

SPRUTBETONG OCH DESS EGENSKAPER

*-erfarenheter från sprutbetonganvändning vid
anläggningsbyggande*



Iad Saleh

2016-03-04

FÖRORD

Detta projekt har samfinansierats av Sverige Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF) och stiftelsen Bergteknisk Forskning (BeFo, projektnummer 154). Projektet har utförts som en litteraturstudie med strävan att ge en bild av dagens kunskapsläge vad gäller sprutbetong i anläggningsbyggande.

Referensgruppen har bestått av:

Anders Ansell, KTH

Hans Hedlund, Skanska/SBUF

Per Tengborg, BeFo

Tommy Ellison, Besab

Jan Lundin, Trafikverket

Jag vill rikta ett stort tack till samtliga för deras tid och engagemang. Jag vill också passa på att tacka Prof Em Jonas Holmgren, KTH och Jan-Åke Åkesson, Bergab för givande och intressant information.

Solna i mars 2016

Iad Saleh

SAMMANFATTNING

Sprutbetong är idag en de viktigaste förstärkningsmetoderna vid bergbyggande och/eller reparation av underjordsanläggningar. Den idag vanligaste sprutmetoden, våtsprutning, tog inte fart förrän under 70-talet och det var också då man först började experimentera med stålfiber som en armeringsmetod. Förstärkning med sprutbetong var först vanligast för servicetunnlar och oljelager och med undantag för tunnelbanan var det först under 1990-talet som det tog fart ordentligt med användningen för metoden i stora infrastrukturprojekt och bland de första projekten där det kom in på allvar kan nämnas Grödingebanan och Arlandabanan.

Under Södra länken upptäcktes en hel del sprickor i dränerna bl a till följd av användningen av de alkalifria acceleratorerna som då ersatte natriumsilikat (även kallat vattenglas). Det gjorde att man därefter ställde högre krav på efterhärdning än tidigare. Ett annat exempel på skador som uppkommit är Muskötunneln där sulfatangrepp bildades i bultbruket och i sprutbetongen vilket medförde nedbrytning och mindre vidhäftning. Det båda skadefallen visar på att behovet av forskning och utveckling på området ännu är stort t.ex. med avseende på sprutbetongens egenskaper i tunnelmiljö.

Projektet har utförts som en litteraturstudie och syfte var att kartlägga, sammanställa och beskriva dagens kunskapsläge genom bestämmelser, riktlinjer och rekommendationer som är tillämpliga vid anläggningsbyggande med sprutbetong i Sverige. Tidigare studier kring sprutbetong och den miljö den befinner sig i har också studerats.

Målet med projektet har ursprungligen varit att kartlägga kunskapen kring olika parameters inverkan på resultatet av betongsprutning under olika förhållanden, vilket skulle bygga på insamlad data från olika projekt. Resultaten skulle sedan i nästa steg användas för att identifiera kunskapsluckor där framtida insatser med undersökning och forskning kan fokuseras.

Provningsdata har inte erhållits i den grad som önskats av varken beställare eller entreprenörer vilket gjort att analyserna har blivit begränsade. Ett bättre system för insamlande av- och hantering av data/mätvärden krävs därför. Detta för att mer systematiskt kunna hitta mer exakta dimensioneringsvärden men också mer kunskap om hur byggande av tunnlar med sprutbetong kan göras mer hållbart. De som erhållits har visat på stor spridning. Vad det beror på är oklart men mängden data är för lite för att slutsatser ska kunna dras i detta arbete. Därför rekommenderas fortsatt arbete där mer material inhämtas från fler anläggningar för säkrare analyser.

Nyckelord: Sprutbetong, erfarenheter

SUMMARY

Shotcrete is today a key strengthening method in rock construction and / or repair of underground facilities. Today the most common method of spraying, wet spraying, did not take off until the 70s and it was also then experimenting with steel fiber as a reinforcement method started. Reinforcement with shotcrete was first commonly used for service tunnels and oil stocks and with the exception of the Stockholm Metro it was only in the 1990s that it took off properly with the use of the method in large infrastructure projects and among the first projects where it came seriously include Grödingebanan and Arlandabanan.

In the Södra länken project a lot of cracks were discovered in the drains partly as a result of the use of alkali-free accelerators, replacing sodium silicate. As a result, it gave higher requirements on the following curing than before. Another example of damages is the Muskö tunnel where the sulfate attack was formed in the bolt mortar and in the shotcrete which resulted in degradation and less adhesion. The two cases shows that the need for research and development in this area is still large, for example with respect to sprayed concrete properties in the tunnel environment.

The project has been carried out as a literature study and the purpose was to identify, compile and describe the current state of knowledge by the rules, guidelines and recommendations applicable to civil construction with shotcrete in Sweden. Previous studies of the sprayed concrete and it's environment has also been studied.

The project was originally to map knowledge of different parameters impact on the performance of concrete spraying under different conditions, which would be based on data collected from various projects. The results would then in the next step to be used to identify knowledge gaps where future efforts to study and research can be focused.

Test data have not been obtained by the extent requested by either clients or contractors, which meant that the analyzes have been limited. A better system for collecting and managing data / measurements is therefore required. This is also to systematically be able to find more accurate design values but also to get more knowledge about how the construction of tunnels with shotcrete can be made more sustainable. The obtained data have shown spread widely. The reason for this is unclear but the amount of data is insufficient for conclusions to be drawn. Therefore, further work is recommended where more material is collected from more facilities and structures for safer analyzes.

Keywords: Shotcrete, experiences

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	Inledning	9
1.1.	Bakgrund	9
1.2.	Syfte och mål	9
2.	Undersökning	11
3.	Resultat	13
3.1.	Inledning	13
3.2.	Tidigare studier	13
3.3.	Krav och föreskrifter	15
3.3.1.	Södra Länken	16
3.3.2.	Norra länken	19
3.3.3.	Dagens kunskapsläge, krav och anvisningar för infrastrukturprojekt.	22
3.3.4.	Kirunagruvan	24
3.3.5.	Internationell utblick, Österrike	26
4.	Diskussion	31
5.	Slutsatser	33
6.	Referenser	35

1. INLEDNING

1.1. Bakgrund

Sprutbetong är idag en de viktigaste förstärkningsmetoderna vid bergbyggande och/eller reparation av underjordsanläggningar. Den idag vanligaste sprutmetoden, våtsprutning, tog inte fart förrän under 70-talet [13] och det var också då man först började experimentera med stålfiber som en armeringsmetod. Förstärkning med sprutbetong var först vanligast för servicetunnlar och oljelager och med undantag för tunnelbanan var det först under 1990-talet som det tog fart ordentligt med användningen för metoden i stora infrastrukturprojekt och bland de första projekten där det kom in på allvar kan nämnas Grödingebanan och Arlandabanan.

Under Södra länken upptäcktes en hel del sprickor i dränerna bl. a. till följd av användningen av de alkalifria acceleratorerna, som då ersatte natriumsilikat (även kallat vattenglas). Det gjorde att man därefter ställde högre krav på efterhärdning än tidigare. Ett annat exempel på skador som uppkommit är Muskötunneln som från början byggdes och förvaltades i försvarets regi men som sedan gick över till Vägverket/Trafikverket. Där upptäcktes det att man plötsligt fick bom mellan sprutbetongen och underliggande berg, vilket gjorde att material började falla ner, ibland som sand [7]. Vid närmare undersökning kunde det konstateras att det var ett urlakningsfenomen p.g.a. mjukt berggrundvatten och ibland höga sulfathalter. Sulfatangrepp bildades i bultbruket och i sprutbetongen vilket medförde nedbrytning och mindre vidhäftning [40]. Idag används Anläggningscement som är mer motståndskraftigt mot sulfatangrepp.

Det båda skadefallen (i Södra länken och Muskötunneln) visar på att behovet av forskning och utveckling på området ännu är stort t.ex. med avseende på sprutbetongens egenskaper i tunnelmiljö. Bättre kunskaper om t.ex. material, vidhäftning, krympning medför bättre och säkrare dimensioneringar och därmed också i förlängningen hållbarare tunnelbyggnation.

Detta projekt syftar till att närmare belysa krav och erfarenheter för några projekt under de senaste 10-20 åren.

