

Handläggare
Mats Dahlén
018-7274383

Datum
11 september 2019

Diarienummer
2019-006410-MI

Till miljö- och hälsoskyddsnämndens
sammanträde den 25 september 2019

Yttrande över rapport från Försvarmakten gällande provtagning i kontrollprogram avseende PFAS

Remiss från Förvarsinspektören för hälsa och miljö, dnr. FIHM 2019-538-2
Rapport provtagningsomgång 1-8 år 2017-2018, kontrollprogram för grundvattenkvalitet
avseende PFAS vid luftstridsskolan
Remisstid: 26 september 2019

Förslag till beslut:

Miljö- och hälsoskyddsnämnden föreslås besluta

att överlämna yttrande daterat den 25 september till Förvarsinspektören för hälsa och miljö.

att förklara ärendet omedelbart justerat.

Sammanfattning

Försvarmakten har genom ett kontrollprogram ålagts av Förvarsinspektören för miljö och hälsa att undersöka halter och spridning av högfluorerade ämnen (PFAS) från flygflottiljen på Ärna. Uppsala kommun har fått möjlighet att yttra sig över Försvarmaktens rapport. Kommunstyrelsen har delegerat uppgiften att svara till miljö- och hälsoskyddsnämnden.

Nämnden anser att kontrollprogrammet ska fokusera på att klargöra mängden PFAS som finns inom flygplatsområdet och hur mycket som sprids vidare därifrån. Kontrollprogrammet behöver därför kompletteras med ytterligare provtagning och analyser. Nämnden anser vidare att det är mycket viktigt att föreningen kring den före detta brandövningsplatsen så snart som möjligt avgränsas och åtgärdas. Nämnden bedömer att fortsatta kontroller och utredningar bör fokusera på kända och tillkommande föroreningskällor inom Ärnaområdet. Särskilt viktigt är att utreda orsaken till att halterna är så höga vid Bärbyleden - området mellan flygplatsen och Bärbyleden behöver undersökas.

Ärendet

Försvarsinspektören för hälsa och miljö (FIMH) har förelagt Försvarmakten att genom ett kontrollprogram utreda föroreningshalter och spridning av perfluorerade och polyfluorerade ämnen (även kallade högfluorerade ämnen och förkortat PFAS) från Uppsala luftstridsskola på Årna. Försvarmakten har låtit Helldén Environmental Engineering AB utföra och upprätta en rapport över kontrollen avseende PFAS i grundvatten under år 2017 och 2018.

Försvarsinspektören för hälsa och miljö har begärt yttrande över rapporten från Uppsala kommun. Kommunstyrelsen har delegerat uppgiften att svara till miljö- och hälsoskyddsnämnden. Uppsala Vatten och Avfall AB är inte remissinstans och kommer inte svara på remissen, men bolaget har delgett nämnden sina synpunkter på rapporten i en tjänsteskrivelse. Förvaltningen har sedan tidigare kontakt med en forskare på SLU som arbetar med PFAS-frågor. Förvaltningen har även tagit emot forskarens synpunkter på rapporten.

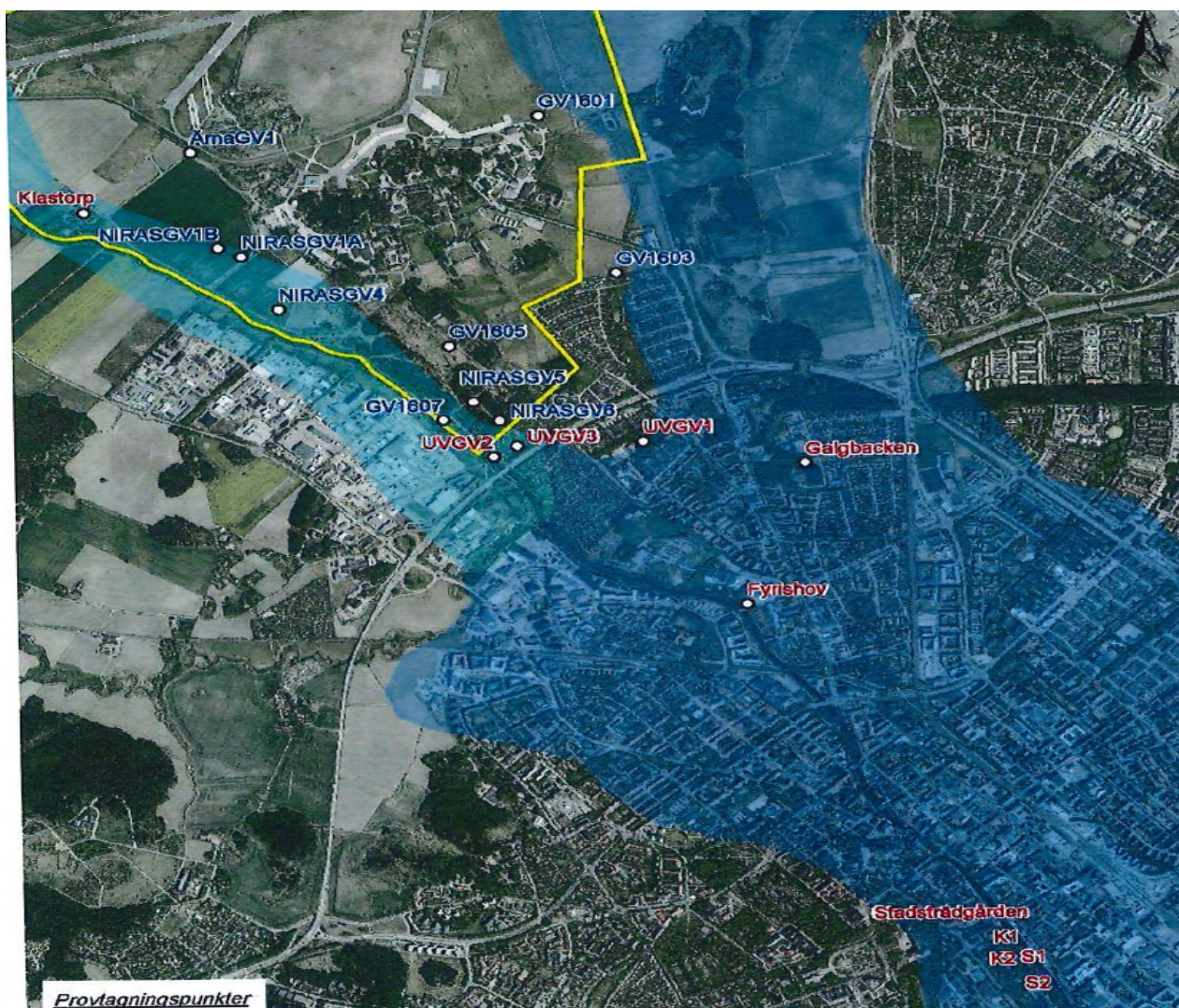
Bakgrund

Försvarmakten har genomfört ett tvåårigt uppföljningsprogram avseende föroreningssituationen av PFAS i grundvatten inom och nedströms Uppsala flygplats. Rapporten redovisar resultaten från programmet.

Provtagningen av grundvatten har skett i 22 punkter under åren 2017-2018. Bilden nedan visar Uppsalaåsens grundvattenmagasin (akvifer), markerad med mörkblå färg och Jumkilsåsens akvifer (ljusblå) samt provtagningspunkterna som rapporten tar upp. Blåmarkerade punkter är Försvarmaktens provtagningspunkter och rödmarkerade tillhör Uppsala Vatten och Avfall AB.

Syftet med uppföljningsprogrammet var enligt rapporten att

- följa haltutvecklingen över tid och eventuella säsongsbetingade haltvariationer.
- undersöka hydrogeologiska och hydrokemiska förhållandena inom och kring flygplatsen för att kunna utvärdera tidigare bedömningar av spridnings- och utspädningsförhållanden avseende PFAS nedströms flygplatsen.
- utvärdera om byggnad 900 haft en direkt påverkan på spridningen av PFAS till Jumkilsåsen och Uppsalaåsen.
- utreda om reningen av vatten från byggnad 900 har påverkat den samlade förorenings- och spridningsbilden inom och kring flygplatsen.



Figur 1: Karta som visar provtagningspunkter som rapporten tar upp. Blåmarkerade punkter är Försvarmaktens, rödmarkerade är Uppsala Vatten och Avfall AB:s provtagningspunkter (karta från rapporten).

Anna Nilsson
Miljödirektör

Bilagor

Bilaga 1: Yttrande över rapport från Försvarmakten gällande provtagning i kontrollprogram avseende PFAS

Bilaga 2: Sammanfattning från Försvarmakten, rapport daterad 11 juni 2019

Bilaga 3: Rapport, provtagningsomgång 1-8, år 2017-2018

Försvarsinspektören för hälsa och miljö
Dnr. FIHM 2019-538
exp-fihm@mil.se

Yttrande över rapport från Försvarmakten gällande provtagning i kontrollprogram avseende PFAS

Remiss från Försvarsinspektören för hälsa och miljö, dnr. FIHM2019-538-2
Rapport provtagningsomgång 1-8 år 2017-2018, kontrollprogram för grundvattenkvalitet
avseende PFAS vid luftstridsskolan
Remisstid: 26 september 2019

Miljö- och hälsoskyddsnämnden välkomnar Försvarmaktens redovisning av övervakningsprogrammet för högfluorerade ämnen (PFAS) i grundvattnet inom sitt område på Uppsala flygplats. Nämnden är tacksam för möjligheten att lämna synpunkter på rapporten och vill föra fram följande:

Övergripande synpunkter

Den påvisade föroreningen av PFAS inom Ärna är en av Uppsalas största och mest miljö- och hälsofarliga föroreningar. Att PFAS har hittats i Uppsalas grundvattentäkt och att dricksvattnet under lång tid blivit förorenat är synnerligen allvarligt. Det är därför av största vikt att omfattningen och spridningen av föroreningen tydligt klarläggs och att effektiva åtgärder för att omhänderta föroreningarna och för att stoppa spridningen ut från Försvarmaktens område vidtas skyndsamt.

Det nu redovisade övervakningsprogrammet för grundvatten är en viktig del för att avgränsa och kvantifiera föroreningen av PFAS inom Försvarmaktens område på Uppsala flygplats/Ärna. Det är viktigt att försöka etablera hydrogeologiska och hydrokemiska samband mellan olika provtagningspunkter. Miljö och hälsoskyddsnämnden ser dock att det finns många osäkerheter och att övervakningsrapporten inte tydligt kan redovisa eller dra entydiga slutsatser om samband eller avsaknad av sådana samband.

Nämnden välkomnar att Försvarmakten nu avser att göra en sammanställning av allt tillgängligt underlagsmaterial och upprätta en konceptuell modell över föroreningen och dess spridning till Uppsala- och Jumbilsåsarna.

Nämnden anser att kontrollprogrammet ska fokusera på att klargöra mängden PFAS som finns inom flygplatsområdet och hur mycket som sprids vidare därifrån. Kontrollprogrammet behöver därför kompletteras med ytterligare provtagning och analyser. Nämnden anser vidare att det är mycket viktigt att de föroreningskällor som redan är kända nu avgränsas och åtgärdas, särskilt den före detta brandövningsplatsen. Enligt miljöbalken ska den som är ansvarig för att avhjälpa en allvarlig miljöskada utföra eller bekosta det avhjälpande som behövs för att

omedelbart förbygga ytterligare skada på miljön och risk för människors hälsa. Försvarsmakten skriver i sin sammanfattning av rapporten att man ”på sikt och när praktiskt genomförbara och ekonomiskt skäliga efterbehandlingsmetoder utvecklats”, avser att ”applicera dessa där behov föreligger”. Miljö- och hälsoskyddsnämnden är av uppfattningen att sanering behöver påbörjas omedelbart av de kända föroreningskällorna på Ärna. Detta då föroreningssituationen är tillräckligt känd, då det finns tillräcklig beprövade och tekniskt genomförbara saneringsmetoder och då miljöskadan och den potentiella hälsorisken är av sådan dignitet och omfattning att även en hög kostnad är motiverad.

Nämnden bedömer att fortsatt kontroll och utredningar även behöver ske av tillkommande föroreningskällor inom och i närheten av flygplatsområdet. Särskild vikt bör läggas vid de troliga källtermen som inte ännu har utretts, till exempel den möjliga vid Bärbyleden.

Det är inte möjligt att, så som Försvarsmakten gör, dra slutsatser om att den genomförda grundvattenprovtagningen och rapporten från övervakningsprogrammet visar att det inte finns ett samband mellan PFAS föroreningen på Ärna och föroreningen av dricksvattenbrunnarna i Stadsparken. Det är möjligt att det finns tillkommande källtermen närmare dricksvattenbrunnarna men detta är inte ett skäl att inte fullständigt utreda och åtgärda föroreningskällorna inne på Ärna.

Nämnden har efterfrågat synpunkter på rapporten från en forskare vid SLU som bland annat arbetar med forskning kring källor, transport och omsättning av nya långlivade organiska föroreningar i miljön, till exempel PFAS. Forskaren framhåller att det är tydligt att flygplatsområdet påverkar dricksvattnet vid Stadsträdgården. Fingeravtrycken är likartade och profilen för flera PFAS överensstämmer mellan Ärna och Stadsträdgården. Forskaren förslår att den mätdata som finns från provtagningen ska utvärderas vidare av ett oberoende forskningsinstitut. Nämnden delar dessa synpunkter.

I det följande redovisas nämndens synpunkter och resonemang i mer detalj. Nämndens yttrande baseras på de uppgifter, resonemang och slutsatser som redovisas i rapporten och förhållanden som nämnden tidigare tagit del av. Till viss del baseras även yttrandet på den kunskap och slutsatser som dragits från nämndens eget källspårningsarbete.

Syftet med uppföljningsprogrammet

Nämnden bedömer att syftet med uppföljningsprogrammet om att undersöka haltutvecklingen över tid har uppnåtts men att inga tydliga trender eller säsongsvariationer har hittats.

Fokus har legat på att undersöka de hydrogeologiska och hydrokemiska förhållandena och det är en del intressanta förhållanden som framkommer med de metoder som använts. Ett antal faktorer tillsammans med metodernas inneboende osäkerheter leder till att endast mycket osäkra samband och därmed osäkra slutsatser kan dras. Dock har de sammanlagda slutsatserna inneburit att en uppdelning säkrare kunnat göras av olika delområden med olika påverkan. Detta har bidragit till förståelsen för PFAS situationen. Ett försök till förenklad uppdelning har gjorts av miljöförvaltningen, se figur 1.

Vad gäller att utvärdera påverkan från byggnad 900 och utredningen om rening av vatten från byggnad 900 så anser nämnden att rapporten inte når upp till målsättningen och syftet med uppföljningsprogrammet.

Kontrollprogram

Nämndens bedömning är att kontrollprogrammet bör fokusera på mängden PFAS som finns inne på Ärna och hur mycket som sprids ut från området och som därmed kan tillföras Uppsalas dricksvatten. Därför är det viktigt med fortsatt kontroll och utredningar som studerar och utreder kända och tillkommande föroreningskällors (källtermers) haltstyrkor och mängder. Området kring den före detta brandövningsplatsen har sedan länge pekats ut som det mest förorenade delområdet. Nämndens uppfattning är att den före detta brandövningsplatsens förorening snarast måste avgränsas och åtgärdas. Sanering behöver påbörjas skyndsamt. Det är också mycket viktigt att Försvarsmakten snabbt utreder området mellan flygplatsen och Bärbyleden.

Ett kontrollprogram för flygplatsen bör inkludera:

- en modell av grundvattensituationen, strömningsriktningar och flöden.
- att utifrån en konceptuell modell utreda och kontrollera källtermer och vid behov komplettera provtagningsplatser och åtgärda källområden.
- att en massbalans för PFAS inom området upprättas. Tidigare utredning har uppskattat mängden som kan ha kommit ut och förorenat området. Även detta behöver ses över för att få en utgångspunkt för en ungefärlig massbalans.
- provtagningar i kända utgående ytvattenflöden till Fyrisån, då höga halter gått ut från området under lång tid.
- recipientprovtagning, gärna som medlem i Fyrisåns Vattenvårdsförbund.

Nämnden kommer att fortsätta att försöka spåra och kräva ytterligare undersökningar och åtgärder av tillkommande källtermer från andra källor än flygplatsområdet och för verksamheter där nämnden har tillsynsansvaret.

Utveckling av nämndens synpunkter angående de statistiska analyserna

Hög andel långa PFAS i Stadsträdgården

Den höga andelen långa PFAS i Stadsträdgården skulle kunna indikera en närliggande källterm enligt resonemanget i rapporten. Det saknas dock tillräckligt underlag för att dra en sådan slutsats. Det saknas till exempel ett resonemang kring de olika förhållanden som kan råda för en källterm från källan till att föroreningen påträffas i en uttagsbrunn. Stora flöden i mycket genomsläppligt material, som i åsen, kan till exempel innebära att fastläggning inte sker i så hög utsträckning som förväntat.

Utredning av ytterligare betydande källterm

Nämnden håller med om att det bör finnas ytterligare minst en betydande källterm som påverkar UVGV1-3. Den källtermen avtar upp längs Jumkilsåsen men det är inte utrett om den har sitt upphov någonstans kring Bärbyleden eller mellan Bärbyleden och in mot flygplatsen. Det finns i nämndens uppfattning inget i rapporten som indikerar att en sådan källterm finns utanför Försvarsmaktens område på Ärna. I enlighet med miljöbalkens omvända bevisbörda anser därför nämnden att Försvarsmakten behöver undersöka om den tillkommande källtermen kring Bärbyleden kommer från Försvarsmaktens område. Källan för PFAS-halter i UVGV1-3 kan till exempel ha sitt ursprung i läckage från ledningar eller genom marken från flygplatsområdet. Övervakningsrapporten har inte tydligt klarlagt hydrologin i området och det

är osäkert hur mycket som läcker ut från området kring UVGV1-3. Nämnden ser det som en stor potentiell källterm vars halt och till åsen läckande mängd så snart som möjligt bör utredas.

Utredning om den tillkommande källtermen bör ta hänsyn till sannolika läckagevägar och riktas in efter studier av potentiella möjliga läckage. Till exempel kan det under lång tid ha skett läckage längs ledningen av vatten från byggnad 900 eller längs någon av de andra VA-ledningarna som går från flygplatsen söderut. Även Bärbyledens grundläggning bör tas i beaktande. Veidekke bör ha kartmaterial kvar där material i botten och schaktväggar framgår i det aktuella området kring UVGV1-3.

Spridningen av föroreningar och kopplingen mellan UVGV1-Stadsträdgården

Det är intressant att klusteranalys visar att förhållandet mellan långa och korta PFAS-kedjor och även förekomst av PFDA sammanfaller för UVGV1, Fyrishov och en av Stadsträdgårdens brunnar (K1). Även ett kemiskt samband har hittats för dessa punkter. Rapporten tar inte upp vilka nivåer dessa brunnars uttagpunkter sitter på. Det kan ha betydelse för transporthastigheter och andra faktorer till förändringar av PFAS-sammansättningen. Man bör ha i åtanke att alla punkter som ligger inom Uppsalaåsen egentligen bör ha kemiska likheter trots inverkan från den förstärka infiltrationen av ytvatten. Sammansättningen kan påverkas på flera sätt på sin väg i åsen. Här spelar säkert också in var, i djupled, prov tas ut.

Rapporten påtalar PFDA som en indikation på en tillkommande källterm vid Stadsträdgården. Nämnden menar att den i så fall kanske kan tillkomma rätt långt uppströms i åsen. PFDA förekommer i två brunnar i Stadsträdgården men ser även ut att förekomma i UVGV1 och Fyrishov. Det ser ut så utifrån tabellen på sida 69 som visar skillnad i halt vid kontroll av prekursorer. Men det kan också ha smugit sig in något fel eller att rapporteringsgränsen varit olika för de olika proverna. Nämnden har inte studerat analysprotokollen närmare och har inte hittat de analyser som ligger till grund för tabellen på sid 69.

I rapporten finns indikationer på svag koppling mellan Väst Ärna och Stadsträdgården. Väst Ärna är en benämning som nämnden använder baserat på de samband som rapporten funnit (se figur 1). Punkterna inom Väst Ärna bedöms dessutom ha samma övergripande spridningsmönster och källområde. Dessa har därför ringats in i figur 1.

UVGV1-3 avviker från Väst Ärna och Syd Ärna. Det området har en sammansättning som indikerar källnära påverkan enligt rapporten. I rapportens sammanfattning är det oklart om det finns en koppling mellan dessa och Fyrishov. Även Fyrishov har indikation på en källnära påverkan. Det finns också indikationer på en koppling mellan UVGV1 och Fyrishov.

Rapporten menar att PFAS sammansättningen i Stadsträdgården indikerar en eller flera tillkommande mer lokala källtermer. Detta grundar sig enligt rapporten på kvoten mellan långa/korta och grenade PFAS och relativt hög koncentration och förekomst av PFDA (som inte påträffats på Ärna). Försvarsmakten menar därför att rapporten visar att det inte finns något tydligt samband mellan PFAS föroreningen på Ärna och vattentäkten i Stadsträdgården. Nämnden ser inte att det finns stöd i underlaget för att dra en sådan slutsats.



Figur 1: Förenklad översikt över provpunkter och några samband som rapporten talar om.

Byggnad 900

På sida 72 i rapporten beskrivs att det inte går att uttolla någon skillnad i föroreningsituationen till följd av behandlingen/reningen av dräneringsvattnet från byggnad 900. I rapporten dras slutsatsen att det förorenade dräneringsvattnet därför inte förefaller ha påverkat föroreningsituationen av PFAS i grundvattnet. Här stödjer sig rapporten på sidan 29 på att det är sådan variation i sammansättningen så att det inte går att uttyda någon indikation på påverkan från byggnad 900. Nämnden förstår inte detta argument och anser också att det är för tidigt att uttala sig om någon effekt av reningen av vattnet. Reningen har endast pågått sedan årsskiftet 2017/2018. Om läckageväg ändå finns för uppumpat vatten så förväntas en fördröjd verkan av reningen.

Nämnden vill att hela sträckan mellan byggnad 900 och utsläppspunkten i Fyrisån undersöks med avseende på möjliga läckage. På sidan 29 i rapporten sägs också att det inte identifierats

någon spridningsväg. Nämnden ställer sig frågande till om detta verkligen är säkerställt och om det innebär att hela sträckan undersökts med avseende på läckage.

Nämnden saknar i underlaget motsvarande statistiska studier på vattnet från byggnad 900 som för redovisade grundvattenanalyser. Det hade varit värdefullt att klargöra om det finns någon koppling mellan vatten som pumpas vid byggnad 900 och övriga punkter kring flygplatsen. Genom pumpning kring byggnaden uppstår en sänkningstratt som minskar risken för utläckage från den föroreningen. Men nämnden har inte fått ta del av några fakta som visar att det trots kontinuerlig pumpning inte kan ske eller har skett spridning av föroreningen i grundvattnet.

Eventuellt andra möjliga PFAS-föroreningar inom flygplatsområdet

Nämnden bedömer att möjliga läckagevägar från hanteringsplatsen i östra delen av flygplatsområdet behöver undersökas. Ett prov med halt på ca 950 ng finns redovisat där på karta men är inte medtaget i statistiska analyser. Både länsstyrelsen och nämnden har vid presentation av tidigare undersökning påtalat behov av att undersöka möjligt läckage från området. Provtagning på utgående vatten från fotoverksamheten bör göras om det inte är gjort. Fotoverksamheten har nämnts i tidigare undersökning men har inte följts upp skriftligen i senare undersökningar som nämnden fått ta del av. Även hydrauloljehantering bör följas upp. Enligt uppgifter från Kemikalieinspektionen kan det finnas/har funnits PFAS i hydrauloljor för flygverksamhet.

Grundvattenbildning

Nämnden anser att det saknas underbyggd fakta för slutsatsen i rapporten att inströmningsområdena inom flygplatsområdet står för en förhållandevis liten del av grundvattenbildningen. Grundvattenförhållandena behöver grundligt gås igenom som ett led i kontrollen av verksamheten.

Felkällor

Rapportens redovisning av felkällor

Rapporten tar i olika sammanhang upp en rad olika felkällor och osäkerheter i det statistiska angreppssättet. Om Försvaret väljer att gå vidare med de metoder som nu utförts så bedömer nämnden att osäkerhetsfaktorer och felkällor behöver redovisas på ett systematiskt och samlat sätt. Nämnden förstår dock att man i rapporten, för förståelsens skull, valt att redovisa de relevanta felkällorna och osäkerheterna i samband med respektive indikation på samband.

Provtagning

En självklar felkälla kan vara själva provtagningen. Rapporten tar också upp det och redovisar hur provtagningen gått till. Nämnden har inget att invända mot provtagningsmetodiken men det kan trots likadan hantering finnas risk att provtagningar inte helt motsvarar halten i grundvattnet.

Skummets sammansättning

Sammansättningen på det brandskum som innehåller PFAS kan antas ha förändrats över den långa tid som det användes på Ärna och nämnden ser att det innebär en komplikation. Detta har inte berörts i rapporten. En annan komplikation är att föroreningens "fingeravtryck" förändras under föroreningens resa genom olika material. Långa och förgrenade PFAS fastläggs sannolikt lättare (förutsatt att det är samma föroreningskälla) men PFAS har också mycket olika löslighet och olika hydrofila egenskaper, till det kommer att de kan förekomma i jonform. De olika

sätten att statistiskt söka samband slår också olika för olika halter. Att söka statistiska samband förefaller därför mycket svårt för de data som undersökts.

Det finns inte heller någon information och diskussion om vilket jorddjup, i grundvattnet, olika prov tagits ut och vad det kan innebära för haltsammansättningen. Olika jordarter, pH, flöden, temperatur m.m. inverkar till exempel på sammansättningen. En sådan genomlysning skulle förstås gjort en redan mycket omfattande undersökning än svårare att ta till sig. Nämnden vill med detta inte säga att metodiken är en återvändsgränd. Med tanke på tid och kostnad så förordar nämnden att fortsatta undersökningar fokuserar på avgränsning och åtgärd av brandövningsplatsen, fortsatt kontroll enligt rapportens rekommendation (2 gånger per år, minst PFAS 11 och trycknivåer) samt fortsatt källspårning och beräkning av halt- och flöde ut från källområden.

Andra tillkommande källtermer nedströms UGV1-3

Nämnden har arbetat med källspårning under flera år och kunskapsläget är idag ungefär som redovisas nedan.

GE Healthcare AB

GE Healthcare AB som ligger på Boländerna är den enda verksamhet som har en jämförelsevis lika omfattande PFAS-förorening på sitt område som Försvarsmakten på Ärna. Utsläpp av brandskum har dock skett senare (1990-tal till nu). Omfattande undersökningar har gjorts sedan 2016. En konceptuell modell för föroreningen håller på att tas fram. Grundvattnets strömningsriktning från GE är generellt sydvästlig men ibland även västlig. Det är ännu inte klarlagt om hydrogeologin tillåter grundvattentransport från GE till Stadsträdgården. Nämnden bedömer att GE inte bidrar i någon betydande omfattning till halterna i uttagsbrunnarna.

Gamla brandstationen

Gamla brandstationen ligger på minst 10 meter lera. Det har förekommit hantering av skum där men under begränsad tid. Fastigheten har delvis grävts ur. Provtagning av jord i det norra området, på tidigare innergård där skumövningar skett, visar PFOS-halter över riktvärdet för känslig markanvändning i fyra prover och över riktvärdet för mindre känslig markanvändning i två prover (6-39 ug/kg). Provtagning av markvatten (pumpat från husdränering) visar 94 ng/l PFAS (35 ng/l PFOS). Ledningar och ledningsgravar från området leder antingen ner mot ån eller ner mot reningsverket och ligger på mäktiga lerlager men visst läckage kan inte uteslutas.

Gamla bränder

Gamla bränder har följts upp och skum användes enligt Brandförsvaret varken vid branden vid Flustret 1984, Centralbadet 1990 eller Saluhallen 2002. I vart fall Centralbadet ligger på mäktiga lerlager och avrinning kan förväntas ha skett till Fyrisån i första hand.

Andra stora industriverksamheter

S:t Eriks betong har enligt uppgift till nämnden inte använt PFAS. Verksamheten ligger också på minst 10 m lera med kort avrinningssträcka ner till Fyrisån. Källspårning och undersökning från andra verksamheter fortsätter inom ramen för miljö- och hälsoskyddsnämndens tillsynsuppdrag.

För miljö- och hälsoskyddsnämnden

Klara Ellström
ordförande

Susanna Nordström
nämndsekreterare

Kopia

Länsstyrelsen i Uppsala Län

Rapport

Datum
2019-06-11

Beteckning
FM2015-8318:33 Sida 1 (5)

FÖRSVARSMAKTEN

Ink. 2019-06-11

Nr.

Utg.

Ert tjänsteställe, handläggare
FIHM, Tillsyn

Ert datum

Er beteckning

Vårt tjänsteställe, handläggare
Björn Norrbrand, bjorn.norrbrand@mil.se

Vårt föregående datum
2018-05-04

Vår föregående beteckning
FM2015-8318:25

Rapport provtagningsomgång 1-8, år 2017-2018,
Kontrollprogram för grundvattenkvalitet avseende PFAS
vid LSS, Uppsala
 (1 bilaga)

Bakgrund

Försvarsmakten har sedan början av år 2013 låtit genomföra omfattande provtagnings- och undersökningsarbeten av föroreningsituationen rörande perfluorerade ämnen (PFAS) vid Uppsala flygplats. I en skrivelse till FIHM (dåvarande Generalläkaren) den 17 januari 2017 (FM2015-8318:13) åtog sig Försvarsmakten att upprätta och genomföra ett kontrollprogram för grundvattenkvalitet avseende PFAS vid och i anslutning till Uppsala flygplats. Kontrollprogrammet (FM2015-8318:15) som inledningsvis skulle löpa under två år (år 2017-2018, totalt 8 provtagningsomgångar) presenterades för FIHM den 11 april 2017. Provtagningen påbörjades dock redan i januari 2017. Resultaten från 2017 års provtagningar (provtagningsomgång 1-4) presenterades för FIHM i en skrivelse (FM2015-8318:25) den 4 maj 2018.

Försvarsmakten har anlitat ramavtalskonsulten Helldén Environmental Engineering AB för att genomföra erforderliga provtagningar och utvärdera resultaten i enlighet med kontrollprogrammets syfte.

Resultaten från de under år 2017-2018 genomförda undersökningarna (provtagningsomgång 1-8) samt Försvarsmaktens plan på fortsatt handläggning presenteras i föreliggande skrivelse. För konsultens rapport, se bilaga 1. Rapporten bygger på resultat av provtagningar som utförts i såväl Försvarsmaktens som Uppsala Vatten och Avfall AB:s regi.

(BN)

Postadress
Högkvarteret
107 85 Stockholm

Besöksadress
Lidingövägen 24

Telefon
08-788 75 00

Telefax
08-788 77 78

E-post, Internet
exp-hkv@mil.se
www.forsvarsmakten.se/hkv

Syfte

Uppföljningsprogrammet har som syfte att undersöka haltutvecklingen av PFAS över tid och eventuella säsongsbetingade haltvariationer av PFAS, i befintliga provtagningspunkter avseende grundvatten. Ett delsyfte har varit att översiktligt undersöka de hydrogeologiska och hydrogeokemiska förhållandena inom och kring flygplatsområdet, för att bland annat samla information för att kunna utvärdera tidigare bedömningar av spridnings- och utspädningsförhållanden avseende PFAS nedströms flygplatsen (FM2015-8318:2 daterad den 5 maj 2015).

Vidare har uppföljningsprogrammet haft delsyftet att utvärdera om förorenat dräneringsvatten från byggnad 900 har haft en direkt påverkan på spridningen av PFAS till Jumkilsåsen och Uppsalaåsen och om dränvattenreningen, som påbörjades mellan provtagningsomgång 1 och 2, har påverkat den samlade förorenings- och spridningsbilden avseende PFAS i grundvattnet inom och kring flygplatsen.

Uppföljningsprogrammet har omfattat provtagning i 22 provtagningspunkter vid sammanlagt 8 olika provtagningsstillfällen.

Sammanfattning av resultat

Konsulten bedömer att det varken föreligger några trender beträffande haltvariationen av PFAS över tid, eller någon tydlig enhetlig årstidsbetingad variation, se sid 26-35 i bilaga 1.

De inom flygplatsen belägna punkterna, som huvudsakligen installerats i flygplatsområdets periferi, bedöms i grunden vara påverkade av PFAS via samma spridningsprocess och från samma övergripande källområde, som främst bedöms utgöras av den f.d. brandövningsplatsen.

Även de tre provtagningspunkterna UVGV1, UVGV2 och UVGV3 kan anses vara belägna i flygplatsens periferi (de ligger utanför flygplatsområdet), men dessa avviker från de övriga lokalerna inom/vid flygplatsen med avseende på haltutvecklingen av PFAS. De uppvisar ett isomerförhållande (molekylformer) av ämnet PFOS samt en kvot mellan långa och korta PFAS-ämnen, vilka är indikativa för en källnära lokalisering. Liknande förhållanden föreligger även längre nedströms, i Fyrishov, lokaliserat centralt i Uppsalaåsen, liksom i Stadsträdgårdens brunnar, se sid 57-66 i bilaga 1.

Grundvattenrören i Uppsalaåsen avviker därmed från de uppströms belägna grundvattenrören (utmed Jumkilsåsen) vilka uppvisar en gradvis minskning av mindre rörliga långa PFAS-ämnen och ett ökande inslag av korta PFAS, typiska för en dispersiv PFAS-plym. Även haltnivåerna av PFAS är relativt höga i Uppsalaåsens grundvattenrör.

Försvarsmaktens konsult gör den sammanvägda bedömningen att det är sannolikt att UVGV1, UVGV2, UVGV3 och Fyrishov, samt brunnarna i Stadsträdgården,

påverkas av mer närbelägna källtermer än av källområdet/brandövningsplatsen inom flygplatsen. Försvarmakten delar denna bedömning. Konsulten skriver i sin rapport att en för närvarande oidentifierad källterm av PFAS kan finnas direkt vid eller strax uppströms UVGV1, UVGV2 och UVGV3, såsom i området nordväst om UVGV1, alternativt i området vid motortrafikleden Bärbyleden, som tidigare har utpekats som en potentiell källterm, se sid 28 i bilaga 1.

UVGV2 och UVGV3 är belägna i gränsområdet mellan Jumkilsåsen och Uppsalaåsen. Grundvattnets tryckyta förefaller periodvis stå högre i Uppsalaåsen än i Jumkilsåsen och området nedströms den f.d. brandövningsplatsen inom flygplatsen. Detta indikerar att det periodvis sker ett flöde av grundvatten från Uppsalaåsen till Jumkilsåsen, se sid 14 i bilaga 1.

Försvarmaktens konsult bedömer att det inom flygplatsområdet sannolikt sker en förhållandevis liten grundvattenbildning, med följderna att förhållandevis lite grundvatten, och medföljande föroreningar av PFAS, flödar ut från flygplatsområdet och in i åssystemet. Detta är förmodligen en förklaring till de relativt låga PFAS-halterna som generellt observeras vid flygplatsen.

Försvarmakten kan konstatera att resultaten inte visar på någon tydlig direkt koppling mellan flygplatsens f.d. brandövningsplats och Stadsträdgården. Sambanden som indikeras är svaga. Därtill indikerar resultaten att källtermer av PFAS sannolikt förekommer nedströms flygplatsområdet såväl längs den ”tänkta” spridningsvägen av PFAS mellan flygplatsen och Stadsträdgården som i direkt anslutning till Stadsträdgårdens brunnar. De resultat som visar på detta är bl.a. förhållandet mellan långa och korta PFAS och isomerförhållandet av PFOS, se sid 62-66 i bilaga 1.

I Stadsträdgårdens brunnar har ämnet perfluordekansyra (PFDA) påvisats vid ett flertal provtagningar. Försvarmakten delar konsultens bedömning att förekomsten av PFDA, som inte har påträffats i grundvattnet inom flygplatsområdet eller i Jumkilsåsen, samt den förhållandevis höga haltstyrkan av PFAS i Stadsträdgården, talar för att brunnarna där är påverkade av mer närbelägna källtermer, se sid 43 i bilaga 1.

Försvarmakten konstaterar att det inte kan uttolkas någon skillnad i föroreningssituationen som följd av behandlingen/reningen av dräneringsvattnet från byggnad 900. Detta utifrån haltförhållandet av PFAS-11 och fördelningen mellan enskilda PFAS-kongener. Det förorenade dräneringsvattnet förefaller således inte ha påverkat föroreningssituationen i stort avseende PFAS i grundvattnet, vare sig i moränakviferen inom flygplatsområdet eller i Jumkilsåsens och Uppsalaåsens grundvattenmagasin, se sid 29 i bilaga 1.

Konsultens rekommendationer

Det kan ur ett tvåårsperspektiv inte uttolkas någon trend avseende variationen och haltutvecklingen av PFAS-11 eller av enskilda PFAS-kongener. Det kan

emellertid inte uteslutas att det ur ett längre perspektiv kan föreligga någon trend som först blir uppenbar efter en längre uppföljningstid. Konsulten rekommenderar därför att uppföljande regelbundna provtagningar fortsätter inom ramen för ett förenklat uppföljningsprogram.

Utvecklingen av föroreningssituationen torde kunna följas med tillräckligt god tillförlitlighet vid en provtagningsfrekvens om två gånger per år och i ett urval av de befintliga provtagningspunkterna inom flygplatsområdet. De befintliga Diver-installationerna bör fortsättningsvis nyttjas för att registrera fluktuationerna i grundvattnets tryckyta, för att möjliggöra framtida hydrogeologiska beräkningar och bedömningar.

Fortsatt uppföljning ger enligt konsulten värdefulla informationsunderlag för uppföljning och utvärdering av eventuella framtida åtgärdsinsatser inom flygplatsområdet.

Det föreligger idag vissa osäkerheter kring omfattningen (utbredningen/storleken och haltstyrkor) av de identifierade källtermerna och spridningsvägar för PFAS-förorenade grundvatten, samt de geologiska och hydrogeologiska förhållandena inom och i anslutning till flygplatsområdet. Det är till exempel oklart om provtagningspunkterna som bedömts ha installerats i Jumkilsåsen faktiskt är representativa för Jumkilsåsens grundvattenmagasin samt hur utbredd markföroreningen av PFAS är inom den f.d. brandövningsplatsen inom flygplatsen. En säkrare bedömning av föroreningssituationen är beroende av att dessa osäkerheter klagörs, genom att till exempel genomföra miljötekniska markundersökningar för att detaljavgränsa källtermer och kartera jordlagrets stratigrafi/lagerföljd i delområden av flygplatsen.

Utrednings- och undersökningsplaner bör upprättas mot bakgrund av tidigare genomförda utredningar och undersökningar, i syfte att verifiera och komplettera kunskapsläget. Fokus för de kompletterande undersökningsinsatserna bör läggas på att identifiera de viktigaste spridningsvägarna av PFAS-förorenat grundvatten från flygplatsområdet till åssystemet samt att karaktärisera och avgränsa källtermerna inom flygplatsområdet. Det bör även undersökas om det i flygplatsområdets södra/sydöstra del finns en källterm som kan förklara de förhållandevis höga PFAS-halter som konstaterats i punkten UVGV1.

Försvarsmaktens fortsatta handläggning

Försvarsmakten delar konsultens bedömning om behovet av fortsatt provtagning. Försvarsmakten avser därför att under hösten 2019 inkomma med ett förslag på ett reviderat fortsatt kontrollprogram.

Försvarsmaktens utredningsarbete vid sidan av kontrollprogrammet

Försvarsmakten ser allvarligt på den konstaterade PFAS-föroreningen inom Uppsala flygplats och fortsätter arbetet med att kartlägga denna. Detta för att på

Rapport

Datum
2019-06-11

Beteckning
FM2015-8318:33 Sida 5 (5)

sikt och när praktiskt genomförbara och ekonomiskt skäligen efterbehandlingsmetoder utvecklats, kunna applicera dessa där behov föreligger.

I detta syfte genomför Försvarsmakten för närvarande en genomgång av det omfattande befintliga underlagsmaterialet (geologisk- och hydrogeologiskt basmaterial, uppmätta föroreningshalter, geotekniska utredningar mm). Utifrån inhämtad information upprättas en konceptuell modell över bedömd föroreningsförekomst, jordartsstratigrafi, grundvattenförhållanden och eventuell spridning av förorening till Jumkilsåsen och Uppsalaåsen. Den konceptuella modellen utgör ett underlag vid upprättandet av Försvarsmaktens kompletterande undersöknings- och provtagningsplaner. Försvarsmakten avser att färdigställa dessa kompletterande undersökningsinsatser under hösten 2019.

Wikman, Jonas

Resursproduktionschef

Handlingen är fastställd i Försvarsmaktens elektroniska dokument- och ärendehanteringssystem.

