



# Bilaga 5 Beräkning av transporttider

Grundvattnets transporthastighet i områdena kan beräknas med hjälp av följande formel:

$$v_e = \frac{K \cdot i}{n_e} \quad (1)$$

där  $v_e$  är vattenpartiklarnas strömningshastighet [m/s],  $K$  är hydraulisk konduktivitet [m/s],  $i$  är den hydrauliska gradienten [enhetslös] och  $n_e$  är effektiv porositet [enhetslös]. Den hydrauliska gradienten,  $i$ , motsvaras av skillnaden i vattenpotential mellan två godtyckliga punkter dividerat med avståndet mellan punkterna. I öppna grundvattenmagasin motsvarar gradienten grundvattenytans lutning.

Inga hydrauliska tester för att utvärdera den hydrauliska konduktiviteten har utförts. Jordlagerföljder visar att magasinet består av sandigt grus. Litteraturvärde för hydraulisk konduktivitet i isälvsavlagringar (grus) är  $10^{-1}$  till  $10^{-3}$  m/s och för sand  $10^{-3}$  till  $10^{-6}$  m/s. Vid beräkning av transporttider bör konduktiviteten för det mest genomsläppliga lagret användas. För att inte underskatta hastigheten har en hydraulisk konduktivitet på  $K=1 \cdot 10^{-3}$  m/s antagits för hela isälvsavlagringen.

Den effektiva porositeten har antagits vara 0,2 utifrån uppgifter om att jordarterna består av grus och sand. Den effektiva porositeten för grus och sand brukar variera mellan 15 och 45 %. Utifrån dessa värden ger (1) en vattenhastighet i respektive riktning.

## 1 Prästjorden

Grundvattenytans lutning, d.v.s. den hydrauliska gradienten mot uttagsområdet, har beräknats i flera riktningar från uttagsbrunnarna. Lägen för grundvattenrör som använts för att beräkna gradienten redovisas i Figur 1 och Figur 2. Grundvattennivåer från flera olika tillfällen har använts vid beräkningarna. I Tabell 1 framgår beräkningar då ingen grundvatteninfiltration pågått och i Tabell 2 redovisas beräkningar då infiltration pågått under ca 4 månader. Tre stycken grundvattenrör, S17, PrO111 och Pr03, har inte använts i beräkningarna då dessa uppvisar en betydligt högre grundvattennivå än omgivande rör, vilket tyder på en komplex tredimensionell trycknivådistribution i området. Jorddjupen i området är betydande (30 – 50 m enligt SGU) och det kan förekomma stora skillnader i vattenförande egenskaper och trycknivåer i både vertikalled och horisontalled. Eventuellt finns det två grundvattenmagasin i isälvsavlagringen som separeras av ett tätande lerlager. Borrprotokoll för fler grundvattenrör saknas dock och det är därför svårt att bekräfta denna tes.



Figur 1 Observationsrör och grundvattennivåer som använts vid transporttidsberäkningarna för Prästjorden då ingen infiltration pågått.

Tabell 1 Beräknade transporthastigheter vid Prästjordens vattentäkt utan pågående infiltration. Grundvattennivåer från augusti 2017 och december 1964 har använts.

Gv-rör	Avstånd [m]	Ack avstånd [m]	Trycknivå [möh]	i	v [m/dygn]	Tid [dygn]	Ack tid [dygn]
<b>Norr om vattentäkten</b>			<b>Dec 1964</b>				
P02	0	0	-9				
S01	300	300	-4,5	0,015	6,5	46	46
S07	85	385	-3,5	0,012	5,1	17	63
S019	185	570	-2	0,008	3,5	53	116
<b>Transporttid dagar</b>		<b>Beräknat avstånd m</b>					
100		515					
365		1443					
<b>Nordväst om vattentäkten</b>			<b>Aug 2017</b>				
Pr 03	0	0	6,96				
Pr O1701	600	600	14,76	0,013	5,62	107	107
Pr O1702	580	1180	23,65	0,015	6,62	88	194
<b>Transporttid dagar</b>		<b>Beräknat avstånd m</b>					
100		562					
365		2309					



Figur 2 Observationsrör och grundvattennivåer uppmätta i november 2017 som använts vid transporttidsberäkningarna för Prästjorden. Grundvatteninfiltrationen hade då pågått i ca 4 månader. Rör 109 är ett gammalt rör som ej är i bruk längre.

Tabell 2 Beräknade transporthastigheter vid Prästjordens vattentäkt under pågående infiltration i november 2017. Observationsrör markerat med \* ett gammalt rör.

