



Maximale Injectiedruk PNA-GT-04

Inclusief correctie dynamische weerstand

Vorbereid door: WEP

Auteur:



Versie: 1

Publicatie datum: 05-12-2014

Goedkeuring:



Inhoud

1	Inleiding	2
2	Maximale Injectiedruk zonder dynamische weerstand correctie	3
3	Maximale Injectiedruk inclusief dynamische weerstand correctie	4
4	Conclusie.....	6
Bijlage 1 – TNO-AGE/SodM Protocol (November 2013).....		7
Bijlage 2 – Dynamische Druk Verliezen Berekeningen / Verantwoording.....		10

1 Inleiding

Dit document geeft een verantwoording van de maximale injectiedruk waarmee de warmtewinning-installatie van Duijvestijn Energie B.V. kan opereren in lijn met het door TNO-AGE en SodM opgestelde protocol (7 november 2013 (versie 1)). In aanvulling op dit protocol is ook berekend hoeveel het druk verlies bedraagt welke wordt veroorzaakt door dynamische weerstand.

2 Maximale Injectiedruk zonder dynamische weerstand correctie

De maximale injectiedruk, de maximale Tubing Head Pressure (THP) op de injectie put zonder correctie voor druk verlies door dynamische weerstand bedraagt **60.7 bar**.

De onderbouwing voor deze waarde volgt uit de toepassing van de formule zoals beschreven in het TNO-AGE protocol (zie **Bijlage 1**).

$$\text{THP max [bar]} = \text{Dt} \times (0.135 - \text{Gradiënt injectie water})$$

Dt = diepte van de injectieput van maaiveld tot de top van het reservoir [m TVD]

Gradiënt injectie water = Hydraulische Gradiënt van het lokale injectiewater als functie van het zoutgehalte [bar/m]

- **Diepte injectieput (Dt) verantwoording:**

Dt = 2020m TVD (Top Rijswijk SST)

bron: Voorontwerprapport Opstarten en Gebruik

- **Gradiënt injectie water verantwoording:**

Gradiënt injectie water = $1.07 \times 0.0981 = 0,105$ bar/m

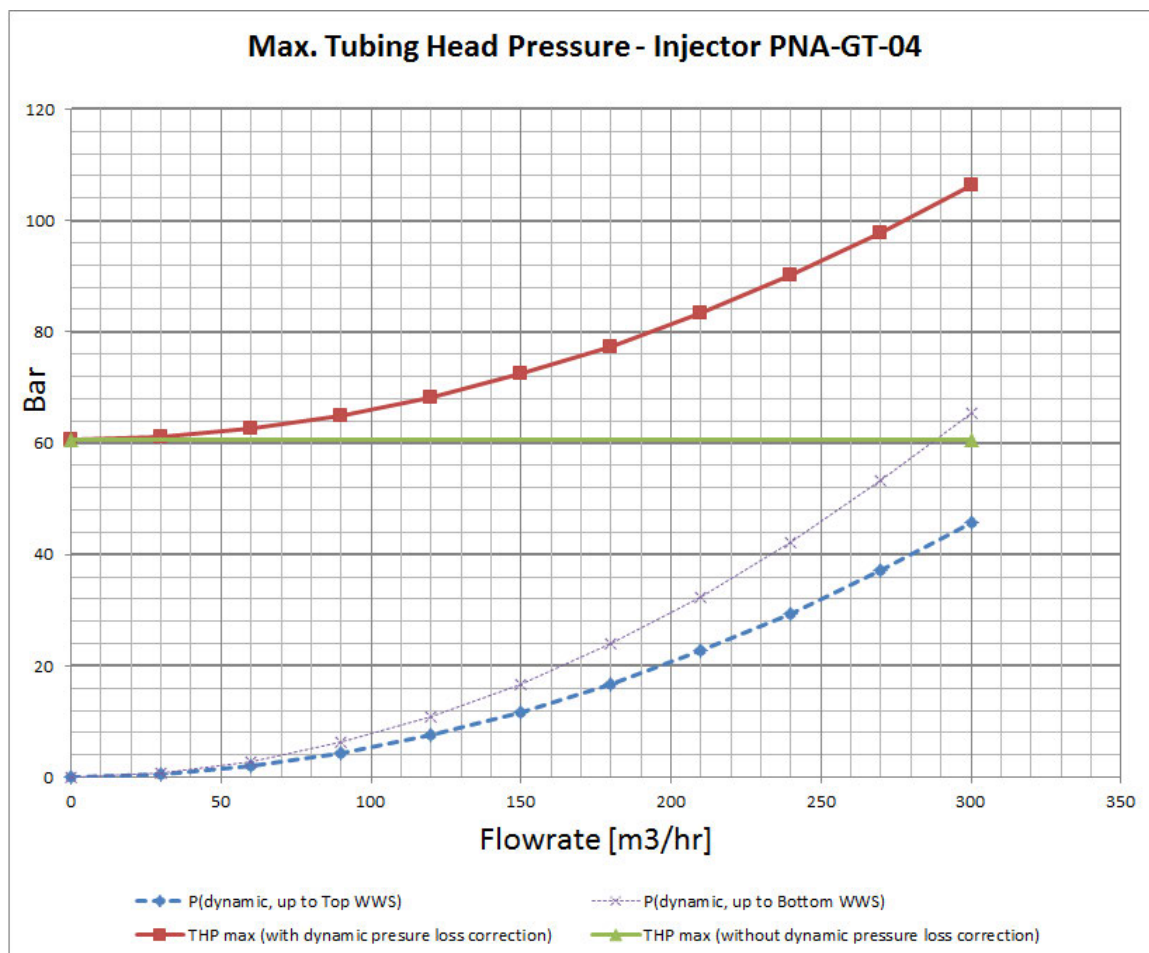
bron: Voorontwerprapport Opstarten en Gebruik

- **Maximale THP (PNA-GT-02):**

$2020\text{m} \times (0.135 - 0.105) = \mathbf{60.7 \text{ bar}}$

3 Maximale Injectiedruk inclusief dynamische weerstand correctie

De exacte dynamische weerstand is afhankelijk van het debiet. Hoe hoger het debiet, des te hoger de dynamische weerstand. De relatie tussen de dynamische weerstand en het debiet is in onderstaande figuur weergegeven.



Figuur 1: Maximale Tubing Head Pressure (THP) als functie van het debiet

ΔP Tubing - Up to Top WWS

Debiet m³/h	ΔP rechte pijp [bar]	ΔP K-factor [bar]	ΔP calculated [bar]	THP (max) calculated [bar]
0	0,00	0,00	0,00	60,7
30	0,53	0,01	0,54	61,2
60	1,97	0,02	1,99	62,7
90	4,29	0,05	4,34	65,0
120	7,50	0,09	7,58	68,2
150	11,58	0,14	11,71	72,4
180	16,53	0,19	16,73	77,4
210	22,37	0,26	22,63	83,3
240	29,08	0,35	29,42	90,1
270	36,66	0,44	37,10	97,8
300	45,13	0,54	45,67	106,3

blauwe rode lijn

ΔP Tubing - Up to Bottom WWS

Debiet m³/h	ΔP rechte pijp [bar]	ΔP K-factor [bar]	ΔP calculated [bar]	THP (max) calculated [bar]
0	0,00	0,00	0,00	60,7
30	0,76	0,03	0,80	61,5
60	2,83	0,13	2,96	63,6
90	6,17	0,29	6,46	67,1
120	10,78	0,52	11,30	72,0
150	16,65	0,81	17,46	78,1
180	23,79	1,16	24,95	85,6
210	32,18	1,58	33,77	94,4
240	41,85	2,07	43,91	104,6
270	52,77	2,61	55,38	116,0
300	64,96	3,23	68,18	128,8

paarse

Tabel 1: Dynamische drukverliezen met en zonder wikkeldraadfilters (WWS)

De grootste bijdrage aan het dynamische druk verlies wordt veroorzaakt door frictie over de wand van het injectie-conduite. In Tabel 1 zijn dit de waarden behorende bij de kolom “ ΔP rechte pijp”. Een kleiner bijdrage wordt veroorzaakt door geometrische aspecten van de injectieput; denk hierbij aan bochten, diameter-overgangen, afsluiters etc. In de literatuur zijn hiervoor zogenaamde verliesfactoren of “K-factoren” beschreven. In Tabel 1 zijn dit de waarden behorende bij de kolom “ ΔP K-factor”.

In **Bijlage 2** is de verantwoording voor deze grafiek en tabellen terug te vinden. De injectieput is opgedeeld in segmenten. Deze onderverdeling is gebaseerd op conduite geometrie.