Bilaga 1 Rapport provtagningsomgång 1-8, år 2017-2018, Kontrollprogram för grundvattenkvalitet avseende PFAS vid LSS, Uppsala, Helldén Environmental Engineering AB, 2019-06-11

Sändlista

Försvarsinspektören för
Hälsa och Miljö (FIHM)

För kännedom

HKV LEDS JUR

FLYGSTABEN

HKV PROD RPE INFRA

LSS

FORTV

fortv@fortifikationsverket.se

**Helldén Environmental
Engineering AB**

Rapport, provtagningsomgång 1–8, år 2017–2018

Kontrollprogram för grundvattenkvalitet avseende PFAS vid LSS, Uppsala



Försvarmakten, Miljöprovningseenheten

2019-06-11

Dokumenttitel: Rapport provtagningsomgång 1–8, år 2017-2018
Kontrollprogram för grundvattenkvalitet avseende PFAS vid LSS, Uppsala

Uppdragsgivare: Försvarsmakten, Miljöprovningseenheten

Datum: 2019-06-11

Upprättad av: Martin Axelsson
0706 - 21 02 93
martin@hellden-environmental.se

Granskad av: Johan Helldén
0733 - 21 02 94
johan@hellden-environmental.se

**Helldén Environmental
Engineering AB**

www.hellden-environmental.se

Organisationsnr: 556895–5842

Helldén Environmental Engineering AB

1	Sammanfattning	2
2	Bakgrund	3
3	Uppföljningsprogrammets Syfte	3
4	Genomförande	3
4.1	Försvarsmaktens provtagningspunkter och provtagningstillfällen	3
4.2	Provtagning av grundvatten och mätningar i fält	5
4.3	Kemiska laboratorieanalyser	5
4.4	Inhämtande av dataunderlag från Uppsala Vatten	8
4.5	Statistiska metoder	8
4.5.1	Principalkomponentanalys	8
4.5.2	Klusteranalys	9
4.5.3	Korrelationsanalys	9
5	Resultat och Utvärdering	9
5.1	Grundvattennivåer (trycktor)	10
5.2	Hydrokemisk karaktärisering	19
5.3	Generella haltvariationer av PFAS-11	26
5.4	Övergripande multivariat analys av PFAS-profiler	36
5.5	PFAS-profilen och variationen av PFAS-11 i varje provtagningspunkt	43
5.6	Fördelningen mellan långa och korta PFAS	57
5.7	Förhållandet mellan linjära och grenade isomerer	62
5.8	Förekomst av oxiderbara PFAS-prekursorer	67
6	Sammanfattande analys	70
7	Rekommendationer	73
8	Referenser	74

Bilaga 1 – Kartfigurer över provtagningspunkter och geografiska resultatredovisningar

Bilaga 2 – Kompletterande resultatsammanställningar och informationsunderlag

Bilaga 2A: Diagram över haltförhållanden av enskilda PFAS samt långa och korta PFAS. Samlingsdiagram av PFAS-profiler och korrelationsmatris av långa och korta PFAS

Bilaga 2B: Provtagningsmetoder, information om Diver-installationer och koordinater

Bilaga 2C: Information om hantering av Diver-data och kompletterande diagram över trycktor

Bilaga 2D: Kompletterande diagram av tryckteförhållanden och variationer av PFAS-11

Bilaga 2E: Resultattabeller och korrelationsmatriser av hydrogeokemiska parametrar

Bilaga 2F: Kompletterande parameterredovisning i ordinationsdiagram av PCA

Bilaga 2G: Kompletterande resultatsammanställningar av TOP-analyser och isomerförhållanden

Bilaga 3 – Rapporter från laboratorieanalyser av PFAS och hydrogeokemiska parametrar

1 SAMMANFATTNING

Försvarsmakten har genomfört ett tvåårigt uppföljningsprogram avseende föroreningssituationen av PFAS i grundvatten inom och nedströms Uppsala flygplats. Föreliggande rapport redovisar resultaten från programmet, som totalt har omfattat provtagning i 22 provtagningspunkter under år 2017–2018.

Det kan varken uttolkas några trender beträffande haltvariationen av PFAS över tid, eller någon enhetlig årstidsbetingad variation. De inom flygplatsen belägna punkterna, som huvudsakligen installerats i flygplatsområdets periferi, bedöms i grunden vara påverkade av PFAS via samma spridningsprocess och från samma övergripande källområde, som främst bedöms utgöras av den f.d. brandövningsplatsen. Även de tre provtagningspunkterna UVGV1, UVGV2 och UVGV3 kan anses vara belägna i flygplatsens periferi, men dessa avviker från de övriga lokalerna inom/vid flygplatsen med avseende på haltutvecklingen av PFAS. De uppvisar även ett förhållande av isomerer (molekylformer) av PFOS och en kvot mellan långa och korta PFAS, indikativa för en mer källnära lokalisering än vad som kan förväntas i förhållandet till de vid Jumkilsåsen uppströms belägna punkterna. Dessa förhållanden föreligger även längre nedströms; i Fyrishov. Haltnivåerna av PFAS är i dessa provtagningspunkter också relativt höga. Det bedöms sålunda som sannolikt att UVGV1, UVGV2, UVGV3 och Fyrishov påverkas av någon mer närbelägen källterm än det aktuella källområdet inom flygplatsen. En för närvarande oidentifierad källterm av PFAS kan finnas direkt vid eller strax uppströms UVGV1, UVGV2 och UVGV3, såsom i området nordväst om UVGV1; alternativt i området vid Bärbyleden, som tidigare har utpekats som en potentiell källterm. Det kan inte heller uteslutas att fler källtermer finns inom flygplatsområdet än de som har kartlagts.

UVGV2 och UVGV3 är belägna vid det tänkta gränssnittet mellan Jumkilsåsen och Uppsalaåsen. Grundvattnets tryckyta förefaller periodvis stå högre i gränssnittet och Uppsalaåsen än i Jumkilsåsen och området direkt nedströms flygplatsens f.d. brandövningsplats, vilket kan innebära att det periodvis sker ett returflöde av grundvatten från Uppsalaåsen till Jumkilsåsen. Inom flygplatsområdet sker sannolikt en förhållandevis liten grundvattenbildning, med följderna att förhållandevis lite grundvatten, och medföljande föroreningar av PFAS, flödar ut från flygplatsområdet och in i åssystemet, vilket förmodligen är förklaringen till de relativt låga PFAS-halterna som generellt observeras i grundvatten inom och vid flygplatsen.

Brunnen i Klastorp, som är belägen strax uppströms provtagningspunkterna inom flygplatsområdets sydvästra sida, förefaller, i förhållande till dessa provtagningspunkter, vara påverkad av PFAS via en annan spridningsväg eller från en annan källterm.

Resultaten visar inte på någon tydlig koppling mellan flygplatsen och Stadsträdgården och sambanden som indikeras är svaga. Därtill indikerar resultaten att källtermer av PFAS sannolikt förekommer nedströms flygplatsområdet; såväl längs den tänkta spridningsvägen av PFAS mellan flygplatsen och Stadsträdgården som i direkt anslutning till Stadsträdgårdens brunnar. De resultat som visar på detta är kvoten mellan långa och korta PFAS och fördelningen mellan linjär och grenade isomerer (molekylformer) av PFOS i respektive provtagningslokal. Den i Stadsträdgården observerade förekomsten av PFDA, som inte har påträffats i grundvattnet inom flygplatsområdet eller Jumkilsåsen, samt den förhållandevis höga haltstyrkan av PFAS i Stadsträdgården, talar också för att Stadsträdgårdens brunnar är påverkade av mer närbelägna källtermer.

2 BAKGRUND

Högfluorerade ämnen (PFAS; poly- och perfluorerade ämnen) har konstaterats i grundvattnet inom Uppsala flygplats (Uppsala garnison). Föroreningarna bedöms huvudsakligen härröra från rester av brandsläckningsskum som tidigare har använts vid brandövningar på flygplatsen. Försvarsmakten har låtit upprätta och verkställa ett uppföljningsprogram omfattande fyra provtagningsomgångar per år under åren 2017 och 2018 (FM2015-8318:15 daterad 2017-04-11 och GL2012-716), med avsikten att övervaka, följa upp och utvärdera förekomsten och spridningen av PFAS i grundvattnet. I föreliggande rapport redovisas resultaten från uppföljningsprogrammet. I rapporten beaktas även resultat från tidigare genomförda grundvattenprovtagningar med avseende på PFAS. Resultatdiskussionen i kapitel 5 redovisar resultaten från uppföljningsprogrammet och ger en ingående analys av enskilda resultat, medan den samlade bedömningen av föroreningssituationen ges av kapitel 6.

3 UPPFÖLJNINGSPROGRAMMETS SYFTE

Uppföljningsprogrammet har som syfte att undersöka haltutvecklingen av PFAS över tid och eventuella säsongsbetingade haltvariationer av PFAS, i befintliga provtagningspunkter av grundvatten. Ett delsyfte har varit att översiktligt undersöka de hydrogeologiska och hydrogeokemiska förhållandena inom och kring flygplatsområdet, för att bland annat samla information för att kunna utvärdera tidigare bedömningar av spridnings- och utspädningsförhållanden avseende PFAS nedströms flygplatsen (NIRAS, 2015; FM2015-8318:2 daterad 2015-05-05). Vidare har uppföljningsprogrammet haft delsyftet att utvärdera om förorenat dräneringsvatten från byggnad 900 har haft en direkt påverkan på spridningen av PFAS till Jumkilsåsen och Uppsalaåsen och om dränvattenreningen, som påbörjades mellan provtagningsomgång 1 och 2, har påverkat den samlade förorenings- och spridningsbilden avseende PFAS i grundvattnet inom och kring flygplatsen.

4 GENOMFÖRANDE

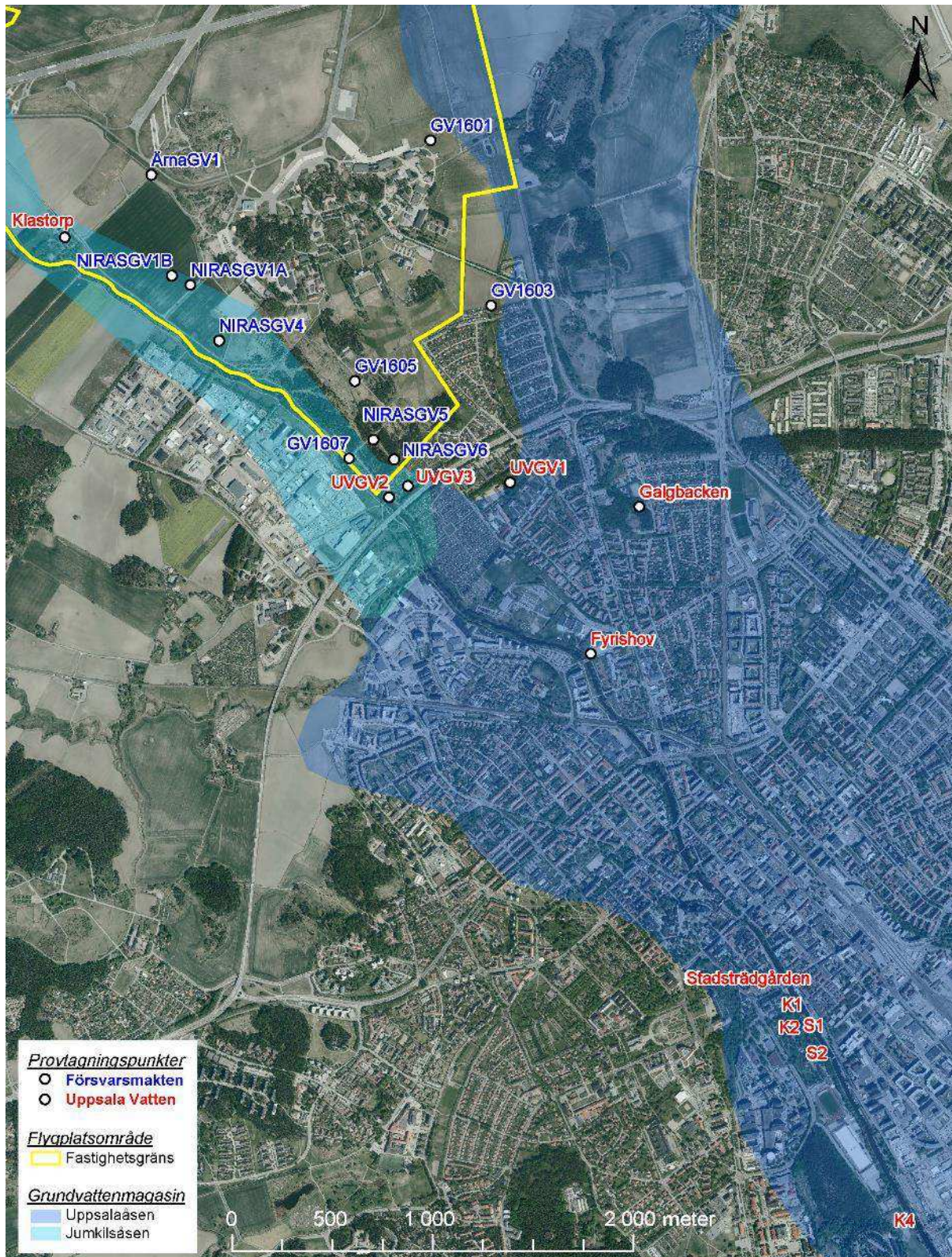
Grundvattenprovtagning har skett i totalt 22 provtagningspunkter, varav 14 är grundvattenrör, 7 är kommunala råvattentäkter och 1 är en enskild dricksvattentäkt (figur 1).

4.1 Försvarsmaktens provtagningspunkter och provtagningsstillfällen

Försvarsmakten har låtit provta 10 grundvattenrör vid Uppsala flygplats (figur 1). Samtliga de grundvattenrör som installerats vid tidigare PFAS-undersökningar inom flygplatsområdet har provtagits inom programmet, med undantag för ÄRNAGV2 som förstördes i samband med ett anläggningsarbete. Provtagningspunkternas koordinater framgår av bilaga 2B. Datum för respektive provtagningsomgång inom uppföljningsprogrammet redovisas i tabell 1.

Tabell 1. Provtagningsdatum för Försvarsmaktens provtagningar inom uppföljningsprogrammet.

Omgång	Provtagningsdatum år 2017	Omgång	Provtagningsdatum år 2018
1	2017-01-25 – 2017-01-26	5	2018-02-06 – 2018-02-07
2	2017-04-25 – 2017-04-26	6	2018-04-25 – 2018-04-26
3	2017-08-16 – 2017-08-17	7	2018-09-12 – 2018-09-13
4	2017-10-25 – 2017-10-26	8	2018-12-05 – 2018-12-06



Figur 1. Placering av samtliga provtagningspunkter som ingått i uppföljningsprogrammet. Provtagning av grundvatten har skett i totalt 22 provtagningspunkter, varav 14 är grundvattenrör (ÄRNAGV1, NIRASGV1A, NIRASGV1B, NIRASGV4, NIRASGV5, NIRASGV6, GV1601, GV1603, GV1605, GV1607, UVGV1, UVGV2, UVGV3 och Fyrishov), 7 utgörs av råvattentäkter (Galgbacken och Stadsträdgården S1, S2, K1, K2, K3 (visas ej) och K4) och 1 är en enskild dricksvattentäkt (Klastorp). Forsvarsmaktens provtagningspunkter är markerade i blått och de provtagningspunkter som provtagits av Uppsala Vatten är markerade i rött. Den exakta placeringen av provtagningspunkterna i Stadsträdgården samt Fyrishov, Galgbacken och Klastorp har inte tillkännagjorts av Uppsala Vatten. Information om grundvattenmagasinens utsträckning (markeringar i blått) har hämtats från SGU:s (Sveriges geologiska undersöknings) kartvisare "Grundvattenmagasin". Bakgrundskarta från Metria.

4.2 Provtagning av grundvatten och mätningar i fält

I Försvarsmaktens provtagningar uttogs grundvattenprov efter omsättning av minst tre rörvolymmer av grundvatten. Provtagningsmetoden för respektive grundvattenrör framgår av bilaga 2B. Vid provtagning ägnades särskild uppmärksamhet åt provtagningshygien för att minimera risken för kontaminering av proverna. Provtagningsarbetet genomfördes i övrigt i tillämpliga delar enligt de råd och riktlinjer som föreskrivits i SGF:s fälthandbok för undersökningar av förorenade områden (SGF, 2013) och enligt de rutiner som rekommenderas av FOI (2013).

Innan omsättning och provuttag inmättes grundvattnets tryckyta (grundvattennivån) med ett elektroniskt grundvattenlod som inför varje mätning tvättades noggrant i kontrollerat ledningsvatten (dricksvatten). Utöver de manuella lodningarna, har Diver-mätare automatiskt registrerat mätningar varje timme för bestämning av grundvattnets tryckyta.

4.3 Kemiska laboratorieanalyser

De prover som uttogs i Försvarsmaktens provtagningar vid provtagningsomgång 1 analyserades av ALS Scandinavia AB med avseende på PFAS (15 kongener), metaller och hydrogeokemiska parametrar (tabell 2). Inför provtagningsomgång 2 beslutades att Eurofins Environment Testing Sweden AB i fortsättningen skulle anlitas för de kemiska analyserna. Anledningen till detta var att Eurofins då erbjöd analys av fler PFAS (22 kongener) samt att rapporteringsgränserna för PFAS-analyserna var lägre än de ALS Scandinavia kunde erbjuda. Av praktiska orsaker analyserades även de övriga grundvattenkemiska parametrarna hos Eurofins. Dessa analyspaket, som framgår av tabell 3, tillämpades vid fem provtagningsomgångar (omgång 2–6).

Tabell 2. Analyspaket som användes vid provtagningsomgång 1 för analyser av PFAS och övriga grundvattenkemiska parametrar. ALS Scandinavia AB utförde analyserna. Blåmarkerade PFAS ingår vid beräkning av haltsumman PFAS-11.

PFAS	Övriga	
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	Alkalinitet	Magnesium
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	Aluminium	Mangan
PFBA (Perfluorbutansyra)	Arsenik	Molybden
PFBS (Perfluorbutansulfonsyra)	Barium	Natrium
PFDA (Perfluordekansyra)	Bly	Nickel
PFDoDA (Perfluordodekansyra)	Fluorid	pH
PFUnDA (Perfluorundekansyra)	Järn	Sulfat
PFDS (Perfluordekansulfonsyra)	Kadmium	Vanadin
PFHpA (Perfluorheptansyra)	Kalcium	Zink
PFHxA (Perfluorhexansyra)	Kalium	
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyra)	Klorid	
PFNA (Perfluoronansyra)	Kobolt	
PFPeA (Perfluorpentansyra)	Konduktivitet	
PFOA (Perfluoroktansyra)	Koppar	
PFOS (Perfluoroktansulfonsyra)	Krom	

Jämförelser av analysresultat för duplikatprover av PFAS analyserade av ALS Scandinavia och Eurofins Environment gjordes tidigt inom uppföljningsprogrammet för att säkerställa jämförbarheten mellan tidigare och senare analysresultat. Resultatet av jämförelsen redovisades i årsrapporten för uppföljningsprogrammets första år (Helldén Environmental Engineering AB, 2018). En liten skillnad kunde konstateras mellan rapporterade halter, men skillnaden mellan laboratorierna kunde inte anses vara statistiskt signifikant med beaktande av mätosäkerheterna. Det kan emellertid föreligga andra skillnader, i upparbetning av PFAS-prover och rapportering av PFAS-halter, mellan olika laboratorier och analystillfällen, vilket bör tas i beaktande vid jämförelser; särskilt med äldre analysresultat.

Tabell 3. Analyspaket som användes vid provtagningsomgång 2–6 (dvs. vid fem provtagningsomgångar) för analyser av PFAS och övriga grundvattenkemiska parametrar. Eurofins Environment Testing Sweden AB utförde analyserna. Blåmarkerade PFAS ingår vid beräkning av haltsumman PFAS-11.

PFAS	Övriga	
4:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	Alkalinitet	Magnesium
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	Aluminium	Mangan
8:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	Ammonium-N	Molybden
HPFHpA (7H-Perfluorheptansyra)	Arsenik	Natrium
P37DMOA (Perfluor-3,7-dimetyloktansyra)	Barium	Nickel
PFBA (Perfluorbutansyra)	Bly	Nitrit-N
PFBS (Perfluorbutansulfonsyra)	Bor	pH
PFDA (Perfluordekansyra)	DO	Strontium
PFDoA (Perfluordodekansyra)	Fluorid	Sulfat
PFDS (Perfluordekansulfonsyra)	Fosfat-P	Turbiditet
PFHhA (Perfluorheptansyra)	Färg (410 nm)	Vanadin
PFHhS (Perfluorheptansulfonsyra)	Järn	Zink
PFHxA (Perfluorhexansyra)	Kadmium	
PFHxDA (Perfluorhexadecansyra)	Kalcium	
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyra)	Kalium	
PFNA (Perfluornonansyra)	COD-Mn	
PFOA (Perfluoroktansyra)	Kisel	
PFOS (Perfluoroktansulfonsyra)	Klorid	
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	Kobolt	
PFPeA (Perfluorpentansyra)	Konduktivitet	
PFTeDA (Perfluortetradecansyra)	Koppar	
PFUdA (Perfluorundekansyra)	Krom	

Vid provtagningsomgång 7 och 8 lät Forsvarsmaktens miljöprovningssenhets utöka analyspaketet avseende PFAS i enlighet med rekommendationerna i årsrapporten för uppföljningsprogrammets första år (Helldén Environmental Engineering AB, 2018). Forsvarsmakten lät vid dessa provtagningsomgångar dessutom bekosta analyser av proverna från Uppsala Vattens provtagningspunkter enligt samma analyspaket. PFAS analyserade härvid enligt ett analyspaket med 33 PFAS-kongener med beräkningar av grenade och linjära isomerer av PFOS, PFOSA, PFOA och PFHxS. Därtill analyseras proverna med avseende på totalhalter inklusive oxiderbara prekursorer (TOP-analyser). Analyspaketet för provtagningsomgång 7 och 8 framgår av tabell 4.

Tabell 4. Analyspaket som användes vid provtagningsomgång 7 och 8, för analyser av PFAS och övriga grundvattenkemiska parametrar. Eurofins Environment Testing Sweden AB utförde analyserna. Blåmarkerade PFAS ingår vid beräkning av haltsumman PFAS-11. TOP-PFAS avser halter efter oxidation och ger ett mått på mängden prekursorer som kan omvandlas/oxideras till de aktuella PFAS-kongenerna.

PFAS	TOP-PFAS	Övriga
4:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	4:2 FTS (Fluortelomer sulfonat)	Alkalinitet
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	6:2 FTS (Fluortelomer sulfonat)	Aluminium
8:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	8:2 FTS (Fluortelomer sulfonat)	Ammonium-N
EtFOSA (N-etylperfluoroktansulfonamid)	EtFOSA (N-etylperfluoroktansulfonamid)	Arsenik
EtFOSAA (N-etylperfluoroktansulfonamid-HAc)	EtFOSAA(N-etylperfluoroktansulfonamid-HAc)	Barium
EtFOSE (N-etylperfluoroktansulfonamid-EtOH)	EtFOSE(N-etylperfluoroktansulfonamid-EtOH I)	Bly
FOSAA (Perfluoroktansulfonamidättiksyra)	FOSAA (Perfluoroktansulfonamid-ättiksyra)	Bor
HPFHpA (7H-Perfluorheptansyra)	HPFHpA (7H-Perfluorheptansyra)	DO
MeFOSA (N-metylperfluoroktansulfonamid)	MeFOSA (N-metylperfluoroktansulfonamid)	Fluorid
MeFOSAA (N-metylperfluoroktansulfonamid-HAc)	MeFOSAA(N-metylperfluoroktansulfonamid-HAc)	Fosfat-P
MeFOSE (N-metylperfluoroktansulfonamidetanol)	MeFOSE(N-metylperfluoroktansulfonamid-EtOH)	Färg (410 nm)
P37DMOA (Perfluor-3,7-dimetyloktansyra)	P37DMOA (Perfluor-3,7-dimetyloktansyra)	Järn
PFBA (Perfluorbutansyra)	PFBA (Perfluorbutansyra)	Kadmium
PFBS (Perfluorbutansulfonsyra)	PFBS (Perfluorbutansulfonsyra)	Kalcium
PFDA (Perfluordekansyra)	PFDA (Perfluordekansyra)	Kalium
PFDoA (Perfluordodekansyra)	PFDoA (Perfluordodekansyra)	COD-Mn
PFDoS (Perfluordodekansulfonat)	PFDS (Perfluordekansulfonsyra)	Kisel
PFDS (Perfluordekansulfonsyra)	PFHpA (Perfluorheptansyra)	Klorid
PFHpA (Perfluorheptansyra)	PFHpS (Perfluorheptansulfonsyra)	Kobolt
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyra)	PFHxA (Perfluorhexansyra)	Konduktivitet
PFHxA (Perfluorhexansyra)	PFHxDA (Perfluorhexadekansyra)	Koppar
PFHxDA (Perfluorhexadekansyra)	PFHxS (Perfluorhexansulfonsyra)	Krom
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyra)	PFNA (Perfluornonansyra)	Magnesium
PFHxS grenad och linjär	PFOA (Perfluoroktansyra)	Mangan
PFNA (Perfluornonansyra)	PFOS (Perfluoroktansulfonsyra)	Molybden
PFNS (Perfluornonansulfonat)	PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	Natrium
PFOA (Perfluoroktansyra)	PFPeA (Perfluorpentansyra)	Nickel
PFOA grenad och linjär	PFTeDA (Perfluortetradekansyra)	Nitrit-N
PFOS (Perfluoroktansulfonsyra)	PFTrDA (Perfluortridekansyra)	pH
PFOS grenad och linjär	PFUdA (Perfluorundekansyra)	Strontium
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)		Sulfat
PFOSA grenad och linjär		Turbiditet
PFPeA (Perfluorpentansyra)		Vanadin
PFPeS (Perfluorpentansulfonat)		Zink
PFTeDA (Perfluortetradekansyra)		
PFTrDA (Perfluortridekansyra)		
PFUdA (Perfluorundekansyra)		

Prover för metallanalyser filtrerades med sprutfilter (0,45 µm) vid provtagningen.

Prover för analys av PFAS och övriga parametrar filtrerades inte i samband med provtagningen.

4.4 Inhämtande av dataunderlag från Uppsala Vatten

Analys- och grundvattennivådata för Uppsala Vattens provtagningspunkter, har erhållits från Uppsala Vatten via Eric Beal, utredningsingenjör. Uppsala Vatten har anlitat ALS Scandinavia för de kemiska analyserna och låtit analysera för 15, 17 eller 32 kongener av PFAS beroende på analystillfälle; med undantag för de provtagningar som skedde i samband med provtagningsomgång 7 och 8, då proverna från Uppsala Vattens provtagningspunkter analyserades av Eurofins, enligt samma analyspaket som vid Försvarsmaktens provtagningar och för Försvarsmaktens räkning.

Placeringen av Uppsala Vattens provtagningspunkter framgår av figur 1. Notera att det är oklart var dessa provtagningspunkter/brunnarna är belägna (t.ex. Stadsträdgården), då dessa uppgifter inte har kunnat förmedlas av Uppsala Vatten på grund av sekretessen kring täkterna/uttagsbrunnarna.

4.5 Statistiska metoder

I den föreliggande rapporten redovisas resultaten av principalkomponentanalyser, klusteranalyser och korrelationsanalyser av bland annat de kemiska analysresultaten. Syftet med tillämpningen av dessa statistiska metoder är att visualisera, undersöka, tolka och bedöma resultaten. Metoderna nyttjas parallellt som hjälpmedel vid tolkning av exempelvis hydrogeologiska (inklusive hydrogeokemiska) förhållanden och föroreningsituationen avseende PFAS samt för att kvalitetssäkra analysresultaten från de olika provtagningsomgångarna. De olika statistiska metoderna ger indikationer på hur provtagningslokaler förhåller sig tillvarandra med avseende på de olika parametrarna. Indikerade samband (såsom likheter, olikheter och korrelationer) fungerar som underlag för tolkningar av de verkliga förhållandena, men utgör i sig inga bevis för att sambanden är riktiga. Provtagningspunkter kan till exempel korrelera med varandra med avseende på någon eller flera parametrar utan att de är beroende av eller påverkar varandra. Följande stycken ger allmänna beskrivningar om de olika statistiska metoderna.

4.5.1 Principalkomponentanalys

Principalkomponentanalys (PCA) kan användas för att finna dolda mönster och samband i multivariata mätdata. Om sammansättningen avseende till exempel PFAS är olika i två provtagningspunkter separerar principalkomponentanalysen punkterna med avseende på olikheterna. Punkter som har liknande sammansättningar och uppvisar samvariation bildar grupperingar. Punkterna placerar sig i diagrammet i relation till origo; i riktning och avstånd från origo med avseende på beskrivningsvariabler som till exempel kan utgöras av analysparametrar av PFAS, vilka i diagrammet indikeras av vektorlinjer som utgår från origo. En punkt som placerar sig långt från origo enligt en viss vektorlinje är starkt påverkad av den parameter till vilken vektorlinjen hör. Vinkeln mellan olika vektorlinjer indikerar även hur beskrivningsvariablerna/parametrarna förhåller sig till varandra. Vektorlinjer som ligger nära varandra (spetsig vinkel) indikerar att parametrarna korrelerar positivt, vektorlinjer som föreligger i ett vinkelrätt (ortogonalt) förhållande till varandra indikerar att parametrarna inte korrelerar och vektorlinjer som skiljs genom en trubbig vinkel, där extremfallet utgörs av en rak vinkel, indikerar att parametrarna korrelerar negativt med varandra. Principalkomponentanalyser kan med anledning av beskrivningsvariablernas vektorlinjer ge mer information som förklarar sambanden mellan punkterna, än klusteranalyser och korrelationsanalyser. Principalkomponentanalyser kan även i högre grad ta fasta på mindre avvikelser i korrelationer mellan punkter och beskrivningsvariabler än de övriga beaktade statistiska analysmetoderna.

4.5.2 Klusteranalys

Klusteranalys kan användas för att undersöka likheter i multivariata mätdata genom att med avseende på likheterna gruppera provtagningspunkter i kluster på olika hierarkiska nivåer i ett dendrogram, som kan vara mer lättöverskådligt än ett ordinationsdiagram från en principalkomponentanalys. Den klusteranalysmetod (neighbour joining clustering) som tillämpats i den föreliggande utredningen är i grunden en bioinformatisk metod som används för att undersöka likheter i till exempel genetiskt datamaterial. Metoden utgår från likheten mellan varje enskild punkt och bygger sedan agglomerativt upp klusterhierarkin. Punkter hamnar på olika hierarkiska nivåer beroende på nivån av deras olikheter.

4.5.3 Korrelationsanalys

Korrelationsanalys kan användas för att undersöka eventuella linjära samband mellan provtagningspunkter med avseende på mätserier av analysparametrar. En korrelationsmatris åskådliggör den beräknade korrelationen mellan ett flertal provtagningspunkter och redovisar en korrelationskoefficient för varje kombination av punkter. En korrelationskoefficient med värdet 0 visar på att det inte finns någon samvariation mellan provtagningspunkterna, en positiv korrelationskoefficient med värdet 1 visar på perfekt positiv samvariation och en koefficient med värdet -1 visar på perfekt negativ korrelation.

Korrelationskoefficienterna är deskriptiva; de anger inte någon statistisk signifikans. De säger inte heller något om orsakssamband (kausalitet) och en indikerad samvariation mellan olika provtagningspunkter medför således inte per automatik att det finns ett direkt samband (exempelvis ett spridningssamband av en grundvattenförorening) mellan punkterna. Korrelationsanalysen ger sålunda indikativ information om hur mätserierna/provtagningspunkterna kan förhålla sig till varandra.

5 RESULTAT OCH UTVÄRDERING

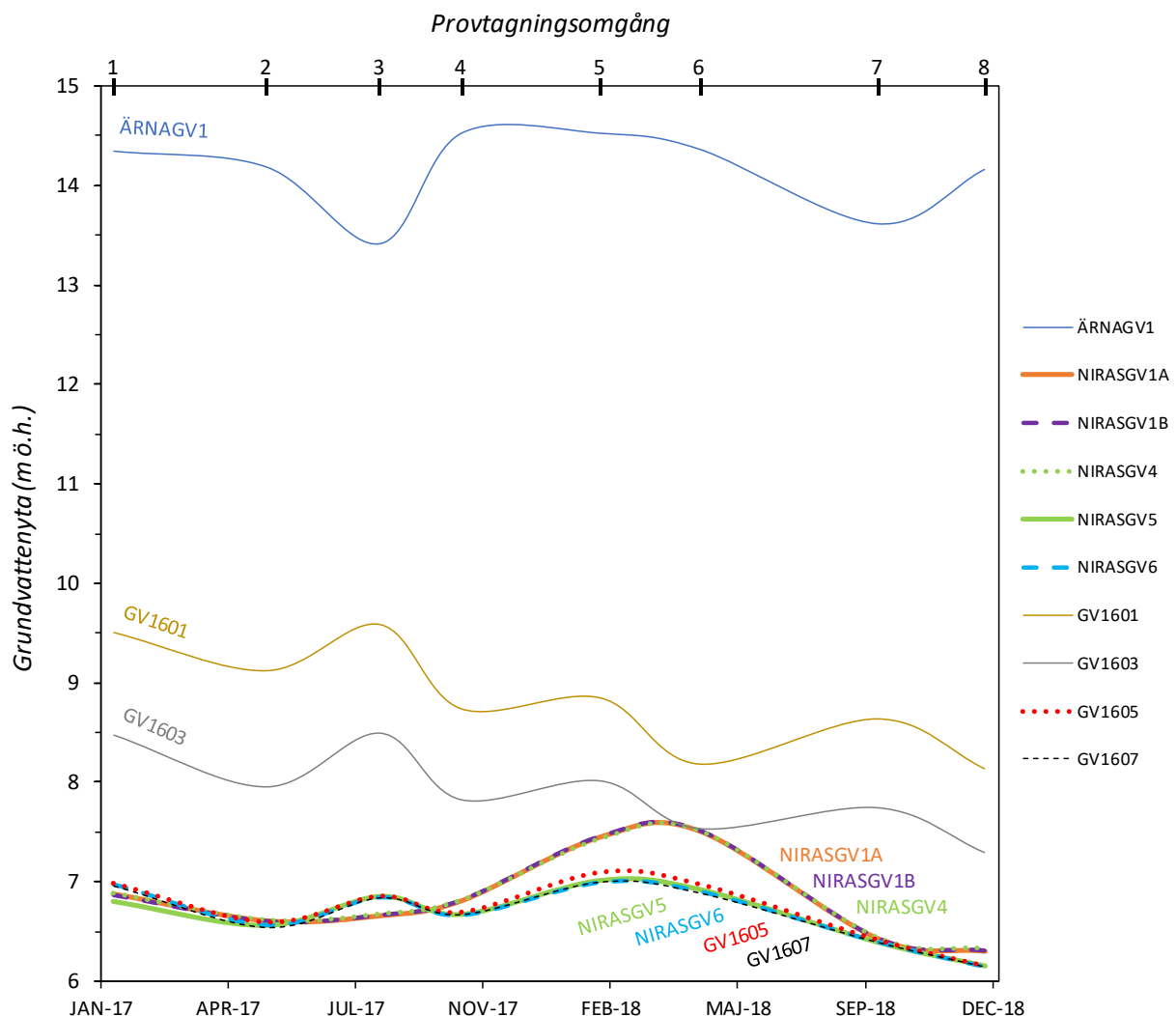
Borrmetoden (NOEX) som tillämpades vid installationen av grundvattenrör i provtagningspunkterna ger underlag för en mycket översiktlig bedömning av marklagrens jordartssammansättning, men ger inte någon tillförlitlig information för bedömning av jordartsstratigrafin i någon högre upplösning. Således föreligger osäkerheter avseende den karterade geologin i de olika provtagningspunkterna inom och vid flygplatsområdet, med följderna att det är oklart vilken akvifer de enskilda provtagningspunkterna kan anses representera, vilket påverkar bedömningen av hur provtagningspunkterna förhåller sig till varandra beträffande spridningen och föroreningssituationen av PFAS i grundvattnet. Därav görs en extra ansats i den föreliggande rapporten att undersöka och klargöra eventuella hydrogeologiska och hydrogeokemiska samband mellan provtagningspunkterna, utifrån de insamlade analys- och mätunderlagen.

Grundvattnets flödesriktning har bedömts med beaktande av skillnaden i grundvattnets tryckyta (grundvattennivå) mellan de olika provtagningspunkterna. Märk väl att högre tryckytor i punkt A i förhållande till punkt B inte nödvändigtvis medför att punkt B påverkas av ett grundvattenflöde från punkt A. Till exempel har tryckytorna under uppföljningsprogrammet varit markant högre i provtagningspunkterna GV1601, som är belägen vid flygplatsområdets östra sida, än i Klastorp, som är belägen i flygplatsområdets sydvästra sida, men det bedöms inte föreligga något grundvattenflöde mellan dessa lokaler, vare sig direkt genom moränområdet med berg-i-dagen, som skiljer lokalerna åt, eller runt detta område; via Uppsalaåsen och Jumkilsåsen.

5.1 Grundvattennivåer (trycktor)

Grundvattnets trycktor (grundvattennivåer) bestämda genom manuella lodningar och mätningar med Diver-mätare (automatiska tryckmätare som registrerar ett mätvärde varje timme), redovisas i tabell 5 och har åskådliggjorts i diagram i figur 2 respektive figur 3 och figur 4.

Skillnaden mellan de trycktor som bestämts genom de manuella lodningarna och Diver-mätningarna framgår av tabell 5 och är i allmänhet mycket små; medelavvikelserna mellan de lodade mätningarna och Diver-mätningarna ligger inom intervallet 0–16 mm, vilket kan anses ligga inom den felmarginal som följer av de manuella lodningarna, mätningarna av grundvattenrörens röröverkanter och inmätningen av grundvattenrören med avvägningsinstrument. Överensstämmelsen mellan de manuella lodningarna och Diver-mätningarna kan sålunda anses vara mycket god, men då hela datamängden betraktas blir det uppenbart att de manuella lodningarna enbart ger en mycket översiktlig och momentan bild av hur grundvattnets trycknivå fluktuerar inom de olika provtagnings-lokalerna (jämför figur 2 med figur 3). Bedömningar som enbart baseras på de manuella lodningarna riskerar därför att leda till felaktiga slutsatser om trender i grundvattnets tryckteförändringar och om skillnader i tryckta mellan olika provtagningspunkter.



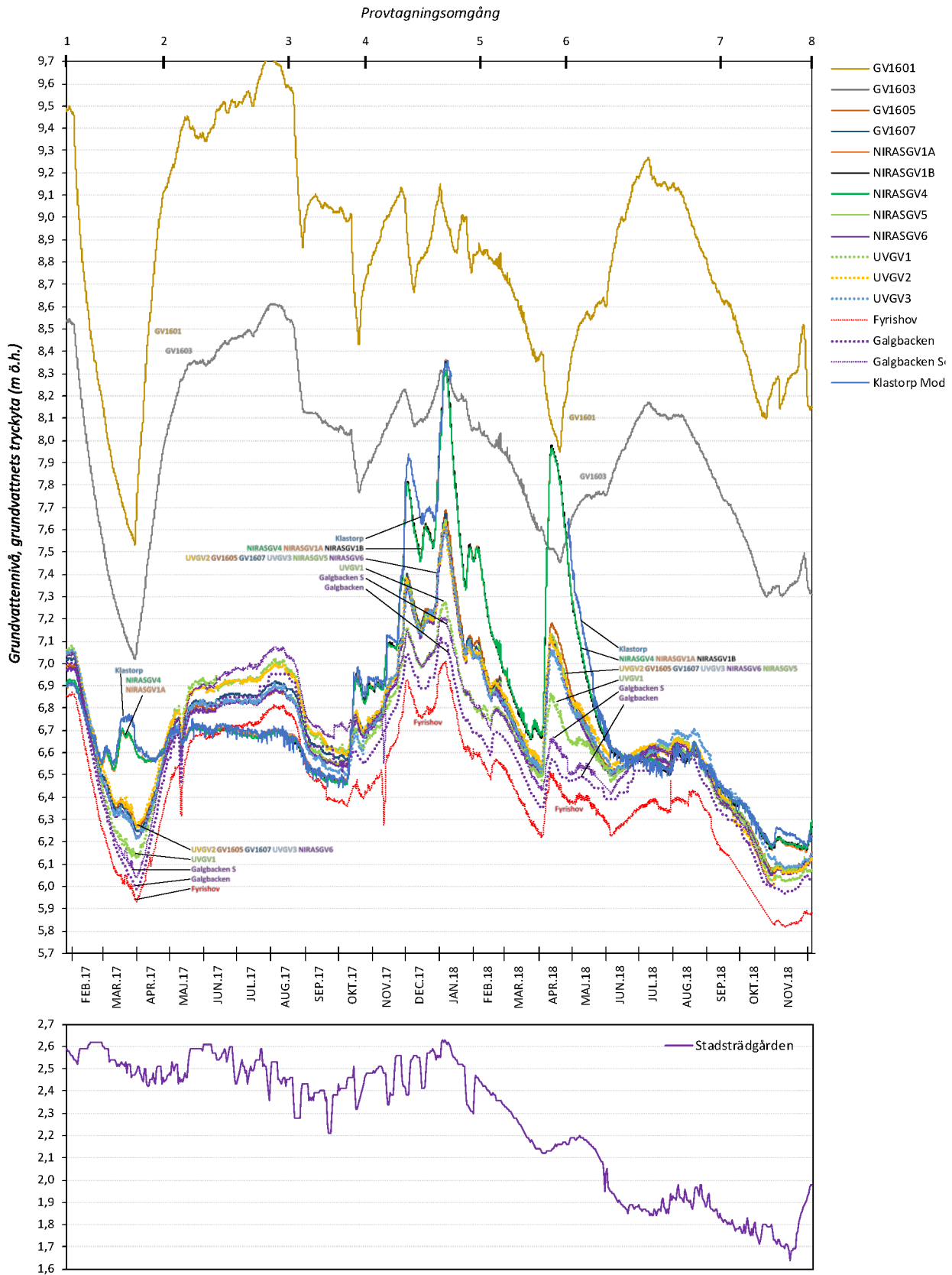
Figur 2. Grundvattennivåer (trycktor) i meter över havet (m ö.h., RH2000) representerade av linjer baserade på manuella lodningar i Försvarmaktens provtagningspunkter vid respektive provtagningsomgång. Linjerna mellan respektive provtagningsomgång ska inte tolkas som trendlinjer. Se figur 1 för provtagningspunkternas placering.

