

MTU avseende PFAS, Karlsborgs flygplats

Försvarsmakten/Miljöprövningsenheten



2015



NIRAS SWEDEN AB

Fleminggatan 14
Box 703 75
107 24 Stockholm
www.niras.se
Org.nr. 556541-2532

Projekt nr. 8114029,2 samt 8114029,15

Upplaga: Slutrapport version 2

Datum: 2015-03-03

Claes Bergqvist (Uppdragsledare/handläggare/fältingenjör)
0727-073158
claes.bergqvist@niras.se

Niclas Johansson (Expert/Fältingenjör)
0706-210293
niclas@hellden-environmental.se

Jonny Bard (Kvalitetskontroll)
013-210292
jonny.bard@niras.se

Arkiverad: X:\MILS\!STOCKHOLM\Kunder\Försvarmakten\Försvarmakten Miljöprovningseenheten FK M\8114029 BÖP
2014\8114029,2 F6 Karlsborg\Rapporter\Skickade rapporter

INNEHÅLL

1. INLEDNING	4
1.1. Bakgrund och syfte	4
1.2. Projektorganisation	4
1.3. Kvalitetssäkring och arbetsmiljö	4
1.4. Tidigare undersökningar.....	5
1.5. Områdesbeskrivning.....	5
1.5.1. Nuvarande verksamheter.....	7
1.5.2. Historiska verksamheter.....	7
1.5.3. Geologiska och hydrogeologiska förhållanden	8
2. UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR	10
2.1. Genomförandebeskrivning.....	10
2.2. Mätningar och observationer i fält.....	10
2.3. Placering av provpunkter	11
2.4. Provtagning av jord	11
2.5. Provtagning av grundvatten	12
2.5.1. Den nyare brandövningsplatsen.....	12
2.5.2. Den äldre brandövningsplatsen	13
2.5.3. Byggnad 148.....	14
2.5.4. Pumphuset.....	15
2.5.5. Gamla brandstation	16
2.5.6. Transekter mellan flygplatsen och Bottensjön	17
2.6. Provtagning av sediment.....	17
2.7. Provtagning av ytvatten	18
2.8. Inmätning	18
2.9. Laboratorieanalyser av jord och grundvatten.....	18
3. RESULTAT	19
3.1. Riktvärden och jämförvärden.....	19
3.2. Nyare brandövningsplatsen	20
3.3. Äldre brandövningsplatsen	22
3.4. Byggnad 148.....	23
3.5. Pumphuset	24
3.6. Gamla brandstation.....	25
3.7. Spridning mot Bottensjön	26
3.7.1. Grundvatten	26
3.7.2. Ytvatten	26
3.8. Perfluorerade ämnen i jord och sediment	28

3.8.1. Nya brandövningsplatsen.....	29
3.8.2. gamla brandövningsplatsen.....	29
3.8.3. Byggnad 148.....	29
3.8.4. Pumphuset.....	29
3.8.5. Gamla brandstation	29
3.8.6. Kärnebäcken.....	29
4. FÖRENKLAD RISKBEDÖMNING	30
4.1. Föroreningarnas farlighet.....	30
4.2. Föroreningsspridning - Fluortensiders mobilitet i mark och vatten	30
4.3. Föroreningssituationen - Konceptuell modell.....	30
4.3.1. Grundvattenströmning och mobilitet av PFAS	30
4.3.2. Den nyare brandövningsplatsen.....	31
4.3.3. Den äldre brandövningsplatsen	32
4.3.4. Byggnad 148.....	32
4.3.5. Gamla brandstationen	32
4.3.6. Ytvatten	33
4.4. Skyddsobjekt och exponering	34
5. SLUTSATSER	35
6. REKOMMENDATIONER.....	36
7. REFERENSER.....	39

BILAGOR

BILAGA 1	Kartor över provpunkter
BILAGA 2:	Borrjournaler för provpunkter
BILAGA 3:	Fältprotokoll för provpunkter
BILAGA 4:	Laboratorieprotokoll

1. INLEDNING

1.1. Bakgrund och syfte

NIRAS har på uppdrag av Försvarsmakten (Projektsamordnare Björn Norrbrand, Miljöprövningsenheten) utfört en miljöteknisk undersökning omfattande jord och grundvatten vid Karlsborgs flygplats, tidigare Västgöta flygflottilj, F6. Fokus för undersökningen var områden exponerade eller påverkade av brandsläckningsskum. Uppdraget har även omfattat en översiktlig riskbedömning.

I decennier har brandsläckningsskum med innehåll av PFOS och andra fluortensider använts av Försvarsmakten såväl som av civila luftfartsmyndigheter vid brandövningar (FOI, 2013). På Karlsborgs flygplats har det enligt uppgift från personal från flygplatsen sannolikt använts brandsläckningsskum på två olika brandövningsplatser samt i en hangar (Byggnad 148). Läckage av brandsläckningsskum kan också ha förekommit runt den gamla brandstationen på flottiljen. Föreliggande undersökning har syftat till att klargöra om föroreningar av perfluorerade ämnen (PFAS) förekommer vid ovan nämnda områden. Syftet har också varit att preliminärt bedöma risken för spridning av eventuella föroreningar i grund- och ytvatten, genom analyser av vatten i två transekter i grundvattnets strömningsriktning från flygplatsområdet.

1.2. Projektorganisation

Uppdragsledare:	Claes Bergqvist, NIRAS
Handläggare:	Claes Bergqvist, NIRAS
Fältprovtagning:	Claes Bergqvist, NIRAS, Niclas Johansson, Helldén Environmental Engineering AB
Kvalitetskontroll:	Jonny Bard, NIRAS
Borrentreprenör:	Kjell Hidsjö, Miljögeo i Västervik AB
Inmätning av provpunkter:	Claes Bergqvist, NIRAS (juni 2014) samt DJ Mätteknik, Skara (november 2014)

1.3. Kvalitetssäkring och arbetsmiljö

NIRAS Sweden AB:s verksamhet bedrivs enligt ett ledningssystem som är uppbyggt enligt principerna i kvalitetssystemet SS-EN ISO 9001:2008 och miljösystemet SS-EN ISO 14001:2004. Plattformen för ledningssystemet är verksamhetssystemet EKA (Engagemang, Kvalitet och Ansvar) som innehåller instruktioner, rutiner och mallar som effektiviserar, systematiserar samt kvalitets- och miljösäkrar det dagliga arbetet. Revisioner av systemet sker genom interna granskningar av uppdrag för att säkerställa att systemet uppfyller behoven för att kvalitén i arbetssätt och på leveranser motsvarar kundens ställda krav.

Undersökningsarbetet planerades och genomfördes i tillämpliga delar i enlighet med de råd och riktlinjer som redovisas i Svenska Geotekniska Föreningens "Fälthandbok - Undersökningar av förorenade områden" (SGF, 2013). Utöver denna handbok utfördes undersökningen enligt de rutiner som rekommenderas i rapporten "Perfluorerade ämnen i jord, grundvatten och ytvatten, Riskbild och åtgärdsstrategier" (FOI, 2013). Samtliga prover har analyserats vid ALS Scandinavia AB, som är ett av SWEDAC ackrediterat laboratorium. Provtagningsutrustningen som användes är av samma material och märken som använts vid NIRAS tidigare miljötekniska markundersökningar avseende PFAS. Sedan tidigare har det säkerställts att den slang av PE-material som använts, inte innehåller eller avger PFAS.

1.4. Tidigare undersökningar

De aktuella brandövningsplatserna har tidigare undersökts i rapporten "Farliga lämningar Västgöta flygflottilj F6 Karlsborg" (Johansson, 2004). I rapporten framgår att den äldre brandövningsplatsen användes flitigt mellan 1957-1977. På den nya brandövningsplatsen övades släckning av flygplansvrak vid ett fåtal tillfällen per år fram till 1988, och mellan 1988-1993 endast handsläckning med skumsläckare vid eldning i fat. I rapporten, som är från 2004, bedöms miljöriskerna från områdena som små, men PFAS är emellertid inte utredda i denna rapport.

Under 2013-2014 har även Sweco utfört provtagning av grundvatten, dagvatten och jord med avseende på PFAS, på flygplatsområdet, inklusive på den nyare brandövningsplatsen. Resultaten från denna undersökning diskuteras vidare i rapporten nedan.

Föreliggande undersökning är en komplettering till NIRAS tidigare undersökning med avseende på PFAS vid Karlsborgs flygplats; "MTU avseende perfluorerade ämnen vid brandövningsplatser, F6 Karlsborg", daterad 2014-09-19.

1.5. Områdesbeskrivning

Utredningsobjekten är belägna vid Karlsborgs flygplats i Karlsborg. De områden som kan vara påverkade av kemikalier från brandsläckningsskum samt undersökta områden i den bedömda strömningsriktningen för grundvatten, som har varit i fokus för detta projekt, visas i figur 1.

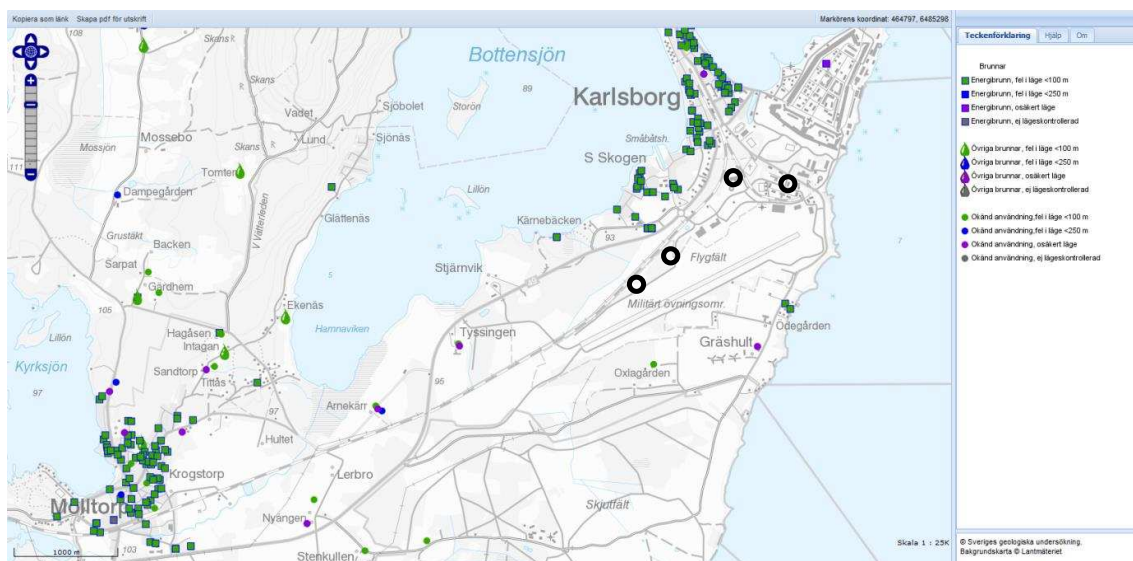


Figur 1. Undersökta områden samt punkter i den bedömda strömningsriktningen för grundvatten; 1. Nya brandövningsplatsen, 2. Pumphuset, 3. Gamla brandövningsplatsen, 4. Byggnad 148, 5. Gamla brandstationen. Vita prickar = grundvattenprov, YTV1-YTV2= ytvattenprov.

Det aktuella området används för militär verksamhet. Avståndet till närmaste bostadshus är cirka en halv kilometer.

Vättern är ett Natura 2000-område samt ett riksintresse för friluftsliv, fiske, natur och kulturmiljö. Bottensjön ingår i vattenskyddsområdet för vattentäkt Vättern.

Enligt SGU:s brunnarsarkiv finns det inga kända brunnar för dricksvattenuttag eller bevattnings i området, se figur 2. Det finns dock två brunnar med okänt användningsområde knappt 1 km söder om området.