- Segment 1 is de horizontale verbuizing op het maaiveld (van injectiepomp tot aan de Xmastree);
- Segment 2 is de 6.5/8” injectie tubing;
- Segment 3 is het 9.5/8” interval van de productie casing;
- Segment 4 is het 7” interval van de productie liner;
- Segment 5 is het “blind pipe” interval van de 4.1/2” liner; en,
- Segment 6 is het Wikkeldraadfilters (WWS) interval.

Het dynamisch drukverlies over WWS interval:

Het dynamische drukverlies over het WWS interval (Segment 6) is berekend onder de aanname dat het injectiedebiet lineair afneemt over de lengte. Concreet betekent dit dat het injectiedebiet aan de top van het reservoir 100% is, halverwege 50% en op het diepste punt 0%. De nauwkeurigheid van deze drukverliezen verantwoording staat ter discussie omdat er geen gegevens beschikbaar zijn over wat de exacte injectiezones zijn. Aanname voor deze berekening berust ook nog eens op een versimpeling van de geometrie van dit segment. In feite bestaat dit segment uit 2x WWS zones met daartussen in een geblindeerde 4 1/2” verbuizing, gerekend is met één homogeen WWS segment. Echter het dynamische druk verlies wat veroorzaakt wordt over dit segment wordt omwille van het TNO protocol niet in de verantwoording voor de maximale THP meegenomen. Verantwoording voor de maximale injectiedruk ter hoogte van de top van het reservoir sluit Segment 6 al uit, omdat de WWS in het reservoir zijn geplaatst (dus dieper dan de top van het reservoir).

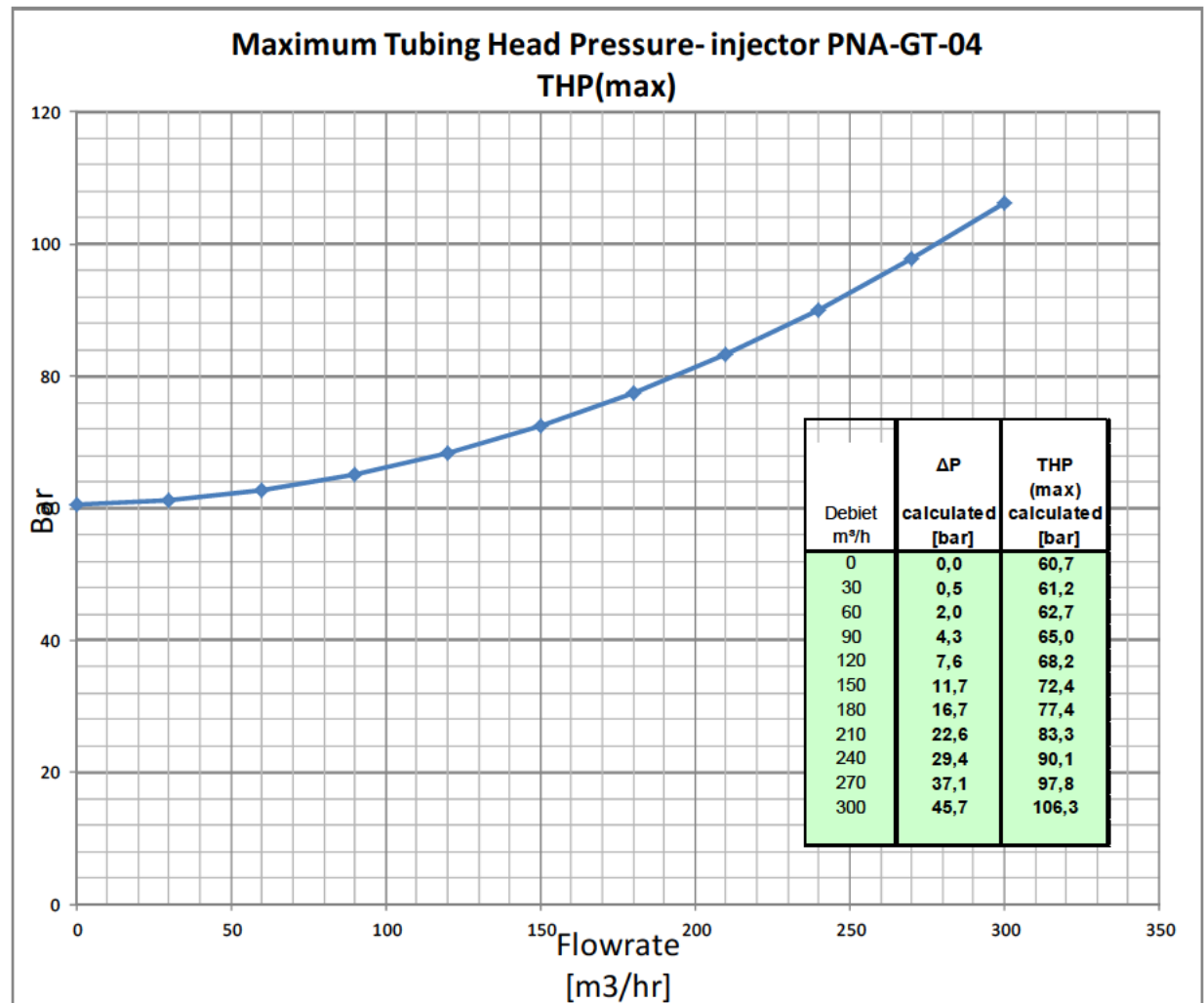
Voorbeeld:

Bij een injectiedebiet van 120 m³/uur bedraagt het drukverlies op het ondiepste injectiepunt (top wikkeldraadfilters) 7.6 bar en op het diepste injectiepunt zelfs 11.3 bar. Om er zeker van te zijn dat bij de top van het reservoir geen druk overschrijding ten op zichte van de maximale THP plaatsvindt, mag er bij de 60.7 bar (zonder correctie voor dynamisch drukverlies) niet meer dan de waarde behorende bij het dynamisch druk verlies tot aan de top van de WWS opgeteld worden. In andere woorden de dynamische druk verliezen over de wikkeldraadfilters worden buiten beschouwing gelaten voor de verantwoording van THP max / maximale injectiedruk die toegepast mag worden.

4 Conclusie

De exacte dynamische weerstand is afhankelijk van het debiet waarmee geïnjecteerd wordt.

De rode curve in Figuur 2 kwantificeert de relatie tussen injectiedebiet en de maximale injectiedruk (THP (max)).



Figuur 2: Maximale injectiedruk PNA-GT-04 (ter plaatse van de injectiepomp)

Bijvoorbeeld; bij een debiet van 120 m³/uur bedraagt de maximale injectiedruk 68.2 bar, gemeten ter hoogte van de injectiepomp (de druk ter hoogte van het 'top reservoir' bedraagt dan 60.7 bar). Als er met lagere debieten geïnjecteerd wordt zal de maximale injectiedruk die toegepast mag worden lager zijn; het drukverlies veroorzaakt door dynamische weerstand neemt af. Bij hogere injectiedebieten zal de maximale injectiedruk die toegepast mag worden hoger zijn; het drukverlies veroorzaakt door dynamische weerstand neemt juist toe.

Gedurende het injectieproces moet er voor zorg gedragen worden dat de injectiedruk gemeten vanaf de injectiepomp niet hoger is dan de waarden zoals weergegeven in Figuur 2.

Bijlage 1 – TNO-AGE/SodM Protocol (November 2013)

Protocol bepaling maximale injectiedrukken bij aardwarmtewinning – versie 1

Samengesteld door SodM en TNO-AGE

7 november 2013

Inhoudsopgave

Deze versie van het protocol bevat:

1. Richtlijnen voor het bepalen van de maximale injectiedruk bij een aardwarmte injectieput:
 - Uitgangspunten voor het veiligstellen van de omgeving van de put
 - Vastlegging van de maximale injectiedruk in WABO omgevings-vergunning (en winningsplan)
2. Richtlijnen voor het beperken van seismiciteit ten gevolge van de winning van aardwarmte [wordt nog verder uitgewerkt]

Inleiding

Deze richtlijnen zijn geschreven voor vergunninghouders aardwarmte en hun adviseurs.

Partijen die een aardwarmteproject ontwikkelen, willen op een zo efficiënt en effectief mogelijke manier warmte onttrekken aan de ondergrond. Afhankelijk van de warmtevraag, zijn er momenten in het jaar waarop de operator zo veel mogelijk warmte wil produceren. Dit heeft tot gevolg dat hij al het geproduceerde water snel daarna moet injecteren. Over het algemeen geldt dat er meer druk nodig is op de booster pomp om meer water in de ondergrond geïnjecteerd te krijgen.