Helldén Environmental Engineering AB

De manuella lodningarna bekräftar riktigheten i Diver-mätningarna, men figur 2 som visar tryckytorna i Försvarsmaktens provtagningspunkter, baserat på manuella lodningar, bör inte ligga till grund för tolkningar av strömningssamband eller upprättande av modeller över det hydrogeologiska systemet. Figur 3, som redovisar motsvarande Diver-mätningar, är bättre lämpat för jämförelser mellan provtagningslokaler och bedömningar av hydrogeologiska förhållanden. Därtill omfattar figur 3 även tryckytorna i Uppsala Vattens provtagningslokaler. Provtagningspunkten ÄRNAGV1 saknas emellertid i figur 3, då grundvattenröret i denna punkt är för smalt för Diver-mätaren.

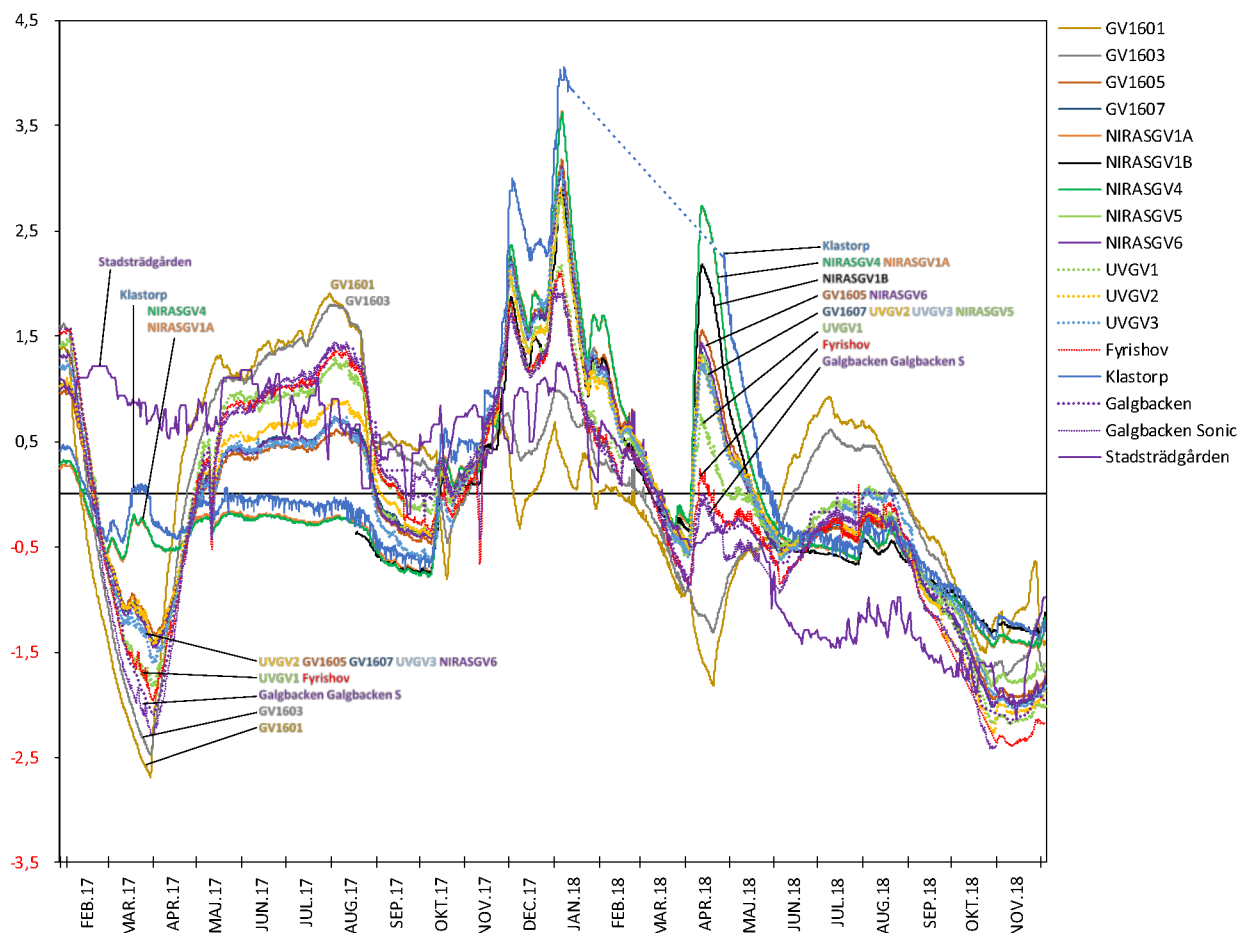
Tabell 5. Grundvattennivåer (grundvattnets trycktor) bestämda genom manuella mätningar med elektroniskt grundvattenlod samt jämförelse mot automatiska Diver-mätningar i Försvarsmaktens provtagningspunkter. Tryckytorna anges i meter över havet (m ö.h.) enligt RH2000. Negativa skillnader i rött avser de fall då Diver-mätvärdet är lägre än mätvärdet från lodningen.

		ÄRNAGV1	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	Medel:
Omgång 1	Lodning	14,35	6,88	6,86	6,89	6,80	6,98	9,50	8,48	6,98	6,96	0,011
	Diver		6,89		6,91		6,97	9,49	8,50	7,00	6,99	
	Skillnad		0,01		0,02		0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	
Omgång 2	Lodning	14,19	6,61	6,60	6,62	6,56	6,57	9,12	7,96	6,59	6,54	0,001
	Diver		6,62		6,62		6,55	9,13	7,95	6,58	6,57	
	Skillnad		0,01		0,00		0,02	0,01	0,01	0,01	0,03	
Omgång 3	Lodning	13,42	6,66	6,66	6,68	6,85	6,85	9,58	8,50	6,85	6,84	0,010
	Diver		6,67	6,64	6,67	6,83	6,83	9,58	8,50	6,85	6,85	
	Skillnad		0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	
Omgång 4	Lodning	14,53	6,81	6,81	6,82	6,67	6,67	8,74	7,83	6,69	6,67	0,000
	Diver		6,82	6,81	6,81	6,67	6,67	8,73	7,82	6,69	6,67	
	Skillnad		0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	
Omgång 5	Lodning	14,53	7,45	7,45	7,44	7,01	7,00	8,85	8,02	7,09	7,00	0,002
	Diver		7,44	7,45	7,43	7,03	7,00	8,84	8,05	7,06	7,03	
	Skillnad		0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,01	0,03	0,03	0,03	
Omgång 6	Lodning	14,37	7,51	7,51	7,52	6,92	6,91	8,19	7,54	6,97	6,89	0,000
	Diver		7,52	7,51	7,52	6,91	6,89	8,20	7,54	6,96	6,91	
	Skillnad		0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	
Omgång 7	Lodning	13,62	6,43	6,43	6,44	6,39	6,40	8,64	7,75	6,41	6,39	0,012
	Diver		6,45	6,43	6,45	6,41	6,40	8,66	7,77	6,41	6,41	
	Skillnad		0,02	0,00	0,01	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	
Omgång 8	Lodning	14,17	6,30	6,30	6,33	6,15	6,15	8,15	7,30	6,15	6,14	0,010
	Diver		6,30	6,30	6,31	6,14	6,14	8,14	7,31	6,15	6,14	
	Skillnad		0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	
Medelskillnad:			0,008	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,006	0,000	0,016	



Figur 3. Grundvattennivåer (trycktytor) i meter över havet (m ö.h., RH2000) bestämda genom Diver-mätningar. Datamängden har behandlats och korrigerats med avseende på mätfel enligt beskrivningen i bilaga 2C. Se figur 1 för provtagningspunkternas placering. En större version av diagrammet finns i bilaga 2C.

I årsrapporten för uppföljningsprogrammets första år konstaterades en övergripande samvariation avseende grundvattnets tryckyta i majoriteten av provtagningslokalerna. Detta antogs kunna bero på att punkterna har installerats i och påverkas av samma övergripande hydrogeologiska system, som förenklat består av grundvattenmagasinen i de två huvudsakligen underjordiska åsarna av isälvs-material (Uppsalaåsen och Jumkilsåsen) och utkanten av akviferen i morän som underlagrar stora delar av flygplatsområdet och avdelar de två åsarna. De stora likheterna mellan flertalet av provtagningslokalerna gör att de tydligaste sambanden dem emellan, beträffande tryckytetförändringen i grundvattnet över tid, enkelt kan uttolkas av diagrammet i figur 3, som även har den fördelaktiga egenskapen att den direkt visar hur tryckytorna skiljer sig i absolut höjd mellan de olika lokalerna. Det är emellertid svårare att bedöma hur de provtagningslokaler som i något hänseende avviker från de övriga, såsom GV1601, GV1603 och Stadsträdgården, varierar i förhållande till den övergripande samvariationen. För att underlätta jämförelsen, redovisas i figur 4 ett diagram motsvarande det i figur 3, men som är baserad på standardiserade dataserier. Vidare ger resultatet av de statistiska analyserna som framgår av tabell 6, figur 5 och figur 6 en mer nyanserad bild av vilka eventuella samband som kan föreligga mellan de olika provtagningslokalerna.



Figur 4. Standardiserade mätserier av grundvattnets trycktytor bestämda genom Diver-mätningar, behandlade/korrigerade enligt beskrivningen i bilaga 2C. Se provtagningslokalernas placering i figur 1. Ett större diagram finns i bilaga 2C.

En klusteranalys av Diver-dataserierna redovisas i figur 5; i form av ett dendrogram som visualiserar likheter mellan provtagningspunkterna, med avseende på fluktuationer i grundvattnets tryckyta. De punkter som liknar varandra mest placeras i samma kluster. På motsvarande sätt grupperar de punkter som är mest lika varandra i ordinationsdiagrammet av principalkomponenter som redovisas i figur 6.

GV1601 och GV1603 uppvisar den kraftigaste fluktuationen i grundvattnets tryckyta av de beaktade provtagningspunkterna (figur 3). Dessa punkter korrelerar starkt positivt med varandra (tabell 6) och placeras vid klusteranalysen i ett eget kluster (figur 5), som dock är del av ett större kluster bestående av UVGV1, Fyrishov och Galgbacken, vilka är belägna i Uppsalaåsen. Detta samband framgår även tydligt av figur 4 som i kontrast till figur 3 visar hur dessa provtagningspunkter på ett övergripande sätt följer varandra. GV1601 och GV1603 förefaller således ha mer gemensamt med de i Uppsalaåsen belägna provtagningslokalerna Galgbacken, UVGV1 och Fyrishov, än med de övriga punkterna inom eller vid flygplatsområdet med avseende på fluktuationerna i grundvattnets tryckyta. Särskilt stark är korrelationen mellan GV1603 och Galgbacken. Tryckyteförhållandena i GV1601 och GV1603 bedöms kunna vara direkt påverkade av den konstgjorda infiltrationen i Tunåsen och exempelvis de plötsliga sänkningarna i tryckytan i slutet av augusti, oktober och i skiftet november-december år 2017 beror troligtvis på att infiltrationen tillfälligt minskat eller upphört. Dendrogrammet visar även på likheter mellan det övergripande klustret (av GV1601, GV1603, UVGV1, Fyrishov och Galgbacken) och Stadsträdgården, men korrelationen är svag och fluktuationerna i Stadsträdgården visar på ett mönster som avviker från samtliga de övriga lokalerna (figur 4); förmodligen med anledning av skillnader i grundvattenbildning och -uttag i den norra respektive södra delen av Uppsalaåsen, längs sträckningen mellan flygplatsen och Stadsträdgården. Principalkomponentanalysen visar emellertid inte på någon stark koppling (gruppering) mellan GV1601/GV1603 och provtagningspunkterna i Uppsalaåsen (figur 5); beroende på den mellan provtagningslokalerna avvikande divergensen som tydligast framgår av figur 4 för perioden april-maj år 2018. Mot bakgrund av de statistiska analyserna av Diver-dataserierna bedöms likartade hydrogeologiska förhållanden råda vid provtagningspunkterna GV1601 och GV1603. GV1601 bedömdes vid installationstillfället vara placerad i ett 4 m tjockt jordlager av lerig och grusig sand, som dock antogs utgöra en perifer del av Uppsalaåsen, under ett ca 15 m mäktigt lager av leriga jordarter. GV1603 installerades emellertid enligt karteringen i ett tunt lager, om ca 1 m, av sandig morän under ett ca 28 m mäktigt jordtäckte av leriga jordarter. Med beaktande av resultaten från de statistiska analyserna av Diver-dataserierna bedöms det som sannolikt att även GV1601, dvs. att båda provtagningspunkterna/ grundvattenrören, är installerade i moränakviferens utkant mot Uppsalaåsen.

En annan grupp av provtagningspunkter som korrelerar mycket starkt till varandra beträffande både tryckytans absoluta höjd vid ett givet tillfälle och dess förändring över tid (figur 3, figur 4, tabell 6), består av NIRASGV1A, NIRASGV1B, NIRASGV4 och Klastorp. Dessa provtagningspunkter uppvisade i allmänhet högre absoluta trycktytor än samtliga de övriga provtagningspunkterna (med undantag för GV1601 och GV1603). Detta är också vad som förväntas med anledning av gruppens nordliga placering i eller vid Jumkilsåsen, i ett uppströms förhållande till provtagningslokalerna vid och i Uppsalaåsen. Däremot observerades två perioder då tryckytorna i de aktuella punkterna generellt var lägre än i de övriga lokalerna; nämligen maj-oktober år 2017 och juli-augusti år 2018. I normalläget flödar grundvattnet i en generell sydostlig riktning genom Jumkilsåsen till Uppsalaåsen, men det observerade växlande tryckyteförhållandet kan innebära att grundvattnets strömning periodvis ändrar riktning och att grundvatten från Uppsalaåsen istället flödar in i Jumkilsåsen. Det kan inte uteslutas att det växlande tryckyteförhållandet är en årligen återkommande omständighet. Skillnaderna var emellertid mindre framträdande under motsvarande period år 2018 jämfört med år 2017, vilket kan indikera att växlingen inte inträffar varje år och att det observerade förhållandet ytterst är en företeelse som följer av särskilda betingelser avseende grundvattenbildning och -uttag. Dessa betingelser, dvs. orsakerna till växlingen i tryckyteförhållande, har inte undersökts vidare.

Det bör noteras att mätresultaten avseende grundvattnets tryckyta från provtagningspunkten Klastorp inte är helt tillförlitliga, se bilaga 2C. Det är även oklart om provtagningspunkten är installerad i jordlager eller i berggrunden. Det finns ingen dokumentation som visar hur provtagningspunkten har installerats och inga djuplodningar har genomförts. Uppsala Vatten, som står för mätningen och provtagningen av provtagningspunkten, har tidigare hävdade att Klastorp är en bergborrad brunn, vilket i så fall leder till slutsatsen att berggrundsakviferen, åtminstone vid Jumkilsåsen, kan betraktas som en del av ett övergripande, med avseende på grundvattnets tryckyta, samvarierande hydrogeologiskt system med åsakviferen och perifera delar av moränakviferen. Geologin i området är emellertid oklar.

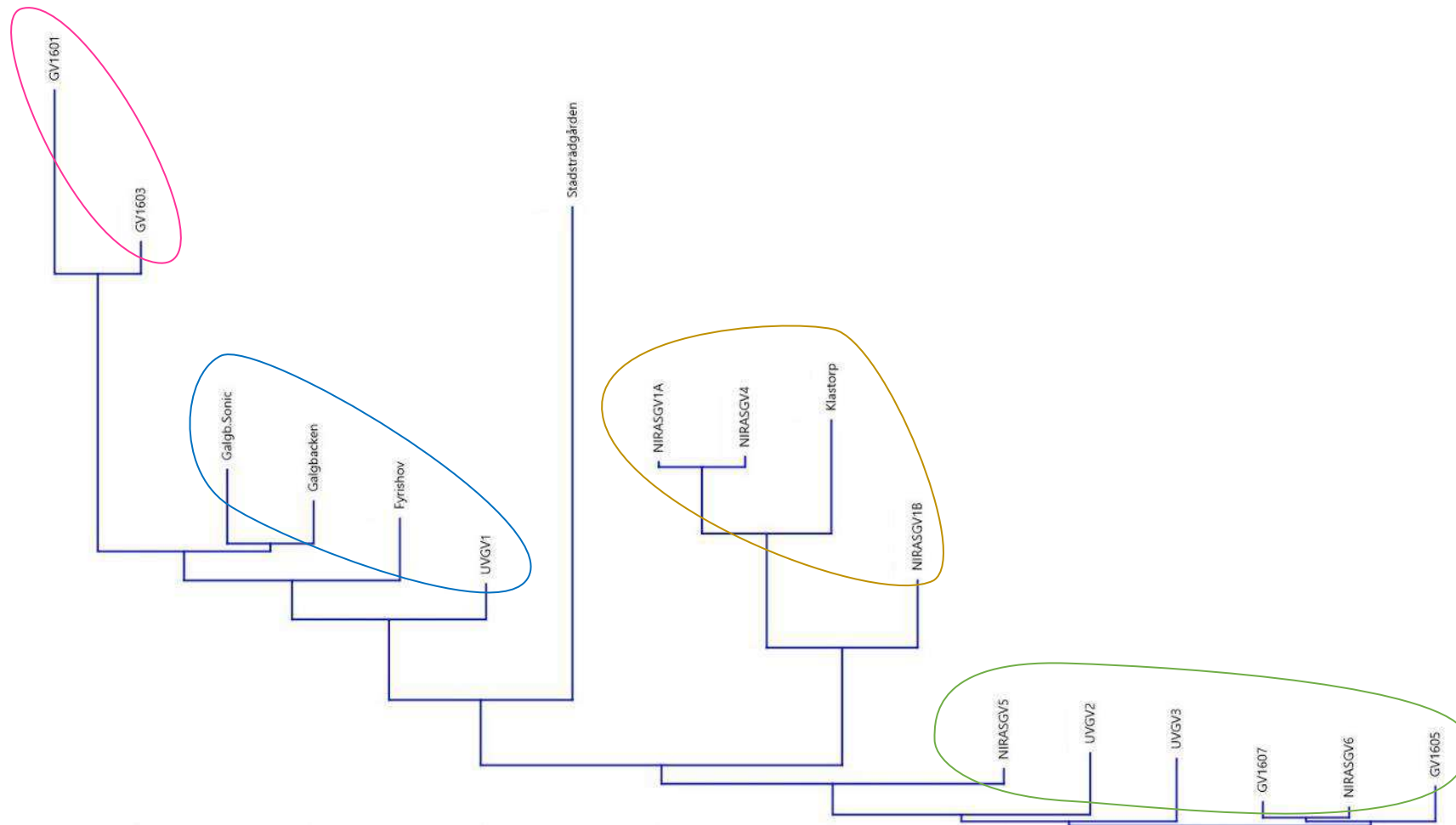
En annan grupp av provtagningspunkter som samvarierar mycket starkt med avseende på grundvattnets tryckyta utgörs av NIRASGV5, NIRASGV6, GV1605, GV1607, UVG2 och UVG3, vilka är belägna vid eller strax uppströms gränssnittet mellan Jumkilsåsen och Uppsalaåsen. Främst GV1605 har bedömts vara belägen i moränakviferen, men vid installationen av grundvattenröret karterades ingen morän i provtagningspunkten. Istället beskrevs ett tunt lager (0,2 m) av grusig sand mot bergöverytan vilket kan indikera att provtagningspunkten kan vara belägen i en perifer del av Jumkilsåsen. Avsaknaden av provtagningspunkter som utan tvivel är placerade i moränakviferen, mer centralt inom flygplatsområdet, försvårar bedömningen av i vilken utsträckning de enskilda provtagningspunkterna vid åsarnas gränssnitt står i anslutning/förhållande till moränakviferen. Det är även oklart om någon av dessa provtagningspunkter ens är helt representativ för Jumkilsåsen, eller om samtliga av NIRASGV5, NIRASGV6, GV1605, GV1607, UVG2 och UVG3 inte bara föreligger i gränssnittet mellan Jumkilsåsen och Uppsalaåsen, utan även i gränssnittet mellan åssystemet och moränakviferen. Grundvattnets strömningsriktning i Jumkilsåsen bedöms i normalfallet ske mot sydsydost för en sammanblandning med Uppsalaåsens grundvattenakvifer. Grundvattnets flöde vid de provtagningspunkter som är belägna längre in på flygplatsområdet, såsom GV1605, torde anta en riktning som är mer vinkelrät mot Jumkilsåsen, dvs. sydvästlig till sydlig, och styrs förmodligen även av bergöverytans topografi. Gränsområdet mellan Jumkilsåsen och Uppsalaåsen uppvisar emellertid inte ett enhetligt förhållande jämte de uppströms och nedströms belägna provtagningspunkterna med avseende på grundvattnets absoluta trycktytor, vilket försvårar bedömningen av grundvattnets strömningsriktning.

Det råder ingen tvekan om att provtagningslokalerna Galgbacken och Fyrishov är belägna i Uppsalaåsen. Enligt SGU:s karta över grundvattenmagasin föreligger UVG1 strax invid åsmagasinet eller precis i utkanten av det angränsande moränområdet. Vid grundvattenrörets installation karterades mäktiga lager av sandiga och grusiga jordarter och den statistiska analysen indikerar att UVG1 har sin placering i Uppsalaåsen. UVG1 och Galgbacken följer i regel varandra mycket väl avseende grundvattnets trycknivåutveckling över tid, men höjdskillnaden dem emellan uppvisar en fluktuation som gör att grundvattnets strömningsriktning blir svårbestämd; de två provtagningslokalerna förefaller generellt ligga kring samma trycknivå, men uppvisar perioder då tryckytan är växelvis högre och alternativt lägre i höjdförhållandet. Växlingen i tryckytetförhållande har tidigare beskrivits beträffande Jumkilsåsen, men förefaller påverka hela området kring flygplatsområdets södra spets. Det är mot bakgrund av detta möjligt att grundvatten under vissa omständigheter kan flöda växelvis mellan UVG1 och Galgbacken, men detta förhållande bedöms i praktiken som mindre troligt. Det är mer sannolikt att grundvattnet från bägge punkterna i allmänhet strömmar i en generell riktning mot sydsydost, i enlighet med den allmänna förståelsen av flödet genom Uppsalaåsen.

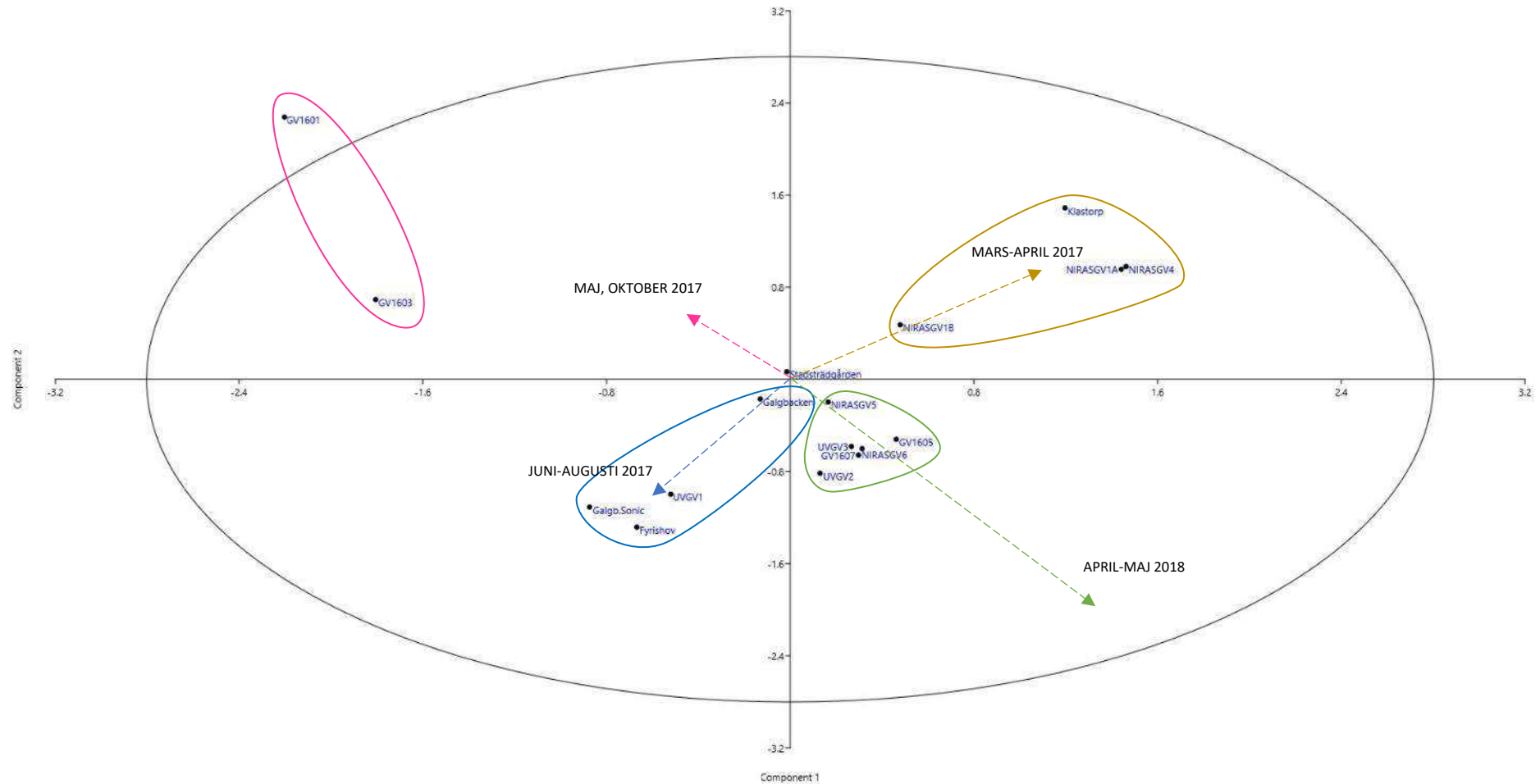
Helldén Environmental Engineering AB

Tabell 6. Deskriptiv korrelation mellan respektive provtagningspunkt med avseende på standardiserade mätserier av absolut grundvattennivå (grundvattnets absoluta tryckyta) uppmätt med Diver-mätare under perioden från januari år 2017 till december år 2018. Korrelationsmatrisen har färgsatts efter korrelationsstyrka så att mörkare grönt indikerar starkare positiv korrelation och gult låg eller obefintlig korrelation. En beskrivning av korrelationsanalysanalysen som statistiskt verktyg ges av stycke 4.5.3.

GV1601	1,00																
GV1603	0,96	1,00															
GV1605	0,43	0,63	1,00														
GV1607	0,48	0,67	1,00	1,00													
NIRASGV1A	0,06	0,26	0,91	0,88	1,00												
NIRASGV1B	0,12	0,42	0,96	0,94	1,00	1,00											
NIRASGV4	0,05	0,25	0,90	0,87	1,00	1,00	1,00										
NIRASGV5	0,37	0,65	1,00	1,00	0,95	0,95	0,95	1,00									
NIRASGV6	0,48	0,67	1,00	1,00	0,88	0,95	0,88	1,00	1,00								
UVGV1	0,70	0,85	0,93	0,95	0,69	0,84	0,68	0,96	0,95	1,00							
UVGV2	0,53	0,71	0,99	0,99	0,84	0,92	0,84	0,99	0,99	0,97	1,00						
UVGV3	0,49	0,68	0,99	0,99	0,87	0,94	0,86	0,99	0,99	0,94	0,98	1,00					
Fyrishov	0,69	0,85	0,89	0,92	0,60	0,78	0,60	0,94	0,91	0,99	0,94	0,91	1,00				
Klastorp	0,15	0,32	0,88	0,85	0,99	1,00	1,00	0,94	0,85	0,67	0,81	0,84	0,62	1,00			
Galgb. Sonic	0,75	0,89	0,85	0,88	0,54	0,71	0,53	0,89	0,88	0,98	0,91	0,87	0,99	0,55	1,00		
Galgbacken	0,75	0,90	0,87	0,90	0,58	0,75	0,57	0,91	0,90	0,99	0,92	0,90	0,99	0,60	0,99	1,00	
Stadsträdg.	0,30	0,44	0,60	0,62	0,45	0,70	0,45	0,80	0,60	0,64	0,65	0,57	0,60	0,50	0,55	0,60	1,00
	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	UVGV1	UVGV2	UVGV3	Fyrishov	Klastorp	Galgb. Sonic	Galgbacken	Stadsträdg.



Figur 5. Dendrogram efter klusteranalys (neighbour joining clustering med euklidisk distans) av standardiserade Diver-data från januari år 2017 till december år 2018. En hierarkisk klusteranalys (HCA) av samma datamängd ger ett likvärdigt resultat med samma klusterbildning och en korrelationskoefficient (cophen) på 0,86. Färgmarkeringarna omfattar samma provtagningspunkter som i ordinationsdiagrammet av principalkomponentanalysen i figur 6. Mätunderlaget för bland andra provtagningspunkten Klastorp (bergborrad brunn) har korrigerats för att eliminera mätfel i enlighet med bilaga 2C. Klusteranalysen genomfördes på standardiserade data i programvaran Past3.



Figur 6. Ordinationsdiagram från principalkomponentanalys (PCA) med avseende på Diver-dataserier från år 2017–2018. Gruppering respektive separation av de enskilda provtagningspunkterna sker i övergripande enlighet med avseende på grundvattnets trycknivåförhållanden kring de tillfällen som anges vid respektive pilspets. Pilarna visar en förenklad bild av beskrivningsvariablernas generella inverkan på hur objekten/punkterna placeras i diagrammet och ska inte tolkas som faktiska beskrivningsvariabler. Principalkomponent 1 och 2 förklarar 76,6% respektive 10,3% av variationen. Principalkomponentanalysen genomfördes på standardiserade data i programvaran Past3.

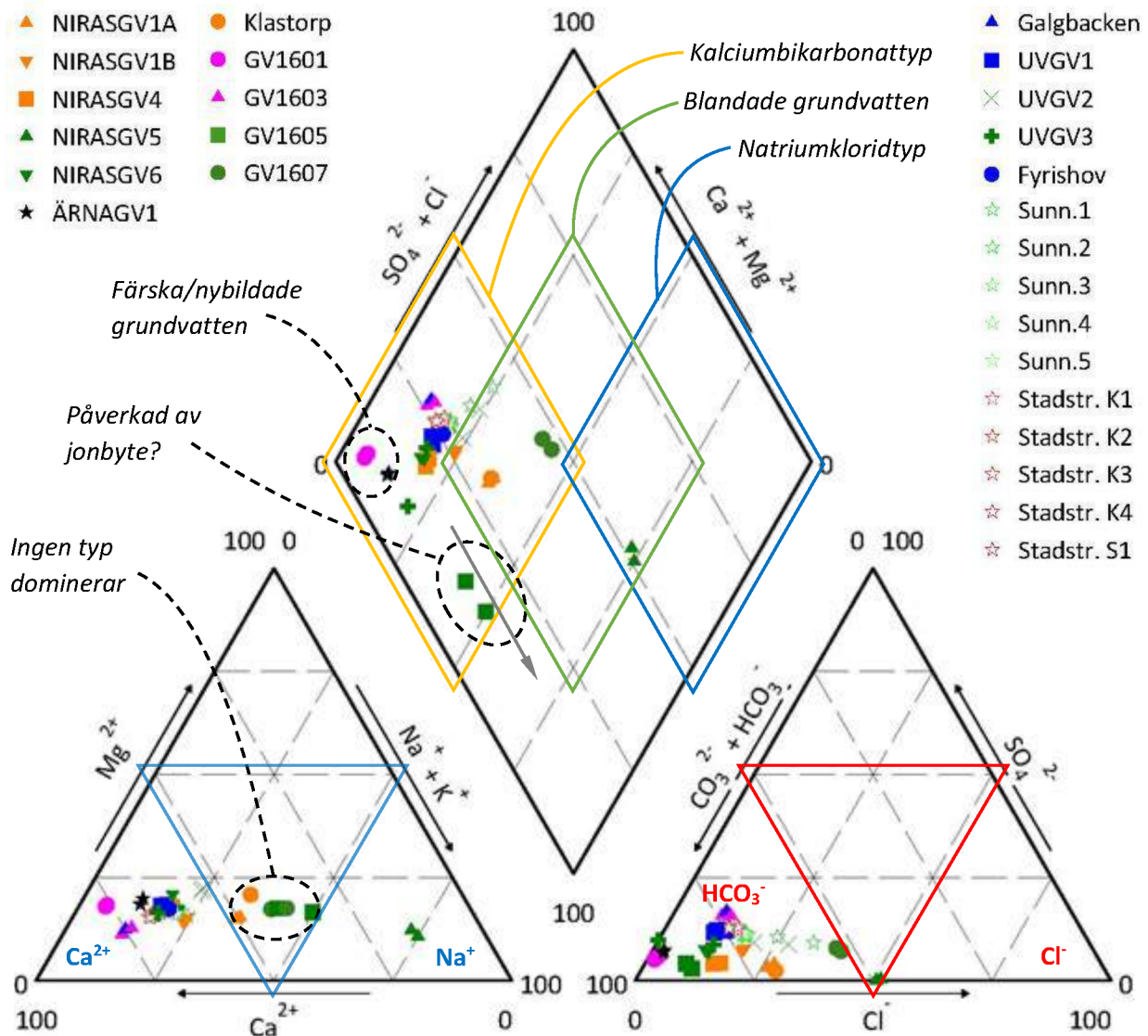
5.2 Hydrokemisk karaktärisering

Grundvattnets kemiska sammansättning påverkas av bland annat jordmån, oxidation/reduktion, kemisk vittring, sorption (fastläggning) och jonbyte. Ett Piperdiagram åskådliggör grundvattenkemin med avseende på de relativa fraktionerna av de i grundvatten dominerande katjonerna kalcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), natrium (Na^+) och kalium (K^+) samt anjonerna klorid (Cl^-), sulfat (SO_4^{2-}), karbonat (CO_3^{2-}) och vätekarbonat (HCO_3^-), vilka utritas i de två trekantiga nedre diagrammen och sedan kombineras i det rombformade (figur 7). Piperdiagram kan användas för att bedöma vilken vattentyp (hydrogeokemisk facies) som ett grundvatten tillhör (beroende på var i romben grundvattnet placerar sig) eller för att jämföra olika grundvatten (beroende på hur de olika grundvattnen placerar sig i förhållande till varandra). Grundvatten som, beroende på ursprung och omgivningens påverkan, liknar varandra, med avseende på jonförhållandet placerar sig således nära varandra i romben. I allmänhet placerar sig vattentyper av färskt och ytligt grundvatten i rombens vänstra kvadrant; i rombens högra kvadrant placeras grundvatten som till exempel är påverkade av havsvatten (eller t.ex. vägsalt) och i rombens nedre kvadrant placeras djupa grundvatten som påverkats av jonbytesprocesser vid kontakt med till exempel leriga jordarter, som växlat in kalcium i utbyte mot natrium.

Diagrammet visar att grundvattnet vid majoriteten av provtagningslokalerna innehåller en hög andel kalcium och vätekarbonat, vilket kan förväntas av nederbörd infiltrerad genom kalkrika jordarter. Däremot föreligger en låg andel kalcium i NIRASGV5 och grundvattnet kan härvid klassificeras som av natriumtyp. NIRASGV5 utmärks även av en högre andel klorid och uppvisar en mycket hög kloridhalt (som gränsar till den koncentration varvid vattnet smakar salt). Flera provtagningspunkter i närområdet uppvisar visserligen förhöjda halter av klorid; Klastorp, NIRASGV1A, NIRASGV1B, NIRASGV4 och UVGV2 visar på halter av klorid överskridande 50 mg/l, men avvikande höga halter kan konstateras i NIRASGV5 (över 300 mg/l). Det kan inte uteslutas att provtagningspunkten är påverkad av relict saltvatten; dvs. av klorid som eventuellt är innesluten i leravlagringen (grundvattenrörets filter sitter enligt borrprotokollet i lerlagrets underkant), men det är också möjligt att grundvattnet vid NIRASGV5 är förorenat på ett sätt som påverkar jonförhållandet (av t.ex. vägsalt), snarare än att grundvattnet är av en annan naturlig hydrogeokemisk facies. Vid provtagningar av detta grundvatten har även en avvikande lukt ibland noterats. NIRASGV5 bedöms vara belägen strax uppströms GV1607, som också uppvisar en relativt stor andel och hög halt av klorid i förhållande till övriga provtagningspunkter i närområdet. GV1607 kan sålunda vara påverkad av det grundvatten och de jonförhållanden som råder vid NIRASGV5.

ÄRNAGV1 utmärks av generellt lägre (mer utspädda) halter av de beaktade jonerna, vilket kan förklaras av att provtagningspunkten ligger nära ett inströmningsområde av moränkullar och berg i dagen. Grundvattnet kan sålunda förväntas vara relativt färskt/nybildat i området. Turbiditeten/grumligheten är emellertid avvikande hög i ÄRNAGV1, som därtill är placerad i kanten av ett dagvattendike, vilket leder till misstanken att provtagningspunkten kan vara direkt påverkad av dagvatten (avrinnande nederbörd). ÄRNAGV1 uppvisar mycket låg spridning mellan de två provtagningsomgångarna, avseende de i Piperdiagrammet ingående jonerna, trots att jonbalansen vid provtagningsomgång 7 härvid avvek med nästan 20 procentenheter (vid omgång 8 var jonförhållandet mycket välbalanserat (0,17%), se tabell 7). Det är möjligt att avvikelsen/obalansen orsakades av en tillfällig dagvattenförorening som tillförde främmande anjoner till grundvattnet.

Det kan i Piperdiagrammet inte uttydas någon allmängiltig skillnad, avseende grundvattnets relativa jonförhållanden, mellan moränakviferen inom stora delar av flygplatsområdet och åssystemets grundvatten. Det är emellertid oklart om de rörinstallationer som finns inom flygplatsområdet verkligen är helt representativa för moränakviferen. ÄRNAGV1 kan vara påverkad av dagvatten och är förmodligen inte representativ för någon grundvattenakvifer, GV1601 och GV1603 bedöms mot bakgrund av grundvattnets tryckteförhållanden vara belägna i nära anslutning till Uppsalaåsen och NIRASGV1A, NIRASGV1B, NIRASGV4, NIRASGV6 och GV1607 är endera installerade i eller nära Junkilsåsen. NIRASGV5 bedöms vara installerad i ett område av morän, men jonförhållandet i det aktuella delområdet bedöms inte vara representativt för moränakviferen i stort, med anledning av den höga kloridhalten. Således återstår endast en provtagningspunkt inom vilken jonförhållandet kan förmodas representera moränakviferens hydrogeokemiska facies; nämligen GV1605. Av Piperdiagrammet impliceras en viss tendens till jonbyte i GV1605, vilket indikeras med den utritade pilen. Hade lägre halter av klorid förelagat i NIRASGV5 skulle även denna provtagningspunkt placeras vid denna pil.



Figur 7. Piperdiagram som åskådliggör jonförhållandet i procent milliekvivalenter per liter (%meq/l) i varje provtagningspunkt vid provtagningsomgång 7 och 8 i september respektive december år 2018. Diagrammet ritades i programvaran GW_Chart tillhandahållen av USGS (U.S. Geological Survey).

Vid kontroll av jonbalansen konstateras i allmänhet små avvikelser, underskridande 5 %, av netto-laddningen mellan de joner som ingår i Piperdiagrammet (figur 8 och tabell 7). Avvikelser överskridande 5 % kan noteras för GV1605 (provtagningsomgång 7), UVGV3 (omgång 7) och GV1601 (omgång 8). Avvikelser överskridande 7 % kan noteras för UVGV1 (omgång 8), UVGV3 (omgång 8), Sunnersta 1 (omgång 8), Stadsträdgården S1 (omgång 8), GV1601 (omgång 7) och Stadsträdgården K1 (omgång 8). För ÄRNAGV1 (omgång 7) noteras en avvikelse på 18,6 %. En sammanställning och jämförelse av jonbalanser finns i tabell 7 och figur 8. Piperdiagrammet i figur 7 innehåller resultaten för provtagningsomgång 7 och 8, då kemiska analysdata saknas för Uppsala Vattens provtagningslokaler från de tidigare provtagningsomgångarna.

