

BILAGA 9. SPRIDNINGSBERÄKNINGAR

2016-10-21, rev 2017-01-20

Gasverksområdet i Norrköping - Beräkningar på föroreningstransport efter schaktsanering

Metod

Resultat från befintlig grundvattenmodell, jord- och grundvattenanalyser samt litteratordata har använts för att beräkna transport av föroreningar från gasverksområdet efter schaktsanering till 4 m djup. Beräkningar har utförts för ämnena bly, arsenik, bensen, naftalen (PAH-L), fluoranten (PAH-M) och bens(a)pyren (PAH-H), som bedömts vara representativa ämnen för de föroreningar som kan finnas kvar på området efter schaktsanering.

För att kunna ta hänsyn till markens varierande förhållanden och den osäkerhet som finns hos använda parametrar utfördes Monte Carlo-simulering. Monte Carlo-simulering innebär att 1000-tals beräkningar utförs där ett antal parametrar väljs ut slumpvis ur en statistisk fördelning. Ett exempel på en osäker parameter är den hydrauliska konduktiviteten, som är både svårbestämbar och har en naturlig variation. Monte Carlo-simulering är en metod som kan användas för att hantera denna osäkerhet.

Beräkningar på föroreningarnas transporttid till Motala ström utfördes för tre delområden; transport från området vid gasklockorna, transport från gasklockorna via den gamla åfåran, samt transport från den gamla dockan. Transporttiden, t_s , beräknades med följande formel:

$$t_s = t_{gv} \times R = \frac{x\theta_k}{Ki} \times \left(1 + \frac{K_{oc}f_{oc}\rho_b}{\theta_k}\right)$$

där t_{gv} är grundvattnets transporttid och R är retardationen (hur mycket långsammare föroreningen rör sig jämfört grundvattnet). Övriga parametrar framgår av Tabell 1 och Tabell 2. Fördelningskoefficienten K_d , som användes för bly och arsenik, motsvaras av $K_{oc} \times f_{oc}$ för de organiska föroreningarna.

För beräkning av halt utfördes beräkningar för källområdena, d v s för områdena vid gasklockorna och dockan (åfåran betraktas endast som en spridningsväg). Den maxhalt, c_{ut} , som lämnar området beräknades på följande sätt:

$$c_{ut} = c_p \frac{Q_f}{Q_f + Q_{in}} = \frac{c_{rest}}{K_{oc}f_{oc} + \frac{\theta}{\rho_b}} \times \frac{PbL}{PbL + (Pb(x - L) + Kibh)}$$

där c_p är föroreningskoncentrationen i porvattnet, Q_f är grundvattenbildningen (uttryckt som flöde) inom det förorenade området, Q_{in} är tillkommande grundvattenflöde och c_{rest} är antagen resthalt av föroreningen i marken efter schaktsanering.

För att bestämma rimliga resthalter beräknades UCLM95-halter för prov mellan 4-5 m djup för gasklocksområdet respektive dockanområdet (halva värdet antogs för prov med halt under rapporteringsgräns). Alla parametrar framgår av Tabell 1 och Tabell 2.

Tabell 1. Områdesspecifika parametervärden som användes för att beräkna transporttid och maxhalt.

Parameter	Symbol	Enhet	Gasklocka	Gammal åfåra	Docka	Källa
Hydraulisk konduktivitet i befintlig jord	K	m/s	1×10^{-9} - 1×10^{-5}	1×10^{-6} - 1×10^{-4}	5×10^{-7} - 2×10^{-4}	Grundvattenmodell; slugtest (Sweco, 2016)
Hydraulisk konduktivitet i fyllnadsmassor	K	m/s	1×10^{-3}	-	1×10^{-3}	Antaget värde
Hydraulisk gradient	i	%	0,23-0,75	0,14-0,57	0,29-0,67	Grundvattenmodell (Sweco, 2016)
Grundvattenbildning	P	mm/år	40-120	40-120	40-120	Grundvattenmodell (Sweco, 2016)
Avstånd Motala ström	x	m	80-100	100-150	10-110	Analysresultat
Jordens bulkdensitet,	ρ_b	kg/l	1,49-1,93	1,69-1,93	1,69-1,93	Montgomery, 2007
Porvattenhalt	θ	%	25-45	-	25-45	Grip & Rodhe, 1994
Kinematisk porositet	θ_k	%	1-30	1-20	1-20	Carlsson & Gustafsson, 1991
Jordens organiska halt	f_{oc}	g/kg	14-32	14-32	14-32	Analysresultat (median lera, fyll)
Bredd källområde	b	m	60-120	-	16	Analysresultat
Längd källområde	L	m	30	-	100	Analysresultat
Grundvattenförande mäktighet	h	m	2,5-2,9	-	2,5	Grundvattenmodell (Sweco, 2016)