1.2. Syfte och mål

Projektets syfte är att kartlägga, sammanställa och beskriva dagens kunskapsläge. Befintliga bestämmelser, riktlinjer och rekommendationer, som är tillämpliga vid anläggningsbyggande med sprutbetong i Sverige, sammanfattas. Dessa finns i provningsstandards, normer och bestämmelser. De

idag giltiga i Sverige men även de som tillämpas internationellt är av intresse. Detta kompletteras med en sammanställning av data, information och erfarenheter från äldre och pågående anläggningsprojekt där sprutbetong använts, bland annat gällande:

- Använda betongrecept i projektet.
- Vilka formella krav och vad krävdes egentligen.
- Faktiska resultat gällande tryckhållfasthet, frost, böjdrag, vidhäftning mot vägg.
- Sprutmetoder, d.v.s. om det var våtmetod eller torrmetod som användes.
- Typ och mängd av fiber som använts vid de olika fallen/projekten.
- Om sprickor och skador, vilka skador uppkommit och varför?
- Vilka krav på efterhärdning har funnits
- Vad har gjorts bra och vad har gjorts mindre bra?
- Provningsmetoder och deras relevans för projektet

Målet med projektet har ursprungligen varit att kartlägga kunskapen kring olika parameters inverkan på resultatet av betongsprutning under olika förhållanden, vilket bygger på insamlad data från de olika projekten. Det hade varit till stor praktisk nytta för branschen genom att ge en vägledning om hur sprutbetongkonstruktioner ska planeras och uppföras på ett hållbart sätt och med god kvalitet. Resultaten skulle sedan kunna i nästa steg användas för att identifiera kunskapsluckor där framtida insatser med undersökning och forskning kan fokuseras. Detta har inte kunnat utföras p.g.a. brist på data/material,

2. UNDERSÖKNING

I projekt har tanken varit att samla information från beställare, entreprenörer, forskningsinstitut och personer, som kan tillföra erfarenhet och kunnande. Undersökningen har skett i formen av en litteraturstudie där följande material efterfrågats:

- Beställarkrav: Trafikverket har kontaktats för uppgifter om krav, tekniska beskrivningar och data för stora tunnelprojekt från olika tidsperioder. Önskemålet hade varit att få data från ett tiotal stora infrastrukturprojekt i olika tidsperioder och bland de som nämnts är Grödingebanan, Arlandabanan, Ulricehamnstunneln, Botniabanan, Södra- och Norra länken.
- Material från entreprenörer: Förutom författarens eget företag har ett antal entreprenörer kontaktats data och uppgifter om använd sprutbetong. Av sekretesskäl presenteras ej vilket/vilka företags data, som ligger till grund för nedanstående resultat.
- Intervjuer med föreskrivare, personer från högskola och forskningsinstitut och personer från företag med god insyn i ämnet och som kan besitta värdefulla kunskaper
- Material från utlandet (Österrike, via kontaktpersoner) i syfte att få en bild om en annan "sprutbetongkultur".

För ändamålet har en enkät tagits fram där olika uppgifter mer konkret efterfrågas:

- Information om själva projektet (projektnamn, typ av tunnel, byggår osv)
- Typ av förstärkning
- Krav enligt tekniska beskrivningar, handlingar, regelverk m.m. vad gäller hållfasthet, vattentätthet, böjdragegenskaper (spänning vid första spricka, residualhållfasthet o.s.v.), frostbeständighet, brandspjälkning.
- Information om recept och ingående delmaterial (cementtyp, vct)
- Uppkomna skador och eventuella åtgärder
- Andra erfarenheter.

Utöver detta har även tidigare studier och utredningar studerats.

3. RESULTAT

3.1. Inledning

Ambitionerna har varit högt ställda med målet att få en gedigen erfarenhetsbeskrivning. Dock har det visat sig svårt att få den önskade informationen vilket gjort att ambitionsnivån fått sänkas. Anledningen till detta är att det har varit stora svårigheter med att få tag på material, både vad gäller krav, tekniska beskrivningar o.s.v. till provdata för den sprutbetongen. Författaren har varit i kontakt med ett antal datasamordnare på Trafikverket och de äldsta dokumenten som kunde hittas på digital väg var från tunnelprojektet Södra Länken i Stockholm. Troligen finns ett analogt arkiv men det är oklart vad och hur mycket som sparats över tid. Det har gjort att jämförelser av krav i denna rapport begränsas bakåt i tiden till slutet av 1990-talet/början på 2000-talet.

När det gäller provningsdata har Trafikverket inte kunnat leverera något så när som på något enstaka projekt, Löttingetunneln. I övrigt är man hänvisad till de entreprenörer som arbetat med projekten. Förhoppningen hade också varit att entreprenörerna hade kunnat dela med sig av erfarenheter (fel, brister, goda erfarenheter), men det fick tyvärr stanna vid en förhoppning, kanske en naiv sådan. Enda provningsdata som kunde hittas var från en enda entreprenör varför underlaget blir mycket begränsat.

För omfattande data/statistik är man istället hänvisad till provningsinstitut men den informationen är låst p.g.a. sekretess.

Författaren har däremot kunna få generös information från LKAB, KTH och Bergab gällande kunskap och erfarenheter med lite perspektiv.

Försök har också gjorts att jämföra svenska krav och resultat med något europeiskt land och i detta fall har kontakt erhållits med Österrike.

Förutom bestämmelser, normer och krav har ett antal utredningar och studier utförts vilka tillfört stor kunskap kring sprutbetongens egenskaper och den miljö den ämnar vara i. Dessa studiers relevans kan inte nog betonas för den djupare förståelsen och några av dessa nämns nedan.

3.2. Tidigare studier

Ett antal studier har utförts kring sprutbetong och tunnelbyggande. En del av dem har fokuserat på sprutbetongegenskaperna medan andra har tittat på miljön. Bland dem som kan nämnas är:

- Sprutbetongs krympning – fiberinblandning för bättre sprickfördelning [3]
- Sprutbetongs krympningsmodifiering av betongsammansättning [16].
- Vibrationstålig sprutbetong [4]
- Undersökning och utveckling av materialegenskaper hos sprutbetong för bergtunnlar [5]
- Undermarksbyggandets växelverkan med grundvattenkemi [20]
- Grundvattenkemisk interaktion med undermarksanläggningar [19]

I studien om fiberinblandning för bättre sprickfördelning [3] var syftet att hitta metoder för att minska eller t. o. m. eliminera effekten av krympning. Försök gjordes på laboratorium med stålfiber- och glasfiberinblandning i betongringar runt styva stålringar (förhindrad krympning) och korttidsbelastade böjbalkar. Resultatet från undersökningen visade på att uppsprickningen försenas av stålfiber som också begränsar sprickvidderna. Glasfiber bidrog till en förstärkt effekt och sprickorna uteblev helt i försöken. Böjbalksprovningarna visade dock på effekten av för hög betonghållfasthet som gör att stålfibrerna inte får den töjningshårdnande beteende som eftersöks.

I den andra rapporten [16] har man även här tittat på sprutbetongens krympning, bl. a. med utgångspunkten i upptäckta sprickor över dräner, och hur man kan modifiera betongens proportionering och reologi för att minska sprickbildningen. Bl. a. nämns mer filler och luft istället för cement och dessutom en tillsats av krympreducerare, men man eftersökte fullskaleförsök för verifiering.

Ett tredje arbete, som var en avhandling på KTH, syftade till skapa en bättre förståelse för sprutbetongens funktion i samverkan med hårt berg [5]. Arbetet har huvudsakligen, förutom att försöka skapa förståelse för de mekaniska egenskaperna och deras utveckling, även fokuserat på vidhäftning och förhindrad krympning, där nya provningsmetoder utvecklats. Framför allt för vidhäftning har den nyutvecklade metoden möjliggjort test i tidig ålder.

Gällande yttre påverkan har i några projekt studerats yttre kraftpåverkan men även beständighet, för vilken vi idag är hänvisade till gängse betongnormer (t. ex. via exponeringsklasser) [26, 31]. Ett sådant projekt är ett studium av vibrationspåverkan på sprutbetong [4] -- ett forskningsprojekt som syftade till att få kunskap om och förstå hur vibrationer av t. ex. sprängning påverkar den unga sprutbetongen. Målet var att skapa praktiska riktlinjer för produktion vid tunneldrivning. Resultatet blev ett antal rekommendationer baserade på avstånd mellan en 28 dygns gammal sprutbetong och en detonerande laddning. Dock var det en del olika förbehåll: bl. a. behovet av verifiering mot försöksdata.

