av Ödeshög. Skador hade uppstått p.g.a. kloridinträngning och därigenom losspjäkning av betong genom armeringskorrosion. Gammal skadad betong vattenbilades bort före sprutning. De fyra pelarna reparerades

med sprutbetong upp till ca. 2 m höjd. Eftersom bron skulle rivas i samband med ombyggnad av E4 gavs det tillfälle att göra provtagning i bropelarna.

Utförlig undersökning

Bomknackning gav att inga bompartier kunde lokaliseras på de fyra pelarna. Inga synliga sprickor funna, men genom fuktvariationer kunde man konstatera att sprutbetongen har krackelering med fina sprickor som ej är synliga för ögat.



Figur 4.13 Krackelering på pelare, E4 Stora Åby, Ödeshög.
Crackle on pillar, E4 at Stora Åby, Ödeshög.

Borrkärnor (Ø 62 mm) togs ur den sydvästra pelaren på den sida som vetter mot vägen på höjderna 0.7 m (kärna 1) och 1.5 m (kärna 2). Sprutbetongens tjocklek var vid det nedre provstället 150-210 mm och vid det övre 70-80 mm (se figur 4.14).



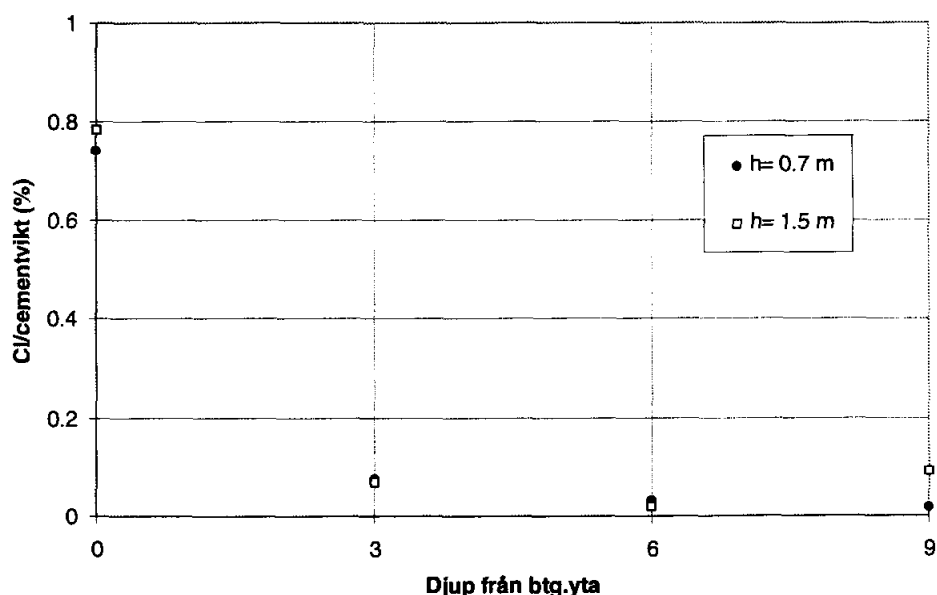
Figur 4.14 Borrkärnor från pelare i bro över E4 vid Stora Åby, Ödeshög.
Drill cores from pillar in bridge over E4 at Stora Åby, Ödeshög.

Vidhäftningsprover gjordes på två nivåer vid ca. 1.0 m resp. 1.35 m höjd. (resultat enl. tabell 4.7.)

Tabell 4.7 Vidhäftningshållfasthet för sprutbetongreparation på pelare i bro över E4 vid Stora Åby, Ödeshög.
Bonding strength for sprayed concrete repairs of pillar in bridge over E4 at Stora Åby, Ödeshög.

Prov	Hållf. (MPa)	Medel hållf. (MPa)	Brott i nya/g:a btg (%)	Tjl. (mm)	Kommentar
V1	1.7		50/50	85	brott längs arm.
V2	1.3	1.5	30/70	90	brott längs arm.

En bestämning av kloridprofil gjordes för de två urborrade kärnorna och kloridhalterna redovisas i nedanstående diagram. Cementmängd antagen till 450 kg/m³.



Figur 4.15 Kloridprofil på pelare i bro över E4 vid Stora Åby, Ödeshög.
Chloride profile on pillar in bridge over E4 at Stora Åby, Ödeshög.

Armeringen i är i de kontrollerade proverna helt opåverkad av korrosion. Täcksiktet uppmättes till ca. 60 mm.

Kommentar:

Så när som på krackeleringen verkar reparationerna vara i gott skick. Sprutbetongen verkar ha låg permeabilitet då kloridhalterna är låga en bit in i betongen och den nya armeringen ligger väl skyddad. Sannolikt har impregneringen minskat kloridinträngningen.

Vidhäftningshållfastheten verkar bra. Däremot kan man fråga sig om lämpligheten av att bila fram den gamla armeringen delvis. En bättre lösning vore att stanna före eller passera den gamla armeringen. Detta skulle sannolikt ha förbättrat vidhäftningen ytterligare.

4.2.4 Forshuvuds kraftstation, Borlänge

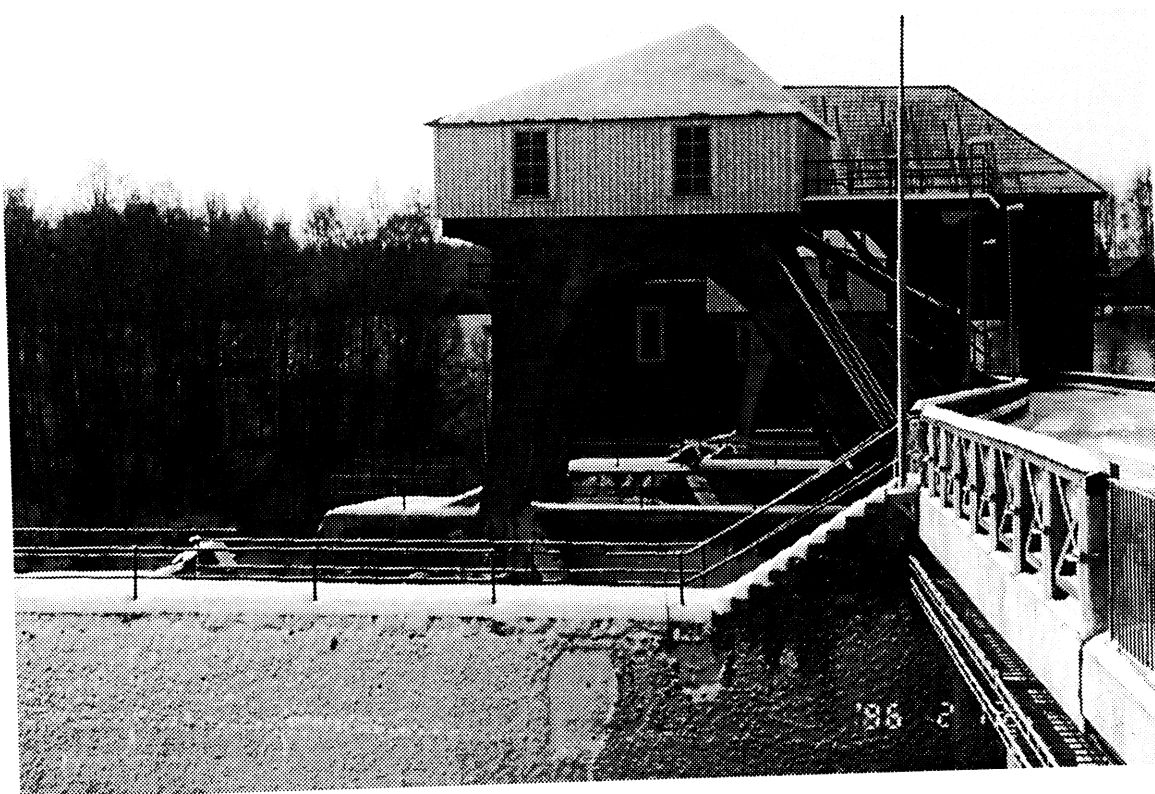
Konstruktion: - reparation av kranfundament

