

E4 Förbifart Stockholm

Teknisk beskrivning

Bilaga 6. PM Betonglining

2021-04-23

Rev	Ant	Ändring avser	Godkänd	Datum

Granskare	Godkänd av	Ort	Datum
Karl Persson	Therese Vestin	Solna	2021-04-23

Objektnamn	E4 Förbifart Stockholm
Entreprenadnummer	Tunnel norr
Entreprenadnamn	
Beskrivning 1	Bilaga 6
Beskrivning 2	PM Betonglining
Beskrivning 3	Huvuddokument
Beskrivning 4	
Status	Publicerad
Diarienummer	
Konstruktionsnummer	
Objektnummer	8448590
Projekteringssteg	
Statusbenämning	
Företag	Trafikverket
Författare/Konstruktör	Niclas Lindkvist, Patrik Hamberg
Externnummer	

Innehåll

1	Inledning	3
2	Betonglining, teknisk beskrivning	3
2.1	Utformning av tät betonglining	4
2.2	Betonglining i Tunnel norr.....	4
2.3	Tillkommande risker vid genomförande av betonglining i Tunnel norr	5
3	Tids- och kostnadspåverkan, E4 Förbifart Stockholm	6
3.1	Beskrivning.....	6
3.2	Tidspåverkan	7
3.3	Kostnadspåverkan	7
4	Sammanfattning.....	8

1 Inledning

I E4 Förbifart Stockholms projekt Tunnel norr pågår produktion sedan ca fem år tillbaka i tiden. Erfarenheter hittills visar på en bergmassa som på vissa sträckor är betydligt mer vattenförande än vad som ursprungligen bedömdes och inläckaget av grundvatten till tunnlarna är idag högre än prognosticerat, detta trots att samtliga tunnlar injekterats med en kontinuerlig förinjektering med cementbaserade tätningsmedel. Den ursprungliga injekteringsmetodikerna har även reviderats flera gånger under byggtiden och Trafikverket har på utvalda sträckor kompletterat med efterinjektering och på så vis försökt att ytterligare täta tunnlarna efter det att tunnlarna sprängts ut. Arbetet med att täta tunnlarna är betydligt svårare än vad som bedömdes i den ursprungliga ansökan och särskilt svårt är det inom delsträcka D10 och D11 som sträcker sig från Lambarfjärden i söder till Kälvesta i norr. Den berörda entreprenaden ingår i projekt Tunnel norr som är ett av tre tunnelprojekt i E4 Förbifart Stockholm.

Trafikverket bedömer att det, med erfarenheterna från hittills utförda för- och efterinjekteringar, inte är möjligt att med aktuella metoder innehålla inläckagevillkoren i miljödomen för delsträcka D10 och D11. För att kunna innehålla villkoren är det Trafikverkets bedömning att det krävs att vissa sträckor anläggs med en vattentät betonglining.

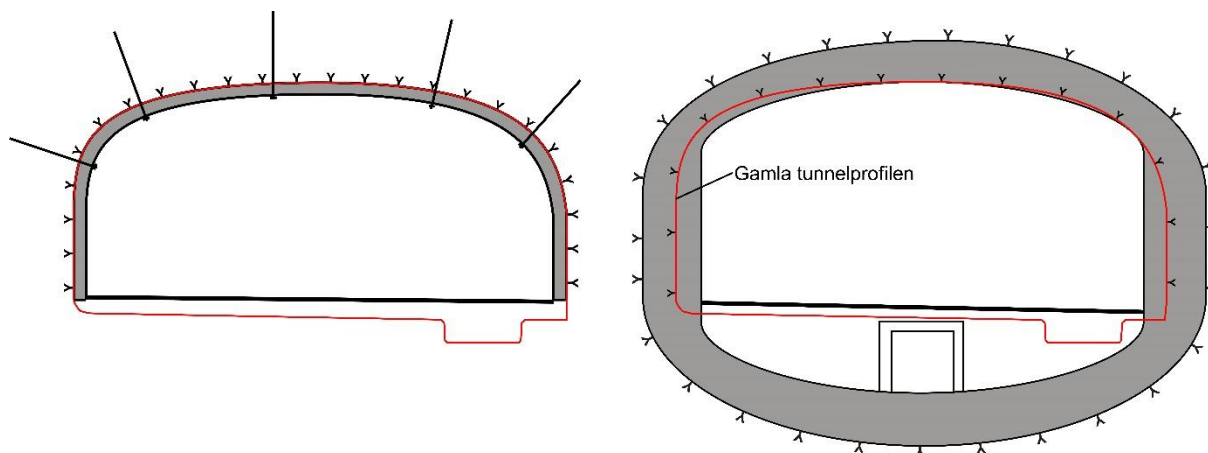
Syftet med föreliggande PM är att översiktligt beskriva den tekniska lösningen för tätningsmetoden med vattentät betonglining samt beskriva vilka tids- och kostnadskonsekvenser som en betonglining skulle innebära för E4 Förbifart Stockholm. PM:et avslutas med en sammanfattning av tids- och kostnadskonsekvenser och en motivering till Trafikverkets bedömning att utförande av tät betonglining inte är en rimlig åtgärd i sammanhanget.