Figur 2. Utdrag ur SGU:s brunnarsarkiv för aktuellt undersökningsområde (2014-09-19). Områdena för de två brandövningsplatserna, Byggnad 148 och gamla brandstationen är markerade med svarta ringar.

1.5.1. NUVARANDE VERKSAMHETER

Ingen av brandövningsplatserna används längre för brandövningar. Den äldre brandövningsplatsen befinner sig i dagsläget strax utanför flygplatsområdet i ett igenvuxet skogsparti, och på den nyare brandövningsplatsen har det funnits planer på att hårdgöra ytan för parkering. Byggnad 148 används inte i dagsläget som hangar. Gamla brandstationen används inte längre som brandstation.

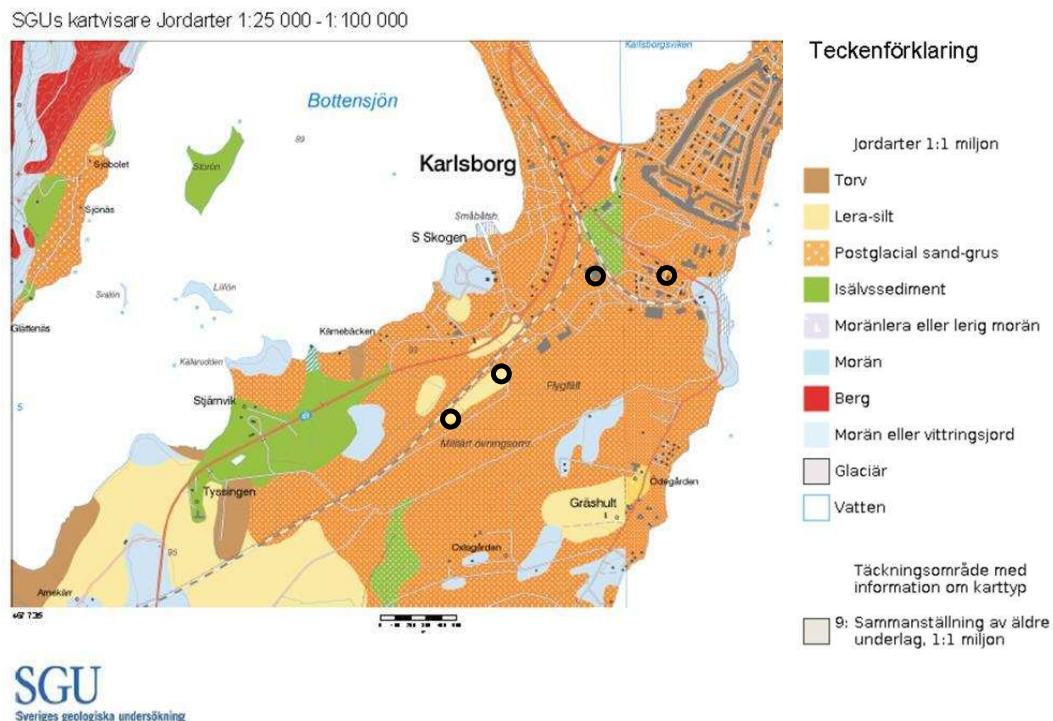
1.5.2. HISTORISKA VERKSAMHETER

På Karlsborgs flygplats har det genomförts brandövningar under lång tid. Brandövningarna har enligt uppgift bedrivits på två brandövningsplatser, en äldre och en nyare. Enligt uppgift från personal från flygplatsen har det emellertid inte förekommit skumsläckning på området sedan 1979. Den äldre brandövningsplatsen, belägen strax utanför stängslet till flygplatsområdet strax norr om landningsbanan, användes fram till 1976. Den nyare brandövningsplatsen, belägen i anslutning till landningsbanan innanför grindarna, användes fram till 1994. Ingen av brandövningsplatserna har haft någon hårdgjord yta. Dessutom fanns i närheten av den nyare brandövningsplatsen en räddningsstation där tankar med skum i förvarades.

Utöver brandövningsplatserna finns även en flyghangar (Byggnad 148) inne på flottiljområdet med ett brandsläckningssystem installerat i byggnaden. Enligt uppgift från personal på flygflottiljen har Byggnad 148 vid åtminstone två tillfällen fyllts med skum. Sannolikt skyfflades detta skum ut ur byggnaden till intilliggande markytor.

1.5.3. GEOLOGISKA OCH HYDROGEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

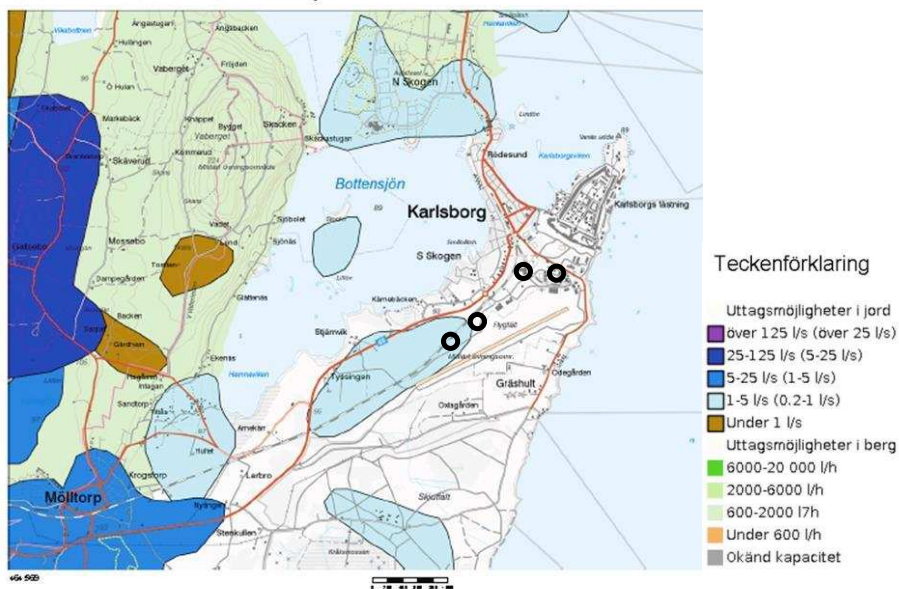
Enligt SGU:s jordartskarta består området till stora delar av isälvsediment och postglacial sand, se figur 3. Små områden med lera-silt förekommer också, bland annat i området för både den nya och den äldre brandövningsplatsen. Djupet till berg uppskattas enligt SGU:s jorddjupskarta till cirka 20-30 m i flygplatsområdet.



Figur 3. Utdrag ur SGU:S jordartskarta. Områdena för de två brandövningsplatserna, Byggnad 148 och gamla brandstationen är markerade med svarta ringar.

Ytavrinningen från flygplatsområdet bedöms ske i nordvästlig riktning mot Bottensjön. Från den nordöstra delen av flygplatsområdet bedöms ytavrinningen ske mot Vättern i Öster. Från den hydrogeologiska kartan över området framgår det att grundvattentillgången i området är måttlig, se figur 4.

SGU:s kartvisare Grundvatten 1:1 miljon



SGU
Sveriges geologiska undersökning

Figur 4. Utdrag ur SGU:s hydrogeologiska karta. Områdena för de två brandövningsplatserna, Byggnad 148 och gamla brandstationen är markerade med svarta ringar.

Grundvattenströmningen i området för de två brandövningsplatserna var inte självklar utifrån de uppmätta grundvattennivåerna vid undersökningen sommaren 2014, men resultaten indikerade en strömning mot nordväst. Exempelvis var grundvattenytan vid provpunkten belägen mellan den nyare brandövningsplatsen och Bottensjön (GVpumphus), ca 1-2 m lägre än i de tre rören vid den nyare brandövningsplatsen. Även vid den äldre brandövningsplatsen, så hade de rör som var placerade närmare Bottensjön (GV5 och GV6) något lägre tryckyta än rören placerade längre bort från Bottensjön (GV4 och GV7). Vid Byggnad 148 tydde det mesta på att strömningen skedde mot Bottensjön i väst eftersom de uppmätta grundvattennivåerna i röret placerat mot Bottensjön (GV10) hade cirka 2 m lägre tryckyta än röret placerat längre bort från Bottensjön (GV11).

De uppmätta tryckytorna under hösten 2014, i grundvattenrören i de två transekterna, bidrar ytterligare till bedömningen att grundvattenströmningen sker mot Bottensjön (se figur 10). Tryckytorna i rören närmast Bottensjön (Transekt 2:2, 2:3, 2:4) var lägre än i rören närmast flygplatsområdet (Transekt 1:1, 1:2). Undantaget var punkten Transekt 2:1 som hade en högre tryckyta än tryckytan i rören närmast flygplatsen, vilket sannolikt berodde på att denna punkt var placerad på en höjd. Även tryckytan i punkten Transekt 1:3 avvek från det generella mönstret genom

att ha en lägre tryckyta än i rören närmare Bottensjön. Varför grundvattenytan var lägre i detta rör jämfört med de andra rören i de bägge transekterna är inte närmare utrett i denna rapport.

Det bedöms inte finnas någon direkt hydraulisk förbindelse mellan brandövningsplatserna och den undersökta Byggnad 148 på flygplatsområdet. Eventuellt kan de två brandövningsplatserna vara hydrogeologiskt sammakopplade utifrån vad som framgår av SGU:s jordartskarta och hydrogeologiska karta, se figur 3 och 4. Mellan Byggnad 148 och den gamla brandstationen kan det eventuellt förekomma en hydraulisk förbindelse eftersom dessa båda är placerade på sammanhängande sand- och grusavlagringar med hög hydraulisk konduktivitet, se figur 3.

2. UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR

2.1. Genomförandebeskrivning

Undersökningen har genomförts i två etapper, den första omfattade de båda brandövningsplatserna, pumphuset och Byggnad 148 och genomfördes den 23-26 juni 2014. Den andra etappen omfattade installation av grundvattenrör vid den gamla brandstationen och transekterna med grundvattenrör mellan brandövningsplatserna och Bottensjön. Den andra etappen genomfördes 28-31 oktober 2014 och provtagning av grundvatten ur dessa rör utfördes den 11 november 2014. Samtliga uttagna prov förvarades i av laboratoriet tillhandahållna flaskor, burkar och förvaringskartonger innan de sändes in till laboratoriet. Samtliga prov sändes till laboratoriet efter att fältarbetet var slutfört. Proven förvarades kyllda med hjälp av kylklampar under provtagningsdagen och i kylskåp i väntan på transporten till laboratoriet. Inmätning av grundvattenrören (X, Y, Z) utfördes 23-26 juni 2014 samt 12 november 2014. Instrumentet som användes var en GNSS-mottagare av modellen Trimble TSC2. GPS i systemet Swedish Reference Frame 1999 (SWEREF 99, zon 1330) och RH 2000, vilka är de officiella referenssystem som används mest frekvent i Sverige i dag.

2.2. Mätningar och observationer i fält

Vid den nyare brandövningsplatsen indikerade jordlagerföljden i de tre borrhålen att den sydvästra delen av området bestod av fyllnadsmaterial innehållande sand, lera, silt, underlagrat av silt, medan områdena söder och nordöst om brandövningsplatsen bestod av silt, underlagrat av morän. Vid den äldre brandövningsplatsen samt vid pumphuset visade jordlagerföljden i borrhålen att områdena till största del bestod av silt med inslag av lera. Vid Byggnad 148 visade jordlagerföljden i borrhålen söder och öster om byggnaden att dessa områden bestod av sand och finsand. I området väster om Byggnad 148 underlagrades sanden av lera. Vid den gamla brandstationen bestod jordlagerföljden i de bägge hålen av sand underlagrat av lera.

Jordlagerföljderna i transekt 1, närmast flygplatsen (se figur 10), bestod av silt och lera. I transekt 2, närmast Bottensjön (se figur 10) bestod jordlagerföljderna av sand och grusig sand, bortsett från hålet närmast Bottensjön som bestod av lera och silt.