Het verhogen van de injectiedruk kan gevolgen hebben voor de ondergrond. Vooral omdat het water geïnjecteerd wordt met een temperatuur die lager is dan de omgeving, kunnen er in de ondergrond scheuren ontstaan. Deze scheurvorming kan onschuldig zijn, maar kan ook vergaande gevolgen hebben. Bijvoorbeeld als er breuken gereactiveerd worden of als afsluitende lagen naar drinkwaterlagen, doorbroken worden. Het mag duidelijk zijn dat deze gevolgen vermeden dienen te worden.

1. Richtlijnen voor het bepalen van de maximale injectiedruk bij een aardwarmte injectieput

Uitgangspunten voor het veiligstellen van de omgeving van de put

- Alle bovengrondse en ondergrondse leidingen en putten moeten ontworpen en getest zijn op de te gebruiken druk
- Het te injecteren water kan gefilterd worden, zodat de put niet verstopt raakt en de injectiedruk om deze reden verhoogd moet worden

De intentie van het limiteren van de druk is het veilig stellen van de omgeving van de injectieput. Hierbij dienen de volgende uitgangspunten in acht te worden genomen:

- De injectie van water heeft geen negatieve invloed op in de omgeving aanwezige
 - drinkwaterlagen
 - olie- of gasvelden of -prospects
 - andere geothermische projecten
 - ondergrondse gas- of CO₂-opslag
 - zoutcavernes
- De injectie van water veroorzaakt geen (schade veroorzakende) seismiciteit

De maximaal toelaatbare invloedssfeer van het doublet bepaalt dus de maximale injectiedruk. Het principe van 'containment' en 'confinement' beschrijft de grenzen van de invloedssfeer van het doublet. In het vergunde volume (de container) is het acceptabel dat op beperkte schaal (door temperatureffecten) scheuren veroorzaakt worden naar andere lagen dan de formatie waarin geïnjecteerd wordt. De gebruikers dienen echter wel aan te tonen dat de integriteit van de als begrenzing gedefinieerde afsluitende lagen (confinement) niet aangetast wordt. Ook dienen de fracs, en dus de stroming van uitgekoeld water, binnen de grenzen van de vergunning te blijven. Schade veroorzakende seismische events mogen niet veroorzaakt worden.

Vastleggen maximale injectiedruk (THP) in Wabo-omgevingsvergunning en winningsplan

De maximaal vastgestelde injectiedruk wordt vastgelegd in de (aanvraag) Wabo-omgevingsvergunning. Met het ministerie van EZ is afgesproken dat de maximale injectiedruk ook vastgelegd wordt in de instemming met het winningsplan. De invloedssfeer van de injectie (en productie) bepaalt overigens de driedimensionale afbakening van de aardwarmte-winningsvergunning.

Een richtwaarde voor een bij alle aanvragen acceptabele grenswaarde voor de vloeistofdruk ter hoogte van de top van het reservoir is een gradiënt van 0,135 bar/m * de diepte (van de injector) tot top reservoir. Deze waarde is gebaseerd op de verwachte ondergrens van de fracture propagation druk op dat niveau. De grenswaarde 0,135 bar/m is opgebouwd uit een schatting van de te verwachten laagste horizontale spanning in afsluitende lagen bij de geothermieprojecten. Daarnaast is er een correctie voor de invloed van thermische effecten op fracture propagatie en een veiligheidsmarge.

Als voldoende data beschikbaar zijn kan die ondergrens mogelijk verder gespecificeerd worden per regio. Ook bij individuele projecten, bij goede onderbouwing, afgeweken worden van de generieke grenswaarde.

Opmerking over het gebruik van Formation Integrity Tests FIT's.

Een FIT wordt gezien als een puntwaarde. De Laagste horizontale spanning in een gebied is niet met één test te bepalen maar wel af te leiden uit de 'lower bound' van een serie tests in een regio. Een enkele FIT is dus niet geschikt om de laagste horizontale spanning of fracture propagationdruk in te schatten in een regio; helemaal niet i.v.m. de verlaging van de spanningen door tientallen jaren uitkoeling.

De maximale injectiedruk, de max. Tubing Head Pressure (THP) op de injectieput is:

$$THP \text{ max} = Dt * (0,135 - \text{Grad. inj. water}) \text{ bar}$$

Dt = diepte van injectieput van maaiveld tot de top van het reservoir (m, TVD)

Grad. inj. water = Hydraulische Gradiënt van het lokale injectiewater als functie van het zoutgehalte (0,103-0,108 bar/m)

Voorbeeldberekening:

Met Dt = 2000 m en hydraulische gradiënt zout injectiewater = 0,105 bar/m:

$$THP \text{ max} = 2000 * (0,135 - 0,105) = 60 \text{ bar}$$

Opmerking: het verlies aan druk door dynamische weerstand is bij lage debieten (bijv. bij injectiviteits problemen) relatief klein en daarom niet (standaard) als correctie opgenomen in de formule van THP max.

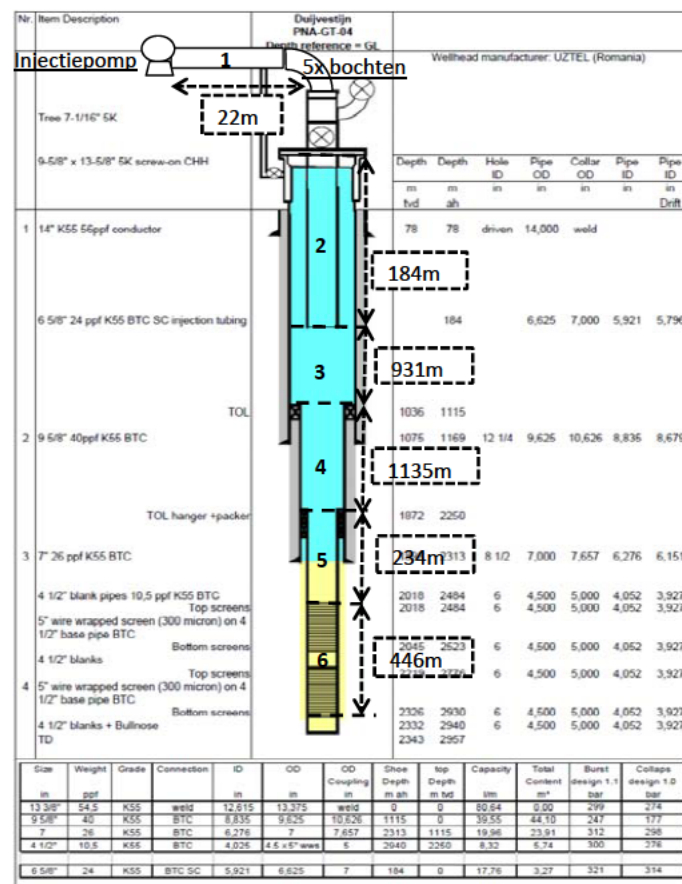
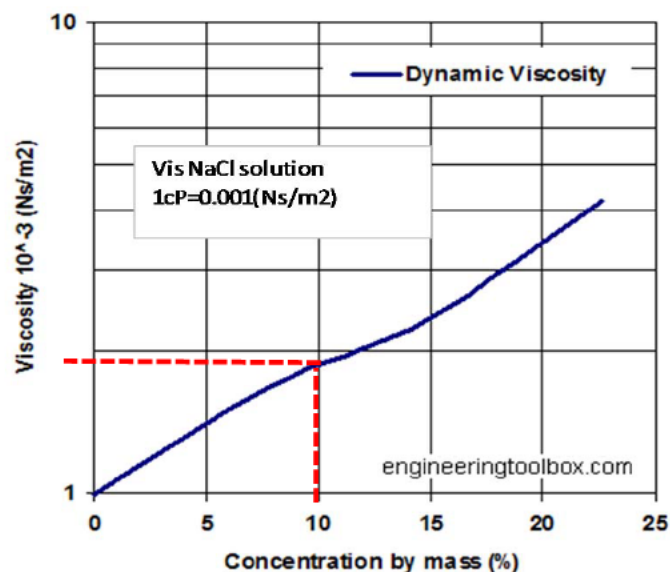
2. Richtlijnen voor het beperken van seismiciteit ten gevolge productie van aardwarmte

Het KNMI kan nu vrijwel overal in Nederland voelbare bevingen detecteren. (zie detectiegrenzen in rapport <http://www.knmi.nl/bibliotheek/knmipubWR/WR2012-03.pdf> .) Om kleinere bevingen te monitoren, kan een aanvulling van het seismisch netwerk vereist worden met real-time monitoring. Van geval tot geval zal bekeken worden wat de optimale aanpak is.

