

# VATTEN- OCH FROSTSÄKRING FÖR HÖGHASTIGHETSJÄRNVÄG

## Water and frost protection for high-speed railway

*Yanting Chang, ÅF associerad konsult, Geton Consulting*

*Hisham Shamoan, ÅF Infrastructure AB*

### Sammanfattning

Sverige planeras få sin första höghastighetsbana genom projekt Ostlänken som är tänkt att bli en höghastighetsjärnvägslinje för persontåg i upp till 320 km/h.

En stor risk för trafiktunnlars funktion och säkerhet är inläckande vatten. Inom ramen för systemhandlingsprojekteringen i Ostlänken har en utredning utförts om lämpliga tekniska lösningar för vatten- och frostsäkringssystem i bergtunnlar för höghastighetsjärnväg. Utredningen omfattade analyser ur en teknisk synvinkel, men också ur ett arbetsmiljö-, produktions-, drifts-, underhålls- samt LCC-perspektiv.

Rangordning av lösningsförslagen har gjorts med en utvärderingsmodell som är baserad på de anläggningskrav som ställs på vatten- och frostsäkring inom projekt Ostlänken. En helhetsbedömning visar om att platsgjuten betonglining är den lösning som jämfört med övriga studerade alternativ är att föredra.

### Summary

Sweden is planned to get its first high-speed railway through the East Link project, which is supposed to be a high-speed railway line for passenger trains up to 320 km/h.

A high risk against traffic tunnels function and safety is leaking water. During the pre-planning design for the Eastern Link, a study has been done on appropriate technical solutions for water and frost protection systems in rock tunnels for high-speed railway. The study included analysis from a technical point of view, but also from a working environment, production, operation, maintenance and LCC perspective.

Ranking of the proposed solutions are done with an evaluation model based on the system requirements for water and frost protection in the Eastern Link project. An overall assessment shows that in-situ concrete lining is the preferred solution compared to other studied alternatives.

## **1            Introduktion**

Projekt Ostlänken är tänkt att bli Sveriges första höghastighetsjärnvägslinje för persontåg i upp till 320 km/h. Ostlänken har en planerad totalsträcka på cirka 150 km, där cirka 20 km går i bergtunnel.

För en höghastighetsjärnväg ställs höga krav på tunneldesign, funktion och säkerhet. Inläckande vatten i en bergtunnel orsakar bl. a. vattendropp på kraftledningar och isbildning i tunneltaken, vilket i sin tur utgör en risk för järnvägens funktion och säkerhet. Därför krävs det vatten- och frostsäkring i järnvägstunnlar som skydd mot inläckande vatten.

Idag finns ett flertal tekniska lösningar på vatten- och frostsäkringssystem i trafiktunnlar. Innan en systemlösning kan användas i bergtunnlar för höghastighetsjärnväg måste den givetvis först utvärderas om den kan möta de höga krav som en sådan bana ställer. Mot denna bakgrund har det utförts en utredning om möjliga vatten- och frostsäkringssystem i bergtunnlar för höghastighetsjärnväg inom ramen för systemhandlingsprojekteringen för projekt Ostlänken.

## **2            Metodik**

Utredningen om lämpliga lösningar för vatten- och frostsäkring i bergtunnlar för höghastighetsjärnväg utfördes i tre steg:

- Steg 1: Utredning av anläggningskrav på vatten- och frostsäkring för höghastighetsbana.
- Steg 2: Inventering och utvärdering av möjliga tekniska lösningar för vatten- och frostsäkring i bergtunnlar för höghastighetsbana.
- Steg 3: Fördjupad utredning av lämpliga lösningsförslag, inklusive LCC-analys.

Efter en helhetsbedömning togs det fram beslutsunderlag för att utvärdera vilken eller vilka lösningar som ansågs vara mest lämpliga för Ostlänkens bergtunnlar. Utredningen omfattade analyser av lösningsförslagen ur en teknisk synvinkel, men också ur ett arbetsmiljö-, produktions-, drifts-, underhålls- samt LCC-perspektiv.

