



Let's connect



# Injektion

Let's connect



# Introduktion till injektering vid tunneldrivning i berg

Injektering i bergstunnlar har i första hand två syften:

- Kontroll av grundvatteninträngning
- Förbättring av bergmassaegenskaper och tunnelstabilitet

Det första syftet är helt klart dominerande med fokus på att undvika att för mycket vatten tränger in och skapar svåra arbetsförhållanden inne i tunneln. Alternativt att inträngningen måste vara betydligt begränsad för att förhindra skador på ytan, i och med bosättningar, eller miljöskador så som förlust av vattenresurser. Den förbättrade stabiliteten blir i oavsett fall en ytterligare och positiv bieffekt av injektering för grundvattenkontroll.

Tryckgjutning i berg utförs genom att borra hål med lämplig diameter, avstånd, längd och riktning för att sedan placera packers ungefär 2–3 m in i borrhålen. Packers har en expander i änden som ger ett trycktätt block mot borrhålets bergvägg, vilket gör att injekteringsbruk kan trycksättas och pressas in i sprickor samt kanaler, i den omgivande bergmassan.

Vid tunnelgjutning finns det två huvudsakliga metoder att överväga:

- Förinjektering (Pre-excitation Grouting, PEG) innebär att borrhålen borrar framåt innan tunnelytan (stuffen) når ny mark. Cementbaserat bruk injekteras (oftast) och får stelna, innan tunneln når den behandlade bergvolymen. PEG kan alternativt utföras från ytan.

- Efterinjektering (Post-grouting, PG) inkluderar samma grundläggande steg, men sker längs redan utgrävda områden i tunneln. Var medveten om att det vid borrar och injektering genom tunnelytan ibland sker ett tillbakaflöde av en stor del av det redan pumpade injekteringsbruket genom anslutna läckagepunkter från ytan eller från andra håll. När det gäller nödvändiga praktiska steg och slutresultat kan den här situationen bäst klassificeras som PG.

Tryckinjektering i tunnlar har funnits i mer än 70 år, med en snabb utveckling framförallt under de senaste 30–40 åren. Framgångsrika exempel täcker nu ett brett spektrum av bergarter och gentemot hydrostatisk grundvattentryck på upp till 85 bar, samt stadstunnlar med vattenhöjd i intervallet 1 till 4 bar. Den maximalt tillåtna vatteninträngningen beror på lokala krav och de flesta projekt kommer att visa gränser i intervallet "droppfritt". (T.ex. 1–3 l/min/100 m tunnel till 40 l/min/100 m).

Om det anges en strikt maximalt tillåten vatteninträngning är det inte rekommenderat att försöka uppnå resultat endast med PG. Fokus bör ligga på att uppfylla kraven med PEG för att kunna uppnå resultat med lägsta möjliga tid och kostnad.

En mer ingående beskrivning av injektering ges i publikationen "Rock mass grouting" av [Norska tunneldrivningssällskapet](#) NFF.



## Pretec injektering

Det finns många typer av packers som används till bergsinjektering och det kan vara förvirrande att veta den exakta innebörden av de uttryck som används. De olika typer av packers som presenteras i den här katalogen är alla mekaniska (till skillnad från pneumatiska eller uppblåsbara packers).

I den här publikationen beskrivs olika delar av en packer och de injekteringsverktyg som används, tillsammans med några praktiska aspekter för val av packer och användning.



Pretecs injekteringsverktyg med monterad gummipacker, redo att föras in i borrhålet.

## Systemkomponenter

1. Packer är gummidelen med en ytterdiameter något mindre än borrhålsdiametern. Den kan föras in till det bestämda djupet och sedan expanderas mot borrhålets bergvägg. Låsbrickorna glider endast framåt på packningsröret under expansion, vilket tillåter borttagning av injekteringsverktyget samtidigt som expansionskraften på packern bibehålls.
2. Injekteringsverktyget är ett dubbelväggigt injekteringsrör. Verktögets innerrör är anslutet till den bakre änden av packern och till injekteringsslangen från injekteringspumpen. Syftet med injekteringsverktyget är att transportera injekteringsbruk under tryck genom packern in i det förseglade borrhålet framför packern. Verktögets yttre rör ansluter till packerns låsbrickor och tillåter komprimering av gummit genom att trycka det yttre röret framåt, i förhållande till innerröret, vilket orsakar kompression av packern och expansion av gummit.
3. Åtdragningsmuttern kan vridas på innerrörets utvändiga gängor för att komprimera packern och expandera gummit.
4. Anslutningsenhet för injekteringsslangen, med snabbkoppling och ventil för att öppna eller stänga flödet av injekteringsbruk.
5. Säkerhetskrok för fastsättning av injekteringsverktyget mot bergvägg.