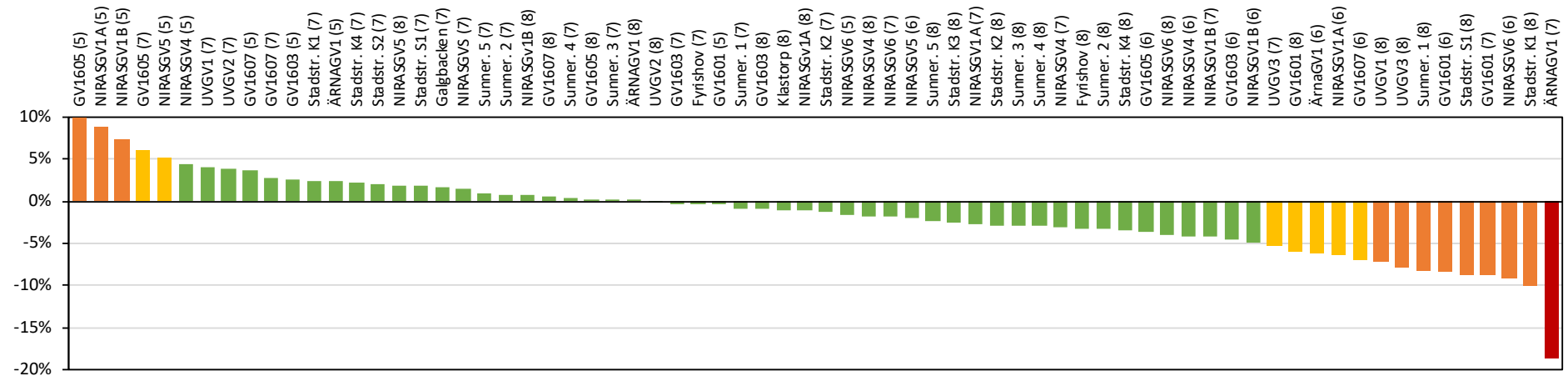
Principalkomponentanalysen av samtliga hydrogeokemiska analysresultat från provtagningsomgång 7 och 8, bekräftar i stort den bild som förmedlas av Piperdiagrammet; att de hydrokemiska skillnaderna är små mellan provtagningslokalerna inom flygplatsområdet och i Uppsalaåsen (figur 10, figur 11). Principalkomponentanalysens förklaringsgrad är låg; mellan de två första principalkomponenterna förklaras knappt 50 % av variationen, med följderna att de eventuella samband som uttolkas blir av en mer indikativ natur. Av ordinationsdiagrammet (figur 10) står det emellertid klart att de tre provtagningspunkterna GV1605, NIRASGV5 och ÄRNAGV1 avviker från de övriga lokalerna. De två senare uppvisar en så stor avvikelse att de utgör uteliggare, med avseende på främst klorid, barium och natrium, respektive turbiditet, färg, kisel, järn, kobolt, arsenik, COD, DOC, mangan och arsenik.

Ordinationsdiagrammet indikerar en viss samvariation mellan GV1605, Klastorp och NIRASGV1A med avseende på främst bor, ammonium och fosfat, vilket medför en separation från den rödmarkerade gruppen bestående av Stadsträdgården, UVGV1, UVGV3 och GV1601 i en lös sammanhållning med Sunnersta (Uppsala Vattens brunnsområde beläget i Uppsalaåsen söder om Stadsträdgården och som egentligen inte ingår i uppföljningsprogrammet). Den röda grupperingen placerar sig i diagrammets tredje kvadrant med avseende på främst sulfat, kalcium, kadmium, molybden och zink. Diagrammet indikerar även på samvariation mellan Galgbacken och GV1603 (orange markering), med avseende på nitrat och i ett motsatt förhållande med karbonat, strontium och magnesium. Därtill kan en viss korrelation mellan GV1607 och UVGV2 uttydas. Sambanden är emellertid svaga. Korrelationsmatriser har beräknats för varje hydrogeokemisk parameter och redovisas i bilaga 2E.

En klusteranalys av de hydrogeokemiska analysresultaten lyfter huvudsakligen fram det mönster som indikeras av principalkomponentanalysen. I dendrogrammet (figur 9) framgår emellertid inte den relativt tydliga separationen av Galgbacken och GV1603 från Stadsträdgården och de övriga provtagningslokalerna i Uppsalaåsen, vilken indikeras av ordinationsdiagrammet. Dendrogrammet av klusteranalysen implicerar istället att Galgbacken och GV1603, liksom NIRASGV6 och Fyrishov, bättre hör hemma inom den röda markeringen i ordinationsdiagrammet. Detta styrker emellertid bara den tidigare iakttagelsen att det inte råder några större allmängiltiga skillnader mellan de aktuella provtagningslokalerna, med avseende på de hydrogeokemiska parametrarna.

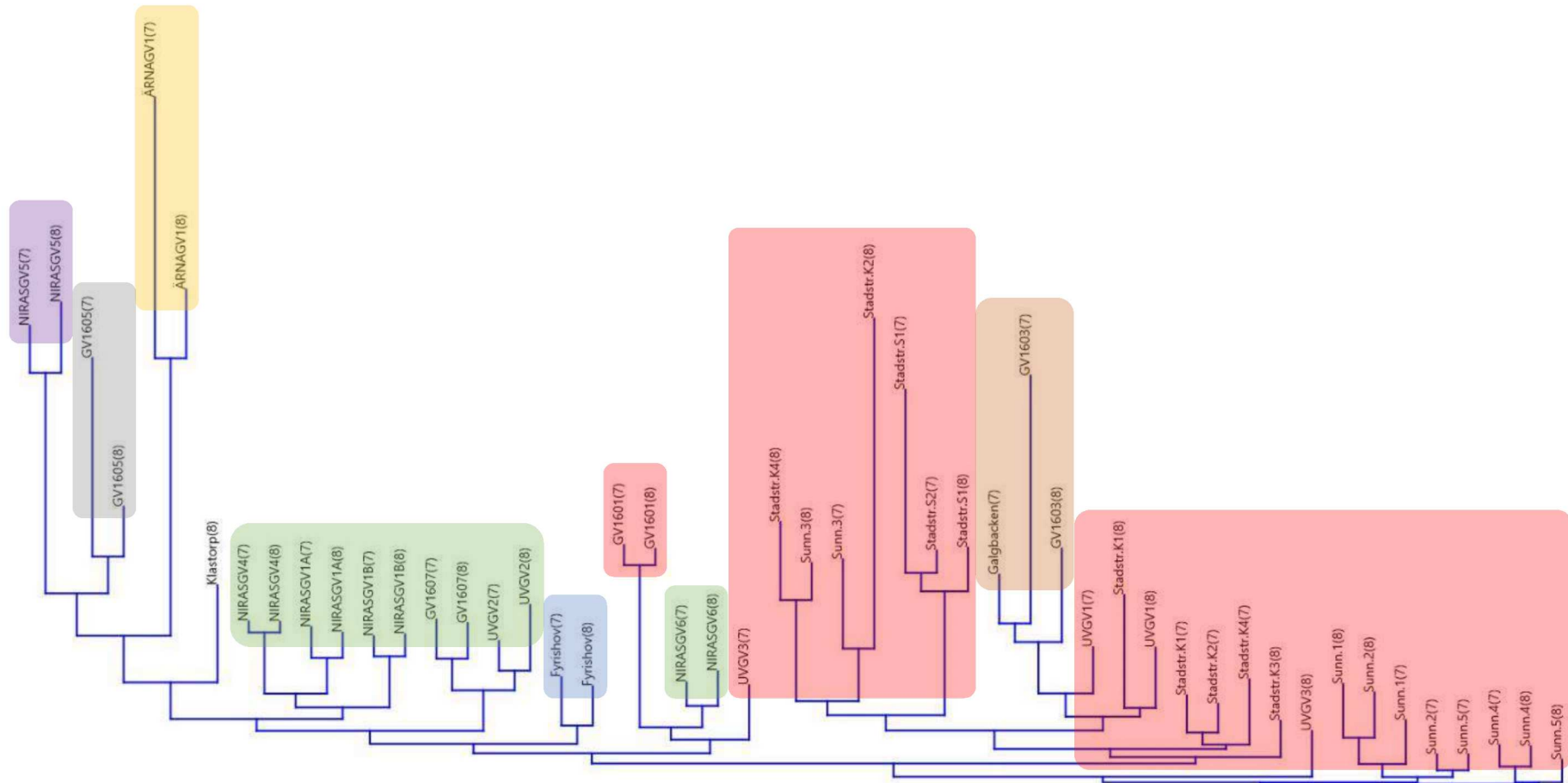
En intressant indikation som ges av principalkomponentanalysen är att UVGV2 och UVGV3 skiljer sig något, med avseende på de hydrogeokemiska parametrarna, i det att UVGV2 förefaller ha mer gemensamt med provtagningspunkterna belägna i Jumkilsåsen och UVGV3 mer liknar de som föreligger i Uppsalaåsen, såsom UVGV1, Stadsträdgården och Sunnersta. Sambandet är emellertid svagt och fångas inte upp av klusteranalysen.

Helldén Environmental Engineering AB

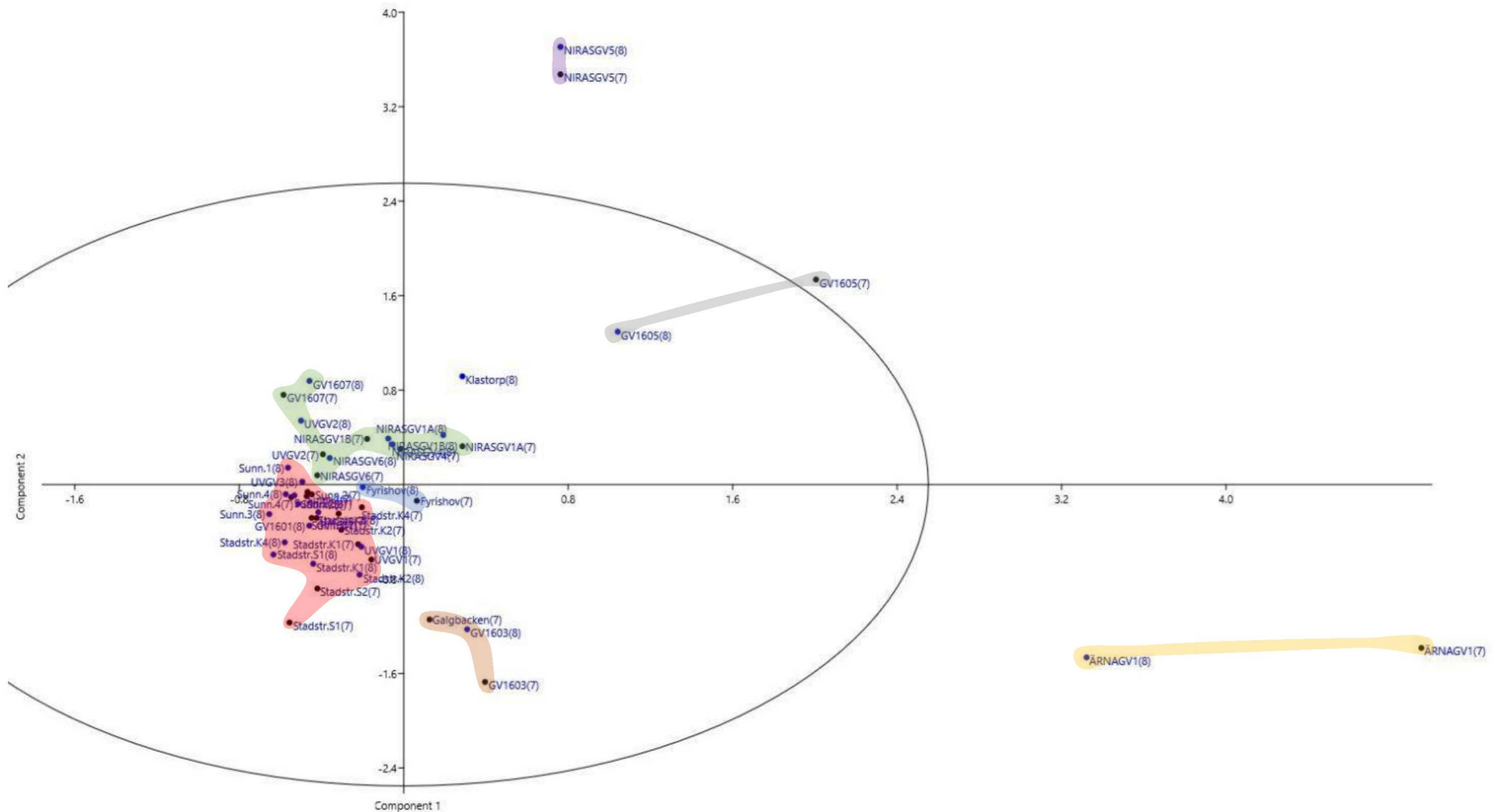


Figur 8 (ovan) och **Tabell 7** (nedan). Jonbalanser mellan katjonerna natrium (Na^+), ammonium (NH_4^+), kalium (K^+), kalcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), järn (Fe^{2+}) och strontium (Sr^{2+}) och anjonerna klorid (Cl^-), nitrit (NO_2^-), nitrat (NO_3^-), bikarbonat (HCO_3^-), sulfat (SO_4^{2-}) och fluorid (F^-). Positivt värde ges av att summan av anjoner överskrider summan av katjoner. Värdena har färgkodats enligt följande; grönt indikerar avvikelser <5 %, gult indikerar avvikelser >5 %, orange indikerar avvikelser >7 % och rött indikerar den mycket kraftiga avvikelser på 18,57 % som beräknades för ÅRNAGV1(7). Provtagningsomgången framgår inom parentes i benämningen av respektive provtagningspunkt.

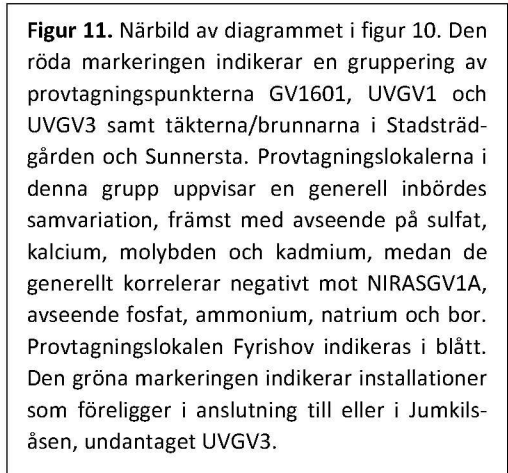
GV1605(5)	9,92%	Stadstr.S2(7)	1,96%	GV1603(7)	-0,33%	NIRASGV1A(7)	-2,70%	UVGV3(7)	-5,36%
NIRASGV1A(5)	8,84%	NIRASGV5(8)	1,87%	Fyrishov(7)	-0,36%	Stadstr.K2(8)	-2,84%	GV1601(8)	-5,98%
NIRASGV1B(5)	7,23%	Stadstr.S1(7)	1,79%	GV1601(5)	-0,38%	Sunner.3(8)	-2,87%	ÅRNAGV1(6)	-6,23%
GV1605(7)	6,00%	Galgbacken(7)	1,64%	Sunner.1(7)	-0,94%	Sunner.4(8)	-2,91%	NIRASGV1A(6)	-6,32%
NIRASGV5(5)	5,15%	NIRASGV5(7)	1,39%	GV1603(8)	-0,97%	NIRASGV4(7)	-3,02%	GV1607(6)	-6,84%
NIRASGV4(5)	4,45%	Sunner.5(7)	0,94%	Klastorp(8)	-1,12%	Fyrishov(8)	-3,29%	UVGV1(8)	-7,13%
UVGV1(7)	4,01%	Sunner.2(7)	0,77%	NIRASGV1A(8)	-1,13%	Sunner.2(8)	-3,33%	UVGV3(8)	-7,82%
UVGV2(7)	3,85%	NIRASGV1B(8)	0,66%	Stadstr.K2(7)	-1,26%	Stadstr.K4(8)	-3,47%	Sunner.1(8)	-8,27%
GV1607(5)	3,65%	GV1607(8)	0,48%	NIRASGV6(5)	-1,64%	GV1605(6)	-3,70%	GV1601(6)	-8,37%
GV1607(7)	2,72%	Sunner.4(7)	0,45%	NIRASGV4(8)	-1,81%	NIRASGV6(8)	-3,96%	Stadstr.S1(8)	-8,77%
GV1603(5)	2,49%	GV1605(8)	0,27%	NIRASGV6(7)	-1,88%	NIRASGV4(6)	-4,10%	GV1601(7)	-8,80%
Stadstr.K1(7)	2,45%	Sunner.3(7)	0,25%	NIRASGV5(6)	-2,01%	NIRASGV1B(7)	-4,14%	NIRASGV6(6)	-9,08%
ÅRNAGV1(5)	2,35%	ÅRNAGV1(8)	0,17%	Sunner.5(8)	-2,30%	GV1603(6)	-4,60%	Stadstr.K1(8)	-10,10%
Stadstr.K4(7)	2,15%	UVGV2(8)	-0,08%	Stadstr.K3(8)	-2,50%	NIRASGV1B(6)	-4,83%	ÅRNAGV1(7)	-18,57%



Figur 9. Dendrogram efter klusteranalys (neighbour joining clustering med euklidisk distans) av standardiserade hydrogeokemiska analysdata från provtagningsomgång 7 och 8. Färgmarkeringarna omfattar samma provtagningspunkter som i ordinationsdiagrammet av principalkomponentanalysen i figur 10. Klusteranalysen genomfördes i programvaran Past3.



Figur 10. Ordinationsdiagram från principalkomponentanalys (PCA) avseende de hydrogeokemiska analysresultaten från provtagningsomgång 7 och 8. Principalkomponent 1 och 2 förklarar 25,9% respektive 21,6% av variationen. Färgmarkeringar har i första hand utritats enligt grupperingar i diagrammet och i andra hand mot bakgrund av provtagningslokalernas geografiska placering, varvid brunnarna i Stadsträdgården och Sunnersta har varit styrande för det röda fältet. Vektorlinjerna av de parametrar som styrat placeringen av punkterna i diagrammet framgår av figur 11. Principalkomponentanalysen genomfördes på standardiserade data i programvaran Past3.



5.3 Generella haltvariationer av PFAS-11

En sammanställning av beräknade haltsummor av PFAS (PFAS-11) i grundvatten vid respektive provtagningsstillfälle framgår av tabell 8. Förändringen av PFAS-11 över tid i samtliga provtagningspunkter redovisas översiktligt i diagrammen i figur 12 och figur 13, samt geografiskt på kartutsnitt i bilaga 1. Haltutvecklingen av PFAS-11 redovisas även i förhållande till den relativa fördelningen av enskilda PFAS i stycke 5.5. Notera att olika grundvattenflöden och utspädningsförhållanden i varierande utsträckning kan påverka haltförhållandet i provtagningspunkterna. Direkta haltjämförelser mellan provtagningslokaler och provtagningsstillfällena kan således ge en felaktig bild av förorenings-situationen. Sålunda har korrelationsanalyser genomförts på hela dataserierna för att på ett övergripande och sakligt sätt undersöka korrelationen mellan de olika provtagningspunkterna med avseende på haltvariationen av PFAS-11.

Inledningsvis bör det nämnas att PFAS-11 är den haltsumma av de elva PFAS-kongenerna 6:2FTS, PFBA, PFBS, PFDA, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFNA, PFOA, PFOS och PFPeA, som bör undersökas i dricksvatten enligt Livsmedelsverkets råd till dricksvattenproducenter och kontrollmyndigheter (Livsmedelsverket, 2016). Vid summeringen av PFAS-11 beaktas enbart påvisade PFAS. Det vill säga att rapporterade "mindre än-värden" för de ämnen som förekommer i så låga halter att de ej kan mätas/utrapporteras inte påverkar haltsumman. Rapporteringsgränsen för enskilda PFAS bör underskrida 10 ng/l.

Enligt Livsmedelsverkets rekommenderade riskhanteringsåtgärder ska PFAS-11 inte överskrida 90 ng/l i dricksvatten som distribueras av en dricksvattenproducent. I detta sammanhang är det intressant att notera att vattnet enligt Livsmedelsverkets råd avseende enskilda dricksvattenanläggningar är drickbart såvida PFAS-11 underskrider 900 ng/l (Livsmedelsverket, 2018). Författaren till föreliggande rapport rekommenderar emellertid att försiktighetsprincipen bör vara rådande vid riskbedömningar beträffande föroreningar av PFAS i dricksvatten.

Vattenmyndigheterna för de fem vattendistrikten har oavkortat antagit den av Livsmedelsverket rekommenderade lägre åtgärdsgränsen på 90 ng/l för PFAS-11 avseende dricksvatten, som riktvärde och miljö kvalitetsnorm för klassning av påverkan, risk och status samt för åtgärdsstillämpning avseende PFAS i grundvattenförekomster (Vattenmyndigheterna, 2016). I Norra Östersjöns vattendistrikt, som Uppsala tillhör, fastställdes riktvärdet i oktober år 2018 av Länsstyrelsen i Västmanlands län. Enligt Länsstyrelsens författningssamling (19FS 2018:04), betraktas en grundvattenförekomsts status som otillfredsställande då PFAS-11 överskrider miljö kvalitetsnormen/riktvärdet på 90 ng/l, men redan vid en PFAS-11 på 20% av riktvärdet (dvs. 18 ng/l), ska åtgärder vidtas för att undvika att halterna stiger.

Vattendelegationen för Norra Östersjöns vattendistrikt har fastställt ett åtgärdsprogram som anger specifika åtgärder som behöver genomföras för att miljö kvalitetsnormerna ska kunna följas (Vattenmyndigheterna, 2018). Programmet avser de vattenförekomster som inte uppnår eller riskerar att inte uppnå miljö kvalitetsnormen och syftar till att åtgärda betydande påverkanskällor och förebygga försämringar av vattenstatusen. Begreppet åtgärd kan enligt åtgärdsprogrammet ha olika innebörd och kan till exempel betyda rena administrativa åtgärder eller undersökningar av förorenade områden.

Med beaktande av de beräknade linjära korrelationskoefficienterna som framgår av tabell 9, kan provtagningspunkterna indelas i tre geografiskt distinkta grupper av stark inbördes samvariation med avseende på haltutvecklingen av PFAS-11 över tid. Den största gruppen består av provtagningspunkterna inom flygplatsområdet (dvs. NIRASGV1A, NIRASGV1B, NIRASGV4, NIRASGV5, NIRASGV6,

GV1601, GV1603, GV1605, GV1607 och ÄRNAGV1). Samtliga dessa provtagningspunkter, utom GV1601 och GV1603, är belägna vid flygplatsområdets sydvästra sida (figur 1). GV1601 och GV1603 är placerade vid flygplatsens östra sida och bedöms vara hydrauliskt avskurna från de övriga provtagningspunkterna, då det inte bedöms föreligga något direkt spridningssamband av grundvatten mellan de sydvästra och östra delarna av flygplatsområdet. I detta sammanhang är det intressant att notera att GV1603 ändå uppvisar starkare korrelation, avseende variationen av PFAS-11, med NIRASGV1A och NIRASGV5 än med GV1601 och de övriga inom flygplatsområdet belägna punkterna, med vilka GV1603 samvarierar jämförelsevis svagt.

I allmänhet bedöms alla provtagningspunkter inom flygplatsområdet vara påverkade av PFAS från samma övergripande källområde som bedöms vara beläget centralt inom flygplatsområdet och omfatta ett eller flera inströmningsområden (där grundvatten bildas). Variationer i nederbördsmängd och grundvattnets tryckyta medför att provtagningspunkterna påverkas av samma varierande PFAS-utlakning, vilket sålunda kan förklara varför provtagningspunkterna inom flygplatsområdet generellt uppvisar en samvariation i haltsumman av PFAS-11 över tid. Sannolikt utgör den f.d. brandövningsplatsen den dominerande grundvattenpåverkande källtermen inom detta övergripande källområde; mot bakgrund av de miljötekniska markundersökningar som genomförts och med beaktande av objektets placering inom ett område av berg-i-dagen och morän som bedömts utgöra en spridningsväg för PFAS till grundvattnet. Då inga källtermer har avgränsats i detalj, kan det emellertid inte uteslutas att källområdet inbegriper fler mindre källtermer som är spridda centralt inom flygplatsområdet. Det kan heller inte uteslutas en förekomst av oidentifierade källtermer som inte påverkar grundvattnet i enlighet med det övergripande källområdet.

De två andra grupperingarna består av UVGV1, UVGV2 och UVGV3 respektive Stadsträdgårdens provtagningspunkter vilka även förefaller samvariera något med Galgbacken och Fyrishov som står i ett uppströms förhållande till Stadsträdgården.

Provtagningspunkterna UVGV1, UVGV2 och UVGV3 uppvisar en stark inbördes samvariation avseende haltutvecklingen av PFAS-11, men förefaller trots närheten till flygplatsen inte korrelera i detta hänseendet med provtagningspunkterna inom flygplatsområdet, vilket leder till slutsatsen att UVGV1, UVGV2 och UVGV3 kan vara påverkade av en källterm av PFAS som inte påverkar provtagningspunkterna inom flygplatsområdet.

Att provtagningspunkterna i Stadsträdgården uppvisar starka inbördes samvariationer avseende haltvariationen av PFAS-11 är kanske en självklarhet för envar med vetskap om brunnarnas placering. Dessa uppgifter är emellertid hemliga och har sålunda inte tillkännagivits av Uppsala Vatten, vilket försvårar bedömningar av exempelvis föroreningssituationer och tolkningar av spridningssamband, som kräver kännedom om var de beaktade provtagningspunkterna är belägna.

Provtagningspunkterna Galgbacken och Fyrishov uppvisar svaga positiva korrelationer i variationen av PFAS-11, med Stadsträdgårdens provtagningspunkter och mycket svaga eller obefintliga korrelationer med provtagningspunkterna inom flygplatsområdet, liksom med UVGV1, UVGV2 och UVGV3. Galgbacken och Fyrishov uppvisar därtill en obefintlig korrelation med varandra. Galgbacken och Fyrishov kan sålunda vara påverkade av olika och till varandra oberoende källtermer vilka emellertid inte förefaller korrelera med någon känd källterm inom flygplatsområdet. Det är intressant att korrelationsmatrisen indikerar, om än en svag, positiv korrelation i haltvariationen av PFAS-11 mellan Fyrishov och UVGV1 samt att det inte indikeras någon korrelation mellan Galgbacken och GV1603.

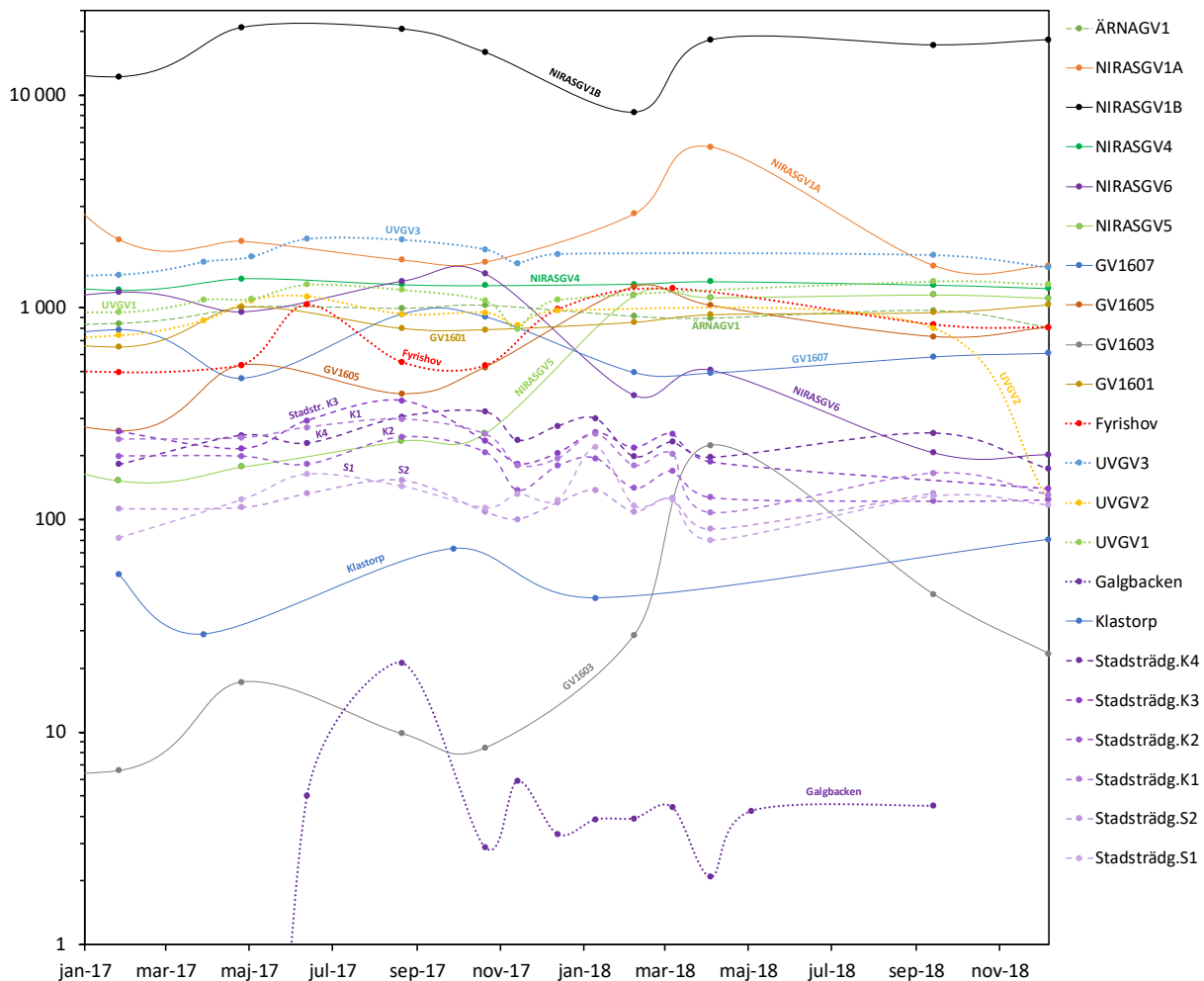
Provtagningspunkten GV1603 som är belägen strax öster om flygplatsområdet, har bedömts föreligga i ett uppströms förhållande till Galgbacken. Trots att dessa provtagningspunkter inte visar på någon

Samvariation i korrelationsanalysen, bedöms det ändå kunna föreligga ett spridningssamband mellan GV1603 och Galgbacken. Denna bedömning kan anses styrkas av principalkomponent- och klusteranalysen, som placerar provtagningspunkterna relativt nära varandra i ordinationsdiagrammet (figur 15) respektive dendrogrammet (figur 14), vilket indikerar att provtagningspunkterna ändå liknar varandra i något avseende av haltsummans utveckling under den beaktade tidsperioden. Principal-komponentanalysens förmåga att skilja de olika provtagningslokalerna åt förefaller emellertid vara relativt svag med beaktande av punkternas placering nära origo. Dendrogrammet och ordinationsdiagrammet är heller inte helt kongruenta i skildringen av förhållandet mellan provtagningslokalerna, varför resultaten av de multivariata analyserna bör betraktas som mer indikativa. Både GV1603 och Galgbacken uppvisar relativt låg haltstyrka av PFAS, vilket sannolikt är en avgörande orsak till avvikelserna i de statistiska analyserna.

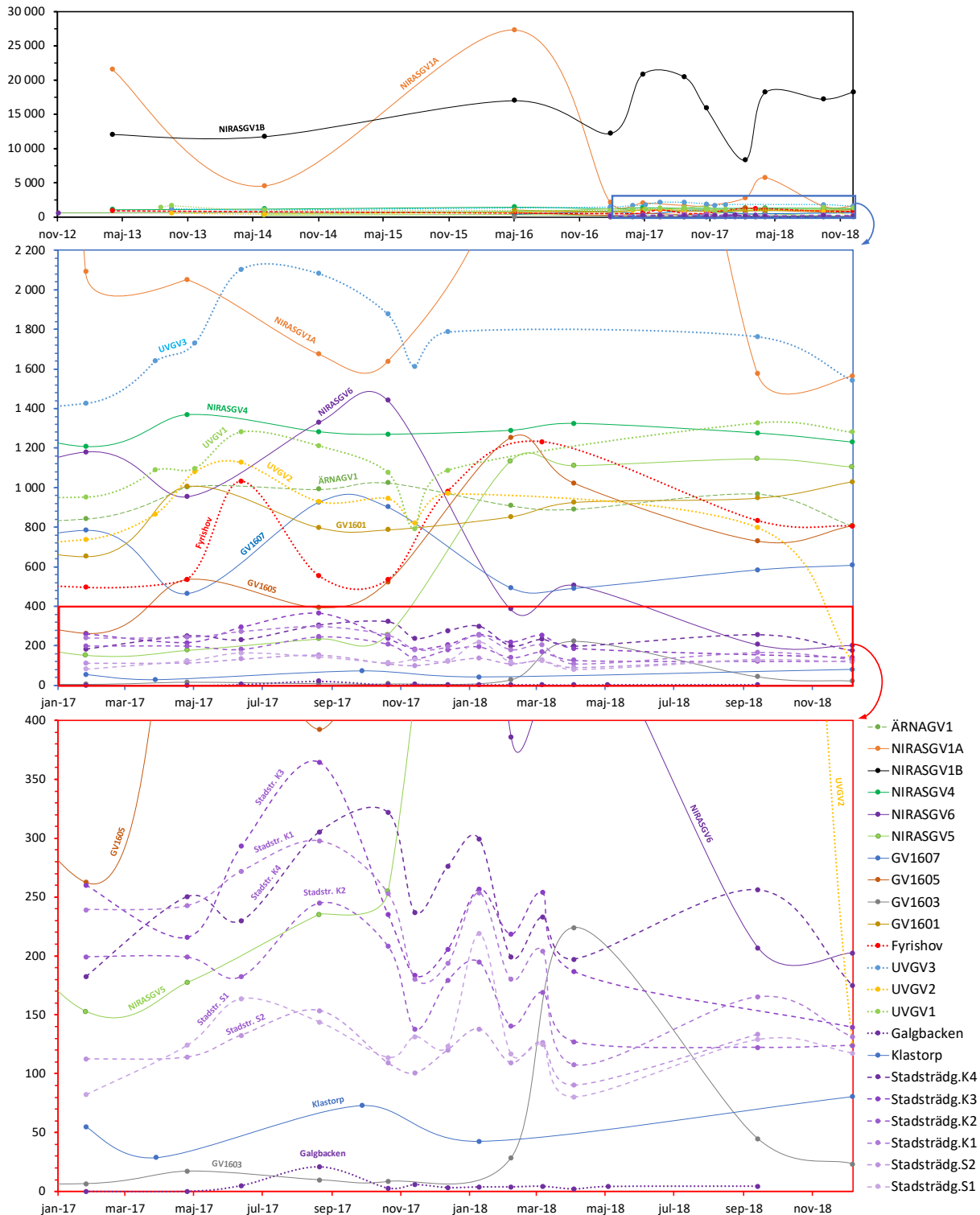
En annan provtagningspunkt som uppvisar låg haltstyrka av PFAS är Klastorp, som förmodligen är en bergbördad brunn. Klastorp förefaller emellertid inte korrelera nämnvärt med någon annan provtagningspunkt. Brunnen i Klastorp har bedömts vara belägen strax uppströms provtagningspunkterna inom flygplatsområdets sydvästra sida, men förefaller inte påverkas lika direkt av det källområde av PFAS som påverkar dessa provtagningspunkter. Den låga haltstyrkan av PFAS har tidigare betraktats som en indikation på att provtagningspunkten är belägen i utkanten av den spridningsplym av PFAS som påverkar de övriga punkterna, men med beaktande av den praktiskt taget obefintliga korrelationen i haltvariationen av PFAS-11 mellan Klastorp och dessa provpunkter, samt mellan Klastorp och de längre nedströms belägna UGV1, UGV2 och UGV3, förefaller föroreningen i brunnen snarare härröra från en annan spridningsväg eller möjligtvis från en annan källterm. Om brunnen i Klastorp är installerad i och hämtar sitt vatten från berggrunden, är det svårt att bedöma var källtermen till föroreningen är belägen utan mer kunskap om bland annat förekomsten av sprickzoner. Liksom för Galgbacken och GV1603 uppvisar de multivariata analyserna någon inkongruent resultat beträffande haltutvecklingen av PFAS-11 i Klastorp kontra övriga provtagningspunkter.

Det framkommer av korrelationsanalysen även indikationer på svaga positiva korrelationer avseende haltvariationen av PFAS-11 mellan provtagningspunkterna NIRASGV1B, NIRASGV4, NIRASGV6, GV1607 och ÄRNAGV1, belägna vid flygplatsområdets sydvästra sida, och de tre provtagningspunkterna K1, K2 och K4 i Stadsträdgården. De multivariata analyserna indikerar också på ett visst samband mellan vissa provtagningspunkter inom flygplatsområdet och Stadsträdgården samt uppvisar i detta sammanhang mer av en överensstämmelse i resultatet mellan principalkomponent- och klusteranalysen. De indikerade provtagningspunkterna är emellertid inte samma som vid korrelationsanalysen. Det har tidigare förmodats att brunnarna i Stadsträdgården i något hänseende är påverkade av källområdet av PFAS vid flygplatsen; de statistiska analyserna förefaller dessvärre inte ge någon tydlig fingervisning om kopplingen mellan provtagningslokalerna; de visar inte på någon stark samvariation och inte heller på något generellt samband mellan Stadsträdgården och provtagningspunkterna inom flygplatsområdet. De svaga sambanden kunde vara en följd av den längre transporttiden för föroreningen på grund av det stora avståndet mellan flygplatsen och Stadsträdgården, men detta förefaller inte vara en avgörande faktor, med beaktande av de praktiskt taget obefintliga korrelationerna mellan de aktuella provtagningspunkterna och Galgbacken, Fyrishov, UGV1, UGV2 och UGV3, varav flertalet är placerade längs förmodade strömningsriktningar av grundvatten från flygplatsområdet till Stadsträdgården. Det bedöms med anledning därav som sannolikt att flera för närvarande oidentifierade källtermer av PFAS påverkar grundvattnet nedströms flygplatsområdet och i närmare anslutning till Stadsträdgården.

Det kan, avseende variationen av PFAS-11 i de provtagningspunkter som omfattats av uppföljningsprogrammet, inte uttydas någon indikation på att PFAS-reningen av dräneringsvattnet från byggnad 900 har haft någon påverkan på spridningen av PFAS till grundvattnet, vare sig i moränakviferen (inom flygplatsområdet) eller i Jumkilsåsens och Uppsalaåsens grundvattenmagasin (utanför flygplatsområdet). Detta är i enlighet med förväntningarna, då dräneringsvattnet tidigare fördes direkt via dagvattenssystemet till ytvattenrecipienten (Fyrishov) och ingen spridningsväg för förorenat dagvatten till grundvatten har identifierats. Reningsanläggningen driftsattes mellan uppföljningsprogrammets provtagningsomgång 1 och 2.



Figur 12. Haltvariationen av PFAS-11 (haltsumman av de 11 PFAS-kongener som bör undersökas i dricksvatten enligt Livsmedelsverkets rekommendationer) i grundvatten vid samtliga provtagningslokaler. Haltsskalan är logaritmisk för att underlätta jämförelser i variationen av PFAS-11 mellan hög- och lågförorenade provtagningspunkter; se figur 13 för motsvarande diagram med linjär haltsskala i ng/l. Varje provtagningsstillfälle redovisas som en punkt i diagrammet; linjerna som förbinder respektive punkt ska betraktas som hjälplinjer och ett stöd för ögat. Linjerna speglar inte nödvändigtvis föroreningsituationen och ska inte tolkas som trendlinjer. Avvikande mätvärden riskerar att ge upphov till felaktiga bedömningar. Se figur 1 för placeringen av respektive provtagningspunkt.



Figur 13. Haltvariationen i ng/l av PFAS-11 (haltsumman av de 11 PFAS-kongener som bör undersökas i dricksvatten enligt Livsmedelsverkets rekommendationer) i grundvatten vid samtliga provtagningslokaler. Varje provtagningsstillfälle redovisas som en punkt i diagrammet; linjerna som förbinder respektive punkt ska betraktas som hjälplinjer och ett stöd för ögat. Linjerna speglar inte nödvändigtvis föroreningsituationen och ska inte tolkas som trendlinjer. Se figur 1 för placeringen av respektive provtagningspunkt. Se figur 12 en variant av detta diagram med logaritmisk haltsskala.

