

# Injekteringssimulator Inlabb™

Ett virtuellt verktyg för praktisk utbildning



Eric Odkrans och Tommy Ellison

2017-08-15

**SBUF stödjer**  
forskning & utveckling

**som leder till**  
praktisk handling

# FÖRORD

Projektet Injekteringssimulatore Inlabb™ har drivits av projektgruppen bestående av Eric Odkrans, Christopher Hedvall, Tommy Ellison och Johan Ankner. Författarna till denna rapport är Eric Odkrans och Tommy Ellison.

Projektgruppen vill tacka Johan Funehag som har varit kursledare under injekteringsutbildningarna som har varit centrala i detta projekt. Gruppen vill även tacka Almir Draganovic som har ansvarat för laborationer tillsammans Pernilla Amsköld under kursen. Ett stort tack till Pernilla Amsköld och SIKA Sverige AB som även bistått med tid, lokaler och material för att utföra kurserna.

Vi tackar SBUF för ekonomiskt stöd som gjorde detta projekt möjligt.

# SAMMANFATTNING

Berginjektering är en process där man tätar berg vid t.ex. tunnelbyggnation för att undvika vattenläckage. Anledning till att man vill undvika att läckaget förkortar tunnelns beständighet och ökar underhållskostnader. Det kan även dränera kringliggande vattendrag eller grundvatten.

Svensk forskning på området berginjektering har under de senaste decennierna varit mycket framgångsrik och många anser att svensk injekteringsteknik är bland de ledande i världen.

Detta projekt avsåg att vidareutveckla och testa injekteringssimulatorens Inlabb™, som utvecklats av bolaget Edvirt AB. Vidareutvecklingen avsåg främst att få simulatorens att bli ett pedagogiskt utbildningsverktyg som skulle kunna användas för att öka förståelse för berginjektering för att på sikt bidra till ett signifikant bättre resursanvändande vid injektering, samt uppnå högre säkerhet vid och efter tunnelbyggnation. Projektet hade även i syfte att skapa en utbildningskurs som innefattar teori och simulatorpraktik med injekteringssimulatorens.

Projektets genomfördes i olika etapper där de största stegen var (1) förstudiearbete, (2) mjukvaruutvecklingsarbete och (3) utveckling och genomförande av utbildningskurser.

Resultatet från projektet har varit positivt då man har uppfyllt sina mål. Rent konkret så har projektgruppen lyckats med utvecklingsarbete som bland annat innehöll anpassning av mjukvaran för att kunna användas på utbildningskurser. Projektgruppen skapade även en kurs, baserat på Stiftelsen bergteknisk forsknings (BEFO) gamla injekteringskurs, som blev certifierad av Trafikverket. Projektet har även innehållit rent praktiskt genomförande av fyra kurser som var välbesökta. Dessa kurser, innehållande simulatorövningar, skulle även kunna erbjudas till olika aktörer utomlands för att sprida svensk kunskap inom injekteringsområdet.

Projektgruppen anser att projektet "Injekteringssimulator Inlabb™" har varit väldigt lyckat.

# INNEHÅLL

|                                  |          |
|----------------------------------|----------|
| <b>FÖRORD</b> .....              | <b>1</b> |
| <b>SAMMANFATTNING</b> .....      | <b>2</b> |
| <b>INNEHÅLL</b> .....            | <b>3</b> |
| <b>BAKGRUND</b> .....            | <b>4</b> |
| <b>SYFTE</b> .....               | <b>4</b> |
| <b>METODIK</b> .....             | <b>4</b> |
| <b>AKTIVITETER OCH MÅL</b> ..... | <b>5</b> |
| <b>RESULTAT</b> .....            | <b>6</b> |
| FÖRELÄSNINGAR.....               | 6        |
| LABORATIONER .....               | 7        |
| SIMULATORÖVNINGAR .....          | 7        |
| TEORIPROV .....                  | 8        |
| DELTAGARENKÄTER .....            | 8        |
| <b>SLUTSATSER</b> .....          | <b>9</b> |

# BAKGRUND

När tunnlar och bergrum byggs förändras grundvattenförhållanden som kan ha varit nästan helt statiska i hundratals miljoner år vilket kan resultera i grundvattensänkning som kan ge sättningsskador i ovanliggande jordlager och skador på byggnadsverk. Tidigare stillastående grundvatten kan bli mer rörligt, och resultera i förändrad grundvattenkemi genom urlakning av mineraler i bergmassan, eller i värsta fall förorsaka spridning av gifter från äldre deponier samt från använda injekteringsmedel. Inläckage av vatten i tunnlar och bergrum förkortar även beständighet och ökar underhållskostnader.