Presenteras utan ansvar för eventuella fel

## Injekteringsutrustning

Att presentera en komplett lista över injekteringstillverkare och deras olika produkter ligger utanför den här katalogens ramar. Det är ett stort ämne på grund av den enorma variationen i projektkrav, arbetsstrategier, tidsscheman etc. Nedan följer en kort sammanfattning av olika typer av utrustning som behövs för injektering av bergmassa.

### Blandare för cementbruk

Dessa blandare kallas oftast för "kolloidala blandare", som mer korrekt borde kallas för "blandare med hög skjuvning eller hög turbulens". Att välja en högkvalitativ blandare är viktigt för bästa möjliga partikelfördelning och för fogmassans förmåga att penetrera. Rotationshastigheten är vanligtvis 1500 rpm. Någon form av långsamt roterande paddelblandare är inte acceptabel, vilket är väl demonstrerat vid kontroll av blandningens blödning.

### Uppehållstank / omrörare

Blandning av en vanlig sats cementbruk tar cirka 3 minuter. För att undvika att satsen värms upp på grund av hög blandningsenergi måste satsen omedelbart överföras till lagringstanken, som i sin tur kommer att hålla flera satser från blandaren. Kontinuerligt långsamtgående paddlar kommer att hålla injekteringsbruket "fräscht" och förhindra att bruket härdar eller får ökad viskositet.



Figur 1: Modern insprutningsrigg och lastbil ihopmonterad för lagring av fogmassa. Med tillstånd av AMV Norge.

### Injektionspumpar

I skandinavisk praxis används endast kolv- eller kolvpumpar för tunnelgjutning. De är elektrohydrauliska med en maximal tryckkapacitet på 100 bar. Det mesta av injekteringen utförs från några bar och upp till 50 till 80 bar enligt projektets krav.

### Moderna injekteringssystem med hög kapacitet

Eftersom volymen av PEG i tunnlar har ökat i och med många långa undervattensvägtunnlar samt långa stadstunnlar, som kräver i princip droppfri tunnelförflyttning, kan moderna enheter idag ha 4 pumpar som möjliggör samtidig injektering av 4 hål. För att underhålla de 4 pumparna finns det minst 2 blandare och lagringstankar. Cement levereras i stora säckar eller i bulk och ett sofistikerat digitalt system hjälper till i blandningsprocessen samt för att logga alla injekteringsparametrar och den mängd som pumpas in i enskilda borrhål.

Vidare bör det finnas doseringsmöjligheter för tillsats av accelerator, för modifiering av viskositet samt geltid för cementbruket. Doseringspumpen måste kopplas till cementpumpen så att önskad dosprocent förblir konstant i de fall cementpumpens utgång ändras. Det nämnda doseringssystemet tillåter tvåkomponentpumpning av Kolloidal Kiseldioxid (CS) med hjälp av cementinjekteringsutrustningen, vilket möjliggör justering av geltiden under pumpning. Dessutom måste injekteringsslangen från pump till packer, nödvändiga kopplingar, manometrar och ventiler vara tryckklassade för säker drift.

Presenteras utan ansvar för eventuella fel

## Pretec injektering

Det finns många typer av packers som används till bergsinjektering och det kan vara förvirrande att veta den exakta innebörden av de uttryck som används. De olika typer av packers som presenteras i den här katalogen är alla mekaniska (till skillnad från pneumatiska eller uppblåsbara packers).

I den här publikationen beskrivs olika delar av en packer och de injekteringsverktyg som används, tillsammans med några praktiska aspekter för val av packer och användning.

1. Packer



2. Injekteringsverktyg

Pretecs injekteringsverktyg med monterad gummipacker, redo att föras in i borrhålet.

5. Säkerhetskrok



4. Anslutning

3. Åtdragningsmutter

## Systemkomponenter

1. Packer är gummidelen med en ytterdiameter något mindre än borrhålsdiametern. Den kan föras in till det bestämda djupet och sedan expanderas mot borrhålets bergvägg. Låsbrickorna glider endast framåt på packningsröret under expansion, vilket tillåter borttagning av injekteringsverktyget samtidigt som expansionskraften på packern bibehålls.
2. Injekteringsverktyget är ett dubbelväggigt injekteringsrör. Verktygets innerrör är anslutet till den bakre änden av packern och till injekteringsslangen från injekteringspumpen. Syftet med injekteringsverktyget är att transportera injekteringsbruk under tryck genom packern in i det förseglade borrhålet framför packern. Verktygets yttre rör ansluter till packerns låsbrickor och tillåter komprimering av gummit genom att trycka det yttre röret framåt, i förhållande till innerröret, vilket orsakar kompression av packern och expansion av gummit.
3. Åtdragningsmuttern kan vridas på innerrörets utvändiga gängor för att komprimera packern och expandera gummit.
4. Anslutningsenhet för injekteringsslangen, med snabbkoppling och ventil för att öppna eller stänga flödet av injekteringsbruk.
5. Säkerhetskrok för fastsättning av injekteringsverktyget mot bergvägg.