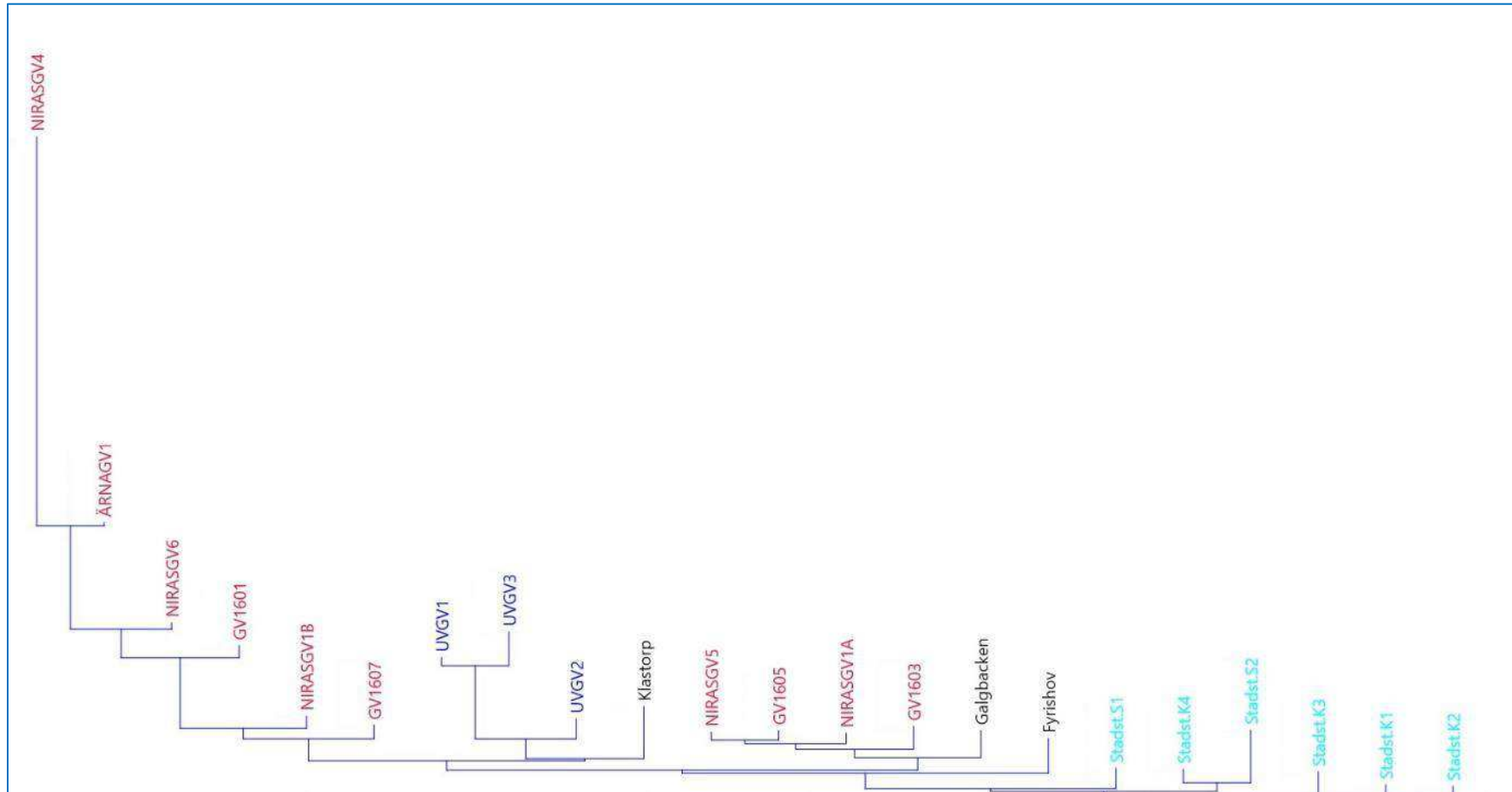
Helldén Environmental Engineering AB

Tabell 8. Sammanställning av haltsummer av PFAS (PFAS-11, dvs. haltsumman av de 11 PFAS-kongener som bör undersökas i dricksvatten enligt Livsmedelsverkets rekommendationer) i ng/l för samtliga provtagningspunkter inom uppföljningsprogrammet under perioden år 2017–2018. Resultaten från provtagningsomgångarna inom uppföljningsprogrammet har markerats i blått och gult avseende år 2017 respektive år 2018. Medelhalten av samtliga provtagningsstillfällen (även de utanför provtagningsomgångarna), anges för varje provtagningspunkt till höger.

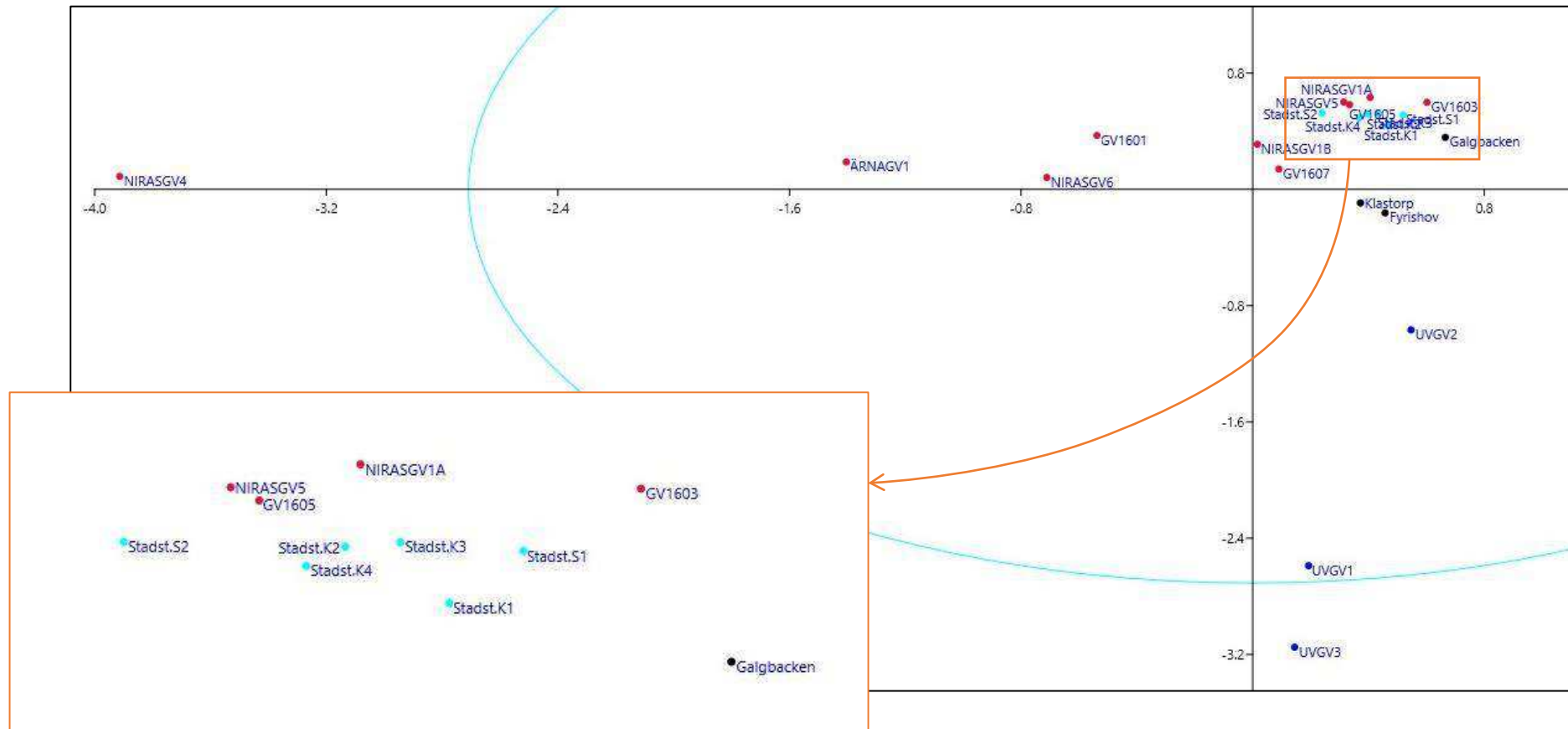
Omgång:	1		2			3		4				5		6		7	8	
	januari 2017	mars 2017	april 2017	maj 2017	juni 2017	augusti 2017	september 2017	oktober 2017	november 2017	december 2017	januari 2018	februari 2018	mars 2018	april 2018	maj 2018	september 2018	december 2018	Medel
Stadst.K1	239		243		272	298		253	181	194	254	180	204	108		165	131	209
Stadst.K2	199		199		183	245		208	138	179	195	141	169	127		122	124	172
Stadst.K3	260		216		294	365		235	184	206	257	219	254	187			140	235
Stadst.K4	182		250		230	306		322	237	276	299	199	233	197		256	175	243
Stadst.S1	82		124		164	144		114	132	124	219	117	125	80		129	118	129
Stadst.S2	113		114		133	154		109	101	120	138	109	127	90		133		120
Galgbacken	0,0		0,0		5,0	21,2		2,9	5,9	3,3	3,9	3,9	4,4	2,1	4,3	4,5		4,7
Fyrishov	496		536		1 031	554		534		981			1 231			833	806	778
Klastorp	55,2	28,9					73,1				42,8						80,7	56,2
UVGV1	951	1 088		1 097	1 281	1 211		1 077	790	1 087						1 327	1 280	1 119
UVGV2	737	866		1 069	1 126	929		944	822	969						798	124	839
UVGV3	1 426	1 641		1 730	2 103	2 082		1 877	1 612	1 787						1 763	1 543	1 756
NIRASGV1A	2 093		2 052			1 675		1 638				2 764		5 706		1 577	1 564	2 384
NIRASGV1B	12 182		20 797			20 453		15 865				8 297		18 170		17 204	18 225	16 399
NIRASGV4	1 207		1 368			1 282		1 270				1 289		1 324		1 276	1 230	1 281
NIRASGV5	153		177			235		255				386		507		207	203	265
NIRASGV6	1 180		954			1 329		1 441				1 134		1 111		1 145	1 104	1 175
GV1601	652		1 006			798		787				852		925		947	1 030	875
GV1603	6,6		17,2			9,9		8,4				28,6		224,1		44,6	23,5	45,4
GV1605	263		535			392		523				1 252		1 023		729	806	690
GV1607	785		464			927		903				494		491		585	608	657
ÄRNAGV1	842		1 004			992		1 024				909		891		968	807	930

Tabell 9. Deskriptiv korrelation mellan varje parkombination av provtagningspunkterna, med avseende på standardiserade dataserier av PFAS-11, omfattande varje provtagningsstillfälle år 2017–2018. Korrelationsmatrisen/koefficienterna har färgsatts efter korrelationsstyrka så att grönt indikerar positivt korrelation och mörkare grönt indikerar starkare positiv korrelation. Rött indikerar svag negativ korrelation och gult indikerar låg eller obefintlig korrelation. Provtagningspunkterna har därtill färglagts i grupper inom vilka provtagningspunkterna korrelerar starkt positivt med varandra. En kortfattad beskrivning av korrelationsanalysanalysen som statistiskt verktyg ges av stycke 4.5.3.

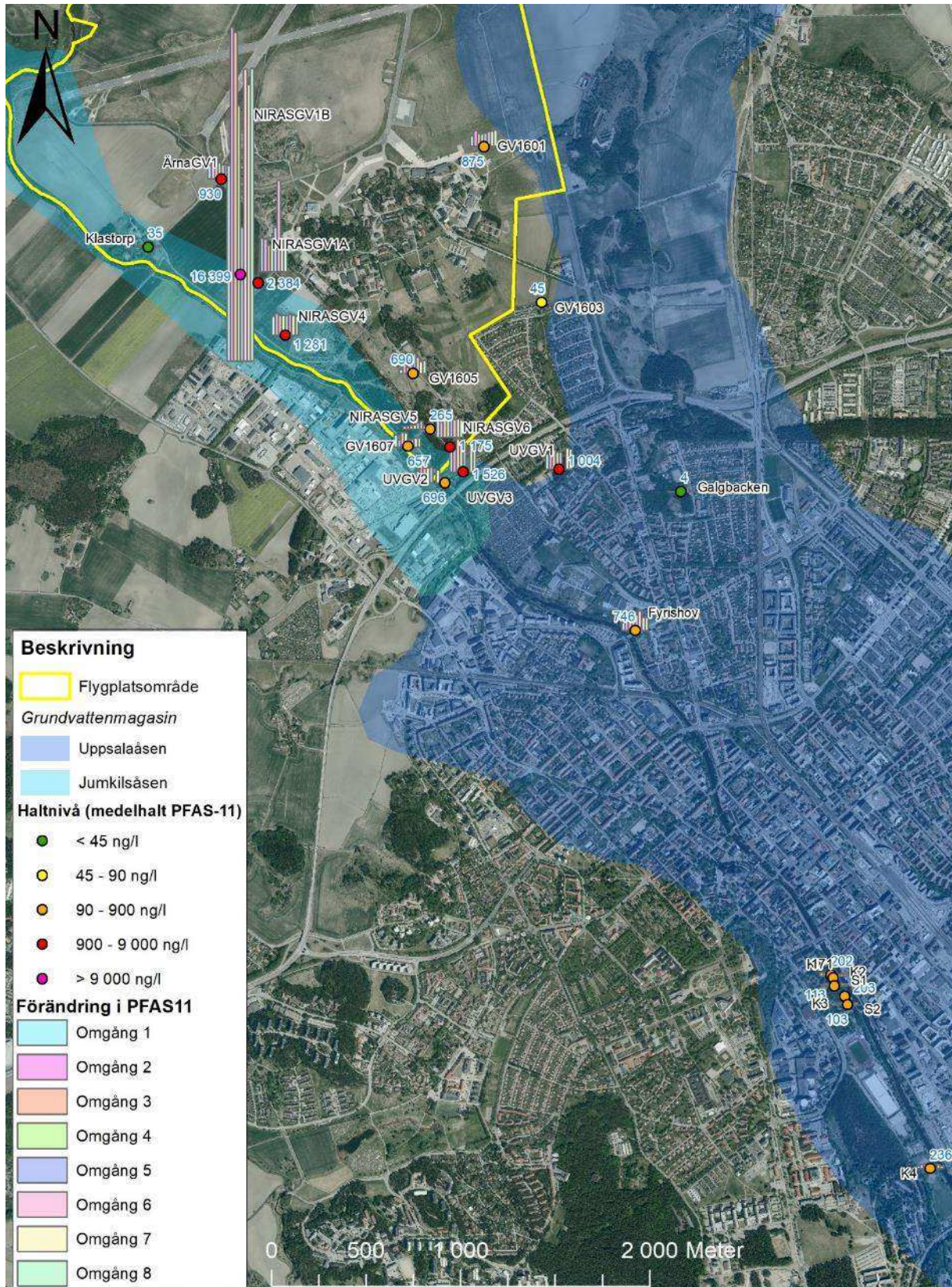
Stadtst.K1	1,00																					
Stadtst.K2	0,98	1,00																				
Stadtst.K3	0,90	0,92	1,00																			
Stadtst.K4	0,93	0,94	0,79	1,00																		
Stadtst.S1	0,89	0,86	0,76	0,91	1,00																	
Stadtst.S2	0,90	0,89	0,78	0,90	0,83	1,00																
Galgbacken	0,46	0,45	0,50	0,44	0,38	0,50	1,00															
Fyrishov	0,54	0,53	0,40	0,51	0,46	0,46	0,16	1,00														
Klasterop	-0,22	-0,20	-0,18	-0,29	-0,14	-0,44	-0,37	-0,12	1,00													
UVGV1	0,16	0,13	0,01	0,15	0,08	0,04	0,19	0,40	0,01	1,00												
UVGV2	0,18	0,12	0,07	0,13	0,02	0,17	0,25	0,24	-0,29	0,86	1,00											
UVGV3	0,22	0,18	0,09	0,19	0,10	0,10	0,28	0,35	-0,10	0,98	0,93	1,00										
NIRASGV1A	0,17	0,29	0,24	0,26	0,09	0,22	0,01	-0,12	-0,10	-0,19	-0,28	-0,22	1,00									
NIRASGV1B	0,39	0,47	0,29	0,44	0,25	0,28	0,22	0,19	-0,01	0,16	-0,09	0,10	0,75	1,00								
NIRASGV4	0,39	0,47	0,30	0,43	0,23	0,31	0,14	0,12	-0,01	0,10	-0,12	0,03	0,81	0,95	1,00							
NIRASGV5	0,23	0,32	0,26	0,33	0,16	0,25	0,12	-0,09	-0,14	-0,11	-0,24	-0,14	0,96	0,79	0,87	1,00						
NIRASGV6	0,42	0,49	0,33	0,45	0,23	0,32	0,21	0,13	-0,00	0,18	-0,03	0,13	0,76	0,93	0,98	0,85	1,00					
GV1601	0,34	0,42	0,24	0,41	0,24	0,25	0,09	0,14	0,02	0,09	-0,17	0,01	0,79	0,96	0,99	0,86	0,95	1,00				
GV1603	-0,08	0,03	0,02	0,09	-0,01	0,07	-0,07	-0,19	-0,15	-0,24	-0,29	-0,27	0,86	0,45	0,45	0,75	0,39	0,47	1,00			
GV1605	0,17	0,25	0,14	0,29	0,18	0,17	0,01	-0,04	-0,06	-0,09	-0,31	-0,17	0,85	0,75	0,86	0,94	0,81	0,88	0,61	1,00		
GV1607	0,47	0,54	0,39	0,47	0,23	0,34	0,31	0,17	0,03	0,28	0,09	0,25	0,65	0,90	0,93	0,74	0,98	0,88	0,26	0,67	1,00	
ÄRNAGV1	0,42	0,49	0,31	0,45	0,24	0,34	0,18	0,13	-0,05	0,12	-0,08	0,07	0,78	0,95	1,00	0,85	0,99	0,98	0,41	0,83	0,94	1,00
	Stadtst.K1	Stadtst.K2	Stadtst.K3	Stadtst.K4	Stadtst.S1	Stadtst.S2	Galgbacken	Fyrishov	Klasterop	UVGV1	UVGV2	UVGV3	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	ÄRNAGV1



Figur 14. Dendrogram efter klusteranalys (neighbour joining clustering med euklidisk distans) av standardiserade dataserier av PFAS-11, omfattande varje provtagningstillfälle år 2017–2018. Provtagningspunkterna har färglagts i enlighet med den gruppindelning som impliceras av korrelationsmatrisen i tabell 9. Klusteranalysen genomfördes i programvaran Past3.



Figur 15. Ordinationsdiagram från principalkomponentanalys av standardiserade dataserier av PFAS-11, omfattande varje provtagningsstillfälle år 2017–2018. Principalkomponent 1 och 2 förklarar 85,3% respektive 8,0% av variationen. Provtagningspunkterna har färglagts i enlighet med den gruppindelning som impliceras av korrelationsmatrisen i tabell 9. Vektorlinjerna av de parametrar som styr placeringen av punkterna i diagrammet framgår av bilaga 2F. Principalkomponentanalysen genomfördes i programvaran Past3.



Figur 16. Geografisk redovisning av PFAS-11. Stapeldiagrammen visar haltsumman vid varje provtagningsomgång inom uppföljningsprogrammet år 2017–2018. Medelhalten av PFAS-11 under samma period redovisas numeriskt vid respektive provtagningslokal och haltstyrkan indikeras av punktmarkeringens färgläggning enligt färgskalan i beskrivningsrutan. Information om grundvattenmagasinens utsträckning (markeringar i blått) har hämtats från SGU:s (Sveriges geologiska undersökning) kartvisare "Grundvattenmagasin". Bakgrundskarta från Metria.

5.4 Övergripande multivariat analys av PFAS-profiler

De PFAS som detekterats i laboratorieanalyserna vid samtliga provtagningstillfällen under perioden år 2017–2018, utgörs av de kongener som ingår i haltsumman PFAS-11 med tillägg av PFOSA (FOSA). I de övergripande multivariata analyserna som redovisas i de följande figurerna, har dessa kongener legat till grund för jämförelser av provtagningslokalerna med avseende på deras respektive PFAS-profiler.

I ordinationsdiagrammet av principalkomponentanalysen (figur 17) placerar sig majoriteten av provtagningslokalerna nära axelkorset (origo), vilket innebär att förklaringsgraden är låg för separationer mellan enskilda provtagningspunkter och grupperingar av provtagningspunkter. I diagrammet placerar sig NIRASGV1B som uteliggare längs principalkomponent 1. Förmodligen lägger sig NIRASGV1B som uteliggare på grund av den höga haltstyrkan av PFAS som uppmäts i denna provtagningspunkt i förhållande till övriga punkter. Haltstyrkan kan påverka hur PFAS-profilen framstår snarare än hur det verkliga förhållandet mellan enskilda PFAS är, med anledning av mätosäkerheterna och höga rapporteringsgränser vid analys av PFAS i lägre halter. NIRASGV1B placeras sig i diagrammets periferi med avseende på samtliga beaktade parametrar av PFAS, vilka uppvisar en positiv inbördes korrelation, med undantag för PFNA och PFDA. Dessa två kongener uppvisar i stort sett inte någon korrelation mot de övriga PFAS-kongenerna och förefaller sinsemellan korrelera negativt. Det senare sambandet bedöms dock som mindre tillförlitlig. NIRASGV1A och GV1601 grupperar sig som uteliggare med avseende på PFNA längs det positiva skalstrecket av principalkomponent 2. PFNA har inte påvisats i någon annan av provtagningspunkterna, vilket kan ses som en indikation på att det finns flera grundvattenpåverkande källtermer inom flygplatsområdet samt att NIRASGV1A påverkas av en annan källterm än NIRASGV1B, trots det relativt korta avståndet (ca 100 m) mellan dessa provtagningspunkter. Likaledes uppvisar provtagningstillfället i augusti år 2017 av Galgbacken och tre provtagningspunkter i Stadsträdgården (K1, K3 och K4) en gruppering som uteliggare med avseende på PFDA längs det negativa skalstrecket av principalkomponent 2, med anledning av att PFDA endast har påvisats i dessa provtagningslokaler, vilket implicerar att dessa provtagningslokaler är påverkade av en källterm som inte finns inom flygplatsområdet.

Resultatet av en uppföljande principalkomponentanalys efter eliminering av uteliggarna i figur 17, framgår av ordinationsdiagrammet i figur 18, i vilket variationen inom den tidigare väldefinierade allmänna grupperingen vid origo hamnar i fokus. Det mest iögonfallande i detta diagram är grupperingen av GV1603, Galgbacken, Klastorp, Sunnersta, Stadsträdgården och flertalet av punkterna som representerar NIRASGV5. Galgbacken och GV1603 bildar diagrammets tätaste gruppering längs principalkomponent 1 och lägger sig i riktning bort från alla andra provtagningslokaler, vilket indikerar att profilerna av PFAS i Galgbacken och GV1603 är mer lika varandra än den i de övriga provtagningspunkterna. Vidare indikerar principalkomponentanalysen att Galgbacken och GV1603 har PFAS-profiler som är mer lika dem i Sunnersta än i Stadsträdgården. De indikerade likheterna i PFAS-profiler betyder inte nödvändigtvis att det finns något faktiskt samband mellan förorenings-situationerna inom de olika provtagningslokalerna. Galgbacken, GV1603 och Sunnersta uppvisar alla relativt låga haltstyrkor av PFAS, vilket förmodligen förklarar mycket av de indikerade likheterna mellan provtagningspunkterna. Även de övriga provtagningslokalerna som grupperar sig mer övergripande med Galgbacken, GV1603 och Sunnersta, uppvisar lägre haltstyrkor av PFAS än de provtagningslokaler som separerar sig från gruppen. Låga haltstyrkor av PFAS innebär att flera PFAS-kongener föreligger i halter underskridande laboratoriets rapporteringsgränser och följaktligen tolkas som nollvärden, vilket leder

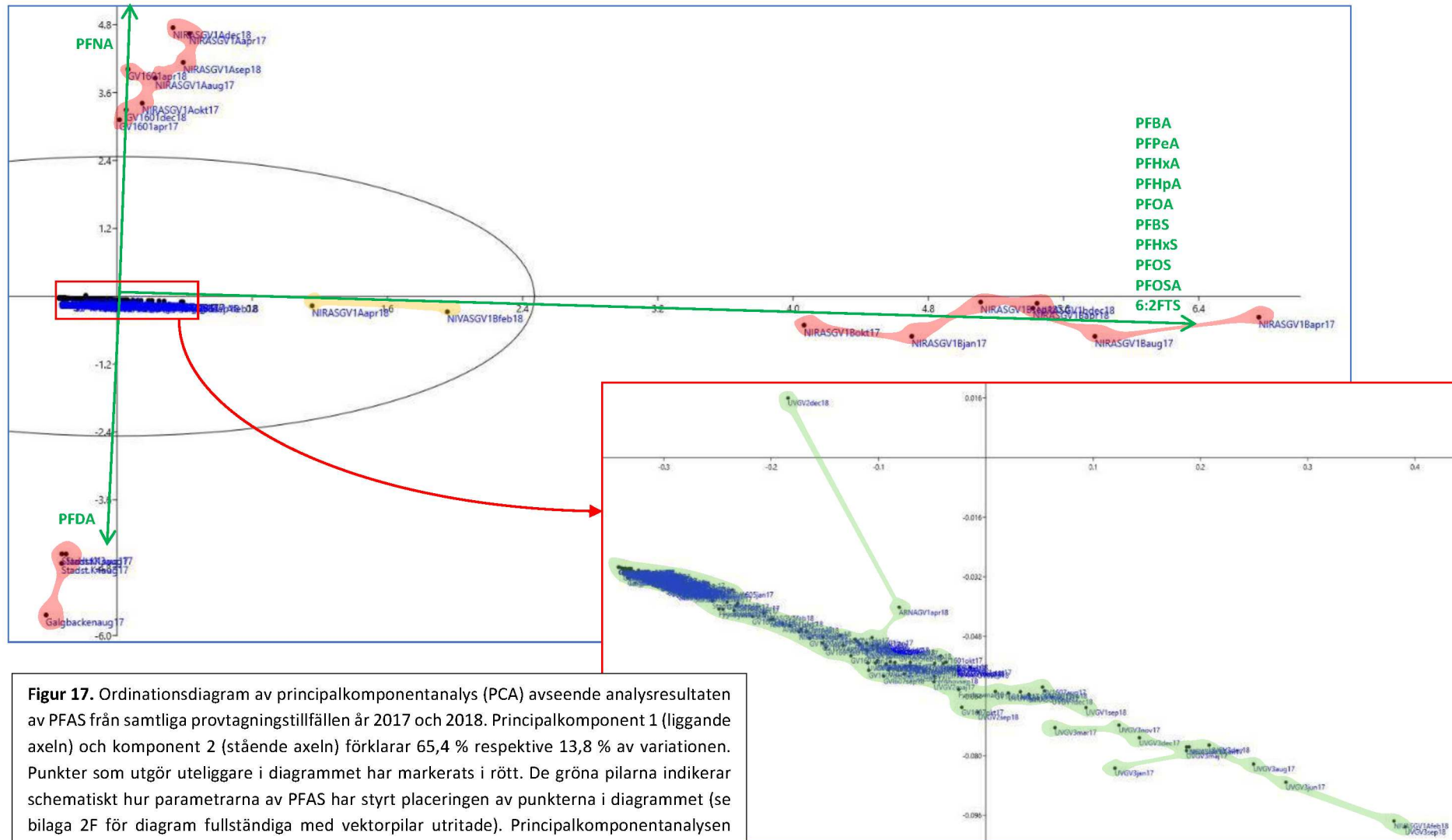
till att PFAS-profilen verkar avvika i förhållande till i övrigt likartade PFAS-profiler av högre haltstyrkor. Bland de övriga punkterna kan inga lika distinkta grupperingar av olika provtagningslokaler skönjas annat än att varje enskild lokal på ett övergripande sätt grupperas med avseende på provtagnings-tillfälle. Varje provtagningslokal uppvisar en inbördes spridning som helt eller delvis överlappar övriga lokaler längs principalkomponent 1. Punkterna för UVGV3 avviker något från detta mönster och placerar sig främst som uteliggare i en riktning som separerar denna provtagningslokal från samtliga andra, vilket indikerar att PFAS-profilen i UVGV3 skiljer sig något från den generella fördelningen som impliceras av diagrammet för majoriteten av provtagningspunkterna inom flygplatsområdet samt i UVGV1, UVGV2 och Fyrishov. Principalkomponentanalysen lyfter inte fram någon enskild parameter av PFAS som orsak till separationen av UVGV3, vars placering i diagrammet sålunda bedöms vara resultatet av den allmänna fördelningen av PFAS, dock huvudsakligen av PFHxA, PFHpA, PFPeA, PFOA och PFBA, möjligtvis i kombination med provtagningslokalens förhållandevis höga haltstyrka.

Dendrogrammet i figur 20 bekräftar i stora drag den bild som ges av principalkomponentanalysens ordinationsdiagram i figur 18, med något slumpartat överlappande klusterbildningar av resultaten från de olika provtagningslokalerna.

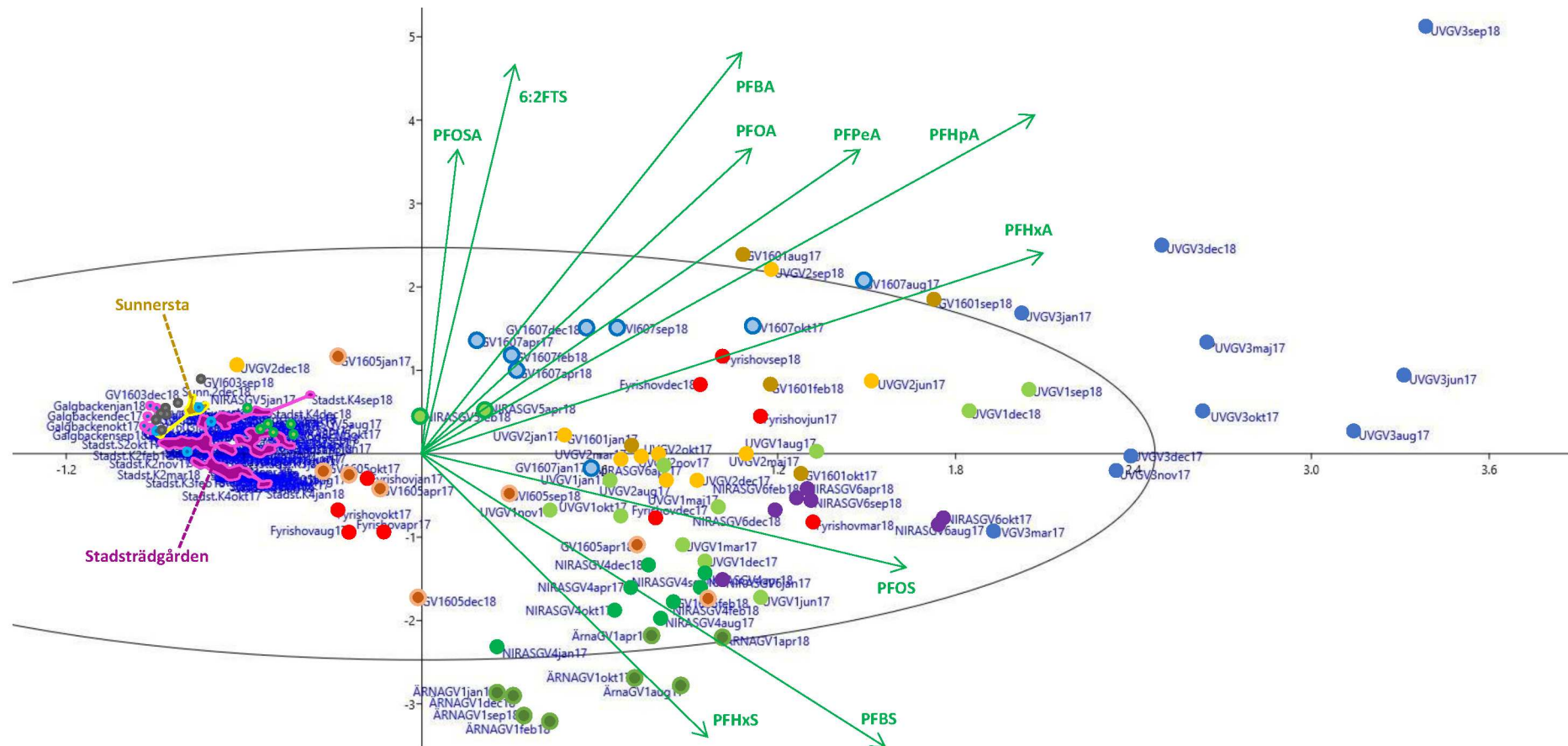
I figur 19 redovisas en principalkomponentanalys med avseende på fler PFAS-kongener (totalt 37 parametrar av PFAS), vilka undersöktes i samtliga provtagningslokaler vid provtagningsomgång 7 och 8. I ordinationsdiagrammet placerar sig NIRASGV1B och NIRASGV5 (omgång 8) som uteliggare (en uppföljande principalkomponentanalys där dessa provtagningspunkter har utesluts resulterar i en mycket låg förklaringsgrad om 31% för principalkomponent 1). I diagrammet placerar sig UVGV2, GV1605 och ÄRNAGV1 (samtliga från omgång 8), med avseende på PFNA, PFDA, PFDoA och PFUdA och i riktning mot uteliggaren NIRASGV5. De övriga provtagningslokalerna placerar sig i grupper nära origo, vilket medför att sambanden blir svaga. Principalkomponentanalysen indikerar ändå att det finns likheter i PFAS-sammansättning mellan främst provtagningspunkterna i Stadsträdgården, Sunnersta och Galgbacken och att lösare samband föreligger mellan majoriteten av provtagningspunkterna inom flygplatsområdet och med UVGV1, UVGV2 och Fyrishov. Därtill indikerar diagrammet att UVGV3 har en något avvikande sammansättning genom dess separation från de övriga provtagningslokalerna och dess lösa gruppering med NIRASGV1A.

Principalkomponentanalysen avseende det större urvalet av PFAS-parametrar från provtagningsomgång 7 och 8 (figur 19) visar på svagare samband mellan provtagningslokalerna och bedöms ge för lite dataunderlag för en vederhäftig principalkomponentanalys, men styrker ändå resultatet av principalkomponentanalysen av det mindre omfattande paketet av PFAS-kongener som undersökts vid samtliga provtagningsomgångar och som redovisas i figur 17 och figur 18. Även principalkomponentanalysen av det större urvalet av PFAS-parametrar förefaller vara känslig för skillnader i provtagningspunkternas haltstyrkor avseende PFAS, vilket försvårar bedömningen av hur de olika provtagningslokalerna faktiskt förhåller sig till varandra med avseende på sammansättningen av PFAS. En rimlig slutsats av detta kan vara att de olika provtagningslokalerna i grunden inte är så olika varandra med avseende på sammansättningen av PFAS. Klusteranalysen av resultaten från provtagningsomgång 7 och 8 (figur 21), förefaller överlag ge en bild som samstämmer med principalkomponentanalyserna.

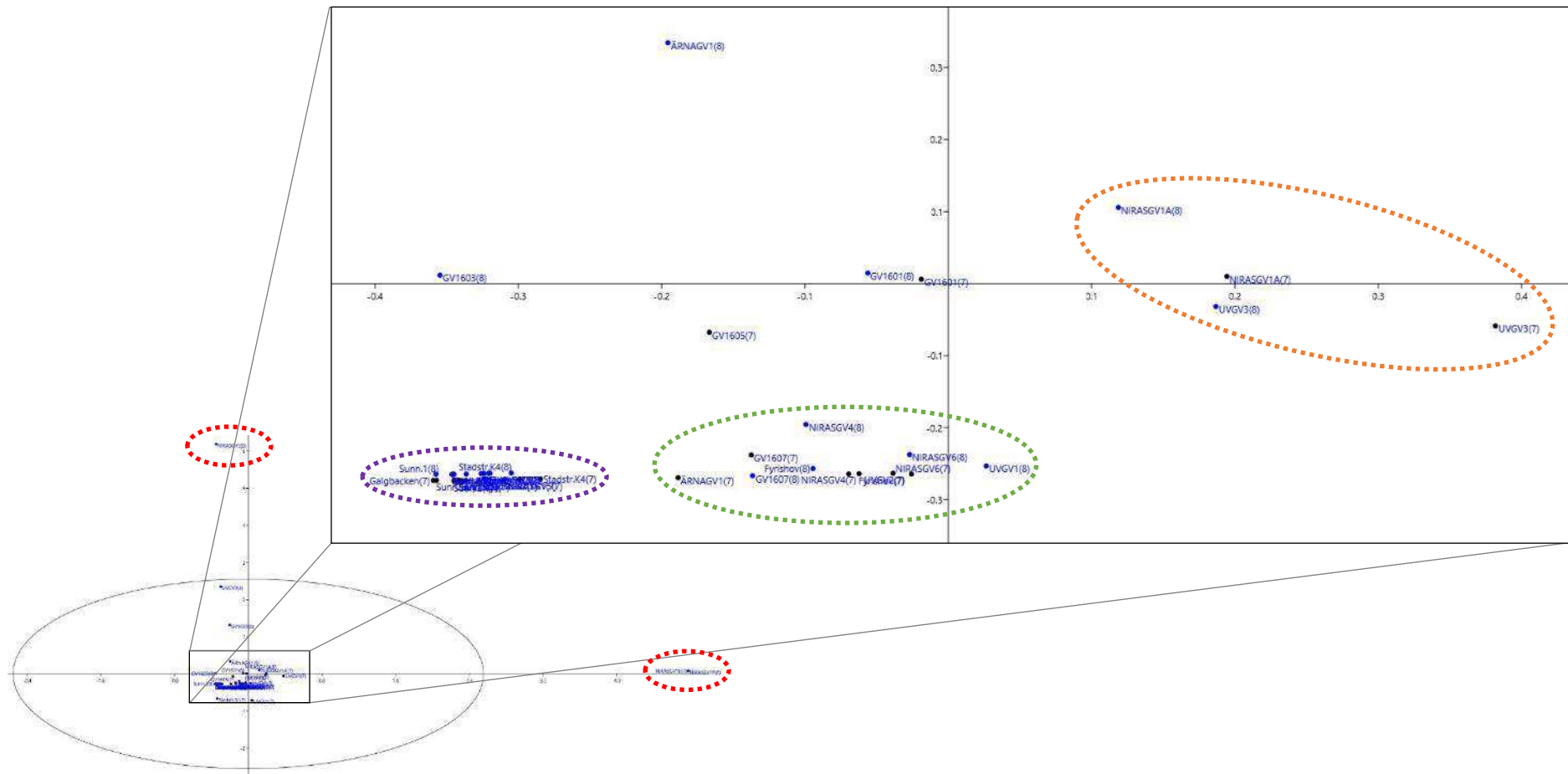
Helldén Environmental
Engineering AB



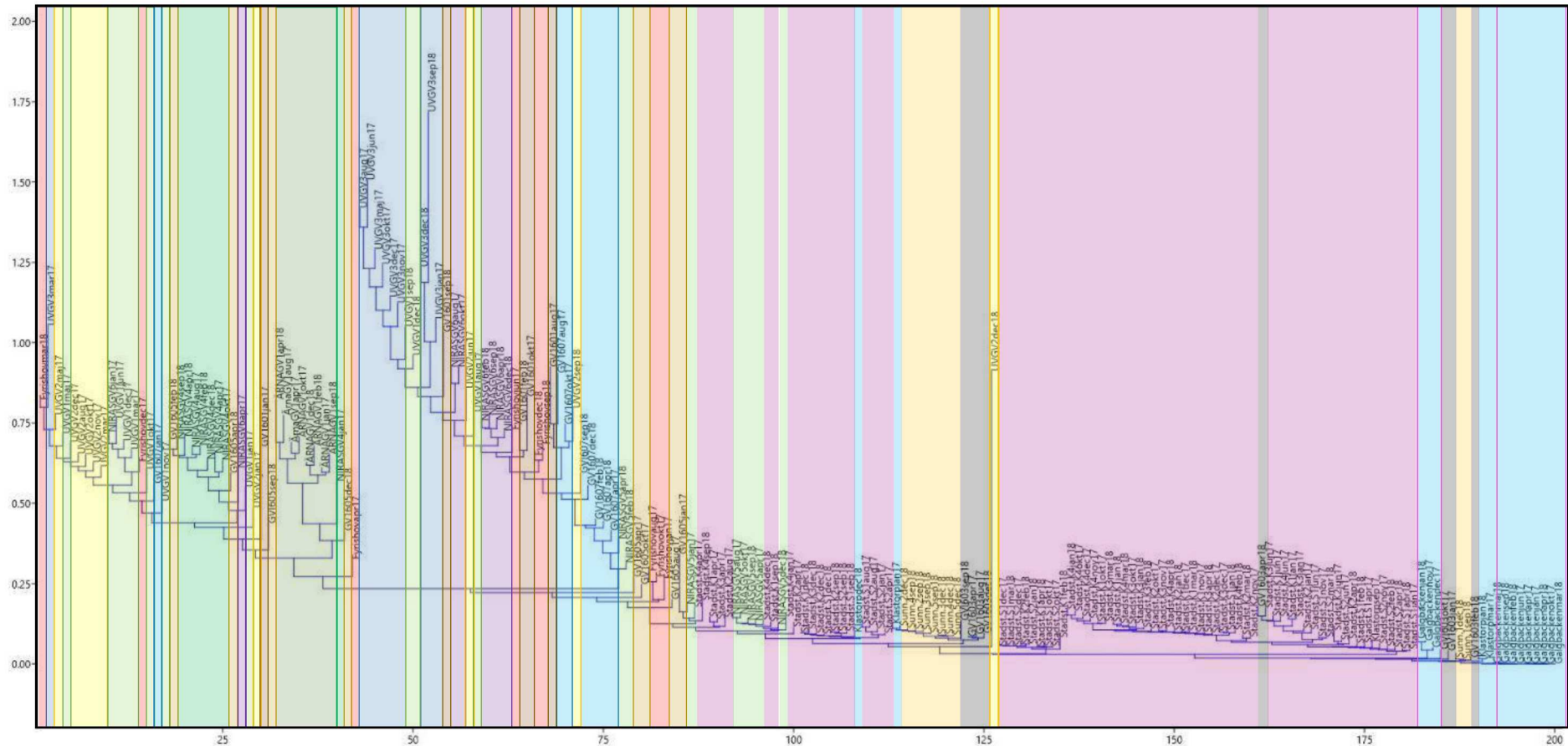
Figur 17. Ordinationsdiagram av principalkomponentanalys (PCA) avseende analysresultaten av PFAS från samtliga provtagningstillfällen år 2017 och 2018. Principalkomponent 1 (liggande axeln) och komponent 2 (stående axeln) förklarar 65,4 % respektive 13,8 % av variationen. Punkter som utgör uteliggare i diagrammet har markerats i rött. De gröna pilarna indikerar schematiskt hur parametrarna av PFAS har styrt placeringen av punkterna i diagrammet (se bilaga 2F för diagram fullständiga med vektorpilar utritade). Principalkomponentanalysen genomfördes på standardiserade data i programvaran Past3.