Bijlage 2 – Dynamische Druk Verliezen Berekeningen / Verantwoording

Flow Medium Data

Medium: Water @ 35°C
 Condition: Liquid
 Volume Flow: 100 m³/hr - 300 m³/hr
 Weight Density: 1070 kg/m³
 Dynamic Viscosity: 1,9 cP (see below)
 Concentration by mass: 10% (Table H10, IFP Drilling Data Handbook)



Pressure Drop berekeningen gebaseerd op:

<http://www.pressure-drop.com/Online-Calculator/>

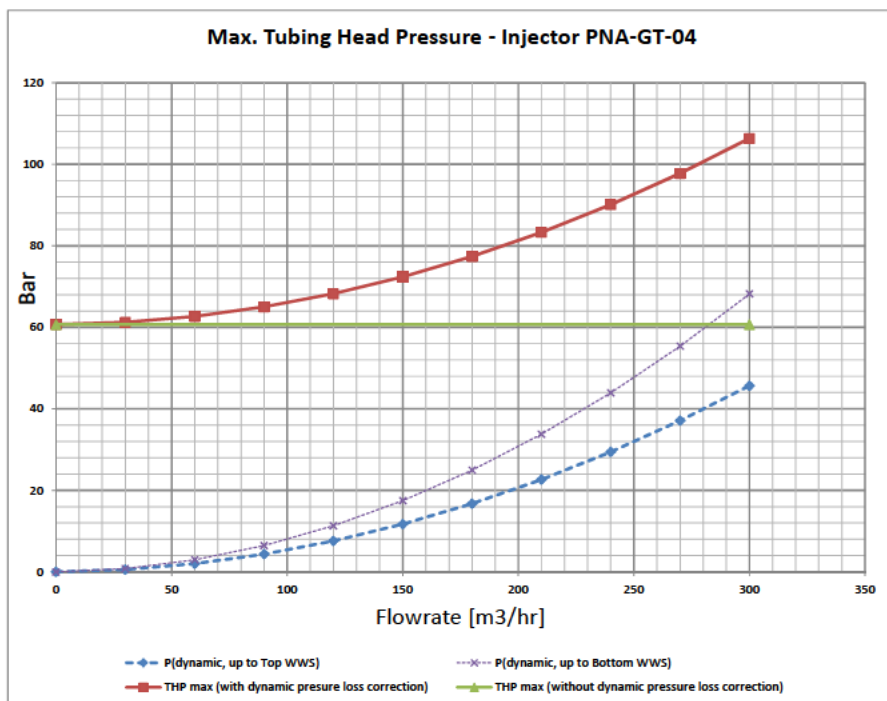
injectie pomp ID (inch):

4,921 "
 (125mm)

#	Segment	Lengte (m)	OD verbuizing (inch)	ID verbuizing (inch)	Pipe Roughness (mm)
van	naar				
1	Injectiepomp	22		8,622	0,15
2	Puthoofd	184	6,625	5,921	0,15
3	9 5/8" casing	931	9,625	8,835	0,15
4	7" top liner	1135	7	6,276	0,15
5	4 1/2" top liner	234	4,5	4,052	0,15

d1/d2 d2/d1

vergroting	0,57	
vernauwing		0,69
vergroting	0,67	
vernauwing		0,71
vernauwing		0,65



Maximum Tubing Head Pressure in line with TNO/SodM Protocol (November 2013)

$$THP_{max} = Dt \times (0.135 - \text{Gradiënt injectie water})$$

0 60,7
300 60,7

Dt = 2020 m TVD
Gradiënt injectiewater 0,104967 bar/m
THP max = 60,7 bar

RESULTS - TOTAL

ΔP Tubing - Up to Top WWS

Debiet m³/h	ΔP rechte pijp [bar]	ΔP K-factor [bar]	ΔP calculated [bar]	THP (max) calculated [bar]
0	0,00	0,00	0,00	60,7
30	0,53	0,01	0,54	61,2
60	1,97	0,02	1,99	62,7
90	4,29	0,05	4,34	65,0
120	7,50	0,09	7,58	68,2
150	11,58	0,14	11,71	72,4
180	16,53	0,19	16,73	77,4
210	22,37	0,26	22,63	83,3
240	29,08	0,35	29,42	90,1
270	36,66	0,44	37,10	97,8
300	45,13	0,54	45,67	106,3

ΔP Tubing - Up to Bottom WWS

Debiet m³/h	ΔP rechte pijp [bar]	ΔP K-factor [bar]	ΔP calculated [bar]	THP (max) calculated [bar]
0	0,00	0,00	0,00	60,7
30	0,76	0,03	0,80	61,5
60	2,83	0,13	2,96	63,6
90	6,17	0,29	6,46	67,1
120	10,78	0,52	11,30	72,0
150	16,65	0,81	17,46	78,1
180	23,79	1,16	24,95	85,6
210	32,18	1,58	33,77	94,4
240	41,85	2,07	43,91	104,6
270	52,77	2,61	55,38	116,0
300	64,96	3,23	68,18	128,8

Friction Pressure Loss Calculator

user input
results
Re <2 300 dP berekening ongeldig

user input
results
Re <10 000 dP berekening ongeldig

INPUT

Pressure drop NaCl over Interval 1 (horizontal + 5x 90° bend)

Fluid & Tubing info		TFA	37668,07 mm²
Dynamic Viscosity	1,900 mPa's of cP		
Density	1070 kg/m3		
ID (nom)	8,622 in 219,00 mm		
Length	22 m		
Wandruwheid ε	0.1500 mm		
Estimated K factors * see tab K verliesfactor			
bends, valves	1,6		
diameter reductions, increases	0,41		
inflow / outflow	0,5		
etc	0,0		
Σ K	2,5		

Pressure drop NaCl over Interval 2 (6 5/8" vertical + schuifafsluiter)

Fluid & Tubing info		TFA	17764,27 mm²
Dynamic Viscosity	1,900 mPa's of cP		
Density	1070 kg/m3		
ID (nom)	5,921 in 150,39 mm		
Length	184 m		
Wandruwheid ε	0,1500 mm		
Estimated K factors * see tab K verliesfactor			
bends, valves	0,0		
diameter reductions, increases	0,076		
inflow / outflow	0,5		
Schuifafsluiter	0,15		
	<u>0,0</u>		
Σ K	0,726		

Pressure drop NaCl over Interval 3 (9 5/8")

Fluid & Tubing info		TFA	39552,18 mm²
Dynamic Viscosity	1,900 mPa's of cP		
Density	1070 kg/m3		
ID (nom)	8,835 in 224,41 mm		
Length	931 m		
Wandruwheid ε	0 1500 mm		
Estimated K factors		* see tab K verliesfactor	
bends, valves	0,0		
diameter reductions, increases	0,28		
inflow / outflow	0,5		
etc	0,0		
	<u>0,0</u>		
Σ K	0,8		

Pressure drop NaCl over Interval 4 (7")

Fluid & Tubing info			
Dynamic Viscosity	1,900 mPa's of cP		
Density	1070 kg/m3		
ID (nom)	6,276 in	159,41 mm	TFA
Length	1135 m		19958,28 mm²
Wandruwheid ε	0 1500 mm		
Estimated K factors			
	* see tab K verliesfactor		
bends, valves	0,0		
diameter reductions, increases	0,067		
inflow / outflow	0,5		
etc	0,0		
	0		
Σ K	0,6		

Pressure drop NaCl over Interval 5 (4 1/2" top (blinds only))

Fluid & Tubing info		TFA	8319,48 mm²
Dynamic Viscosity	1,900 mPa's of cP		
Density	1070 kg/m3		
ID (nom)	4,052 in 102,92 mm		
Length	234 m		
Wandruwheid ϵ	0,1500 mm		
Estimated K factors * see tab K verliesfactor			
bends, valves	0,0		
diameter reductions, increases	0,094		
inflow / outflow	0,5		
etc	0,0		
Σ K	0,6		

Pressure drop NaCl over Interval 6 - See tab "Pressure drop dynamic (WWS)"

RESULTS

ΔP Tubing						
Flow m³/h	V inj [m/s]	RE inj tube	Friction Factor	ΔP _{recht pip} [bar]	ΔP K fact. [bar]	ΔP calculated [bar]
0	0,00	0,0E+00		0,00	0,00	0,00
30	0,22	2,7E+04	0,0258	0,00	0,00	0,00
60	0,44	5,5E+04	0,0229	0,00	0,00	0,00
90	0,66	8,2E+04	0,0216	0,01	0,01	0,01
120	0,88	1,1E+05	0,0209	0,01	0,01	0,02
150	1,11	1,4E+05	0,0204	0,01	0,02	0,03
180	1,33	1,6E+05	0,0201	0,02	0,02	0,04
210	1,55	1,9E+05	0,0198	0,03	0,03	0,06
240	1,77	2,2E+05	0,0196	0,03	0,04	0,07
270	1,99	2,5E+05	0,0195	0,04	0,05	0,09
300	2,21	2,7E+05	0,0193	0,05	0,06	0,12
	0,00			#VALUE!		