Miljöklassning: - A2 B2

Utförandeår: - 1991

Sprutbetong: - torrmetoden

Forshuvuds kraftstation ligger vid Dalälven i Borlänge. Kranarna används för att reglera dammluckorna och byggåret för kranfundamenten är 1920 och de reparerades p.g.a. korrosion och losspjälkning av betong. Skadade partier bilades bort och ersattes med sprutbetong. I vissa delar upp till 70 mm djup och i övrigt ett tunt skikt på ca. 15 mm. Det finns två kranar, men fundamenten var olika mycket angripna och endast ett av dem har reparerats.



Figur 4.16 Kranar vid Forshuvuds kraftstation.
Cranes at the Forshuvud power plant.

Övergripande undersökning

Sprutningarna är intakta, förutom ett begränsat bomparti på ett "ben" vid ett hörn där uppsprickning har skett. Någon enstaka spricka kunde även ses och smärre kalkutfällningar i sprutbetongens avslutning mot den gamla betongen.

Kommentar:

Trots att sprutningarna är relativt tunna verkar det i dagsläget inte vara något problem med sprickor. Konstruktionens ålder är fortfarande ganska låg och det måste beaktas vid värdering av undersökningens resultat.

4.2.5 Hölleforsens kraftstation, Bispgården

Konstruktion: - skibordsreparation

Miljöklassning: - A3 B3

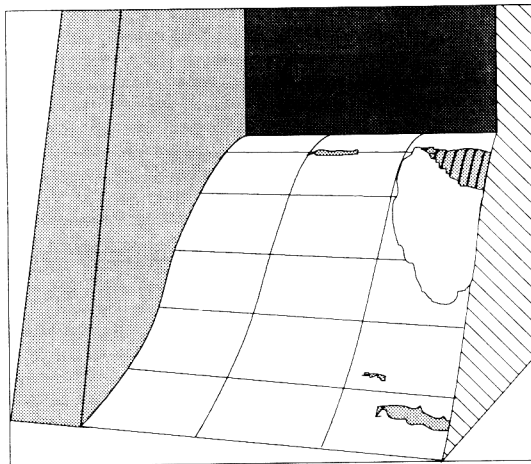
Utförandeår: - 1990

Sprutbetong: - torrmetoden
- stålfibrer Dramix 30/0.5

Hölleforsens kraftstation ligger vid Indalsälven ca. 8 km nedströms om Bispgården och stationen färdigställdes 1949. I samband med reparationsarbeten i Stadsforsen beslutades att även reparera skibord C i Hölleforsen. Mycket oklart kring hur arbetena i Hölleforsen är utförda. De utfördes dock under vintern med inbyggnad med tält. Inga uppgifter på för- och efterbehandling finns tillgängliga.

Övergripande undersökning

Sprutbetongen har lossnat på ett större område på skibord C, i den övre högra delen (nedifrån sett)(se figur 4.17 och figur 4.18). Den gamla armeringen ($\phi 32$ mm slätstål) är delvis frilagd och korroderad. Stålfibrer korroderade i ytan men opåverkade inne i sprutbetongen.



Figur 4.17 Skador vid utskov C Hölleforsens kraftstation.
Damages in spillway C of the Hölleforsen power plant.

Sprutningen verkar vara utförd i skift om ca. 3 m från luckans nedre kant uppifrån och ner längs skibordet. Troligen har en längsgående indelning också gjorts.

Skarv mellan skift synlig ca. 3 m nedanför utskovslucka längs skibordet. Bomknackning påvisade inga bompartier förutom där vatten strömmat under sprutbetongen.



Figur 4.18 Utskov C Hölleforsens kraftstation, detalj av skada.
Spillway C of the Hölleforsen power plant, detail of damage

Kommentar:

Den övre skadan ser ut att ha påbörjats längs skarven mellan det översta skiftet och det nedanför. I den frilagda ytan mellan dessa ser man att det inte är någon brottyta utan ett avslut av det övre skiftet. Det nedre skiftet har sannolikt spetsats ut över det föregående skiftet. Den tunna utspetsningen har sedan spolats bort och erosionen av skarven har sedan accelererat. Men eftersom dokumentation om objektet ej hittats är mycket oklart om arbetena, men konstruktionsutformningen är en bidragande orsak till den uppkomna skadan.