Svensk forskning på området berginjektering har under de senaste decennierna varit mycket framgångsrik och många anser att svensk injekteringsteknik är bland de ledande i världen. Ett stort antal forskningsprojekt har ökat förståelsen på flera områden: (i) Grundvattenströmning och förändringar efter berguttag (hydrogeologi), (ii) Sprickgeometri och sprickviddsfördelning, (iii) Mekanismer som styr fyllning av spalter med injekteringsbruk, (iv) Egenskaper hos cementbruk, (v) alternativa injekteringsmedel och dess användningsområden, samt (vi) Injekteringsmetodik.

Detta projekt avsåg att vidareutveckla och testa injekteringssimulatorens Inlabb™, som utvecklats av bolaget Edvirt AB. Vidareutvecklingen avsåg främst att få simulatorens att bli ett pedagogiskt utbildningsverktyg som skulle kunna användas för att öka förståelse för berginjektering för att på sikt bidra till ett signifikant bättre resursanvändande vid injektering, samt uppnå högre säkerhet vid och efter tunnelbyggnation. För att kunna testa simulatorens som utbildningsverktyg gick även projektet ut på att anordna utbildningar inom berginjektering, där simulatorens skulle vara en väsentlig del av kursprogrammet.

## SYFTE

Projektet syftar till att

- 1) Tekniskt vidareutveckla visualiseringsverktyget/mjukvaran för verklighetsbaserade träningsscenarion, samt
- 2) Utveckla en utbildningskurs som innefattar teori och simulatorpraktik.

## METODIK

Projektet har innefattat en förstudie, mjukvaruutveckling, administrativ utformning av utbildningskurs, samt praktiskt genomförande av kurs som innehöll teoretisk genomgång, praktiska laborationer och virtuell träning med simulator.

Projektgruppen har bestått av olika mindre grupper som har delegerats arbete. Christopher Hedvall ansvarade för förstudiearbetet. Johan Ankner har helt ansvarat för mjukvaruutvecklingsarbetet där Johan rent konkret har programmerat simulatorens och skapat träningsscenarion. Christopher Hedvall och Eric Odkrans har tillsammans arbetat med att utforma utbildningskursen, samt få den certifierad av Trafikverket. Vid genomförandet av kurserna har Johan Funehag varit ledande och projektgruppen har även tagit hjälp av Pernilla Amsköld och Almir Draganovic som har ansvarat för olika moment på kursen.

# AKTIVITETER OCH MÅL

Nedan följer aktiviteter under projektet samt mål för dessa.

| Fas   | Beskrivning av aktiviteter och mål   | Tid                    |
|---|--|------------------------|
| <b>Steg 1:</b><br>Förstudiearbete /<br>Nulägesanalys.                                     | Fördjupad analys av: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Prioriterade industriella applikationer.</b> För att säkerställa branschrelevant vidareutveckling av mjukvaran. Detta skedde genom dialog med företag i Sverige, Finland, Australien och Schweiz.</li> <li>• <b>Tekniska förutsättningar</b><br/>Användande av mjukvaran för utformning av injekteringsdesign samt mängdberäkning (tidsåtgång, bormeter samt volym injekteringsmedel). Detta skedde genom att Inlab testades i pilot-projekt för Västlänken-projektet.</li> </ul> | Juni – Nov<br>2016     |
| <b>Steg 2 A:</b><br>Utvecklingsarbete<br>mjukvara/algoritmer och<br>matematiska modeller; | Utveckling av matematiska modeller samt utveckling av mjukvaran utifrån dels forskningsresultat samt utifrån input från de industriella partners. Detta steg innefattar utveckling av följande: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vidareutveckling av beräkningskapacitet för tidsåtgång och antal bormeter vid mängdberäkning.</li> <li>• Utveckling av ett nytt verktyg för optimering av borrhålsgeometrier.</li> <li>• Utveckling av kompatibilitet mot CAD-filer.</li> </ul>   | Aug 2016 –<br>Nov 2017 |
| <b>Steg 2 B:</b><br>Utveckling<br>användargränssnitt +<br>virtuell utbildningsmiljö       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Programmering virtuella utbildningsscenarion.</li> <li>• Utveckling av nytt gränssnitt för bl.a. hantering av scenarier.</li> </ul>   | Aug 2016 -<br>Jan 2017 |
| <b>Steg 2 C:</b><br>Utveckling<br>utbildningstjänst.                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utveckling av kursprogram, föreläsningmoment och interaktiva moment.</li> <li>• Vidareutveckling av interaktiva delar och utbildningsmoment inom Inlab.</li> </ul>  | Aug 2016-<br>Jan 2017  |
| <b>Steg 3:</b><br>Genomförande av<br>simulatorstödd<br>injekteringskurs.                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Genomförandet av simulatorstödda injekteringskurser för branschaktörer inom ramen för Trafikverkets certifieringskurser för Förbifart Stockholm.</li> </ul>   | Jan 2017 –<br>Maj 2017 |

