

# Reningsanläggning för PFAS, Karlsborgs flygplats

Fortifikationsverket

## Karlsborg, MKB markavvattning

Slutversion

Malmö

# Karlsborg, MKB markavvattning

Reningsanläggning för PFAS, Karlsborgs flygplats

Datum	2018-09-11
Uppdragsnummer	1320027196-003
Utgåva/Status	Slutversion

	Martina Uldal	
	Dora Stefansdottir	
Anna Thelin	Sara Frid	Hans Carlsson
Uppdragsledare	Handläggare	Granskare

Ramboll Sverige AB  
Skeppsgatan 5  
211 11 Malmö

Telefon 010-615 60 00

Unr 1320027196-003 Organisationsnummer 556133-0506

## Sammanfattning

Fortifikationsverket planerar att anlägga ny markdränering på flygplatsområdet samt genomföra en restaurering av hela dräneringssystemet vid Karlsborgs flygplats. Tidigare utförda undersökningar visar att PFAS förekommer i höga halter i grundvattnet i området. Även ytvattnet i Kärnebäcken har visat sig innehålla relativt höga halter PFAS, vilka sannolikt har sitt ursprung i dagvattnet som samlas upp i området och avleds till Kärnebäcken. Drän- och dagvattnet kan komma att behöva renas från PFAS-ämnena i en reningsanläggning innan det leds vidare ut i recipienten Bottensjön. I denna rapport presenteras hur en framtida sådan reningsanläggning för PFAS skulle kunna utformas.

Behandlingstekniker för avskiljning av PFAS bygger på filtrering med filter innehållande aktivt kol eller jonbytesmassa alternativt membranfilter. Andra metoder är under utveckling men mer forskning krävs för att säkerställa att deras reningsförmåga är tillräckligt hög vid användning i fullskala. Det alternativ som har studerats i denna rapport är aktivt kol, vilket baseras på att detta är en väl beprövad teknisk lösning som har uppvisat god reningsgrad avseende PFAS i fullskalig kontinuerlig drift. Tekniken kräver heller inte extra rening eller annat omhändertagande av tvättvattenvolymer med höga halter PFAS i jämförelse med övriga utredda alternativ.

Reningsanläggningen föreslås utformas med kemisk fällning, sedimentering, filtrering och som sista steg kolfilter. För avskiljning av PFAS föreslås ett filtersteg med tre kolfilter i serie. Erfarenhet från fullskaleanläggningar visar på att denna typ av utformning ger goda förutsättningar för att kunna uppnå en långtgående avskiljning av flera olika typer av PFAS-föreningar. Utifrån de för platsen givna förutsättningarna är bedömningen att man över kolfiltersteg 1 kan erhålla en avskiljningsgrad av PFOS på 90 - 95 %. Över filtersteg 2 och 3 är bedömningen att avskiljningsgraden av övriga PFAS-föreningar kommer att ligga i intervallet 60 – 90 %. För valda medel- och maxflöden är bedömningen att den totala reningsgraden med avseende på PFAS-föreningar uppskattningsvis kommer att ligga på ca 85 – 90 % både vid ett 10-års regn och vid ett 2-års regn.

För att verifiera anläggningens reningseffekt och vilka utsläppskoncentrationer av PFAS och PFOS som kan uppnås är det nödvändigt med kontinuerliga försök på plats med det aktuella drän- och dagvattnet. Dessutom är kontinuerliga försök förutsättning för mer detaljerad design av anläggningens olika reningssteg.

Kostnaden för reningsanläggningen bedöms till 7 - 8 MSEK, vilket fördelas enligt nedan.

- |                    |                |
|--------------------|----------------|
| • Maskinutrustning | 2 – 3 MSEK     |
| • Byggnad          | 1,8 – 2,7 MSEK |
| • El/styr          | 0,7 – 1,1 MSEK |
| • VVS              | 0,5 – 0,7 MSEK |

- Oförutsett 0,8 – 1,3 MSEK
- Projektering mm 1 – 1,5 MSEK

Driftkostnad för anläggningen bedöms till ca 540 000 – 590 000 SEK per år. Till detta kommer personalomkostnader för ca 0,5 heltidstjänster fördelade på rollerna drifingenjör, tekniker, miljö/processingenjör samt laboratoriepersonal.

## Innehållsförteckning

1.	Inledning .....	5
1.1	Bakgrund.....	5
1.1.1	Perfluorerande ämnen.....	5
1.1.2	Karlsborg flygplats.....	6
1.2	Syfte.....	7
1.3	Omfattning.....	7
2.	Dimensionerande förutsättningar.....	8
2.1	Område .....	8
2.2	Flöden .....	9
2.3	Föroreningshalter .....	12
2.3.1	PFAS och PFOS .....	12
2.3.2	Övriga föroreningar .....	13
2.3.3	Dimensionerande halter.....	14
3.	Screening av möjliga reningstekniker.....	15
3.1	Förbehandling .....	15
3.1.1	Sedimentering och kemisk fällning .....	15
3.1.2	Sandfilter.....	15
3.1.3	Filtralite® .....	16
3.2	Rening av PFAS.....	16
3.2.1	Aktivt kol .....	16
3.2.2	Membranfilter .....	18
3.2.3	Anjonbytesteknik.....	18
3.2.4	Laqua Hybridfilter.....	19
4.	Tänkbar systemlösning för Karlsborg .....	21
4.1	Avskiljning av PFAS med aktivt kol – en sammanställning av erfarenheter.....	21
4.2	Översiktlig funktions- och processbeskrivning.....	23
4.3	Anläggningsdata .....	25
4.4	Bedömning av avskiljningsgrad med avseende på PFAS .....	26
5.	Kostnadsbedömning .....	28
5.1	Investeringskostnader.....	28
5.2	Driftskostnader .....	28
6.	Diskussion.....	30
7.	Förslag till fortsatt arbete.....	31
8.	Referenser .....	32

## Bilagor

### Bilaga 1 Flödesberäkningar

## 1. Inledning

### 1.1 Bakgrund

#### 1.1.1 Perfluorerade ämnen

Perfluorerade ämnen är samlingsnamnet för en stor grupp föreningar som alla har gemensamt att alla väteatomer bundna till kolatomerna har bytts ut mot fluoratomer. Den kemiska bindningen mellan kol och fluor är en av de starkaste som finns, vilket medför att dessa kemiska föreningar troligen inte bryts ner naturligt. Enligt Kemikalieinspektionen<sup>1</sup> tyder mycket på att ju längre den högfluorerade kolkedjan är, desto högre toxicitet och desto större potential för bioackumulation föreligger. Ämnena har uppmärksammats under senare år då de har påträffats i grundvatten, dricksvatten och vattendrag i halter som innebär risker för människor och miljön. Eftersom de inte kan brytas ned fullständigt så försvinner de inte heller ur miljön.

På grund av sin förmåga att bilda vatten-, fett- och smutsavstötande ytor har perfluorerade ämnen använts i bl.a. rengöringsmedel, brandskum, impregnering för textilier och papper samt i produkter inom verkstads- och elektronikindustrin. I Sverige är användning av vissa typer av brandsläckningsskum den största direkta punktkällan till perfluorerade ämnen. Brandövningar sker ofta vid flygfält, särskilt vid speciella brandövningsplatser, och perfluorerade ämnen är därför en vanligt förekommande förorening vid flygplatser.

PFAS är samlingsnamnet för poly- och perfluorerade ämnen. Dessa är mycket svårnedbrytbara, anrikas i näringskedjan och är misstänkt cancerogena. Studier har visat att exponering av höga PFAS-halter kan ge leverskador och påverka fettmetabolismen, immunförsvaret och reproduktionsförmågan<sup>2</sup>. Det finns idag inga gränsvärden för PFAS i livsmedel och dricksvatten. Livsmedelsverket har dock satt en åtgärdsgräns på 90 ng/l PFAS för dricksvatten<sup>3</sup>. Vidare har SGI tagit fram ett preliminärt riktvärde för PFAS i grundvatten, vilket är 45 ng/l (0,045 µg/l)<sup>4</sup>. De perfluorerade ämnen som oftast nämns är PFOS och PFOA.

PFOS, perflouroktansulfonat, har tidigare använts i brandskum, rengöringsmedel samt impregneringsmedel. PFOS består av 8 kolatomer som alla har fluoratomer bundna till sig. PFOS är persistent, bioackumulerande och toxiskt samtidigt som det ansamlas i naturen och är kroniskt giftigt, reproduktionsstörande och giftigt för vattenlevande organismer<sup>5</sup>. Det finns många kemiska föreningar som innehåller olika varianter av PFAS och som i vissa fall kan brytas ner till just PFOS i naturen. Sedan juni 2008 är det förbjudet, med vissa undantag, att använda

---

<sup>1</sup> <https://www.kemi.se/om-kemikalieinspektionen/verksamhet/handlingsplan-for-en-giftfri-vardag/hogfluorerade-amnen-pfas, 2018-04-24>

<sup>2</sup> <https://www.kemi.se/om-kemikalieinspektionen/verksamhet/handlingsplan-for-en-giftfri-vardag/hogfluorerade-amnen-pfas, 2018-04-27>

<sup>3</sup> [www.livsmedelsverket.se](http://www.livsmedelsverket.se)

<sup>4</sup> Pettersson, M et al, 2015.

<sup>5</sup> <https://www.kemi.se/om-kemikalieinspektionen/verksamhet/handlingsplan-for-en-giftfri-vardag/hogfluorerade-amnen-pfas, 2018-04-24>

PFOS och ämnen som kan brytas ned till PFOS i kemiska produkter och varor inom EU. Sedan 2009 är PFOS inkluderad i Stockholmskonventionen för persistenta organiska miljögifter samt i FNs LRTAP-konvention. För övriga PFAS-ämnen finns det idag inga restriktioner.

PFOA, perfluoroktansyra, består av åtta kolatomer, en karboxylgrupp på det yttre kolet och fluor bundet till övriga kolatomer. PFOA är svårnedbrytbart men dess övriga egenskaper är ännu inte fullt utredda (Kemikalieinspektionen, 2009). PFOA misstänks vara reproduktionsstörande och cancerframkallande för människor<sup>6</sup>.

### 1.1.2

#### Karlsborg flygplats

Fortifikationsverket planerar att anlägga ny markdränering på flygplatsområdet samt genomföra en restaurering av hela dräneringssystemet vid Karlsborgs flygplats. Ramböll har fått i uppdrag av Fortifikationsverket att projektera nybyggnad av dränering samt att för detta syfte upprätta en miljökonsekvensbeskrivning (MKB).

Utredningar har identifierat totalt 6 områden på Karlsborgs flygfält där brandsläckningsskum innehållande PFAS kan ha använts. Undersökningar utförda av Niras och Sweco har visat att PFAS förekommer i höga halter i grundvattnet inom framför allt den gamla och den nya brandövningsplatsen. Hög halt (över Livsmedelsverkets gränsvärde för dricksvatten, 900 ng/l) har även påträffats i sydvästra banändan.

Dagvatten, både från den nya och den äldre brandövningsplatsen, samt från flygplatsområdet samlas upp via dagvattensystemet och leds via Kärnebäcken ut mot Bottensjön. Ytvatten i Kärnebäcken har visat sig innehålla relativt höga halter av PFAS, vilka sannolikt har sitt ursprung i flygplatsområdet. Sedimentprover från Kärnebäcken har också visat sig innehålla PFAS. Den årliga uttransporten av PFAS via Kärnebäcken till Bottensjön har beräknats till i storleksordningen 200-400 g (Niras 2017).

Av de förorenade områdena är det endast den sydvästra banändan som berörs av planerad markavvattnings. Övriga områden ligger nedströms flygfältet som ska avvattnas. Ramböll har genomfört provtagningar av jord, grundvatten och dagvatten inom hela det område som planeras markavvattnas. Halter i grundvattnet över Livsmedelsverkets åtgärdsgräns för dricksvatten, 90 ng/l men under gränsvärdet 900 ng/l påträffas i anslutning till sydvästra banändan. PFAS-förorening påträffas också i det befintliga dagvattensystemet. Inom mittersta och östra delen av flygfältet är halterna i grundvatten låga. I jord har inga PFAS-halter över riktvärden påträffats.

Drän- och dagvattnet kan komma att behöva renas från PFAS-ämnen i en reningsanläggning innan det leds vidare ut i recipienten Bottensjön. Ramböll VA-

---

<sup>6</sup> <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Organiska-miljogifter/Perfluorerade-amnen/>, 2018-06-20.



process har fått i uppdrag av Fortifikationsverket att utreda möjligheterna till rening av det förorenade drän- och dagvattnet från flygplatsens sydvästra del.