Rangordning av lösningsförslagen baserades på en utvärderingsmodell som tagits fram i samråd med Trafikverket. Utvärderingsmodellen bygger på de anläggningskrav som ställs på vatten- och frostsäkring inom projekt Ostlänken.

LCC-analysen utgjorde del av projekteringen genom att ta fram beslutsunderlag för val av vatten- och frostsäkringssystem ur ett ekonomiskt perspektiv.

### 3 Anläggningskrav på vatten- och frostsäkringssystem

Utredningen initierades genom att redovisa och belysa de grundläggande anläggningskraven på vatten- och frostsäkringssystem enligt Trafikverkets gällande föreskrifter (Chang & Shamoan, 2015a). De sammanställda kraven ställdes mot de specifika anläggningskrav vilket en höghastighetsjärnväg som Ostlänken kräver.

Detta syftade inte till att framställa underlag till dimensionering av vatten- och frostsäkring, utan att få fram beslutsunderlag till inventeringen och utvärderingen av möjliga lämpliga tekniska lösningar för vatten- och frostsäkring i bergtunnlar för höghastighetsjärnväg.

En kort summering av de projektspecifika anläggningskraven som utreddes redovisas i Tabell 1-5.

Tabell 1: Anläggningskrav avseende funktion, tunnel- och banmiljö

<b>Inläckage till tunnel</b>	Tillåtet inläckage till ett trafikutrymme inklusive vattendropp över järnvägsspår är 0 ml/min.
<b>Färdig yta i trafikutrymme</b>	Färg, ytstruktur och jämnhet på tunnelinklädnaden ska vara lika i väggar och tak, samt i hela tunneln. Tak och väggar i ett trafikutrymme ska ha ett lågt glansvärde.  En yta i ett trafikutrymme ska tåla rengöringsmedel och högtrycksspolning samt vara tät vid tvättning. Väggytor i dessa utrymmen ska dessutom tåla tvättning med borste.
<b>Dränerande funktion</b>	Välfungerande dräneringsfunktion under hela livslängden.

Tabell 2: Anläggningskrav avseende beständighet och livslängd

<b>Exponerings- och korrosivitetsmotstånd</b>	Marin miljö gäller för trafikutrymmet i bergtunnel.
<b>Teknisk livslängd</b>	TLK 120 gäller för bergtunnel. Anordningar och åtgärder som förhindrar inläckage av vatten och som inte är åtkomliga och utbytbara ska ha samma livslängd som det bärande huvudsystemet.

Tabell 3: Anläggningskrav avseende bygghälsa och arbetsmiljö

<b>Robusthet</b>	Konstruktion ska vara enkel att utföra och ha begränsade antal upprepande arbetsmoment.
<b>Arbetsmiljö</b>	Arbetsmiljöverkets regelverk ska uppfyllas. Giftiga gaser och hälsofarliga partiklar ska inte förekomma.

Tabell 4: Anläggningskrav avseende stadga och bärformåga

<b>Aerodynamik</b>	Utredning pågår. Det förutsätts tryck-/suglaster om 10 kPa från passerande tåg. Dimensionering för utmattning med avseende på ovanstående lufttryck ska utföras för 10 <sup>6</sup> lastcykler.
<b>Temperaturpåverkan</b>	Ska klara frostsprängning. Utredning om den lägsta temperaturen i bergtunnel pågår. Det förutsätts -20 °C.
<b>Påkörningslaster</b>	En järnvägstunnel ska även beräknas för en urspårningslast enligt SS-EN 1991-2, 6.7.1, dimensioneringssituation I. Lasternas längd ska dock begränsas till 10 m.
<b>Vatten- och islast</b>	Minimumkrav enligt TRVK Tunnel är att en dränerad vatten- och frostsäkring ska dimensioneras för ett vattentryck på 0,5 kPa. Kravet ska specificeras under detaljprojekteringen där hänsyn måste tas till aktuella förutsättningar. Vid isbildning ska islastens storlek vara 3 kN/m <sup>2</sup> . Lasten ska förutsättas vara fri och verka vinkelrätt mot konstruktionen.
<b>Brandmotstånd</b>	Brandmotstånd ska vara R60. Dimensionerande brand är under utredning. Dränmatta och membran för tunnelinklädnad ska vara svårantändliga och/eller självsluckande. Material i bärande huvudsystem, inklädnad och installation får inte bidra till spridning av brand eller brandgas. Kraven på ingående beståndsdelar och material ska specificeras under detaljprojekteringen.
<b>Explosion</b>	Fortskridande ras får inte inträffa då en inklädnad som inte är en del av det bärande huvudsystemet belastas med en explosionslast.

