



Vårsleppet 2011, Oslo

Svenska injekteringstryck
eller "Lave injeksjonstrykk"

Thomas Janson

Svenska injekteringstryck

Svenska injekteringstryck eller
"lave injeksjonstrykke"



Beroende på:

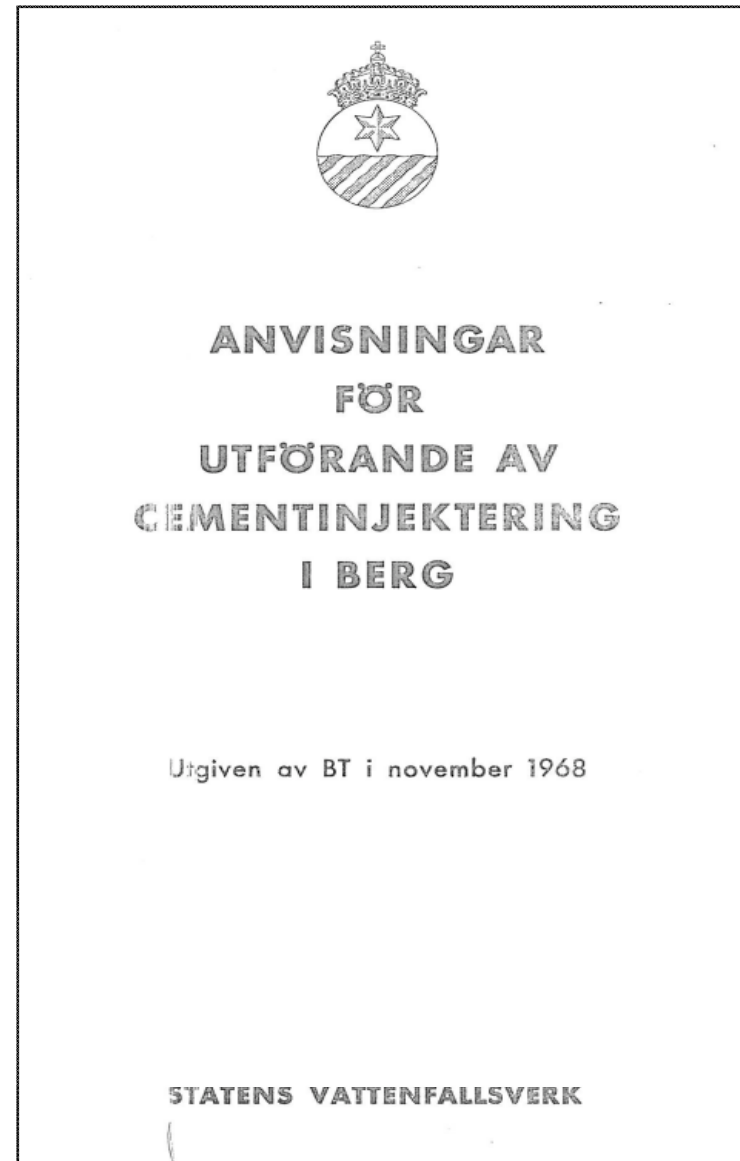
- Tradition och erfarenheter / försök och empiri / teoretisk analys

Svenska injekteringstryck

40 till 60-talet: Tradition:
Damm/kraftverksinjektering

P_g: 5 till 15 Bar

*(vct: 10 - 5- 3 - 2, osv
samt långa tider)*

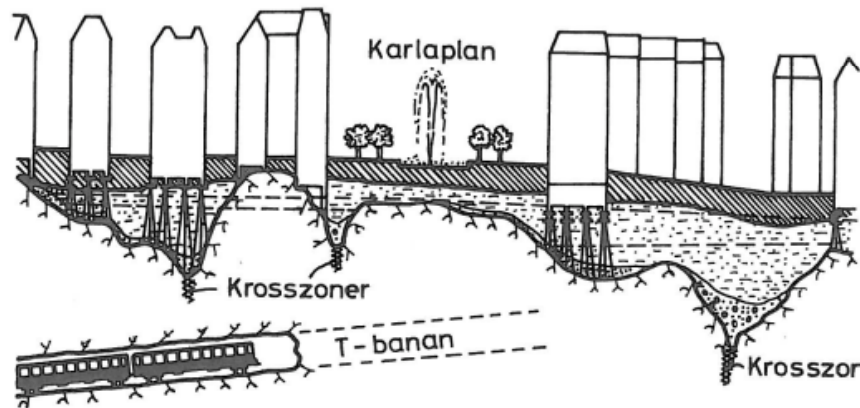


Svenska injekteringstryck

70 till 80-talet: Erfarenheter (tumregler och empiri):

Injektering av tätortstunnlar (Tunnelbana, Telia, VA etc).