Fullständiga jordlagerföljder redovisas i respektive borrhjournal, se bilaga 2. Uppmätta vattennivåer i installerade grundvattenrör redovisas i tabell 1.

Tabell 1. Redovisning av provpunkternas geografiska placering och höjd samt grundvattennivåer i installerade GV-rör. m.u.m.y.=meter under markyta. m.ö.h.=meter över havet. (SWEREF 99 1330, RH2000).

Benämning	X	Y	Z	GV-nivå (m.u.m.y.)	GV-nivå (m.ö.h.)
NIRAS GV1	208104.950	6488882.938	91.241	1,52	89,75
NIRAS GV2	208234.306	6488857.401	90.872	2,07	88,83
NIRAS GV3	208273.411	6488979.449	91.328	1,58	89,79
NIRAS GV4	208513.055	6489338.510	92.448	2,52	89,92
NIRAS GV5	208505.690	6489371.787	90.694	1,16	89,49
NIRAS GV6	208492.371	6489312.559	91.217	1,75	89,44
NIRAS GV7	208530.843	6489305.731	91.309	1,52	89,79
NIRAS Gvpumphus	208191.201	6489103.973	90.410	2,52	87,92
NIRAS GV9	209134.525	6489919.000	93.648	1,09	92,63
NIRAS GV10	209054.131	6489989.640	92.557	0,85	91,77
NIRAS GV11	209218.884	6489991.060	95.628	1,99	93,55
Brandstation 1	209578.352	6489988.372	95.930	2,12	93,87
Brandstation 2	209642.704	6489958.998	96.030	2,36	93,71
Transekt 1:1	207539.036	6488577.979	90.060	0,61	89,54
Transekt 1:2	207824.740	6488929.201	90.220	0,62	89,66
Transekt 1:3	208198.192	6489359.257	89.870	1,17	88,74
Transekt 2:1	207187.201	6489087.571	98.500	7,25	91,29
Transekt 2:2	207361.176	6489393.150	89.500	0,41	89,14
Transekt 2:3	207730.606	6489460.173	91.940	2,84	89,13
Transekt 2:4	207951.078	6489571.045	92.720	3,57	89,15

2.3. Placering av provpunkter

I den aktuella undersökningen har grundvattenprover från fem områden undersökts. Dessa områden var den nyare brandövningsplatsen, den äldre brandövningsplatsen, Byggnad 148, pumphuset samt den gamla brandstationen. Dessutom undersöktes grundvatten, ytvatten och sediment i två transekter i området mellan flygplatsen och Bottensjön. Provtagningspunkternas lokalisering i förhållande till de undersökta områdena redovisas i beskrivningen av respektive område nedan.

2.4. Provtagning av jord

Jordprovtagning genomfördes genom skruv- eller ODEX-borrning med hjälp av borrhbandvagn i samarbete med MiljöGeo i Västervik AB. Under borrhningen genomförde NIRAS personal

jordprovtagning inklusive dokumentation av lukt- och synintryck samt jordlagerföljd. Jordprov togs direkt från skruvborren alternativt ur utblåset från ODEX-borren. Varje prov uttogs med ny handske av nitrilgummi. Efter provtagning återfylldes hålet med överblivna massor så att inga gropar bildades. Jordproverna förvarades i av laboratoriet rekommenderade och tillhandahållna provtagningskärl (glas och skruvlock utan teflonpackning). Provpunkterna där jordprov togs ligger på både den gamla och den nya brandövningsplatsen, Byggnad 148 samt vid den gamla brandstationen. På samtliga dessa platser har det enligt uppgift förekommit övningsverksamhet med skum, att brandsläckningssystem med skum aktiverats eller att brandsläckningsskum kan ha läckt ut. För varje provpunkt dokumenterades jordlagerföljder enligt SGF:s beteckningssystem.

Totalt uttogs 35 jordprover, två ur det västra hålet vid den gamla brandstationen, samt ett prov från varje nivå: 0 - 0,5 m, 0,5 - 1 m och 1 - 2 m ur de övriga 11 borrhålen runt områdena som kan ha påverkats av brandsläckningsskum. Ur rören i de två transekterna uttogs inga jordprov. Totalt sändes tio samlingsprov av jord in för laboratorieanalys. Från vilka provtagningsdjup och från vilka nivåer/delprover som samlingsproverna skapades redovisas i detalj i tabell 9 nedan. Jordproverna analyserades med avseende på PFAS. Proverna förvarades kyllda under transport till laboratoriet.

2.5. Provtagning av grundvatten

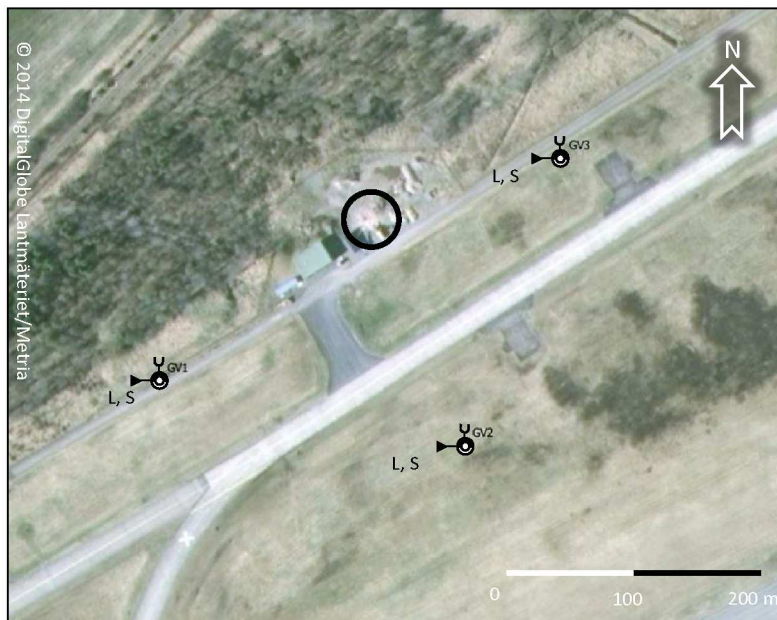
Grundvattenrör av PEH-plast (50 mm diameter) installerades i hål förborrade med skruv- alternativt ODEX-borrning, och så att filterenheten hamnade under grundvattenytan. Rören placerades med hänsyn till områdets hydrogeologiska förhållanden för att täcka in möjliga spridningsvägar av eventuella PFAS-föreningar från de undersökta områdena. I varje provpunkt dokumenterades jordlagerföljder enligt SGF:s beteckningssystem. Grundvattnet i respektive rör omsattes vid två tillfällen innan provtagning och vattennivån pejlades med grundvattenlod. Prover uttogs med hjälp av peristaltisk pump genom en för varje rör individuell slang, samt i vissa fall med bailer.

Det har tidigare visats att det förekommer PFAS i grundvatten vid den nyare brandövningsplatsen (Sweco 2013-2014). Syftet med grundvattenprovtagningen var dels att undersöka om det finns PFAS i grundvatten på ytterligare platser än den nya brandövningsplatsen och dels att undersöka om det sker en spridning av föreningarna via grundvattnet från flygplatsområdet. I följande stycken presenteras de platser där grundvattenrören installerades och grundvatten provtogs. Borrjournaler återfinns i bilaga 2. I bilaga 3 återfinns fältprotokollen från provtagningen av grundvatten.

2.5.1. DEN NYARE BRANDÖVNINGSPLATSEN

Tre stycken grundvattenrör installerades vid den nyare brandövningsplatsen, ett sydväst, ett nordöst och ett söder om brandövningsplatsen, se figur 5. Sedan tidigare fanns grundvattenrör installerade

av Sweco på, och i anslutning till brandövningsplatsen, men eftersom prover uttagits ur dessa rör relativt nyligen, togs inga nya prover ur dessa.

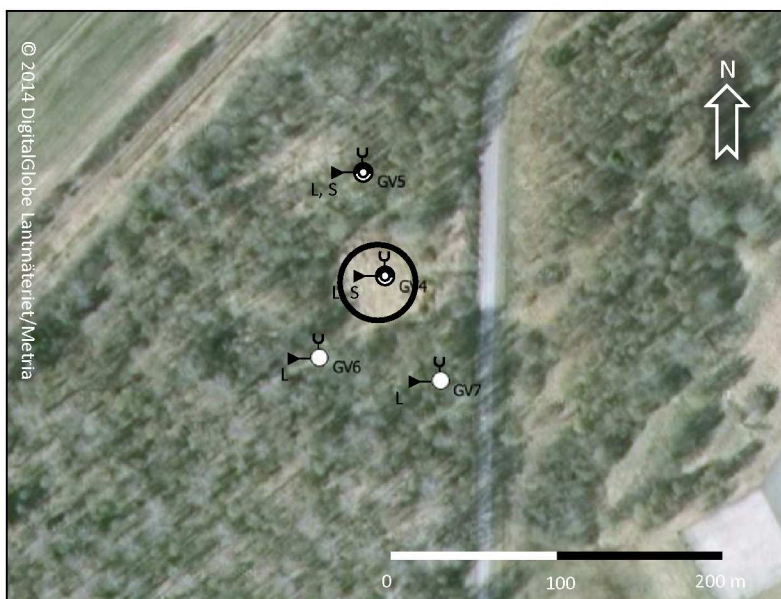


Figur 5. Provtagningspunkter för grundvatten och jord (GV1-GV3), i förhållande till den nyare brandövningsplatsen (svart ring).

Rens- och omsättningspumpning utfördes med en peristaltisk pump i samtliga grundvattenrör. Tillrinningen var låg till måttlig i de nyinstallerade rören söder och nordöst om brandövningsplatsen, så endast 1-2 rörvolymmer kunde omsättas (jämför SGF:s rekommendationer om omsättning av 3–5 rörvolymmer innan provtagning). I röret sydväst kunde rekommendationerna uppfyllas.

2.5.2. DEN ÄLDRE BRANDÖVNINGSPLATSEN

Fyra stycken grundvattenrör installerades vid den äldre brandövningsplatsen, ett centralt på själva brandövningsplatsen, två i bedömd strömningsriktning för grundvattnet väst/nordväst om platsen, samt ett söder om brandövningsplatsen, se figur 6.

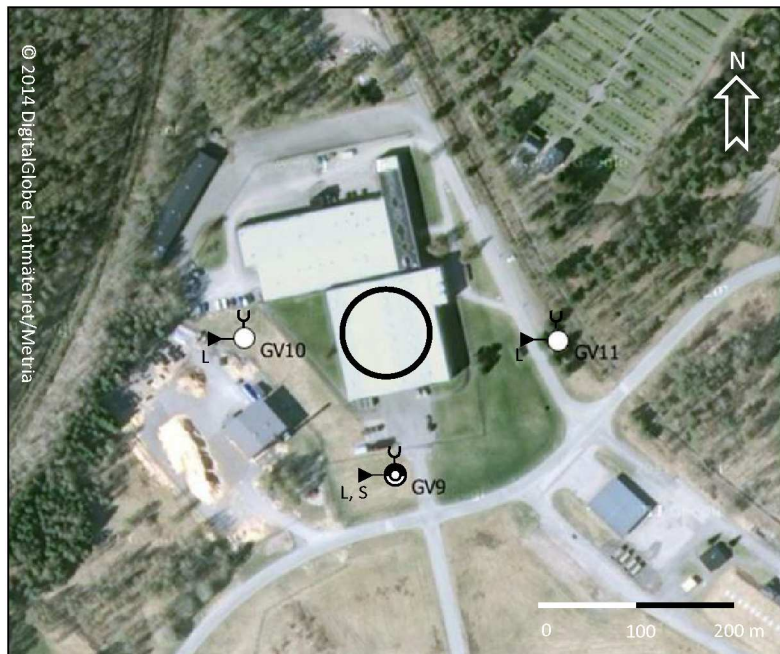


Figur 6. Provtagningspunkter för grundvatten och jord (GV4-GV7), i förhållande till den äldre brandövningsplatsen (svart ring).