Tabell 5: Anläggningskrav avseende inspekterbarhet och underhåll

<b>Inspektion av bärande huvudsystem</b>	Bärande huvudsystem och inredning ska kunna inspekteras från tunnelns insida. För en konstruktionsdel som inte är åtkomlig för inspektion och underhåll ska särskild vikt läggas på utformning och dimensionering med avseende på beständighet. Såväl det bärande huvudsystemet som vatten- och frostsäkring ska vara dimensionerade för TLK 120.
<b>Behov av underhåll</b>	Behov av underhåll i form av tvättning, målning/ytbehandling, spolning av dränerande konstruktion och reparation vid eventuella skador etc. ska minimeras.

#### 4 Inventering och utvärdering av möjliga tekniska lösningar

En omfattande inventering av befintliga tekniska lösningar för vatten- och frostsäkringssystem som har byggts, testats eller är under utveckling utfördes för att hitta möjliga kandidater som är lämpliga för vatten- och frostsäkring i bergtunnlar för höghastighetsjärnväg (Chang & Shamoon, 2015b). Sammanlagt inventerades och utvärderades cirka 30 stycken olika tekniska lösningar. De möjliga tekniska lösningarna kan indelas i följande kategorier och underkategorier:

- Dräner med sprutade skyddslager
  - Selektiv dränmatta
  - Heltäckande dränmatta
  - Heltäckande dränkanal
- Solida konstruktioner/ Betonglining
- Fribärande och lätta konstruktioner
- Upphängda betongtak/sprutbetongvalv
- Sprutbara vattentäta membran
- Övriga konstruktioner

De inventerade tekniska lösningarna ställdes mot de specifika anläggningskrav vilket en höghastighetsjärnväg som Ostlänken kräver. Utvärderingen visade att de flesta av de inventerade och utvärderade tekniska lösningarna inte bedömdes kunna uppfylla de kraven. T.ex. ansågs den i trafiktunnlar mest använda vatten- och frostsäkringssystemet dräner inte kunna uppfylla tunnelmiljökraven utan omfattande insatser för underhåll- och reparationsarbeten, och uteslöts från vidare utredning.

En del av de tekniska lösningarna hade potential för att uppnå anläggningskraven, men krävde dock viss modifikation i den tekniska lösningen.

Tre lösningsförslag togs fram för vidare utredning, resterande uteslöts från fortsatt utredning:

- Lösningsförslag A – Dränerad platsgjuten betonglining
- Lösningsförslag B – Prefabricerade element
- Lösningsförslag C – Upphängt sprutat betongvalv