RESULTS - TOTAL

ΔP Tubing			
Flow m³/h	ΔP _{recht pip} [bar]	ΔP K fact. [bar]	ΔP calculated [bar]
0	0,00	0,00	0,00
30	0,53	0,01	0,54
60	1,97	0,02	1,99
90	4,29	0,05	4,34
120	7,50	0,09	7,58
150	11,58	0,14	11,71
180	16,53	0,19	16,73
210	22,37	0,26	22,63
240	29,08	0,35	29,42
270	36,66	0,44	37,10
300	45,13	0,54	45,67

ΔP Tubing						
Flow m³/h	V inj [m/s]	RE inj tube	Friction Factor	ΔP _{recht pip} [bar]	ΔP K fact. [bar]	ΔP calculated [bar]
0	0,00	0,0E+00		0,00	0,00	0,00
30	0,47	4,0E+04	0,0249	0,04	0,00	0,04
60	0,94	7,9E+04	0,0228	0,13	0,00	0,13
90	1,41	1,2E+05	0,0219	0,28	0,01	0,29
120	1,88	1,6E+05	0,0214	0,49	0,01	0,51
150	2,35	2,0E+05	0,0211	0,76	0,02	0,78
180	2,81	2,4E+05	0,0209	1,08	0,03	1,11
210	3,28	2,8E+05	0,0207	1,46	0,04	1,50
240	3,75	3,2E+05	0,0206	1,90	0,05	1,95
270	4,22	3,6E+05	0,0205	2,39	0,07	2,46
300	4,69	4,0E+05	0,0204	2,94	0,09	3,02
	0,00			#VALUE!		

ΔP Tubing						
Flow m³/h	V inj [m/s]	RE inj tube	Friction Factor	ΔP _{recht pip} [bar]	ΔP K fact. [bar]	ΔP calculated [bar]
0	0,00	0,0E+00		0,00	0,00	0,00
30	0,33	2,7E+04	0,0258	0,03	0,00	0,03
60	0,42	5,3E+04	0,0229	0,09	0,00	0,09
90	0,63	8,0E+04	0,0216	0,19	0,00	0,19
120	0,84	1,1E+05	0,0209	0,33	0,00	0,33
150	1,05	1,3E+05	0,0204	0,50	0,00	0,51
180	1,26	1,6E+05	0,0201	0,71	0,01	0,72
210	1,47	1,9E+05	0,0198	0,96	0,01	0,96
240	1,69	2,1E+05	0,0196	1,24	0,01	1,25
270	1,90	2,4E+05	0,0194	1,55	0,02	1,57
300	2,11	2,7E+05	0,0193	1,90	0,02	1,92
	0,00			#VALUE!		

ΔP Tubing						
Flow m³/h	V inj [m/s]	RE inj tube	Friction Factor	ΔP _{recht pip} [bar]	ΔP K fact. [bar]	ΔP calculated [bar]
0	0,00	0,0E+00		0,00	0,00	0,00
30	0,42	3,7E+04	0,0250	0,17	0,00	0,17
60	0,84	7,5E+04	0,0227	0,60	0,00	0,61
90	1,25	1,1E+05	0,0218	1,30	0,00	1,31
120	1,67	1,5E+05	0,0213	2,26	0,01	2,27
150	2,09	1,9E+05	0,0209	3,48	0,01	3,49
180	2,51	2,2E+05	0,0207	4,95	0,02	4,97
210	2,92	2,6E+05	0,0205	6,68	0,03	6,71
240	3,34	3,0E+05	0,0204	8,67	0,03	8,70
270	3,76	3,4E+05	0,0203	10,91	0,04	10,95
300	4,18	3,7E+05	0,0202	13,41	0,05	13,47
	0,00			#VALUE!		

ΔP Tubing						
Flow m³/h	V inj [m/s]	RE inj tube	Friction Factor	ΔP _{recht pip} [bar]	ΔP K fact. [bar]	ΔP calculated [bar]
0	0,00	0,0E+00		0,00	0,00	0,00
30	1,00	5,8E+04	0,0249	0,30	0,00	0,31
60	2,00	1,2E+05	0,0234	1,14	0,01	1,16
90	3,00	1,7E+05	0,0229	2,51	0,03	2,54
120	4,01	2,3E+05	0,0226	4,40	0,05	4,46
150	5,01	2,9E+05	0,0224	6,82	0,08	6,90
180	6,01	3,5E+05	0,0222	9,77	0,11	9,89
210	7,01	4,1E+05	0,0221	13,25	0,16	13,40
240	8,01	4,6E+05	0,0221	17,24	0,20	17,45
270	9,01	5,2E+05	0,0220	21,77	0,26	22,03
300	10,02	5,8E+05	0,0220	26,82	0,32	27,14
	0,00			#VALUE!		

Friction Pressure Loss Calculator

user input
results
Re <2,300; dP berekening ongeldig

user input
results
Re <10,000; dP berekening ongeldig

INPUT

Pressure drop NaCl over Interval 6 (100% flowrate)

Fluid & Tubing info	
Dynamic Viscosity	1,900 mPa's of cP
Density	1070 kg/m ³
ID (nom)	4,052 in 102,92 mm
Length	44,6 m
Wandruwheid ϵ	0,1500 mm
Estimated K factors	
* see tab 'K ver resfactor'	
bends, valves	0,0
diameter reductions, increases	0,0
inflow / outflow	0,0
wire wrapped screen	0,0
Σ K	1,3

TFA 8319,48 mm²

Pressure drop NaCl over Interval 6 (90% flowrate)

Fluid & Tubing info	
Dynamic Viscosity	1,900 mPa's of cP
Density	1070 kg/m ³
ID (nom)	4,052 in 102,92 mm
Length	44,6 m
Wandruwheid ϵ	0,1500 mm
Estimated K factors	
* see tab 'K ver resfactor'	
bends, valves	0,0
diameter reductions, increases	0,0
inflow / outflow	0,0
wire wrapped screen	1,3
Σ K	1,3

0,9

TFA 8319,48 mm²

Pressure drop NaCl over Interval 6 (80% flowrate)

Fluid & Tubing info	
Dynamic Viscosity	1,900 mPa's of cP
Density	1070 kg/m ³
ID (nom)	4,052 in 102,92 mm
Length	44,6 m
Wandruwheid ϵ	0,1500 mm
Estimated K factors	
* see tab 'K ver resfactor'	
bends, valves	0,0
diameter reductions, increases	0,0
inflow / outflow	0,0
wire wrapped screen	1,3
Σ K	1,3

0,8

TFA 8319,48 mm²

Pressure drop NaCl over Interval 6 (70% flowrate)

Fluid & Tubing info	
Dynamic Viscosity	1,900 mPa's of cP
Density	1070 kg/m ³
ID (nom)	4,052 in 102,92 mm
Length	44,6 m
Wandruwheid ϵ	0,1500 mm
Estimated K factors	
* see tab 'K ver resfactor'	
bends, valves	0,0
diameter reductions, increases	0,0
inflow / outflow	0,0
wire wrapped screen	1,3
Σ K	1,3

0,7

TFA 8319,48 mm²

Pressure drop NaCl over Interval 6 (60% flowrate)

Fluid & Tubing info	
Dynamic Viscosity	1,900 mPa's of cP
Density	1070 kg/m ³
ID (nom)	4,052 in 102,92 mm
Length	44,6 m
Wandruwheid ϵ	0,1500 mm
Estimated K factors	
* see tab 'K ver resfactor'	
bends, valves	0,0
diameter reductions, increases	0,0
inflow / outflow	0,0
wire wrapped screen	1,3
Σ K	1,3

0,6

TFA 8319,48 mm²

RESULTS

ΔP Tubing

Flow m ³ /h	V inj [m/s]	RE inj tube	Friction Factor	ΔP _{recht pip} [bar]	ΔP K fact. [bar]	ΔP calculated [bar]
0	0,00	0,0E+00		0,00	0,00	0,00
30	1,00	5,8E+04	0,0249	0,06	0,01	0,06
60	2,00	1,2E+05	0,0234	0,22	0,03	0,25
90	3,00	1,7E+05	0,0229	0,48	0,06	0,54
120	4,01	2,3E+05	0,0226	0,84	0,11	0,95
150	5,01	2,9E+05	0,0224	1,30	0,17	1,48
180	6,01	3,5E+05	0,0222	1,86	0,25	2,11
210	7,01	4,1E+05	0,0221	2,52	0,34	2,87
240	8,01	4,6E+05	0,0221	3,29	0,45	3,73
270	9,01	5,2E+05	0,0220	4,15	0,57	4,71
300	10,02	5,8E+05	0,0220	5,11	0,70	5,81
	0,00			#VALUE!		