Rens- och omsättningspumpning utfördes med en peristaltisk pump i samtliga grundvattenrör, utom i det centrala röret där rens- och omsättningspumpning utfördes med bailer. Tillrinningen var god i de nyinstallerade rören så SGF:s rekommendationer om 3-5 rörvolymers omsättning innan provtagning kunde uppfyllas. I röret sydväst om brandövningsplatsen var tillrinningen emellertid sämre och endast 1 rörvolym kunde omsättas.

2.5.3. BYGGNAD 148

Tre stycken grundvattenrör installerades vid Byggnad 148; ett framför entrén, samt ett uppströms och ett nedströms byggnaden i bedömd strömningsriktning för grundvattnet (d.v.s. öster respektive väster om byggnaden), se figur 7.

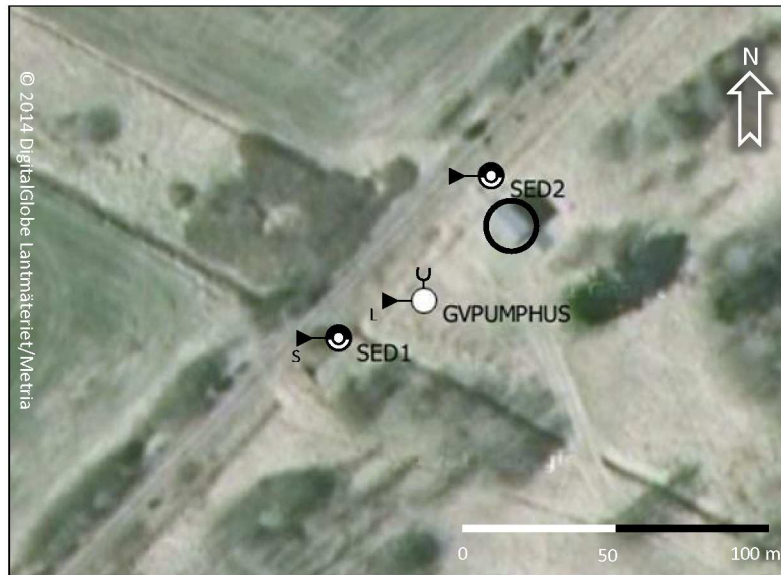


Figur 7. Provtagningspunkter för grundvatten och jord (GV9-GV11), i förhållande till Byggnad 148 (svart ring).

Rens- och omsättningspumpning utfördes med en peristaltisk pump i samtliga grundvattenrör. Tillrinningen var god i rören söder och väster om Byggnad 148, så SGF:s rekommendationer om 3-5 rörvolymers omsättning innan provtagning kunde uppfyllas. I röret väster om brandövningsplatsen var tillrinningen emellertid sämre och endast 2 rörvolymers kunde omsättas.

2.5.4. PUMPHUSET

Vid pumphuset, dit ytvatten från hela flygplatsområdet leds, inklusive från de nya och äldre brandövningsplatserna, installerades ett grundvattenrör, se figur 8.



Figur 8. Provtagningspunkter för grundvatten (GVPumphus) och sediment (SED 1-2) i förhållande till pumphuset (svart ring).

Rens- och omsättningspumpning utfördes med en peristaltisk pump. Tillrinningen var god i röret, så SGF:s rekommendationer om 3-5 rörvolymers omsättning kunde uppfyllas.

2.5.5. GAMLA BRANDSTATION

Vid den gamla brandstationen installerades två rör, ett väster om byggnaden och ett öster om byggnaden, se figur 9.



Figur 9. Provtagningspunkter för grundvatten och jord (Brandstation 1-2), i förhållande till gamla brandstationen (svart ring).

Rens- och omsättningspumpning utfördes med en peristaltisk pump. Tillrinningen var god i rören, så SGF:s rekommendationer om 3-5 rörvolymers omsättning kunde uppfyllas.

2.5.6. TRANSEKTER MELLAN FLYGPLATSEN OCH BOTTENSJÖN

Mellan flygplatsen och Bottensjön installerades sju grundvattenrör i två transekter. I transekten närmast flygplatsen installerades tre rör och i transekten närmast Bottensjön installerades fyra rör, se figur 10.



Figur 10. Provtagningspunkter för grundvatten placerade i transekter mellan flygplatsområdet och Bottensjön (Transekt 1:1-1:3 samt 2:1-2:4).

Rens- och omsättningspumpning utfördes med en peristaltisk pump. I rör Transekt 2:1 kompletterades den peristaltiska pumpen med en dränkbar pump. Tillrinningen i rören i transekten närmast flygplatsen (transekt 1) var måttlig så endast 1-2 rörvolymers kunde omsättas innan provtagning. I transekten närmast Bottensjön (transekt 2) var tillrinningen i rören god, så SGF:s rekommendationer om 3-5 rörvolymers omsättning kunde uppfyllas.

2.6. Provtagning av sediment

Två sedimentprov togs den 25 juni 2014 i diken på båda sidor om pumphuset, i nordöst respektive sydväst. Pumpstationen tar emot dagvatten från stora delar av flygplatsen via diken, se figur 8. Dessutom togs ett sedimentprov ur Kärnebäcken den 11 november 2014, se figur 11.

Sedimentproven förvarades i av laboratoriet rekommenderade och tillhandahållna provtagningskärl (av glas med skruvlock utan teflonpackning).

2.7. Provtagning av ytvatten

Två ytvattenprover togs den 11 november 2014, det ena i Kärnebäcken och det andra i Bottensjön, se figur 11.



Figur 11. Ytvatten- samt sedimentprover tagna i Kärnebäcken (YTV 1) samt ytvattenprov från Bottensjön (YTV 2).

2.8. Inmätning

Provpunkterna mättes in i X-,Y- och Z-led med precisions-GPS i systemet Swedish Reference Frame 1999 (SWEREF 99, zon 13° 30') och höjdsystem RH 2000.

2.9. Laboratorieanalyser av jord och grundvatten

Jord- och grundvattenprover analyserades med avseende på perfluorerade ämnen av ALS Scandinavia AB i Tyskland. Proverna förvarades kyllda fram till inlämning på laboratoriet.

3. RESULTAT

3.1. Riktvärden och jämförvärden

Flera PFAS har visats vara giftiga vid exponering genom intag av dricksvatten, föda eller inandning. Med undantag för PFOS och PFOA saknas riktvärden för perfluorerade ämnen i jord och vatten. Det har dessutom visat sig vara svårt att bedöma de haltgränser av PFOS som kan tillåtas ur ett miljö- och hälsoriskperspektiv (FOI, 2013).

I EU:s vattendirektiv (2013/39/EU) har miljö kvalitetsnormer (MKN) för PFOS i sötvatten föreslagits och väntas träda i kraft år 2018 (tabell 2). Dessa MKN är emellertid så låga att de sannolikt inte kommer att vara möjliga att uppnå i många svenska vatten. Naturvårdsverket föreslog i en utredning från 2008 väsentligt högre gränsvärden (tabell 2) men framhåller att dessa inte satts tillräckligt lågt för att skydda människa och predatorer från sekundärförgiftning (Naturvårdsverket, 2008).

Enligt Livsmedelsverkets föreskrifter (7 § 2001:30) får dricksvatten inte innehålla ämnen i sådana halter att de kan utgöra en fara för människors hälsa. Mot bakgrund av att föroreningar av PFAS från brandskum har påträffats i dricksvattentäkter (KemI, 2013) har Livsmedelsverket tagit fram rekommendationer riktade till dricksvattenproducenter och kontrollmyndigheter. Sammanfattningsvis har Livsmedelsverket satt en åtgärdsgräns på 90 ng/l och ett hälsobaserat riktvärde för tolerabelt dagligt intag (TDI) på 900 ng/l för haltsumman av ett urval om sju PFAS (PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFBS, PFHxS och PFOS). Notera att enligt Livsmedelsverket ska haltsumman (Σ PFAS₇) inkludera halva det rapporterade "mindre än-värdet" för de ämnen som förekommer i så låga halter att de inte kan mätas. Till exempel skulle det rapporterade mindre än-värdet <10 ng/l öka den totala haltsumman med 5 ng/l. Urvalet av sju PFAS är i enlighet med Kemikalieinspektionens rekommendation att PFOS, PFHxS, PFOA och PFHxA bör ingå vid analys av vatten från brandövningsplatser där brandskum med innehåll av PFAS använts (KemI, 2013).

Tabell 2. Redovisning av rikt- och jämförvärden för PFOS, PFOA och PFAS.

Nation	Förorening	Dricksvatten (ng/l)	Inlands- vatten (ng/l)	Kustnära ytvatten (ng/l)	Inom bebyggda områden* (µg/kg TS)	Skydd av marklevande organismer* (µg/kg TS)	Skydd för mark- och anläggnings- arbetare* (µg/kg TS)
Kanada ¹	PFOS					1 300	4 000
Norge ^{2,3}	PFOS	300				100	
Storbritannien ⁴	PFOA+PFOS	300					
Sverige ⁵	PFOS	mellan 350 och 1 000	30 000				
EU/Sverige ⁶	PFOS		0,65	0,13			
Sverige ⁷	Σ 7 st PFAS	90					
Sverige ⁷	Σ 7 st PFAS	900					
Tyskland ⁸	PFOA+PFOS	(300) 100					
USA ⁹	PFOA	400			16 000		
USA ⁹	PFOS	200			6 000		

* Avser gränsvärden i jord.

¹ SLR Consulting

² Statens Forurensningstilsyn, 2008

³ Norsk Folkehelseinstitutt, fhi.no

⁴ DWI, 2009

⁵ Naturvårdsverket (2008)

⁶ (2013/39/EU) Environmental quality standards

⁷ Livsmedelsverket. [www.slv.se/sv/grupp1/Dricksvatten/ Dricksvatt
enkvalitet/Perfluorerade-alkylsyror/Riskhanteringsatgard-PFAA/](http://www.slv.se/sv/grupp1/Dricksvatten/Dricksvatt%20enkvalitet/Perfluorerade-alkylsyror/Riskhanteringsatgard-PFAA/)
(90 ng/l är den lägre åtgärdsgränsen medan 900 ng/l är TDI).

⁸ UBA PR 046/2009. Ett riktvärde om 100 ng/l högackumulerande PFAS
(dvs PFOS) föreslås som en försiktighetsåtgärd.

⁹ US EPA, 2012

3.2. Nyare brandövningsplatsen

Vid den nyare brandövningsplatsen togs prov på grundvatten sydväst, nordöst och söder om brandövningsplatsen, se figur 5. Proverna togs runt om brandövningsplatsen, och tanken var få en uppfattning om eventuell spridning från brandövningsplatsen. På själva brandövningsplatsen togs inga prover eftersom Sweco tidigare undersökt platsen, bland annat med avseende på PFAS, under år 2013-2014.

På brandövningsplatsen har prover som Sweco tidigare analyserat visat på en hög koncentration av PFAS, fördelat i vad man tolkar som ett ytligt grundvattenmagasin i den översta metern under markytan och ett djupare grundvattenmagasin cirka 4 meter under markytan och nedåt. Analyserna visar att ΣPFAS₇ i dricksvatten, enligt Livsmedelsverkets rekommenderade urval av PFAS som bör analyseras, uppgår till omkring 200 000 ng/l i det djupare grundvattenmagasinet. I det grundare grundvattenmagasinet är summan ännu högre trots att endast två stycken PFAS är analyserade (Σ PFOS+PFOA = 222 000 ng/l) . Livsmedelsverkets åtgärdsgräns för ΣPFAS₇ är 90 ng/l. Av de analyser som är utförda framgår att sammansättningen av PFAS sannolikt varierar mellan det djupare och det ytligare grundvattenmagasinet; i det grundare magasinet dominerade PFOS medan i det djupare dominerade PFHxS.