Forskningen på KTH har sedan fortsatt bl. a. med en avhandling som syftade till att hitta en korrelation mellan numeriska resultat, mätdata och observationer på plats i tunnel för praktisk tillämpning vid tunnelbyggande[1].

En annan angelägen fråga vad gäller yttre påverkan är beständighetsfrågor och här har man i sistnämnda studerat vattenkemins påverkan på tunnelanläggningar. I projektet, som handlar om undermarksbyggandets påverkan och åverkan på grundvattenkemin [20], har grundvattnets kemiska sammansättning beaktats och arbetet visade på ett antal parametrar som kan påverka en underjordsanläggnings beständighet med avseende på grundvattenkemi. T. ex. kan nämnas:

- Ett ytterligare tillflöde av grundvatten i berggrunden ger en mer oxiderande miljö
- Mer oxidation av tillgängligt svavel i berget ger en höjning av sulfatkoncentrationer vilket kan ge upphov till ökat sulfatangrepp på sprutbetong och andra cementbaserade material.
- Ökade koncentrationer av klorider och organiskt kol. Det förstnämnda bryter ned stålmaterial.
- Om grundvatten dessutom innehåller bikarbonat kan bildning av kalcit ske vilket kan påverka vidhäftningen mellan t. ex. sprutbetong och berget.

I ett annat arbete som utfördes 2013 och som var en sammanställning av två fältstudier har man observerat grundvattenkemins påverkan i ett antal tunnelprojekt och vissa fall funnit att vattnet fått nya kemiska egenskaper, vilka kan ge upphov till nedbrytning av konstruktionsmaterial av stål och betong. Målet var att skapa än större förståelse för underjordanläggningars påverkan på vatten och vattenkemi [19].

I ett pågående SBUF-projekt (nr 12810) är målet att utveckla standarder för att uppfylla funktionskrav på underjordiska anläggningar vad avser den kemiska miljön i form av sammansättningen på grundvattnet och atmosfären i vilken underjordsanläggningar befinner sig [22]. Arbetet sker inom ramen för TRUST (= Transparent Underground STructure), som är ett FoU-projekt inom undermarksbyggande med flera aktörer inblandade. Bland dessa finns CBI som studerar sprutbetong med olika sammansättningar där egenskaper i färskt och hårdnat tillstånd jämförs [42].

3.3. Krav och föreskrifter

Dagens anvisningar, krav/föreskrifter och rekommendationer bygger i mångt och mycket på krav enligt tidigare erfarenheter, föreskrifter och dagens EN-

standarder. Nedan följer en kort sammanfattning av historiken men också av dagens läge.

På 70-talet: Kommer det första kravet på vidhäftning mellan sprutbetong och bergytan om 0,5 MPa. Tidigare studier/projekt hade visat på en vidhäftning på $\geq 1,0$ MPa på de flesta bergarter förutsatt att föreberedande arbete med bl. a. rengöring gjorts korrekt. Under detta årtionde blev våtsprutningsmetoden en mer vanlig metod.

På 80-talet kom kravet på last-deformationskurva för balk med brottanvisning, den s. k. JH-metoden. Den innebar att balkens kurva skall passera mellan en max- och min-nivå, och nivåerna valdes så att sprutbetonger med för låg böjdraghållfasthet och residualhållfasthet uteslöts.

90-talet: Residualhållfasthetsparametrar introducerades och en första handbok för utformning av sprutbetongförstärkning publicerades. "Bergförstärkning med sprutbetong" av Holmgren [2]. Den tar framför allt upp dimensioneringsaspekter för sprutbetong och vikten av vidhäftning i syfte att erhålla en godkänd förstärkning [14].

Under denna period byggdes bl. a. Grödingebanan och Arlandabanan men inga styrande dokument eller data kunde hittas. Andra stora tunnelprojekt var bl. a. Södra Länken, som påbörjades i slutet av 90-talet.

3.3.1. Södra Länken

Krav och anvisningar

För projektet Södra länken i Stockholm åberopades krav för den permanenta bergförstärkningen i Tunnel 95 (publ 1995:32), entreprenadspecifika krav, Ringengemensamma krav samt RiBB utgåva 3 [10]. Vid projektering användes dessutom:

- Anvisningar för dimensionering via dokumenten "Bergförstärkning????"
- Bergtekniska anvisningar för projektering av Ringen och yttre tvärleden"
- "Bergteknik, dimensioneringsgrunder för användning vid bergförstärkning med sprutbetong"

Bland de Ringenspecifika dokumenten kunde endast de tre sistnämnda hittas. I RiBB (utgåva 3, 1994) kunde inga specifika sprutbetongkrav hittas, däremot i de två anvisningarna kunde följande läsas:

- Man ansåg att vidhäftningen mot berget är tillfredsställande mellan 0,3-0,5 MPa och då är oarmerad sprutbetong tillräcklig.
- Gällande miljöbelastning (idag motsvarande exponeringsklasser) skulle sprutbetongen dimensioneras enligt BBK-79 för konstruktioner i huvudtunnlar och ramptunnlar, se tabell 1.

Tabell 1 Tabell över miljöklasser [9]

För sprutbetong i	Betong- aggressivitet	Armerings- aggressivitet
Vägg utan skydd mot saltstänk från vägbanan	Mycket	Mycket
Vägg med skydd mot saltstänk från vägbanan	Måttligt	Måttligt
Tak ¹⁾	Obetydligt	Måttligt

1) Det förutsätts att sprutbetong i tunneltak är skyddad mot föroreningar från vägbanan samt frostisolerad genom isolerande inklädnad.

Enligt BBK-79 var kravet på betongen i mycket betongaggressiv miljö K40 och max vct 0,50 med luftinblandning med ett lägsta enskilda värde om 6 %. För måttlig aggressiv miljö är motsvarande krav K30 respektive 0,60 och luft [9], men enligt dimensioneringsanvisningarna räckte det med att provningen utfördes med sötvatten/kranvatten. Kravet för godkänt var "god frostbeständighet" vid förundersökning och "acceptabel frostbeständighet" vid fortlöpande provning. Däremot anger dimensioneringsanvisningarna inga krav på anläggningscement (endast portlandcement) förutom i de fall där risk för alkalireaktivt material och sulfatangrepp föreligger [24].

Vad gäller fukt-/efterhärdning sattes krav om att den skulle fortgå fram till dess att hållfastheten uppnått 45 % av fordrat hållfasthetsvärde, vilket skulle bedömas via t. ex. mognadsgradsberäkningar. För miljöklassen obetydligt betong- och armeringsaggressiv tilläts membranhärdare.

För krav på böjdraghållfasthet då berget utgör bärande system och då vidhäftningen var god var man tillåten att bestämma betongens böjdraghållfasthet genom provning av betongens tryckhållfasthet och genom en omräkning. Tabell 2 är tagen från samma dimensioneringsanvisningar.

Tabell 2 Tabell i dimensioneringsanvisningar för krav på böjdraghållfasthet och omräkning från kubhållfasthet [17]

Kubhållfasthet:	K30	K35	K40	K45	K50	K55	K60
Böjdraghållfasthet m:	4.7	5.0	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1
k:	3.4	3.7	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8

där är

m = medelvärde

k = karakteristiskt värde

För medelvärdet var kravet att värdet av minst tre balkar skulle uppfylla medelvärdeskrauet ovan och vid fortlöpande skulle minst tre balkar uppfylla det karakteristiska värdet. Inget enskilt resultat fick avvika från medelvärdet med mer än ± 20 %.

Provresultat och undersökningar

Vid undersökningar i arkiv kunde provresultat hittas för sprutbetongen och det avser i första hand tryckhållfasthet, böjdragegenskaper och frostbeständighet. En rapport från Ansell, KTH, har också erhållits som handlar om besiktning av de sprickor som uppstått [8].

Vad gäller provresultat kunde följande hittas för en av etapperna:

- Tryckhållfasthet
- Frostbeständighetsgenskaper
- Böjdragegenskaper
- Vidhäftningsprover.

Tryckhållfasthet och en del av böjdragegenskaperna (residualhållfasthet) presenteras tillsammans med nedanstående projekt i figurer 2a-2d (Norra länken och en tunnel i Västsverige). Gällande övriga böjdragegenskaper kunde inga andra krav hittas, t. ex. spänning vid första spricka eller spänning vid en viss nedböjning. Däremot hittades en del resultat för vidhäftning och frostegenskaper. När det gäller vidhäftningen är det relativt få värden med stor variation, 23 st, vilket också avspeglas i en hög standardavvikelse, 31 %, och av de erhållna värdena var 39 % underkända, enligt kravet >80 % av brottet ska vara i vidhäftningszonen för att räknas som vidhäftningshållfasthet.