Låg bergtäckning ($d = 10-60\text{ m}$) – undvika läckage på ytan/i källare (exempel på fall med läckage). Krav ca 3-10 l/min, 100m



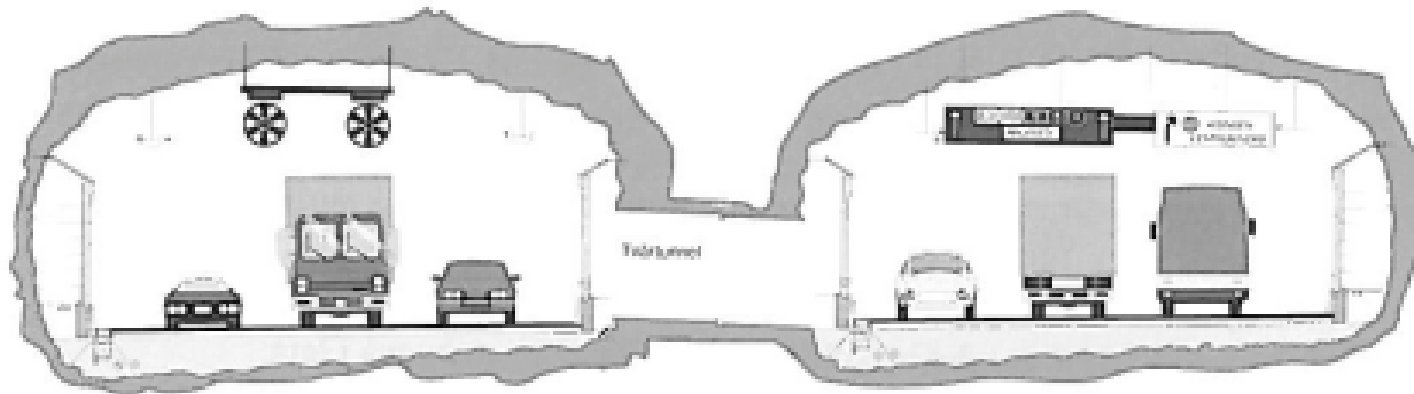
Knutsson & Morfeldt, 1978

Tumregler: (0,5 Bar x d, men max 20 Bar), exvs 30 m = 15 Bar

Svenska injekteringstryck

90-talet: Identifiering (kunskapsinventering, försök, inledande teorier):

Injektering av väg och järnvägstunnlar (mest under tätorter, dvs bergtäckning 10 – 60 m). Krav 0,5 – 4 l/min, 100m



Indelas i:

- internationellt, inledande teori, försök

Svenska injekteringstryck

Kunskapsinventering:

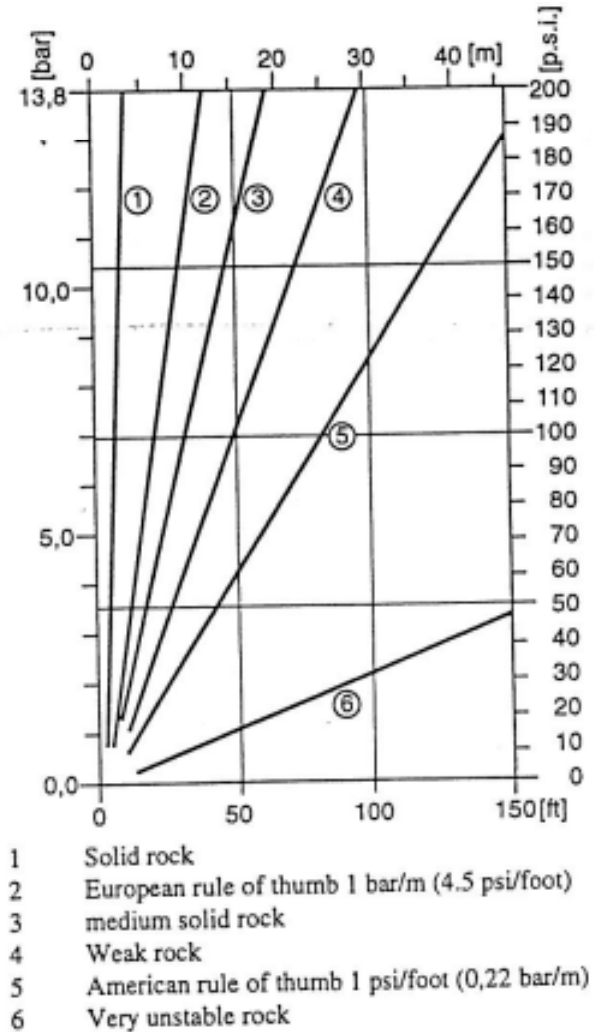
Internationellt, se figur:

Skillnader mellan länder

Ex: djup 30 m

- 30 Bar (europa-skandinavien)
- 7 Bar (amerika)

- Varför olika ? (geologi/djup)

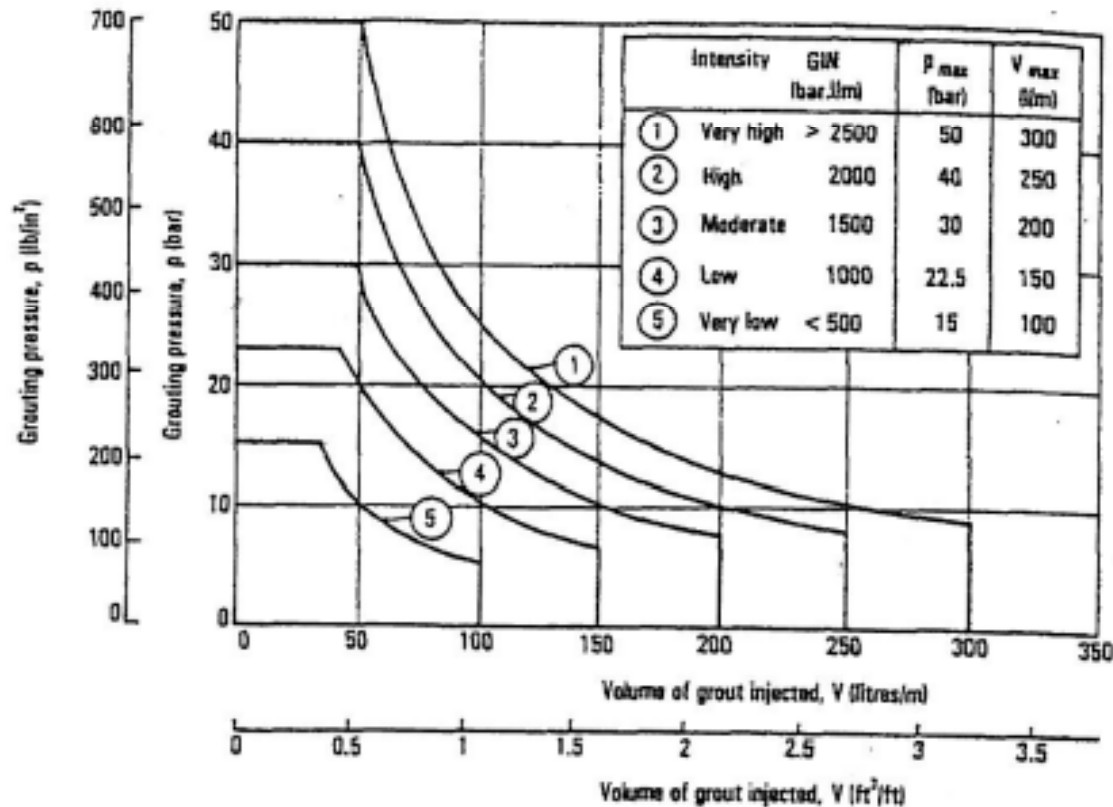


Houlsby, 1991

Svenska injekteringstryck

Kunskapsinventering :

- *Andra exempel: Lombardi & Deere, 1993*



$GIN = P_g \cdot V$, där P_g är i huvudsak ett lågt tryck (< 50 Bar, annars inga volymer)

Svenska injekteringstryck

Inledande teorier under 90-talet:

Olika kriterier presenteras:

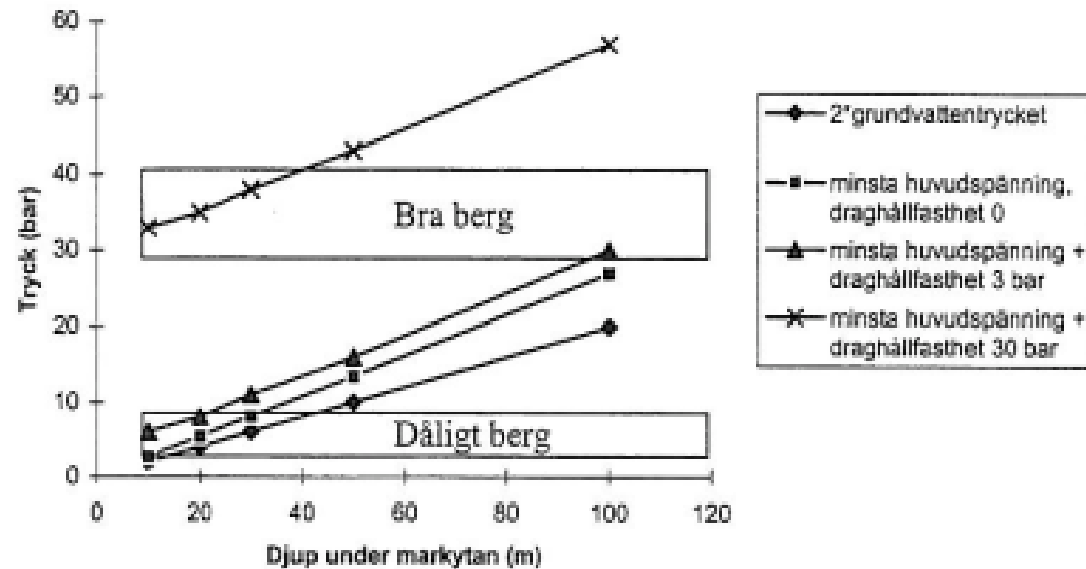
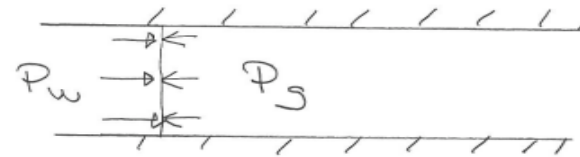
$P_g > 2 * P_w$ (säkerhet mot vatten)

$P_g < \text{"Jacking"}$,

dvs: minsta spänningen +
draghållfastheten

Ex: djup 30 m – 10 till 35 Bar

Beroende på bergkvalite



Brantberger, 2000

Vidare tryckets betydelse:

$\text{Inträngningen} = P_g * \text{sprickvidd} / \text{bruksegenskap}$

Svenska injekteringstryck

Försök, slutet av 90-talet:

Järnvägstunnel Stockholm (10-15 m berg):

P_g : 60 Bar (inledande 5 min) – 30 Bar (i medel till slutflöde)

Resultat:

- *"Bra" enligt inblandade under bergarbetet (E och P), dvs ca 3 l/min 100 m uppnåddes och tidseffektivare*
- *"Ingen skillnad", enligt driftansvariga efter bergarbetet, dvs omfattande efterinjektering och droppåtgärder*

Dvs beroende på vem man talar med/läser

Svenska injekteringstryck

Försök, slutet av 90-talet:

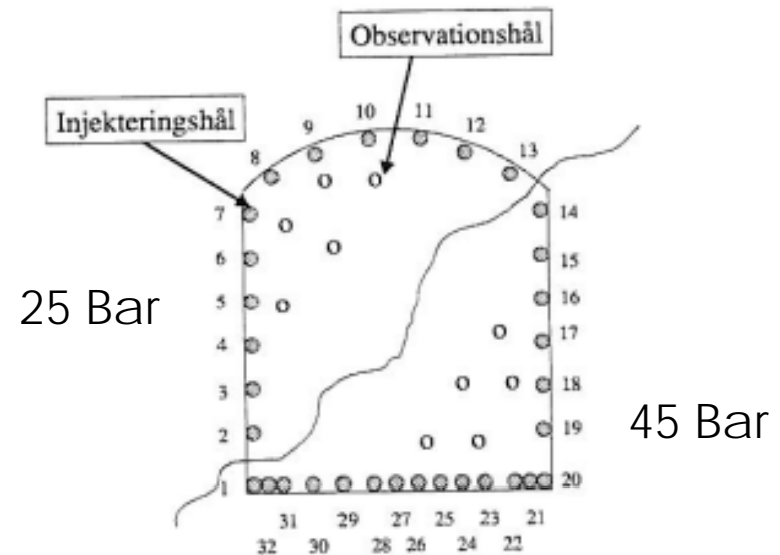
Vägtunnel Stockholm (20-30 m berg):