Tabell 2. Ämnesspecifika parametervärden som användes för att beräkna transporttid och maxhalt.

Parameter	Enhet	Bly	Arsenik	Bensen	Naftalen	Fluor- anten	Bens(a)- pyren
log K_{oc} – fördelnings- koefficient jord och porvatten ^{a, b)}	-	-	-	1,5-2,8	2,3-5,6	4,2-7,5	5,5-8,3
log K_d – fördelnings- koefficient jord och porvatten ^{a, c)}	l/kg	3,2-5,8	2,5-3,5	-	-	-	-
Antagen resthalt, gasklocka, C_{rest} ^{a)}	mg/kg TS	38	4,6	22	730	140	44
Antagen resthalt, docka, C_{rest} ^{a)}	mg/kg TS	160	4,7	0,11	640	260	75

Som källa för parametervärden har använts: a) analysresultat; b) Montgomery 2007; c) Naturvårdsverket 2009

Resultat

I Tabell 3 redovisas beräknad transporttid från källområdena till Motala ström för respektive ämne samt grundvatten. För källområdet vid gasklockorna redovisas dels en generell transporttid från området och dels en specifik transporttid från området via den gamla åfåran. Redovisade transporttider motsvarar den beräknade 5-percentilen, som bedöms svara mot en konservativ beräkning av transporttiden. Det innebär att utifrån Monte Carlo-simuleringen erhöles i 95 % av beräkningarna en längre transporttid än vad som redovisas i Tabell 3. De 5 % av beräkningarna med kortare transporttid bedöms däremot vara resultat av mindre realistiska kombinationer av indata (t ex hög hydraulisk konduktivitet kombinerat med hög hydraulisk gradient).

Tabell 3. Beräknad transporttid (år) från källområde till Motala ström.

	Grund- vatten	Bly	Arsenik	Bensen	Naftalen	Fluor- anten	Bens(a)- pyren
Gasklocka	12	1 milj.	100 000	300	20 000	10 milj.	6 milj.
Gammal åfåra	3	300 000	30 000	80	5 000	4 milj.	1 milj.
Docka	0,6	700 000	20 000	200	100 000	70 000	100 000

I Tabell 4 redovisas beräknade halter i grundvatten som lämnar området vid gasklockorna respektive gamla dockan. Redovisade halter motsvarar 95-percentilen, som bedöms representera en konservativ beräkning. Det innebär att i 95 % av beräkningarna erhöles en lägre halt än vad som redovisas i Tabell 4. I tabellen finns även uppmätta median- och medelhalter, samt gräns- och riktvärden där sådana finns.

Tabell 4. Uppmätta (nuvarande) och beräknade (efter schaktsanering) halter i grundvatten. För jämförelse redovisas uppmätta UCLM95-halter, samt i förekommande fall bedömningsgrunder för grundvatten (SGU, 2013).

	Bly	Arsenik	Bensen	Naftalen	Fluor- anten	Bens(a)- pyren
<u>Bedömningsgrunder</u>						
SGU klass 5, mkt hög halt	>10	>10	>1			>0,01
SGU klass 4, hög halt	10	10	0,2			0,002
SGU klass 3, måttlig halt	2	5	0,1			0,001
SGU klass 2, låg halt	1	2	0,02			0,0005
SGU klass 1, mkt låg halt	<0,5	<1	<0,02			<0,0005
<u>Uppmätta halter (nuvarande)</u>						
Gasklocka, UCLM95 (µg/l)	6,1	6,8	12000	2200	0,92	0,39
Docka, UCLM95 (µg/l)	0,27	2,1	1,4	10	75	11
<u>Beräknade halter (efter schaktsanering)</u>						
Gasklocka, 95-percentilen (µg/l)	0,2	0,2	400	300	0,07	0,08
Docka, 95-percentilen (µg/l)	0,1	0,1	0,18	1	0,7	0,3