Presenteras utan ansvar för eventuella fel

## Injekteringsutrustning

Att presentera en komplett lista över injekteringstillverkare och deras olika produkter ligger utanför den här katalogens ramar. Det är ett stort ämne på grund av den enorma variationen i projektkrav, arbetsstrategier, tidsscheman etc. Nedan följer en kort sammanfattning av olika typer av utrustning som behövs för injektering av bergmassa.

### Blandare för cementbruk

Dessa blandare kallas oftast för "kolloidala blandare", som mer korrekt borde kallas för "blandare med hög skjuvning eller hög turbulens". Att välja en högkvalitativ blandare är viktigt för bästa möjliga partikelfördelning och för fogmassans förmåga att penetrera. Rotationshastigheten är vanligtvis 1500 rpm. Någon form av långsamt roterande paddelblandare är inte acceptabel, vilket är väl demonstrerat vid kontroll av blandningens blödning.

### Upphållstank / omrörare

Blandning av en vanlig sats cementbruk tar cirka 3 minuter. För att undvika att satsen värms upp på grund av hög blandningsenergi måste satsen omedelbart överföras till lagringstanken, som i sin tur kommer att hålla flera satser från blandaren. Kontinuerligt långsamtgående paddlar kommer att hålla injekteringsbruket "fräscht" och förhindra att bruket härdar eller får ökad viskositet.



Figur 1: Modern insprutningsrigg och lastbil ihopmonterad för lagring av fogmassa. Med tillstånd av AMV Norge.

### Injektionspumpar

I skandinavisk praxis används endast kolv- eller kolvpumpar för tunnelgjutning. De är elektrohydrauliska med en maximal tryckkapacitet på 100 bar. Det mesta av injekteringen utförs från några bar och upp till 50 till 80 bar enligt projektets krav.

### Moderna injekteringssystem med hög kapacitet

Eftersom volymen av PEG i tunnlar har ökat i och med många långa undervattensvägtunnlar samt långa stadstunnlar, som kräver i princip droppfri tunnelförflyttning, kan moderna enheter idag ha 4 pumpar som möjliggör samtidig injektering av 4 hål. För att underhålla de 4 pumparna finns det minst 2 blandare och lagringstankar. Cement levereras i stora säckar eller i bulk och ett sofistikerat digitalt system hjälper till i blandningsprocessen samt för att logga alla injekteringsparametrar och den mängd som pumpas in i enskilda borrhål.

Vidare bör det finnas doseringsmöjligheter för tillsats av accelerator, för modifiering av viskositet samt geltid för cementbruket. Doseringspumpen måste kopplas till cementpumpen så att önskad dosprocent förblir konstant i de fall cementpumpens utgång ändras. Det nämnda doseringssystemet tillåter tvåkomponentpumpning av Kolloidal Kiseldioxid (CS) med hjälp av cementinjekteringsutrustningen, vilket möjliggör justering av geltiden under pumpning. Dessutom måste injekteringsslangen från pump till packer, nödvändiga kopplingar, manometrar och ventiler vara tryckklassade för säker drift.

Presenteras utan ansvar för eventuella fel



## Pretec Engångspackers

Pretec injekteringspackers finns för engångs- eller flergångsbruk. Injekteringsverktyget har två olika kopplingsenheter beroende på insprutningstryck och flödes hastighet. Standardlängden på injekteringsverktyget är 0,5-6m.

### Engångspackers

Alla Pretec engångspackers (PSU) har två specialfunktioner:

1. Glidande låsbrickor som permanent håller gummit expanderat, även när åtdragningsmuttern släpps och injekteringsröret tas bort.
2. Envägsbackventil som öppnar för pumpning av injekteringsbruk i borrhålet, men stänger mot returflöde när injekteringsbrukstrycket på tunnelsidan blir lägre än trycket i borrhålet.