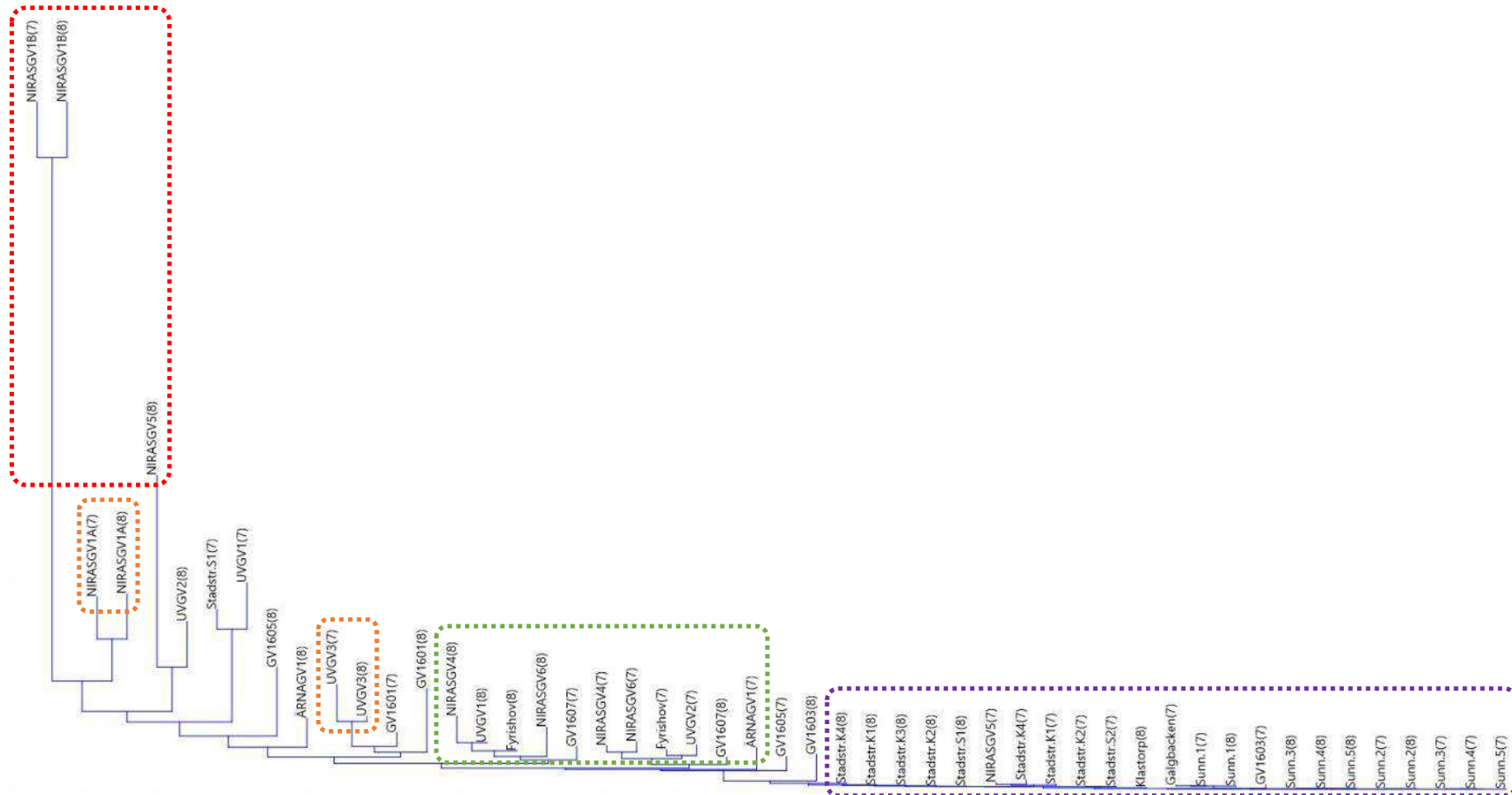
Figur 18. Ordinationsdiagram av principalkomponentanalys (PCA) avseende analysresultaten av PFAS från samtliga provtagningsstillfällen år 2017 och 2018, utan provtagningspunkterna NIRASGV1A och NIRASGV1B samt provtagningarna från augusti år 2017 av Stadsträdgården och Galgbacken, vilka placerade sig som utliggare i den tidigare principalkomponentanalysen (figur 17). Varje provtagningspunkt har tilldelats en unik färgläggning. Principalkomponent 1 (liggande axeln) och komponent 2 (stående axeln) förklarar 77,6 % respektive 9,2 % av variationen. Punkter utanför ovalen utgör utliggare, vilka dock befinner sig närmare origo än i tidigare PCA (figur 17). De gröna pilarna är schematiska och indikerar hur parametrarna av PFAS har styrt placeringen av punkterna i diagrammet. Se bilaga 2F för diagram med fullständiga vektorlinjer. Principalkomponentanalysen genomfördes på standardiserade data i programvaran Past3.



Figur 19. Ordinationsdiagram från principalkomponentanalys (PCA) avseende analysresultaten av PFAS i samtliga provtagningspunkter från provtagningsomgång 7 och 8, då fler PFAS-kongener analyserades än vid tidigare omgångar. Ordinationsdiagrammet omfattar sålunda 37 parametrar av PFAS (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFBS, PFHxS, PFOS, FOSA, 6:2FTS, PFHpS, PFPeS, PFOS (linjär), PFOS (grenad), PFOA (linjär), PFOA (grenad), PFHxS (linjär), PFHxS (grenad), PFOSA (linjär), PFOSA (grenad), PFBS, PFHxS, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFOSA, PFUdA, PFDoA, 6:2FTS, PFBA, PFPeA, PFHpS, PFOS och 8:2FTS). Principalkomponent 1 och 2 förklarar 74,7 % respektive 9,2 % av variationen. NIRASGV1B och NIRASGV5 (markerade i rött) placerar sig som uteliggare längs principalkomponent 1 respektive 2. Principalkomponentanalysen genomfördes på standardiserade data i programvaran Past3.



Figur 20. Dendrogram efter klusteranalys (neighbour joining clustering med euklidisk distans) av standardiserade analysdata avseende PFAS från samtliga provtagningstillfällen inom uppföljningsprogrammet. Färgmarkeringarna omfattar samma provtagningspunkter som i ordinationsdiagrammet av principalkomponentanalysen i figur (16). Klusteranalysen genomfördes i programvaran Past3.



Figur 21. Dendrogram efter klusteranalys (neighbour joining clustering med euklidisk distans) av standardiserade analysdata avseende PFAS från provtagningsomgång 7 och 8. Färgmarkeringarna omfattar samma provtagningspunkter som i ordinationsdiagrammet av principalkomponentanalysen i figur 19. Klusteranalysen genomfördes i programvaran Past3.

5.5 PFAS-profilen och variationen av PFAS-11 i varje provtagningspunkt

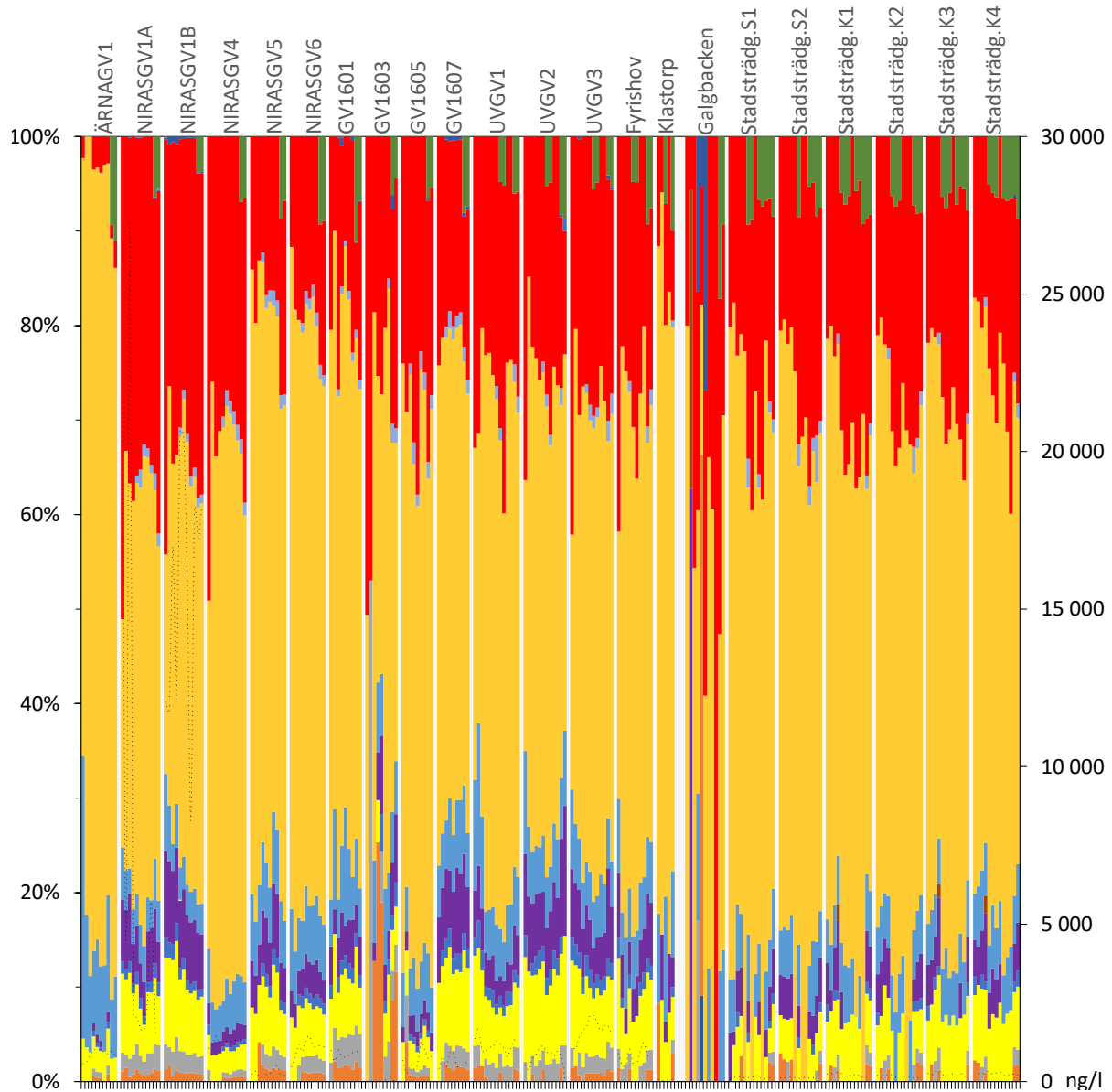
Den relativa fördelningen mellan enskilda PFAS-kongener som påträffats i grundvattnet inom respektive provtagningslokal framgår översiktligt av figur 22 och figur 23 samt i högre detaljnivå av de följande diagramfigurerna. Syftet med diagrammen är att undersöka om sammansättningen av PFAS i provtagningslokalerna förändras över tid samt om det råder några skillnader i fördelning mellan olika lokaler. Även resultat från provtagningar genomförda före uppföljningsprogrammet redovisas. Varje provtagningspunkt åskådliggörs i ett eget diagram där en stapel indikerar den relativa procentuella fördelningen av PFAS vid varje provtagningstillfälle. Därtill redovisas haltsumman av PFAS (PFAS-11) för att ge en indikation på den totala koncentrationen av PFAS i miljarddel gram per liter (ng/l) i grundvattnet. Haltsumman visas som en streckad linje mellan varje provtagningstillfälle. Den ska emellertid inte tolkas som en trendlinje i någon statistisk mening.

Diagram som visar de faktiska haltförhållandena i koncentrationer, mellan enskilda PFAS-kongener vid de olika provtagningstillfällena, redovisas i bilaga 2A. Det kan inte uttydas någon allmängiltig trend avseende haltvariationen över tid för enskilda kongener. I majoriteten av provtagningslokalerna förefaller halterna pendla/variera kring ett konstant medelvärde. Vissa provtagningslokaler uppvisar emellertid kraftigare haltvariationer, och det kan i främst två punkter urskiljas toppformationer av högre halter. I GV1603 var halterna avvikande höga vid provtagningsomgång 6 (i april år 2018) och resultaten från de i tid angränsande provtagningsomgångarna indikerar att avvikelsen kan ha varat under en period av flera månader. Även UVGV3 uppvisade en toppformation, med störst haltstyrka i augusti år 2017. Vidare kan det i NIRASGV1A, liksom i GV1603, konstateras avvikande höga halter vid provtagningsomgång 6, men i denna punkt har halterna varit höga även tidigare år.

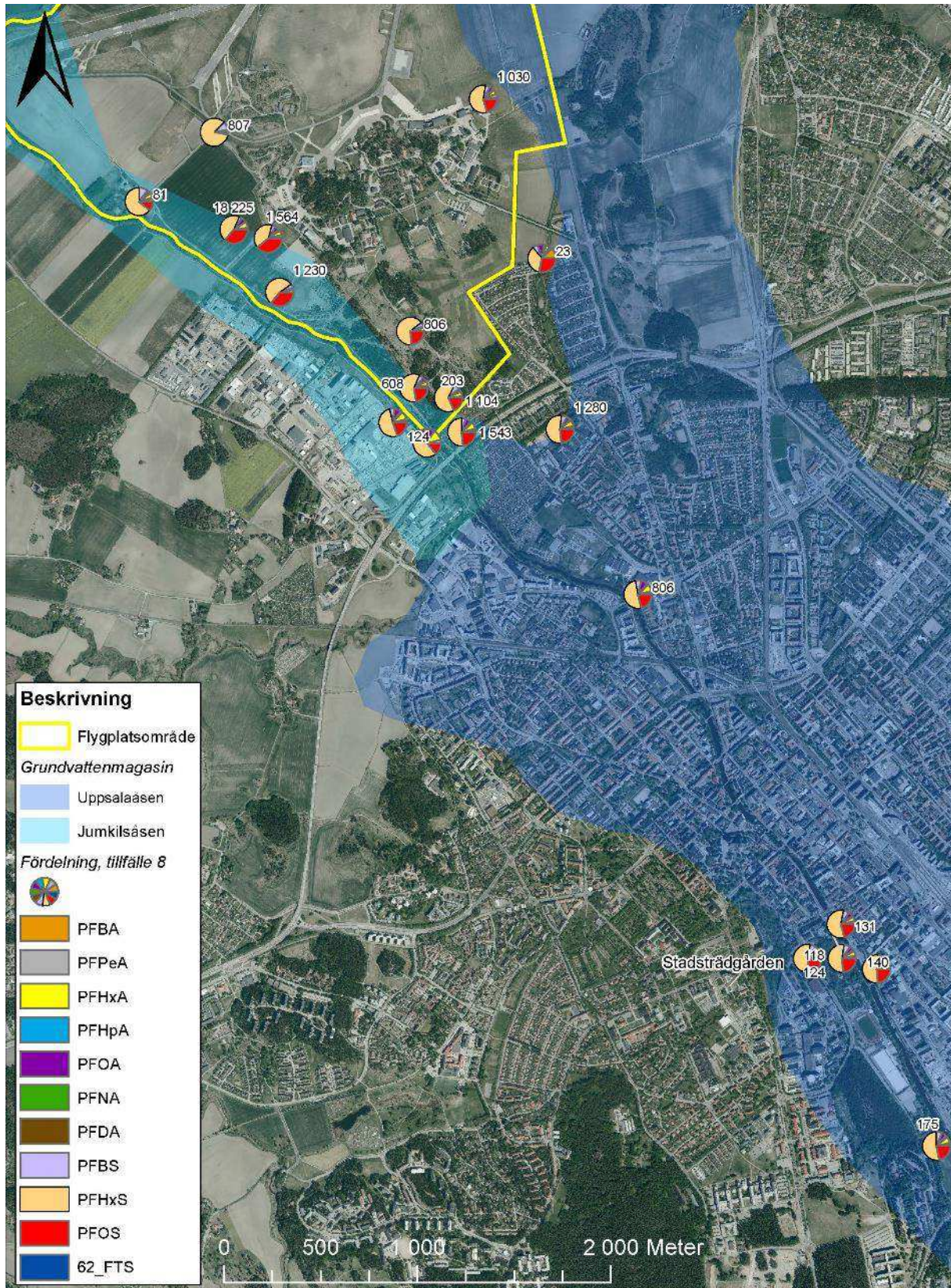
Lågförorenade provtagningspunkter, där enskilda PFAS i allmänhet förekommer i halter nära rapporteringsgränsen av de kemiska analyserna, uppvisar större relativ variation i haltstyrka och lägre förekomst av olika kongener. Sammansättningen av PFAS i dessa provtagningspunkter bedöms vara mindre representativ för fördelningen av PFAS och föroreningssituationen i stort, beträffande såväl enskilda kongener som summor av PFAS (så som vid jämförelser av summan av långa och korta kongener enligt bilaga 2A). Återhållsamhet bör även prägla jämförelser mot äldre analysresultat, då fler PFAS-kongener har analyserats i senare provtagningar och rapporteringsgränserna har sänkts från 10-tals ng/l till enstaka ng/l eller lägre. Tidiga analyser inkluderade heller inte grenade isomerer (molekylformer) av exempelvis PFOS och PFHxS.

PFDA är ett exempel på en PFAS som förekommit i låga halter i Galgbacken och Stadsträdgården K1, K3 och K4. Denna PFAS påträffades vid ett och samma provtagningstillfälle (i augusti år 2017), vilket kan ses som en indikation på att provtagningslokalernas påverkan av källtermen till PFDA är oregelbunden eller att de kemiska analyserna är en bidragande orsak till den större relativa variationen vid låga haltstyrkor; och att förekomsten av PFDA blev känd först vid det aktuella analystillfället på grund av analystekniska orsaker. PFDA förekommer inte i högre halter i någon annan provtagningslokal, vilket talar för att de uppmätta halterna av PFDA inte har skett till följd av en kontaminering av proverna, för vilket risken i regel bedöms som störst vid samtida/parallell hantering av prover med höga halter av den aktuella kontaminanten. Sammantaget indikerar den påvisade förekomsten av PFDA att de aktuella provtagningslokalerna är påverkade av en hittills okänd källterm av PFAS, inom vilken PFDA eller prekursorer (föremålen) till PFDA förekommer.

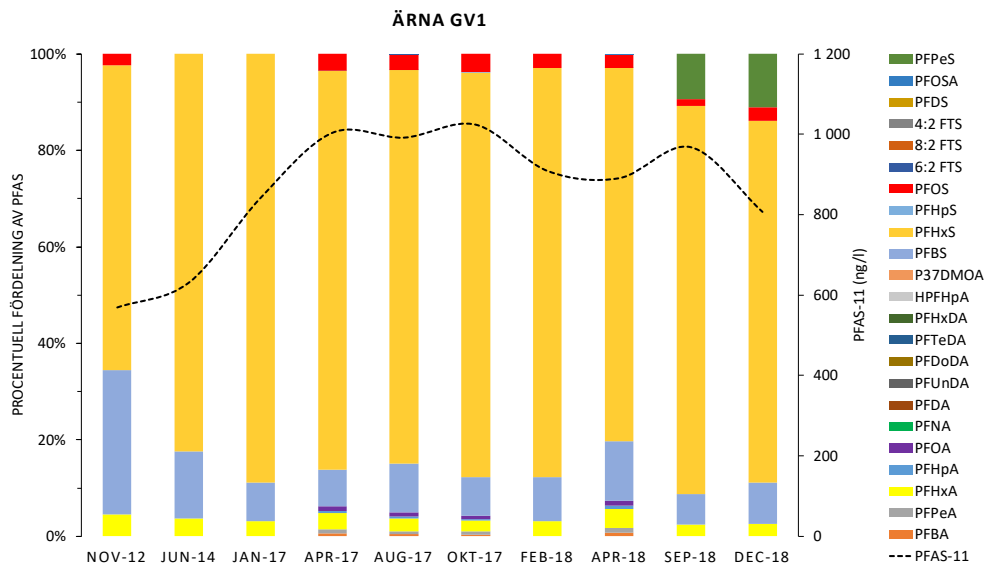
Det är i övrigt svårt göra några konkreta kopplingar mellan de enskilda provtagningslokalerna och källtermer av PFAS, allenast mot bakgrund av de enskilda PFAS-kongenernas förekomst och variation över tid. Bedömningen försvåras av att bara ett fåtal källtermer är kända och att inga källtermer är kartlagda i detalj (PFAS är vanliga som grundvattenföroreningar i stadsmiljö, kring industrier, i brandhärjade områden, osv.). Det är också oklart var i geografien vissa provtagningspunkter är belägna (främst gällande Stadsträdgårdens provtagningspunkter) och hur majoriteten av provtagningspunkterna är installerade (dvs. på vilket djup och i vilken geologi).



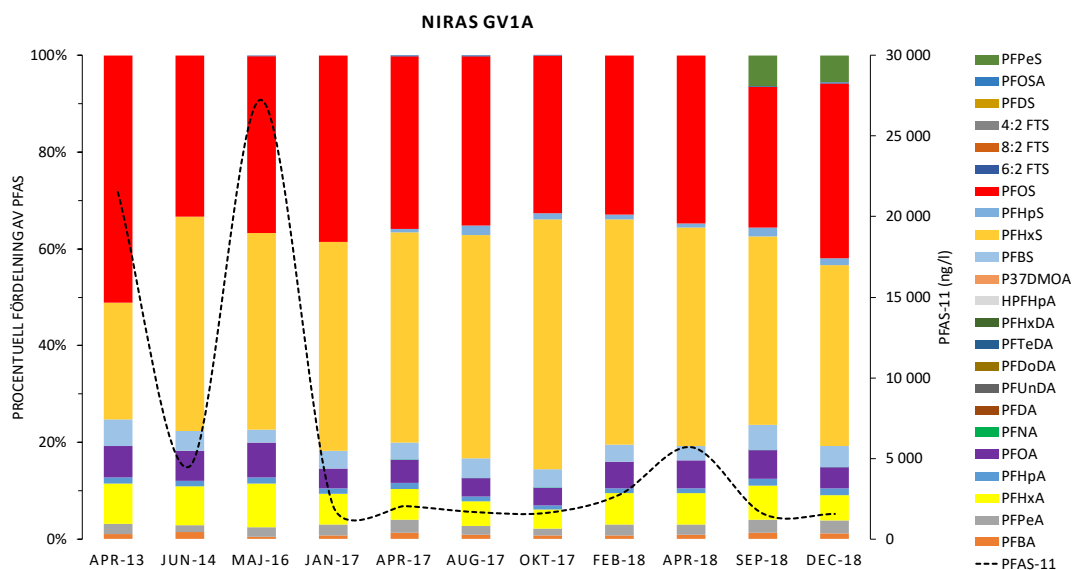
Figur 22. Översikt av den relativa fördelningen av enskilda analyserade PFAS-kongener i samtliga provtagningspunkter. Diagrammet visar resultatet av alla genomförda provtagningsstillfällen (även de som genomfördes tiden före uppföljningsprogrammet). Provtagningsresultaten för respektive provtagningslokal ligger i kronologisk ordning, från vänster till höger. Notera att de låga halterna i provtagningspunkt GV1603 och Galgbacken medför att den redovisade fördelningen av PFAS i dessa punkter inte är helt representativ. De dominerande PFAS-kongenerna utgörs av PFOS (rött), PFHxS (mörkgrönt), PFBS (blått), PFOA (mörkblått/violett), PFHxA (ljusgrönt) och PFPeS (gult). Flera PFAS-kongener, såsom PFPeS, har analyserats först vid senare provtagningsstillfällen och somliga av dessa, till exempel PFPeS, har sannolikt varit närvarande även tidigare. PFPeS bedöms sålunda inte ha tillkommit som en ny förorening på senare tid. Tidigare analysresultat (innan år 2016) är av analystekniska orsaker inte helt jämförbara med senare. En större version av diagrammet finns i bilaga 2A.



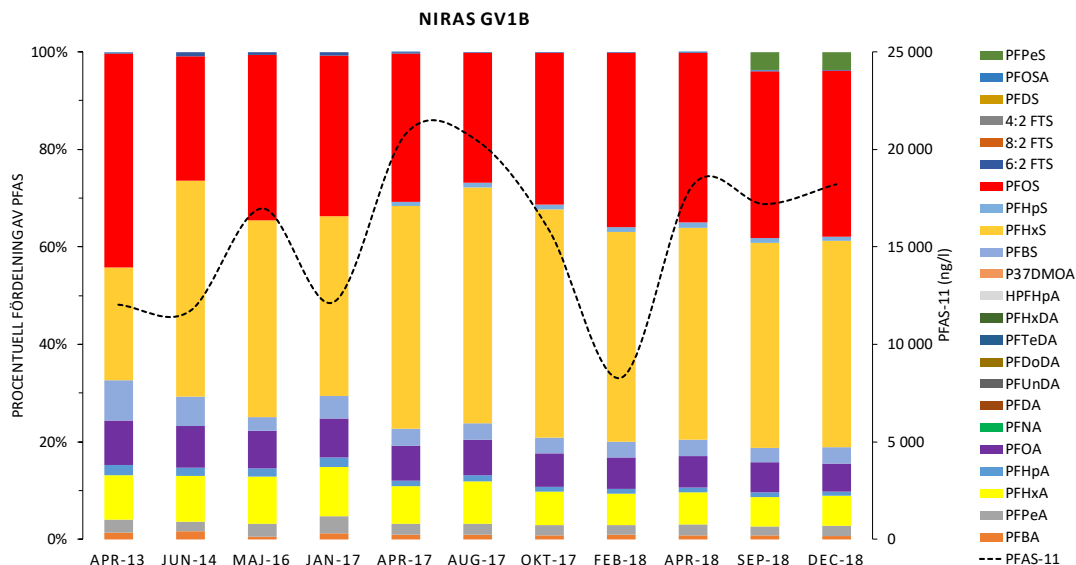
Figur 23. Geografisk översikt av den relativa fördelningen av enskilda analyserade PFAS-kongener. Cirkeldiagrammen redovisar PFAS-fördelningen i de olika provtagningslokalerna vid provtagningsomgång 8, i december år 2018. Notera att de låga halterna i GV1603 och Galgbacken medför att den redovisade fördelningen i dessa punkter inte är helt representativ. Information om grundvattenmagasinens utsträckning (markeringar i blått) har hämtats från SGU:s (Sveriges geologiska undersökning) kartvisare "Grundvattenmagasin". Bakgrundskarta från Metria.



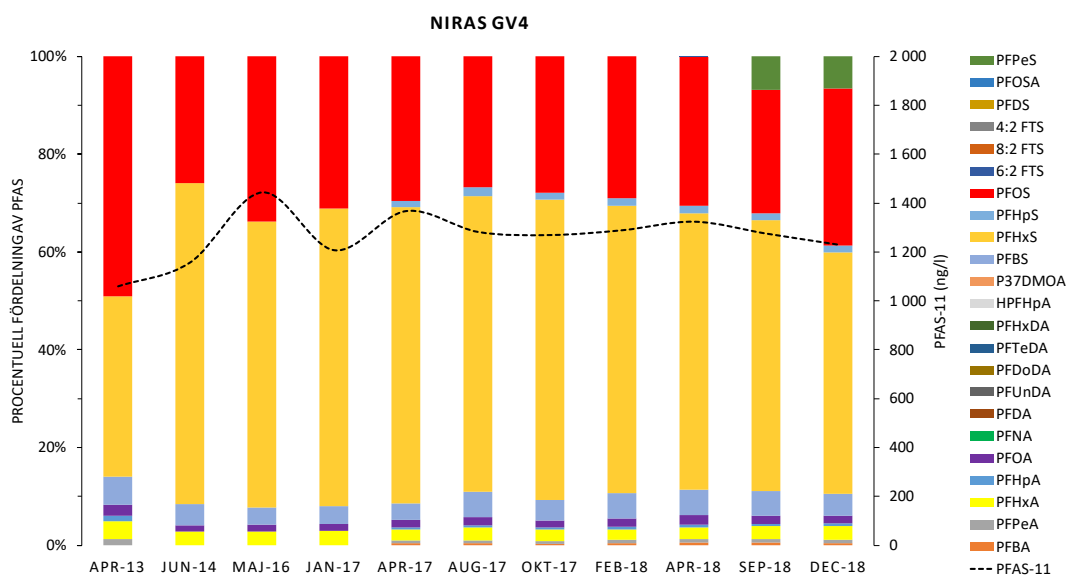
Figur 24. I ÄRNAGV1 har PFAS-11 legat mellan ca 800 och ca 1 000 ng/l under uppföljningsprogrammets gång. Det är möjligt att de lägre halterna år 2012 och år 2014 delvis kan förklaras av att laboratoriet tidigare inte analyserade samtliga isomerer av PFOS och framförallt PFHxS. Mot den bakgrunden förefaller haltstyrkan av PFAS-11 i ÄRNAGV1 inte öka över tiden, men den kan heller inte anses avta. ÄRNAGV1 uppvisar högre andel av PFBS (ljusblått) och lägre andelar av PFOS (rött), PFOA (violett) och PFPeA (grått) än övriga provtagningspunkter inom flygplatsområdet. ÄRNAGV1 avviker också något från de övriga lokalerna genom den relativt stora andelen PFPeS, som dock endast har analyserats vid de två senaste provtagningsomgångarna, vilket försvårar bedömningen.



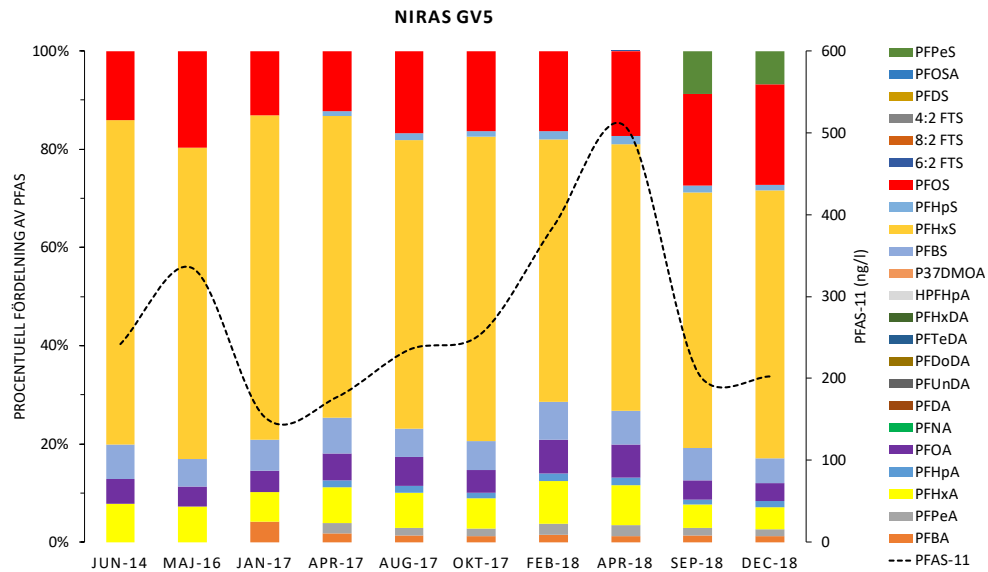
Figur 25. I provtagningspunkten NIRASGV1A har PFAS-11 tidigare uppvisat en kraftig variation och haltsumman har varierat mellan storleksordningen 20 000 ng/l och 5 000 ng/l. Mot bakgrund av denna historik har haltvariationen varit liten under två års-perioden 2017–2018; då den i allmänhet har legat kring ca 1 600 ng/l. Det kan emellertid konstateras en för perioden avvikande hög haltsumma av PFAS på ca 5 000 ng/l vid provtagningsomgång 6 i april år 2018. Haltsumman av PFAS förefaller varken avta eller öka i haltstyrka och det är möjligt att PFAS-11 pendlar i regionen 1 500 – 5 000 ng/l. Gällande den relativa fördelningen av enskilda PFAS tycks andelen PFHxS (gult) ha ökat under år 2017 för att sedan åter minska år 2018. Notera att PFPeS endast analyserades vid de två sista provtagningsomgångarna. Det ska även understrykas att tidiga analysresultat (till och med år 2014) inte är helt jämförbara med de senare.



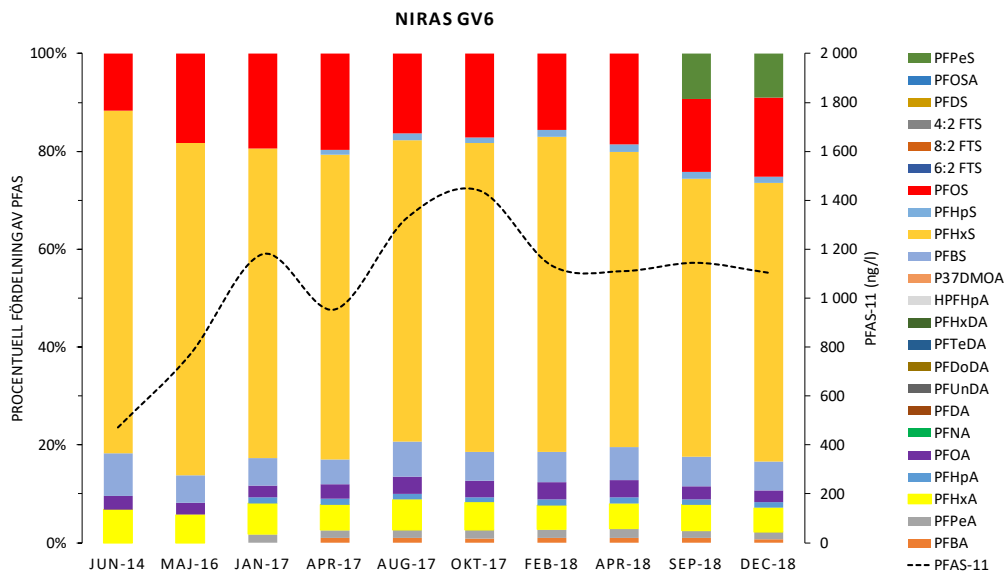
Figur 26. I provtagningspunkten NIRASGV1B har PFAS-11 varierat kraftigt mellan ca 8 000 och ca 21 000 ng/l. Det är med anledning av den stora variationen svårt att uttolla någon generell haltutveckling, som av allt att döma pendlar kring medelvärdet på 16 000 ng/l. Notera att PFPeS endast analyserades vid de två sista provtagningsomgångarna. Det ska även understrykas att tidiga analysresultat (till och med år 2014) inte är helt jämförbara med de senare.



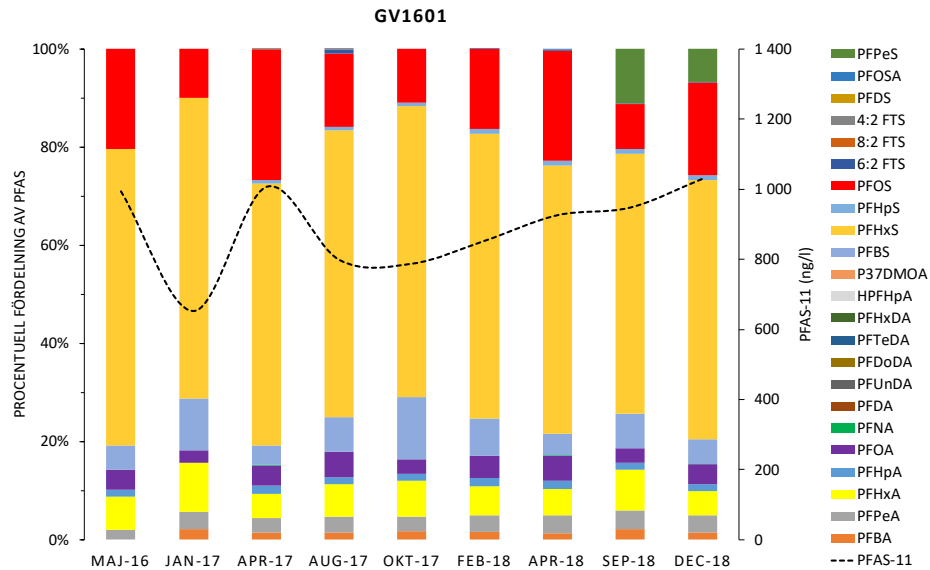
Figur 27. I provtagningspunkten NIRASGV4 har PFAS-11 haft en relativt liten variation och länge legat kring 1 300 ng/l. Även variationen i den relativa fördelningen av enskilda PFAS förefaller vara liten över tid. Notera att PFPeS endast analyserades vid de två sista provtagningsomgångarna. Det ska även understrykas att tidiga analysresultat (till och med år 2014) inte är helt jämförbara med de senare.



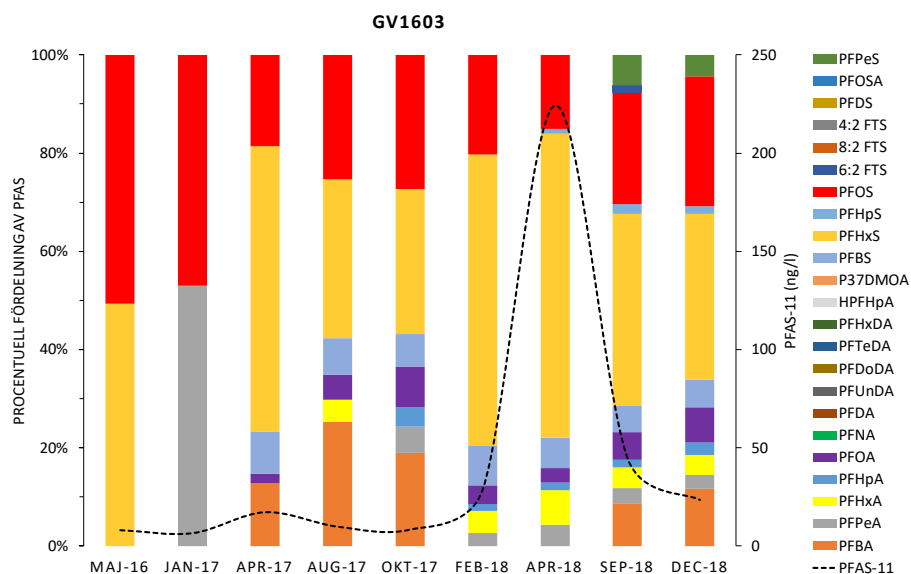
Figur 28. I provtagningspunkten NIRASGV5 har PFAS-11 varierat i storleksordningen 150 – 500 ng/l. Haltsumman ökade under år 2017 och fram till våren/sommaren år 2018 för att sedan kraftigt sjunka till sommaren/hösten år 2018. Haltsummans variation i ett längre perspektiv (från juni år 2014), indikerar att "toppformationen" under år 2018 inte var en engångsföreteelse och att haltsumman förefaller pendla kring ett medelvärde på ca 300 ng/l, snarare än att haltstyrkan ökar eller minskar över tid. Gällande den relativa fördelningen av enskilda PFAS har variationen varit låg. I denna provtagningspunkt har flera PFAS förekommit i halter nära laboratoriets rapporteringsgränser, vilket försvårar bedömningen av PFAS-fördelningen. Notera att PFPeS endast analyserades vid de två sista provtagningsomgångarna. Det ska även understrykas att tidiga analysresultat (till och med år 2014) inte är helt jämförbara med de senare.



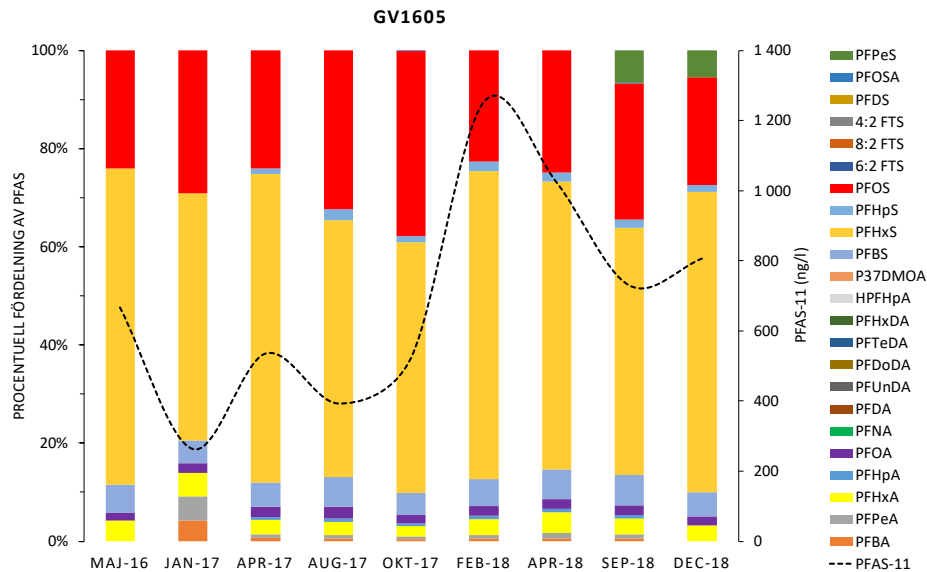
Figur 29. Provtagningspunkten NIRASGV6 har mellan år 2017 och år 2018 uppvisat en haltvariation av PFAS-11 mellan ca 900 ng/l och ca 1 400 ng/l. Det är med anledning av den stora variationen svårt att uttöka någon generell haltutveckling, som av allt att döma pendlar kring medelvärdet på ca 1 100 ng/l. Gällande den relativa fördelningen av enskilda PFAS har variationen varit låg. Notera att PFPeS endast analyserades vid de två sista provtagningsomgångarna. Det ska även understrykas att tidiga analysresultat (till och med år 2014) inte är helt jämförbara med de senare.