## 1.2 Syfte

Syftet med denna förstudie är att översiktligt utreda drän- och dagvattenflöden, dimensionerande halter av PFAS och PFOS, möjliga reningstekniker samt att ta fram översiktliga investeringsbedömningar.

Förstudien kommer sedan att, tillsammans med övriga utredningar, fungera som underlag för vidare beslut om en reningsanläggning behövs eller ej.

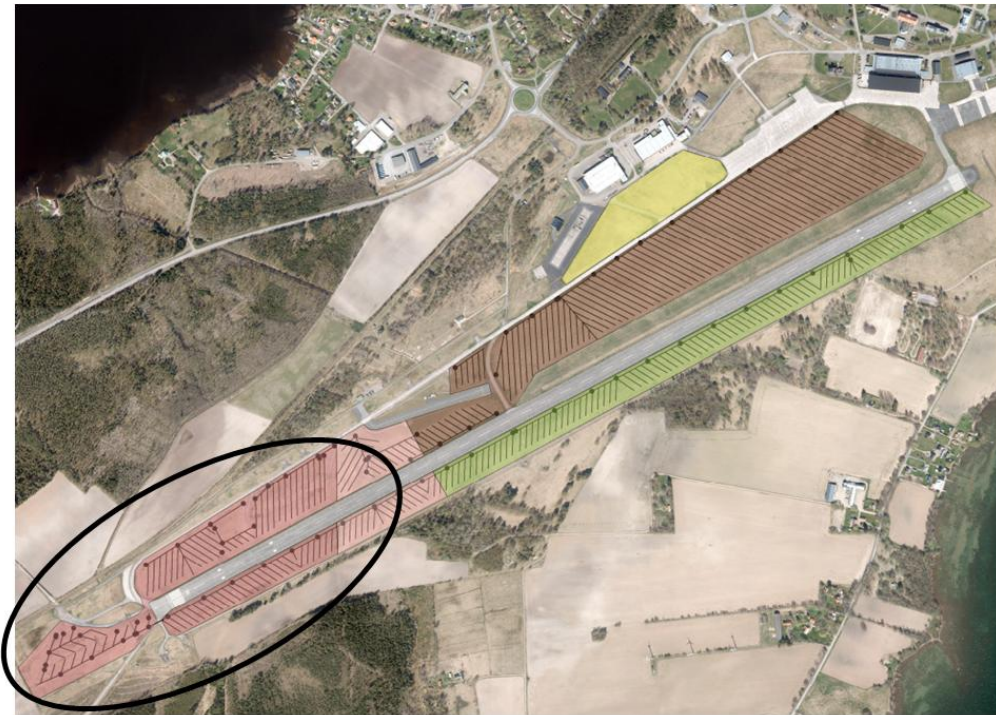
## 1.3 Omfattning

Uppdraget omfattar att hjälpa Fortifikationsverket att teoretiskt utreda hur en framtida reningsanläggning för PFAS skulle kunna utformas för drän- och dagvatten inom flygfältsområdet vid Karlsborg.

## 2. Dimensionerande förutsättningar

### 2.1 Område

De områden vid Karlsborgs flygplats som är aktuella för markavvattning presenteras i Figur 1. Halterna av PFAS inom området varierar, men i detta specifika uppdrag är endast från områdets sydvästra del (mörkrosa och inringat i svart i Figur 1) som möjligheterna till rening av PFAS från drän- och dagvatten är aktuellt att utreda. Områdets sydvästra del har en area på ca 18 ha.



Figur 1 Översiktskarta för planerad markavvattning, det mörkrosa område inringat i svart är det som är aktuellt för rening av PFAS.

## 2.2

### Flöden

Vid installation av planerade markdräneringar kommer grundvattennivån inom delar av området, där vattnet idag ofta står högt, att sänkas till dräneringsledningarnas nivå på ca 0,9 m under markytan. Denna grundvattenavsänkning kommer inledningsvis generera ett kontinuerligt vattenflöde genom dräneringssystemet. Efter en tids avsänkning kommer en viss jämvikt att uppstå och grundvattenflödet i dräneringen kommer därför att minska. Uppskattningsvis är det kontinuerliga flödet från grundvattnet vid uppnådd jämvikt relativt litet och bedöms därför kunna inrymmas inom ramen för de medel- och maxflöden som föreslås i detta avsnitt.

Årsnederbörden vid Karlsborg ligger på ca 670 mm/år<sup>7</sup> och beräkningar ger en årsavrinning från det sydvästra området (se Figur 1) på ca 37 750 m<sup>3</sup>, motsvarande ett medelflöde på ca 4,3 m<sup>3</sup>/h (se Tabell 1).

*Tabell 1 Beräknad nettonederbörd samt årsavrinning och medelflöde för aktuellt område.*

	Beräknad nettonederbörd (m <sup>3</sup> /år)	Avrinningskoefficient	Årsavrinning (m <sup>3</sup> )	Medelflöde (m <sup>3</sup> /h)
Dränerad yta	32 200	0,5	16 100	1,8
Asfalterad yta	27 000	0,8	21 650	2,5
Totalt	59 250	-	37 750	4,3

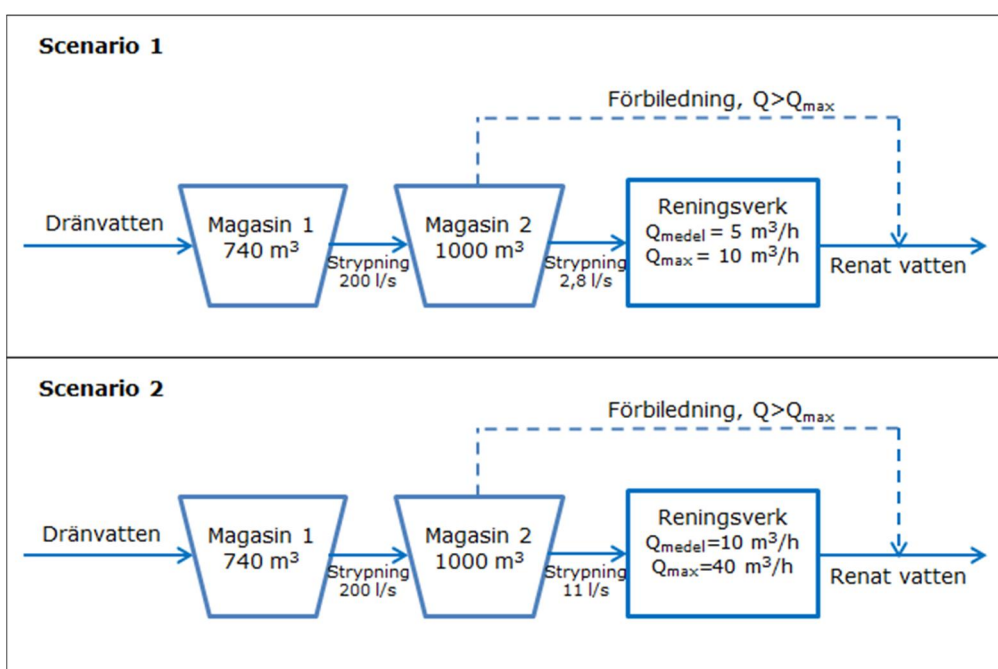
Till skillnad från grundvattnets kontinuerliga bidrag till flödet i dräneringssystemet är flödet från nederbörd inte kontinuerligt och jämnt fördelat. Det är därför viktigt att bestämma vilken återkomsttid för regn som dränerings- och reningsanläggningen ska dimensioneras för. Reningsanläggningen kommer att föregås av två seriekopplade, markförlagda fördröjningsmagasin. Det första utgörs av de redan planerade makadamdikena, vilka har magasineringkapacitet 740 m<sup>3</sup>. Volymen i det andra fördröjningsmagasinet baseras på valet av återkomsttiden för det dimensionerande regnet.

Utifrån dessa förutsättningar har två olika flödesscenarion tagits fram, dels för att kunna ta fram en lämplig dimensionering av reningsanläggningen, dels för att kunna föreslå en lämplig volym för det andra fördröjningsmagasinet med målet att kunna rena så mycket som möjligt av de totala drän- och dagvattenvolymer från PFAS-föreningar. Scenario 1 motsvarar ett medelflöde enligt Tabell 1, medan scenario 2 motsvarar ett dubblerat medelflöde. Båda scenariona presenteras i Tabell 2 och en schematisk skiss över respektive scenario redovisas i Figur 2.

<sup>7</sup> SMHI vattenweb, medel för åren 1981-2010.

Tabell 2. Valda medel- och maxflöden för flödesscenario 1 och 2.

	Enhet	Scenario 1	Scenario 2
Medelflöde	m <sup>3</sup> /h	5	10
	l/s	1,4	2,8
Maxflöde	m <sup>3</sup> /h	10	40
	l/s	2,8	11



Figur 2 Schematisk skiss av scenario 1 och 2.

Med en antagen volym i magasin 2 på 1 000 m<sup>3</sup> och med olika återkomsttider för regn har det beräknats hur mycket regnvatten som kommer att kunna renas, respektive behöva ledas förbi reningsverket orenat, vid respektive regntillfälle (se Tabell 3). Om reningsanläggningen dimensioneras för scenario 1 kommer ca 97 % av den totala årsmedelnederbörden att kunna renas i händelse av ett 2-års regn, och vid ett 10-års regn blir motsvarande andel ca 95 %. För scenario 2 varierar andelen renat vatten mellan 99 % och 97 % för ett 2-års regn respektive ett 10-års regn.

Tabell 3 Förbiledning och dess volymandel av totalt årsmedelflöde vid en volym på 1 000 m<sup>3</sup> i magasin 2 samt vid olika återkomsttider för regn.

	Scenario 1		Scenario 2	
	Förbiledning (m <sup>3</sup> )	Andel av årsflöde (%)	Förbiledning (m <sup>3</sup> )	Andel av årsflöde (%)
2-års regn	1 100	2,9	380	1,0
5-års regn	1 450	3,9	740	2,0
10-års regn	1 780	4,7	1 060	2,8

Om volymen i magasin 2 ökas till 1 500 eller 2 000 m<sup>3</sup> minskar andelen regnvatten som orenat leds förbi reningsanläggningen (se Tabell 4). Vid scenario 2 kommer en ökning av magasinsvolymen till 2000 m<sup>3</sup> leda till att ca 99 % av den totala årsmedelnederbörden att renas i händelse av ett 2-års regn och vid ett 10-års regn blir motsvarande andel ca 98 %. En fördubbling av magasinsvolymen ger därmed endast en marginell ökning i hur stor andel som renas.

Tabell 4 Förbiledning och dess volymandel av totalt årsmedelflöde vid ökad volym i magasin 2 samt vid olika återkomsttider för regn.

Volym magasin 2	Återkomsttid för regn	Scenario 1		Scenario 2	
		Förbiledning (m <sup>3</sup> )	Andel av årsflöde (%)	Förbiledning (m <sup>3</sup> )	Andel av årsflöde (%)
1500 m <sup>3</sup>	2-års regn	600	1,6	0	0
	5-års regn	950	2,5	240	0,6
	10-års regn	1 280	3,4	560	1,5
2000 m <sup>3</sup>	2-års regn	100	0,6	0	0
	5-års regn	450	1,2	0	0
	10-års regn	780	2,1	60	0,2

Genom att titta på olika scenarion avseende flöde in till reningsanläggningen och volym i magasin 2 erhålls ett spann på hur stor andel av regnvattnet som kommer att kunna renas respektive förbiledas vid olika återkomsttider för regn. Sammantaget ger detta att ca 95 % av regnvattnet kommer att renas vid ett 10-års regn, om magasin 2 respektive reningsanläggningen dimensioneras för den lägsta volymen/flödet (scenario 1). Slutligt valda dimensionerande flöden presenteras i Tabell 5.

Tabell 5 Dimensionerande flöden för reningsanläggning.

	Enhet	Värde
Dimensionerande flöde, Q <sub>dim</sub>	m <sup>3</sup> /h	5
Dimensionerande maxflöde, Q <sub>max</sub>	m <sup>3</sup> /h	10

## 2.3 Föroreningshalter

Provtagning av grundvatten, dagvatten och jord har utförts i aktuellt område. Vid denna provtagning har analys av PFAS, PFOS och ett antal tungmetaller utförts. Som komplement till dessa data kan schablonvärden för föroreningar i dagvatten användas för att få fram dimensionerande föroreningshalter för en reningsanläggning.