# RESULTAT

Projektgruppen kunde själva se att man uppnått goda resultat under den första delen av projektet som bestod av förstudier och vidareutveckling av mjukvaran, då man utifrån projektplanen hade utfört det man skulle. Dock var det inte förrän man faktiskt genomförde utbildningskurserna som man kunde få en objektiv syn på resultatet.

Från januari till maj 2017 genomfördes fyra utbildningskurser. Under dessa deltog 13 olika företag och 67 anställda från dessa företag. Deltagarna på kursen representerade både utförande entreprenörer, konsulter och byggledare från Trafikverket.

Varje kurstillfälle pågick i 23 timmar, fördelat på tre dagar. Utbildningar har utformats efter Trafikverkets utbildningsplan för certifieringskurser som leder till certifieringen ”Berginjektering inom Trafikverket”. Denna utbildningsplan har stora likheter med utbildningsplanen för injekteringsutbildningarna som genomfördes i Stiftelsen bergteknisk forsknings (BEFO) regi under 2014 och 2015.

Timmarna under utbildningskurserna fördelades enligt följande:

- Föreläsning, 13 tim
- Laborationer, 6 tim
- Simulatorövningar, 3 tim
- Teoriprov, 1 tim

## FÖRELÄSNINGAR

Under utbildningskursen så blandades föreläsningar med kursuppgifter och grupparbeten för att skapa bättre pedagogik.

Då utbildningskursen i grunden baserades på BEFOs injekteringsutbildning så tog projektgruppen hjälp av föreläsaren från de kurserna, Johan Funehag, för att ta fram föreläsningsmaterial. Johan Funehag var även ansvarig kursledare. Hans material kombinerades sedan med material från projektgruppen. Almir Draganovic från Kungliga tekniska högskolan bidrog även med material.



*Bild 1: Foto från föreläsning.*

## LABORATIONER

Under laborationerna så delades kursdeltagarna upp i grupper som fick genomföra olika former av tester och laborationer, såsom t.ex.

- Blanda cementsuspensioner
- Blanda Silica Sol
- Göra kopptest för kontroll av tillstyvnad
- Mäta temperatur på bruk
- Göra separationstest för att kontrollera sammanhållning på bruk
- Mäta densitet på injekteringsbruk
- Mäta flytgräns på injekteringsbruk

Efter laborationerna fick grupperna redovisa sina resultat i helklass.



*Bild 1: Foto från laborationer.*

## SIMULATORÖVNINGAR

Under simulatorövningarna delades kursdeltagarna upp i grupper om två personer. Grupperna fick sedan gå igenom träningsscenarios i mjukvaran. Projektet hade mynnat ut i utveckling av 15 scenarios, varan deltagarna hann gå igenom 7-10 stycken.

Scenarierna handlade om att, i mjukvaran, simulera en tunnel med sprickor och sedan täta sprickorna enligt uppsatta kriterier. Scenarierna skiljde sig både i tunneldesign och sprickor, men även i kriterier. Kriterierna blev svårare att uppnå ju fler scenarier gruppdeltagarna klarade av. Med andra ord var scenario nummer ett enklast och nummer 15 svårast.

Kriterierna handlade om att ställa in t.ex. pumptryck, bruksegenskaper, borrhålsgeometri och tid. Genom att deltagarna fick laborera med dessa faktorer hoppades projektgruppen att de skulle få bättre förståelse för dynamiken mellan faktorerna och i slutändan vad som kan påverka injekteringsresultatet.



## TEORIPROV

Utbildningskursen togs fram i linje med Trafikverket certifiering för injekteringsoperatörer; ”Berginjektering inom Trafikverket”. Då det är Trafikverket som ger ut certifieringen så var det naturligt att de hade kravställt att de skulle genomföra teoriprov efter utbildningskursen. Med andra ord testade Trafikverket att kursen levde upp till deras utbildningsplan, samt att deltagarna hade erhållit efterfrågad kunskap.