I nuvarande undersökning kunde inga PFAS detekteras i röret sydväst om brandövningsplatsen (GV1) och i röret i söder (GV2) detekterades endast låga halter. I röret nordöst om brandövningsplatsen (GV3) detekterades emellertid förhöjda halter av Σ PFAS₇, dock i mycket lägre koncentration än vad Sweco påvisade på själva brandövningsplatsen. Den uppmätta koncentrationen av Σ PFAS₇ i GV3 var 342 ng/l. I röret benämnt GV3 sattes filtret i ett vattenförande lager bestående av silt och sand/finsand. Samma typ av material finns redovisat av Sweco på brandövningsplatsen. Sammansättningen av koncentrationerna av de olika PFAS i GV3 överensstämmer också i stort med den sammansättning som Sweco redovisat från brandövningsplatsen. Detta tillsammans indikerar att grundvattnet i GV3 är sammankopplat med grundvattenmagasinet på brandövningsplatsen, och att PFAS-föroreningen i GV3 således har sitt ursprung i brandövningsplatsen. Frånvaron av PFAS i GV1 och de låga halterna i GV2 beror sannolikt på att grundvattenströmningen från brandövningsplatsen var riktad bort ifrån dessa punkter. Tabell 3 sammanfattar resultaten från den nyare brandövningsplatsen.

Tabell 3. Sammanställning över de halter av PFAS som rapporterats efter kemisk analys av grundvatten som provtagits vid den nyare brandövningsplatsen (laboratoriets rapporteringsgräns för de enskilda ämnena är 10 ng/l). Rödmarkerat = 7 PFAS enl. SLV.

Ämne	GV 1 (Sydväst) (ng/l)	GV 2 (Syd) (ng/l)	GV 3 (Nordöst) (ng/l)
PFBA	<10	<10	<10
PFPeA	<10	<10	<10
PFHxA	<10	<10	14
PFHpA	<10	<10	<10
PFOA	<10	<10	17
PFNA	<10	<10	<10
PFDA	<10	<10	<10
PFUnDA	<10	<10	<10
PFDoDA	<10	<10	<10
PFBS	<10	<10	28
PFHxS	<10	<10	240
PFOS	<10	16	43
PFDS	<10	<10	<10
PFOSA	<10	<10	<10
6:2 FTS	<10	<10	<10
Σ PFAS ₇	35	46	352

Livsmedelsverkets rekommendationer vid förekomst av PFAS i dricksvatten:

<90 ng/l	Vattnet är drickbart. Ingen åtgärd krävs.
>90 ng/l	Vattnet är drickbart. Åtgärder bör vidtas för att sänka halterna.
>900 ng/l	Kvinnor som försöker bli eller är gravida, kvinnor som ammar och barn som får modersmjölksersättning bör undvika att konsumera vattnet. Åtgärder bör vidtas för att sänka halterna.

3.3. Äldre brandövningsplatsen

Vid den äldre brandövningsplatsen installerades fyra grundvattenrör, dels centralt i brandövningsplatsen (GV4) och dels sydväst (GV6), nordväst (GV5) och sydöst (GV7) om brandövningsplatsen, se figur 6.

Både i röret placerat centralt i brandövningsplatsen och i rören nedströms brandövningsplatsen, i bedömd riktning för grundvattenströmningen, uppmättes förhöjda halter av ΣPFAS_7 . I GV4 var koncentrationen av ΣPFAS_7 1371 ng/l och i GV5 och GV6 var koncentrationen 613 respektive 968 ng/l. I GV4 och GV6 överskred ΣPFAS_7 således Livsmedelsverkets hälsobaserade riktvärde på 900 ng/l. Koncentrationen i röret som installerades uppströms brandövningsplatsen (GV7) var 142 ng/l, vilket möjligen indikerar en viss påverkan av PFAS från brandövningsplatsen även i detta rör. Alternativt sker påverkan från någon annan källa eftersom grundvattnets huvudsakliga strömningsriktning i området sannolikt sker mot väst/nordväst. Tabell 4 sammanfattar resultaten från den äldre brandövningsplatsen.

Tabell 4. Sammanställning över de halter av PFAS som rapporterats efter kemisk analys av grundvatten som provtagits vid den äldre brandövningsplatsen. Rödmarkerat = 7 PFAS.

Ämne	GV 4 (Centralt) (ng/l)	GV 5 (Nordväst) (ng/l)	GV 6 (Sydväst) (ng/l)	GV 7 (Sydöst) (ng/l)
PFBA	600	29	80	14
PFPeA	390	32	60	10
PFHxA	760	250	190	20
PFHpA	31	17	30	<10
PFOA	180	200	660	100
PFNA	<10	<10	<10	<10
PFDA	<10	<10	<10	<10
PFUnDA	<10	<10	<10	<10
PFDoDA	<10	<10	<10	<10
PFBS	<10	24	<10	<10
PFHxS	<10	90	28	12
PFOS	10	<10	<10	<10
PFDS	<10	<10	<10	<10
PFOSA	10	<10	<10	<10
6:2 FTS	<10	<10	<10	<10
ΣPFAS_7	1381	618	978	157

Livsmedelsverkets rekommendationer vid förekomst av PFAS i dricksvatten:

<90 ng/l	Vattnet är drickbart. Ingen åtgärd krävs.
>90 ng/l	Vattnet är drickbart. Åtgärder bör vidtas för att sänka halterna.
>900 ng/l	Kvinnor som försöker bli eller är gravida, kvinnor som ammar och barn som får modersmjölksersättning bör undvika att konsumera vattnet. Åtgärder bör vidtas för att sänka halterna.

3.4. Byggnad 148

Vid Byggnad 148 installerades tre grundvattenrör; söder (GV9), väster (GV10) respektive öster (GV11) om byggnaden (fig. 7), för att fånga upp eventuella spår efter användning av PFAS-innehållande brandsläckningsskum inne i byggnaden.

Byggnad 148 ska enligt muntliga uppgifter från personal från flygflottiljen ha fyllts med brandsläckningsskum vid åtminstone två tillfällen. Tidpunkten när detta ska ha skett är emellertid oklar. Avsikten med placeringen av röret söder om Byggnad 148 (GV9) var att upptäcka spår efter skum som enligt uppgift ska ha "skyfflats" ut ur byggnaden efter att den skumfylts. Grundvattenytan i GV10 var ungefär en meter lägre än GV9, som i sin tur var ungefär en meter lägre än GV11 (se tabell 4), vilket indikerar en grundvattenströmning åt väst. Rören väster (GV10) och öster (GV11) om Byggnad 148 placerades för att få ett rör uppströms, och ett rör nedströms byggnaden i förhållande till grundvattnets strömningsriktning, vilken bedömts vara riktad mot väster. Filtren i samtliga rör vid Byggnad 148 sattes i vattenförande material bestående av sand/finsand på 3 m djup under markytan. Tabell 5 sammanfattar resultaten från Byggnad 148.

Tabell 5. Sammanställning över de halter av PFAS som rapporterats efter kemisk analys av grundvatten som provtagits vid Byggnad 148. Rödmarkerat = 7 PFAS.

Ämne	GV 9 (Syd) (ng/l)	GV 10 (Väst) (ng/l)	GV 11 (Öst) (ng/l)
PFBA	<10	<10	<10
PFPeA	<10	<10	<10
PFHxA	<10	<10	<10
PFHpA	<10	<10	<10
PFOA	<10	<10	<10
PFNA	<10	<10	<10
PFDA	<10	<10	<10
PFUnDA	<10	<10	<10
PFDoDA	<10	<10	<10
PFBS	<10	<10	<10
PFHxS	23	<10	75
PFOS	19	<10	140
PFDS	<10	<10	<10
PFOSA	<10	<10	<10
6:2 FTS	<10	<10	<10
ΣPFAS ₇	67	35	240

Livsmedelsverkets rekommendationer vid förekomst av PFAS i dricksvatten:

<90 ng/l	Vattnet är drickbart. Ingen åtgärd krävs.
>90 ng/l	Vattnet är drickbart. Åtgärder bör vidtas för att sänka halterna.
>900 ng/l	Kvinnor som försöker bli eller är gravida, kvinnor som ammar och barn som får modersmjölksersättning bör undvika att konsumera vattnet. Åtgärder bör vidtas för att sänka halterna.

I röret väster om Byggnad 148 (GV10), kunde inga PFAS detekteras. I rören söder och öster om Byggnad 148 (GV9 respektive GV11), var det enbart två stycken av de totalt 15 analyserade PFAS som översteg laboratoriets rapporteringsgräns, PFHxS och PFOS. Σ PFAS₇ (d.v.s. summan av PFHxS och PFOS) understeg Livsmedelsverkets åtgärdsgräns på 90 ng/L i röret söder om Byggnad 148 (GV9), men överskred gränsen i röret öster om Byggnad 148 (GV11).

3.5. Pumphuset

Syftet med provtagningen vid pumphuset var att undersöka om det eventuella PFAS-förorenade ytvatten som leds till platsen från flygplatsområdet orsakar förhöjda halter av PFAS i grundvattnet i området. Därför installerades ett grundvattenrör vid Pumphuset. Tabell 6 sammanfattar resultaten från grundvattenprotagningen vid Pumphuset.

Tabell 6. Sammanställning över de halter av PFAS som rapporterats efter kemisk analys av grundvatten som provtagits vid pumphuset. Rödmarkerat = 7 PFAS.

Ämne	GVpumphus (ng/l)
PFBA	<10
PFPeA	<10
PFHxA	<10
PFHpA	<10
PFOA	<10
PFNA	<10
PFDA	<10
PFUnDA	<10
PFDoDA	<10
PFBS	<10
PFHxS	30
PFOS	<10
PFDS	<10
PFOSA	<10
6:2 FTS	<10
Σ PFAS ₇	60

Livsmedelsverkets rekommendationer vid förekomst av PFAS i dricksvatten:

<90 ng/l	Vattnet är drickbart. Ingen åtgärd krävs.
>90 ng/l	Vattnet är drickbart. Åtgärder bör vidtas för att sänka halterna.
>900 ng/l	Kvinnor som försöker bli eller är gravida, kvinnor som ammar och barn som får modersmjölksersättning bör undvika att konsumera vattnet. Åtgärder bör vidtas för att sänka halterna.

Sammantaget visar resultaten från grundvattenprovtagningen att halterna av PFAS är låga i jämförelse med Livsmedelsverkets åtgärdsgräns på 90 ng/l och att PFAS-förorenat ytvattnet sannolikt inte infiltrerar i området i någon större utsträckning.

3.6. Gamla brandstation

Vid gamla brandstation kan brandsläckningsskum ha läckt, till exempel från brandsläckningsfordon. Vid gamla brandstation installerades två rör, ett vid uppställningsplatsen för brandsläckningsfordonen (Brandstation 1) och ett i den bedömda strömningsriktningen för grundvattnet (Brandstation 2). Tabell 7 sammanfattar resultaten från gamla brandstation.

Tabell 7. Sammanställning över de halter av PFAS som rapporterats efter kemisk analys av grundvatten som provtagits vid gamla brandstationen. Rödmarkerat = 7 PFAS.