4.2.6 Nämforsens kraftstation, Näsåker

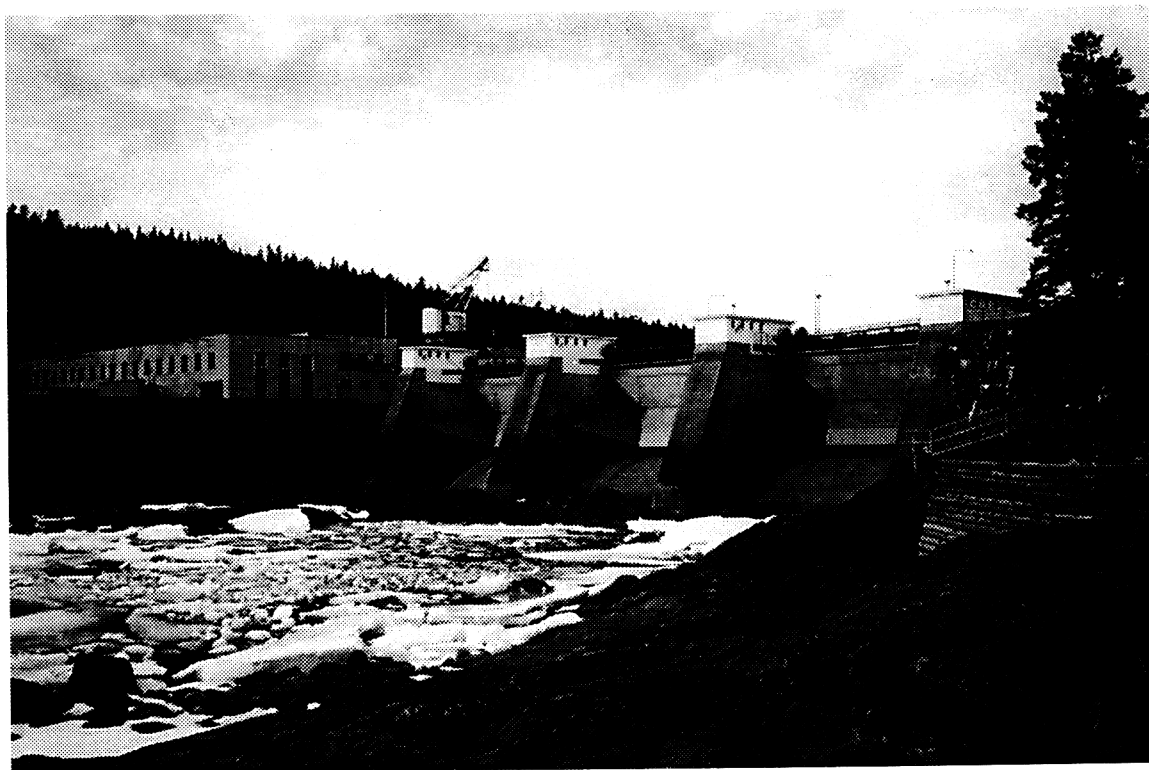
Konstruktion: - skibordsreparation

Miljöklassning: - A3 B3

Utförandeår: - 1990

Sprutbetong: - torrmetoden
 - polypropylenfibrer

Kraftstationen ligger vid Ångermanälven 40 km NV om Sollefteå och byggdes 1947.



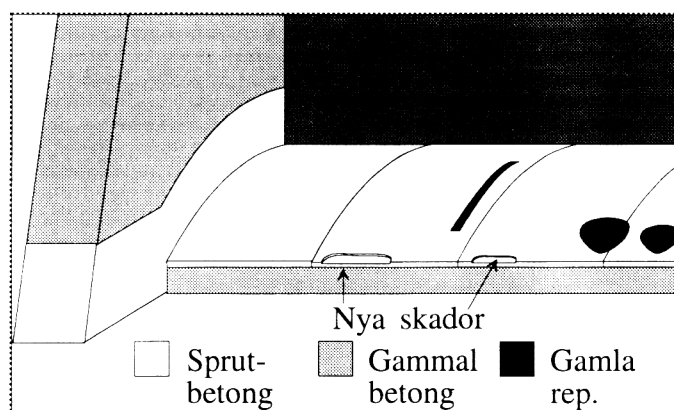
Figur 4.19 Nämforsens kraftverk, (utskov A närmast stationen)
The Nämforsen power plant, (spillway A closest to the plant)

Vid skibordsreparationerna vattenbilades den gamla betongen bort före sprutning. Eftersom sprutningarna utfördes i Januari byggdes tält över skiborden och dessa varmhölls. Sprutbetongen applicerades i ca. 50 mm tjocklek uppifrån dammluckan och ner längs skibordet på en bredd av ca 4m. Mellan de fyra skiften användes en avstängare som efter borttagning lades igen. Vid utskov C provade man också att stålglätta ytan efter sprutning, men avbröt detta efter misstanke om att vidhäftningen skulle försämrats.

Redan efter två år uppstod skador på sprutbetongen då partier lossnade. Hela sprutbetongskiktet lossnade dock ej utan endast det översta skiktet (ca. 20 mm). Skadorna reparerades med en polymer/kvartskomposit (Chesterton).

Övergripande undersökning

Undersökningen koncentreras till utskov A men p.g.a. snö och vatten i kombination med lutning blir undersökningen av utskovet begränsad. I nederkant skibord ses partier som lossnat och ca 0,5 - 1 m² stora bitar är borta. (se figur 4.20) Man ser också lagningar i huvudsak i skibordets nedre del och längs en skarv mellan två sprutbetongskift. Monoliterna har också sprutats upp till ca. 2 m höjd.

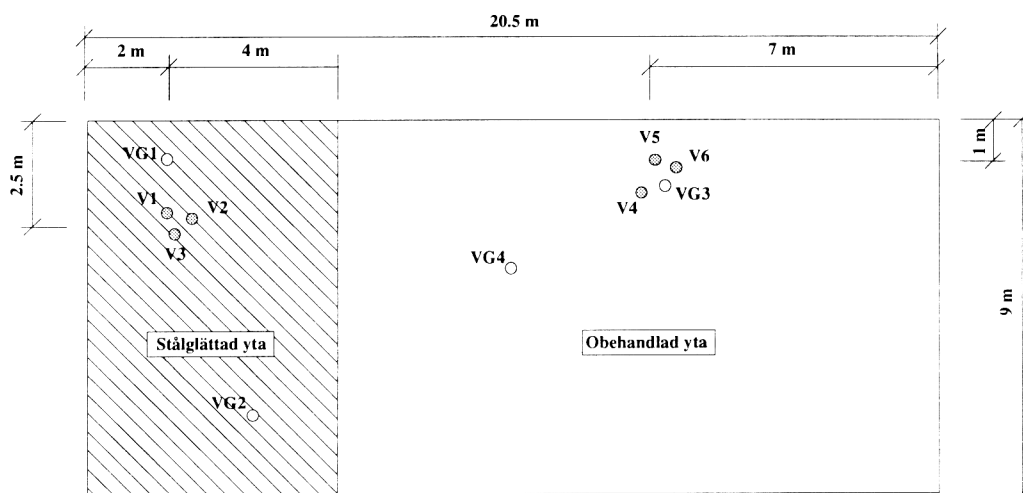


Figur 4.20 Skador i utskov A, Nämforsen.
Damages in spillway A, Nämforsen.