Provet bestod av 30 flervalsfrågor, varav Trafikverket krävde att 20 skulle vara rätt för att deltagaren skulle kunna erhålla certifieringen.

## DELTAGARENKÄTER

Efter varje kurs genomförde projektgruppen en deltagarenkät för att få respons från deltagarna kring kursens förbättringsområden. Denna enkät användes även för att objektivt mäta delresultat för detta projekt. Ett av projektmålet var att ”utveckla en utbildningskurs som innefattar teori och simulatorpraktik”, vilket är lätt att mäta. Projektgruppen vill dock veta om man hade lyckats att utveckla en kurs, innehållande simulatorpraktik, som deltagarna tyckte var givande.

I enkäten ställdes olika frågor med antingen öppna svar med alternativ eller påståenden med målet att deltagaren skulle vikta om den höll med om påståendet.

Bilderna nedan visar de frågor som är relevanta för projektmålet och lämpliga att redovisa, samt vilka svar deltagarna gav:

|  |   |    |   |            |
|--|---|----|---|------------|
| <b>Hur var kursuppgiften med simulatorn?</b> |   |    |   |            |
| 1  | 2 | 3  | 4 | 5          |
| Dålig  |   | Ok |   | Mycket bra |
| <b>Kommentar:</b>                            |   |    |   |            |
| <hr/>  |   |    |   |            |
| <hr/>  |   |    |   |            |

*Bild 3: Fråga på deltagarenkät*

Enkäterna visade att deltagaren i snitt gav betyget 3,49 gällande frågan ”Hur var kursuppgiften med simulatorn?”. Med andra ord tyckte de i snitt att den var lite bättre än ”Ok”.

**Hur skulle du vilja fördela tiden mellan de olika momenten på kursen?**

Simulatorövningar  
 Mindre tid  Lagom som det är  Mer tid

Föreläsningar  
 Mindre tid  Lagom som det är  Mer tid

Laborationer  
 Mindre tid  Lagom som det är  Mer tid

**Vad är ditt helhetsintryck- hur var kursen?**

1            2            3            4            5  
 Dålig            Ok            Mycket bra

**Skulle du rekommendera kursen till en kollega?**

Ja  Nej

Bild 4: Frågor på deltagarenkät

Enkäterna visade att endast 7 % av deltagarna ville ha mindre tid för simulatorövningar i kursen. 64 % tyckte det var lagom med tid och 29 % ville ha mer tid. De visade att 20 % av deltagarna ville ha mindre tid för föreläsningar före i kursen. 65 % tyckte det var lagom med tid och 15 % ville ha mer tid. Enkäterna visade även att endast 7 % av deltagarna ville ha mindre tid för laborationer i kursen. 75 % tyckte det var lagom med tid och 18 % ville ha mer tid.

Enkäterna visade att deltagaren i snitt gav betyget 3,43 gällande frågan ”Vad är ditt helhetsintryck- hur var kursen?”. Med andra ord tyckte de i snitt att den var lite bättre än ”Ok”.

Gällande den sista frågan, så såg projektgruppen att det är den frågan som verkligen avgjorde om deltagarna ansåg att kursen var givande. Tyvärr ställdes inte frågan på den första utbildningskursen, men på de tre resterande svarade 90 % av deltagarna ”Ja” och 10 % ”Nej” gällande om de skulle rekommenderade kursen till en kollega.

## SLUTSATSER

Projektet har lett till att den utbildningskurs har skapats som uppfyller kraven ställda av Trafikverket och deras certifiering ”Berginjektering inom Trafikverket”. Utöver det kravställda innehållet så innehåller kursen även helt unika interaktiva simulatorövningar. Mjukvaran Inlabb™ har utvecklats till ett program som kan användas för att ta fram injekteringsdesign, men nu också som verktyg vid utbildningar. Kursen har besökts av hela 67 deltagare under våren 2017. Detta är en hög siffra då berginjektering är ett specialområde inom bygg och anläggningsbranschen. Dessa deltagare gav kursen ett bra helhetsbetyg och hela 90 % skulle rekommendera kursen till en kollega.

Utbildningskursen som togs fram är nu godkänd enligt standard i Sverige. Projektgruppen tror dock att det finns ett stort intresse internationellt för att etablera kursen eller delar av dess innehåll i olika länder. Om så blir fallet, kan projektet medföra att svensk kunskap och forskning sprids både genom utbildningar, men även genom användande av mjukvaran Inlabb™.

Projektgruppen anser att projektet ”Injekteringssimulator Inlabb™” har varit väldigt lyckat.