Ämne	Brandstation 1 (ng/l)	Brandstation 2 (ng/l)
PFBA	<10	<10
PFPeA	<10	<10
PFHxA	<10	<10
PFHpA	<10	<10
PFOA	<10	43
PFNA	<10	<10
PFDA	<10	<10
PFUnDA	<10	<10
PFDoDA	<10	<10
PFBS	<10	40
PFHxS	49	260
PFOS	190	<10
PFDS	<10	<10
PFOSA	<10	<10
6:2 FTS	<10	<10
ΣPFAS ₇	264	363

Livsmedelsverkets rekommendationer vid förekomst av PFAS i dricksvatten:

<90 ng/l	Vattnet är drickbart. Ingen åtgärd krävs.
>90 ng/l	Vattnet är drickbart. Åtgärder bör vidtas för att sänka halterna.
>900 ng/l	Kvinnor som försöker bli eller är gravida, kvinnor som ammar och barn som får modersmjölksersättning bör undvika att konsumera vattnet. Åtgärder bör vidtas för att sänka halterna.

I båda rören kunde PFAS detekteras i förhöjda halter i förhållande till Livsmedelsverkets åtgärdsgräns. Halterna understeg emellertid Livsmedelsverkets hälsobaserade riktvärde på 900 ng/l.

3.7. Spridning mot Bottensjön

3.7.1. GRUNDVATTEN

De uppmätta trycknivåerna för grundvattnet i de installerade grundvattenrören mellan flygplatsområdet och Bottensjön indikerar en strömningsriktning från de centrala och sydvästra delarna av flygplatsområdet, mot Bottensjön i nordväst. Det västligaste röret i transekten närmast Bottensjön (Transekt 2:1) placerades på en höjd vilket sannolikt bidrar till att trycknivån i detta rör var något högre än i övriga rör i de båda transekterna.

Grundvatten analyserades ur samtliga sju grundvattenrör som placerades i de två transekterna i grundvattnets strömningsriktning mellan flygplatsen och Bottensjön. Ingen av de 15 analyserade PFAS kunde detekteras i dessa prover. Vid den sydvästra banändan installerade Sweco år 2014 två stycken grundvattenrör vilka ligger strax söder om provtagningspunkt Transekt 1:1 (se figur 10). I det ena av dessa rör uppgick koncentrationen av ΣPFAS_7 till 179 ng/l och i det andra röret till 1001 ng/l.

3.7.2. YTVATTEN

Prover på ytvatten togs både ur Kärnebäcken som emottar avrinningen från undersökningsområdet via diken i nordvästlig riktning, och ur Bottensjön. Både provet i Kärnebäcken och i Bottensjön överskred gränsvärdet för PFOS i sötvatten enligt EU:s vattendirektiv (0,65 ng/l), men eftersom Bottensjön är en dricksvattentäkt jämförs även resultaten mot Livsmedelsverkets rekommendationer vid förekomst av PFAS i dricksvatten, se tabell 8.

Tabell 8. Sammanställning över de halter av PFAS som rapporterats efter kemisk analys av ytvatten som provtagits ur Kärnebäcken och Bottensjön. Rödmarkerat = 7 PFAS.

Ämne	Kärnebäcken (ng/l)	Bottensjön (ng/l)
PFBA	<10	<10
PFPeA	<10	<10
PFHxA	38	<10
PFHpA	12	<10
PFOA	28	1,1
PFNA	<10	<10
PFDA	<10	<10
PFUnDA	<10	<10
PFDoDA	<10	<10
PFBS	18	<10
PFHxS	170	3,6
PFOS	260	3,6
PFDS	<10	<10
PFOSA	<10	<10
6:2 FTS	<10	<10
Σ PFAS ₇	531	28,3

Livsmedelsverkets rekommendationer vid förekomst av PFAS i dricksvatten:

<90 ng/l	Vattnet är drickbart. Ingen åtgärd krävs.
>90 ng/l	Vattnet är drickbart. Åtgärder bör vidtas för att sänka halterna.
>900 ng/l	Kvinnor som försöker bli eller är gravida, kvinnor som ammar och barn som får modersmjölksersättning bör undvika att konsumera vattnet. Åtgärder bör vidtas för att sänka halterna.

Även Sweco har analyserat ytvatten vid flygflottillen i Karlsborg, både i dagvattendiken och i bäcken. Bland annat togs ett prov ur Kärnebäcken under mars 2014 (prov 1409). Summan av PFOS+PFOA i detta prov uppgick till 348 ng/l. Detta resultat i kombination med resultatet från NIRAS undersökning indikerar att transporten av PFAS via Kärnebäcken till Bottensjön pågår kontinuerligt.

Analyser av dagvatten nära den nya brandövningsplatsen som Sweco utförde under mars 2014 (prov 1414), visade på höga halter av PFAS (Σ PFAS₇ ~ 370 000 ng/l). Även vid den äldre brandövningsplatsen analyserades ett dagvattenprov (prov 1415) med relativt höga halter av PFAS (PFOS+PFOA = 1580 ng/l). Under sommaren 2014 analyserade Sweco dagvatten från ytterligare sex punkter på flygplatsområdet med avseende på PFOS och PFOA. Fyra av punkterna var lokaliserade norr om landningsbanan, en vid sydvästra banändan och en söder om landningsbanan. Dessa analyser visade på lägre koncentrationer. I punkten söder om landningsbanan (DV4) var halten av PFOS+PFOA låg (1 ng/l). Halterna av PFOS+PFOA i punkterna norr om landningsbanan (DV 2-3, DV5-6) varierade mellan 68 – 585 ng/l, med högst halter vid den nyare brandövningsplatsen. Vid den sydvästra banändan (DV1) uppgick halterna av PFOS+PFOA till 245 ng/l.

3.8. Perfluorerade ämnen i jord och sediment

Perfluorerade ämnen i jord undersöktes vid båda brandövningsplatserna, vid Byggnad 148 och vid gamla brandstation. Vid pumphuset analyserades dessutom två sedimentprover ur dagvattendikena på var sida om pumphuset (se figur 8) och i Kärnebäcken togs också ett sedimentprov (se figur 11). Totalt uttogs 35 jordprover, från nivåerna 0 - 0,5 m, 0,5 - 1 m och 1 - 2 m under markytan, ur samtliga 11 borrade hål, förutom vid gamla brandstation där jordprover endast togs ur ett av hålen. En del av dessa prover skickades in direkt alternativt sammanblandades till samlingsprov. Resultat från analyserna av jordprov och sediment redovisas i tabell 9 respektive tabell 10 nedan.

Tabell 9. Sammanställning över de halter av PFAS som rapporterats efter kemisk analys av jord som provtagits vid Karlsborgs flygplats. Enhet: µg/kg TS.

Ämne	Brandstation 1 0-0,5m	Brandstation 1 0,5-1m	GV1+GV3 0-0,5m	GV2 0- 0,5m	GV2 0,5- 1m	GV4 2,1- 2,6m	GV5 0- 0,5m	GV9 0- 0,5m	GV9 0,5- 1m
PFPeA	<10	<10	<10	<10	<10	24	<10	<10	<10
PFHxA	<10	<10	<10	<10	<10	42	<10	<10	<10
PFHpA	<10	<10	<10	<10	<10	12	<10	<10	<10
PFOA	<10	<10	<10	<10	<10	40	16	<10	<10
PFHxS	<10	12	<10	<10	<10	<10	11	<10	<10
PFOS	62	10	12	<10	<10	<10	<10	<10	<10

Proverna analyserades även med avseende på här utelämnade PFBA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDODA, PFBS, PFDS, PFOSA samt 6:2 FTS. I samtliga prover understeg dessa analyter rapporteringsgränsen om 10 µg/kg TS.

Tabell 10. Sammanställning över de halter av PFAS som rapporterats efter kemisk analys av sediment som provtagits vid Karlsborgs flygplats. µg/kg TS.

Ämne	SED 1	SED 2	Kärnebäcken
PFOS	21	<10	<10

Proverna analyserades även med avseende på här utelämnade PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFHxS, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDODA, PFBS, PFDS, PFOSA samt 6:2 FTS. I samtliga prover understeg dessa analyter rapporteringsgränsen om 10 µg/kg TS.

Sammantaget visade samtliga av NIRAS analyserade jord- och sedimentprover på relativt låga halter av PFAS. Samtliga prover understeg de Amerikanska, Norska och Kanadensiska rikt- och gränsvärdena för *Bebyggda områden*, *Skydd av marklevande organismer* samt *Skydd för mark- och anläggningsarbetare* (se tabell 2).

Resultaten från de olika undersökta områdena med avseende på jord och sediment sammanfattas nedan:

3.8.1. NYA BRANDÖVNINGSPLATSEN

Inga PFAS kunde detekteras i jordprov från GV2 (nivå: 0-0,5 m samt 0,5-1 m). I samlingsprov från GV1 och GV3 (nivå: 0-0,5 m) detekterades PFOS i låga halter (12 µg/kg TS), understigande det Norska riktvärdet (100 µg/kg TS). Sweco har under 2013 analyserat prov med höga halter av PFAS i jord från brandövningsplatsen (Sweco, 2013-14). Detta diskuteras emellertid inte närmare i denna rapport.

3.8.2. GAMLA BRANDÖVNINGSPLATSEN

Jordprov tagna centralt på brandövningsplatsen (GV4) samt nordväst om brandövningsplatsen (GV5) analyserades avseende PFAS. I jordprov från GV5 (nivå: 0-0,5 m) detekterades låga halter av PFOA och PFHxS, 16 respektive 11 µg/kg TS. Centralt på brandövningsplatsen visade jordlagerföljden vid borrhning att platsen fyllts upp med cirka 2 m massor. Jordprov togs därför på 2,1-2,6 m djup för att provet skulle representera den naturliga översta halvmeteren vid tiden då brandövningsplatsen var i bruk. Provet visade på relativt låga halter PFAS. Summan av de fyra PFAS som kunde detekteras i provet (PFPeA, PFHxA, PFHpA och PFOA) uppgick till 118 µg/kg TS.

3.8.3. BYGGNAD 148

Inga PFAS detekterades i jordprov som analyserades från röret söder om byggnaden (GV9), (0-0,5 m samt 0,5-1 m).

3.8.4. PUMPHUSET

Analyserna av sediment från dagvattendikena visade att sediment i diket som emottar vatten från sydväst (SED 1) hade halter av PFOS (21 µg/kg TS) som understeg det norska gränsvärdet för Skydd av marklevande organismer (100 µg/kg TS), medan inga PFAS kunde detekteras i sediment från diket som emottar vatten från nordost (SED 2).

3.8.5. GAMLA BRANDSTATION

Låga halter av PFOS och PFHxS kunde detekteras i jordlagret i den översta metern vid den gamla brandstationen. Halten av PFOS var något högre i 0 – 0,5 m jämfört med 0,5 – 1 m (62 respektive 10 µg/kg TS) medan PFHxS endast kunde detekteras i 0,5 – 1 m (12 µg/kg TS).

3.8.6. KÄRNEBÄCKEN

Inga PFAS detekterades i det sedimentprov som analyserades.

4. FÖRENKLAD RISKBEDÖMNING

4.1. Föroreningarnas farlighet

PFAS är samlingsnamn för en grupp organiska antropogena poly- och perfluorerade (högfluorerade) ämnen som i allmänhet är svårnedbrytbara och persistenta i miljön. Vissa PFAS, så som PFOS, är starkt bioackumulerande och metaboliseras mycket långsamt eller inte alls av däggdjur (Giesy och Kannan, 2002). PFOS och PFOA har i människan visats kunna påverka kolesterolmetabolismen (Fletcher m.fl. 2013) och kumulativa effekter från exponering av flera olika PFAS kan bland annat påverka leverfunktionen, reproduktionsförmågan och immunsystemet (Borg m.fl. 2013).