Vid bomknackning av skibord upptäcktes enstaka bompartier nedan Chestertonlagningar, och mot monolit lokaliserades delaminering vid de nedersta 15 cm vid anslutning mot skibordet. Enstaka sprickor i sprutbetongen kan också ses på monoliterna. Dessa ser ut att härröra från sprickor i den underliggande betongen. Sprickvidden för dessa är ca. 0,2 mm.

Utförlig undersökning

Efter byggnationens avslutande utfördes provningar av vidhäftningshållfastheten på bl.a. skibord C. Syftet var att jämföra resultatet mellan den del som blev stålglättad och den del som ej stålglättades. Därför beslutades det om en uppföljning av resultaten nu 6 år efter tillverkning. Resultaten av de två undersökningarna presenteras i tabell 4.8 & 4.9 och provplatserna på skibord C visas i figur 4.21.



Figur 4.21 Platser för vidhäftningskontroll av skibord C, Nämforsen
Position for bonding strength control of spillway C, Nämforsen.

Tabell 4.8 Resultat från test av vidhäftningshållfasthet 90-10-23, skibord C, Nämforsens kraftstation.

Results from test of bonding strength 23 May 1990, spillway C, Nämforsen power plant.

90-10-23				
Prov	Hållf. (MPa)	Medel hållf. (MPa)	Brott i nya/g:a btg (%)	Tjl. (mm)
VG1	1.7	1.8	0/100	30
VG2	2.0		0/100	35
VG3	2.2		0/100	42
VG4	1.9	2.0	10/90	50

Tabell 4.9 Resultat från test av vidhäftningshållfasthet 96-05-13, skibord C, Nämforsens kraftstation.

Results from test of bonding strength 13 May 1996, spillway C, Nämforsen power plant.

96-05-13					
Prov	Hållf. (MPa)	Medel hållf. (MPa)	Brott i nya/g:a btg (%)	Tjl. (mm)	Kommentar
V1	2.1	2.0	0/100	31	
V2	1.7		0/100	31	
V3	2.1		0/100	27	
V4	1.1	1.5	0/100	15	
V5	1.6		0/100	22	
V6	1.7		40/60	60	Brott mot armering

Som det framgår av tabellerna 4.8 och 4.9 är spridningen i resultaten stor och det finns ingen tydlig trend för påverkan av stålglättningen.

Kommentar:

Eftersom sprutbetongen i huvudsak är sprickfri verkar plastfibrerna ha fungerat som sprickbegränsande främst i det plastiska tillståndet.

En problemdel verkar vara anslutningen mellan skibord och monolit där samtliga utskov uppvisar delamination och bortfall av sprutbetong i de nedre delarna av monoliten. Spill och stänk från sprutningen av skibordet borde ge vidhäftningsproblem på monoliten.

Tjockleken på sprutningarna i denna del var mycket tunn i vissa fall (<10 mm).

En trolig anledning till delamineringarna på bl.a. skibord A är att man sprutat ett tunt skikt (<20 mm) och inte rengjort ytan från spill före sprutning. Detta skulle då resultera i dålig vidhäftning till underlaget och vid påverkan av strömmande vatten på skibordet har skadan uppstått. Möjligen skulle frostpåverkan i gränsskiktet kunna vara en bidragande faktor.

Vad gäller stålglättning av sprutbetongens överyta och dess negativa påverkan på vidhäftningen kan man ur de två provomgångarna (-90 & -96) inte kunna hitta något som styrker detta. Provningarna visar istället att vidhäftningen är bra på båda ytorna

4.2.7 Stadsforsens kraftstation, Bispgården

Konstruktion: - skibordsreparation

Miljöklassning: - A3 B3

Utförandeår: - 1989

Sprutbetong: - torrmetoden
- blandningsförhållande 1:3, stenmax 10 mm
- stålfibrer Hörle 30 mm

Stadsforsen ligger längs Indalsälven ca. 4 km nedströms Bispgården och färdigställdes 1939 och -52. Stationen består av fem utskov (se figur 4.22).

Vid reparation togs den gamla och skadade betongen på skiborden togs bort genom vattenbilning. Före sprutning föreskrevs noggrann rengöring och vattning till lätt sugande underlag. Sprutning utfördes sedan uppifrån luckan och ned i sektioner om 3-4 m och i 2-3 påslag upp till ca. 70 mm tjocklek.

Efter sprutning stålglättades ytorna och de vacuumbehandlades även längst ner. Vattning föreskrevs också i 5 dygn efter sprutning.

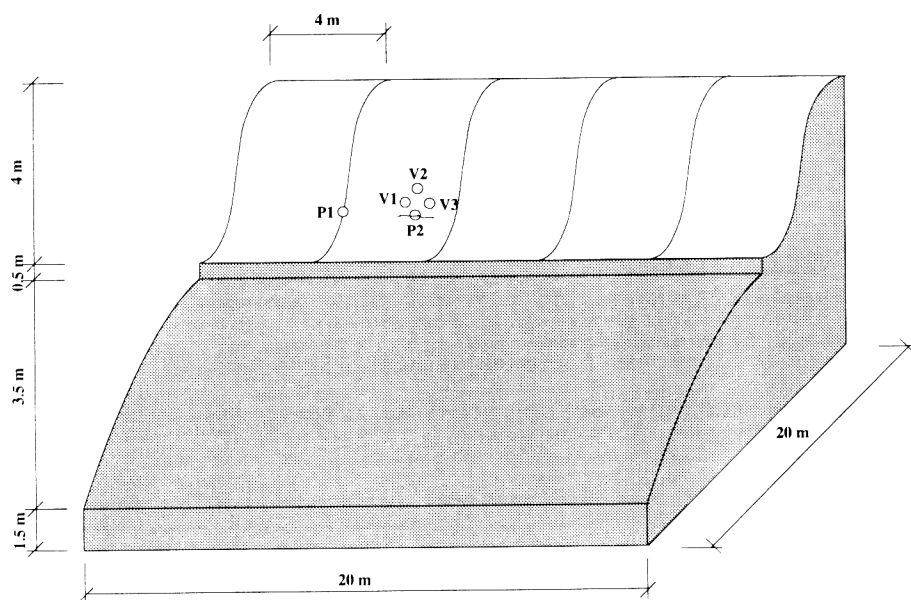
Utförlig undersökning

Utskoven undersöktes endast vid ett tillfälle och omfattade då både okulär besiktning och provtagning. Undersökningen koncentrerades till utskov C.