Dessa två funktioner tillåter omedelbar bortkoppling av pumpslangen och borttagning av injekteringsverktyget, vilket lämnar packern expanderad i hålet, samtidigt som trycket bibehålls för att injekteringsbruket ska stelna. Injekteringsverktyget som innehåller färskt och mjukt injekteringsbruk kan enkelt rengöras och återanvändas.

PSU-packern finns med två olika backventiler. Koniskt kryss-snitt (typ P) för högt flöde och högt tryck (HP), eller backventilen (typ PX) för bättre kontroll vid lägre flöde och lägre injekteringstryck (LP).



PSU packer typ P



PSU packer typ PX

De två packerversionerna är identiska i alla avseenden utöver backventilen. Det finns ingen definierad trycknivå över eller under vilken HP- eller LP-version som måste användas. I allmänhet är det preferenser som anges ovan av HP eller LP, men lokala tester och erfarenheter bör avgöra det slutliga valet.



Låsbrickor  
PSU packer

Gummilängden på packern är 140mm och rekommenderat minsta kraft i vridmomentet som ska appliceras på åtdragningsmuttern är 100-120Nm, för att ge god förankring i borrhålet och för att förhindra läckage mellan vägg i borrhål och packer.

## Pretec Flergångspacker

Pretec flergångspacker (PMU) har samma gummilängd som PSU-packern men saknar returventil och låsringar. Det innebär att en helt expanderad packer kan släppas och avlägsnas från borrhålet genom att släppa på åtdragningsmuttern, vilket låter gummit gå tillbaka till sin ursprungliga form. PMU-packern finns i samma dimensioner som PSU-packern.

Vid injekteringsprocedurer krävs det normalt att vatten som tränger in från sond- eller injekteringshål mäts och registreras. PMU-packern som samlar upp allt vatten från hålet används ofta för det här ändamålet eftersom packern gör det möjligt att noggrant mäta flödet.



Vid ett pumpstopp måste ventilen på anslutningsenheten stängas innan injekteringsslangen kopplas bort. Injekteringsröret med PMU-packern kan inte tas bort från borrhålet förens det injicerade injekteringsbruket har utvecklat tillräckligt med styvhet för att hålla kvar grundvattnets tryck utan stöd från packern. Det krävs noggrann hantering av packerns borttagningstid för att kunna rengöra injekteringsverktyget och packern. Ett för tidigt avlägsnande av packern kommer att orsaka återflöde av injekteringsbruk och vatten.

PMU-packern kan återanvändas flera gånger, förutsatt att korrekt rengöring av enheten och smörjning av gängade och rörliga delar utförs.

| Packertyp               | Borrdiameter (mm) | Rekommenderad borrhålsdiameter (mm) | Färgkod |
|-------------------------|-------------------|-------------------------------------|---------|
| PSU-P / PSU-PX / PMU 45 | 45                | 44-47                               | Röd     |
| PSU-P / PSU-PX / PMU 48 | 48                | 47-50                               | Vit     |
| PSU-P / PSU-PX / PMU 51 | 51                | 50-53                               | Rosa    |
| PSU-P / PSU-PX / PMU 54 | 54                | 53-56                               | Gul     |
| PSU-P / PSU-PX / PMU 57 | 57                | 56-59                               | Blå     |
| PSU-P / PSU-PX / PMU 60 | 60                | 58-62                               | Orange  |
| PSU-P / PSU-PX / PMU 63 | 63                | 61-65                               | Grön    |

Standarddimensioner för injekteringspackers

Presenteras utan ansvar för eventuella fel

Presenteras utan ansvar för eventuella fel



## Injekteringsverktyg och anslutning

Pretec injekteringsverktyg kan användas både för Pretec engångspacker (PSU) och Pretec flergångspacker (PMU). Beroende på det avsedda placeringsdjupet för packern i borrhålet, finns injekteringsverktygen tillgängliga i standardlängder från 0,5 till 6 m. Injektionsröret på injekteringsverktyget är konstruerat för max 100 bar injekteringstryck.

### Anslutning

Anslutningen består av en anslutningskoppling för injekteringsslang och en ventil för att kunna styra injekteringsbruksflödet.

Det finns två olika sammansättningar tillgängliga. Användaren måste göra ett medvetet val beroende på vilket maximalt injekteringstryck som är tillåtet:

- **Högtrycksanslutning (HP):** Max 100 bar arbetstryck. Alla komponenter i packersenheten kan användas vid 100 bar injekteringstryck.
- **Lågtrycksanslutning (LP):** Max 50 bar. Anslutningen har en snabbkoppling (klo-koppling) och en ventil med tryckklass (PN50). Det är den enda delen av injekteringssystemet som inte kan användas på ett säkert sätt upp till 100 bar, injekteringspumpen måste låsas och tätas för att inte kunna leverera mer än 50 bar.