Undersökningar av KTH under året 2003 har påvisat en mängd sprickor i Södra Länken och de sprickorna hänfördes framför allt till de breda (20 m) [43, 6] dränmattorna i kombination med god vidhäftning på sidorna, som gjort att man fått en fasthållning. Men även en del av de små dränerna har spruckit och en

kompletterande förklaring är att vid tidpunkten för Södra Länken började de alkaliefria acceleratorerna användas istället för vattenglas och man har sett i efterhand att den efterhärdning som användes inte var tillräcklig.

3.3.2. Norra länken

Krav och anvisningar

Beständighetskravet var exponeringsklasser (enligt SS EN206-1) enligt definitionen för vägmiljö där det avses 300 m från tunnelinfart och 100 m från tunnelutfart samt 1 meter över vägbanans nivå [12]. I praktiken innebar det tillsammans med bedömd frostexponering exponeringsklasser XD3/XF4 och XD1/XF4 om väggen är täckt/skyddad. Detta ger en sprutbetong med ett $v_{ct,ekv}$ om 0,40 efter tillsättning av accelerator vilket ger en hållfasthet motsvarande C35/45. För XD1/XF4 blir motsvarande $v_{ct,ekv}$ 0,45 efter acceleratortillsättning och en karakteristisk hållfasthetsklass om C32/40. Vidare ställdes krav på Anläggningscement (krav på BV/LA/SR) och krav på frostbeständighet enligt SS137244.

Krav på vidhäftning var satt till $\geq 0,5$ MPa mellan sprutbetong och berg och mellan betongskikt $\geq 1,0$ MPa. Vad gäller krav på böjdraghållfastheten var det samma som för krav vid första sprickspänningen, d.v.s. $f_s \geq 5,3$ MPa vid förundersökning och $f_s \geq 4,0$ MPa vid fortlöpande provning. Residualhållfasthetskravet var satt till 3 MPa vid 2 mm nedböjning vid både förundersökning och vid fortlöpande provning. Lägsta krav på fiberinnehåll sattes till 50 kg/m³.

Liksom för Södra länken ställs krav på efterhärdning till dess att hållfastheten uppnått

45 % av sluthållfastheten men dessutom ställs krav på att fuktnivån inte fick understiga 90 % RF under härdningstiden. Membranhärdare var tillåten under förutsättning att vidhäftningskravet uppnåddes (se ovan).

För Norra länken ställdes formella krav enligt SS- och EN-normer för tryckhållfasthet, frost (metod IIIA), densitet och vidhäftningshållfasthet [6]. För böjdrag gäller ASTM C1018 [21], PM 90-10-31 [21] och för böjseghet gäller SS-EN 14487-1:2005 [25] och SS-EN 14488-3:2006 [28].

Provresultat och undersökningar

Vid undersökningar i arkiv kunde provresultat hittas för sprutbetongen och det avser i första hand tryckhållfasthet, böjdragegenskaper och frostbeständighet. Några andra erfarenheter/provningsdata har inte kunnat fås.

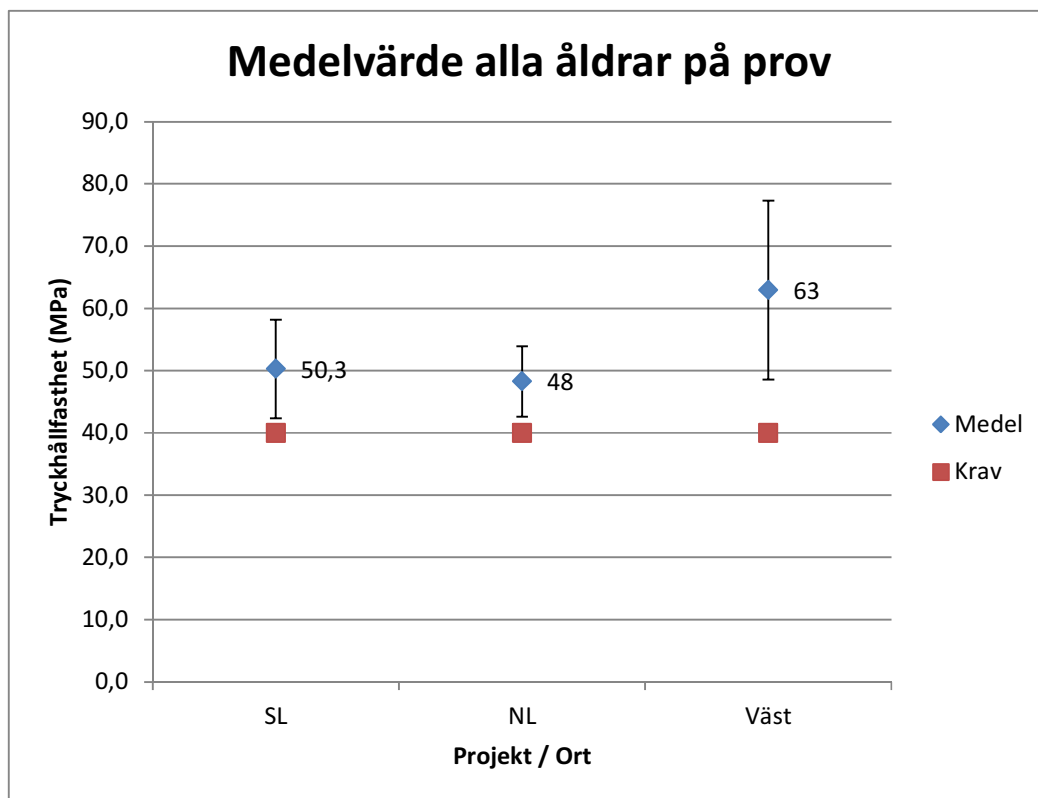
I figurer 1a-1d nedan presenteras medelvärden och standardavvikelse för tryckhållfasthet och residualhållfasthet för en etapp på Södra- respektive Norra länken samt en tunnel i Västsverige, som är byggd i början av 2000-talet. I de fall ingen punkt är representerad på grafen finns inget värde.

I tabell 3 nedan kan ses antal värden som ligger till grund för graferna nedan.

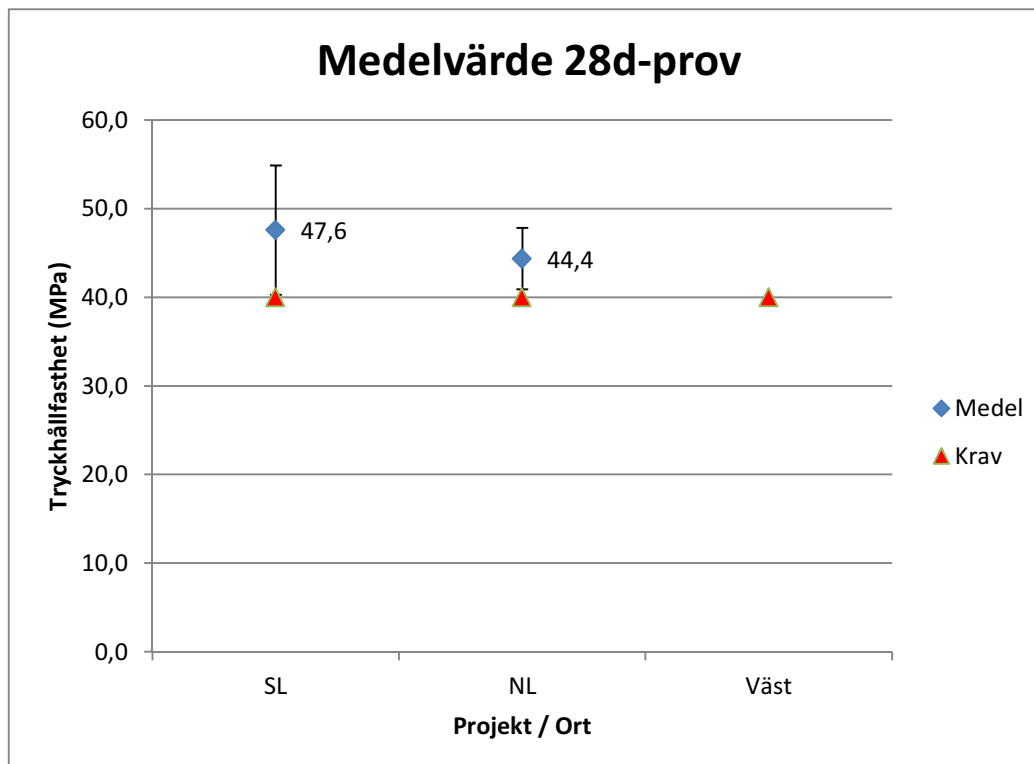
Tabell 3 Antalet mätvärden till grund för undersökningen.