Vid okulär kontroll av skibordet kan man se att stålfibrer finns i ytan och att dessa är korroderade. Skarvarna mellan de olika sektionerna kan ses i ytan och vid kantskoningen. I sektionen längst till vänster (nedifrån sett) kan man se viss krackelering, men i övrigt endast en enstaka horisontell spricka som självläkt i mitten av skibordet.



Figur 4.22 Utskov vid Stadsforsens kraftstation, Indalsälven
Spillways at the Stadsforsen power plant, in the river Indalsälven



Figur 4.23 Skiss över skibord C och platser för provtagning, Stadsforsen.
Sketch over spillway C and positions for testing, the Stadsforsen power plant.

Kärnbörning och kontroll av vidhäftningshållfasthet utfördes med lägen enligt figur 4.23. Resultaten av vidhäftningkontrollen redovisas i tabell 4.10.

Tabell 4.10 Resultat från test av vidhäftningshållfasthet, skibord C, Stadsforsens kraftstation.

Results from test of bonding strength, spillway C, the Stadsforsen power plant.

Prov	Hållf. (MPa)	Medel hållf. (MPa)	Brott i nya/g:a btg (%)	Tjl. (mm)	Kommentar
V1	1.7	1.3	5/95	102	
V2	1.0		30/70	103	
V3	1.2		20/80	90	

Kärna P1 borrades ur i skarven mellan sektion 1 och 2 på skibordet. Här kunde man se att gjutfogen hade strukits med asfalt. I den ena kärnhälvan kan två sämre skikt med dålig komprimering ses, och där har också fibrerna delvis korroderat.

Kärna P2 som togs vid en självläkt spricka uppvisade ingen fiberkorrosion i sprickan. Man kunde man däremot se utfällningar i mynningen och i de nedre delarna av sprickan. De översta 2 cm av sprickyrtorna uppvisade urlakad sprutbetong.

En kontroll av tryckhållfasthet utfördes på en enstaka kärna och den uppgick till 129 MPa. Vid provningar i samband med utförandet av sprutningen [4] erhöles en medeltryckhållfasthet på ca. 85 MPa. Stålfibermängden uppmättes till 50 kg/m³.

Kommentar:

I huvudsak verkar skibordet vara i gott skick utan större skador. Vidhäftningshållfastheten är också bra vid provstället. Det sämre partiet i skarven mellan två sektioner är sannolikt insprutat spill.

Tryckhållfastheten är anmärkningsvärt hög och tyder på en mycket hög betongkvalitet.

4.3 Korrugerad plåt som underlag

Två stycken vägtrummor (rörbroar) ca. 2.5 m i diameter under väg E20 i Lerum som förstärkts p.g.a. korrosion i plåttrumman. De befintliga plåtrören monterades i början på 60-talet och dessa var avrostade i vattenlinjen. Åtgärden bestod i att använda befintliga plåtrör som form när man sprutbetonerade insidan av röret.

Ena röret armerades med slakarmering och ett med stålfibrer. Rören sprutades sedan med ca 100 mm sprutbetong enligt torrmetoden.

4.3.1. E20, Lerum (stålfiberarmerad)

Konstruktion: - reparation av vägtrumma

Miljöklassning: - A2 B1

Utförandeår: - 1992

Sprutbetong: - torrmetoden
 - anl.cement, 1:4, stenmax 0-8 mm
 - stålfibrer Dramix 40/C.5 (ytterst ett oarmerat skikt)

Röret är åtkomligt via nedstigningsbrunn och inne i röret råder ett relativt konstant klimat med ständig vattengenomströmning (även vintertid). Dock kan nivån på vattenytan variera en del mellan årstiderna. Ovan bron finns ca. 10 m bankfyllning. På rörets botten har man gjort en stödgjutning med konventionell betong.

Övergripande undersökning

Provtagningar av tryckhållfasthet gjordes på kuber som sågats ur sprutade lådor och det resulterade i en medeltryckhållfasthet på 79 MPa.

Vattenföringen i röret var låg vid detta besiktningstillfälle, med ett vattendjup på ca. 20 cm över rörbotten.

Bomknackning påvisade inga bompartier men på ett par ställen kunde man dock istället hitta sprickor som gick runt hela röret. Sprickvidden varierande från <0.5 till 2 mm. I flera av sprickorna kunde kraftiga röda utfällningar ses, enligt uppgift härrör detta även från jorden och inte enbart från korrosion. Utfällningarna fanns även före sprutning av rören.



Figur 4.24 Sprickor i sprutbetong med stålfiberarmering, vägtrumma under E20 i Lerum.

Cracks in sprayed concrete with steel fiber reinforcement, road culvert under E20 in Lerum.

Utförlig undersökning

För att något närmare kunna studera korrosionsförloppet för stålfibrer i sprickor gjordes en utförligare undersökning av vägtrumman. Genom att borra ur kärnor med en spricka tvärs över kan man studera fiberkorrosionen.

Vid tidpunkten för kärnborrning var vattengenomströmningen kraftig och det försvårade arbetet. I figur 4.25 kan man se uppställningen vid kärnborrning.

De urborrade kärnorna togs på 10, 55 och 115 cm höjd över vattenytan. Borrningen träffade sprickan på den övre och nedre kärnan. I den övre kärnan korsade endast en fiber sprickan och den var opåverkad av korrosion. I den nedre kärnan kunde man se ytkorrosion på stålfibern i sprickan.

Plåttrumman som borrades igenom hade vid den översta kärnan en tjocklek på 5 mm och i det nedre hålet endast 1 mm där korrosionen var kraftig.



Figur 4.25 Kärnbörning i vägtrumma, Lerum
Core drilling in "tube bridge", Lerum

Kommentar:

Orsaken till de grova sprickorna i vägtrumman är svår att säkerställa. Krympsprickor borde i normalfallet ha orsakat mindre sprickvidd och antalet sprickor borde istället vara fler. I det här fallet är antalet fibrer få i sprickan och det kan vara förklaringen till den stora sprickvidden. Man kan också tänka sig någon form av konstruktiv last som möjligen kan ha orsakat uppsprickningen.

Korrosionen är begränsad trots tillgång till fukt och relativt varm miljö i kombination med uppsprucken betong.