Hydraulisk snabbkoppling (JIC 1 1/16") med kulventil tryckklass PN 500 och dimension DN15



Snabbkoppling med kulventil tryckklass PN 63 och dimension DN15

**Notera:** Alla Pretec-packers är konstruerade för upp till 100 bar insprutningstryck. Om mer än 50 bar insprutningstryck kan förekomma, krävs användning av en HP-anslutningsenhet.

## Injektion i praktiken

I normala fall av bergstunnel och PEG kommer den typiska borrhålsdiametern att vara ca 63 mm, vilket passar bra med borrhålsdjup upp till 30 m och bibehållande av rimlig borrhålsavvikelse. Om den maximala hållängden är kortare och borrhålsrustning av någon anledning skulle fungera bättre med reducerad borrhålsdiameter så kan tex Ø48 eller Ø51 mm vara ett alternativ.

I de flesta fall skulle PSU vara det huvudsakliga packervalet med en diameter på Ø63 eller Ø60 mm. Det här valet sparar både tid och kostnader och kommer under normala förhållanden att förankra och täta borrhålet väl. Under normala förhållanden kan injekteringsverktyget återanvändas upp till 10 gånger, såvida verktyget är ordentligt rengjort och insmört efter varje användning.

I zoner med dåligt berg kan det hända att den 140 mm långa packern inte lyckas täta alla borrhål effektivt och ibland krävs det upp till 2 eller 3 packers i samma hål. Det är därför rimligt att ha alternativa sätt att lindra problemet:

1. Förbered några PMU-packers på 4 m (eller längre injekteringsverktyg) så att du kan testa platser i borrhålet för att hitta ett utrymme där packern kommer att täta ordentligt.
2. Ha några mekaniska eller pneumatiska packers med gummilängder på 0,5 till 1,0 m tillgängliga, det förbättrar chansen för en tillfredsställande tätning av borrhålet avsevärt. Även i det här fallet bör den totala monteringslängden vara 4 m eller mer.

Även i berg av god kvalitet kan det finnas ledande kanaler för vatten och injekteringsbruk som korsar både borrhålet och tunnelytan. Om packern har placerats utanför den här kanalen kommer vägen för minsta motstånd under injekteringen att gå tillbaka till tunneln, vilket kan orsaka betydande förlust av pumpat injekteringsbruk.

För sådana situationer kan användning av en flyttbar packer vara ett bra alternativ (inte PSU-versionen). Alternativt, placera en PSU-packer inuti kanalen och avsluta injekteringen. Vid behov, placera sedan en packer utanför kanalen och utför injektering med acceleratordosering vid packern för att blockera återflödet genom tunnelytan.

## Val av injekteringsmaterial

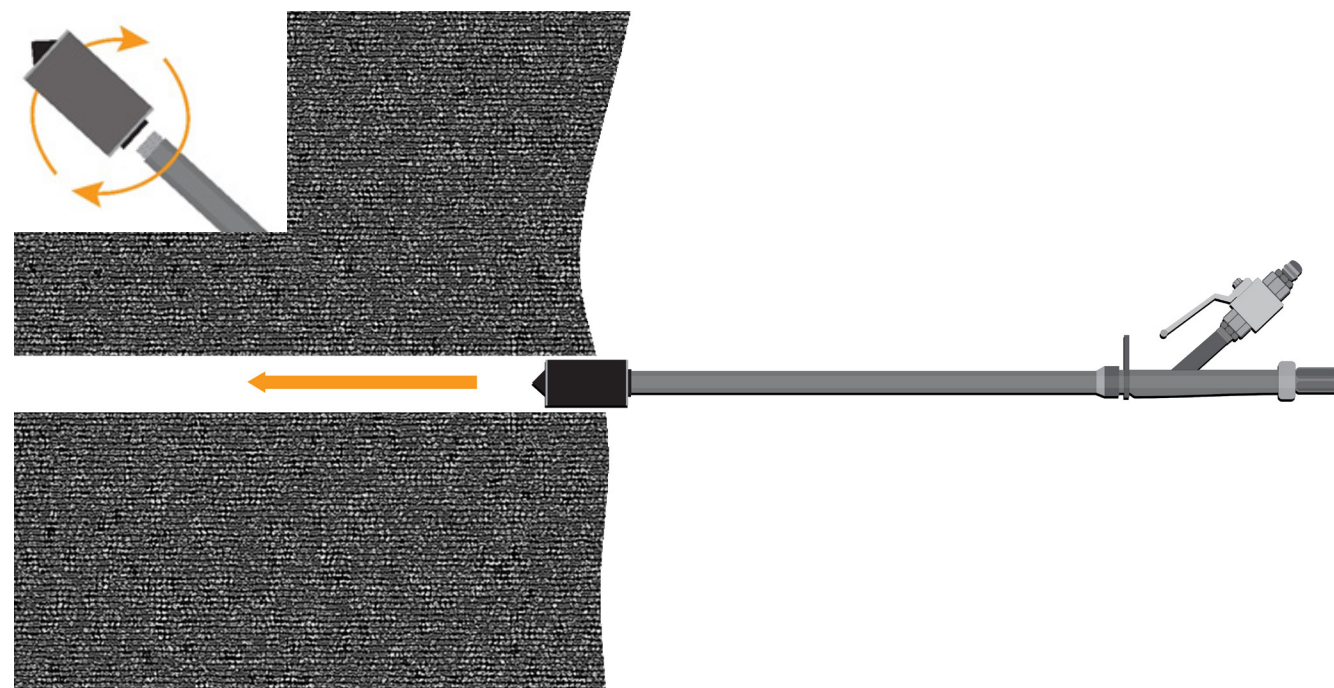
Cementbaserade injekteringsbruk är alltid förstahandsval för tunnelgjutning och det finns för närvarande inga tillgängliga alternativ till cement. Samtidigt gör det stora utbudet av cementtyper, variationen i bergförhållanden och grundvatteninträgningsgränser för olika projekt, valet av cement och specifikation av fogenegenskaper till en komplicerad uppgift i sig.