2 Betonglining, teknisk beskrivning

Betonglining i bergtunnlar innebär att en platsgjuten betongtunnel byggs där gjutning sker direkt mot den omgivande bergytan (Figur 1). Det finns två huvudsakliga orsaker till att en bergtunnel förses med betonglining. Det kan vara på grund av konstruktiva skäl, dvs stabilitet, eller för att uppnå täthet, eller en kombination av dessa.

Beroende på vad som ska uppnås kan betongliningen utföras på två principiellt olika sätt. Om syftet är att säkra stabiliteten i tunneln så väljs ofta ett dränerat utförande. Grundvattentrycket leds då bort från betongen genom någon form av dränerande duk. Konstruktionen behöver då endast ta laster från det omgivande berget. Det är också möjligt att utföra betonglining med en öppen botten, dvs inget betonggolv behöver gjutas.

När syftet är att uppnå täthet, som i det här fallet, så måste en tät konstruktion byggas. Den ska utöver laster från omgivande berg även stå emot laster från grundvattentrycket och en tät bottendel är då också nödvändig. Bottendelen måste om tunneln ligger djupt kunna stå emot de uppåtriktade krafterna från grundvattentrycket.



Figur 1. Exempel på hur ett tunnelvärsnitt kan se ut i tunnel med ordinär förstärkning (t.v.). Ett tunnelvärsnitt inklätt i en tät betonglining illustrerat med grå skraffering (t.h.) som innebär en betongtjocklek på över en meter.

2.1 Utformning av tät betonglining

Dimensionering av en tät betonglining styrs av parametrar så som tunnelns geometri, bergtryck, bergmassans beskaffenhet och grundvattentryck. Betongens tjocklek varierar både över det enskilda tvärsnittet och utmed tunnelns längd. Det är dock sannolikt att den här typen av konstruktioner kräver betongtjocklekar på över 1 m. Konstruktionens form måste anpassas vad gäller tvärsnitt, där en mer äggformad geometri är mer gynnsam för att effektivt ta upp omgivande laster. Se Figur 1 för exempel på hur en optimerad konstruktion av betonglining kan se ut.

För att slutgiltigt utforma en betonglining för de aktuella sträckorna måste en projektör genomföra en projektering efter rådande förutsättningar. Tunnelvärsnittet måste utökas, dels för att inrymma betonglining, dels för att konstruktionens tjocklek behöver utökas för att vara stabil och ta upp laster från omgivningen. Detta resulterar i att mer berg måste sprängas ut och kompletterande efterinjektering måste utföras. Den tillkommande utsprängningen av berg medför att vatteninläckaget kommer att öka och vara på en högre nivå till dess att betonglining är utförd och tät.

Byggande av lining medför även en ökad logistik av sprängmassor. Därutöver krävs ändringar av installationer såsom ny dragningsstråk, kanalisering, VA samt ändrade positioner på brunnar, vilket bara är några av de installationer som måste omprojekteras och anpassas till betongliningens utformning. För att begränsa omprojekteringen i längdled kan dag- och spillvatten behöva pumpas förbi betonglining varför nya pumpstationer blir nödvändiga.

2.2 Betonglining i Tunnel norr

För Tunnel norr fanns det inte någon befintlig projekterad lösning för betonglining innan byggstart. Ska en tät betonglining installeras kommer det att resultera i mycket omfattande åtgärder då hänsyn måste tas till de stora tunnelrördimensionerna, trefilig väg i vardera riktningen. Tät lining för dessa stora tunnelkonturer har vi begränsad erfarenhet av i Sverige.