Ålder	Södra länken		Norra länken		Tunnel i väst	
	Alla	28d	Alla	28d	Alla	28d
Tryckhållfasthet	92	28	60	36	12	0
Residualhållfasthet	56	14	15	9	30	0

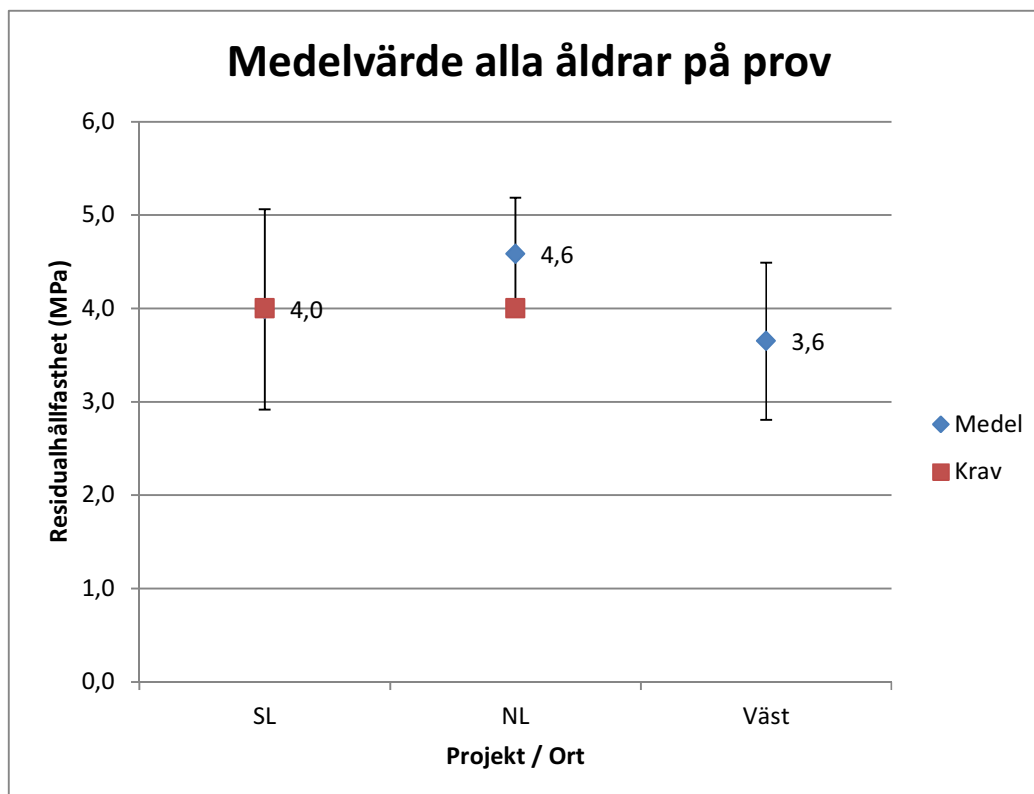
Utöver dessa värden har även värden spänning vid viss nedböjning erhållits men i två av fallen går det inte att jämföra med krav då dessa inte har kunnat hittas.



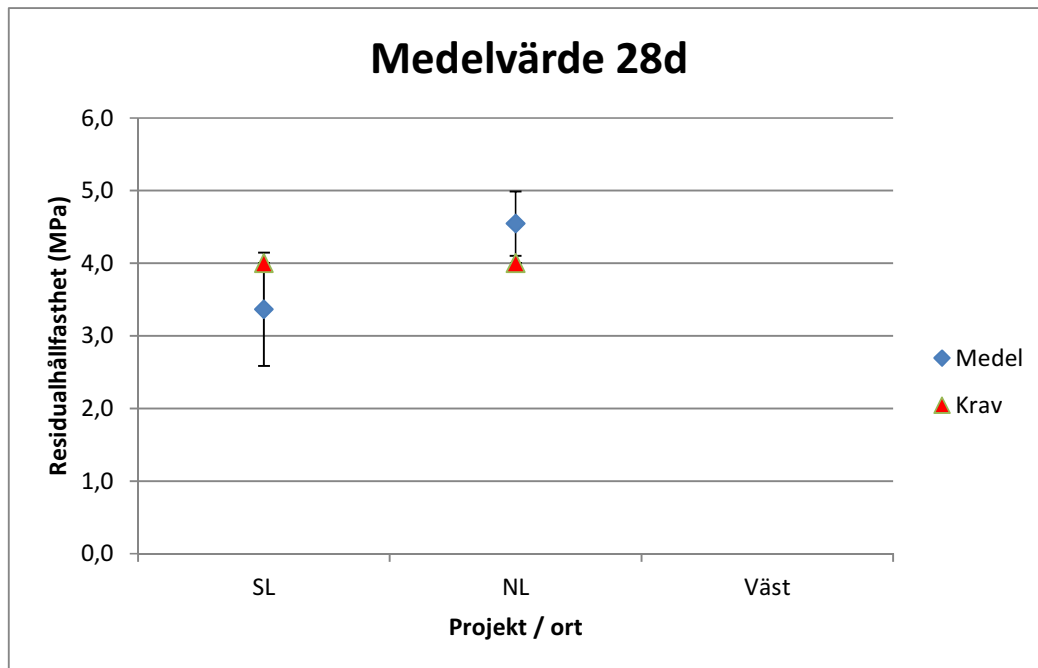
Figur 1a Tryckhållfasthet - medelvärde, standardavvikelse och krav för olika infraskstrukturprojekt för alla åldrar på proven



Figur 1b Tryckhållfasthet - medelvärde, standardavvikelse och krav för olika infraskstrukturprojekt för alla 28-dygnsprover



Figur 1c Residualhållfasthet - medelvärde, standardavvikelse och krav för olika infraskstrukturprojekt för alla åldrar på proven



Figur 1d Residualhållfasthet - medelvärde, standardavvikelse och krav för olika infrastrukturprojekt för alla åldrar på proven

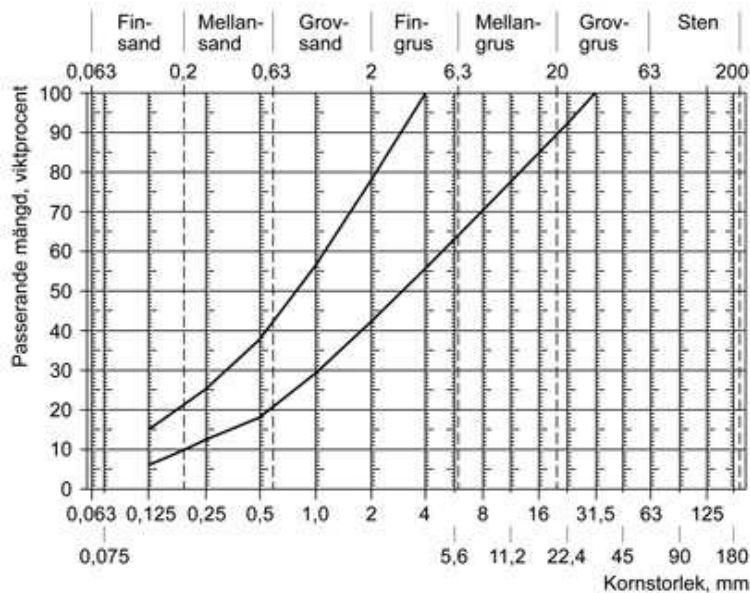
I figurerna ovan kan ses att tryckhållfastheten klaras i de olika projekten men att standardavvikelsen skiljer sig något. Den är högre för Södra länken men mindre för Norra länken. Den är hög för tunnel i väst men som kan ses i tabell 1 kan det bero på att värdet baseras på för litet antal värden i förhållande till de övriga projekten. Vad som kan ses från enskilda provvärden är att spannet ibland är alldeles för långt mellan lägsta och högsta vilket (1,0 respektive 5,9) också förklarar den höga standardavvikelsen. Däremot blir det undertramp för residualhållfastheten för Södra Länken även för prov efter lång tid.