P_g : 25 Bar i ordinarie – 45 Bar i test

Resultat av 45 Bar (2 st skärmar):

- Längre tid
- Större volymer
- Ny samband och ytläckage
- Lika eller högre vfl-mätningar i obs-hål, efter injektering

Dvs tydligt sämre med 45 Bar



Svenska injekteringstryck

2000-talet: Forskning (teoretiska analyser):

Fortsatt injektering av väg och järnvägstunnlar
med begränsade djup och höga krav

- Högskoleforskning av analytiska lösningar och datormodeller

Svenska injekteringstryck

Analytiska beräkningar (Gustafson & Fransson, 2006):

Undvik jacking, dvs:

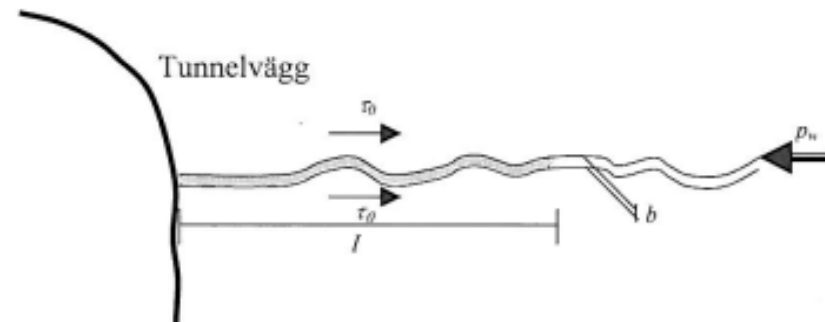
$$P_g < 3 \cdot \rho \cdot g \cdot d - 2 \cdot P_w$$

Detta ger intervallet:

$$2 \cdot P_w < P_g < 3 \cdot \rho \cdot g \cdot d - 2 \cdot P_w \text{ (kommentar: om } d > X \text{ m)}$$

Samt kontroll mot "bakåtlöde":