ΔP Tubing

Flow m ³ /h	ΔP _{recht pip} [bar]	ΔP K fact. [bar]	ΔP calculated [bar]
0	0,00	0,00	0,00
30	0,23	0,03	0,26
60	0,86	0,11	0,97
90	1,88	0,24	2,12
120	3,28	0,43	3,71
150	5,08	0,67	5,75
180	7,25	0,97	8,22
210	9,82	1,32	11,13
240	12,77	1,72	14,49
270	16,11	2,18	18,28
300	19,83	2,69	22,52

ΔP Tubing

Flow m ³ /h	V inj [m/s]	RE inj tube	Friction Factor	ΔP _{recht pip} [bar]	ΔP K fact. [bar]	ΔP calculated [bar]
0	0,00	0,0E+00		0,00	0,00	0,00
27	0,90	5,2E+04	0,0252	0,05	0,01	0,05
54	1,80	1,0E+05	0,0236	0,18	0,02	0,20
81	2,70	1,6E+05	0,0230	0,39	0,05	0,44
108	3,61	2,1E+05	0,0227	0,68	0,09	0,77
135	4,51	2,6E+05	0,0225	1,06	0,14	1,20
162	5,41	3,1E+05	0,0223	1,51	0,20	1,72
189	6,31	3,7E+05	0,0222	2,05	0,28	2,33
216	7,21	4,2E+05	0,0221	2,67	0,36	3,03
243	8,11	4,7E+05	0,0221	3,37	0,46	3,83
270	9,01	5,2E+05	0,0220	4,15	0,57	4,71
	0,00			#VALUE!		

ΔP Tubing

Flow m ³ /h	V inj [m/s]	RE inj tube	Friction Factor	ΔP _{recht pip} [bar]	ΔP K fact. [bar]	ΔP calculated [bar]
0	0,00	0,0E+00		0,00	0,00	0,00
24	0,80	4,6E+04	0,0255	0,04	0,00	0,04
48	1,60	9,3E+04	0,0238	0,14	0,02	0,16
72	2,40	1,4E+05	0,0231	0,31	0,04	0,35
96	3,21	1,9E+05	0,0228	0,54	0,07	0,61
120	4,01	2,3E+05	0,0226	0,84	0,11	0,95
144	4,81	2,8E+05	0,0224	1,20	0,16	1,36
168	5,61	3,3E+05	0,0223	1,63	0,22	1,84
192	6,41	3,7E+05	0,0222	2,12	0,29	2,40
216	7,21	4,2E+05	0,0221	2,67	0,36	3,03
240	8,01	4,6E+05	0,0221	3,29	0,45	3,73
	0,00			#VALUE!		

ΔP Tubing

Flow m ³ /h	V inj [m/s]	RE inj tube	Friction Factor	ΔP _{recht pip} [bar]	ΔP K fact. [bar]	ΔP calculated [bar]
0	0,00	0,0E+00		0,00	0,00	0,00
21	0,70	4,1E+04	0,0259	0,03	0,00	0,03
42	1,40	8,1E+04	0,0241	0,11	0,01	0,12
63	2,10	1,2E+05	0,0233	0,24	0,03	0,27
84	2,80	1,6E+05	0,0229	0,42	0,05	0,47
105	3,51	2,0E+05	0,0227	0,65	0,09	0,73
126	4,21	2,4E+05	0,0225	0,92	0,12	1,05
147	4,91	2,8E+05	0,0224	1,25	0,17	1,42
168	5,61	3,3E+05	0,0223	1,63	0,22	1,84
189	6,31	3,7E+05	0,0222	2,05	0,28	2,33
210	7,01	4,1E+05	0,0221	2,52	0,34	2,87
	0,00			#VALUE!		

ΔP Tubing

Flow m ³ /h	V inj [m/s]	RE inj tube	Friction Factor	ΔP _{recht pip} [bar]	ΔP K fact. [bar]	ΔP calculated [bar]
0	0,00	0,0E+00		0,00	0,00	0,00
18	0,60	3,5E+04	0,0265	0,02	0,00	0,02
36	1,20	7,0E+04	0,0244	0,08	0,01	0,09
54	1,80	1,0E+05	0,0236	0,18	0,02	0,20
72	2,40	1,4E+05	0,0231	0,31	0,04	0,35
90	3,00	1,7E+05	0,0229	0,48	0,06	0,54
108	3,61	2,1E+05	0,0227	0,68	0,09	0,77
126	4,21	2,4E+05	0,0225	0,92	0,12	1,05
144	4,81	2,8E+05	0,0224	1,20	0,16	1,36
162	5,41	3,1E+05	0,0223	1,51	0,20	1,72
180	6,01	3,5E+05	0,0222	1,86	0,25	2,11
	0,00			#VALUE!		

Pressure drop NaCl over Interval 6 (50% flowrate)

Fluid & Tubing info		
Dynamic Viscosity	1,900	mPa*s of cP
Density	1070	kg/m ³
ID (nom)	4,052	in 102,92 mm
Length	44,6	m
Wandruwheld ε	0,1500	mm
Estimated K factors		
bends, valves	* see tab 'K ver resfactor'	
diameter reductions, increases	0,0	
inflow / outflow	0,0	
wire wrapped sceen	1,3	
Σ K	1,3	

TFA
0,5
8319,48 mm²

ΔP Tubing

Flow m ³ /h	V inj [m/s]	RE inj tube	Friction Factor	ΔP _{recht pip} [bar]	ΔP K fact. [bar]	ΔP calculated [bar]
0	0,00	0,0E+00		0,00	0,00	0,00
15	0,50	2,9E+04	0,0272	0,02	0,00	0,02
30	1,00	5,8E+04	0,0249	0,06	0,01	0,06
45	1,50	8,7E+04	0,0239	0,13	0,02	0,14
60	2,00	1,2E+05	0,0234	0,22	0,03	0,25
75	2,50	1,5E+05	0,0231	0,34	0,04	0,38
90	3,00	1,7E+05	0,0229	0,48	0,06	0,54
105	3,51	2,0E+05	0,0227	0,65	0,09	0,73
120	4,01	2,3E+05	0,0226	0,84	0,11	0,95
135	4,51	2,6E+05	0,0225	1,06	0,14	1,20
150	5,01	2,9E+05	0,0224	1,30	0,17	1,48
0 00				#VALUE!		

Pressure drop NaCl over Interval 6 (40% flowrate)

Fluid & Tubing info		
Dynamic Viscosity	1,900	mPa*s of cP
Density	1070	kg/m ³
ID (nom)	4,052	in 102,92 mm
Length	44,6	m
Wandruwheld ε	0,1500	mm
Estimated K factors		
bends, valves	* see tab 'K ver resfactor'	
diameter reductions, increases	0,0	
inflow / outflow	0,0	
wire wrapped sceen	1,3	
Σ K	1,3	

TFA
0,4
8319,48 mm²

ΔP Tubing

Flow m ³ /h	V inj [m/s]	RE inj tube	Friction Factor	ΔP _{recht pip} [bar]	ΔP K fact. [bar]	ΔP calculated [bar]
0	0,00	0,0E+00		0,00	0,00	0,00
12	0,40	2,3E+04	0,0282	0,01	0,00	0,01
24	0,80	4,6E+04	0,0255	0,04	0,00	0,04
36	1,20	7,0E+04	0,0244	0,08	0,01	0,09
48	1,60	9,3E+04	0,0238	0,14	0,02	0,16
60	2,00	1,2E+05	0,0234	0,22	0,03	0,25
72	2,40	1,4E+05	0,0231	0,31	0,04	0,35
84	2,80	1,6E+05	0,0229	0,42	0,05	0,47
96	3,21	1,9E+05	0,0228	0,54	0,07	0,61
108	3,61	2,1E+05	0,0227	0,68	0,09	0,77
120	4,01	2,3E+05	0,0226	0,84	0,11	0,95
0 00				#VALUE!		