### 2.3.1 PFAS och PFOS

Uppmätta halter av PFAS och PFOS i grundvatten presenteras i Tabell 6. Redovisade halter av PFAS är en summering av rapporterade halter av de 11 vanligast förekommande höglourerade föreningarna. Redovisade halter av PFOS visar på vattenprovernans innehåll av den specifika föreningen vid provtagningstillfällena och ingår också som en av de 11 i summeringen av PFAS.

*Tabell 6 Uppmätta medel-, median- och maxhalter för PFAS/PFOS.*

	Enhet	Medel	Median	Max
PFAS	µg/l	0,269	0,205	0,630
PFOS	µg/l	0,051	0,016	0,231

Av PFAS utgörs ca 20 – 35 % av PFOS. Merparten av de resterande uppmätta PFAS föreningarna består av PFHxS. PFHxS är, precis som PFOS, en långkedjig PFAS molekyl. I tillägg utgörs en mindre andel av PFAS av kortkedjiga PFAS molekyler så som PFBA. Dessa kan vara svårare att avskilja.

## 2.3.2 Övriga föroreningar

### 2.3.2.1 *Metaller*

Uppmätta metallhalter i grundvatten presenteras i Tabell 7. Samtliga prover har filtrerats före analys.

Tabell 7. Analysresultat för metaller i grundvatten.

	Enhet	R1702	R1706	R1708	R1714	R1717	R1718	R1719
Arsenik	µg/l	0,756	<0.3	0,114	0,127	1,71	0,13	1,04
Barium	µg/l	49,3	23,1	31,1	3,85	49,7	54,3	42,4
Kadmium	µg/l	0,126	0,014	0,011	0,0136	0,036	0,032	0,0152
Kobolt	µg/l	1,76	0,621	0,0514	0,141	2	2,2	1,85
Krom	µg/l	1,48	<0.05	0,0239	0,18	2,46	0,0178	1,5
Koppar	µg/l	10,8	1,79	1,38	0,989	7,75	0,433	1,63
Molybden	µg/l	0,254	2,87	0,188	0,091	0,259	0,364	0,372
Nickel	µg/l	3,22	1,37	1,05	0,364	3,99	2,39	1,02
Bly	µg/l	1,75	<0.05	0,0401	0,072	0,463	<0.01	0,507
Zink	µg/l	65,5	1,12	1,99	2,57	6,15	1,51	3,09
Vanadin		2,06	0,493	0,288	0,456	0,83	0,21	8,58

### 2.3.2.2 *Schablonvärden för föroreningar i dagvatten*

För att få fram dimensionerande föroreningshalter i ett drän- och dagvatten kan schablonvärden för olika marktper användas. Genom att använda proportionen mellan medelflödet från dränerad ängsmark respektive asfalterad yta kan en viktad föroreningsbelastning uppskattas, vilken sen kan användas vid dimensionering av anläggningen. Beräknade schablonvärden avseende föroreningsbelastning från det aktuella området presenteras i Tabell 8.

Tabell 8 Schablonvärden för föroreningar i dagvatten från ängsmark och flygplats samt viktad föroreningsbelastning.

	Enhet	Ängsmark	Flygplats	Uppskattad föroreningsbelastning
Andel av medelflöde	%	43	57	100
Fosfor, P	µg/l	200	90	140
Kväve, N	µg/l	1 000	1 200	1 120
Bly, Pb	µg/l	6	1,2	3,2
Koppar, Cu	µg/l	11	7	8,7
Zink, Zn	µg/l	30	31	31
Kadmium, Cd	µg/l	0,4	0,12	0,24
Krom, Cr	µg/l	3	3,4	3,2
Nickel, Ni	µg/l	2	3,6	2,9
Kvicksilver, Hg	µg/l	0,005	0,05	0,03
Suspenderad substans, SS	µg/l	45 000	75 000	62 200
Olja	µg/l	200	100	140

Vid en jämförelse av uppmätta metallhalter presenterade i Tabell 7 med framräknade värden för metallhalter i dagvattnet, presenterade i Tabell 8, syns att metallhalterna i vattenproverna ligger på lägre koncentrationnivåer än framtagna schablonvärden. För att reningsanläggningen inte ska bli underdimensionerad används presenterade schablonvärden i Tabell 8 för dimensionering av reningsanläggningen.

### 2.3.3

#### Dimensionerande halter

Valda dimensionerande föroreningshalter in till anläggningen presenteras i Tabell 9.

Tabell 9. Dimensionerande föroreningshalter in till reningsanläggningen.

Förorening	Enhet	Värde
PFAS	µg/l	0,63
PFOS	µg/l	0,23
Olja	µg/l	140
Suspenderad substans, SS	µg/l	62 200

Föroreningshalterna i Tabell 9 är valda som utgångspunkt för dimensioneringen. Om högre koncentrationer av dessa ämnen erhålls i inkommande vatten till anläggningen kommer detta i första hand att leda till ökade driftkostnader, i form av t.ex. kemikalieåtgång. Om koncentrationerna ökar med mer än 30 – 50 % av dimensionerande halter kommer avskiljningsgraden över behandlingssteget att påverkas.



### 3. Screening av möjliga reningstekniker

Reningsanläggningen föreslås utformas så att den består av (1) ett eller flera förbehandlande steg, samt (2) ett reningssteg för den specifika avskiljningen av PFAS. Den förbehandlande reningen är mycket viktig för att reningssteget för PFAS ska kunna hålla hög effektivitet och inte sätta igen med andra partiklar/ämnen.

I detta avsnitt presenteras ett urval av de tekniker för förbehandling samt PFAS-avskiljning som finns tillgängliga på marknaden idag.

#### 3.1 Förbehandling

En förbehandling syftar till att avskilja partikulära och lösta ämnen som annars kan störa reningsprocesser i efterföljande reningssteg. Vissa reningstekniker, exempelvis membranfilter eller filter med aktivt kol, kräver ett mycket väl förbehandlat vatten för att filtren ska fungera optimalt och inte sättas igen av oönskade ämnen. Förbehandling kan t.ex. bestå av sedimentering med eller utan kemisk fällning eller snabbfilter.

##### 3.1.1 Sedimentering och kemisk fällning

Genom sedimentering avskiljs partiklar med större densitet än vatten. Vid avskiljning av små partiklar krävs dock lång uppehållstid för att partiklarna ska sedimentera. Därför används ofta kemisk fällning och/eller tillsatts av en polymer innan själva sedimenteringssteget för att klumpa ihop partiklarna till större aggregat som får högre sjunkhastighet. På detta vis kan partikelavskiljningen över sedimenteringen förbättras. Vid tillsats av kemisk fällning innan sedimentering erhålls rening av mindre partiklar (t.ex. lerpartiklar) och lösta ämnen (t.ex. humusämnen<sup>8</sup>). Fällningskemikalien funktion beror av vattnets pH och därför kan tillsats av en pH-justerande kemikalie ibland behövas.

Dimensionering av ett sedimenteringssteg beror på om huruvida en fällningskemikalie tillsätts och hur stor partikelavskiljning som önskas. Allmänt kan sägas att ju lägre ytbelastning, desto högre avskiljningsgrad i sedimenteringsbassängen. För ett ytvatten gäller generellt att vid en ytbelastning på 1 m/h erhålls en avskiljningsgrad på upp till 90 % vid sedimentering med kemisk fällning<sup>9</sup>.

##### 3.1.2 Sandfilter

Vid användning av snabbfilter med sand som bäddmaterial erhålls fysikalisk avskiljning av suspenderade ämnen, som t.ex. kemflockar, lera och slam. Utöver den fysikaliska filtreringen erhålls även avskiljning genom adsorption och sedimentering (i lugnvattenzoner inom filterbädden).

För att filterbädden inte ska sätta igen för snabbt med större partiklar rekommenderas en försedimentering innan sandfiltret, eventuellt med tillsats av

<sup>8</sup> Dricksvattenteknik 3 (avsnitt 6), publikation U8, Svenskt Vatten, 2010

<sup>9</sup> Dricksvattenteknik 3 (avsnitt 7), publikation U8, Svenskt Vatten, 2010

en polymer eller en fällningskemikalie. Trots förbehandlingen kommer filtret att efter en viss gångtid ändå att sätta igen och då behöver filtret backspolas. Spolvattnet måste därefter renas eller omhändertas på annat sätt.

Vid dimensionering av ett öppet sandfilter används vanligen en ytbelastning på 5 m/h vid maxflöde.

### 3.1.3

#### Filtralite®

Filtralite® är ett filterbäddmaterial som består av krossade leraggregat i olika storlekar, där användningsområdet bestämmer aggregatens storlek. Filtralite-materialet är vid vattenrening ett alternativ till sand i snabbfilter och syftet är primärt avskiljning av partiklar och suspenderat material, men även en del metaller och andra ämnen (t.ex. fosfor) avskiljs i filtret<sup>10</sup>.

Precis som för sandfilter rekommenderas en försedimentering och eventuellt kemisk fällning innan ett filter med Filtralite®, för att filtermaterialet inte ska sätta igen för snabbt. Förbehandlingen ökar möjligheterna att ha finkornigare leraggregat och därmed erhålla en högre reningsgrad över filtret. Efter en viss gångtid kommer filtermaterialet dock att sätta igen, varför backspolning och omhändertagande av spolvatten kommer att vara nödvändig.

Enligt leverantören har filtermaterialet längre livslängd och kräver färre backspolningar än ett konventionellt sandfilter<sup>11</sup>, vilket leder till mindre vattenvolymer som behöver omhändertas för spolvattenrening.

Vid dimensionering av ett filter innehållande Filtralite®, placerat efter en försedimentering, är det vanligt med en ytbelastning på 5-10 m/h<sup>12</sup>.

## 3.2

### Rening av PFAS

Avskiljning av PFAS sker vanligen med membranfilter eller filter innehållande aktivt kol eller jonbytesmassa. Andra testade reningstekniker som t.ex. luftning, oxidation eller UV-behandling har inte visat på någon effektiv avskiljning av PFAS<sup>13</sup>. Flera nya metoder för att avlägsna PFAS-ämnen är även under utveckling, exempelvis en processlösning som bygger på en kombination av phytoremediation, våtmark och barriärfilterteknik (se kapitel 3.2.4).

### 3.2.1

#### Aktivt kol

Den mest etablerade tekniken för avskiljning av PFAS är filtrering med aktivt kol<sup>14</sup>. Filtrering med aktivt kol bygger på London-dispersionskrafter, en typ av adsorptionsprocess som orsakas av Van der Waals-bindningar mellan molekyler. Denna typ av bindningar förekommer framförallt mellan organiska molekyler med en hög molekylvikt. Därför är filtrering genom aktivt kol en väl beprövad teknik för

<sup>10</sup> Samtal med Michael Karathanasis på Leca Sverige AB, 2018-04-19

<sup>11</sup> Samtal med Michael Karathanasis på Leca Sverige AB, 2018-04-19

<sup>12</sup> Samtal med Michael Karathanasis på Leca Sverige AB, 2018-04-19

<sup>13</sup> <http://www.svensktvatten.se/globalassets/dricksvatten/riskanalys-och-provtagning/reningsmetoder-for-pfaa-i-dricksvatten.pdf>, 2018-04-27

<sup>14</sup> [http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport\\_2017-20.pdf](http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2017-20.pdf), 2018-8-20

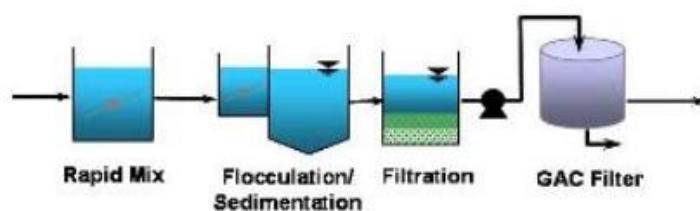
rening av löst organiskt material i form av t.ex. humusämnen, klorerade kolväten, pesticider, fenoler, olja och högfluorerade ämnen (som PFAS). Vissa oorganiska ämnen med hög molekylvikt kan också adsorbera till aktivt kol, t.ex. jod eller kvicksilver.

Vid rening av vatten används antingen granulerat aktivt kol (GAC), med en kornstorlek på 0,2-5 mm, eller pulvriserat aktivt kol (PAC), med en kornstorlek <0,18 mm. I dagsläget används vanligen GAC i stationära filter och antingen blandas det aktiva kolet med sand eller så används det som enda filtermaterial.

Aktivt kol kan framställas på olika sätt, t.ex. från stenkol eller från kokosnötsskal. Vad gäller rening av PFAS finns studier som visar att högsta reningsgrad erhålls med aktivt kol baserat på stenkol<sup>15</sup>.