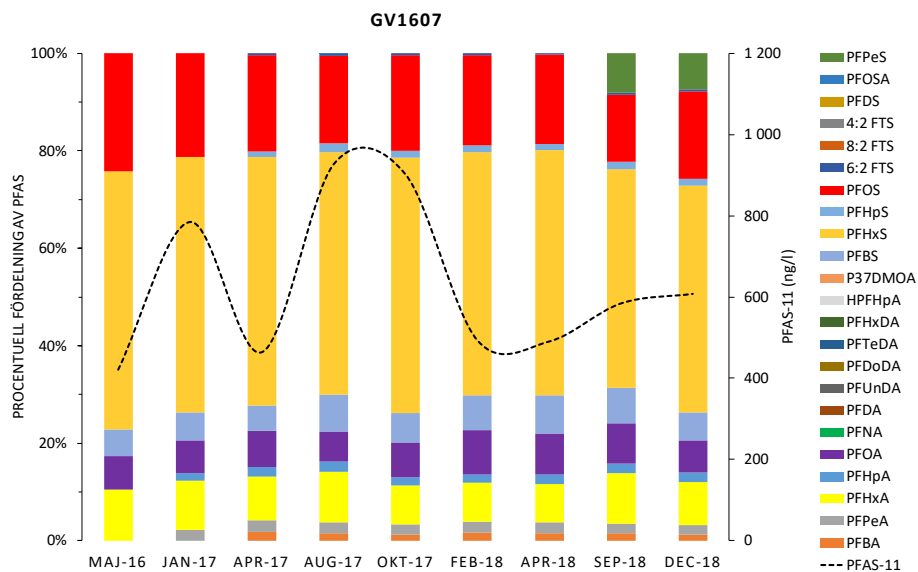
Figur 30. I provtagningspunkten GV1601 har PFAS-11 varierat mellan ca 600 ng/l och ca 1 000 ng/l. Haltstyrkan har uppvisat en gradvis ökning över tid från provtagningsomgång 3 i augusti år 2017, men mot bakgrund av den stora variationen mellan de tre första provtagningsstillfällena kan detta inte anses vara en vederhäftig trend i någon statistisk mening. Gällande den relativa fördelningen av enskilda PFAS tycks PFOS (rött) och PFBS (ljusblått) stå för den huvudsakliga variationen. Notera att PFPeS endast analyserades vid de två sista provtagningsomgångarna.



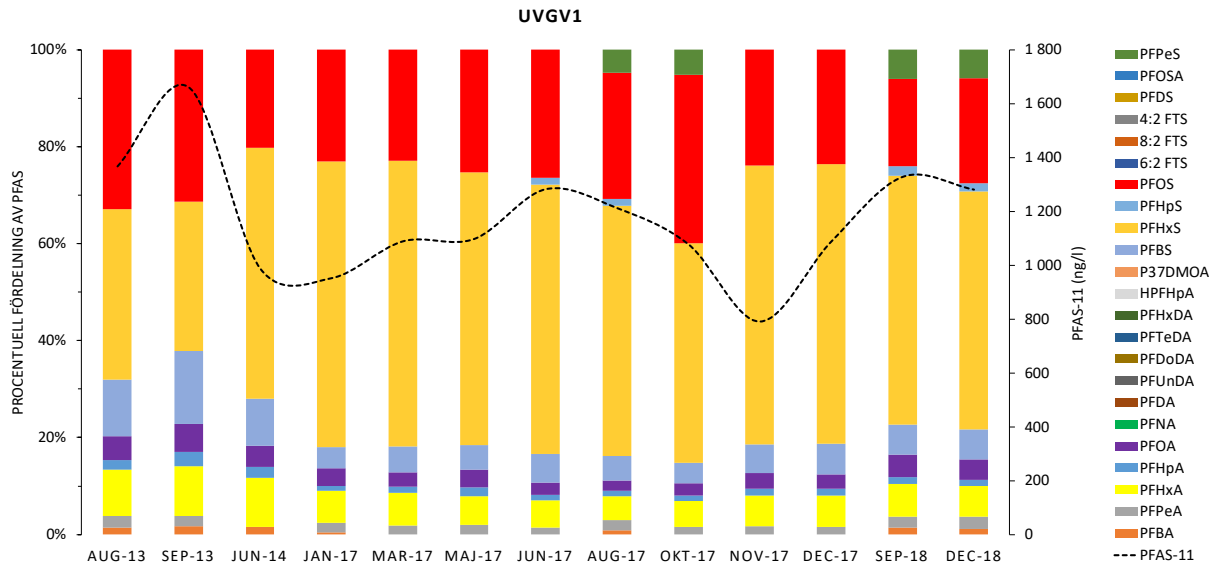
Figur 31. I provtagningspunkt GV1603 har i regel relativt låga halter av PFAS påvisats. PFAS-11 har i allmänhet legat under 10 ng/l och de detekterade PFAS-kongenerna har förekommit i halter nära laboratoriets rapporteringsgränser, vilket försvårar bedömningen av PFAS-fördelningen och jämförelser med andra provtagningspunkter. Informationen i denna figur bör således endast betraktas som en indikativ representation av den relativa PFAS-fördelningen. Kraftigt avvikande halter registrerades vid provtagningsomgång 6, i april år 2018. Det är möjligt att PFAS-profilen som illustreras vid detta provtagningsstillfälle kan vara mer representativ för den faktiska fördelningen av enskilda PFAS-kongener i provtagningspunkten. Haltstyrkeavvikelsen av PFAS-11 vid detta provtagningsstillfälle kan ses som en indikation på att provtagningspunkten är påverkad av en heterogen plym. Det är märkligt att PFBA inte påvisades vid provtagningsstillfället. Notera att PFPeS endast analyserades vid de två sista provtagningsomgångarna.



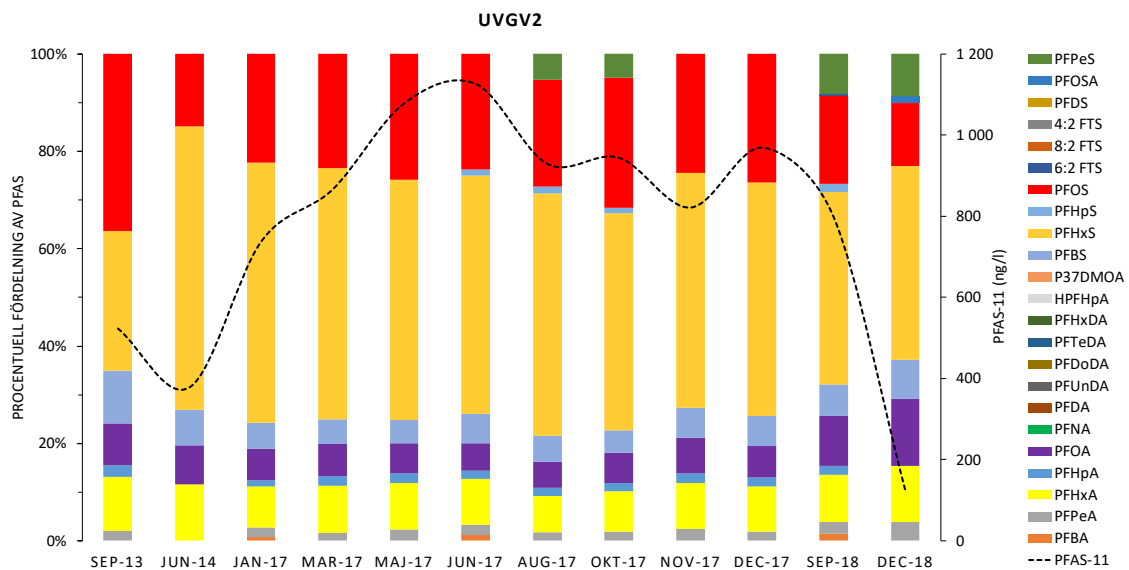
Figur 32. I provtagningspunkten GV1605 har PFAS-11 varierat kraftigt mellan ca 250 ng/l och ca 1 300 ng/l. Ökande toppar och bottnar av haltstyrkan kan indikera att haltsumman generellt ökar med tiden. Det vore emellertid felaktigt att dra denna slutsats med anledning av den stora variationen samt mätosäkerheterna vid den analytiska bestämningen av PFAS-halterna. Gällande den relativa fördelningen av enskilda PFAS förefaller PFOS (rött) stå för den huvudsakliga variationen. Notera att PFPeS endast analyserades vid de två sista provtagningsomgångarna.



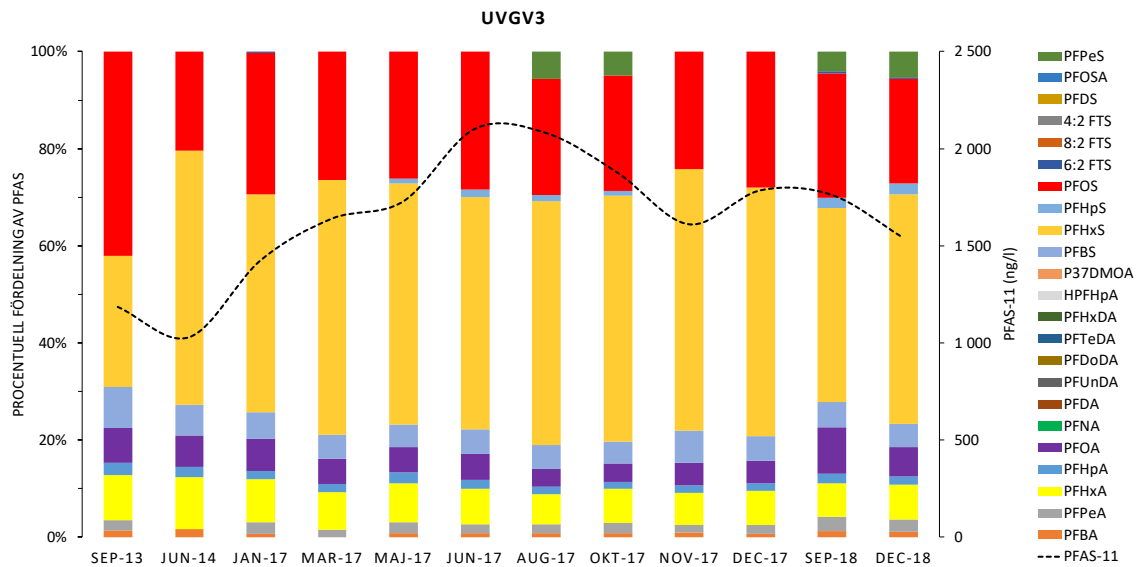
Figur 33. I provtagningspunkten GV1607 har PFAS-11 varierat kraftigt mellan ca 400 ng/l och 1 000 ng/l och haltsumman förefaller pendla kring medelvärdet på ca 650 ng/l. Variationen i den relativa fördelningen av enskilda PFAS är liten. Notera att PFPeS endast analyserades vid de två sista provtagningsomgångarna.



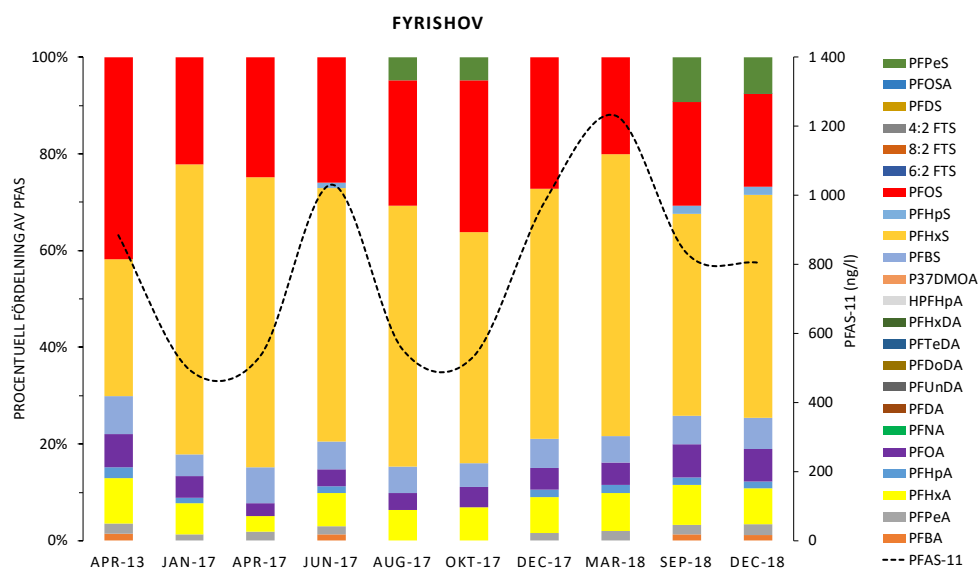
Figur 34. I provtagningspunkten UVGV1 har PFAS-11, mellan år 2017 och år 2018 varierat mellan ca 800 ng/l och 1 400 ng/l och haltsumman förefaller pendla kring medelvärde på ca 1 100 ng/l. PFOS (rött) verkar stå för den huvudsakliga variationen. Notera att tidiga analysresultat (till och med år 2014) inte är helt jämförbara med de senare. Notera att PFPeS endast analyserades vid de provtagningsstillfällena i augusti och oktober år 2017 samt i september och december år 2018.



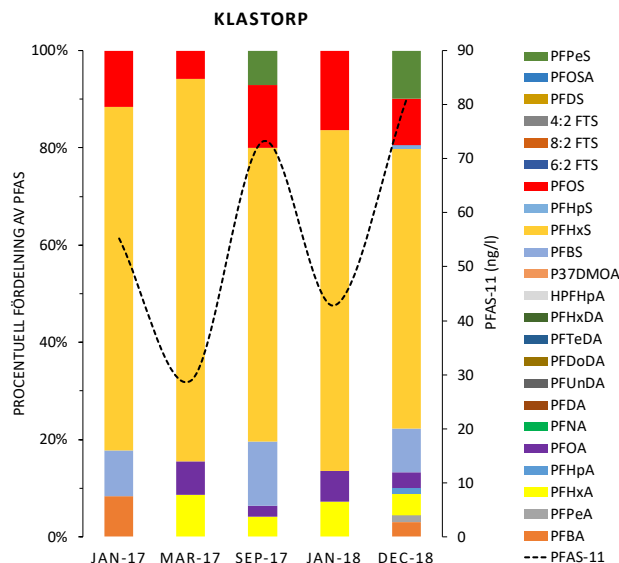
Figur 35. I provtagningspunkten UVGV2 har PFAS-11, under perioden 2017–2018, varierat mellan ca 100 ng/l och ca 1 100 ng/l. Det kan inte uttolkas någon generell trend avseende PFAS-11 över tid. Notera att PFPeS endast analyserades vid de provtagningsstillfällena i augusti och oktober år 2017 samt i september och december år 2018.



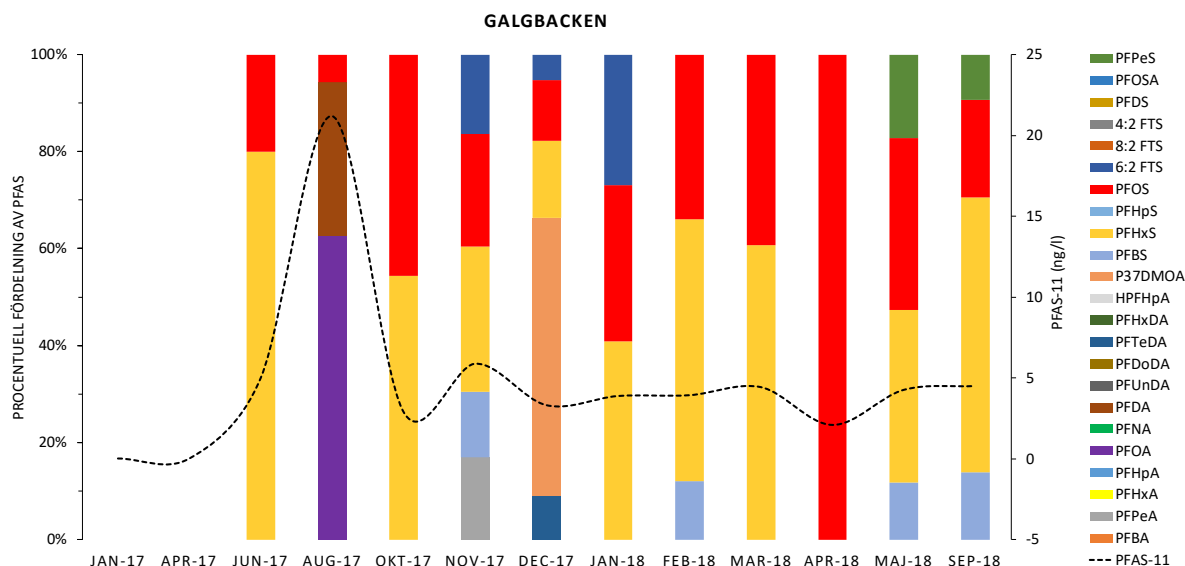
Figur 36. I provtagningspunkten UVGV3 har PFAS-11, under år 2017 och år 2018, varierat mellan ca 1 400 ng/l och 2 100 ng/l. Vid tidigare provtagningsstillfällen (år 2013 och 2014) har något lägre haltsummor konstaterats (ca 1 000 ng/l). Det är svårt att uttolla någon generell trend avseende haltsummans utveckling, som dock förefaller pendla kring ca 1 500 ng/l. Det är möjligt att de lägre halterna vid de tidigare provtagningsstillfällena delvis kan ha laboratorietekniska orsaker. Variationen i den relativa fördelningen av enskilda PFAS har generellt varit låg under år 2017 och år 2018. Notera att PFPeS endast analyserades vid de provtagningsstillfällena i augusti och oktober år 2017 samt i september och december år 2018.



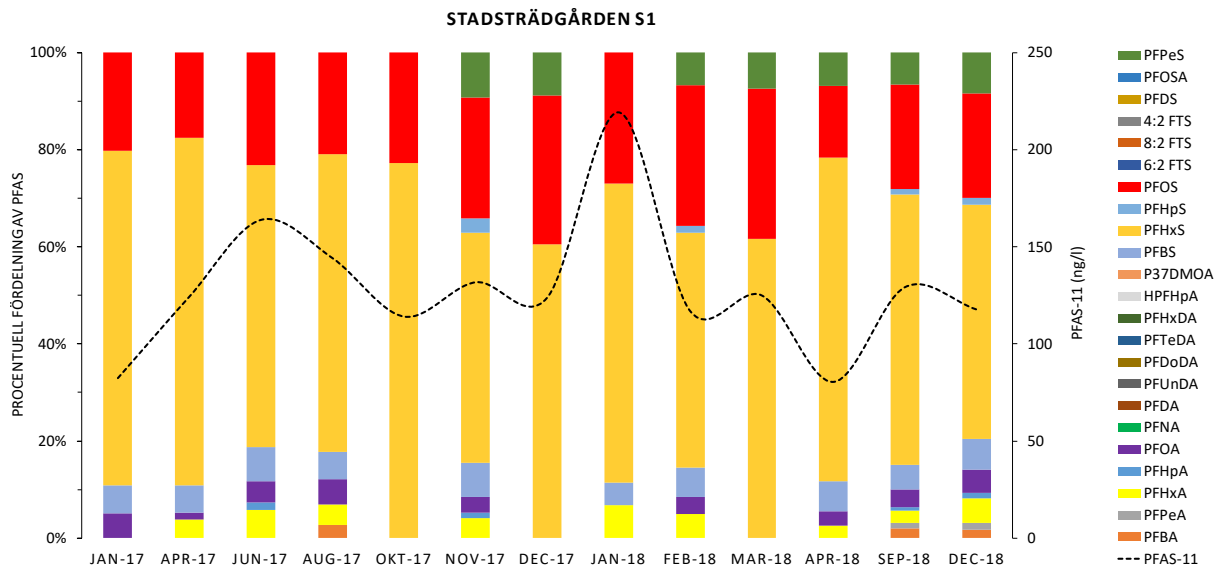
Figur 37. I provtagningspunkten Fyrishov har PFAS-11, under år 2017 och år 2018, pendlat kraftigt mellan ca 450 ng/l och ca 1 200 ng/l. Den stora variationen gör det svårt att uttolla någon generell trend avseende haltstyrkans förändring över tid. Gällande den relativa fördelningen av enskilda PFAS förefaller PFOS (rött) svara för den huvudsakliga variationen. Notera att tidiga analysresultat (till och med år 2014) inte är helt jämförbara med de senare. Notera att PFPeS endast har analyserats vid provtagningsstillfällena i augusti och oktober år 2017 samt september och december år 2018.



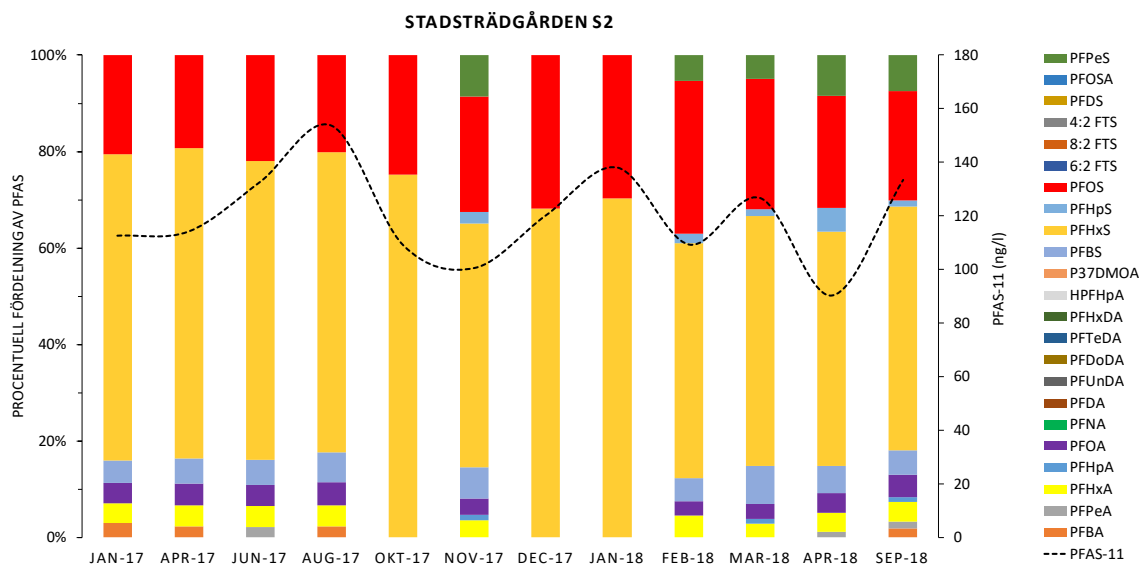
Figur 38. I provtagningspunkten Klastorp har relativ låga halter av PFAS påvisats. PFAS-11 har som högst legat kring 80 ng/l. Sambandet av stigande toppar och dalar kan indikera att haltstyrkan av PFAS-11 ökar med tiden, men dataunderlaget bedöms med anledning av den stora variationen samt osäkerheterna vid den analytiska bestämningen av PFAS-halterna vara för litet för att detta samband ska kunna vederläggas. Med undantag för PFHxS har samtliga analyserade PFAS generellt förekommit i halter nära laboratoriets rapporteringsgränser, vilket försvårar bedömningen av PFAS-fördelningen och jämförelser med andra provtagningspunkter. Detta kan även vara en förklaring till den variation som kan observeras i antalet detekterade PFAS-kongener mellan de olika provtagningsstillfällena. Informationen i denna figur bör således endast betraktas som en indikativ representation av den relativa PFAS-fördelningen i denna provtagningspunkt. Notera att PFPeS endast har analyserats vid provtagningsstillfällena september år 2017 och december år 2018.



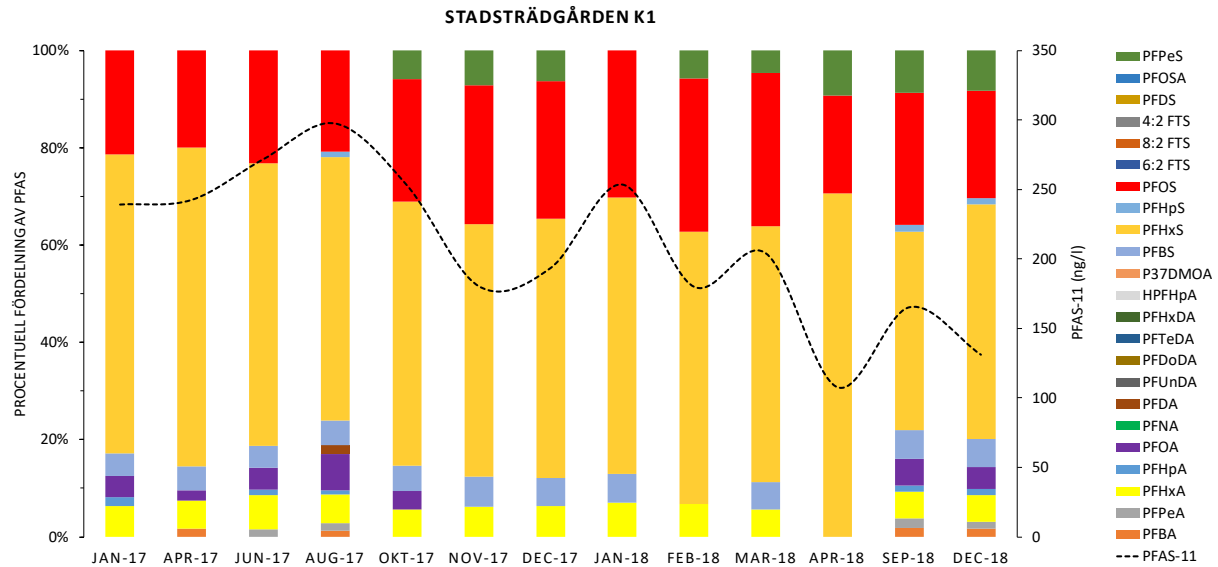
Figur 39. I provtagningspunkten Galgbacken har relativ låga halter av PFAS påvisats. PFAS-11 har i allmänhet legat kring några enstaka ng/l och som högst uppgått till ca 20 ng/l. Samtliga påvisade PFAS-kongener har generellt förekommit i halter nära laboratoriets rapporteringsgränser, vilket försvårar bedömningen av PFAS-fördelningen och jämförelser med andra provtagningspunkter liksom jämförelser mellan enskilda provtagningsstillfällen av Galgbacken. Informationen i denna figur bör således endast betraktas som en indikativ representation av den relativa PFAS-fördelningen i provtagningspunkten. Det är intressant att ämnet PFDA (brunt) påvisades i Galgbacken i augusti år 2017. Denna PFAS har inte påträffats i någon av provtagningspunkterna inom området för Uppsala flygplats. Notera att det i denna provtagningspunkt analyserades för PFPeS vid samtliga provtagningsstillfällen från och med oktober år 2017, men att PFPeS endast kunde påvisas i halt överskridande rapporteringsgränsen vid de två senaste provtagningsstillfällena.



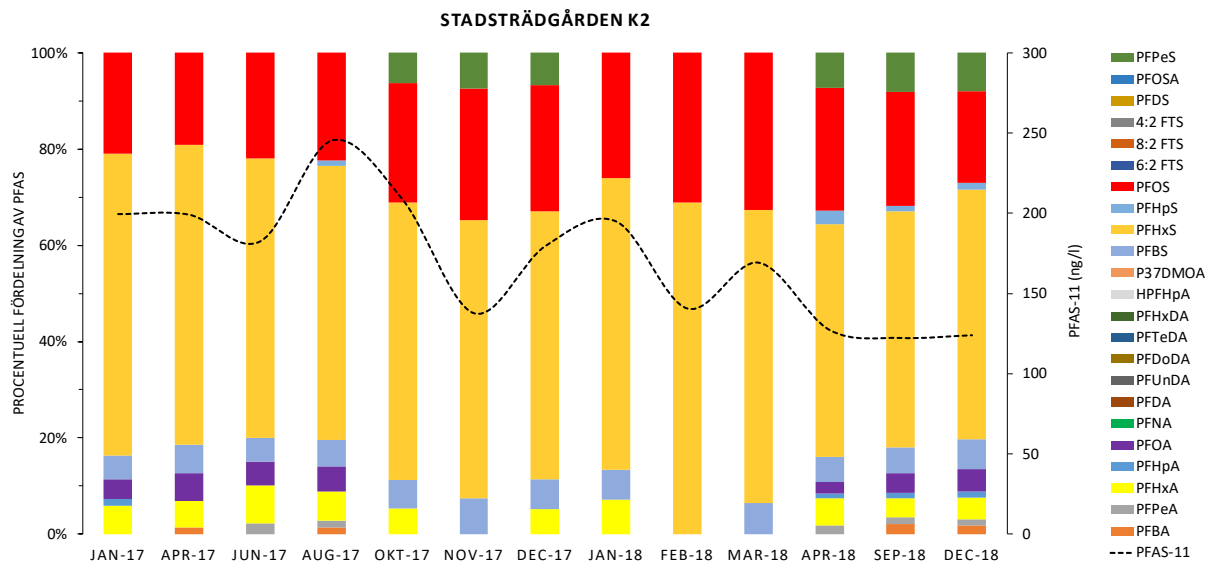
Figur 40. I provtagningspunkten Stadsträdgården S1 har PFAS-11 varierat mellan ca 80 ng/l och ca 220 ng/l. Den stora variationen gör det svårt att uttolka någon trend i haltstyrkans utveckling över tid; PFAS-11 förefaller pendla kring ett medelvärde på ca 130 ng/l. Flera PFAS-kongener, främst PFBS (ljusblått), PFOA (mörkblått/violett) och PFHxA (gult), vilka i regel har en allmän förekomst i provtagningslokalen, kunde inte påvisas vid provtagningsstillfällena i oktober och december år 2017 samt i mars år 2018. Halterna av dessa PFAS-kongener har vid de aktuella provtagningsstillfällena förmodligen legat strax under laboratoriets rapporteringsgränser. Notera att det i denna provtagningspunkt analyserades för PFPeS vid samtliga provtagningsstillfällen från och med oktober år 2017. PFPeS påträffades emellertid inte i oktober år 2017 och januari år 2018.



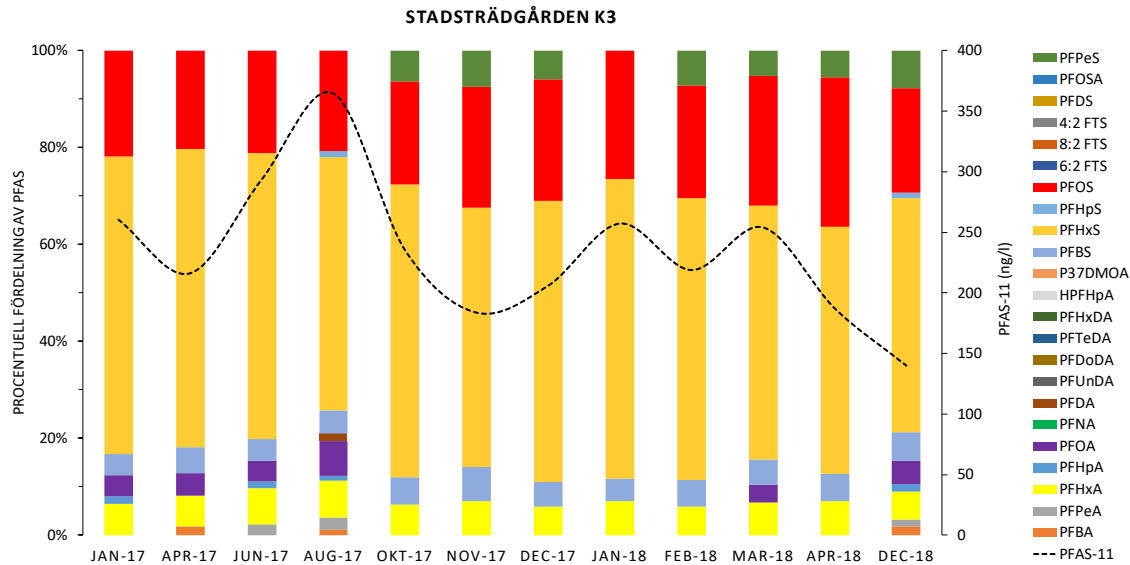
Figur 41. I provtagningspunkten Stadsträdgården S2 har PFAS-11 varierat mellan ca 90 ng/l och ca 160 ng/l. Den stora variationen gör det svårt att uttolka någon trend i haltstyrkans utveckling över tid, men PFAS-11 förefaller pendla kring ett medelvärde på ca 120 ng/l. I provtagningslokalen påvisades endast PFOS (rött) och PFHxS (mörkgult) vid provtagningsstillfällena i oktober och december år 2017 samt i januari år 2018, vilket antagligen kan förklaras av att halterna för dessa ämnen vid provtagningsstillfället låg nära laboratoriets rapporteringsgränser. Notera att det i denna provtagningspunkt analyserades för PFPeS vid samtliga provtagningsstillfällen från och med oktober år 2017. PFPeS påträffades emellertid inte i oktober och december år 2017 samt i januari år 2018.



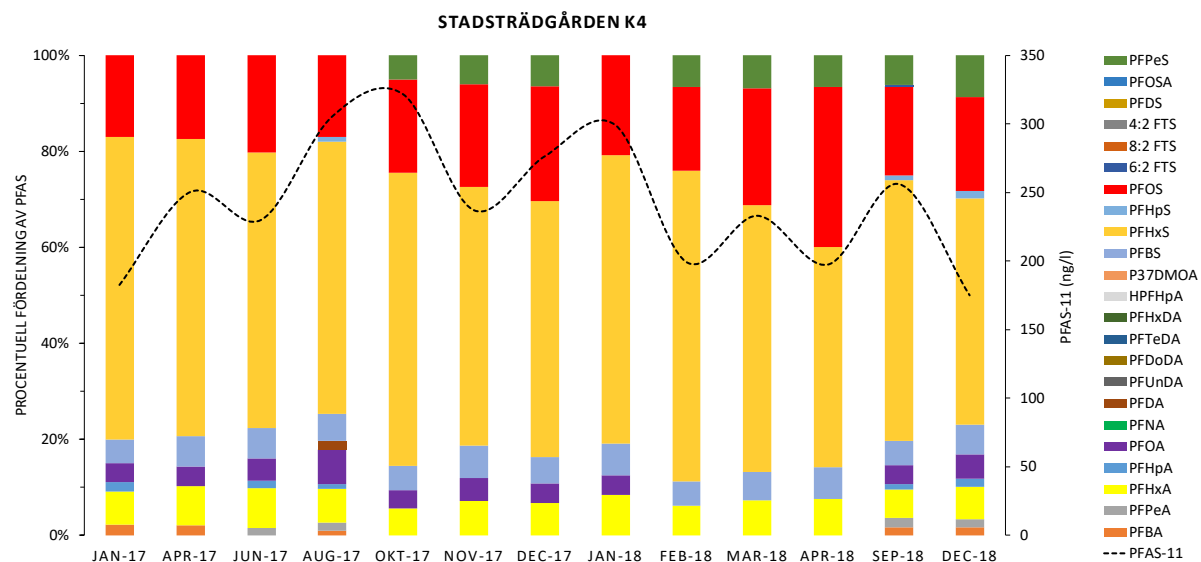
Figur 42. I provtagningspunkten Stadsträdgården K1 har PFAS-11 varierat mellan ca 100 ng/l och ca 300 ng/l. Sambandet av successivt lägre toppar och dalar kan indikera att haltstyrkan av PFAS-11 minskar över tid. Det vore emellertid felaktigt att dra denna slutsats med anledning av den stora variationen i kombination med mätosäkerheterna vid den kemiska analysen av PFAS. Beträffande variationen i den relativa fördelningen av enskilda PFAS förefaller provtagningsstillfällena i november och december år 2017 samt i januari, februari, mars och april år 2018 avvika från de övriga, framförallt i det att PFOA (mörkblått/violett) inte påträffades, trots att halten med beaktande av föroreningsituationen vid de övriga tillfällena torde ha legat väl över laboratoriets rapporteringsgräns. Liksom i Galgbacken påvisades PFDA (brunt) vid mättillfället i augusti år 2017 i Stadsträdgården K1. Denna PFAS har inte påträffats i någon av provtagningspunkterna inom området för Uppsala flygplats. Notera att det i denna provtagningspunkt analyserades för PFPeS vid samtliga provtagningsstillfällen från och med oktober år 2017.



Figur 43. I provtagningspunkten Stadsträdgården K2 har PFAS-11 varierat i analogi med Stadsträdgården K1, mellan ca 120 ng/l och ca 250 ng/l enligt ett generellt mönster av successivt lägre toppar och dalar, vilket kan indikera att haltstyrkan avtar över tid. Med anledning av den stora variationen i kombination med mätosäkerheterna vid de kemiska analyserna är det emellertid svårt att uttöka någon generell trend i haltutvecklingen. Även variationen i den relativa fördelningen av enskilda PFAS liknar den i Stadsträdgården K1; provtagningsstillfällena i oktober, november och december år 2017 samt i januari, februari och mars år 2018 avviker från de övriga, framförallt i det att PFOA (mörkblått/violett) inte påträffades. Notera att det i denna provtagningspunkt analyserades för PFPeS först från och med oktober år 2017.



Figur 44. I provtagningspunkten Stadsträdgården K3 har PFAS-11 varierat i analogi med Stadsträdgården K1 och K2; mellan ca 150 ng/l och ca 350 ng/l, enligt ett generellt mönster som kan indikera att haltstyrkan minskar. Med anledning av den relativt stora variationen av PFAS-11 i kombination med mätosäkerheterna vid analyserna av PFAS, är det emellertid svårt att vederlägga någon nedåtriktad trend av haltutvecklingen. Även variationen i den relativa fördelningen av enskilda PFAS liknar den i Stadsträdgården K1 och K2; vari det vid flera provtagningsstillfällen framförallt inte påträffades någon PFOA (mörkblått/violett), trots denna PFAS-kongens i övrigt allmänna förekomst i halter väl överskridande rapporteringsgränsen. Notera att det i denna provtagningspunkt analyserades för PFPeS först från och med oktober år 2017. Liksom i Galgbacken och Stadsträdgården K1 påvisades PFDA (brunt) vid mättillfället i augusti år 2017 i Stadsträdgården K3. Denna PFAS har inte påträffats i någon av provtagningspunkterna inom området för Uppsala flygplats.



Figur 45. I provtagningspunkten Stadsträdgården K4 har PFAS-11 varierat mellan ca 180 ng/l och ca 320 ng/l. Haltssumman förefaller pendla kring ett medelvärde på ca 240 ng/l. Även variationen i den relativa fördelningen av enskilda PFAS påminner om den i Stadsträdgården K1, K2 och K3; vari det vid flera provtagningsstillfällen främst inte påträffades någon PFOA (mörkblått/violett), trots denna PFAS-kongens i övrigt allmänna förekomst i halter väl överskridande rapporteringsgränsen. Notera att det i denna provtagningspunkt analyserades för PFPeS först från och med oktober år 2017. Liksom i Galgbacken samt Stadsträdgården K1 och K3 påvisades PFDA (brunt) vid mättillfället i augusti år 2017 i Stadsträdgården K4. Denna PFAS har inte påträffats i någon av provtagningspunkterna inom/vid Uppsala flygplats.

5.6 Fördelningen mellan långa och korta PFAS

Det relativa molförhållandet mellan långa och korta PFAS-kongener i respektive provtagningspunkt redovisas i figur 46 och figur 48. Diagram med faktiska haltförhållanden av samtliga påträffade PFAS-kongener för varje enskild provtagningslokal och vid varje provtagningsstillfälle finns i bilaga 2A. Syftet med diagrammen är att undersöka om sammansättningen avseende PFAS förändras över tid inom provtagningspunkterna och om det föreligger skillnader i fördelningen av PFAS mellan olika lokaler. Även resultat från tidigare provtagningar som ej hör till uppföljningsprogrammet redovisas i bilagan. Se även bilaga 1 för en geografisk redovisning av fördelningen mellan långa och korta PFAS-kongener. Diagrammen ger en mindre representativ bild av den relativa fördelningen vid låga haltstyrkor av PFAS, då flera kongener föreligger i halter nära eller under laboratoriets rapporteringsgränser; såsom i provtagningspunkten Galgbacken, men även i GV1603 och Klastorp.

Indelningen mellan långa och korta PFAS har skett enligt rekommendationer från Buck m.fl. (2011) och beror av längden på varje enskild kongens perfluorerade (fullständigt fluorerad) kolatomkedja. En poly- eller perfluorerad karboxylat anses vara lång om den har sju eller fler perfluorerade kolatomer, medan en poly- eller perfluorerad sulfonat är lång om den består av minst sex perfluorerade kolatomer.

Vid långväga spridning av PFAS från ett källområde kan fördelningen mellan långa respektive korta PFAS förändras, genom att långa PFAS-kongener i allmänhet sorberar/fastläggs något hårdare till jorden, så att den relativa andelen av korta PFAS-kongener ökar med avståndet från källtermen och vice versa; en större andel långa PFAS-kongener torde påträffas i källnära provtagningslokaler jämfört med lokaler belägna på ett större avstånd från källtermen.

Andelen av långa PFAS-kongener ser ut att ha minskat vid de två sista provtagningsomgångarna i flera av provtagningspunkterna. Detta kan förklaras av att fler kongener av PFAS analyserades vid de två sista provtagningsomgångarna, såsom den korta kongenen PFPeS (bilaga 2A).