Pressure drop NaCl over Interval 6 (30% flowrate)

Fluid & Tubing info		
Dynamic Viscosity	1,900	mPa*s of cP
Density	1070	kg/m ³
ID (nom)	4,052	in 102,92 mm
Length	44,6	m
Wandruwheld ε	0,1500	mm
Estimated K factors		
bends, valves	* see tab 'K ver resfactor'	
diameter reductions, increases	0,0	
inflow / outflow	0,0	
wire wrapped sceen	1,3	
Σ K	1,3	

TFA
0,3
8319,48 mm²

ΔP Tubing

Flow m ³ /h	V inj [m/s]	RE inj tube	Friction Factor	ΔP _{recht pip} [bar]	ΔP K fact. [bar]	ΔP calculated [bar]
0	0,00	0,0E+00		0,00	0,00	0,00
9	0,30	1,7E+04	0,0296	0,01	0,00	0,01
18	0,60	3,5E+04	0,0265	0,02	0,00	0,02
27	0,90	5,2E+04	0,0252	0,05	0,01	0,05
36	1,20	7,0E+04	0,0244	0,08	0,01	0,09
45	1,50	8,7E+04	0,0239	0,13	0,02	0,14
54	1,80	1,0E+05	0,0236	0,18	0,02	0,20
63	2,10	1,2E+05	0,0233	0,24	0,03	0,27
72	2,40	1,4E+05	0,0231	0,31	0,04	0,35
81	2,70	1,6E+05	0,0230	0,39	0,05	0,44
90	3,00	1,7E+05	0,0229	0,48	0,06	0,54
0 00				#VALUE!		

Pressure drop NaCl over Interval 6 (20% flowrate)

Fluid & Tubing info		
Dynamic Viscosity	1,900	mPa*s of cP
Density	1070	kg/m ³
ID (nom)	4,052	in 102,92 mm
Length	44,6	m
Wandruwheld ε	0,1500	mm
Estimated K factors		
bends, valves	* see tab 'K ver resfactor'	
diameter reductions, increases	0,0	
inflow / outflow	0,0	
wire wrapped sceen	1,3	
Σ K	1,3	

TFA
0,2
8319,48 mm²

ΔP Tubing

Flow m ³ /h	V inj [m/s]	RE inj tube	Friction Factor	ΔP _{recht pip} [bar]	ΔP K fact. [bar]	ΔP calculated [bar]
0	0,00	0,0E+00		0,00	0,00	0,00
6	0,20	1,2E+04	0,0321	0,00	0,00	0,00
12	0,40	2,3E+04	0,0282	0,01	0,00	0,01
18	0,60	3,5E+04	0,0265	0,02	0,00	0,02
24	0,80	4,6E+04	0,0255	0,04	0,00	0,04
30	1,00	5,8E+04	0,0249	0,06	0,01	0,06
36	1,20	7,0E+04	0,0244	0,08	0,01	0,09
42	1,40	8,1E+04	0,0241	0,11	0,01	0,12
48	1,60	9,3E+04	0,0238	0,14	0,02	0,16
54	1,80	1,0E+05	0,0236	0,18	0,02	0,20
60	2,00	1,2E+05	0,0234	0,22	0,03	0,25
0 00				#VALUE!		

Pressure drop NaCl over Interval 6 (10% flowrate)

Fluid & Tubing info		
Dynamic Viscosity	1,900	mPa*s of cP
Density	1070	kg/m ³
ID (nom)	4,052	in 102,92 mm
Length	44,6	m
Wandruwheld ε	0,1500	mm
Estimated K factors		
bends, valves	* see tab 'K ver resfactor'	
diameter reductions, increases	0,0	
inflow / outflow	0,0	
wire wrapped sceen	1,3	
Σ K	1,3	

TFA
0,1
8319,48 mm²

ΔP Tubing

Flow m ³ /h	V inj [m/s]	RE inj tube	Friction Factor	ΔP _{recht pip} [bar]	ΔP K fact. [bar]	ΔP calculated [bar]
0	0,00	0,0E+00		0,00	0,00	0,00
3	0,10	5,8E+03	0,0375	0,00	0,00	0,00
6	0,20	1,2E+04	0,0321	0,00	0,00	0,00
9	0,30	1,7E+04	0,0296	0,01	0,00	0,01
12	0,40	2,3E+04	0,0282	0,01	0,00	0,01
15	0,50	2,9E+04	0,0272	0,02	0,00	0,02
18	0,60	3,5E+04	0,0265	0,02	0,00	0,02
21	0,70	4,1E+04	0,0259	0,03	0,00	0,03
24	0,80	4,6E+04	0,0255	0,04	0,00	0,04
27	0,90	5,2E+04	0,0252	0,05	0,01	0,05
30	1,00	5,8E+04	0,0249	0,06	0,01	0,06
0 00				#VALUE!		

tabel 2.9 Equivalente ruwheid voor enkele materialen (Bohl, 1995).

materiaal	staat	ϵ [mm]
getrokken metalen buis (koper, messing, brons, tin, aluminium)	nieuw, glad	0.0013-0.0015
kunststof, glas, plexiglas rubber (hoge druk)	nieuw nieuw	0.0013-0.0015 0.0016
staal	gewalst (naadloos) gewalst (met lasnaad) verzinkt (naadloos) gegalvaniseerd (met lasnaad) matig verroest sterk verroest	0.02 - 0.06 0.04 - 0.1 0.07 - 0.16 0.008 0.15 - 0.2 tot 3
gietsijzer	nieuw nieuw met binnen licht verroest sterk verroest	0.2 - 0.6 0.1 - 0.13 0.5 - 1.5 tot 3
beton/klei	nieuw	0.3 - 0.8

Roughness of pipes - Windows Internet Explorer

http://www.pressure-drop.com/Online-Calculator/rauh.html

Brass, drawn/pressed	new	0.0013 - 0.0014 mm
Brass, drawn/pressed	used	to 0.03 mm
Cast iron	average city sewerage	1.2 mm
Cast iron	incrusted	to 3.0 mm
Cast iron	new, bituminized	0.10 - 0.13 mm
Cast iron	new, with skin	0.2 - 0.8 mm
Cast iron	operating several years, cleaned	1.5 mm
Cast iron	slightly rusty	1.0 - 1.5 mm
Clay	new, clay tile	9.0 mm
Clay, Drainage-pipe	new, calclined	0.7 mm
Concrete	new, medium rough	1.0 - 2.0 mm
Concrete	new, rough	2.0 - 3.0 mm
Concrete	new, smooth	0.3 - 0.8 mm
Concrete	operating several years	0.2 - 0.3 mm
Concrete, Centrifugal-	new, smooth plastered	0.1 - 0.15 mm
Concrete, Centrifugal-	new, without plaster	0.2 - 0.8 mm
Concrete, Steel-	new, smooth	0.1 - 0.15 mm
Copper, drawn/pressed	new	0.0013 - 0.0015 mm
Copper, drawn/pressed	used	to 0.03 mm
Glass, drawn/pressed	new	0.0013 - 0.0015 mm
Glass, drawn/pressed	used	to 0.03 mm
Plastic, drawn/pressed	new	0.0013 - 0.0015 mm
Plastic, drawn/pressed	used	to 0.03 mm
Rubber	new, smoot	0.0016 mm
Steel	after long operation cleaned	0.15 - 0.20 mm
Steel	homogeneous corrosion pits	0.15 mm

Done Internet 100%

Roughness of pipes - Google Chrome

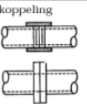
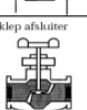
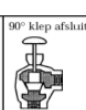
www.pressure-drop.com/Online-Calculator/rauh.html