Gv-rör	Avstånd [m]	Ack avstånd [m]	Trycknivå [möh]	i	v [m/dygn]	Tid [dygn]	Ack tid [dygn]
<b>Norr om vattentäkten</b>			<b>Nov 2017</b>				
Pr012	0	0	7,6				
PrO1704	203	203	8	0,002	0,85	238	238
PrO1703	159	362	11,3	0,021	8,97	18	256
109	1190	1552	28,5*	0,014	6,24	191	447
<b>Transporttid dagar</b>		<b>Beräknat avstånd m</b>					
100		85					
365		1041					
<b>Nordväst om vattentäkten</b>			<b>Nov 2017</b>				
Pr 05	0	0	4,5				
PrO1701	600	600	17,5	0,022	9,36	64	64
PrO1702	580	1180	23,7	0,011	4,62	126	190
<b>Transporttid dagar</b>		<b>Beräknat avstånd m</b>					
100		766					
365		1990					



<b>Västnordväst om vattentäkten</b>			<b>Nov 2017</b>				
Pr05	0	0	4,5				
PrO1706	238	238	9,8	0,022	9,62	25	25
PrO1705	126	364	13,0	0,025	10,97	11	36
PrO1702	770	1134	23,7	0,014	6,00	128	164
<b>Transporttid dagar</b>	<b>Beräknat avstånd m</b>						
100	747						
365	2338						
<b>Sydväst om vattentäkten</b>			<b>Nov 2017</b>				
Pr05	0	0	4,5				
PrO1707	210	210	7,1	0,012	5,35	39	39
PrO1708	560	770	9,1	0,004	1,54	363	402
<b>Transporttid dagar</b>	<b>Beräknat avstånd m</b>						
100	713						
365	1952						

\* Grundvattenröret finns ej kvar. Grundvattennivån har uppmätts av WSP under 2014 – 2015.

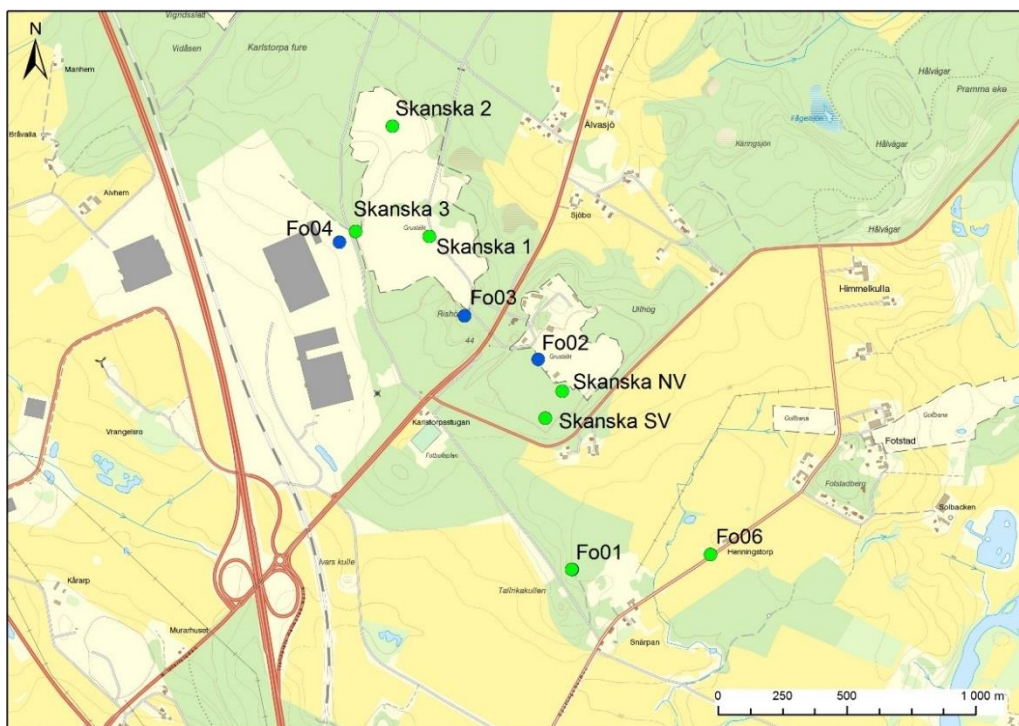
Beräkningarna visar att transporthastigheten ökar nordväst om uttagsbrunnarna då infiltration pågår. Detta är vad som förväntas. Norr om uttagsbrunnarna minskar dock gradienten och därmed även transporthastigheten. Detta skulle kunna bero på att dessa grundvattenrör sitter i det övre grundvattenmagasinet och att uttagsbrunnarna som är 20 – 50 m djupa, tar sitt vatten från det undre magasinet.