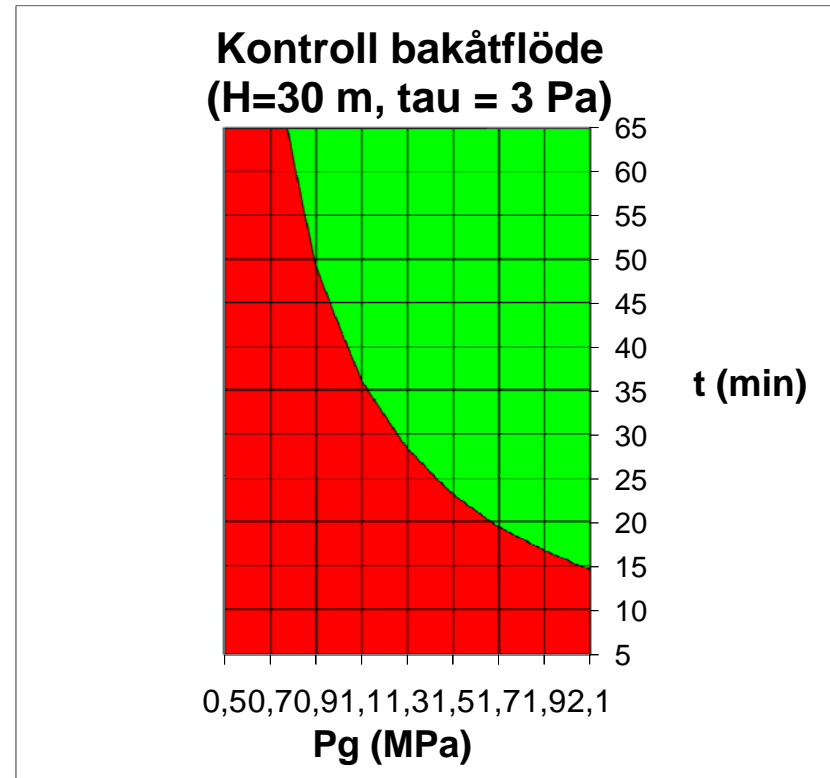
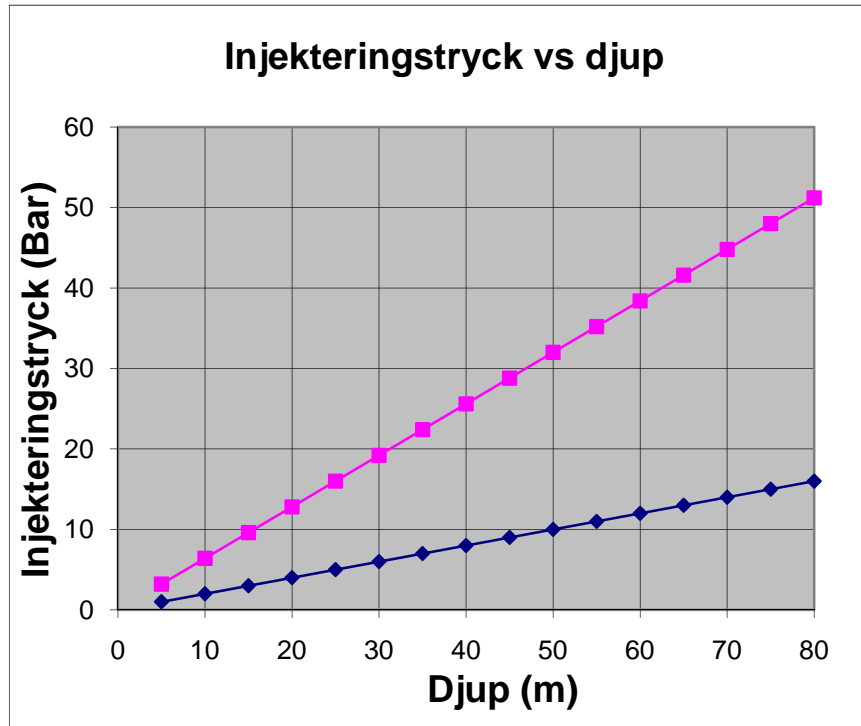
$$P_w / P_g < I_D$$



Där I_D är den dimensionslösa inträngningen och beror av medlets egenskaper och tiden

Svenska injekteringstryck

Analytiska beräkningar (Gustafson & Fransson, 2006):



Ex djup 30m: 6 till 20 Bar

Kontroll: 20 Bar om t > 15 min

(kommentar: vid bra berg väljs dock mer traditionella tryck, dvs 25-30 Bar)

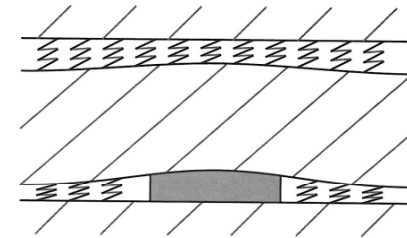
Dvs hitta en optimering av så högt tryck som möjligt (vinner tid) men undvika "jacking" – projektexempel finns på det

Svenska injekteringstryck

Forskning/datamodulering (Gothäll, 2009):

$P_g < \text{"kritiska" trycket}$:

- *Deformation av närliggande berg*
- *Blockerar injektering av närliggande sprickor*
- *Styvheten ändra – små ökningar ger stora ändringar*
- *Ev progressivt förlopp*



Slutsats var:

Styra trycket genom "realtidsloggning" under injekteringen, dvs ej analytiska beräkningar (kritiska trycket kan vara både högre och lägre än de analytiska P_g)

Svenska injekteringstryck

"Filosofi" idag: "tradition" (som vanligt) och undvik "jacking"/"kritiska trycket".

- Trycket ett av flera komponenter av: injekteringsmedel, tid och skärmgeometri

Vid val av tryck (oberoende lågt eller högt):

- *Begränsad spridning och därmed tid och volym*
- *Arbetsmiljö – dimensionera packers, kopplingar, risk för utfall mm*
- *Utrustning – pumpkapacitet (tryck-flöde).*
- *Utnyttja sondering (mwd, hydrotester), dvs bibehåll flödesvägar*
- *Dimensionering av injekteringen mot inläckage, dvs en komponent av flera för att få en kontrollerad injektering*
- *Nyttja pågående information – inledande registrering av tryck-flöde ger sluttid (demoprojekt finns)*