3.3.3. Dagens kunskapsläge, krav och anvisningar för infrastrukturprojekt.

Sedan 1 februari 2012 ersätter TRVK Tunnel 11 [37] ATB Tunnel 2004 [41] vid projektering av tunnlar [36]. Det kompletteras genom åberopande av TRVR Tunnel [38] och TRVK Bro [39]. För projekt som startar efter 1 juli 2014 är det krav på att använda AMA Anläggning 13 [2] med tillhörande AMA Nytt samt Trafikverkets ändringar och tillägg, när AMA Anläggning ansluts av tekniska beskrivningar. I samtliga nämnda dokument hänvisas till gällande svenska och europeiska standarder. Balkprovning enligt ASTM C-1018 [7] med bestämning av residualhållfastheter är idag dominerande provningsmetoden även om provning av energiupptagande förmåga i Joule tillåts enligt SS-EN14487-1:2005 [25]

TRVK Tunnel anger mer de konstruktiva kraven medan AMA Anläggnings beskriver hur sprutbetong ska utföras projekt. I AMA Anläggning 13 kan bl a följande krav läsas för stålfiberförstärkt sprutbetong i korthet [2]:

- Krav på material enligt SS EN 14487-1:2005 [25].
- Gruskurva enligt figur 3.



Figur 2 Gruskurva enligt AMA Anläggning 13 [2]

- Max skiktjocklekar för sprutbetongen om 20-50mm
- Efterhärdning enligt metod c och d i utförandestandarden [29] som innebär vattenbegjutning av ytan tills 50 % av hållfastheten uppnås.
- Tryckhållfasthet enligt SS-EN 12390-3:2009 [30], som innebär provning av kuber och/cylindrar.
- Densitet enligt SS-EN 12390-7:2009 [30].
- Residualhållfasthet enligt SS-EN14488-3:2006 [28]
- Frostbeständighet enligt SS137244:2005 för exponeringsklasser XF2, XF3 och XF4 [27]. Här gäller metod A (3,0-% NaCl-lösning) för XF2 och XF4 och metod B (vatten) för XF3. Provningen görs på utborrade cylindrar från två sprutade provelement och kravet är god frostbeständighet vid förprovning och acceptabel vid den fortlöpande provningen.
- För vidhäftning mellan berg och betong gäller att den ska kontrolleras i de delar där den förutsätts för bärigheten.

För att illustrera dagens kravläge återges här några av de krav som ställs på sprutbetongen till Förbifart Stockholms tunnlar¹⁵. Bergförstärkningen sker med bult och med fiberarmerad sprutbetong. Därefter hängs ett membran upp för att

hindra inläckage av vatten och detta membran skall nätarmeras och sprutas. Gällande miljö gäller TRVK Tunnel [37] för vägmiljö, d.v.s. 300 m in i tunneln, 100 m ut från tunneln samt 1 meter från vägytan. Det innebär exponeringsklasser XD3/XF4 i vägmiljö och XD2/XF4 i tunneltak. Det ger ett vattencementtal om 0,40 respektive 0,45 efter tillsättning av accelerator. Övriga krav är:

- Projektcertifierad sprutare som svarar för att sprutbetongarbetet utförs och dokumenteras enligt teknisk beskrivning.
- Materialkrav enligt SS-EN 14487-1 [25] och SS 137003 [31] ska även gälla för sprutbetong.
- Cement enligt kraven för CEM I-SR3 i SS-EN 197-1 [32]. Det ska uppfylla kraven i SS 134202 [34] och SS 134203 [35], vilket innebär Anläggningscement eller likvärdigt.
- Tillsatsmaterial: Max 6 % flygaska och för masugnsslagg krävs tillstånd.
- Hållfasthetskrav: C32/40
- Böjdragegenskaper:
 - Böjhållfasthet vid första spricka $\geq 4,0$ MPa
 - Residualhållfasthetsklasskravet är D2S3 enligt SS-EN 14487-1 [25]
 I detta fall betyder Klass D2S3 att residualhållfastheten ska överstiga 3 MPa då nedböjningen är mellan 0,5 mm och 2 mm [25].

Tabell 3 Tabell över i residualhållfasthetsklasser i SS-EN 14487-1 [25]

Deformationsområde		Hållfasthetsnivå (minsta hållfasthet, MPa)			
	Nedböjning mm	S1	S2	S3	S4
D1	0,5 till 1	1	2	3	4
D2	0,5 till 2				
D3	0,5 till 4				

- För krav på utförande gäller SS EN 14487-2 [33] och det avser rengöring, sprutning och efterbehandling.
- Efterhärdning av sprutbetong ska ske genom vattenbegjutning till dess att hållfastheten uppnått 50 % av angiven hållfasthetsklass.

3.3.4. Kirunagruvan

Som jämförelse till infrastrukturförslagen har sprutbetong till gruvdriften i Kiruna studerats och här har kontakt tagits med LKAB:s

betongtillverkningsföretag, LKAB Berg & Betong AB. LKAB tillverkar ca 50 000 m³ sprutbetong i Kiruna och ungefär lika mycket i Malmberget (totalt ca 100-130 000 m³). I Kiruna ansvarar man dessutom för sprutningen. Det har gett fördelar som att man får en snabb erfarenhetsåterföring från tillverkning till själva sprutningen. Man sprutar antingen 70 mm eller 100 mm beroende på om förstärkningen sker i seismiskt känsliga områden, t. ex. i de tunnlar som går tvärs fältorter och i korsningar. Här sprutas 100 mm och förutom fiber används även bergbultar och nätarmering.

Vad gäller betongrecept så har man ett vct 0,48 innan acceleratortillsättning och både Bascement och SH-cement används i kombination. Här har man inga krav på anläggningscement och inga krav vad gäller livslängd/exponeringsklasser utan alla krav handlar i första hand om tillräcklig och snabb bärighet till så liten penning som möjligt för kommande gruvdrift. Hållfasthetskravet (28 dygn) för sprutbetong är minst 30 MPa men man har ofta 45-50 MPa. Utöver detta har man har satt upp ett funktionskrav gentemot acceleratorleverantörer på ca 4 MPa efter fyra timmar, vilken fungerar som en benchmark och ger ett bra värde på accelerators prestanda över tid.

Istället för balknedböjning enligt ASTM C1018 mäts sprutbetongen genom energiupptagande förmåga enligt ASTM C1550-12a) och det uppsatta kravet är 490 J vid 40 mm:s nedböjning. LKAB Berg & Betong anser att det är en metod som är lättare att hantera och utföra och att den representerar den faktiska tjockleken på sprutbetongen i gruvan [15]. Dessutom anser man att man får en mindre inverkan av upplagen på proven då det är kullager och det följer därmed med när provet trycks ned. Känslan man fått är det mindre spridning på provresultaten med denna provning.

Kort innebär ASTM C1550-12a-metoden att runda prover med en diameter om 80 mm och en tjocklek 75 mm sprutas och trycks i en punkt i mitten av plattan på tre eftergivliga upplag [8]. Till skillnad från ASTM C1018, där en betongbalk sågas ut från en platta (exempelvis) och läggs upp på två upplag och trycks i två punkter [7].

Till nackdelarna anses höra att det krävs en noggrannhet i sprutningen av proverna och det är något som sprutriggsoperatören måste stöttas med, på grund av snäva toleranser.



Figur 5 Provutrustning enligt ASTM C1550-12a

Sprutningen i gruvan följs upp noggrant via scanningsutrustning, som sitter monterad på två stycken sprutriggar. Däremot mäts inte vidhäftning, då man anser att det ger för stor spridning och är svårtolkat och till viss del är överskattad. Istället har man ställt krav på rengöring av berget före sprutning. I dimensioneringen räknar man helt enkelt inte med vidhäftningens bidrag utan man tänker sig i stället en balk mellan två bultar som bärande [18].

3.3.5. Internationell utblick, Österrike

För projektet är det också intressant att få en jämförelse med hur det ser i ett annat Europeiskt land. I detta fall har författaren lyckats få tag på den österrikiska "Sprayed Concrete, guideline" [23] samt en kontakt med en teknisk chef på Amberg som är ett entreprenadföretag som håller på bl. a. med tunnlar.