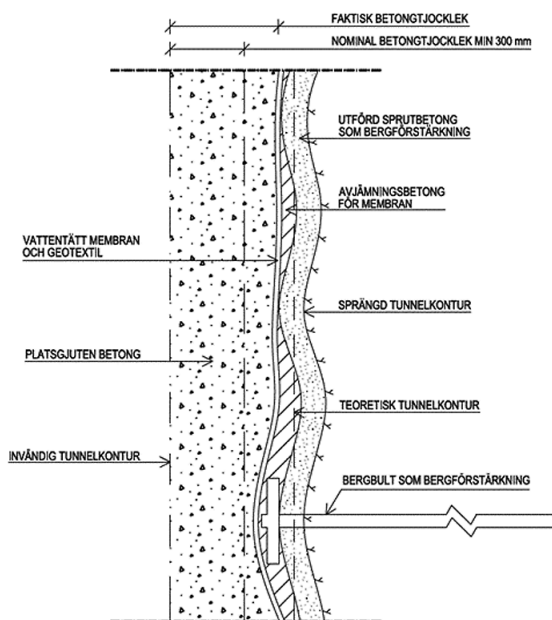
## 5 Beskrivning av lösningsförslag

### 5.1 Lösningsförslag A

Lösningsförslag A som studerades i utredningen innefattar en dränerad platsgjuten betonglining baserad på den lösning som har använts i järnvägsprojektet E6 Dovrebanen i Norge (Chang & Shamoon, 2016). Tunnelväggar utformas med en bågform i syfte att erhålla valvverkan för att minimera behovet av armering samt vara självbärande.

I utredningen förutsattes det att vatten- och frostsäkringssystemet ej ingår i det bärande huvudsystemet. Det finns dock potential för lösningsförslag A att ingå i det bärande huvudsystemet och därmed ha en besparingsmöjlighet vad gäller permanent bergförstärkning. Betongliningens uppbyggnad illustreras i Figur 1.

Tjockleken på betongliningen bedöms vara minst 300 mm. Det föreslås att betongen blandas med stålfiber, vilket minskar risker för sprickbildning i betongen under härdningsprocessen och ökar betongens långtidsbeständighet. Fibrerna har relativt låg kostnad men kan i betydande utsträckning öka systemets tillförlitlighet under den dimensionerade livslängden 120 år. Skaderisker på membran p.g.a. betongflöden med fibrer bör dock utredas vidare. För att klara brandmotståndskraven bedöms det att Polypropylene-fiber kommer att erfordras i betongliningen.



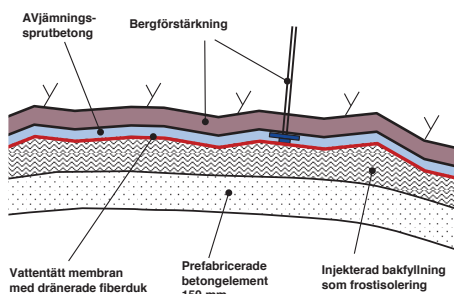
Figur 1: Uppbyggnad av lösningsförslag A - platsgjuten betonglining

## 5.2 Lösningsförslag B

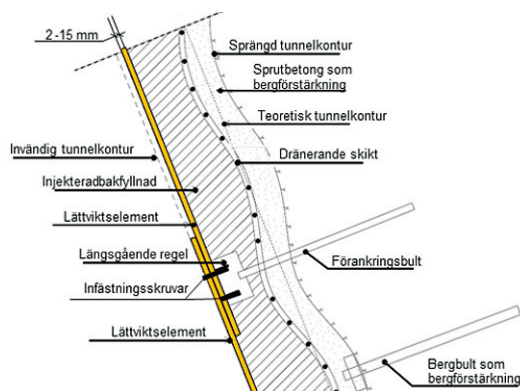
Detta lösningsförslag för vatten- och frostsäkring består huvudsakligen av prefabricerade lättvikts-element (Chang & Shamoon, 2016). Lösningen är en modifikation av liknande prefabricerade elementsystem som tillämpats tidigare, bl.a. i E6 Vinterbro - Assurtjern i Norge. Ett kännetecken för denna lösning är att mellanrummet bakom de prefabricerade elementen är fyllt med frostisolerande bakfyllnadsmaterial. För att öka konstruktionens täthet förses systemet med vattentätt membran.

Två varianter av prefabricerade element kan tillämpas:

- Prefabricerade betongelement, med en tjocklek exempelvis på 150 mm (B1). Se Figur 2.
- Prefabricerade icke-betongbaserade lättvikts-element, exempelvis Rockpanel, komposit, eller metallprofil (B2). Se Figur 3



Figur 2: Lösning för prefabricerade betongelement med injekterad bakfyllning.



Figur 3: Lösning för prefabricerade icke betongbaserade lättvikts-element med injekterad bakfyllning.