Pretec-packers och injekteringsverktyget är alla lämpliga för vanliga cementbaserade injekteringsbruksprodukter samt för användning av olika kemiska injekteringsbruk och kolloidalt kiseldioxidmineralbruk.

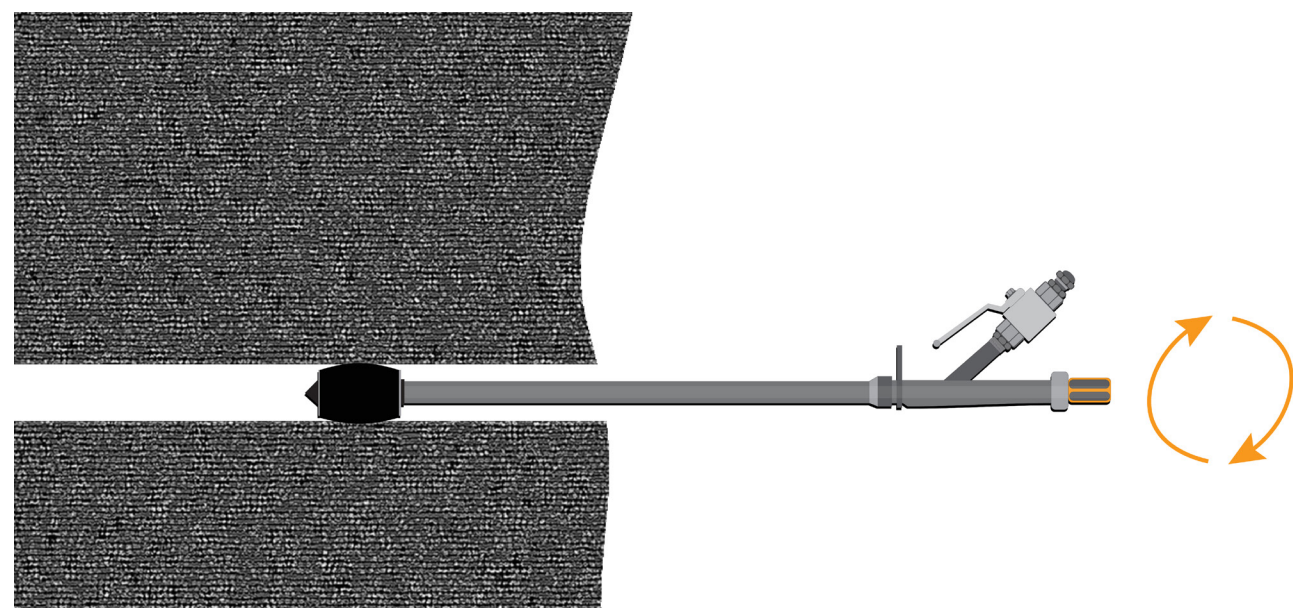


## Installation och injektering av Packer

1. Välj rätt packer och rätt längd på injekteringsverktyget med den bestämda anslutningsenheten (högt tryck eller lågt tryck). Skruva fast packern på injekteringsverktygets innerrör och tryck in packern i det rengjorda borrhålet till det avsedda djupet för packern.