Texten i guidelines är bindande, där man hänvisar till giltiga Europainormer för bl. a. sprutbetong, men det finns avsnitt/delar som är mer av

rådgivande/förklarande karaktär. Utan att försöka sammanfatta hela skriften görs här ett försök att se hur den skulle användas för en svensk tunnel i klorid/frost-miljö:

(Alla krav tas inte med, utan det förutsätts att EN-krav ligger till grund som i Sverige) [23]

- Sprutbetong enligt SpIII som är betong för speciella krav, t. ex. hög risk eller där man har krav på beständighet.	
Exponeringsklasser:	XF2/XF4. Exponeringsklass mot tösalt fanns ej angiven men man får anta samma täthet som vid kemisk attack XA3L
Cementkrav:	CEM I, 42,5 Krav på C ₃ A-halt 0 % vid risk för sulfater, 600-1500 mg/l. Initiell bindning ≥ 90 min Hållfasthetskrav: 42,5
Tillsatsmaterial:	Slagg och flygaska verifieras enligt ÖNORM. Silika är tillåten upp till 11 % av cementvikten
Ballast:	Ska uppfylla krav ÖNORM B3131 enligt ÖNORM 12620, samt krav enligt given siktkurva för 0-8 mm och 0-11 mm. D _{max} är satt till 11 mm.
Accelerator:	pH måste vara mellan 3 och 8 Initiala bindningen ska ske inom 10 min och slutlig inom 60 min. Efter 28 dygn skall hållfastheten vara större än 80 % av kontrollmixen (ÖNORM EN 480-1)
Max vct/vct _{ekv} :	≤0,50
Fiber/-mängd:	Skall uppfylla krav enligt ÖNORM EN 14889-1 (stål) och ÖNORM EN 14889-2 (plast). Produktionen av ska kunna inspekteras.
PP-fiber	Minsta mängd i den s. k. Base mix om 1,5 kg/m ³ , eller bestäms enligt ÖVBB-guidlines.
Efterhärdning:	Nysprutad betong skall efterhärdas inom 2 timmar om inte annat lager ska sprutas på. Vid risk för kraftig uttorkning, 7 dagars härdning eller tillräckligt sprutad med membranhärdare.

Hållfasthetskrav:	SpC 32/40. Hållfasthetsutveckling enligt J ₂ -kurva, se figur 6.
<p>compressive strength in N/mm²</p> <p>minutes hours</p> <p>between A and B class J₁ between B and C class J₂ above C class J₃</p>	
Figur 6 Hållfasthetskurvor [23]	
Krav på vidhäftning:	Avgörs i varje projekt men kravet är att underlaget måste förberedas nogga.
Krav på böjdragegenskaper:	Första-sprickan-spänning och residualhållfastheter i klasserna T, G och D/S enligt ÖVBB-guidelines för fiberförstärkt betong alternativt EV 700 (700-1000 J) Det finns tre definierade energiabsorptionsklasser: EV500, EV700 och EV1000. Energi-absorptionen mäts efter 7 dagar i Joule för en nedböjning om 25 mm för tre testpaneler. De olika klasserna definieras med avseende på typ av arbete (om t. ex. primär lining), typ av berg (mjukt eller hårt) med storlek på deformationer och volymförändringar.
Minsta sprutbetongtjocklek	100 mm, minsta täcksikt 35 mm med en tolerans om 15 mm.
Provningsmetoder för tryckhållfasthet:	A: 0,2-1 MPa med penetrationsnål d=3 mm B: 2-15 MPa med Hilti-metod (grön patron)

	<p>C: 10- med utborrade kärnor</p> <p>Fem prover tas för ett medelvärde och ett enskilt prov får inte avvika med mer än 20 %, minst tre prover behövs.</p>
Provningsmetoder för fiberbetong:	<p>För T- och TG-klasser gäller balkar/paneler med 150 x 150 x 500 mm³ och för EV-klasserna är 600 x 600 x 100 mm³.</p>

En intervju har också skett via mail med en teknisk chef på ett av de större entreprenadföretagen i Österrike [11]. Nedan följer en kort sammanställning på frågor och svar, där svar erhöles:

- Vilka krav ställs från kunden/beställaren på entreprenören? Får entreprenören tillräckligt med information? Hur hanteras den informationen? Vanligtvis så bör beställaren definiera sprutbetongen på ett sådant sätt att den uppfyller byggnadsverkets krav. Dessa krav kan gälla hållfasthet, vatteninträgningsdjup, permeabilitet, sammansättning av de ingående ämnena. Entreprenören ansvarar för själva receptet och ansvarar för att alla dessa krav uppfylls samt påvisar att de ställda kraven uppfylls. Beställaren bör då inte blanda i sig i den processen om det inte är i ett tidigt skede då det fortfarande finns möjligheter att göra vissa ändringar. Det bör göras i tät kommunikation men det kan också finnas milstolpar efter vilka man inte längre kan genomföra vissa ändringar.

- Vilka är de vanligaste misstagen, skador och fel som uppstår vid utförandet av sprutbetongskonstruktioner och hur kan dessa undvikas? Den viktigaste faktorn som påverkar kvaliteten på utförandet är själva sprutansvarige (den som sprutar). Därför finns det en tendens att man nu framöver kommer att certifiera de personer som skall genomföra sprutningen. En annan viktig faktor är underlaget (berg eller betong). Det är vanligt att underlaget drar åt sig vattnet från den nya/färska betongen vilket i slutändan saknas vid bindandet. Även återslaget från väggen har stor påverkan eftersom de stora kornen sedan saknas i betongmatrisen vilket påverkar den önskade hållfastheten. Ytterligare en faktor är klimatet i tunneln (ventilationen), som påverkar härdningen och bindningen av sprutbetongen på ett negativt sätt då tunnelventilationen i många fall torkar ut den färska betongen för snabbt. Därför bör det alltid tas prover och tester på plats för att garantera kvaliteten på utförandet.

- Minsta stålfibermängd i sprutbetong? I vissa dokument återfinns ett vanligt värde på fibermängd om 25 kg/m³ för att få kalla en sprutbetong fiberförstärkt.

Det är dock nonsens då man ju inte definierar vilka fibertyper det gäller. Mängden är ju direkt avhängig av själva fibertypen och därför bör det alltid finnas krav som är definierade vilka bör kunna testas med normerade försök/tester. Entreprenören bör därefter fritt kunna välja doseringen och fibersorten för att uppfylla dessa krav.

- **Vilka brandskydds krav gäller samt krav på mängd PP-fibrer (2 kg/m³)?** Brandkurvan som skall motverkas behöver fördefinieras av projektet och vi pratar här om själva brandförloppet vid betongytan och inte i själva brandhärden. Betong med 2 kg/m³ är enligt norm definierad som brandsäker men mängden kan också reduceras. Dock måste det påvisas genom provningar/försök. Även här har fibersorten man väljer en påverkan. Vanligt är att 6 mm långa mikrofilament PP-fibrer.

4. DISKUSSION

I detta projekt har försök gjorts att sammanställa krav, anvisningar, resultat och erfarenheter. Inriktningen har varit framför allt infrastrukturprojekt men även gruvindustrin har studerats. Det har varit genomgående svårt att få tag på material, både krav och tekniska beskrivningar (från framför allt äldre projekt) men än svårare med faktiska mätvärden och data. Den begränsade mängden data som erhöles gör att man i framtida studier bör titta bredare på andra typer av sprutbetongkonstruktioner. Den ursprungliga tanken med att fokusera på infrastrukturprojekt var att här har vi bland de tuffaste kraven för konstruktioner som är tänkta att klara livslängder över 100 år. Materialvärden och data är därför absolut nödvändiga för att få uppföljningar med förbättrade modelleringar men också förståelse för materialets påverkan i tunnelmiljö över tid och därmed möjligheten att kunna bygga mer hållbara konstruktioner.

En stor förhoppning är att Trafikverket, som är stor beställare av stora bergtunnelarbeten och som begär in provningsdata/dokumentation regelbundet, arkiverar dessa systematiskt för framtida bruk, som exempelvis till forskningsprojekt. Ett annat exempel på användning för dessa dokument är också för det kommande underhållet. I början av denna rapport nämndes Muskö-tunneln som ett exempel för när anläggningscement borde ha använts. Liknande scenario är inte otänkbart, d.v.s. att vi bygger tunnlar idag med dagens kunskap, dagens tillåtna material och metoder men som kanske imorgon är otänkbart.