Reningseffekten av ett specifikt ämne över det aktiva kolet beror på hur väl förbehandlat inkommande vatten till filtersteget är samt uppehållstiden i filtret. Studier indikerar på att färskt aktivt kol har förmåga att uppnå >90% reduktion av långkedjiga PFAS föreningar så som PFOS<sup>16</sup>. Effektiviteten av GAC filtret är väldigt beroende av kvaliteten av inkommande vatten in till kolfiltret. Med högre koncentrationer av suspenderat material och/eller lösta organiska föreningar kommer reningsgraden av PFAS över kolfiltret att sjunka.

För att kolfiltret inte ska sätta igen av partiklar eller mättas av andra adsorberbara ämnen än de som avses avskiljas är det viktigt med en effektiv förbehandling där dessa ämnen avskiljs. Avskiljningssteget med aktivt kol placeras därför vanligtvis som ett av de sista behandlingsstegen i en reningsanläggning (se Figur 3).



Figur 3. Exempel på behandlingskedja med kemisk fällning, sedimentering, filtrering och aktivt kol. Bild från US EPA<sup>17</sup>.

Efter viss tid kommer det aktiva kolet att mättas och avskiljningsgraden över filtret avta. Kolet behöver då bytas ut eller regenereras. Använt kol kan antingen reaktiveras, deponeras eller destrueras, varav destruktions är att föredra i det här fallet p.g.a. högt innehåll av PFOS.

<sup>15</sup> Samtal med Jörn Herrlach på Chemviron Carbon AB, 2018-04-18

<sup>16</sup> [http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport\\_2017-20.pdf](http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2017-20.pdf), 2018-08-20

<sup>17</sup> US EPA hemsida:

<https://iaspub.epa.gov/tdb/pages/treatment/treatmentOverview.do?treatmentProcessId=2074826383>, 2018-05-29.

Vid rening av lakvatten i ett kolfilter är det vanligt med en på ytbelastning 5-15 m/h och en uppehållstid på 10 – 30 min<sup>18</sup>. Motsvarande designparametrar vid dricksvattenrening är 5 – 25 m/h i ytbelastning respektive 5 – 25 min i uppehållstid<sup>13</sup>.

### 3.2.2 Membranfilter

Vid membranfiltrering avskiljs lösta partiklar från vatten som följd av att vattnet filtreras genom ett membran med en pordiameter mindre än partikeldiametern hos de lösta partiklar man önskar avskilja. Omvänd osmos (RO) och nanomembranfiltrering är membrantekniker som kan används vid avskiljning av PFAS och försök har visat en avskiljningsgrad på 99 % för PFAS<sup>19</sup>.

Omvänd osmos fungerar så att vattnet genom tryck pressas genom ett membran, medan ämnen med större partikeldiameter än membranet blir kvar. Porstorleken i ett RO-filter ligger vanligen på ca 1 nm eller mindre<sup>20</sup>. Koncentrationen av oönskade ämnen ökar följaktligen i vattenfasen före membranfiltret och kommer att avskiljas som ett retentat. Nanomembran (porstorlek 1-10 nm<sup>21</sup>) fungerar på liknande sätt som omvänd osmos, med skillnaden att membranet ofta är något mer genomsläppligt och att trycket över membranet är lägre. Membranfiltren är känsliga för förorening med partiklar och det är därför rekommenderat med ett partikelavskiljande förfilter innan själva membranfiltret.

En nackdel med membranfilter är att retentatet kommer att innehålla höga koncentrationer av oönskade ämnen (t.ex. PFAS). Det medför att denna vattenvolym kommer att behöva genomgå reningssteg innan utsläpp till recipient eller på annat sätt omhändertas för att inte orsaka miljöpåverkan.

För dimensionering och val av korrekt membranfilter behöver pilotförsök utföras på det aktuella vattnet som filtret skall anpassas för, därför anges inga dimensioneringsparameterar här.

### 3.2.3 Anjonbytesteknik

Anjonbytesteknik fungerar så att ett reversibelt utbyte av joner sker mellan en jonbytarmassa och en elektrolyt. Genom att utnyttja jonernas olika styrka på deras elektronegativa laddning kan jonbytarena fånga upp joner från elektrolyten (t.ex. PFAS i vatten) och ersättas av joner (t.ex. kloridjoner) som från början fanns laddade på jonbytarmassan. Resultatet blir i exemplet att kloriderna går i lösning och PFAS avskiljs.

---

<sup>18</sup> Filtrasorb ® 400, Agglomerated Coal Based Granular Activated Carbon, produktblad från Chemviron Carbon AB

<sup>19</sup> <http://www.svensktvatten.se/globalassets/dricksvatten/riskanalys-och-provtagning/reningsmetoder-for-pfaa-i-dricksvatten.pdf>, 2018-04-18

<sup>20</sup> Dricksvattenteknik 2 (avsnitt 18), publikation U7, Svenskt Vatten, 2010

<sup>21</sup> Dricksvattenteknik 2 (avsnitt 18), publikation U7, Svenskt Vatten, 2010

Försök som utförts med anjonbytesteknik har visat på en avskiljningsgrad på upp till 95 % för PFAS<sup>22</sup>. I Uppsala<sup>23</sup> har pilotförsök med anjonbytesteknik utförts och visat på en avskiljningsgrad på 99 %, både med färsk anjonmassa och efter en längre drifttid.

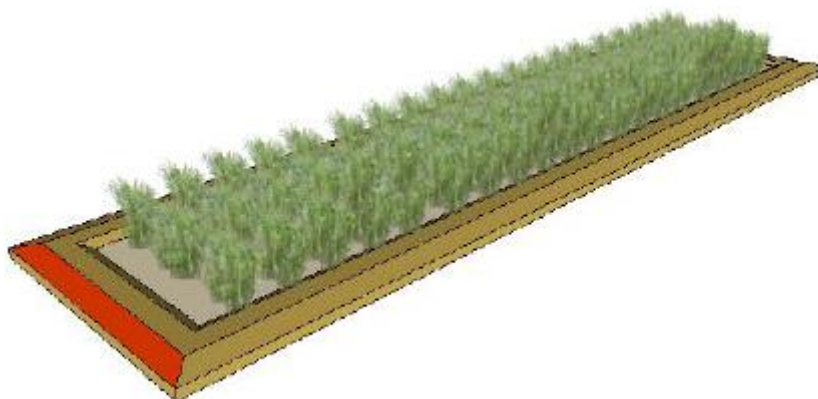
När jonbytesmassan i exemplet ovan är mättad, dvs när samtliga kloridjoner ersatts av PFAS, kan den återaktiveras med koksaltlösning. Trots återaktivering förblir dock en del av jonbytarmassan inaktiv och till slut blir den helt mättad och måste bytas ut. En nackdel med tekniken är att det under återaktiveringen erhålls en tvättvattenvolym som innehåller höga halter av PFAS och kommer att behöva genomgå reningssteg innan utsläpp till recipient eller på annat sätt omhändertas för att inte orsaka miljöpåverkan.

För dimensionering och val av korrekt jonbytarmassa behöver pilotförsök utföras på det aktuella vattnet som reningsprocessen skall anpassas för, därför anges inga dimensioneringsparameterar här.

#### 3.2.4 Laqua Hybridfilter

Laqua Hybridfilter är en reningsmetod som just nu utvecklas av Laqua Treatment AB. Laqua Treatment AB utvecklar naturliga barriärfilter för rening av olika typer av förorenade vatten exempelvis lakvatten och tvättvatten från biltvättar. Som referensanläggningar kan nämnas lakvattenrening till Stena Recycling, RENOVA och Statoil.

Laqua Hybridfilter är en kombination av flera kända reningstekniker i en process; phytoremediation med salix, våtmark och barriärfiltertechnik (se Figur 4). Processen är avsedd för året runt-drift och har enligt företaget potential att bli ett miljövänligt och ekonomiskt alternativ till nuvarande tekniker på marknaden.



Figur 4. Laqua Hybridfilter

<sup>22</sup> <http://www.svensktvatten.se/globalassets/dricksvatten/riskanalys-och-provtagning/reningsmetoder-for-pfaa-i-dricksvatten.pdf>, 2018-04-18

<sup>23</sup> <http://www.svensktvatten.se/globalassets/dricksvatten/riskanalys-och-provtagning/reningsmetoder-for-pfaa-i-dricksvatten.pdf>, 2018-04-18

I ett filtersubstrat planteras snabbväxande energigröda, exempelvis salix. Salix har en väl dokumenterad förmåga att rena vatten från näringsämnen och har även kapacitet att ta upp olika tungmetaller<sup>24</sup>. Filtersubstratet består av torv, återvunnen kolhaltig aska och leca kulor och har förmåga att adsorbiera organiska föroreningar. Kombinationen av växter och substrat innebär potential att hantera och rena vatten med mycket komplex sammansättning<sup>25</sup>. Biomassan skördas efter ca 2 år och nyplanteras. Filtersubstratet har livslängd på 4 – 7 år vid en normalbelastning<sup>26</sup>. Därefter avlägsnas biomassa och filtersubstrat och går till förbränning.

Huruvida PFAS avskiljs i ett Laqua hybridfilter är inte helt klarlagt, men reduktion kan sannolikt ske genom adsorption till kolaskan i filtret. Reducering skulle troligen även kunna ske via salixen och dess rötter. Eftersom referensförsök med avseende på PFAS och PFOS avskiljning i ett Laqua hybridfilter är begränsade, krävs drift av en pilotanläggning för att kunna fastställa reduceringskapacitet om en sådan anläggning skulle installeras vid Karlsborg flygplats.

Det är även svårt att bedöma ytbehovet för en installation vid Karlsborgs flygplats. En grovt uppskattat parameter för dimensionering av filtret är  $50 \text{ m}^3/(\text{m}^2, \text{år})^{27}$ . Baserat på dimensionerande maxflöde på  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  innebär det ett ytbehov på uppskattningsvis  $1700 \text{ m}^2$ <sup>28</sup>. Med pilotförsök skulle dimensioneringsparametrar för en fullskalanläggning kunna fastställas.

En nackdel med Laqua hybridfilter är just ytbehovet, och att reningsmetoden innebär att föroreningarna, bl.a. PFAS, sprids över en väldigt stor yta. Filtersubstratets livslängd innebär att en stor mängd biomassa och filtersubstrat behöver omhändertas vart 4 – 7 år. Det skulle även kunna bli utmanande att hitta en lämplig lokalisering, eftersom smädjur troligen kommer att trivas bra i salixodlingen och man därför inte vill placera den för nära rullbanan.

---

<sup>24</sup> [http://www.svenskvatten.se/contentassets/979b8e35d47147ff87ef80a1a3c0b999/svu-rapport\\_2016-05.pdf](http://www.svenskvatten.se/contentassets/979b8e35d47147ff87ef80a1a3c0b999/svu-rapport_2016-05.pdf)

<sup>25</sup> Möte med Dahn Rosenquist på Laqua Treatment AB, 2018-08-23

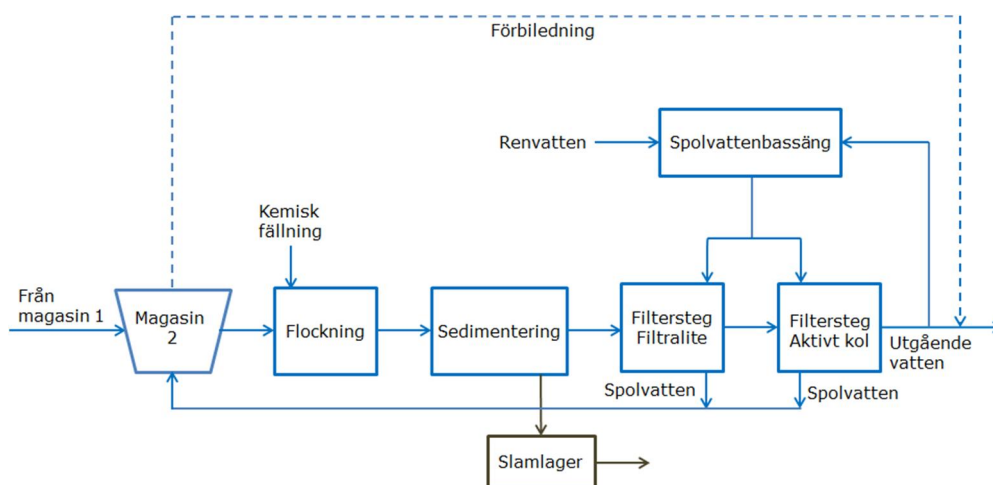
<sup>26</sup> Möte med Dahn Rosenquist på Laqua Treatment AB, 2018-08-23

<sup>27</sup> Möte med Dahn Rosenquist på Laqua Treatment AB, 2018-08-23

<sup>28</sup> Baserat på dimensioneringsparameter  $50 \text{ m}^3/(\text{m}^2, \text{år})$  Möte med Dahn Rosenquist på Laqua Treatment AB, 2018-08-23

#### 4. Tänkbar systemlösning för Karlsborg

Fokus för denna utredning är att ta fram ett förslag på reningsanläggning för avskiljning av PFAS från dag- och dränvatten vid Karlsborg flygplats. För att få till en effektiv avskiljning bedöms det behövas kemisk och mekanisk behandling av vattnet. För avskiljning av PFAS har filtrering med aktivt kol valts som avskiljningsmetod, vilket baseras på att aktivt kol är en väl beprövad teknisk lösning och har uppvisat bra reningsgrad avseende PFAS. Tekniken kräver heller inte extra rening eller annat omhändertagande av tvättvattenvolymer med höga halter PFAS i jämförelse med övriga utredda alternativ. En principskiss har tagits fram för föreslagen lösning (se Figur 5) och i detta avsnitt beskrivs reningsanläggningen närmare.