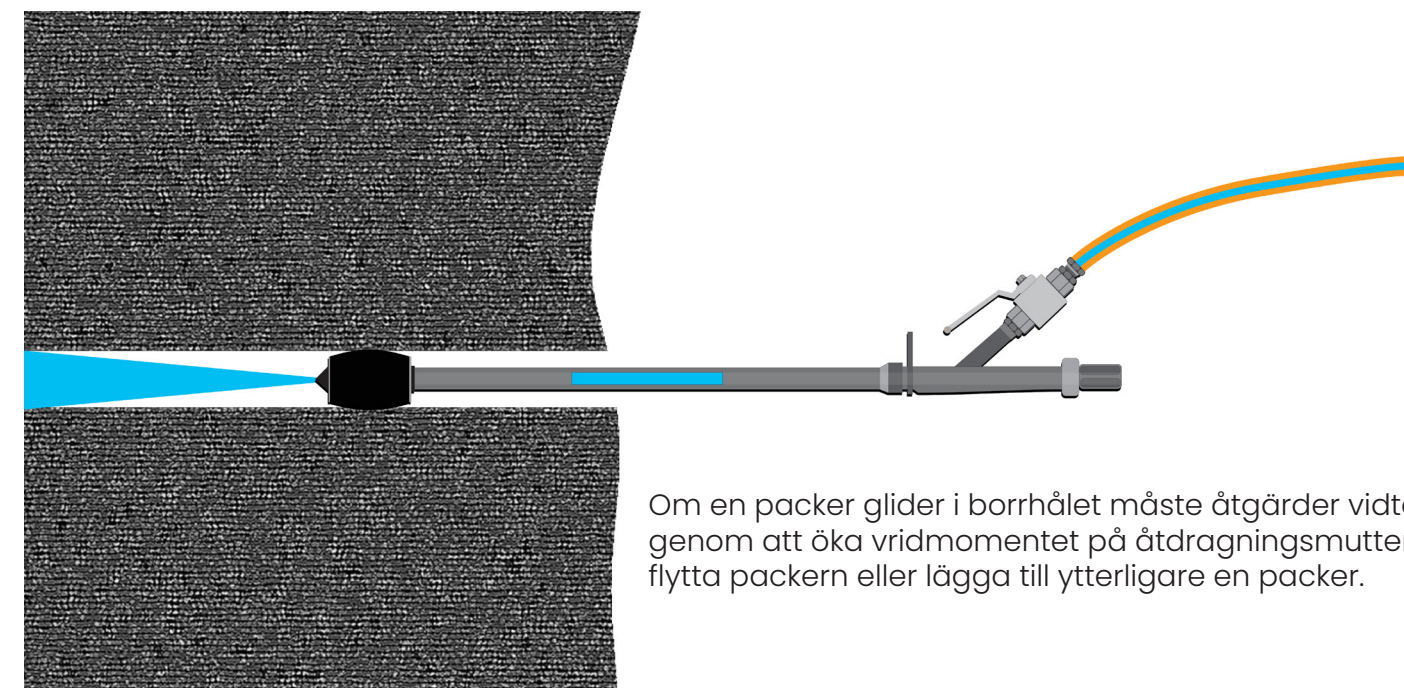


2. Vrid åtdragningsmuttern för att expandera och förankra packern, minsta rekommenderade vridmoment 100–120Nm. Kontrollera vid behov vridmomentet precis innan injektering påbörjas.