4.2. Föroreningsspridning - Fluortensiders mobilitet i mark och vatten

De PFAS som använts i brandskum är ytaktiva föreningar (surfaktanter), så kallade fluortensider. PFOS till exempel består av en hydrofil sulfonatgrupp med en vattenavvisande men också oljeavstötande fluormättad kolkedja. Fluortensiderna attraheras elektrostatiskt till positivt laddade partiklar (Johnson m.fl. 2007) och adsorberar till organiskt material i varierande grad. Retentionen av PFAS i organiska jordar beror på kolkedjelängden på ett sådant sätt att längre PFAS sorberar starkare än kortare PFAS (Gellrich m.fl. 2012). Generellt är fluortensidernas löslighet i vatten också beroende på kolkedjans längd sådant att föreningar med längre kolkedja har lägre löslighet. Därtill kan tensiderna genom interaktion med partikelytor aggregeras så att väsentligt högre koncentrationer uppnås vid partikelytor än i lösning (Schwarzenbach m.fl. 2003). PFOS, PFOA och PFHxS har tidigare uppvisat likartade miljöegenskaper i miljötekniska undersökningar (FOI, 2013) men förståelsen för PFAS beteende i miljön är att betrakta som mycket begränsad (Kannan, 2011).

4.3. Föroreningssituationen - Konceptuell modell

4.3.1. GRUNDVATTENSTRÖMNING OCH MOBILITET AV PFAS

Utifrån de uppmätta grundvattennivåerna vid tiden för de båda undersökningarna, indikeras en grundvattenströmning i samtliga undersökta områden mot Bottensjön i nordväst. Undantaget är den gamla brandstationen där grundvattenströmningen eventuellt kan ske österut mot Vättern. Grunden för bedömningen att grundvattenströmningen sker mot Bottensjön är att tryckytan för grundvatten generellt är lägre i rören närmare Bottensjön än i rören runt den mellersta och sydvästra delen av flygplatsen, se figur 12. Även Sweco bedömer i sin undersökning av den nyare brandövningsplatsen att grundvattnet sannolikt strömmar mot Bottensjön i nordväst (Sweco 2013-14). Även vid Byggnad 148 bedömdes grundvattenströmningen ske mot Bottensjön i väst-nordväst eftersom uppmätta grundvattennivåerna i röret placerat mot Bottensjön (GV10) hade cirka 2 m lägre tryckyta än röret placerat längre bort från Bottensjön (GV11), se figur 12. Sammanfattningsvis gör NIRAS bedömningen att eventuell spridning av föroreningar från de undersökta områdena i förekommande fall sannolikt sker i nordlig/västlig riktning mot Bottensjön.



Figur 12. Tryckyta för grundvatten (meter över havet) uppmätt i grundvattenrör 23-26 juni 2014 (grå prickar) samt 11 november 2014 (vita prickar).

Det är oklart vilken mobilitet i grundvattnet och retention i jorden de olika PFAS har inom området. I områdena för de bägge brandövningsplatserna, som till stor del består av silt med inslag av lera, är sannolikt retentionen högre än i områdena runt Byggnad 148 och gamla brandstationen, som till stor del består av postglacial sand. Jordlagerföljderna i hålen borrade för rören i transekt ett närmast flygplatsområdet bestod till största del av lera och silt vilket sannolikt medför en något lägre mobilitet för PFAS genom detta område. I transekt två bestod jordlagerföljden till största delen av sand, förutom vid röret närmast Bottensjön (Transekt 2:2). PFOS, PFOA och PFHxS har tidigare uppvisat likartade miljöegenskaper i miljötekniska undersökningar (FOI, 2013).

4.3.2. DEN NYARE BRANDÖVNINGSPLATSEN

På den nyare brandövningsplatsen har det tidigare uppmätts höga halter av PFAS i grundvattnet (Sweco 2013-14). Provpunkterna placerade syd, väst och öst (GV1-3) om brandövningsplatsen var emellertid inte alls eller endast i liten utsträckning påverkade av de analyserade föroreningarna från brandövningsplatsen. Anledningen till detta kan vara att en eventuell transport av PFAS från brandövningsplatsen sker bort från dessa punkter i den bedömda grundvattensspridningen mot nordväst. Provet från punkten Gvpumphus, som var placerad cirka 250 m norrut i bedömd strömningsriktning för grundvatten från den nya brandövningsplatsen, innehöll även de låga halter av PFAS. De låga halterna av PFAS i Gvpumphus indikerar antingen att transport av PFAS från

brandövningsplatsen endast sker i liten omfattning via grundvatten, eller att en eventuell spridning i stor utsträckning späds ut innan det når platsen för GVPumphus. Alternativt befinner sig punkten GVPumphus utanför spridningsplymen från brandövningsplatsen. En annan förklaring till PFAS i provet vid pumphuset kan vara relaterat till dagvatten. Sweco analyserade koncentrationen av PFOS+PFOA i dagvatten vid pumphuset både i mars och augusti 2014 (4610 ng/l respektive 225 ng/l). Dessutom fann Sweco PFAS både i grund- och dagvatten vid flygplatsens sydvästra del (provpunkt 1422 samt DV5) vilket indikerar ytterligare en källa för perfluorerade ämnen i flottiljområdet. Sannolikt är det vatten som leds i dagvattendiken mot pumphuset källan till det PFOS som kunde detekteras i sedimentprovet från dagvattendiket sydväst om pumphuset (se tabell 6).

4.3.3. DEN ÄLDRE BRANDÖVNINGSPLATSEN

På den äldre brandövningsplatsen uppmättes relativt höga halter PFAS i grundvattenproverna. Både centralt på brandövningsplatsen och i grundvattnets strömningsriktning uppmättes halter överstigande Livsmedelsverkets hälsobaserade riktvärde för Σ PFAS₇ för dricksvatten. Att PFAS detekterades i strömningsriktningen indikerar att en viss transport av PFAS sker från den äldre brandövningsplatsen i riktning mot Bottensjön.

4.3.4. BYGGNAD 148

Vid Byggnad 148 kunde inget PFAS detekteras i grundvattnets strömningsriktning (GV10) och endast låga halter framför byggnaden (GV9). Högre koncentrationer av PFAS återfanns i provet uppströms (GV11) än i provet nedströms (framför) Byggnad 148. Koncentrationen i detta rör översteg Livsmedelsverkets föreslagna åtgärdsbaserade riktvärde för dricksvatten. En tänkbar förklaring till detta resultat är att brandskummet från Byggnad 148 inte "skyfflats" rakt ut som det bedömdes vid installation av röret framför Byggnad 148. Istället kan skummet ha skyfflats ut till sidan utanför öppningen, på gräsytan mot öster, och att detta kan ha bidragit till de förhöjda halterna i öster. Ytterligare en förklaring till de förhöjda halterna i det östra röret kan vara att det finns ytterligare en källa för PFAS öster om Byggnad 148. En tänkbar sådan källa skulle kunna vara den gamla brandstationen. Avståndet mellan röret öster om Byggnad 148 och den gamla brandstationen är endast ca 350 m och de två områdena står på sammanhängande sand- och grusavlagringar med hög hydraulisk konduktivitet.

4.3.5. GAMLA BRANDSTATIONEN

I båda rören vid den gamla brandstationen uppmättes förhöjda halter av PFAS, men Livsmedelsverkets föreslagna hälsobaserade riktvärde för Σ PFAS₇ överskreds inte i något av proverna. Grundvattnets strömningsriktning är osäker då endast två grundvattenrör installerades i området.

Sammansättningen på olika PFAS mellan rören skiljer sig också åt vilket gör bedömningar om grundvattnets strömning i området osäker.

4.3.6. YTVATTEN

4.3.6.1. Ytvatten

Sweco uppmätte under vintern och sommaren 2014 förhöjda halter av PFAS i ytvattenprover från flygplatsområdet. Proverna analyserades endast med avseende på PFOS och PFOA. Ett dagvattenprov från området nära den nyare brandövningsplatsen (Swecos prov 1414), analyserades emellertid med avseende på samma 15 PFAS som analyserats i NIRAS prov taget ur Kärnebäcken. Sammansättningen på Swecos prov visade att PFOS dominerade följt av PFHxS, PFHpA, PFHxA PFBS och PFOA. Sammansättningen på detta prov överensstämmer relativt väl med sammansättningen på NIRAS prov taget ur Kärnebäcken under hösten 2014 som presenteras i denna rapport (se tabell 8). Överensstämmelsen av förhållandet mellan olika PFAS mellan proverna tagna på dagvatten nära brandövningsplatsen och nedströms, i Kärnebäcken, indikerar att källan till PFAS detekterade i Kärnebäcken har sitt ursprung i flygplatsområdet.

4.3.6.2. Bottensjön

I provet från Bottensjön detekterades låga halter av PFOS, PFHxS samt PFOA (3,6, 3,6 respektive 1,1 ng/l). Bakgrundshalter för PFAS i ytvatten har av IVL tidigare uppmätts i tre referenssjöar i en screening av PFAS i olika matriser i miljön, bland annat ytvatten (Woldegiorgis m.fl., 2006). Resultaten av analyserna från de tre sjöarna Lilla Öresjön, Västergötland, Stora Envättern, Södermanland och Tärnan, Uppland, samt halterna i Bottensjön redovisas i tabell 11 nedan:

Tabell 11. Sammanställning över de halter av PFAS som rapporterats efter kemisk analys av ytvatten från tre referenssjöar (modifierad från Woldegiorgis m.fl., 2006) i jämförelse med resultaten från Bottensjön.

Ämne	Lilla Öresjön (ng/l)	Stora Envättern (ng/l)	Tärnan (ng/l)	Bottensjön (ng/l)
PFHpA	2,1	<1	<0,8	<10
PFOA	14	2,2	<2	1,1
PFNA	<2	2,2	<0,8	<10
PFBS	0,1	<0,1	<0,05	<10
PFHxS	0,2	0,15	0,13	3,6
PFOS	1,7	3,1	1,1	3,6
6:2 FTS	1,2	2	1,3	<10

Proverna analyserades även med avseende på här utelämnade PFBA, PFHxA, PFDA, PFUnDA, PFDS samt PFOSA. I samtliga prover understeg dessa analyter rapporteringsgränsen.

Jämförelsen visar att halterna av exempelvis PFOA och 6:2 FTS är något högre i referenssjöarna medan halten av PFHxS är något högre i Bottensjön. Sammantaget bedöms dock halterna av PFAS i Bottensjön vara i samma storleksordning som i referenssjöarna. Sannolikt tillför Kärnebäcken en del av de uppmätta halterna av PFAS i Bottensjön, men bidragets storlek i förhållande till diffusa tillflöden av PFAS från exempelvis nedfall via regn är inte i detalj utredda i denna rapport.

4.4. Skyddsobjekt och exponering

Följande riskobjekt har identifierats:

- Grundvatten förorenat av PFAS, bl.a. PFOS och PFOA.
- Jord förorenad av PFAS, bl.a. PFOS och PFOA.

Följande skyddsobjekt har identifierats inom berört område:

- Människor som tillfälligt vistas på området
- Marklevande organismer inom området
- Betande djur
- Grundvatten
- Ytvatten (Bottensjön ingår i den vattenskyddszon som skyddar Vättern)

Undersökningsobjekten ligger inom det inhägnade området tillhörande Karlsborgs flygplats. Den gamla brandövningsplatsen ligger emellertid strax utanför stängslen. Brandsläckningsskum används inte längre på något av objekten. Skyddsvärdet för markmiljön betraktas som låg. Markanvändningen betecknas som Mindre Känslig Markanvändning (MKM). Människor som tillfälligt vistas i området kan exponeras genom intag av förorenad jord och damning. Med beaktande av att halten PFAS var låg i ytliga jordlager vid den gamla brandövningsplatsen, Byggnad 148 samt vid gamla brandstation bedöms risken för exponering av PFAS-förorenad jord som liten. Halterna av PFOS i ytliga jordlager på den nyare brandövningsplatsen (0 - 0,5 m och 0,5 – 1 m) var emellertid något högre, och översteg i några fall både det kanadensiska riktvärdet för "Skydd för mark- och anläggningsarbetare" (4000 µg/kg TS) och det amerikanska värdet för "Bebyggda områden" (6000 µg/kg TS) (Swecos provpunkt benämnd 1301). Eftersom att övriga jordprover tagna vid den gamla brandövningsplatsen och vid Byggnad 148, samt Swecos jordprover tagna över flygplatsområdet under sommaren 2014, visat på låga halter, bedöms den nyare brandövningsplatsen vara den enda undersökta platsen inom flygplatsområdet som har betydande halter av PFAS i jorden. En viss negativ påverkan på marklevande organismer förekommer sannolikt på den nyare brandövningsplatsen.