Utifrån dagens kunskapsnivå görs bedömningen att det krävs ca 15–20 stycken 100 m etapper betonglining på sträckan från Lambarfjärden till Kälvesta för att inläckagevillkoren för driftskedet ska kunna innehållas. Antagna utgångsvärden för lining redovisas i Tabell 1.

Tabell 1. Utgångsvärden vid lining

	100 m etapp	100 m etapp x 15*	100 m etapp x 20**
Betong, 1 m tjock	4 900 m ³	73 500 m ³	98 000 m ³
Sprutbetong	320 m ³	4 800 m ³ (48 000 m ² ***)	6 400 m ³ (64 000 m ² ***)
Armering	490 ton	7 350 ton	9 800 ton
Bergschakt	5 200 m ³ = 14 000 ton	78 000 m ³ = 210 000 ton	104 000 m ³ = 280 000 ton

* Multiplieras med 15 st sträckor för att få minvärden.

** Multiplieras med 20 st sträckor för att få maxvärden.

*** Antag tjocklek på sprutbetongen på ca 0,1 m

2.3 Tillkommande risker vid genomförande av betonglining i Tunnel norr

För analysen finns ingen projektering av tät lining framtagen som underlag till bedömningen utan tids och kostnadspåverkan för tät lining har utförts genom en fackmässig bedömning av både tids- och kostnadspåverkan. Under analysfasen har ett antal risker identifierats och det är viktigt att förstå att om dessa faller ut kan tids och kostnadspåverkan bli ännu större än de som redovisas här. Av erfarenhet är det särskilt tidsfaktorer som riskerar att underskattas när stora och komplexa anläggningsarbeten planeras.

Identifierade risker och konsekvenser:

- Det finns få referensprojekt, i Sverige och internationellt, där stora trefiliga trafik tunnlar har utförts med tät lining i den omfattning som bedöms krävas för entreprenaden. Det gör att komplexiteten för arbetena riskerar att underskattas, dels för själva arbetet med lining och dels för påverkan på övriga kontraksarbeten som angränsar till liningetapperna. Arbetsmiljö, nödutrymning, logistik, med mera måste alltid tillgodoses och kan ha en större påverkan på framdriften än vad den teoretiska analysen visar.
- Geometriskt varierande anläggningsdelar såsom ramprum och luftutbytesstationer riskerar att öka tid och kostnader för en 100 m etapp i jämförelse med etapper i övriga tunnlar. Analysen har inte tagit höjd för den här typen av komplexa anläggningsdelar.
- Under byggskedet av liningetapperna måste tunnarlarnas tvärsnitt öka för att kunna inrymma en tät betongkonstruktion. När då berget sprängs bort påverkas även den utförda tätningen av berget och det uppstår risk att inläckaget av grundvatten ökar under en period tills liningen är gjuten och konstruktionen är tät. Detta ökade inläckage under byggtiden riskerar att påverka omgivningen ovanpå tunnarlarna negativt med en ökad risk för skador på byggnader, ledningar, med mera
- Det finns en risk att fler 100 m etapper behövs än de som identifierades när inläckagesituationen i delområde D10 och D11 utvärderades. När en liningetapp är byggd finns det en risk att vattnet letar sig andra vägar och ökar inläckaget i andra delar av anläggningen utan lining.
- Om arbeten med lining inte kan beställas som ett tilläggsavtal inom befintligt entreprenadkontrakt FSE 403 (anläggningsarbeten) måste en ny upphandling genomföras, vilket riskerar att påverka möjlig starttidpunkt för produktionen av liningetapper.

- Kostnadspåverkan på Förbifartens installationsarbeten förutsätter att förseningar från anläggningsarbetena kan hanteras som tillägg i befintliga installationskontrakt. Konsekvenser som en eventuell hävning/avbeställning av befintliga kontrakt medför ingår inte i denna analys.

3 Tids- och kostnadspåverkan, E4 Förbifart Stockholm

3.1 Beskrivning

Att bedöma behovet av en tät betonglining är svårt och det finns många risker och osäkerheter som måste beaktas. Genom en analys av inläckagesituationen idag, i påverkade delsträckor, har behovet av liningetapper bedömts, dels för redan utsprängda anläggningsdelar, dels för de anläggningsdelar som kvarstår att spränga ut. Trafikverket behöver bygga täta konstruktioner i sådan omfattning att miljödomens villkor avseende begränsningsvärden kan innehållas.