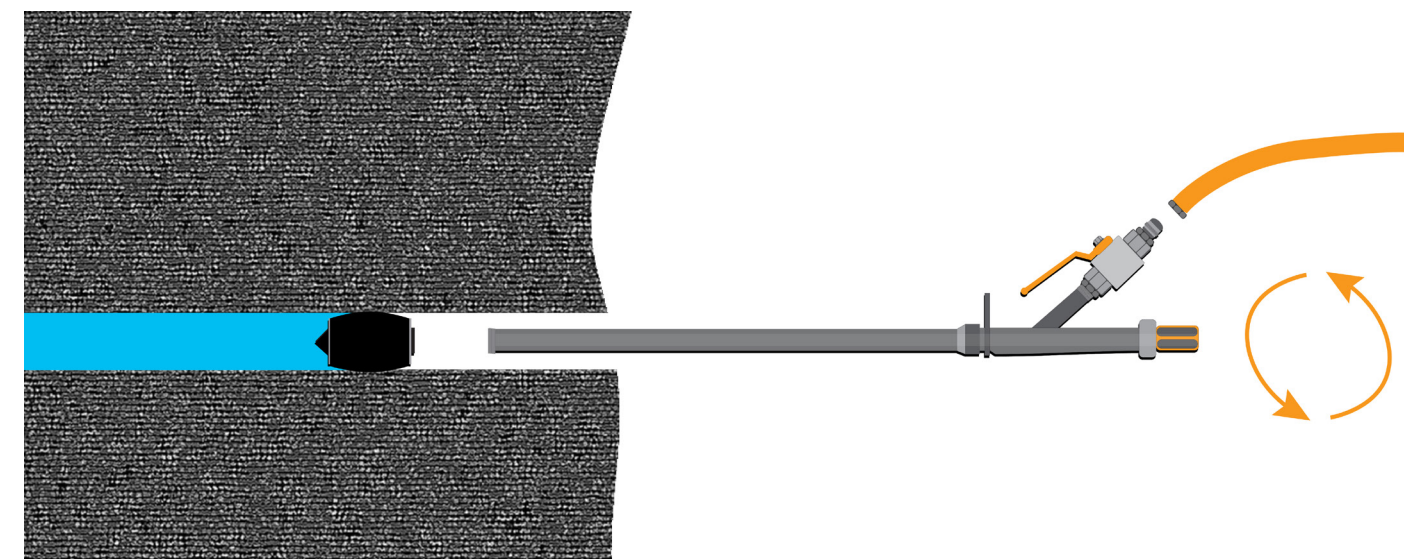
Det rekommenderas inte att starta injektionen om inte injekteringsverktyget är förankrat till bergytan med en lämplig vajer eller kätting. Packern kan vid högt injekteringstryck skjuta ut ur hålet och orsaka skada.

3. När du ansluter fogslangen, se till att först pumpa fogmassa tills slangen är full. Det här måste göras för att undvika risken för komprimering av luft som har fastnat i borrhålet.



Om en packer glider i borrhålet måste åtgärder vidtas genom att öka vridmomentet på åtdragningsmuttern, flytta packern eller lägga till ytterligare en packer.

4. Så snart som möjligt efter pumpstopp (PSU-packer), lossa åtdragningsmuttern och ta bort injekteringsverktyget för omedelbar noggrann rengöring och smörjning. Om injektering sker genom en PMU-packer, måste korrekt tidpunkt för injekteringsbrukets förstyvning fastställas för att undvika förlust av injekteringsbruk på grund av för tidigt avlägsnande, samtidigt som det fortfarande går att rengöra packern för återanvändning.



Presenteras utan ansvar för eventuella fel

Presenteras utan ansvar för eventuella fel



# Hälsa och säkerhet (HSE)

HSE-aspekter av injektering i tunnlar är ett viktigt ämne som för det mesta går utanför den här broschyrens ramar. Några av riskområdena är hantering av cement och skydd mot cementdamm, potentiellt farliga kemiska injekteringsprodukter, personrörelser runt arbetsområdet, personlig skyddsutrustning m.m.

Den viktigaste riskfaktorn är det höga pumptrycket som tvingar injekteringsbruket genom fogslangen och packern ner i marken. Tänk på att ett tryck på 100 bar är lika med trycket i en 1000 m vattenpelare.

Hela det här ämnet kräver en fullständig riskanalys i varje enskilt fall och tidigare erfarenheter har visat att:

- Alla slangar, kopplingar, förbindningar och packerdetaljer måste vara klassade för maximalt pumptryck.
- Packers kan plötsligt tappa förankringen i borrhålet och skjuta ut med hög hastighet ur hålet. Packers måste därför fästas vid bergytan med förankrad vajer eller kätting.
- Injekteringsbruk sprids under tryck mot sprickor och fogar i bergmassan och kan orsaka förskjutning och nedfall av berghällar från den utgrävda tunnelns yta, tak och väggar. Det här måste begränsa personalens rörelser när injektering pågår.
- För att undvika oavsiktlig, plötslig tryckförlust och farlig stråle av injekteringsbruk måste alla operatörer utbildas i de regler som följer för utrustningshantering, speciellt aspekter av koppling och frånkoppling av slangar, öppning och stängning av ventiler, byte av injekteringsslanganslutning etc.

Packers och verktygstillverkning sker under strikt kvalitetskontroll, för att säkerställa att packers kan användas säkert inom de gränser som anges för våra produkter. Den övergripande HSE-riskanalysen och hanteringen av den allmänna platsens verksamhet är slutanvändares ansvar.



Let's connect

Version  
2024-10-17