4.3.2 E20, Lerum (konventionellt armerad)

Konstruktion: - reparation av vägtrumma

Miljöklassning: - A3 B3

Utförandeår: - 1992

Sprutbetong: - torrmetoden

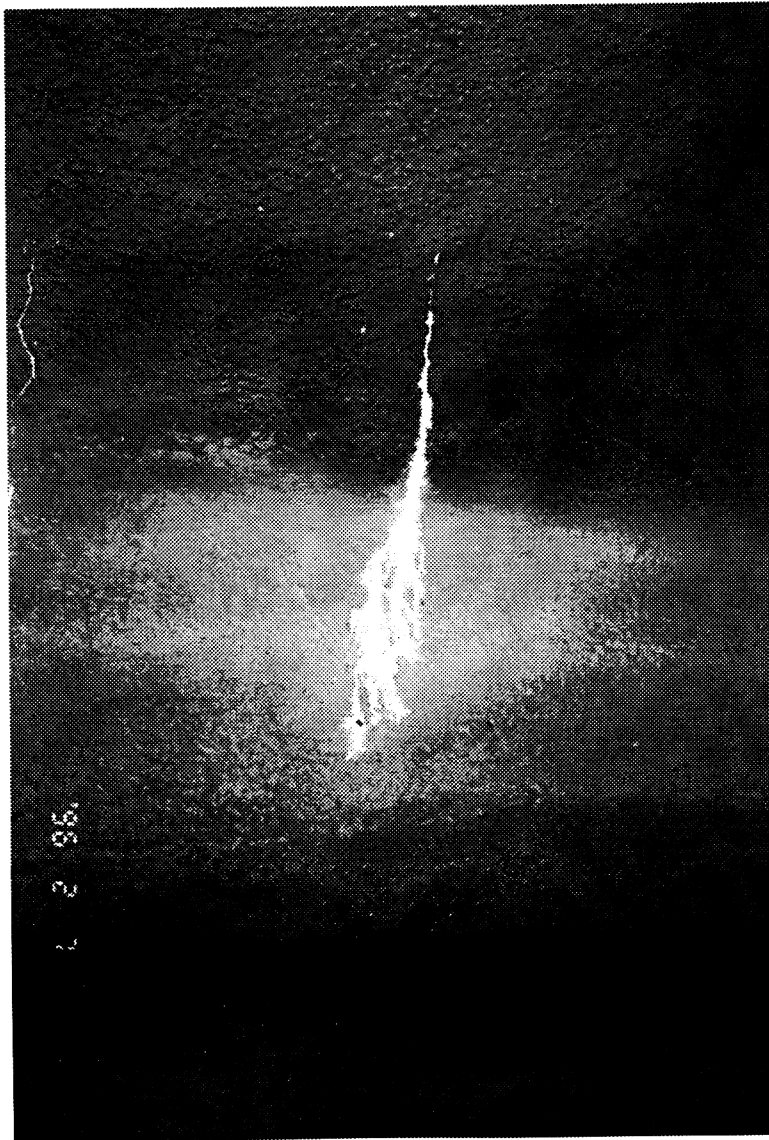
Vägtrumman med konventionell armering har öppningar i det fria på båda sidorna och därför råder utomhusklimat i röret. Därför kan konstruktionen utsättas för frostbelastning. Plåttrumma som korroderat och reparerats med ca. 80 mm sprutbetong och konventionell armering.

Övergripande undersökning

Man kan se ett större parti med krympsprickor i tunnelns sydöstra del och sprickorna ser ut att följa armeringen. Sprickorna är torra och fyllda med utfällningar (se figur 4.26). Antingen har inläckningen varit så liten att sprickorna självläkt eller så fanns det inget fritt vatten tillgängligt då temperaturen var ca -10°C vid besiktningstillfället (syntes dock ingen is heller). Inga bompartier upptäckta vid bomknackning.

Kommentar:

Konstruktionen är i gott skick och sprickorna verkar inte bli något problem. En fiberarmering istället för konventionell armering hade möjligen eliminerat krympsprickorna.



Figur 4.26 Självläkta sprickor i vägtrumma med konventionell armering under E20 vid Lerum.
"Self-healed" cracks in "tube bridge" with conventional reinforcement under E20 in Lerum.

5. LIKNANDE UNDERSÖKNINGAR

I Norge pågår ett projekt i regi av Statens Vegvesen som behandlar sprutbetongs beständighet främst vid bergförstärkning av vägtunnlar [5]. Upprinnelsen till projektet är att man börjat upptäcka skador på sprutbetong. Skadorna hänförs till att enklare och snabbare arbetsmetoder fått dominera före bergmekaniska och beständighetsmässiga parametrar. Projektet innefattar bl.a. en inventeringsdel där man precis som i detta projekt undersökt gamla konstruktioner med dels övergripande undersökningar men även med kärnbörning och vidare provning.

Målet med projektet är att bedöma nedbrytningshastigheter vid jämförelse med tidigare undersökningar och att i slutänden skapa en designguide för sprutbetong i vägtunnlar 1997-98. För närvarande pågår arbete med att sammanställa undersökningsresultaten och avrapportering kommer att ske under hösten 1996. I undersökningen [6] har man kunnat konstatera att liknande typ av fenomen uppträder för stålfibrer i sprickor. Höga kloridhalter, som borde leda till korrosion enl. allmänt accepterade kriterier för konventionell armering, har inte gjort det i förväntad omfattning på stålfibrer i sprickor. Kloriderna i härstammar i den norska undersökningen i första hand från inträngande havsvatten.

Man har inte heller sett frostsador på själva sprutbetongen utan oftare på hela skikt av sprutbetong som delaminerats genom frysning i gränsskiktet betong/berg. Dåliga vidhäftningsresultat och delaminering hänför man i denna undersökning i grova drag ca. 1/3 till frysning i gränsskiktet och 2/3 till dåligt utförande.

Andra tidigare undersökningar har gjorts av Malmberg [7], Morgan [8] och Franzén [9] och dessa finns refererade i den tidigare litteraturstudien [1]. Noterbart vad gäller fiberkorrosion är att Malmberg [7] i sin undersökning funnit liknande fenomen för initiering av stålfiberkorrosion som nämnts tidigare, samt att fiber inbäddade i karbonatiserad sprutbetong ej heller uppvisar någon korrosion.

6. DISKUSSION

Att sammanställa och utvärdera de olika objekten med avseende på beständighet är inte helt lätt. Olika typer av konstruktioner med olika utförande och miljöbelastning är svåra att jämföra. I de flesta objekten kan man säga att sprutbetongen fyller sin avsedda funktion men en del uppvisar också skador som på sikt kan äventyra denna. Några har skador som borde repareras inom en snar framtid. Generellt är sprutbetongen av god kvalitet och de uppmätta tryckhållfastheterna är för alla provade objekt höga.

Berg som underlag

Ett genomgående problem med tunnlar som har sprutbetongdräner är att dränerna spricker. Troligen kan sprickbildningen hänföras till att isoleringen är för smal, och ibland av felaktig typ, och att skadorna därför beror på sönderfrysning. Möjligen kan effekten av krympning vara en bidragande orsak. I [10] presenteras undersökningar på området.