I Tabell 5 redovisas beräknade mängder som kan tänkas nå Motala ström före och efter schaktsanering. Beräknade mängder baseras på de halter som redovisas i Tabell 4. Mängderna ger en fingervisning om effekten av en schaktsanering, men kan vara missvisande på grund av få analyserade prover och då flera prover påträffats under labbets rapporteringsgräns. De beräknade mängderna kan dessutom vara överskattade då de baseras på jämviktsberäkningar där transporttiden i grundvatten ej medräknats. För att ta hänsyn till transporttiden skulle beräkningar med en numerisk grundvattenmodell behövas.

Tabell 5. Beräknade mängder (g/år) som kan tänkas nå Motala ström före och efter schaktsanering.

	Bly	Arsenik	Bensen	Naftalen	Fluor- anten	Bens(a)- pyren
Gasklocka före sanering	6	7	10 000	2000	1	0,4
Gasklocka efter sanering	0,2	0,2	500	300	0,1	0,08
Docka före sanering	0,1	1	0,6	5	30	5
Docka efter sanering	0,06	0,05	0,08	0,7	0,4	0,1

I beräkningarna har förutsatts att det efter schaktsanering kommer kvarstå hydraulisk kontakt mellan kvarvarande föroreningar och vattenförande skikt. Om det inte gör det kommer

4 (6)

BILAGA 13. SPRIDNINGSBERÄKNINGAR
2016-10-

beräknade transporttider att vara underskattade samt beräknade halter och mängder att vara överskattade.

Sammanfattning

För de förorenade områdena vid gasklockan och gamla dockan har beräkningar utförts på transporttid, halter och mängder som kan nå Motala ström efter schaktsanering ned till 4 m djup. Beräkningarna har utförts för ämnena bly, arsenik, bensen, naftalen, fluoranten och bens(a)pyren. Beräkningarna baseras delvis på uppmätta halter i jord och grundvatten, från vilka UCLM95-halter har beräknats för att få representativa halter. Valet av UCLM-95-halter medför att resultaten kan antas vara på "säkra sidan".

Sammanfattningsvis indikerar beräkningarna att halterna efter schaktsanering till 4 m djup kommer att medföra

- att halterna bly och arsenik från både gasklocksområdet och gamla dockan reduceras till *mycket låga* halter enligt SGU:s bedömningsgrunder;
- att bensenhalten från gasklocksområdet reduceras men fortfarande kommer att klassas som *mycket höga* halter enligt SGU:s bedömningsgrunder;
- att bensenhalten från gamla dockan reduceras till *måttliga* halter enligt SGU:s bedömningsgrunder;
- att halterna bens(a)pyren från både gasklocksområdet och gamla dockan reduceras men fortfarande kommer att klassas som *mycket höga* halter enligt SGU:s bedömningsgrunder.

Referenser

Carlsson, L. och Gustafsson, G. (1991). *Provpumpning som geohydrologisk undersökningsmetodik*, Rapport R66:1991, Byggforskningsrådet.

Grip, H. och Rodhe, A. (1994). *Vattnets väg från regn till bäck*, 3:e reviderade upplagan, Hallgren & Fallgren Studieförlag.

Montgomery, J.H. (2007). *Groundwater Chemicals Desk reference*, 4th edition, CRC Press.

Naturvårdsverket (2009). *Riktvärden för förorenad mark – modellbeskrivning och vägledning*, Rapport 5976.

SGU (2013). *Bedömningsgrunder för grundvatten*, SGU-rapport 2013:01.

Sweco (2016). *Bilaga 1 PM Grundvattenmodellering* som finns i *Hydrogeologiska förhållanden i inre hamnen Norrköping etapp 1 gasverksområdet – påverkan under schaktsanering*, 2016-09-20.