Några exempel på saker som har förändrats i kraven är t. ex. synen på beständighet för tunnlar, d.v.s. att samma exponeringsklasser tillämpas på såväl broar som på tunnlar. Det har gett extremt låga vattencementtal då det föreskrivs vägmiljö (XD3/XF4 och XD1/XF4) och i kombination med nya ballastmaterial (kross) och krav på brandfiber kan bidra till att cementhalterna pressas upp. Men höga cementhalter gör att den autogena krympningen ökar och det tillsammans med en ojämn krympning i en tunnel (med olika grad av vidhäftning) kan ge upphov till ojämna spänningar. Ett annat exempel är nya cementtyper/-kvaliteter och nya tillsatsmaterial som ger betongen nya egenskaper, vad betyder de på längre sikt? På detta kan läggas till de kunskaper som tillkommit vad gäller vattenkemins påverkan på underjordsanläggningar. Kan det vara så att dagens exponeringsklasser inte är relevanta fullt ut för tunnlar?

Ett annat exempel på en osäkerhet är huruvida och i vilken grad ojämn sprutbetongtjocklek ger upphov till ojämna spänningar i betongen och vad det i sin tur innebär i så fall o.s.v. Ett sista exempel är vidhäftningens säkerställande och tillgodoräknande i den bärande konstruktionen. Av de få data jag erhållit

har jag kunnat konstatera en stor spridning på vidhäftningen men hur ser det med en större mängd data? Som jag beskrivit ovan har LKAB Berg & Betong helt slutat att tillgodogöra sig värdet p.g.a. dess osäkerhet och frågan är om inte krävs en bättre uppföljning och studie kring detta för att det ska vara den viktiga dimensioneringsparameter som det är idag.

På några få rader har jag försökt beskriva ett antal frågeställningar som saknar fullständiga svar och som jag tror får än mer betydelse i framtiden för ett hållbart byggande med sprutbetong. Här har en systematisk uppföljning och erfarenhetsåterföring en viktig funktion att fylla med tanke på de många stora projekt som sätts igång och som planeras.

5. SLUTSATSER

Utifrån ovan kan följande slutsatser dras från detta projekt:

- Provningsdata har inte erhållits till den grad som önskats , vare sig av beställare eller entreprenörer.
- De som erhållits har visat på stor spridning och vissa fall undertramp för det äldre projektet medan de nyare har en mindre spridning. Vad det beror på är oklart men mängden data är för liten för att slutsatser ska kunna dras i detta arbete. Därför rekommenderas fortsatt arbete där mer material inhämtas från fler anläggningar för säkrare analyser.
- Ett bättre system för insamlande av och hantering av data/mätvärden krävs. Detta för att mer systematiskt kunna hitta mer exakta dimensioneringsvärden men också mer kunskap om hur byggande av tunnlar med sprutbetong kan göras mer hållbart.
- Många av de undersökande sprutbetongprojekten har till stor del varit laboratoriestudier. Därför behövs ett forskningsprojekt (t. ex. ett industrilicentiatprojekt) som kombinerar analys av befintliga laboratoriedata (från olika arkiv och databaser) med fältstudier.

6. REFERENSER

- 1/ Ahmed L. 2015. Models for analysis of young cast and sprayed concrete subjected to impact-type loads – KTH
- 2/ Allmänna material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten. 2014. Svensk Byggtjänst (AMA Anläggning 13) – Svensk Byggtjänst
- 3/ Ansell A., Holmgren.J. 2007. Sprutbetongs krympning – fiberinblandning för bättre sprickfördelning. SveBeFo-rapport nr 87
- 4/ Ansell. A. 2003. Vibrationstålig sprutbetong.
- 5/ Ansell A., Bryne L-E. 2014. Undersökning och utveckling av materialegenskaper hos sprutbetong för bergtunnlar
- 6/ Ansell. A & Slunga. A. Utredning angående sprickor i sprutbetong på dräner i Södra Länken – KTH och Golder Associates AB
- 7/ ASTM C1018. Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading) – ASTM International.
- 8/ ASTM C1550-12a. Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel) – ASTM International.
- 9/ BBK 779, Band 2 – Boverket
- 10/ Björkman.P-E. 2015. Skriftlig information via epost – Trafikverket.
- 11/ Boissonnas. Y. 2016. Amberg. Skriftlig information via epost med hjälp av Thomas Lechner, NCC Teknik och Hållbar Utveckling.
- 12/ Eriksson.H. 2006. Norra länken, arbetshandling – Vägverket.
- 13/ Holmgren. J. 2011. Sprutbetong för bergförstärkning – forskning, utveckling och praxis under 35 år (artikel i tidningen Betong) - Betongbyggnad, KTH.
- 14/ Holmgren. J. 1992. Bergförstärkning med sprutbetong – Vattenfall.
- 15/ Krutrök. B. 2015. Skriftlig information via epost och muntlig kommunikation – LKAB

- 16/ Lagerblad B., Fjällberg L., Westerholm M. 2007. Sprutbetongs krympningsmodifiering av betongsammansättning. SBUF-rapport nr 11873/SveBeFo rapport nr 86 – SveBeFo
- 17/ Lind. B. 1994. Bergteknik. Dimensioneringsgrunder för användning vid bergförstärkning med sprutbetong – Vägverket.
- 18/ Lundberg. M. 2014. E4 Förbifart Stockholm, bergtunnlar södra Lovö , teknisk beskrivning – Trafikverket.
- 19/ Mossmark F., Ericsson L.O., Norin M. 2013. Grundvattenkemisk interaktion med undermarksanläggningar – Chalmers Tekniska Högskola
- 20/ Norin M. 2011. Undermarksbyggandets växelverkan med grundvattenkemi – NCC
- 21/ Okänd källa.
- 22/ SBUF:s hemsida: www.SBUF.se . 2016 - SBUF
- 23/ Sprayed Concrete – Guideline. 2013 – Österreichische bautechnik vereinigung
- 24/ Stille.H, Alestam.M, Lundström.L. 1994. Bergförstärkning. Bergtekniska anvisningar för projektering av ringen och yttre tvärleden – Vägverket.
- 25/ Svensk Standard SS-EN 14487-1:2005 – ”Sprutbetong – Del 1: Definitioner, specifikationer och kriterier för Överensstämmelse” - SIS
- 26/ Svensk standard SS-EN 206-1:2013. Betong-fodringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse - SIS
- 27/ Svensk standard 13 72 44:2005. Betongprovning - Hårdnad betong - Avflagning vid frysning – SIS
- 28/ Svensk standard SS-EN 14488-3:2006. Provning av sprutbetong - Del 3: Böjdraghållfasthet (sprick-, maximal- och residualhållfasthet) hos fiberarmerade provbalkar – SIS

- 29/ Svensk standard. SS-EN 13670:2009. Betongkonstruktioner – Utförande – SIS
- 30/ Svensk standard. SS-EN 12390-3:2009. Provning av hårdnad betong - Del 3: Tryckhållfasthet hos provkroppar – SIS
- 31/ Svensk standard. SS 137003:2015. Betong – Användning av SS-EN 206 i Sverige- SIS
- 32/ Svensk standard. SS-EN 197-1:2011. Cement - Del 1: Sammansättning och fordringar för ordinära cement - SIS
- 33/ Svensk standard. SS-EN 14487-2:2006. Sprutbetong - Del 2: Utförande – SIS
- 34/ Svensk standard. SS 134202:2006. Cement - Sammansättning och fordringar för cement med moderat värmeutveckling (MH-cement)
- 35/ Svensk standard. SS 134203:2014. Cement - Sammansättning och fordringar för ordinära cement med låg alkalihalt (LA)
- 36/ Trafikverkets hemsida, 2016:
<http://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/Tekniska-dokument/Bro-och-tunnel/Allmanna-tekniska-beskrivningar/ATB---Tunnel-2004/>
- 37/ Trafikverkets tekniska krav Tunnel, TRV publ nr 2011:087 – Trafikverket
- 38/ Trafikverkets tekniska råd Tunnel. TRV publ nr 2011:088
- 39/ Trafikverkets tekniska krav Bro. TRV publ nr 2011:085
- 40/ Trägårdh. J. 2016. Muntlig och skriftlig kommunikation – Cement och Betonginstitutet, Stockholm.
- 41/ TRUST:s hemsida: <http://trust-geoinfra.se/>. 2016 – TRUST
- 42/ Vägverkets allmänna tekniska beskrivning för nybyggande och förbättring av tunnlar. Tunnel 2004 – Vägverket.
- 43/ Åkesson. Jan-Åke. 2016. Muntlig information.