I inget av de undersökta fallen har man kunnat se stålfiberkorrosion annat än i ytan. Inte heller i sprickor där man kunde förvänta sig ett snabbt korrosionsförlopp. Detta även vid relativt höga kloridhalter (0.6% Cl-/kg cement).

Antalet fibrer som korsar uppkomna sprickor är få, i de undersökta fallen, och det är troligt att detta är anledningen till att sprickan propagerat just där. Denna effekt borde undersökas mer och kanske behöver större krav på jämn fiberfördelning ställas.

I de undersökta fallen är betongkvaliteterna mycket höga (109 & 129 MPa). Tyvärr gjordes ingen kontroll i Umluspen som uppvisade kraftiga kalkutfällningar p.g.a. diffus genomläckning. Sannolikt är betongen av betydligt sämre kvalitet där och anledningen kan vara t.ex. för hög acceleratortillsats vid sprutning på våta partier.

De uppmätta vidhäftningshållfastheterna är något lägre (0.1-0.4 MPa) än de vanligen ställda kraven (>0.5 MPa). Bristfällig rengöring före sprutning, dålig bergkvalitet och losskrympning några möjliga orsaker till de låga värdena.

Betong som underlag

Alla betongreparationer av pelare, frontmur och kranfundament uppvisar ett mycket gott skick idag. Noterbart är att alla undersökta reparationer är ca. 6 år gamla. På några av pelarna kan man se krackelering då dessa är fuktiga, men kloridinhållet i betongen är ändå lågt. Att sprutbetongytan i en del fall är impregnerad verkar ha bidragit till det goda resultatet.

I sammanställningen ingår tre skibordsreparationer, med varierande resultat. Stadsforsen som inte uppvisar några skador idag, Nämforsen som har haft några delamineringar och

”släpp” samt Hölleforsen som uppvisar större skador och nedbrytning av reparationen. Skadorna i Hölleforsen härrör sannolikt från brister i både konstruktionsutformning och utförande. I Stadsforsen fanns det noggrant dokumenterade krav på konstruktionsutformning och utförande och den uppvisar idag heller inga skador. En skillnad mellan Stadsforsen och Nämforsen är att överytan av sprutbetongen är stålglättad i Stadsforsen men endast till en liten del i Nämforsen.

Där vidhäftningen uppmättes erhöles relativt höga värden (1.0-2.2 MPa) vilket tyder på ett noggrant förarbete.

Korrugerad plåt som underlag

De två vägtrummorna utsätts för olika miljöer där den konventionellt armerade har lägre vattenföring och utomhustemperatur inne i röret medan den fiberarmerade har en högre vattenföring och en fuktig miljö vid jämn temperatur. I båda finns dock sprickor som skulle kunna hänföras till krympning. I den konventionellt armerade går det dessutom att koppla sprickorna till armeringsbyglarnas placering. Korrosionen på stålfibrer var begränsad till ytan och ej heller här kunde man se någon omfattande korrosion på stålfibrer i sprickor.

7. SLUTSATSER

Genom att använda de relativt enkla metoder som presenterats i rapporten kan man göra en god allmän bedömning av sprutbetongkonstruktioners kondition. För att få en uppfattning om nedbrytningshastigheter och återstående livslängd krävs dock återkommande undersökningar.

Generellt kan man säga att de undersökta sprutbetongkonstruktionerna är i gott skick och fyller sin avsedda funktion, men det finns undantag och fortsatta frågetecken. T.ex. pekar undersökningen mot att sprutbetongdräner verkar vara en svag punkt vid bergförstärkning.

Vad gäller stålfiberkorrosion kan man konstatera att i första hand utstickande fibrer korroderar. Fibrer inbäddade i betong är väl skyddade mot korrosion. Mer förvånande är dock att fibrer i sprickor bara uppvisar korrosion i begränsad omfattning. Detta trots relativt höga kloridhalter. Antalet undersökta sprickor med fibrer i är inte så stort, men indikationen är tydlig. I undersökningen saknas dock våtsprutad fiberarmerad betong utsatt för klorider. Vilka processer som är verksamma och vilka kriterier som gäller för initiering av fiberkorrosion bör undersökas ytterligare. Hur korrosion av stålfibrer är kopplat till sprickvidden och vilken påverkan korrosionen har på bärförmågan efter uppsprickning är andra delar som kräver fortsatt forskning.

Vägen som sprickor propagerar styrs möjligen av antalet fibrer i sprutbetongen. Om sprickor uppstår i ett område med få fibrer har sprutbetongen därför inte den avsedda bärförmågan efter uppsprickning. Som en följd av detta bör man ytterligare studera hur en jämn fiberfördelning skall kunna uppnås.

Impregnering av sprutbetong verkar ge ett bra skydd mot kloridinträngning och det kan vara något man bör ta hänsyn till vid föreskrift om metod och materialval. Man bör dock ha i åtanke att det finns en mängd olika typer av impregneringsmaterial som sannolikt har olika effekt och beständighet.

Stålglättning av sprutbetongyta vid reparation av skibord har ingen negativ påverkan på vidhäftningen till underlaget i de undersökta objekten.

En noggrann och objektspecifik anvisning av hur reparationsarbeten skall utföras och vilka materialsammansättningar som skall användas är väsentlig för att uppnå en beständig reparation.

8. ERKÄNNANDEN

Projektet har finansierats av SveBeFo och Elforsk AB, personifierade av *Tomas Franzén* resp. *Lars Hammar*, och jag framför härigenom ett tack för deras aktiva intresse i projektet.

Ett stort tack till den referensgrupp som varit knuten till projektet. Den har varit till god hjälp och diskussionerna har alltid varit kreativa för arbetets kvalitet och framskridande. Referensgruppen har bestått av:

- Tommy Ellison BESAB
- Tomas Franzén SveBeFo
- Lars Hammar Elforsk AB
- Lars Johansson CBI
- Peter Jonsson Stabilator AB
- Bo Malmberg J&W
- Jan Malmtorp Banverket
- Maria Marton/
Mikael Björnbäck Vägverket

För att kunna genomföra denna typ av undersökningar krävs att personer ute hos beställare och entreprenörer ställer upp. Därför framför jag härmed ett tack till alla de som bidragit med uppgifter om lämpliga sprutbetongobjekt att studera och som bistått med personal vid besiktningar. Tack även till de som lämnat uppgifter men vars objekt inte kunnat omfattas av undersökningen.