Figur 5 Principskiss av reningsanläggning

##### 4.1 Avskiljning av PFAS med aktivt kol – en sammanställning av erfarenheter

Ramböll utförde under 2015 ett 10 månader långt pilotförsök med lakvatten från en deponi. Syftet med pilotförsöket var att utreda val av reningsteknik för lakvattnet samt få fram dimensionerande data för projekteringen av en ny reningsanläggning för lakvatten.

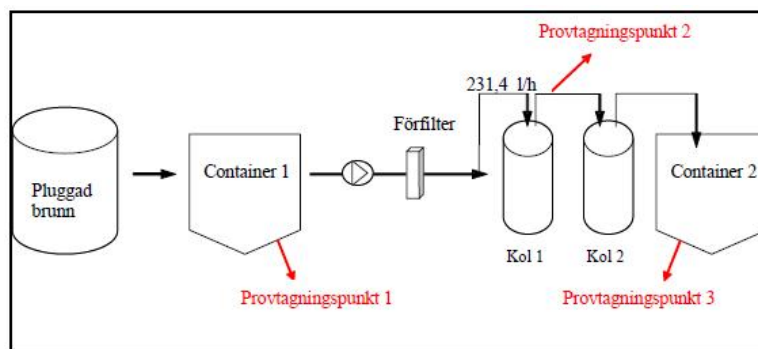
Reningsprocessen för lakvattnet bestod av kemisk fällning och lamellsedimentering, följt av sandfilter och kolfilter i serie. Över lamellsedimenteringen utvärderades avskiljning av järn, suspenderat material samt organiskt partikelbundna ämnen. Sandfiltret syftade till att få ett så partikelfritt lakvatten som möjligt för att uppnå så lång livstid på kolfiltrena som möjligt. Kolfiltrena syftade till att avskilja lösta organiska föreningar.

Koncentrationen suspenderat material (SS) i lakvatten in till sandfiltret varierade mellan 5 och 20 mg SS/l. Över sandfiltret erhöles en avskiljning av SS på ca 40 %.

PFOS förekom med medelhalt 0,020 µg/l i lakvattnet. Över hela behandlingslinjen skedde en reduktion med ca 36 % map PFOS. Dock baseras detta på endast ett fåtal mätvärden samt med stor mätosäkerhet pga de låga koncentrationerna.

Ytbelastning på sand- och kolfiltren var inledningsvis ca 1,5 m/h, vilket sedan ökades till 4 m/h. Detta motsvarar en uppehållstid i varje filtersteg på 30 min respektive ca 15 min. Filtrena spolades med ett intervall på 12 timmar, vilket kunde ökas till 24 h under sista delen av försöksperioden.

Vid Landvetter<sup>29</sup> har Göteborgs universitet utfört försök med rening av PFOS genom filter med aktivt kol (GAC). I försöket användes en pilotanläggning bestående av ett utjämningssteg följt av förfilter och sedan 2 kolfilter i serie (se Figur 6 6).



Figur 6. Flödesschema över anläggningen som användes vid pilotförsök på Landvetter. Bild från rapport av Johansson, S., 2010.

Kolfiltren fylldes med inkommande vatten och fick sedan stå i några timmar utan in- och utflöde. Provtagning utfördes på inkommande vatten, efter kolfilter 1 och efter kolfilter 2. Ingående koncentrationer till kolfilter 1 var 20 – 40 µg/l PFOS. Efter kolfilter 1 uppmättes koncentrationerna 0,012 – 0,024 µg/l i utgående vatten, vilket motsvarar en avskiljningsgrad på > 99 %. Utgående vatten från kolfilter 1 gick vidare till kolfilter 2. Efter kolfilter 2 uppmättes koncentrationerna 0,0076 – 0,019 µg/l. Detta motsvarar en avskiljning över kolfilter 2 på ca 30 %. Det är dock viktigt att notera att detta gäller för nytt kol, att pilotförsöket pågick endast i 8 dygn, samt att reaktionstiden i respektive kolfilter var lång jämfört med hur en kontinuerlig drift av ett filtersteg med aktivt kol normalt körs.

I tillägg kan nämnas att det idag finns en fullskalanläggning för avskiljning av PFAS på Landvetter. Ett studiebesök genomfördes den 16 april 2018 då personal från Ramböll respektive Fortifikationsverket besökte anläggningen på Landvetter och blev visade runt av driftpersonalen för anläggningen. För avskiljning av PFAS har kolfilter installerats och över kolfiltren erhåller man en mycket effektiv

<sup>29</sup> Johansson, S., *Grundvattenrening av Perfluoroktansulfonat (PFOS) med aktivt kol – en pilotstudie för Luftfartsverket*, Göteborgs Universitet – Naturvetenskapliga fakulteten, 2010.



avskiljning av PFAS. Dock har man haft en del problem med att det kommer in höga koncentrationer av lösta organiska föreningar till kolfiltret, vilket medför att funktionen hos dessa försämras och kolet behöver bytas oftare än förväntat. I nuläget pågår arbete med att förbättra avskiljningseffekten över sand- och påsfilter för att åtgärda detta.

En sammanställning av erfarenheterna från användning av aktivt kol för avskiljning av PFAS i dricksvatten har nyligen publicerats av American Water Works Association. I rapporten beskrivs resultat från ett flertal reningsanläggningar för avskiljnings av PFAS. För flera av dem erhålls mycket låga koncentrationer av PFAS-ämnen i utgående vatten. Erfarenheter från exempelvis New Jersey visar på att filtersteget med aktivt kol kunde drivas med en uppehållstid på 15 minuter, med koncentration PFOA under detektionsnivån (5 ng/l) i utgående vatten. Koncentration PFOA i inkommande vatten till filtersteg var 18 – 72 ng/l. I Ohio installerades en anläggningen för avskiljning av PFOA 2007. Koncentrationen PFOA in till filtersteget är 3,3 µg/l, i utgående vatten ligger koncentrationen under detektionsgränsen. Det aktiva kolet byts ut ca 1 gång var 3:e månad. Författarna konkluderar dock också att avskiljningsgraden över kolfiltret varierar mycket mellan anläggningar. Orsaken till detta är troligen dels att sammansättningen av PFAS-föreningar varierar mellan olika vatten, men även att innehållet av övriga lösta organiska ämnen i vattnet varierar. Förekomsten av andra lösta organiska föreningar i vattnet kommer att påverka avskiljningsgraden över kolfiltret till mycket stor del, eftersom dessa föreningar påverkar kolfiltrets adsorptionsförmåga negativt.<sup>30</sup>

#### 4.2 Översiktlig funktions- och processbeskrivning

Reningsanläggningen består av en helt ny behandlingsanläggning i vilken kemisk och mekanisk rening av dag- och dränvattnet ingår. Från magasin 2 pumpas vattnet in i till flockningen, där tillsats och inblandning av fällningskemikalie sker. Från flockningen leds vattnet till sedimenteringen där partikulärt material och lösta ämnen avskiljs genom kemisk fällning. Slam från sedimenteringsbassängen pumpas till ett slamlager varifrån det hämtas med slambil för att sedan omhändertas. Hur slammet omhändertas beror på vilken kvalitet det har och kan därför inte bestämmas i detta läge.

Efter sedimenteringen leds vattnet in det första filtersteget med en filtermassa bestående av Filtralite<sup>®</sup>. I detta steg sker ytterligare avskiljning av partikulärt material. Filtersteget utformas med två parallella filter, där ett filter klarar maxflödet och ett filter är i beredskap. På så vis erhålls en lösning där ett filter kan vara ur drift även vid maxflöde, t.ex. vid backspolning eller byte av filtermassa.

Vattnet leds slutligen in till filtersteget med aktivt kol. Det är i detta steg den huvudsakliga avskiljningen av PFAS-föreningar kommer att ske. Detta filtersteget består av fyra seriekopplade kolfilter, där tre filter kommer att vara i drift

<sup>30</sup> McNamara et al, 2018.

samtidigt och ett filter är i redundans. Filtersteget med aktivt kol drivs i cykler på så vis att alla fyra filter ska användas lika mycket, dvs. för varje cykel skiftas vilket av filterna som är nummer 1, 2 eller 3. Det fjärde filtret står alltid att stå i stand-by. På så vis kan backspolning eller byte av filtermassa hanteras utan behov av driftstopp.

Det reade vattnet leds efter aktiv kol-filtren via diken på flygplatsområdet till Kärnebäcken. Kärnebäcken mynnar sedan ut i Bottensjön som har sitt utlopp i Vättern.

För backspolning av filtren används i första hand utgående, renat vatten, men även en möjlighet att kunna använda dricksvatten installeras för backspolningen. Vid installation av dricksvattenanslutning behöver dricksvattennätet skyddas mot återströmning genom ett brutet vattensystem. Spolvattnet samlas upp och pumpas tillbaka till magasin 2.

### 4.3

#### Anläggningsdata

I Tabell 10 presenteras anläggningsdata och processparametrar för anläggningen.

Tabell 10. Anläggningsdata.

Anläggningsdel	Parameter	Enhet	Värde
Flockningskammare	Volym inblandning	m <sup>3</sup>	0,5
	Total flockningsvolym	m <sup>3</sup>	2,5
	Uppehållstid vid Q <sub>medel</sub>	min	30
	Uppehållstid vid Q <sub>max</sub>	min	15
Sedimentering	Antal bassänger	st	1
	Area	m <sup>2</sup>	10
	Ytbelastning vid Q <sub>medel</sub>	m/h	0,5
	Ytbelastning vid Q <sub>max</sub>	m/h	1,0
Filtersteg Filtralite	Antal filter	st	2
	Total area	m <sup>2</sup>	3
	Filterhöjd	m	1,7
	Total volym	m <sup>3</sup>	5,1
	Ytbelastning 2 filter i drift vid Q <sub>medel</sub>	m/h	1,7
	Ytbelastning 2 filter i drift vid Q <sub>max</sub>	m/h	3,3
	Ytbelastning 1 filter i drift vid Q <sub>medel</sub>	m/h	3,3
Ytbelastning 1 filter i drift vid Q <sub>max</sub>	m/h	6,7	
Filtersteg Aktivt kol	Antal filter	st	4
	Total area	m <sup>2</sup>	4
	Filterhöjd	m	2,5
	Total volym	m <sup>3</sup>	10
	Ytbelastning vid Q <sub>medel</sub>	m/h	5
	Ytbelastning vid Q <sub>max</sub>	m/h	10
	Uppehållstid vid Q <sub>medel</sub>	min	30
	Uppehållstid vid Q <sub>max</sub>	min	15

Hela reningsanläggningen placeras i en ny byggnad som byggs i ett plan med spolvattenvolymer och slamlager i källarplan.

Arealbehovet för behandlingsanläggningen fördelat på respektive steg är ca:

Flockningskammare	1,3 m <sup>2</sup>
Sedimentering	10 m <sup>2</sup>
Filtersteg Filtralite	3 m <sup>2</sup>
Filtersteg Aktivt kol	4 m <sup>2</sup>
<b>Totalt</b>	<b>18,3 m<sup>2</sup></b>

Till detta kommer pumpar, lagringsytor för kemikalier, doserskåp och pumpar till kemikalier samt körytor för stora fordon. Det totala behovet för anläggningen bedöms till 100 m<sup>2</sup>.