På den nyare brandövningsplatsen detekterades höga halter av PFAS i grundvattnet i Swecos grundvattenprover. Både Livsmedelsverkets förslagna åtgärdsgräns och hälsobaserade riktvärde för ΣPFAS₇ överskreds flera 100 gånger i dessa prover. I perifera rör var halterna emellertid låga, vilket indikerar att de höga halterna framför allt förekommer på en koncentrerad yta. Även på den äldre

brandövningsplatsen överskreds Livsmedelsverkets båda förslagna riktvärden, här överskreds den övre gränsen med några hundra ng/l. Sammanfattningsvis bedöms att det föreligger en hälsorisk förknippat med intag av vatten inom områdena för de båda brandövningsplatserna. I området öster om Byggnad 148 samt vid den gamla brandstationen överskreds Livsmedelsverkets föreslagna åtgärdsgräns för dricksvatten, men inte det hälsobaserade riktvärdet. Riskerna med intag av vatten i närheten av Byggnad 148 och den gamla brandstationen är således låga.

Eftersom ingen långväga spridning via grundvatten från flygplatsområdet kunde detekteras i den aktuella undersökningen, bedöms det inte föreligga några överhängande risker med kontaminering av brunnar för dricksvatten eller djurhållning i närområdet. Ytvatten i Kärnebäcken överskred Livsmedelsverkets föreslagna åtgärdsgräns för dricksvatten, men inte det hälsobaserade riktvärdet, varför riskerna med intag av vatten från bäcken bedöms som låga. Ingen djurhållning bedrivs heller i anslutning till Kärnebäcken.

5. SLUTSATSER

NIRAS konstaterar att det uppmäts relativt höga halter av PFAS i grundvatten kring den nyare brandövningsplatsen. PFAS har även detekterats i grundvatten vid den gamla brandövningsplatsen, Byggnad 148, den gamla brandstationen och vid den sydvästra banändan. Den generella bedömningen är att strömningen för grundvatten vid de undersökta områdena sker mot Bottensjön. Från den gamla brandstationen kan grundvattnet eventuellt strömma mot Vättern i öster. I strömningsriktningen för grundvattnet, mellan flygplatsen och Bottensjön, kunde emellertid inga PFAS detekteras i något av proverna. Detta kan vara en effekt av utspädning i grundvattenmagasinet i kombination med en viss retardation av föroreningarna i förekommande silt och lerlager. I det undersökta området mellan flygplatsen och Bottensjön bedömer därför NIRAS att det i nuläget inte sker någon betydande transport av PFAS via grundvatten från flygplatsområdet mot Bottensjön.

Dagvatten, både från den nyare och äldre brandövningsplatsen, samt från flygplatsområdet där Sweco funnit PFAS på flera olika platser, samlas emellertid via dagvattenssystemet och leds via Kärnebäcken ut mot Bottensjön. Ytvatten i Kärnebäcken har vid två separata provtagningstillfällen visat sig innehålla PFAS, vilka sannolikt har sitt ursprung i flygplatsområdet.

Då det i huvudsak är grundvattnets innehåll av PFAS som kan utgöra en risk, är föroreningar av PFAS i jord av underordnad betydelse ur hälsorisksynpunkt (FOI, 2013). Halter av PFOS överskridande de haltgränser som i Norge och Kanada fastställts för skydd av marklevande organismer uppmäts i marken kring den nya brandövningsplatsen. Även de kanadensiska haltgränserna för skydd för mark- och anläggningsarbetare och de amerikanska haltgränserna för bebyggda områden överskreds i marken kring den nya brandövningsplatsen. Trots de överskridna haltgränserna bedöms emellertid

inte någon risk för humantoxikologiska effekter med dagens markanvändning föreligga, vid vistelse inom eller i anslutning till brandövningsplatsen.

6. REKOMMENDATIONER

NIRAS rekommendation är att omfattningen av eventuell spridning av PFAS från området framför allt kring den nyare brandövningsplatsen, mot Bottensjön, bör hållas under uppsikt exempelvis genom att några grundvattenrör i området läggs till befintligt kontrollprogram. Detta med hänsyn till den vattenskyddszon för vattentäkt som Bottensjön ingår i. Sannolikt finns i nuläget den största delen av föroreningarna från brandövningsplatserna i ett område bestående av lera och silt som förmodligen bidrar till en låg mobilitet av PFAS. Om föroreningarna i något skede börjar röra sig ut i omgivande sand- och grusavlagringar med hög hydraulisk konduktivitet är det emellertid möjligt att föroreningsspridningen kan öka.

Vidare rekommenderar NIRAS att föroreningsspridningen från flygplatsområdet, via Kärnebäcken, mot Bottensjön bör hållas under uppsikt, till exempel genom regelbunden provtagning. Eventuellt kan åtgärder genomföras för att minska tillflödet av vatten från Kärnebäcken till Bottensjön, men eftersom halterna av PFAS i Bottensjön inte överskred halterna i svenska referenssjöar är det oklart om bidraget från Kärnebäcken har någon betydande inverkan på den totala koncentrationen av PFAS i Bottensjön. Tillflödet av PFAS via Kärnebäcken bör därför bestämmas genom en beräkning av massbalansen. Som underlag bör ytterligare provtagning i Kärnebäcken utföras vid några olika tillfällen under året i kombination med flödesmätning. Ytterligare provtagning av ytvatten i Bottensjön, till exempel vid olika årstider för att få en uppfattning om koncentrationen i sjön påverkas av exempelvis snösmältning, sommartorka o.s.v. är att rekommendera. Provtagning vid endast ett tillfälle ger stor osäkerhet vid tolkning av analysresultaten. Möjligen kan analyser av PFAS i fisk från Bottensjön ytterligare belysa en eventuell långsiktig påverkan av PFAS, som inte nödvändigtvis syns vid enskilda stickprovsanalyser.

Eventuellt skulle åtgärder kunna genomföras för att minska infiltration av vatten i den nyare brandövningsplatsen, till exempel genom övertäckning. Detta skulle kunna reducera urlakning av PFAS från brandövningsplatsen med en minskad föroreningsspridning som följd. Innan en sådan övertäckning genomförs bör utbredningen av PFAS vid brandövningsplatsen avgränsas i detalj. Denna avgränsning bör genomföras både genom jordprovtagning i vertikal- samt horisontalled för att avgränsa källområdet, samt installation av ytterligare grundvattenrör i närområdet från brandövningsplatsen, i grundvattnets strömningsriktning, för att påvisa en eventuell spridningsplym. Grundvatten i detta närområde bör provtas från åtminstone två olika djup för att säkerställa att en eventuell föroreningssplym inte missas vid provtagning. För utformningen av kompletterande underökningar och en eventuell åtgärd är det viktigt att få en så bra bild som möjligt över de geologiska och hydrologiska förhållandena. Data från tidigare kända undersökningar (t.ex. NIRAS,

SWECO) bör kompletteras med en litteratursökning gällande geologi/hydrologi för området. Därefter utarbetas en konceptuell modell.

Nyligen har det också framkommit att brandsläckningsskum sannolikt har sprutats vid banändarna på Karlsborgs flygplats. Vid den sydvästra banändan har Sweco redan installerat två grundvattenrör varför ytterligare installation där bedöms överflödigt, men vid den nordöstra banändan bör åtminstone ett rör installeras för att undersöka förekomsten av eventuell PFAS-förorening där.

Ovanstående utredningsinsatser bör genomföras för att möjliggöra en säkrare riskbedömning och bedömning av åtgärdsbehovet.

NIRAS Sweden AB

Upprättad av:



Claes Bergqvist

Fil. Dr. Biologi



Granskad av:

Jonny Bard

Ekotoxikolog (MSc)

7. REFERENSER

2013/39/EU. EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2013/39/EU om ändring av direktiven 2000/60/EG och 2008/105/EG vad gäller prioriterade ämnen på vattenpolitikens område.

Borg D., Lund B.-O., Lindquist N.-G., Håkansson H. (2013) Cumulative health risk assessment of 17 perfluoroalkylated and polyfluoroalkylated substances (PFASs) in the Swedish population. *Environment International*, 59:112–123

DWI (2009). Guidance on the water supply (water quality) regulations 2000 specific to PFOS (perfluorooctane Sulphonate) and PFOA (perfluorooctanoic acid) concentrations in drinking water. Drinking water inspectorate

EPA (2012) Emerging Contaminants – Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) and Perfluorooctanoic Acid (PFOA), United States Environmental Protection Agency, May 2012.

Fletcher, T., Galloway T.S., Melzer D., Holcroft P., Cipelli R., Pilling L.C., Mondal D., Luster M, Harries L.W. (2013) Associations between PFOA, PFOS and changes in the expression of genes involved in cholesterol metabolism in humans. *Environment International*, 57–58:2–10

FOI (2013) Perfluorerade ämnen i jord, grundvatten och ytvatten. Riskbild och åtgärdsstrategier. FOI-R-3705-SE

Gellrich, V., Stahl T., Kneppeler T.P. (2012) Behaviour of perfluorinated compounds in soils during leaching experiments. *Chemosphere*, 87:1052-1056

Giesy, J.P., Kannan K. (2002) Perfluorochemical Surfactants in the Environment. *American Chemical Society, Environmental Science & Technology*, 147-152

Johansson, S. (2004). Farliga lämningar Västgöta flygflottilj F6 Karlsborg.

Johnson, R.L., Anschutz A.J., Smolen J.M., Simcik M.F., Penn R.L. (2007) The Adsorption of Perfluorooctane Sulfonate onto Sand, Clay, and Iron Oxide Surfaces. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 52(4):1165-1170

Kannan, K. (2011) Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances: current and future perspectives. *Environmental Chemistry*, 8:333-338

KEMI (2013) Brandskum som möjlig förorenare av dricksvattentäkter. Livsmedelsverket och Kemikalieinspektionen, PM 5/13

Livsmedelsverket. <http://www.slv.se/sv/grupp1/Dricksvatten/Dricksvattenkvalitet/Perfluorerade-alkylsyror/Riskhanteringsatgard-PFAA/>

Naturvårdsverket, 2008. Förslag till gränsvärden för särskilda förorenande ämnen. Rapport 5799.

Schwarzenbach R.P., Gschwend P.M., Imboden D.M. (2003) Environmental organic chemistry. Second edition. S. 438-440. Wiley-Interscience, ISBN 0-471-35750-2

SGF (2013). Fälthandbok – Undersökningar av förorenade områden. Rapport 2:2013. Stockholm. ISSN: 1103-7237.

SLR Consulting Ltd, (2009). Remediation of perfluorinated alkyl chemicals at a former fire-fighting training area. Lindsay Paterson, Tara Siemens Kennedy & Douglas Sweeney, 2009.

Statens Forurensningstilsyn (2008) Screening of polyfluorinated organic compounds at four fire training facilities in Norway. Statens Forurensningstilsyn. TA- 2444/2008.

Sweco (2013-14). Svensson, C., Paulsson, A. Karlsborg brandövningsplats. Resultatrapport och förenklad riskbedömning.

UBA (2009) Umweltbundesamt, UBA Pressmeddelande 046/2009.

Woldegiorgis, A., Andersson, J., Remberger, M., Kaj, L., Ekheden, Y., Blom, L., Schlabach, M. (2006). Results from the Swedish National Screening Programme 2005: Subreport 3: Perfluorinated Alkylated Substances (PFAS). Stockholm:IVL.