Vid avgränsningen av skyddszoner har beräkningarna som gett störst avstånd använts för att vara på den säkra sidan.

För att uppnå en uppehållstid på 100 dygn, vilket är kravet för primär skyddszon, bör avståndet till zongränsen vara minst 760 meter åt nordväst. Åt norr bör zonen vara minst 560 m. Åt sydväst har avståndet beräknats till 710 m. I denna riktning överlagras dock isälvs materialet av mäktiga lerlager. Transporthastigheten igenom leran är mycket låg och därför bedöms en något mindre skyddszon vara acceptabelt i denna riktning. I övriga riktningar är gradienten ej känd.

## 2 Fotstad

Grundvattenytans lutning, d.v.s. den hydrauliska gradienten mot uttagsområdet, har beräknats i två riktningar från uttagsbrunnarna. Lägen för grundvattenrör som använts för att beräkna gradienten redovisas i Figur 3. Grundvattennivåer från två olika tillfällen har använts vid beräkningarna. I Tabell 3 redovisas beräkningar där grundvattennivåer från december 1971 använts och i Tabell 4 har grundvattennivåer uppmätta i februari 2018 använts.



Figur 3 Grundvattenrör som använts vid transporttidsberäkningarna för Fotstad. Gröna cirklar är grundvattenrör som är i bruk och mörkblå cirklar är gamla grundvattenrör som tagits ur bruk.

Tabell 3 Beräknade transporthastigheter vid Fotstads vattentäkt baserat på grundvattennivåer i december 1971.

Gv-rör	Avstånd [m]	Ack avstånd [m]	Trycknivå [moh]	i	v [m/dygn]	Tid [dygn]	Ack tid [dygn]
<b>Norr om vattentäkten</b>			Dec 1971				
Fo01	0	0	-0,5				
Fo02	820	820	16	0,020	8,7	94	94
Fo03	330	1150	16,5	0,002	0,7	504	598
Fo04	570	1720	27	0,018	8,0	72	670
<b>Transporttid dagar</b>		<b>Beräknat avstånd m</b>					
100		824					
365		997					
<b>Öster om vattentäkten</b>			Dec 1971				
Fo01	0	0	-0,5				
Fo06	540	540	12	0,023	10,00	54	54
<b>Transporttid dagar</b>		<b>Beräknat avstånd m</b>					
100		1000					
365		3650					



Tabell 4 Beräknade transporthastigheter vid Fotstads vattentäkt baserat på grundvattennivåer februari 2018.

Gv-rör	Avstånd [m]	Ack avstånd [m]	Trycknivå [möh]	i	v [m/dygn]	Tid [dygn]	Ack tid [dygn]
<b>Norr om vattentäkten</b>			Feb 2018				
Fo01	0	0	12				
Skanska SV	600	600	18,1	0,010	4,4	137	137
Skanska 1	840	1440	18,65	0,001	0,3	2970	3106
Skanska 2	450	1890	24,57	0,013	5,7	79	3185
<b>Transporttid dagar</b>		<b>Beräknat avstånd m</b>					
100		439					
365		665					
<b>Öster om vattentäkten</b>			Feb 2018				
Fo01	0	0	11,4				
Fo06	540	540	28,85	0,2	13,96	39	39
<b>Transporttid dagar</b>		<b>Beräknat avstånd m</b>					
100		1396					
365		5095					

Beräknat avstånd för den primära zonen (100 dagar) skiljer sig ganska mycket mellan Tabell 3 och Tabell 4. Det är också stora skillnader i uppmätta grundvattennivåer. De äldre grundvattennivåer är mätta enligt höjdsystemet RH70 medan de senaste är uppmätta i RH2000. Skillnaden mellan dessa två höjdsystem är dock bara 0,1 m i Halmstad enligt GIS-ingenjören Christer Bylund på Halmstad kommun. Då driftsättet i Fotstad har ändrats efter 1971 för att säkerställa en hållbar hantering av vattentäkten bedöms transporttidsberäkningarna i Tabell 3 vara mest representativa. Dessa visar att den primära zonen minst bör vara 440 m åt norr och 1400 m åt öster. Åt öster överlagras dock eventuellt isälvsmaterial av mäktiga lerlager med uppåtriktad gradient. Transporthastigheten igenom leran är mycket låg och därför bedöms en mindre skyddszon på ca 700 m vara acceptabelt i denna riktning. Dessutom visar borrhprotokollet för grundvattenröret Fo06 att jordlagren endast utgörs av lera på berg. Därmed antas att isälvsavlagringens utbredning i denna riktning är begränsad. I övriga riktningar är gradienten ej känd.