Det pågår forskning både i Sverige och internationellt kring lättviktsbetong. Preliminära forskningsresultat visar att betongens vikt kan minskas utan att betongen förlorar sin hållfasthet. Användning av sådan lättviktsbetong för vatten- och frostsäkring i bergtunnel kan innebära stora kostnadsbesparingar för transport och monteringsarbete.

De prefabricerade elementen kan även tillverkas med icke-betongbaserat material, bl.a:

- Härdad stenullskiva. Det finns befintliga produkter som är brandsäkra, vattenavvisande och har låg vikt.
- Promat-skivor. De används främst idag som brandskydd. Skivorna kan möjligen tillverkas till önskade dimensioner och former
- Aquapanel. Cement-baserade skivor vilket används som husfasadspaneler. Den är brandsäker och kan tillverkas till önskade dimensioner och former.
- Metallprofil. Det kan vara exempelvis aluminiumprofil eller stålplåt som är kallvalsad och varmförzinkad på båda sidor.

Preliminära analyser av alla dessa icke-betongbaserade element utfördes i studien och det bedöms att dessa element kan uppfylla alla anläggningskrav för vatten- och frostsäkringssystem, beträffade exempelvis bärförmåga, brandmotstånd och vattentätthet. Dessa material är dock inte testade eller beprövade för en järnvägstunnel. Speciellt är livslängden hos dessa material i en tunnelmiljö okända. Eftersom kostnaderna för material och montering av dessa element är betydligt lägre än för betongbaserade element rekommenderas fördjupad utredning och forskning.

Lösning B2 i Figur 3 är en illustration av möjlig uppbyggnad med icke-betongbaserade element som vatten- och frostsäkringssystem. Efter att tunneln är förstärkt med bultar och sprutbetong kan längs- och tvärgående regel monteras på tunnelytan. Sedan kan element monteras på regeln genom skruv eller annan anordning. Eftersom elementen är vattentäta behövs inte vattentätt membran.

För att uppnå en vattentät konstruktion är det av stor vikt att de prefabricerade elementen skarvas på ett korrekt sätt. Detta kan åstadkommas genom överlappning mellan element.

Mellanrummet bakom färdigmonterade element fylls med isolerande material. Denna konstruktion med bakfyllnad anses ha en stor fördel i och med att de monterade elementen kan, tillsammans med berget, betraktas som en enhetlig konstruktion. Detta innebär att systemet har förbättrad styvhet och bärlighet för att kunna uppfylla anläggningskraven.



En annan fördel med bakfyllnaden är att kravet på inspektion av bärande huvudsystemet kan uppfyllas i enlighet med Trafikverkets gällande föreskrifter.

Vid en eventuell detaljprojektering ska de prefabricerade elementen även dimensioneras för injekteringsstrycket för bakfyllnaden. Det är önskvärt att bakfyllnadsmaterialet har följande egenskaper:

- Vattendränerande - för att vattentrycket bakom vatten- och frostsäkringskonstruktionen ska kunna elimineras.
- Värmeisolerande - för att förhindra isbildning bakom vatten- och frostsäkringskonstruktionen.
- Låg vikt - för att bakfyllnaden inte ska utgöra stor belastning på vatten- och frostsäkringskonstruktionen.
- Bra vidhäftning mot sprutbetong.
- Bra pumpbarhet - för att underlätta fyllningsarbetet.

Tänkbara material för bakfyllnaden är skumbetong, lättbetong blandat med lecaklinker eller EPS.

Om bakfyllnadsmaterial inte kan vara vattendränerande kan ett dränerande skikt användas. Ett förslag är kanalnät av plast. Utformning av kanalnätet ska dock utvecklas för att kanalerna inte igensätts vid injektering av bakfyllnaden.

Det bedöms att monteringskapaciteten för icke-betongbaserade element är hög, eftersom installationsprocessen är robust och enkel. Dessutom behövs inga tunga plattsformer. Det uppskattas att cirka 20 m tunnelsträcka kan färdigställas under ett dygn, av ett monteringslag, räknat att det tar cirka 1 timme för installation av ett 15 m<sup>2</sup> element och 3 timmar för en hel tunnelsektion. Detta system möjliggör för fler monteringslag att arbeta samtidigt, vilket skulle kunna medföra ett betydligt snabbare genomförande.