#### 4.4

##### Bedömning av avskiljningsgrad med avseende på PFAS

Den huvudsakliga avskiljningen av PFAS kommer att ske över filtersteget med kolfilter, varav merparten över kolfilter 1 och 2. Erfarenhet från reningsanläggningar med kolfilter installerat för PFAS-avskiljning visar att i kolfilter 1 sker avskiljning av långkedjiga PFAS så som PFOS och PFHxS. Ofta uppnås en avskiljningsgrad på uppemot 90 - 95 % PFOS i detta steg. Även reduktion av PFHxS förväntas vara hög (>90 %) över filtersteg 1. Avskiljningsgraden kommer dock att avta i takt med att kolfiltret blir mättat. Effektiviteten är även väldigt beroende av hur uppströmsarbetet har fungerat och vilken separationsgrad av andra föroreningar som har uppnåtts innan vattnet kommer till kolfilterna.

I kolfilter 2 och 3 avskiljs därefter resterande andel av PFOS och PFHxS samt vissa övriga PFAS-föreningar. Vilken exakt avskiljningsgrad som uppnås i kolfilter 2 och 3 är svårt att förutsäga, eftersom den beror dels av vilka PFAS-föreningar som finns i vattnet, dels även av vilka övriga lösta organiska föreningar som finns i vattnet. Avskiljningsgraden över filtersteg 2 och 3 kan därför variera mellan 60 – 90 %.

Med tre kolfilter i serie uppnås en hög nivå på kontroll och säkerhet för behandlingsanläggningen; om adsorptionsförmågan i något av kolfilter 1 eller 2 skulle börjar sjunka, med minskad avskiljningsgrad som följd, kan ändå maximal avskiljningsgrad uppnås över hela filterlinjen.

I Tabell 11 visas inkommande koncentrationer av PFOS och PFAS samt SGI:s riktvärde för PFOS, och SLV:s åtgärdsgräns för PFAS. Även reduktionsbehovet för att möta dessa värden presenteras i tabellen, samt andelen PFOS av PFAS.

Tabell 11. Inkommande koncentrationer av PFOS och PFAS, reduktionsbehov, SGI:s riktvärde för PFOS, SLV:s åtgärdsgräns för PFAS samt kvoten PFOS:PFAS.

	Medel	Max	Enhet
Inkommande koncentration av PFOS	0,051	0,231	µg/l
-	0,000007	0,00005544	kg/d
SGI:s riktvärde för PFOS	0,045	0,045	µg/l
Reduktionsbehov	24	81	%
Inkommande koncentration av PFAS	0,269	0,630	µg/l
-	0,000032	0,000151	kg/d
SLV:s åtgärdsgräns för PFAS	0,09	0,09	µg/l
Reduktionsbehov	67	86	%
PFOS:PFAS kvot	0,22	0,37	

Som presenteras i Tabell 11 är medel- och maxreduktionsbehovet för PFOS 24 % respektive 81 % för att komma under SGI:s riktvärde för PFOS. För PFAS är medel- och maxreduktionsbehovet 67 % respektive 86 % för att komma under SLV:s åtgärdsgräns för PFAS.

En anläggning som består av de reningssteg som beskrivits i detta kapitel bedöms kunna klara av att reducera PFOS till koncentrationer under SGI:s preliminära riktvärde på högfluorerade ämnen i grundvatten (0,045 µg/l) och SLV:s åtgärdsgräns för summa PFAS-11 (0,09 µg/l). Bedömningen är att den totala reningsgraden av PFAS kommer att ligga kring 90 % över hela linjen. Denna bedömning är baserad på de förutsättningar som gäller för denna utredning. För att verifiera anläggningens reningseffekt och vilka utsläppskoncentrationer av PFAS och PFOS som kan uppnås är det nödvändigt med kontinuerliga försök på plats med det aktuella drän- och dagvattnet. Dessutom är kontinuerliga försök en förutsättning för att en mer detaljerad design av anläggningens olika reningssteg ska kunna tas fram.

## 5. Kostnadsbedömning

I utredningen har översiktliga kostnadsbedömningar utförts på förstudienivå. Resultaten av denna typ av kostnadsbedömningar innehåller relativt stora osäkerheter, kanske av storleksordningen 20 - 40 %. Utöver det kan konjunkturläget i branschen vid tillfället för upphandlingen också påverka prisbilden. En mer detaljerad kostnadsprognos föreslås genomföras i ett senare projektskede.

### 5.1 Investeringskostnader

Framtagning av investeringskostnad för föreslagen reningsanläggning har baserats dels på uppgifter från leverantörer, dels på i tidigare utförda projekt framtagna kalkyler för spillvattenanläggningar. Därifrån har priser för de olika anläggningsdelarna räknats fram.

Kostnad för el/styr, VVS och projektering har bedömts genom schablonvärden enligt nedan.

- El/styr = 25 % av kostnaden för maskin och bygg
- VVS = 15 % av kostnaden för maskin och bygg
- Oförutsedda kostnader = 20 % av entreprenadkostnad
- Projektering, upphandling, bygglösning och kontroll = 20 % av entreprenadkostnad

Kostnaden för reningsanläggningen bedöms till 7 - 8 MSEK, vilket fördelas enligt nedan.

- |                    |                |
|--------------------|----------------|
| • Maskinutrustning | 2 – 3 MSEK     |
| • Byggnad          | 1,8 – 2,7 MSEK |
| • El/styr          | 0,7 – 1,1 MSEK |
| • VVS              | 0,5 – 0,7 MSEK |
| • Oförutsett       | 0,8 – 1,3 MSEK |
| • Projektering mm  | 1 – 1,5 MSEK   |

### 5.2 Driftskostnader

Driftkostnader för presenterad reningsanläggning kommer att bestå av energiåtgång (pumpning och omrörning), kemikalier (lut, PAX, polymer), personalomkostnader, kostnader för utbyte av aktivt kol samt slamhantering.

För bedömning av medeleffektbehovet för en sådan här anläggning har ett projekt Ramböll nyligen utfört åt Kretslopp och vatten, Göteborgs stad, använts. Baserad på denna bedöms medeleffektbehovet för anläggningen till 2 kW. Med ett energipris på 1,1 kr/kWh innebär detta en årlig energikostnad på ca 20 kkr.

Driftkostnader avseende kemikalier utgörs av lut, PAX och polymer.

Kemikaliekostnaderna per år bedöms till följande

- Lut 20 000 kr
- PAX 30 000 kr
- Polymer 3 000 kr

I posten personalomkostnader ingår följande roller: driftingenjör, tekniker, miljö/processingenjör samt laboratoriepersonal. För drift av en anläggning motsvarande den som beskrivits ovan är bedömningen att det krävs 0,5 heltidstjänster, fördelade på de 4 positionerna.

Kostnaden för utbyte av aktivt kol baseras på antagandet att det aktiva kolet ska bytas ut 2 ggr/år för varje filter. Kostnaden för att byta ut det aktiva kolet antas till ca 45 000 kr per filter. I detta ingår kostnad för ny filtermedia, mottagningskostnad för det förbrukade kolet samt all hantering av både nytt och förbrukat kol. Med 4 kolfilter blir kostnaden för denna post ca 360 000 kr.

I posten slamhantering ingår hantering av uppkomna slammängder från sedimenteringen. Avsättningen för denna slammängd kommer att bero helt på dess kvalitet, och kostnaden för denna post är därför svårbedömd i dagsläget. Om man antar att slamkvaliteten blir liknande den som vid rening av lakvatten kan det antas en kostnad om 8 000 kr per hämtning av 10 m<sup>3</sup> slam. Uppkomna slammängder per år beräknas i denna utredning till ca 160 – 170 m<sup>3</sup> per år med 1 % TS vilket innebär en årlig driftkostnad på 125 000 – 135 000 kr.

## 6. Diskussion

För avskiljning av PFAS har filter med aktivt kol föreslagits, vilket baseras på att aktivt kol är en väl beprövad teknisk lösning och har bra reningsgrad avseende PFAS. Tekniken kräver heller inte extra rening eller annat omhändertagande av tvättvattenvolymer med höga halter PFAS i jämförelse med övriga utredda alternativ.

Vidare föreslås att filtersteget med aktivt kol utformas med tre kolfilter i serie. Erfarenhet från fullskalanläggningar visar på att denna typ av utformning ger goda förutsättningar för att kunna uppnå en långtgående avskiljning av flera olika typer av PFAS-föreningar. Bedömningen är att en total avskiljningsgrad av PFAS kring 90 % över hela kolfilterlinjen. Initialt kan även högre reduceringsgrad uppnås, men den avtar med tiden. I det första filtret förväntas merparten av de långkedjiga PFAS föreningarna, så som PFOS och PFHxS, att avskiljas. I de följande två filtrena kommer resterande PFOS och PFHxS adsorberas samt vissa av de övriga PFAS föreningar. Utgående koncentrationer av PFAS och PFOS bedöms komma ligga under SLV:s åtgärdsgräns på 0,09 µg/l respektive SGI:s rekommenderade riktvärden för PFOS (0,045 µg/l). Med ytterligare kolfilter skulle ännu lägre koncentrationer av PFAS i utgående vatten kunna uppnås, men för denna applikation bedöms det som rimligt med tre kolfilter i serie.

För att erhålla önskad avskiljning är det mycket viktigt med en väl fungerande förbehandling, så att det aktiva kolet inte mättas av andra ämnen. Vilken avskiljningsgrad som kan uppnås över kolfiltren vid kontinuerlig drift kommer till stor grad att bero på koncentrationen av övriga lösta organiska föreningar i inkommande vatten. Med höga koncentrationer av dessa ämnen försämras kolfiltrets adsorptionsförmåga för PFAS markant. En bra förbehandling minskar även driftkostnaden för filtersteget med aktivt kol, dels pga färre backspolningar, dels genom ett lägre behov av destruering och inköp av nytt kol. I tillägg till föreslagen behandlingslinje skulle även ett extra oxiderande steg kunna installeras innan kolfilter-steget. Detta skulle exempelvis kunna bestå av UV-ljus kombinerat med väteperoxid. I ett sådant behandlingssteg skulle lösta organiska föreningar oxideras bort, vilket skulle kunna möjliggöra en effektivare avskiljning över kolfiltrena.

Som förbehandling föreslås sedimentering med kemisk fällning följt av ett filtersteg. Vad gäller det förbehandlande filtersteget är sandfilter en vanligt förekommande lösning, men Filtralite® bedöms i detta fall vara ett intressant alternativ p.g.a. dess högre kapacitet jämfört med traditionella sandfilter. Positiva bieffekter av en väl utformad förbehandling är att även andra ämnen som anses oönskade i naturen kommer att avskiljas, som t.ex. metaller och fosfor. Dock har ej dessa effekter kvantifierats i denna utredning.

För valda medel- och maxflöden samt en magasinvolym på 1 000 m<sup>3</sup> kommer den totala reningsgraden map på PFAS på området vid Karlsborgs flygplats



uppskattningsvis att ligga på ca 85 – 90 % både vid ett 10-års regn och vid ett 2-års regn. Uppskattningen utgår från nuvarande föroreningsgrad, d.v.s. de uppmätta PFAS-halterna (se 2.3.1) samt sammansättningen av PFAS, och inkluderar de orenade, förbileda vattenvolymer vid respektive regn.

## 7. Förslag till fortsatt arbete

För att kunna bestämma anläggningens utformning på en mer detaljerad nivå och bedöma vilka utsläppskoncentrationer som kan uppnås krävs kontinuerliga försök med föreslagen processlösning samt det aktuella drän- och dagvattnet. Försöken kan utformas som labb- och/eller pilotförsök, och resultaten från dessa används för att bestämma erforderliga uppehållstider, ytbelastning och drift av respektive processteg samt bedöma vilka utgående halter av PFAS och PFOS som skulle kunna åstadkommas.

Fördelarna med försök i labbskala är att kostnaden är lägre jämfört med pilotförsök och att resultat går att få fram relativt snabbt. Alternativt kan flera parallella försök köras samtidigt. Nackdelarna är att skalan är liten vilket ger en viss osäkerhet och ibland svårighet att skala upp resultaten, samt att labbförsök även kräver att vattnet hämtas manuellt i dunkar och tillsätts labbsystemet. Med pilotförsök kan processen köras kontinuerligt med det aktuella vattnet och hela tiden få med dess variation i sammansättning. Detta innebär mer pålitliga resultat som är lättare att översätta till en fullskalanläggning. I tillägg gör skalan att en större andel av systemet kan vara automatiserad vilket underlättar driften. Pilotanläggningen är dock mer kostsam jämfört med labbförsök, och kräver att det finns driftpersonal på plats som kan drifva anläggningen under hela testperioden.