Concrete, Centrifugal-	new, smooth plastered	0.1 - 0.15 mm
Concrete, Centrifugal-	new, without plaster	0.2 - 0.8 mm
Concrete, Steel-	new, smooth	0.1 - 0.15 mm
Copper, drawn/pressed	new	0.0013 - 0.0015 mm
Copper, drawn/pressed	used	to 0.03 mm
Glass, drawn/pressed	new	0.0013 - 0.0015 mm
Glass, drawn/pressed	used	to 0.03 mm
Plastic, drawn/pressed	new	0.0013 - 0.0015 mm
Plastic, drawn/pressed	used	to 0.03 mm
Rubber	new, smoot	0.0016 mm
Steel	after long operation cleaned	0.15 - 0.20 mm
Steel	homogeneous corrosion pits	0.15 mm
Steel	intensely incrusted	2.0 - 4.0 mm
Steel	slightly rusty and incrusted	0.15 - 0.40 mm
Steel, longitudinal welded	new, bituminized	0.01 - 0.05 mm
Steel, longitudinal welded	new, galvanized	0.008 mm
Steel, longitudinal welded	new, rolling skin	0.04 - 0.1 mm
Steel, weldless	new, comm.size galvanized	0.10 - 0.16 mm
Steel, weldless	new, neatly galvanized	0.07 - 0.10 mm
Steel, weldless	new, pickled	0.03 - 0.04 mm
Steel, weldless	new, rolling skin	0.02 - 0.05 mm
Steel, weldless	new, unpickled	0.03 - 0.05 mm
Stoneware		0.25 mm
Wood	after long operating	0.1 mm
Wood	new	0.2 - 1.0 mm

tabel 2.11 richtlijnen voor verliesfactoren (Janna 1993)

	rechthoekige inlaat $K = 0.5$		korfzeef $K = 1.3$
	inlaat met in de wand stekende pijp $K = 1.0$		goed afgeronde inlaat $K = 0.05$
	voetklep $K = 0.8$		uitlaat $K = 1.0$
 convergente uitlaat of nozzle $K = 0.1(1 - D_2^4/D_1^4)$ D_2/D_1 van 0.5 tot 0.9			
90° elleboog 	schroefdraad		flenzen/moffen
	normaal $K = 1.4$	grote radius $K = 0.75$	normaal $K = 0.31$
45° elleboog 	normaal $K = 0.35$		grote radius $K = 0.17$

tabel 2.11 richtlijnen voor verliesfactoren (Janna 1993), vervolg

180° bocht 	schroefdraad normaal $K = 1.5$		flenzen/moffen normaal $K = 0.3$		grote radius $K = 0.2$
T-stuk 	lijnstroom $K = 0.9$	tak stroom $K = 1.9$	lijnstroom $K = 0.14$	tak stroom $K = 0.69$	
koppeling 	$K = 0.08$		$K = 0.08$		
plotselinge versmalling 	$K = 0.5 - 0.167 \left(\frac{D_2}{D_1} \right) - 0.125 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 - 0.208 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3$ $6 < D < 25 \text{ mm}$				
plotselinge verwijding 	$K = 0.93 - 0.592 \left(\frac{D_1}{D_2} \right) - 3.625 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 - 2.803 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^3$ $6 < D < 25 \text{ mm}$				
klep afsluiter 	volledig open $K = 10$		90° klep afsluiter 		volledig open $K = 2$
schuifafsluiter 	volledig open $K = 0.15$ fractie gesloten $\begin{matrix} 0 & 1/4 & 3/8 & 1/2 & 5/8 & 3/4 & 7/8 \\ K & 0.15 & 0.26 & 0.81 & 2.06 & 5.52 & 10.97 \end{matrix}$				
kogelafsluiter 	volledig open $K = 0.05$ α° $\begin{matrix} 0 & 10 & 20 & 30 & 40 & 50 & 60 & 70 & 80 \\ K & 0.05 & 0.29 & 1.56 & 5.47 & 17.3 & 25.6 & 206 & 485 \end{matrix}$ ∞				
terugslagkleppen klep koepel 	$\begin{matrix} 2.5 \\ 70 \end{matrix}$				

<http://www.thermexcel.com/english/ressourc/pdclocal.htm>

Changement de section	K
- Réduction concentrique - élargissement $d1/d2 = 0.90$	0.026
- Réduction concentrique - élargissement $d1/d2 = 0.80$	0.13
- Réduction concentrique - élargissement $d1/d2 = 0.75$	0.16
- Réduction concentrique - élargissement $d1/d2 = 0.67$	0.28
- Réduction concentrique - élargissement $d1/d2 = 0.50$	0.5
- Réduction concentrique - rétrécissement $d1/d2 = 0.90$	0.008
- Réduction concentrique - rétrécissement $d1/d2 = 0.80$	0.041
- Réduction concentrique - rétrécissement $d1/d2 = 0.75$	0.049
- Réduction concentrique - rétrécissement $d1/d2 = 0.67$	0.085
- Réduction concentrique - rétrécissement $d1/d2 = 0.50$	0.16
Entrée et sortie conduite	
- Entrée conduite de niveau - $r/d = 0.00$ (angle vif)	0.5
- Entrée conduite de niveau - $r/d = 0.02$	0.28
- Entrée conduite de niveau - $r/d = 0.04$	0.24
- Entrée conduite de niveau - $r/d = 0.06$	0.15
- Entrée conduite de niveau - $r/d = 0.10$	0.09
- Entrée conduite de niveau - $r/d > 0.15$ (bien arrondie)	0.04
- Entrée conduite saillante	0.78
- Sortie canalisation	1
Divers	
<u>Comptage</u> (Consulter normalement le fabricant)	
- Compteur à disque (K : 3,4 à 10)	10
- Compteur rotatif	10
- Compteur à piston	15
- Compteur à turbine (K : 5 à 7.5)	7.5
Branchement radiateurs y/c robinetterie	
- Piquage sur réseaux aller et retour, radiateur, robinetterie	15

Pijp drukval berekening (incl wandruwheid)

Bron: <http://w3.tue.nl/uploads/media/Ptc1-h2.pdf>

zodat voor de totale drukval geschreven kan worden

$$\Delta p_{tot} = \rho g(z_2 - z_1) + \left(f \frac{L}{D} + \sum K\right) \frac{1}{2} \rho \left(\frac{4Q}{\pi D^3}\right)^2$$
$$dP = f \cdot L / D \cdot \rho \cdot v^2 / 2$$

Berekening voor frictiefactor f

Twee andere ijverige data-verwerkers hebben vergelijkingen opgesteld waaruit f direct als functie van Re en e/D kunnen worden opgelost. Beide uitdrukkingen zijn natuurlijk alleen geldig in het gebied $Re > 2300$. De vergelijking van Chen luidt

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2.0 \log \left\{ \frac{e}{3.7065 D} - \frac{5.0452}{Re} \log \left(\frac{1}{2.8257} \left(\frac{e}{D} \right)^{1.1098} + \frac{5.8506}{Re^{0.8981}} \right) \right\} \quad (2.19)$$

De vergelijking van Churchill is

$$f = 8 \left(\left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + \frac{1}{B^{12}} \right)^{1/12} \quad \text{met} \quad B = \left(2.457 \ln \left(\frac{1}{\left(\frac{7}{Re} \right)^{0.9} + \frac{0.27e}{D}} \right) \right)^{16} + \left(\frac{37530}{Re} \right)^{16} \quad (2.20)$$

dP annulus met frictiefactor gebruik hydraulische diameter

$D_{hydr} = 4 \times (\pi \times (d_{12} - d_{22}) / 4) / (\pi \times (d_1 + d_2))$

where d_1 = inner diameter of larger pipe, d_2 = outer diameter of smaller pipe

$$dP = f (L / D_h) \times (v^2 / 2)$$

where:

dP = frictional pressure loss (bar)

f = friction factor

L = length of pipe work (m)

D_h = Hydraulic diameter (m)

v = velocity of fluid (m/s)

Drill string berekening (excl wandruwheid)

dP vlg drilling data handbook G16 voor NEWTONIAN FLUID en TURBULENT FLOW

dP pijp [bar] = $(L[m] \times (\text{dens}[kg/m^3] / 1000)^{0.8} \times (\text{flow}[m^3/h] \times 1000 / 60)^{1.8} \times (\text{din.visc}[m^2/s] / \text{dens}[kg/m^3] \times 1000)$

dP annulus [bar] = $(L[m] \times (\text{dens}[kg/m^3] / 1000)^{0.8} \times (\text{flow}[m^3/h] \times 1000 / 60)^{1.8} \times (\text{din.visc}[m^2/s] / \text{dens}[kg/m^3] \times$

Conversie Cv waarde klep naar K waarde

$$K = 2.1478E-3 \times D_{mm}^4 / C_v^2$$

Voor de nieuwe kleppen zijn 2 orifices beschikbaar:

Cv	21	15
D [mm]	25	21
K	1,902459	1,856472