### 5.3 Lösningförslag C

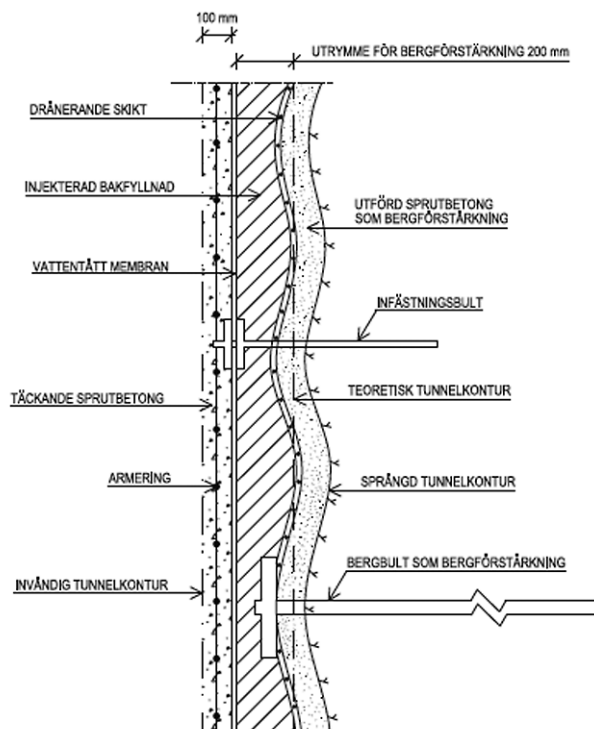
Lösningförslag C är ett betongvalv som består av vattentätt membran med ett skyddande sprutbetongsskikt på 100-150 mm, detta valv är inte självbärande utan upphängs med infästningsbultar (Chang & Shamoon, 2016).

Sådana konstruktioner har använts i projekt Norra länken och Citybanan. För projekt Förbifart Stockholm kommer ett liknande system att användas.

För projekt Ostlänken har en modifikation gjorts, det vill säga att mellanrummet bakom betongvalvet är fyllt med frostisolerande bakfyllnadsmaterial genom injektering, se Figur 4. Syftet med detta är att förbättra betongvalvets bärlighet med hjälp av

vidhäftningen mot det bärande huvudsystemet. Inspektionskrav på det bärande huvudsystemet kan också uppfyllas enligt Trafikverkets gällande föreskrifter eftersom betongvalvet har direkt kontakt med det bärande huvudsystemet.

Motsvarande krav på bakfyllnadsmaterial som för Lösningförslag B.



Figur 4: Lösningförslag C: Sprutat upphängt takvalv med vattentätt membran och skyddande sprutbetong

Utöver de dimensionerande lasterna enligt Trafikverkets föreskrifter ska sprutbetongvalvet vara dimensionerat för bl. a. injekteringstrycket för injektering av fyllningsmaterial.

Genom att hela systemet kan betraktas som en enhetlig konstruktion med hjälp av vidhäftning mellan alla lager har systemet en rad fördelar jämfört med de utförda systemen i bl. a. Norra länken och Citybanan.

## 6 Utvärdering av lösningsförslag

### 6.1 Beskrivning av utvärderingsmodell

Utvärderingsmodellen bygger på de anläggningskrav som gäller för Ostlänken. Grundidén är att utvärdera dessa lösningsförslag mot de ställda kraven.

För att utgöra en bas för jämförelser har även selektiv insprutad dränmatta inkluderats som en baslösning i utvärderingen.

Anläggningskraven som ingår i utvärderingsmodellen indelas i huvudkategorier och underkategorier, se Tabell 6.