Alternativa metoder till den processlösning med aktivt kol som presenteras i denna rapport kan eventuellt testas i parallella labb-/pilotförsök.

## 8. Referenser

Rapporter framtagna av Ramböll

Provtagning jord och vatten. Karlsborg, MKB markavvattning. Rapport Ramböll Sverige AB, 2018-03-18.

Rapporter, övriga

Pettersson, M et al. Preliminära riktvärden för högfluorerade ämnen (PFAS) i mark och grundvatten. SGI Publikation 21. 2015.

Utredningen om spridning av PFAS-föreningar i dricksvatten (M 2015:B). Regeringskansliet. 2016.

McNamara, J et al. Comparison of Activated Carbons for Removal of Perfluorinated Compounds From Drinking Water. American Water Works Association. 2018.

Dricksvattenteknik 3, publikation U8, Svenskt Vatten, 2010

Baresel, C et al. Tekniska lösningar för avancerad rening av avloppsvatten. Rapport C 235. IVL Svenska Miljöinstitutet. 2017.

Internet

US EPA, Drinking Water Treatability Database:

<https://iaspub.epa.gov/tdb/pages/treatment/treatmentOverview.do?treatmentProcessId=2074826383>. 2018-05-29.

Kemikalieinspektionen: <https://www.kemi.se/om-kemikalieinspektionen/verksamhet/handlingsplan-for-en-giftfri-vardag/hogfluorerade-amnen-pfas>. 2018-04-24

Livsmedelsverket: [www.livsmedelsverket.se](http://www.livsmedelsverket.se). 2018-05-29

SMHI vattenweb, medel för åren 1981-2010. [www.smhi.se](http://www.smhi.se)

Svenskt vatten:

<http://www.svensktvatten.se/globalassets/dricksvatten/riskanalys-och-provtagning/reningsmetoder-for-pfaa-i-dricksvatten.pdf>, 2018-04-18

[http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport\\_2017-20.pdf](http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2017-20.pdf), 2018-08-20

[http://www.svensktvatten.se/contentassets/979b8e35d47147ff87ef80a1a3c0b999/svu-rapport\\_2016-05.pdf](http://www.svensktvatten.se/contentassets/979b8e35d47147ff87ef80a1a3c0b999/svu-rapport_2016-05.pdf) 2018-08-31

Lunds Universitet:

<http://portal.research.lu.se/ws/files/5976756/1270432.pdf>

Personlig kommunikation

Samtal med Michael Karathanasis på Leca Sverige AB, 2018-04-19

Samtal med Jörn Herrlach på Chemviron Carbon AB, 2018-04-18

Möte med Dahn Rosenquist på Laqua Treatment AB, 2018-08-23

Övriga referenser

Filtrisorb<sup>®</sup> 400, Agglomerated Coal Based Granular Activated Carbon,  
produktblad från Chemviron Carbon AB

Laqua Hybridfilter – rening av förorenade vatten, produktblad från Laqua  
Treatment AB



# Avrinning och fördröjning av dag- och dräneringsvatten inom område för planerad markavvattning inom Karlsborgs flygplats

## 1. Bakgrund och syfte

I den miljöprovtagning som utförts inom Karlsborgs flygplats med anledning av planerad markavvattning har förekomst av PFAS-föreningar i grundvatten påvisats med halter över rekommenderade riktvärden enligt Naturvårdsverket och Livsmedelsverket. Detta har utmynnat i utredning om möjlighet till reningsåtgärder för delar av det dag- och dräneringsvatten som kommer att avrinna från området inom Karlsborgs flygplats. Det delområde som benämns A1 i bilaga 1 och 2, ligger i anslutning till den sydvästra delen av rullbanan och har visat på högre PFAS-halter än övriga områden inom den planerade markavvattningen.

I detta PM redovisas förutsättningar och förslag på hantering av dag- och dränvatten för den planerade reningsanläggningen.

## 2. Befintliga förhållanden

### 2.1 Dag- och dräneringsvatten

Delområde A1, vid flygplatsens sydvästra del, omfattar ett område på ca 18 ha, som utgörs av gräsytor i form av ett dräneringsområde samt asfaltytor, se bilaga 1. Avledning av dag- och dräneringsvatten sker idag. Dräneringar finns längs med rullbanan och asfaltytor, men inte på de öppna gräsyterna. Avrinningen från asfaltyterna avleds huvudsakligen i dagvattenledningar.

Dag- och dräneringsvatten från område A1 avleds i två dagvattenledningar (Ø 225 mm) som ansluter till befintlig dagvattenkylvert (Ø 900) R17D02, ledningsnät markerat med grön färg i bilaga 2 och 3. Denna kylvert avleder samtidigt dag- och dräneringsvatten från området för Kråks skjutfält, sydväst om flygplatsen. Avledning av dag- och dräneringsvatten från detta område rinner vidare ut i ett större dike som löper under en järnvägstrumma och längre ned ansluter till Kärnebacken, som mynnar i Bottensjön.

Två utlopp R17D04 och R17D05 avleder dag- och dränvatten från område A1 mot ett dike, söder om banvallen, se bilaga 2 (rosa och orange system). En mindre del av A1 avleds idag åt nordost, via ledningsnät markerat med ljusblå färg, i bilaga 2 och 3, till en pumpstation placerad i anslutning till R17D08. Större delen av flygfältets avrinning avleds via denna pumpstation. Pumpat dag- och dräneringsvatten avleds till en större kylvert (Ø 1000) som mynnar i Kärnebacken, där diket från Kråks skjutfält och sydvästra delen av flygfältet ansluter.

Det avrinningsområde, som Kråks skjutfält och den sydvästra delen av flygfältet tillhör är ca 294 ha stort. Utbredningen av de dräneringar som är anslutna till dagvattenledningen från skjutfältet är inte helt klarlagd. Motsvarande avrinningsområde för resterande del av flygfältet med omgivningar är ca 188 ha, se bilaga 2.

### 2.2 Geologi, geotekniska förhållanden och hydrologi

De geologiska provtagningar som genomförts inom området uppvisar förekomst av finkorniga jordar i form av sandig siltig morän och lerig silt under matjordsskiktet.

Hydrogeologiska undersökningar har utförts separat inom ramen för projektet och grundvattennivåerna i förhållande till markytan har inom området för planerad markavvattning då

uppmätts till mellan markytans nivå ned till ca 1,8 meter under markytan. Nivåerna varierar mellan olika mätpunkter i enskilda punkter, se separat PM.

### 3. Flödesberäkningar och framtida åtgärder

#### 3.1 Flödesberäkningar av dag- och dränvatten

I bilaga 4 redovisas de planerade dräneringsåtgärderna vid rullbanan i en sektionsskiss tillsammans med information om djup och längd på dräneringsledningarna. Utöver den planerade nyanläggningen av dräneringar för markavvattning kommer befintlig kantdränering att bytas ut i ett separat projekt. Kantdräneringen förläggs i anslutning till rullbanan och kringfylls med makadam. Utanför kantdräneringen anläggs ett makadamdike som kommer att fungera som ett fördröjningsmagasin för rullbanans dagvatten. Inom delområde A1 uppgår längden av kantdräneringen till ca 1,2 km (Ø 110 mm) och makadamdikena till en längd av ca 1,7 km toppslitsad dagvattenledning (Ø 160 mm). Dräneringsledningarna i makadamdikena läggs på ca 1 m djup. Den magasinierande kapaciteten i de planerade makadamdikena i delområde A1 utgör totalt ca 740 m<sup>3</sup>, se bilaga 5.

Dag- och dränvatten från delområde A1 avleds via befintliga dagvattenledningar till en ny dagvattenledning (Ø 400 mm) som stryps till ett utflöde på ca 200 l/s. Detta ger upphov till en fördröjd volym på ca 500 m<sup>3</sup> inom delområde A1 vid ett regn med 5-års återkomsttid och en varaktighet på 15 min, se tabell 1.

Med ett flöde på ca 17 l/s vid planerad reningsanläggning ger en fördröjd volym på ca 1300 m<sup>3</sup> vid ett 5-årsregn och ca 770 m<sup>3</sup> vid 1-årsregn, se tabell 1.

Utförliga dag- och dränvattenberäkningar för regn med olika återkomsttider och volymer kan utläsas ur bilaga 5 (*P110, Svenskt Vatten, 2016*).

*Tabell 1. Flöden och magasinskapacitet (fördröjning i makadamdiken och planerat fördröjnings magasin vid reningsanläggning) vid ett 5-års- och ett 1-årsregn med varaktighet 15 minuter, bilaga 5.*

Område	Avtappningsflöde (l/s)	Beräknad magasinvolym 5-årsregn (m <sup>3</sup> )	Beräknad magasinvolym 1-årsregn (m <sup>3</sup> )	Planerad fördröjningsvolym i makadamdiken & magasin (m <sup>3</sup> )
Delområde A1	ca 200	ca 500	ca 170	ca 740
Framtida reningsanläggning	ca 17 l/s	ca 1 300	770	ca 1 300 alternativt ca 770

#### 3.2 Åtgärder vid fördröjning av dag- och dräneringsvatten före reningsanläggning

Dagvattenledningar från Kråks skjutfält och från yta A1 separeras vid det gemensamma utloppet som går ut i det öppna diket vid järnvägen, benämnt R17D02. Syftet med detta är att inte belasta en reningsanläggning med ett stort flöde av rent dag- och dräneringsvatten från Kråks skjutfält.

Dagvattenledning från delområde A1 ansluts till planerat fördröjningsmagasin för reningsanläggning. Utloppen vid R17D04 och R17D05 bör studeras mer noggrant när det gäller att bestämma avledningen inom avrinningsområdet. Likaså ska avledningen från de dräneringsområden i område A1, som ligger inom ljusblått system idag, studeras närmare så att man vid detaljprojektering säkerställer avledning av dessa till reningsanläggning om behov föreligger.

### 3.3 Fördröjningsmagasin för reningsanläggning

Vid val av fördröjningsmagasin spelar flera faktorer in. Inom Fortifikationsverket är det känt att öppna vattenytor såsom fördröjningsdammar drar till sig fågelliv som kan störa flygsäkerheten vid start- och landningssituation av flygfarkoster. Ett underjordiskt fördröjningsmagasin är att föredra i detta fall vid närheten av ett flygfält.

Andra aspekter är inköp, krav på geotekniska förutsättningar (marktyper, grundvattennivå), installation, livslängd och underhåll (*Jämförelse av fördröjningsmagasin för dagvatten, 2015*).

### 3.4 Olika typer av underjordiska fördröjningsmagasin

Underjordiska fördröjningsmagasin kan utföras med plastkassetter, betong- eller plaströrsmagasin, dagvattentunnel, fördröjningsdike samt makadammagasin. Den kostnads- och volymeffektivaste magasinstypen är normalt kassettmagasin eller dagvattentunnel.

### 3.5 Kostnadskalkyl fördröjningsmagasin

En enkel kostnadskalkyl har upprättats för ett kassettmagasin respektive ett plaströrsmagasin. Fördröjningsvolymen bestämdes till ca 1 000 m<sup>3</sup>.

Totalkostnad för ett kassettmagasin ligger på ca 10 miljoner kr. Motsvarande totalkostnad för ett plaströrsmagasin ligger på ca 16 miljoner kr, se bilaga 6.



Figur 1. Fördröjningsmagasin av plastkassetter.

### 3.6 Slutsatser

Den magasinierande volymen som fördröjs i makadamdikena efter planerade åtgärder balanserar det ökade flödet inom delområde A1 vid ett 5-årsregn.

Behovet av fördröjningsvolym för reningsanläggningen beräknas uppgå till ca 720 – 1300 m<sup>3</sup>. Detta beroende på vilken återkomsttid för regn som väljs (bilaga 5). Fördröjningsmagasin för reningsanläggning föreslås att utformas som ett underjordiskt fördröjningsmagasin. Placering av ett fördröjningsmagasin utförs i ett senare skede. Totalkostnad för ett fördröjningsmagasin anlagt av plastkassetter beräknas till ca 10 miljoner kr.

Årsmedelflödet från delområde A1 beräknas till ca 1,2 l/s eller 4,3 m<sup>3</sup>/tim, (SMHI, se bilaga 5).

### 3.7 Referenser

*Modellinformation gällande avrinningsområden och flödesstatistik*, SMHI Vattenwebb.

*Svenskt Vatten, Avledning av dag-, drän- och spillvatten – Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem*, Publikation 110, 2016.