Tack också till Emma Björkenstam, Per-Erik Thorsell och Sven Isaksson alla Vattenfall Utveckling AB som utfört laboratorieprovningar och även assisterat i fält.

9. REFERENSER

- [1] Nordström, Erik. "Beständighet hos sprutbetong - en litteraturstudie". Elforsk rapport nr. 95:11. 1995.
- [2] BBK 94. "Boverkets handbok om betongkonstruktioner, Band 1, Konstruktion". Boverket, 1994.
- [3] BRO 94, Allmän teknisk beskrivning för broar, Vägverket, 1994.
- [4] Grändås, Jan -Åke. "Provning av sprutbetong från reparation av skibord vid utskov C vid Stadsforsens kraftstation". Vattenfall Älvkarlebylaboratoriet, rapport nr. UL-89:46, 1989.
- [5] Davik, Kjell-Inge. "Bruken av sprøytebetong må nyanseres". Våre veger, nr. 1, 1996.
- [6] Davik, Kjell-Inge. Muntlig kommunikation, Statens Vegvesen, Norge, 1996.
- [7] Malmberg, Bo. "Beständighet hos fibersprutbetong", Föredrag vid bergmekaniskt diskussionsmöte i Stockholm 17 mars 1994, SveBeFo, Stockholm, 1994.
- [8] Morgan, D.R. & Neill, J. "Durability of shotcrete rehabilitation treatments of bridges in Canada", Paper TAC Annual conference, Winnipeg, Canada, 1991, pp c13-c51.
- [9] Franzén, Tomas. "Investigation of fifty year old shotcrete", Shotcrete for Underground Support IV, 1982, pp.37-43.
- [10] Fredriksson, A; Hamberg, U. & Johansson, J. "Dräners funktion vid olika driftsförhållanden - resultat från test av dräner i tunnel vid Hornsberg, Stockholm", Föredrag vid bergmekaniskt diskussionsmöte i Stockholm 20 mars 1996, SveBeFo, Stockholm, 1996.

BILAGA 1

Miljöklassning enligt BBK 94 [2]

Korrosionsbeständighet:

- A1. *Obetydligt armeringsaggressiv miljö*: Konstruktionsdelar i en torr miljö med hög relativ luftfuktighet endast under en kort tid per år eller en miljö utan tillgång till syre.

Exempel på konstruktionsdelar i miljöklass A1:

- inomhuskonstruktioner i uppvärmda lokaler.
- grundkonstruktioner under lägsta lågvattenyta i sötvatten.

- A2. *Måttligt armeringsaggressiv miljö*: Konstruktionsdelar i en fuktig eller mycket fuktig miljö med försumbar kloridhalt men med tillgång till syre.

Exempel på konstruktionsdelar i miljöklass A2:

- konstruktionsdelar i sötvatten.
- oskyddade konstruktioner utomhus som inte påverkas av klorider, t.ex. oisolerade tak, balkonger, pelare och väggar.
- inomhuskonstruktioner vid hög relativ luftfuktighet under längre perioder.

- A3. *Mycket armeringsaggressiv miljö*: Konstruktionsdelar med måttlig eller hög fuktbelastning och vid måttlig förekomst av klorider samt konstruktionsdelar med konstant hög fuktbelastning och kloridförekomst.

Exempel på konstruktionsdelar i miljöklass A3:

- delar av damm-, kaj- och brokonstruktioner belägna högre än 5 m över högvattenytan i havsvatten.
- loftgångar och socklar.
- marina konstruktionsdelar belägna ständigt under vatten.

- A4. *Extremt armeringsaggressiv miljö*: Konstruktionsdelar med hög fuktbelastning och där kloridanrikning kan ske genom växelvis nedfuktning och uttorkning.

Exempel på konstruktionsdelar i miljöklass A4:

- marina konstruktionsdelar i skvalp- eller stänkbzonen.
- konstruktionsdelar utsatta för tölsalter intill väg, t.ex. brokantbalkar och bropelare samt parkeringsdäck.

Frostbeständighet

- B1. *Obetydligt betongaggressiv miljö*: Konstruktionsdelar i en torr miljö eller i en fuktig miljö utan risk för frysning och upptining.

Exempel på konstruktionsdelar i miljöklass B1:

- inomhuskonstruktioner i uppvärmda lokaler.
- grundkonstruktioner på frostfritt djup.

- B2. *Något betongaggressiv miljö*: Konstruktionsdelar utsatta för frysning och upptining med måttlig fuktbelastning och utan förekomst av klorider.

Exempel på konstruktionsdelar i miljöklass B2:

- ytor utomhus med större lutning än 30°, t.ex. vertikala husfasader.

- B3. *Måttligt betongaggressiv miljö*: Konstruktionsdelar i en fuktig eller mycket fuktig miljö med ingen eller försumbar kloridhalt men med risk för upprepad frysning och tining, konstruktionsdelar med tillgång till klorider men med låg fuktbelastning samt konstruktionsdelar utsatta för ensidigt vattentryck.

Exempel på konstruktionsdelar i miljöklass B3:

- ytor utomhus med mindre lutning än 30°.
- damm-, kaj- och brokonstruktioner i sötvatten.
- delar av kaj- och brokonstruktioner belägna högre än 5 m över högvattenytan i havsvatten eller undre skvalp- eller stänkzonen.

- B4. *Mycket betongaggressiv miljö*: Konstruktionsdelar i en fuktig eller mycket fuktig miljö med måttlig eller hög kloridhalt och med risk för upprepad frysning och tining.

Exempel på konstruktionsdelar i miljöklass B4:

- marina konstruktionsdelar i skvalp- eller stänkzonen.
- konstruktionsdelar utsatta för tössalter, t.ex. broöverytor, oskyddade loftgångar och parkeringsdäck, samt andra utsatta delar invid gator och vägar, t.ex. pelare och socklar.

BILAGA 2

Beskrivning av RCT-metoden för bestämning av kloridhalt i betong.

Metoden kan användas på färsk eller hårdnat betong för bestämning av halten syralösliga klorider i % av vikten betong. För att bestämma kloridhalten per vikt cement krävs att man bestämmer eller tar reda på aktuellt vattencementtal i betongen.

En bestämd mängd utborrat kax från befintliga betongkonstruktioner löses upp i en vätska som frigör de bundna kloriderna. Mängden borrhax bestäms genom volumetrisk bestämning och mängden vätska är förutbestämd. Bestämning av kloridhalten per betongvikt görs sedan genom mätning av potentialskillnad mellan referenselektroden och provvätskan.

Före och efter mätning kalibreras mätutrustningen mot vätskor med kända kloridhalter.