Tabell 6: Huvudkategorier och underkategorier för anläggningskrav

Huvudkategori för anläggningskrav	Underkategorier för anläggningskrav
Funktion, tunnel- och banmiljö	<ul style="list-style-type: none"><li>• Inläckage till tunnel</li><li>• Färdig yta i trafikutrymme</li><li>• Dränerande funktion</li></ul>
Beständighet och livslängd	<ul style="list-style-type: none"><li>• Exponerings- korrosivitetsmotstånd</li><li>• Teknisk livslängd</li></ul>
Stadga och bärförmåga	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aerodynamik</li><li>• Temperaturpåverkan</li><li>• Påkörningslaster</li><li>• Vatten- och islast</li><li>• Brandmotstånd</li><li>• Explosion</li></ul>
Inspekterbarhet och underhåll	<ul style="list-style-type: none"><li>• Inspektion av det bärande huvudsystemet</li><li>• Behov av löpande underhåll</li></ul>
Byggbarhet	<ul style="list-style-type: none"><li>• Robusthet</li><li>• Byggtid</li><li>• Arbetsmiljö</li></ul>

Ett poängsystem med fyra steg, 0-3 poäng tillämpas beroende på kravuppfyllnad för föreslagna lösningar.

- 0 poäng: uppfyller inte krav
- 1 poäng: uppfyller krav måttligt
- 2 poäng: uppfyller krav bra
- 3 poäng: uppfyller krav utmärkt

Poängsystemet tillämpas i utvärderingen enligt följande steg:

- Poäng sätts för uppfyllnad av kravunderkategorierna.
- Medelvärdet av satta poäng för alla underkategorier används som värderingspoäng för kravhuvudkategorin.
- Summering av poäng på samtliga kravhuvudkategorierna anger den slutliga totalpoängen för det systemet.

## 6.2 Utvärderingsresultat

En summering av utvärderingsresultaten med avseende på anläggningskrav finns redovisade i Tabell 7.

Tabell 7: Summering av utvärderingsresultat avseende anläggningskrav. (Chang & Shamoon, 2016).

Utvärderingskriterier	Utvärderingspoäng			
	Lösning 0	Lösning A	Lösning B	Lösning C
Funktion, tunnel- och banmiljö	1.67	3.00	2.33	2.67
Beständighet och livslängd	0.50	3.00	2.28	2.28
Stadga och bärförmåga	1.83	3.00	2.83	2.83
Inspekterbarhet och underhåll	2.00	2.50	2.00	2.50
Byggbarhet	2.33	2.33	2.67	1.33
<b>Totalpoäng</b>	<b>8.33</b>	<b>13.83</b>	<b>12.11</b>	<b>11.61</b>

Resultaten visar att lösningsförslag A, dränerad platsgjuten betonglining, har högst totalpoäng för uppfyllnad av anläggningskraven medan baslösning O, selektiv insprutad dränmatta, har lägst totalpoäng för uppfyllnad av anläggningskraven.

Utvärderingsresultatet visar att lösningsförslag B och C anses kunna tillfredsställa uppfylla anläggningskraven.

## 7 LCC-analys

Kostnaderna för vatten- och frostsäkring är beroende av vilken teknisk systemlösning som väljs. I utredningen utfördes en LCC-analys för att få en objektspecifik bedömning av vilka kostnader för vatten- och frostsäkringssystem som uppstår under hela den förväntade livstiden (Mattsson & Shamoon, 2016). LCC-kostnaden innefattade del av det samlade beslutsunderlaget. Resultaten av LCC-kostnader per m tunnel med räntesats 3,5 % redovisas i tabell 8.

LCC-analysen beaktade dock inte sekundära konsekvenser, som exempelvis driftstörningar, och inte heller den ekonomiska nytta projektet eventuellt kan medföra. Detta innebär att LCC-analysen inte belyser de vinster som kan erhållas för en lösning som kräver mindre drift- och underhållsåtgärder och därmed mindre avstängningar, jämfört med en annan lösning som kräver mer avstängningar.

Tabell 8: Resultat av LCC-analys med räntesats 3,5 %. (Mattsson & Shamoon, 2016).