*Jämförelse av fördröjningsmagasin för dagvatten*, Jesper Ernberg, Umeå Universitet, 2015.

Anders Bäärnhelm  
Ramböll Water, Göteborg

2018-10-15





### Översiktskarta planerad markavvatning

#### Principiell utformning av dränering



#### Områden med förhöjda halter av PFAS

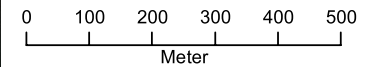


Ca 180 000 kvm

Koordinatsystem: SWEREF 99 13 30

Höjdsystem: RH2000

Ursprung underlagskarta: Ortofoto från Metria/Lantmäteriet



### Karlsborg, MKB markavvatning

KARLSBORGS FLYGFÄLT 1:1  
KARLSBORG, KARLSBORGS KOMMUN

Ramböll Sverige AB

Vädursgatan 6  
Box 5343  
402 27 Göteborg

Tel 010-615 60 00  
www.ramboll.se



UPPDRAG NR 1320027196	RITAD AV Fredrik Svanberg	HANDLÄGGARE Louise Larbom
ANSVARIG Anna Thelin	GRANSKAD AV Anna Thelin/Louise Larbom	
DATUM 2017-12-18	GRANSKNINGSDATUM -	REVIDERAD 2018-10-25
FORMAT A3	SKALA 1:8500	BILAGA/RITNINGNUMMER 1



- Provtagna dagvattenbrunnar
- Dagvattensystem\_utlopp\_Vättern
- Dagvattensystem\_utlopp\_pumpstation
- Dagvattensystem\_utlopp\_R17D05
- Dagvattensystem\_utlopp\_R17D04
- Dagvattensystem\_utlopp\_R17D02
- Markavvatningsyta A1
- Avrinningsområden

Koordinatsystem: SWEREF 99 13 30  
 Ursprung underlagskarta: Ortofoto från Esri m.fl.

0 200 400 600 800 1 000  
 Meter

**Karlsborg, MKB markavvatning**  
 KARLSBORGS FLYGFÄLT 1:1  
 KARLSBORG, KARLSBORGS KOMMUN

Ramböll Sverige AB  
 Vädursgatan 6  
 Box 5343  
 402 27 Göteborg  
 Tel 010-615 60 00  
 www.ramboll.se



UPPDRAG NR 1320027196-001	RITAD AV Fredrik Svanberg	HANDLÄGGARE Louise Larbom
ANSVARIG Anna Thelin		GRANSKAD AV Anna Thelin/Louise Larbom
DATUM 2018-10-15	GRANSKNINGSDATUM -	REVIDERAD 2018-10-25
FORMAT A3	SKALA 1:15 000	BILAGA/RITNINGNUMMER 2

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Bottensjön

Dike

R17D09

R17D08

R17D07

R17D06

R17D05

R17D04

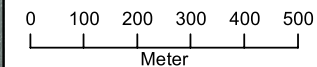
R17D02

R17D03

R17D01

Koordinatsystem: SWEREF 99 13 30

Ursprung underlagskartan: Ortofoto från Esri m.fl.



**Karlsborg, MKB markavvattning**

KARLSBORGS FLYGFÄLT 1:1  
KARLSBORG, KARLSBORGS KOMMUN

Ramböll Sverige AB

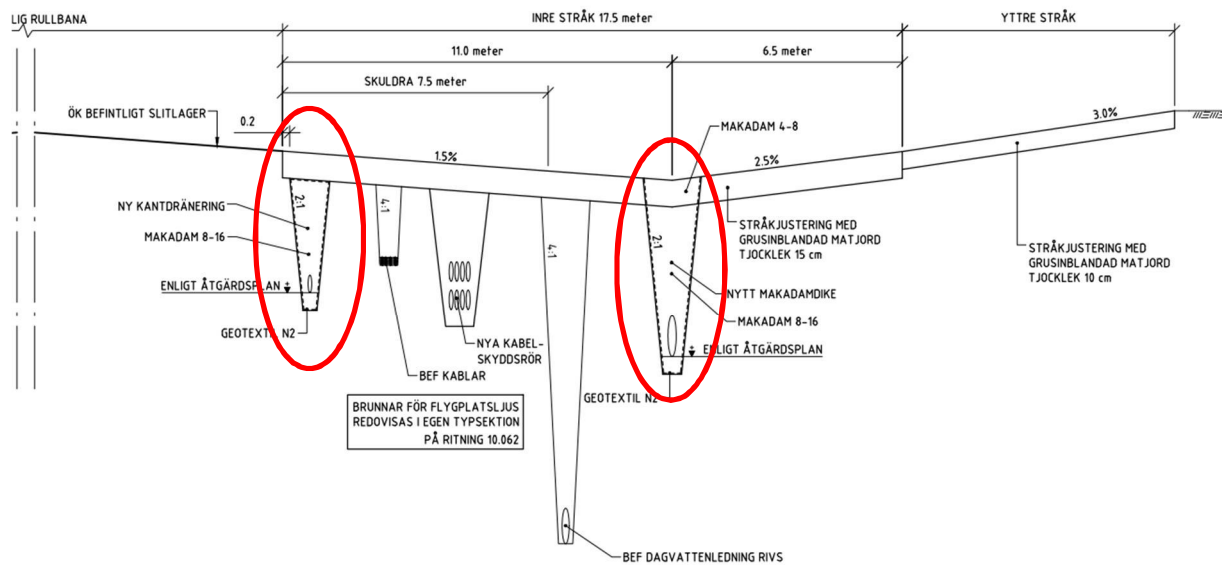
Vädursgatan 6  
Box 5343  
402 27 Göteborg

Tel 010-615 60 00  
www.ramboll.se



UPPDRAG NR 1320027196-001	RITAD AV Fredrik Svanberg	HANDLÄGGARE Louise Larbom
ANSVARIG Anna Thelin	GRANSKAD AV Anna Thelin/Louise Larbom	
DATUM 2018-09-13	GRANSKNINGSDATUM -	REVIDERAD -
FORMAT A3	SKALA 1:10 000	BILAGA/RITNINGNUMMER 3

## NYA DIKESDJUP VID RULLBANANA



	Medel- djup [m]	Volym makadam [m <sup>3</sup> /m]	Avrinningsområde A1	
			Längd [m]	Hålrumsvolymen [m <sup>3</sup> ], (30%) av total volym makadam
Bef. Öppet dike väster om järnvägen (utlopp för avrinningsområde 1)	1,7		120 (bara inmätt längd)	
Bef. öppet dike öster om järnvägen	1		730	
Makadamdike	1	1,1	1700	560
Kantdränering	1	0,51	1200	180
jordbruksdränering	0,9		2200	

## Dagvattenutredning - Karlsborg Flygplats

2018-03-20

Rev. 2018-04-19

## Planerade förhållanden innan ombyggnation

## Avrinningsområde A1

Yta	Area [m <sup>2</sup> ]	Avrinnings- koefficient $\phi$	Reducerad area $A_{red}$ [m <sup>2</sup> ]	Flöde idag [l/s]	Annan kommentar
Naturmark	136 094	0,1	13 609	818	Regnvaraktighet lika med rinntid=15 min Återkomst T=10 år  $i = 181 \text{ l/s ha}$
Dränerad mark	0	0,2	0		
Grusväg/grusplan	1 120	0,3	336		
Asfalterade ytor	39 170	0,8	31 336		
$\Sigma A =$	176 384	$\Sigma A_r =$	45 281		
$\Sigma A_{ha} =$	17,6	$\Sigma A_{r,ha} =$	4,5		

## Planerade förhållanden efter ombyggnation

## Avrinningsområde A1

Yta	Area [m <sup>2</sup> ]	Avrinnings- koefficient $\phi$	Reducerad area $A_{red}$ [m <sup>2</sup> ]	Flöde idag [l/s]	Annan kommentar
Naturmark	0	0,1	0	1074	Regnvaraktighet lika med rinntid=15 min Återkomst T=10 år  $i = 181 \text{ l/s ha}$
Dränerad mark	136 094	0,2	27 219		
Grusväg/grusplan	0	0,3	0		
Asfalterade ytor	40 290	0,8	32 232		
$\Sigma A =$	176 384	$\Sigma A_{red} =$	59 451		
$\Sigma A_{ha} =$	17,6	$\Sigma A_{red,ha} =$	5,9		

## Förändring av yta och flöde

Avrinningsområde	Nuvarande $A_r$ [ha]	Planerad $A_r$ [ha]	Flöde idag [l/s]	Flöde planerat [l/s]	Flödesökning [l/s]
Delområde A1	4,5	5,9	818	1 074	256

## Magasineringsbehov av dag- och dränvatten vid olika återkomsttider

Avtappning från område A1 [l/s]	Reducerad area $A_{red}$ [ha]	Avtappning l/s ha <sub>red</sub>	Återkomsttid månader	Utnyttjad magasinvolym, område A1* [m <sup>3</sup> ]	Planerad fördröjningsvolym inom område A1 [m <sup>3</sup> ]
200	5,9	34	120	730	740
200	5,9	34	60	493	740
200	5,9	34	24	276	740
200	5,9	34	12	166	740

## Magasineringsbehov vid reningsanläggning av dag- och dränvatten vid olika återkomsttider

Avtappning från reningsanläggning [l/s]	Reducerad area $A_{red}$ [ha]	Avtappning från reningsanläggning l/s ha <sub>red</sub>	Återkomsttid månader	Total magasinvolym före reningsanläggning [m <sup>3</sup> ]	Nödvändig magasinvolym före reningsanläggning avräknat volym inom område A1* [m <sup>3</sup> ]
16,7	5,9	2,8	120	2 329	1 599
16,7	5,9	2,8	60	1 773	1 280
16,7	5,9	2,8	24	1 233	957
16,7	5,9	2,8	12	934	768

11,1	5,9	1,9	120	2 790	2 060
11,1	5,9	1,9	60	2 229	1 736
11,1	5,9	1,9	24	1 659	1 383
11,1	5,9	1,9	12	1 330	1 164

2,8	5,9	0,5	120	3 508	2 778
2,8	5,9	0,5	60	2 947	2 454
2,8	5,9	0,5	24	2 377	2 101
2,8	5,9	0,5	12	2 047	1 881

Årsnederbörd: 671 mm/år

(SMHI vattenweb, Vattenbalans 1981-2010)

Yta	Area [m <sup>2</sup> ]	Nederbörd P (mm)	Avdunstning E (mm)	Nettonederbörd (mm)	Beräknad nettonederbörd [m <sup>3</sup> ]	Avrinningskoefficient (andel som ej bildar grundvatten)	Årsavrinning från dräneringsområde med a-koff. [m <sup>3</sup> ]	Medelflöde från dräneringsområde med a-koff. [l/s]
Dränerad mark	137 000	671	436	235	32 195	0,5	16098	0,5
Asfalterade ytor	40 300	671	0	671	27 041	0,8	21633	0,7
							Summa	1,2

## Kalkyl på fördröjningsmagasin

Karlsborg fördröjnings magasin 1

	<u>Enhet</u>	<u>Mängd</u>	<u>Pris</u>	<u>Kostnad</u>
Schakt	m <sup>3</sup>	1 700	250	425 000
Fyllning	m <sup>3</sup>	1 500	400	600 000
DV kassetter (3,72 st/m <sup>3</sup> , Pluvial Cube)	st	3 720	900	3 348 000
Överbyggnad gräsplan	m <sup>2</sup>	1 500	150	225 000
Rörledningar	m	200	2 000	400 000
Ventiler mm	x			1 000 000
				5 998 000
Omkostnader 25%				1 499 500
Projektering 10%				749 750
Totalentreprenadskostnad				8 247 250
Beställarkostnader 5%				412 363
Oförutsett 10%				865 961
<b>Totalkostnad</b>				<b>9 525 574</b>

Karlsborg fördröjnings magasin 2

	<u>Enhet</u>	<u>Mängd</u>	<u>Pris</u>	<u>Kostnad</u>
Schakt	m <sup>3</sup>	6 500	250	1 625 000
Magasinsrör Ø 800	m	2 000	2 000	4 000 000
Fyllning	m <sup>3</sup>	5 000	400	2 000 000
Överbyggnad gräsplan	m <sup>2</sup>	5 500	150	825 000
Rörledningar	m	200	2 000	400 000
Ventiler mm	x			1 000 000
				9 850 000
Omkostnader 25%				2 462 500
Projektering 10%				1 231 250
Totalentreprenadskostnad				13 543 750
Beställarkostnader 5%				677 188
Oförutsett 10%				1 422 094
<b>Totalkostnad</b>				<b>15 643 031</b>