Varje liningetapp bedöms vara ca 100 m lång, vilket är ett rimligt antagande med hänsyn till utbredningen av de vattenförande zoner som tunnarna har passerat hittills. För delområdena D10 och D11 resulterade analysen i ca 15-20 stycken 100 m etapper med tät betonglining som placeras i de vattenförande zoner som trots stora ansträngningar inte blivit tillräckligt täta. Det finns en stor risk att antalet liningetapper kommer att revideras i projekteringsfasen och även löpande under produktionen när resultaten från inläckagemätningarna kan utvärderas.

I analysen konstateras att det är sannolikt att både mindre ramptunnlar för på- och avfarter till trafikplatserna och större trefiliga huvudtunnlar som behöver förses med lining. Det finns även anläggningsdelar som ligger i områden med stora inläckage som har komplicerad geometri. Ett exempel är tunnelavsnitten där ramptunnlar ansluter till huvudtunnlarna. I dessa avsnitt skapas en anläggningsdel som benämns ramprum, som har en ökande tunnelbredd fram till läget då en ramptunnel ansluter till den trefilig huvudtunnel. Tunneln i ramprummets bredaste del är ca 30 m. Att utföra lining i sådana geometriskt komplicerade och breda tunnlar är tekniskt utmanande och har avsevärd påverkan på tid och kostnader. I denna PM antas att inget ramprum behöver förses med tät lining utan omnämns här enbart som en betydande risk eftersom flera ramprum finns i de områden som inte är tillräckligt täta.

Arbetsmetoden för varje liningetapp kan förenklat beskrivas enligt följande:

- Förberedelsearbeten för en 100 m etapp. Demontering av tillfälliga installationer och borttagning av vägmaterial i botten.
- Strossprängning av berg. Strossning innebär att befintlig tunnel görs större på de sträckor där lining bedöms behövas, detta i syfte att skapa en större tunnel som betongliningens ryms inom.
- Förstärkning av väggar och tak med bultar och sprutbetong.
- Kompletterande injektering.
- Avjämnings-sprutning med sprutbetong i syfte att skapa en jämn yta som det täta membranet kan monteras mot. Alternativt gjuts en baklining istället för sprutbetong.
- Noggrann rensning i botten inför start av gjutning
- Montage av membran, form och armering i botten samt gjutning av denna. Detta arbete sker etappvis med monoliter.
- Montage av arbetsställning och räls (som arbetsställningen förflyttas med)
- Montage membran, form och armering på väggar och tak samt gjutning av dessa. Detta arbete sker etappvis med monoliter.

3.2 Tidspåverkan

Det finns flera faktorer som påverkar när produktionen av liningetapperna kan starta. Utgångsläget är tidpunkten då det finns en lagakraftvunnen dom. Visar det sig att nya villkor inte erhålls får det stora konsekvenser för projekt Tunnel norr. Därefter måste det utvärderas om en ny upphandling av arbetena krävs eller om lining kan beställas som ett tilläggsavtal i befintligt entreprenadkontrakt. Projekteringsuppdraget är omfattande och bedöms ta ca ett år och när entreprenören får tillgång till handlingar behöver de förbereda sig i några månader innan produktionen kan starta. Under denna förberedelsetid ska arbeten planeras, resurser tillsättas samt material och underentreprenörer handlas upp. Bedömd start för produktion av lining blir då tidigast under hösten 2023.

Att utföra en liningetapp (100 m) från start till mål bedöms ta ca 11–12 månader. Det är inte rimligt att anta att samtliga liningetapper kan byggas samtidigt. Det bedöms troligt att entreprenören kan tillsätta 2–4 arbetslag som producerar 4–8 etapper per lag. Hur många lag som tillsätts är inte enbart en resursfråga. Entreprenören behöver dessutom ta hänsyn till övriga kontraktarbeten som pågår parallellt med liningetapperna samt säkerställa arbetsmiljö, nödutrymning, transportvägar och tillgänglighet för samtliga arbeten som sker under jord i entreprenaden.

Oavsett om entreprenören tillsätter två eller flera arbetslag blir påverkan på tidplanen stor. En analys av tidplanen visar att entreprenaden sannolikt inte är färdigställd förrän tidigast till årsskiftet 2029/2030. I dag ligger Tunnel norrs entreprenader inte på program Förbifart Stockholms kritiska linje, men kommer lining att krävas kommer kritisk linje för programmet att ändras. En försening med ca fem år för Tunnel norr orsakar en sannolik försening för hela E4 Förbifart Stockholm med ca fyra år. Det betyder att E4 Förbifart Stockholm inte kan öppnas för trafik förrän tidigast 2034.