Kostnadspost	Lösning O Selektiv insprutad dränmatta	Lösning A Platsgjuten betonglining	Lösning B1 Prefabricerade betongelement	Lösning B2 Prefabricerade icke betongelement	Lösning C Upphängt sprutat betongvalv
Byggekostnad	31 860	85 725	91 000	54 990	79 920
Drift- och underhåll	112 090	6 675	12 340	18 780	18 780
<b>Tot. kostnad per m tunnel (120 år)</b>	<b>144 000</b>	<b>92 400</b>	<b>103 300</b>	<b>73 800</b>	<b>98 700</b>

## 8 Diskussion och slutsatser

En helhetsbedömning upplyser om att lösningsförslag A, dränerad platsgjuten betonglining, är ett alternativ att föredra jämfört med övriga lösningar.

Lösningsförslaget högst totalpoäng för uppfyllnad av anläggningskraven och anses också vara det lösningsförslag som bäst uppfyller krav avseende tunnel- och banmiljö, beständighet och bärförmåga. Lösningsförslag A har även den näst lägsta LCC-kostnaden jämfört med övriga studerade alternativ.

Baslösning O, selektiv insprutad dränmatta, har lägst totalpoäng för uppfyllnad av anläggningskraven och den högsta LCC-kostnaden. Erfarenheterna från befintliga tunnlar i Sverige visar att denna lösning också har stora tekniska brister. Denna lösning anses därför inte lämplig för projekt Ostlänken eller annan höghastighetsjärnväg.

Lösningsförslag C, upphängt sprutat betongvalv, har lägre totalpoäng än lösningsförslag A för uppfyllnad av anläggningskraven och även en högre LCC-kostnad. Det anses att byggprocessen är relativt komplicerad jämfört med de övriga lösningarna.

Lösningsförslag B1, prefabricerade betongelement, har jämfört med lösningsförslag A både en lägre totalpoäng för uppfyllnad av anläggningskraven och högre LCC-kostnader.

Icke-betongbaserat element, lösningsförslag B2, har lägre LCC-kostnader än lösningsförslag A, men något lägre totalpoäng för uppfyllnad av anläggningskraven. De tänkbara icke-betongbaserade elementen i lösningsförslag B2 har dock inte beprövats i bergtunnel som vatten- och frostsäkringssystem. Speciellt är livslängder av dessa material i en tunnelmiljö okända. Det anses dock att dessa icke-betongbaserade element har en potential för användning för järnväg- och vägtunnlar. Det krävs fördjupad utredning och forskning för eventuella framtida tillämpningar.

Utvärderingarna och analyserna utförda i denna utredning ska betraktas som preliminära. Sådana utvärderingar är synnerligen beroende på individernas bakgrund och erfarenhet. Det föreslås därför att utvärdering av de lösningsförslagen inom Ostlänken ska utföras av flera personer med olika bakgrunder för att få ett heltäckande beslutsunderlag med en bredare förankring.

Vidare pekar resultaten från föreliggande utredning att vid val av vatten- och frostsäkringssystem ska LCC endast utgöra del av det samlade beslutsunderlaget i och med att osäkerheterna är många då de studerade förslagsalternativen antingen vilar mot en relativt liten erfarenhetsbas eller bygger på delvis nya oprövade koncept.

## **Referenser**

Chang, Y. & Shamoan, H., 2015a. PM Utredning om anläggningskrav för vatten- och frostsäkring i bergtunnlar. Systemhandling, doknr: OLP0-17-025-40000-0\_0-0003. Projekt Ostlänken. Trafikverket.

Chang, Y. & Shamoan, H., 2015b. PM Inventering och utvärdering av möjliga tekniska lösningar för vatten- och frostsäkring i bergtunnlar. Systemhandling, doknr: OLP0-17-025-40000-0\_0-0004. Projekt Ostlänken. Trafikverket.

Chang, Y. & Shamoan, H., 2016. PM Systemval vatten- och frostsäkring i bergtunnlar. Systemhandling, doknr: OLP0-17-025-40500-0\_0-0002. Projekt Ostlänken. Trafikverket.

Mattsson, H.K. & Shamoan, H., 2016. LCC-analys, Systemval vatten- och frostsäkring i bergtunnlar. Systemhandling, doknr: OLP0-17-025-40500-0\_0-0004. Projekt Ostlänken. Trafikverket.