Ett färdigställande vid årsskiftet 2029/2030 för entreprenaden i Tunnel norr samt ett färdigställande för hela E4 Förbifart Stockholm till 2034 utgör utgångsläget för kostnadsberäkningarna i kap 3.3.

3.3 Kostnadspåverkan

Kostnadsökningen utgörs av kostnader kopplat till projekt Tunnel norr, samt projektövergripande kostnader för E4 Förbifart Stockholm som utöver Tunnel norr påverkas av den tidförlängning som arbeten med lining orsakar projektet. Främst ingår övergripande projektkostnader för organisation, mm, men även ökade kostnader för installationsprojektet som tar vid då projekt Tunnel norr är klara. Till sist har även hänsyn tagits till utebliven samhällsnytta. Kostnaden har hämtats från den samhällsekonomiska kalkyl som Trafikverket tog fram i samband med ursprunglig ansökan för miljödom.

Den direkta kostnaden för en tät betonglining med 15-20 stycken 100 m-etapper uppskattas till ca 1 miljon kronor per meter lining. Projektering av lining uppskattas med hjälp av antagandet att projektering kostar 5% av de direkta kostnaderna att bygga lining.

Föreningen i entreprenaden påverkar Trafikverket på fyra olika sätt:

- Tidsberoende kostnader för entreprenören som Trafikverket ansvarar för. Kostnaderna avser förlängd övergripande organisation samt förlängd etablering- och driftskostnader. Dessa kostnader uppskattas till 60 mkr/år.
- Tidsberoende kostnader för Tunnel norr som förlängningen orsakar. Dessa kostnader uppskattas till 40 mkr/år.
- Tidsberoende kostnader för hela E4 Förbifart Stockholm så kallade projektövergripande kostnader.
- Tilläggskostnader för projektenhet Installation som krävs för att omförhandla ingående kontrakt.

Tabell 2 redovisar kostnadsökningar som konsekvens vid bibehållna villkor.

Tabell 2. Kostnadsökningar som konsekvens vid bibehållna villkor, dvs lining på delar av tunneln.

Kostnadsökningar	Miljoner kr
Trafikverket, Projekt Tunnel norr – direkta kostnader för lining, (15-20)x100x1 mkr	1 500 – 2 000
Trafikverket, Projekt Tunnel norr – projektering, 0,05 x 1500 – 0,05 x 2000 mkr	75 – 100
Trafikverket, Projekt Tunnel norr – tidsberoende kostnader entreprenör, 60 mkr/år baserat på fem år.	300
Trafikverket, Projekt Tunnel norr – tidsberoende kostnader internt Tunnel norr, 40 mkr/år baserat på fem år.	200
Trafikverket, Projekt E4 Förbifart Stockholm – tidsberoende projektövergripande omkostnader internt för hela E4 Förbifart Stockholm baserat på fyra års försening.	425-530
Trafikverket Projekt E4 Förbifart Stockholm – tillägg för projekt installation, min och max bedömning	2 370 – 5 750
Trafikverket Projekt E4 Förbifart Stockholm – drift av anläggningen innan överlämnande	200
Intervallkostnad för 15-20 liningetapper	5 070 – 9 080

Utöver de kostnadsökningar som presenteras ovan som konsekvens av bibehållna villkor (lining) orsakar förseningen även en utebliven samhällsnytta. Denna har beräknats enligt samhällsekonomisk Kalkyl, TRV 2012/29166. Kalkylen visar på en utebliven samhällsnytta på 6 400 miljoner kronor.

4 Sammanfattning

Om inläckagevillkoren i miljödom inte ändras påverkas Förbifart Stockholms tidplan väsentligt och det är sannolikt att öppnande för trafik försenas med minst fyra år.

Förseningen orsakar även en betydande ökning av Förbifart Stockholms kostnader. Kostnadsökningen för Tunnel norr samt hela E4 Förbifart Stockholm beräknas hamna i intervallet 5–9 miljarder kronor.

Med hänsyn till den betydande påverkan på tid och kostnader en tät lining bedöms få på E4 Förbifart Stockholm samt de risker som redovisas i kapitel 2.3, drar Trafikverket slutsatsen att det är svårt att motivera att betonglining skulle vara en rimlig lösning på Trafikverkets problem i Tunnel norr.