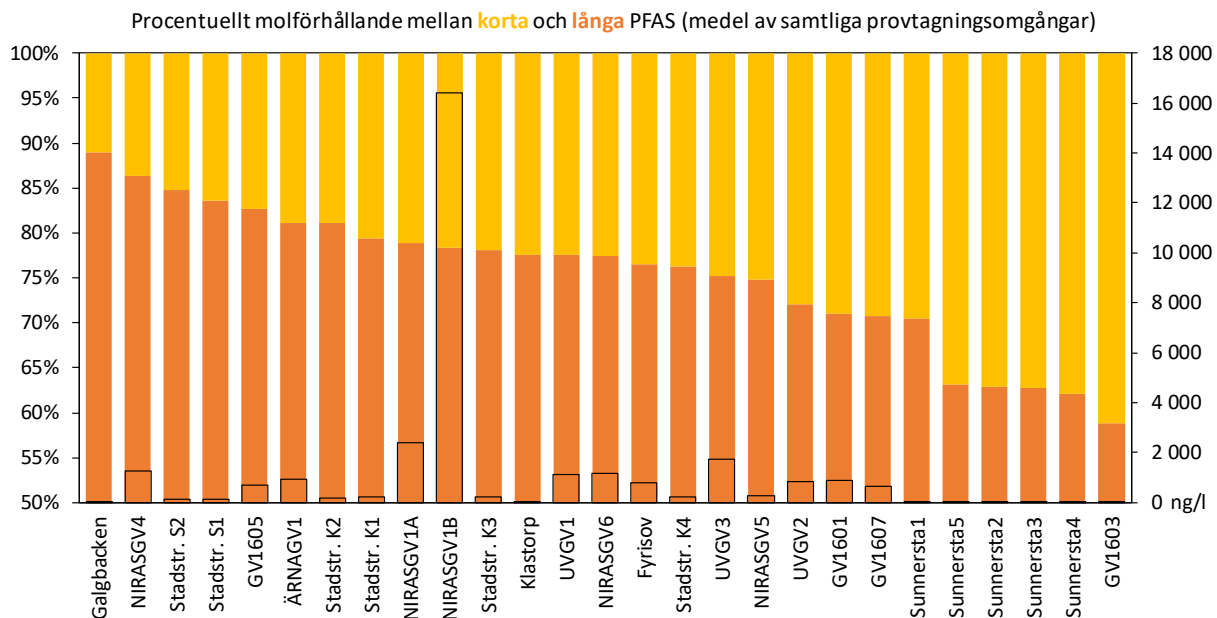
Den långa PFAS-kongen PFHxS utgör i allmänhet den dominerande kongenen inom de olika provtagningslokalerna. Näst högst är halterna av PFOS, som också är långkedjad och ibland uppnår en haltstyrka motsvarande den av PFHxS; främst i NIRASGV1A och NIRASGV1B. De övriga PFAS-kongenerna, såväl långa som korta, ökar i andel och koncentration med ökande generell haltstyrka av PFAS, vilket kan förväntas med anledning av dessa kongeners låga haltförhållanden, mot bakgrund av rapporteringsgränserna för de kemiska analyserna.

De provtagningspunkter som inom flygplatsområdet bedöms ha en mer källnära lokalisering, med beaktande av den bedömda spridningsplymen av PFAS från den f.d. brandövningsplatsen, utgörs av ÄRNAGV1, NIRASGV1A, NIRASGV1B, NIRASGV4 och GV1605. Dessa provtagningspunkter uppvisar en större relativ medelandel (>78%) av långa PFAS-kongener än de inom och vid flygplatsområdets mer perifert placerade provtagningspunkterna NIRASGV5, NIRASGV6, GV1607 och GV1601 respektive GV1603, UVG1, UVG2 och UVG3, inom vilka medelandelen av långa PFAS-kongener underskred 78% (figur 46). Provtagningspunkten Klastorp har en perifer placering, men uppvisar en medelandel av långa PFAS-kongener på 77,6%. Med anledning av den förhållandevis låga haltstyrkan av PFAS i Klastorp bör resultatet för denna provtagningspunkt betraktas som mer osäkert än för de övriga provtagningspunkterna. Det är även oklart vilken källterm eller spridningsväg som Klastorp påverkas av. Skillnaderna är generellt små i det procentuella molförhållandet mellan de enskilda provtagnings-

punkterna inom och vid flygplatsområdet, men mönstret ger en entydig indikation på att den relativa andelen av korta PFAS-kongener ökar med avståndet från den f.d. brandövningsplatsen.

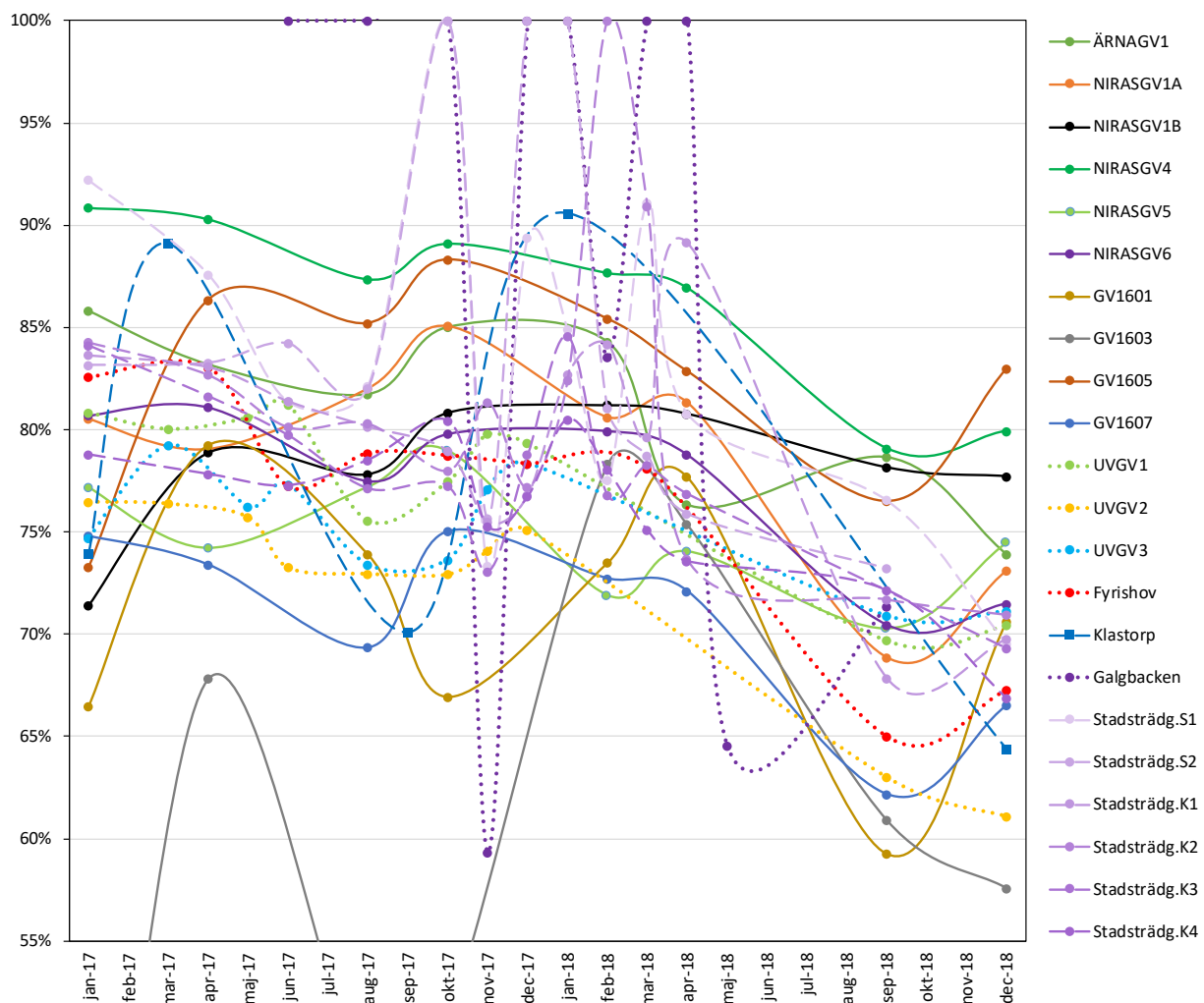
I provtagningspunkterna UVGV2, UVGV3, NIRASGV5, GV1601, GV1603 och GV1607, vilka samtliga bedöms vara placerade i flygplatsområdets utkanter, förmodligen i gränsområden mellan morän-akviferen och åssystemet, konstateras lägre medelandelar av långa PFAS-kongener än i UVGV1 och Fyrishov, vilka är belägna i Uppsalaåsen nedströms flygplatsområdet. Detta kan ses som en indikation på att UVGV1 och Fyrishov påverkas av någon eller flera andra källtermer av PFAS än de som påverkar UVGV2, UVGV3, NIRASGV5, GV1601, GV1603 och GV1607. Den i Uppsalaåsen belägna provtagningspunkten Galgbacken uppvisar också en anmärkningsvärt hög medelandel av långa PFAS-kongener. Resultaten från provtagningarna av Galgbacken bedöms emellertid som mindre tillförlitliga med anledning av de låga haltstyrkorna av PFAS som föreligger i denna provtagningspunkt.

I Stadsträdgårdens provtagningslokaler, vilka är belägna i Uppsalaåsen längre nedströms flygplatsområdet, konstateras förhållandevis höga medelandelar av långa PFAS-kongener. Molförhållandena mellan de långa och korta PFAS-kongenerna i majoriteten av Stadsträdgårdens provtagningspunkter, liknar mer den kvot som kan förväntas i mer källnära provtagningspunkter. Stadsträdgården S2 och S1 samt K2 och K1 uppvisar särskilt höga medelandelar av långa PFAS-kongener, men även K3 och K4 är avvikande i detta hänseende. Provtagningspunkterna i Sunnersta, vilka inte har ingått i uppföljningsprogrammet men ändå provtogs vid programmets två sista provtagningsomgångar, är belägna längre nedströms i Uppsalaåsen och uppvisar betydligt lägre andelar av långa PFAS. Molförhållandet mellan långa och korta PFAS i Stadsträdgården kan således betraktas som en indikation på att det förekommer en eller flera mer lokala/närliggande källtermer av PFAS, som påverkar Stadsträdgården och härvid höjer den relativa andelen av långa PFAS.

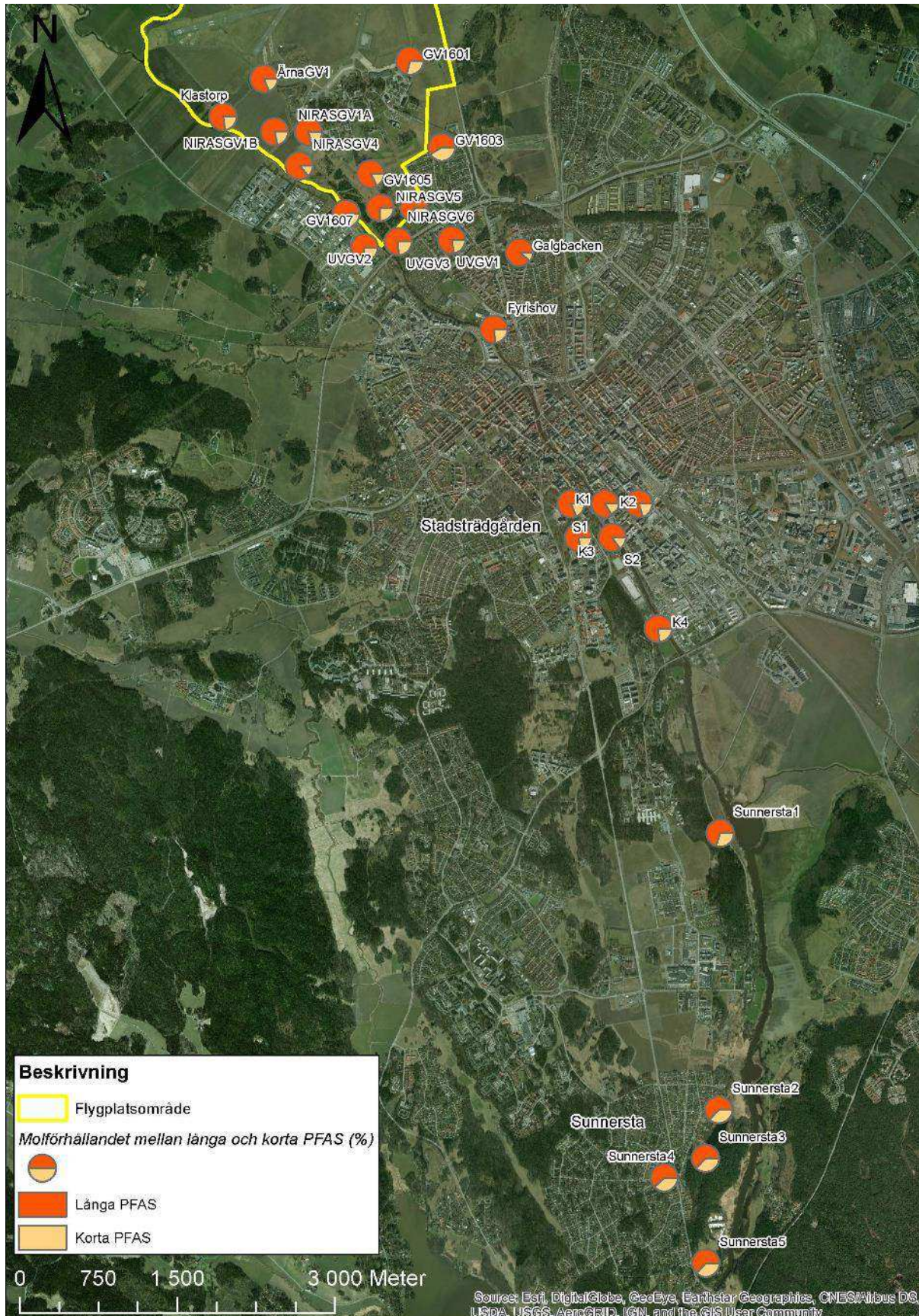


Figur 46. Medelvärde av det procentuella molförhållandet (molekylantalet) mellan långa och korta PFAS-kongener, i orange respektive gult, redovisas i ordning efter andelen långa PFAS-kongener och enligt den vänstra skalan. Motsvarande medelhalt av PFAS-11 visas som svarta staplar enligt den högra skalan. Medelvärdena avser samtliga provtagningsstillfällen under perioden år 2017–2018. Resultaten för Sunnersta baseras på två provtagningsstillfällen; september och december år 2018.

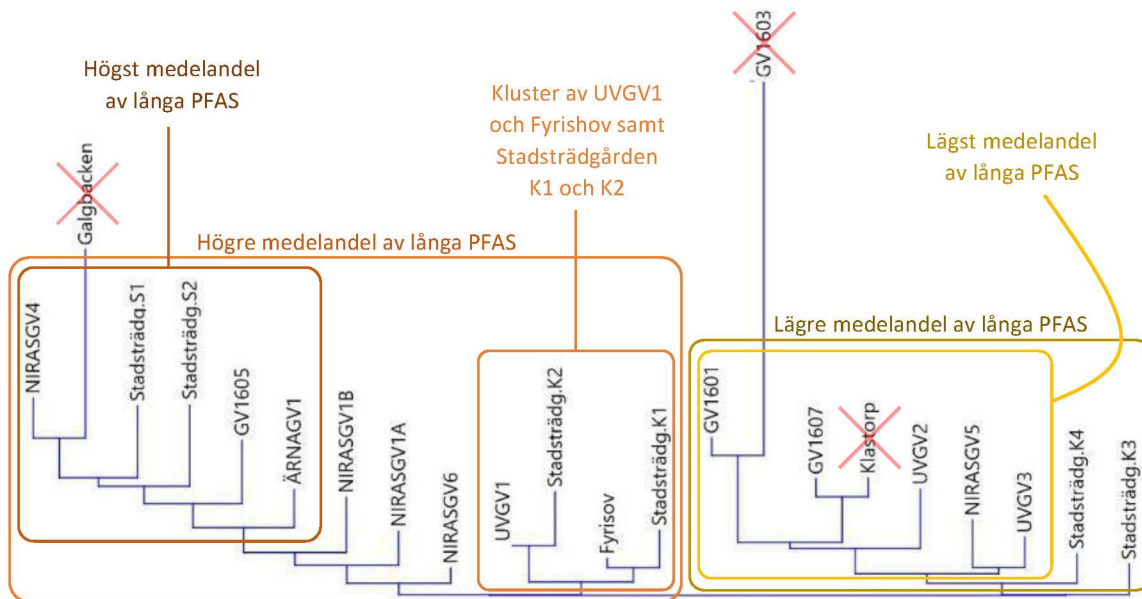
Av figur 47 framgår att variationen i molförhållandet mellan långa och korta PFAS-kongener är mycket hög i de provtagningspunkter som utmärks av låga haltstyrkor av PFAS (exempelvis Galgbacken). Diagrammet bekräftar sålunda att resultaten är mindre tillförlitliga från provtagningspunkterna Galgbacken, GV1603 och Klastorp. Variationen är också relativt hög för de övriga provtagningspunkterna, vilket kan medföra att en direkt jämförelse mellan de olika provtagningslokalerna blir behäftad med stora osäkerheter. Provtagningspunkterna förefaller emellertid samvariera över tid på så sätt att medelvärdena av de procentuella molförhållandena mellan långa och korta PFAS-kongener i de olika provtagningspunkterna för perioden år 2017-2018, vilka redovisas i figur 46, ändå bedöms vara jämförbara med varandra. Detta bekräftas av den klusteranalys som genomförts på de fullständiga dataserierna och som framgår av dendrogrammet i figur 49, vari kluster bildas i enlighet med resultatsammanställningen i figur 46.



Figur 47. Variationen i procentuell molmängd av långa PFAS under perioden år 2017–2018 i varje provtagningspunkt som ingått i uppföljningsprogrammet. Linjemarkeringarna som förbinder varje provtagningsstillfälle ska inte tolkas som trendlinjer.



Figur 48. Molförhållande mellan långa och korta PFAS-kongener, i orange respektive gult. Medelvärdena avser samtliga provtagningstillfällen under perioden år 2017–2018. Resultaten för Sunnersta baseras på två provtagningstillfällen; september och december år 2018.



Figur 49. Dendrogram efter klusteranalys (neighbour joining clustering med euklidisk distans) av molförhållandet mellan långa och korta PFAS under perioden år 2017–2018. Provtagningspunkter för vilka resultaten bedöms som mindre tillförlitliga har markerats med röda kryss. Klusteranalysen genomfördes med programvaran Past3.

Den i figur 47 utritade variationen av den procentuella molmängden av långa PFAS-kongener över tid ger tillsammans med klusteranalysen av samma dataserier (figur 49) och den geografiska redovisningen av resultatet (figur 48), en mer nyanserad bild av hur provtagningslokalerna står i relation till varandra och i förhållande till källtermer av PFAS. Klusteranalysen styrker den tidigare indikationen att provtagningspunkterna UVGV1 och Fyrishov kan vara påverkade av en för närvarande okänd källterm av PFAS som inte förefaller påverka UVGV2, UVGV3, NIRASGV5, GV1601 och GV1607. Detta implicerar att källtermen först påverkar grundvattnet, och förmodligen har sin placering, nedströms dessa provtagningspunkter, vilka är spridda inom eller strax söder om flygplatsområdets södra delområde. Det kan inte uteslutas att källtermen finns inom flygplatsområdet, men detta skulle innebära att spridningen av PFAS från källområdet följer en plym som är åtskild från de aktuella provtagningspunkterna.

Klusterbildningen av UVGV1 och Fyrishov tillsammans med Stadsträdgården K1 och K2 (figur 49), pekar på att det bland dessa provtagningspunkter finns likheter avseende molförhållandet mellan långa och korta PFAS. Med beaktande av avståndet mellan dessa par av provtagningspunkter, kan detta ses som en indikation på att de påverkas på ett likartat sätt av olika källtermer. I Stadsträdgården K1 och K2 är medelandelan av långa PFAS större än i UVGV1 och Fyrishov (figur 46, figur 48). Detta styrker indikationen att det finns en mer närbelägen källterm av PFAS som påverkar Stadsträdgården K1 och K2. Det råder samtidigt ingen tvekan om att det kan föreligga ett direkt spridningssamband från UVGV1 via Fyrishov till Stadsträdgården. Förorenings påverkan på respektive provtagningslokal är dock beroende av storleken på och placeringen av spridningsplymen, vilka ej har undersökts. Oavsett hur spridningssambandet ser ut, implicerar den större medelandelan av långa PFAS-kongener i Stadsträdgården K1 och K2 att inte alla föroreningar av PFAS i Stadsträdgården K1 och K2 härrör från UVGV1 eller Fyrishov. Det samma kan anses gälla för Stadsträdgården S1 och S2, i vilka ännu större medelandelar av långa PFAS-kongener kan konstateras. Dessa provtagningslokaler delar kluster med

de provtagningspunkter som är belägna närmast den f.d. brandövningsplatsen inom flygplatsområdet (figur 49); dvs. på ett mycket stort avstånd från Stadsträdgården.

Stadsträdgården K3 och K4, som uppvisar något mindre medelandelar av långa PFAS-kongener än de övriga provtagningslokalerna i Stadsträdgården, placerar sig i samma kluster som de inom flygplatsområdet mer perifert belägna och av PFAS mindre påverkade provtagningspunkterna (figur 49). Sålunda kan även klusteranalysen anses indikera att Stadsträdgården K3 och K4, liksom de övriga av Stadsträdgårdens provtagningspunkter, är påverkade av någon eller flera till Stadsträdgården mer närliggande källtermer av PFAS.

5.7 Förhållandet mellan linjära och grenade isomerer

En blandning av linjära och grenade isomerer (molekylformer) bildas då PFAS produceras genom elektrokemisk fluorering. Vilken har varit den primära produktionsmetoden för de PFAS som historiskt har ingått i brandsläckningsmedel. Linjära och grenade isomerer uppvisar något olika kemisk-fysikaliska egenskaper vilket kan påverka hur de olika isomererna beter sig i miljön (Benskin m.fl. 2010). Linjära PFAS förefaller i högre grad än grenade kvarhållas i reningsverkens slamfraktion på motsvarande sätt som långa PFAS i förhållande till korta PFAS interagerar starkare med exempelvis organiskt kol i jord (Filipovic och Berger, 2015). Linjära isomerer förefaller även uppvisa lägre löslighet och mobilitet i grundvatten än grenade isomerer (Kärrman m.fl. 2011).

Produkterna av PFOS och PFOA som producerades av företaget 3M via elektrokemisk fluorering, uppvisade generellt en andel av linjära isomerer på 70% respektive 78%; vilket ger att andelen av grenade isomerer av PFOS och PFOA generellt uppgick till 30% respektive 22% (Benskin m.fl. 2010).

Vid uppföljningsprogrammets senaste två provtagningsomgångar (omgång 7 och 8), bestämdes isomerförhållandet av PFOS, PFOA, PFHxS och PFOSA i samtliga provtagningspunkter. Resultatet, som framgår av figur 50 och tabell 10, visar att det huvudsakligen är isomerförhållandet av PFOS som förefaller variera mellan olika provtagningslokaler. En geografisk redovisning av isomerförhållandet av PFOS i provtagningslokalerna framgår av figur 51. Det bör noteras att flera provtagningspunkter, såsom ÄRNAGV1, uppvisar en stor variation i isomerförhållandet av PFOS mellan de två provtagningsomgångarna (bilaga 2G), vilket medför att resultatet blir mer indikativt och svårtolkat.

Stora medelandelar av linjära PFOS kan konstateras i provtagningspunkterna NIRASGV1A, NIRASGV1B och NIRASGV4, vilka bedömts vara direkt påverkade av en spridningsplym av PFAS från den f.d. brandövningsplatsen inom flygplatsområdet. I de nedströms eller vid sidan om belägna provtagningspunkterna NIRASGV5, GV1605, GV1607 och Klastorp förelåg lägre andelar av linjära PFOS, vilket kan ses som ett resultat av att grundvattentransporten av PFOS, från källområdet till flygplatsområdets periferi, har ändrat isomerförhållandet på grund av att de grenade isomererna har lägre retention än den linjära isomeren av PFOS.

Mot bakgrund av skillnaderna i retention mellan linjära och grenade PFOS är det troligt att andelen linjära PFAS minskar då PFAS-förorenat vatten infiltrerar och perkolerar ned genom marklager av leriga jordarter, vilket innebär att grundvattnet som perkolerat genom en källterm av PFAS i ett lerigt markområde torde uppvisa lägre andelar av linjära PFOS. Det kan sålunda vara svårt att avgöra om de PFAS som förekommer vid exempelvis GV1605 har transporterats dit via en grundvattenplym av PFAS

från ett uppströms beläget källområde eller om föroreningen av PFAS i grundvattnet vid den aktuella provtagningspunkten har orsakats av ett lokalt utsläpp som perkolerat ned genom markprofilen.

ÄRNAGV1 förefaller variera kraftigt i förhållandet mellan grenade och linjär PFOS; vid provtagningsomgång 7 och 8 konstaterades en andel av linjär PFOS på 100% respektive 34%, vilket ger en låg medelandel linjär PFOS. Med anledning av den kraftiga variationen, bedöms medelandelen emellertid vara mindre lämpad att jämförbara de övriga provtagningspunkterna mot. Provtagningspunkten ÄRNAGV1 är belägen högt och kan anses stå relativt nära i anslutning till flera källtermer av PFAS (vilka dock inte har detaljavgränsats). De PFAS som påvisats i ÄRNAGV1 bedöms sålunda inte ha kunnat transporteras dit någon längre sträcka via grundvattnet och en grundvattenförorening av PFOS vid provtagningspunkten torde visa på en hög andel linjär PFOS, så vida föroreningen inte har perkolerat ned genom leriga marklager. Bedömningen försvåras av att ÄRNAGV1 bedöms kunna vara påverkad av dagvatten, vilket bland annat indikeras av hydrogeokemiska undersökningar.

En stor andel linjär PFOS kan konstateras i den perifert placerade provtagningspunkten GV1601, vilket kan ses som en indikation på att grundvattenföroreningen härvid inte har påverkats av långväga grundvattentransport eller perkolation genom lerig mark. Även GV1603 uppvisar en relativt stor andel linjär PFOS, med beaktande av dess perifera placering i förhållande till de kända källtermerna av PFAS inom flygplatsområdet. Det är möjligt att dessa provtagningspunkter påverkas av mer närbelägna källtermer, vilka med beaktande av de relativt låga haltstyrkorna av PFAS i dessa provtagningspunkter, särskilt i GV1603, torde vara relativt måttliga i omfattning.

Beträffande de provtagningslokaler som är belägna nedströms flygplatsområdet, kan det i Galgbacken konstateras en andel av linjär PFOS i samma storleksordning som i Klastorp, NIRASGV6 och GV1607. I detta avseende uppvisar Galgbacken sålunda ett isomerförhållande som kan förväntas i ett område beläget nedströms en källterm av PFAS. Det samma kan emellertid inte anses gälla för UVGV1, UVGV2, UVGV3 och Fyrishov. I dessa provtagningspunkter kan visserligen något mindre andelar linjär PFOS konstateras än direkt nedströms den f.d. brandövningsplatsen, men de lägre andelarna i punkterna där emellan implicerar att UVGV1, UVGV2, UVGV3 och Fyrishov är påverkade av en eller flera till punkterna mer närliggande/lokala källtermer av PFAS.

Provtagningspunkterna i Stadsträdgården uppvisar ännu större andelar linjär PFOS än i de uppströms belägna UVGV1, UVGV2, UVGV3 och Fyrishov (figur 50, figur 51, tabell 10), vilket indikerar att Stadsträdgården i ännu större utsträckning påverkas av en eller flera till Stadsträdgårdens brunnar mer närliggande/lokala källtermer av PFAS. Endast provtagningspunkterna i Sunnersta, vilka är belägna längre nedströms från flygplatsområdet och söder om Stadsträdgården, uppvisar så låga andelar av linjär PFOS att de förefaller vara opåverkade av någon närliggande källterm, i det hänseendet att de PFAS som påvisas i Sunnersta har transporterats långa avstånd via grundvattnet.

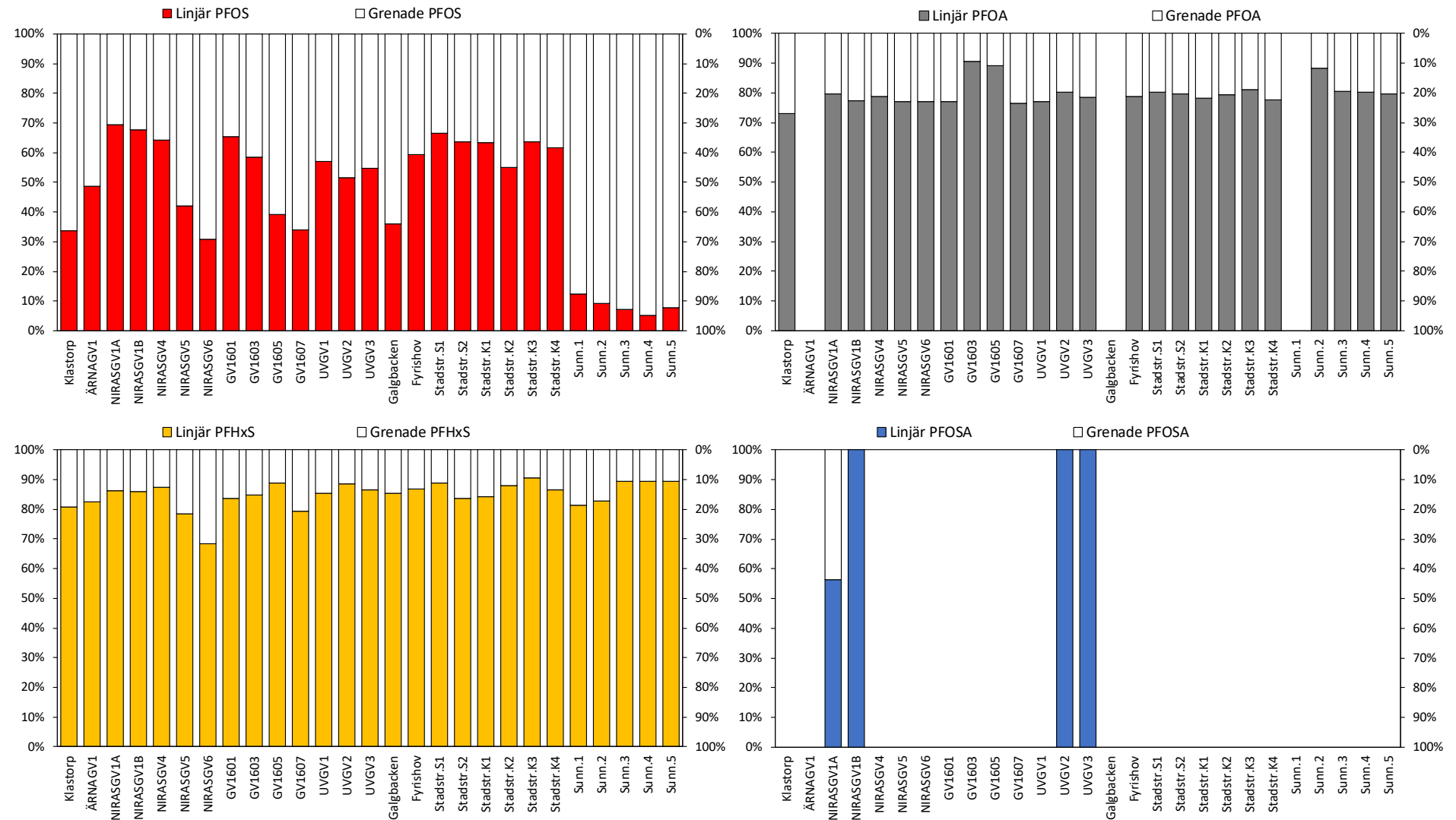
Vad gäller isomerer av PFOA, PFHxS och PFOSA, föreligger endast små skillnader mellan de olika provtagningslokalerna. GV1603 och GV1605 förefaller ha större andelar linjär PFOA än de övriga lokalerna inom och nedströms flygplatsområdet. Det är möjligt att dessa provtagningspunkter i högre grad än de övriga är påverkade av föroreningar som perkolerat genom leriga marklager och sålunda har påverkat isomerförhållandet. Denna tolkning ligger i linje med de observerade isomerförhållandena avseende PFOS.

Den allmänt låga förekomsten/detektionen av PFOSA i provtagningslokalerna försvårar tolkningen av isomerförhållandet avseende PFOSA i de punkter där ämnet påträffats; NIRASGV1A, NIRASGV1B, UVGV2 och UVGV3. Att grenade isomerer av PFOSA konstateras i NIRASGV1A men inte i NIRASGV1B eller de nedströms belägna UVGV2 och UVGV3, är intressant. Detta kan förmodligen förklaras av den låga haltstyrkan av PFOSA i UVGV2 och UVGV3 (de grenade isomererna kan således föreligga i halter under rapporteringsgränsen), men i NIRASGV1B är haltstyrkan av PFOSA avsevärt högre än i NIRASGV1A. Det är möjligt att NIRASGV1A och NIRASGV1B, påverkas av olika spridningsvägar eller av olika källtermer av PFAS och därför uppvisar något olika sammansättningar av PFAS.

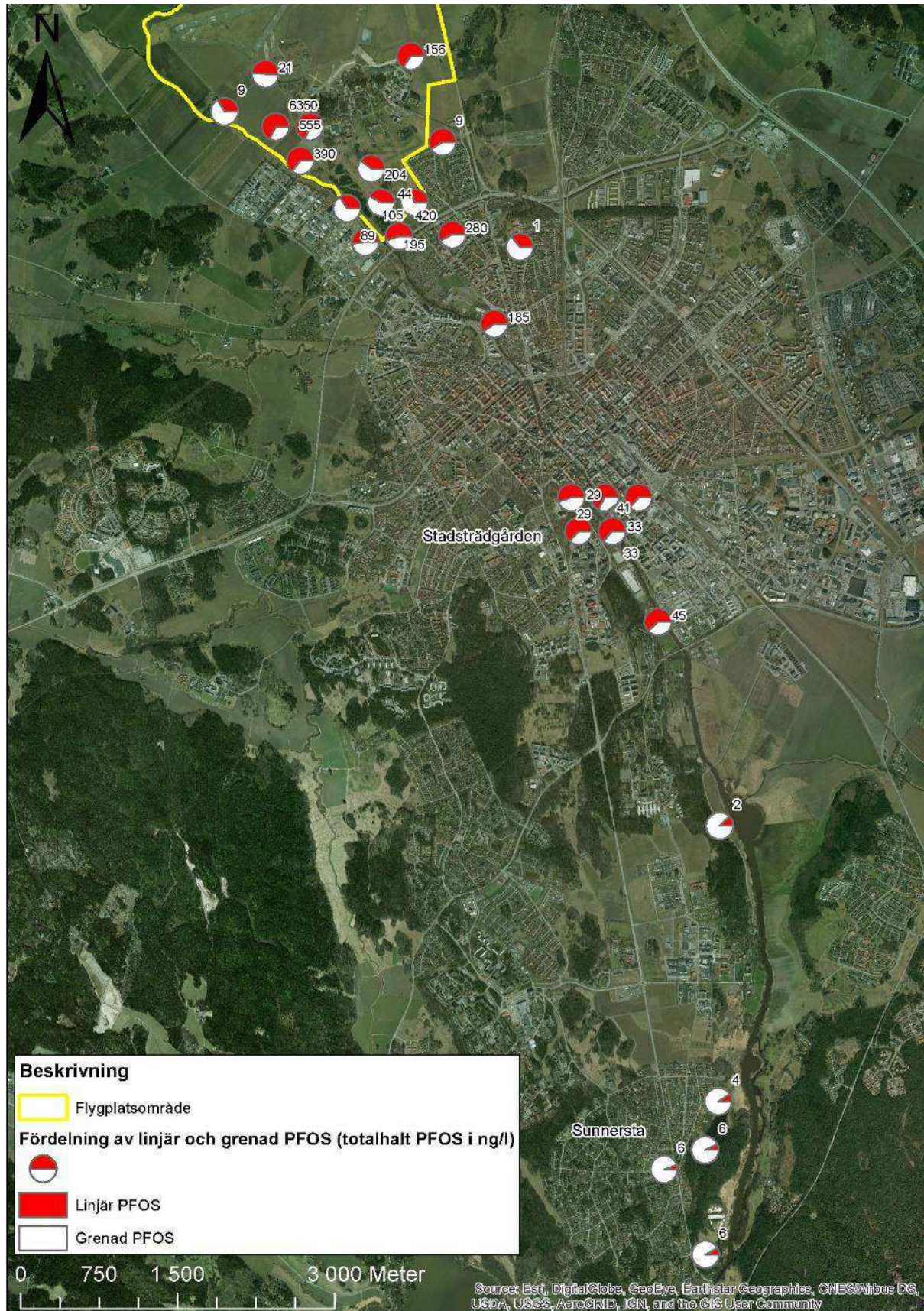
Tabell 10. Det procentuella haltförhållandet mellan linjära och grenade isomerer av PFOS, PFOA, PFHxS och PFOSA, beräknade på medelhalter vid provtagningsomgång 7 och 8. Enkel asterisk indikerar provtagningspunkter som ej provtogs vid provtagningsomgång 7. Dubbel asterisk indikerar provtagningspunkter som ej provtogs vid provtagningsomgång 8. Saknade värden för PFOA och PFOSA indikeras med streck (under rapporteringsgräns).

	PFOS		PFOA		PFHxS		PFOSA	
	Linjär	Grenade	Linjär	Grenade	Linjär	Grenade	Linjär	Grenade
Klastorp*	33,7%	66,3%	73,2%	26,8%	80,8%	19,2%	-	-
ÄRNAGV1	48,8%	51,2%	-	-	82,5%	17,5%	-	-
NIRASGV1A	69,4%	30,6%	79,8%	20,2%	86,2%	13,8%	56,5%	43,5%
NIRASGV1B	67,7%	32,3%	77,3%	22,7%	86,0%	14,0%	100%	0%
NIRASGV4	64,1%	35,9%	78,7%	21,3%	87,5%	12,5%	-	-
NIRASGV5	42,0%	58,0%	77,0%	23,0%	78,3%	21,7%	-	-
NIRASGV6	30,8%	69,2%	77,0%	23,0%	68,5%	31,5%	-	-
GV1601	65,4%	34,6%	77,0%	23,0%	83,8%	16,2%	-	-
GV1603	58,5%	41,5%	90,7%	9,3%	84,9%	15,1%	-	-
GV1605	39,3%	60,7%	89,2%	10,8%	89,0%	11,0%	-	-
GV1607	34,0%	66,0%	76,5%	23,5%	79,2%	20,8%	-	-
UVGV1	57,1%	42,9%	77,2%	22,8%	85,3%	14,7%	-	-
UVGV2	51,7%	48,3%	80,2%	19,8%	88,5%	11,5%	100%	0%
UVGV3	54,8%	45,2%	78,6%	21,4%	86,5%	13,5%	100%	0%
Galgbacken**	36,0%	64,0%	-	-	85,4%	14,6%	-	-
Fyrishov	59,5%	40,5%	78,9%	21,1%	86,7%	13,3%	-	-
Stadsträdg. S1	66,7%	33,3%	80,2%	19,8%	88,8%	11,2%	-	-
Stadsträdg. S2**	63,6%	36,4%	79,7%	20,3%	83,8%	16,2%	-	-
Stadsträdg. K1	63,4%	36,6%	78,2%	21,8%	84,2%	15,8%	-	-
Stadsträdg. K2	55,2%	44,8%	79,3%	20,7%	87,8%	12,2%	-	-
Stadsträdg. K3*	63,6%	36,4%	81,1%	18,9%	90,7%	9,3%	-	-
Stadsträdg. K4	61,8%	38,2%	77,6%	22,4%	86,6%	13,4%	-	-
Sunnersta 1	12,5%	87,5%	-	-	81,4%	18,6%	-	-
Sunnersta 2	9,2%	90,8%	88,3%	11,7%	82,8%	17,2%	-	-
Sunnersta 3	7,1%	92,9%	80,4%	19,6%	89,5%	10,5%	-	-
Sunnersta 4	5,1%	94,9%	80,4%	19,6%	89,5%	10,5%	-	-
Sunnersta 5	8,0%	92,0%	79,5%	20,5%	89,5%	10,5%	-	-

Helldén Environmental Engineering AB



Figur 50. Procentuellt haltförhållande mellan linjära och grenade isomerer (molekylformer) av PFOS (röd), PFOA (grå), PFHxS (gul) och PFOSA (blå), beräknade på medelhalter vid uppföljningsprogrammets provtagningsomgång 7 och 8.



Figur 51. Hållförhållande mellan andelen linjär och grenade isomerer (molekylformer) av PFOS, redovisade i cirkeldiagram baserade på medelhalter vid uppföljningsprogrammets provtagningsomgång 7 och 8.

5.8 Förekomst av oxiderbara PFAS-prekursorer

Miljöföroreningar av PFAS består i regel av komplexa blandningar av högfluorerade organiska ämnen. De PFAS-kongener som av praxis analyseras i miljöundersökningar är ett urval som i första hand har baserats på den medvetenhet och farhågor som vuxit fram beträffande enskilda PFAS-kongeners giftighet, persistens och förmåga att bioackumulera. Utöver detta är urvalet baserat på vilka PFAS som ofta förekommer i anslutning till brandövningsplatser och som kan förväntas påverka dricksvatten-resurser. Det är troligt att de PFAS som för närvarande ingår i de kommersiella laboratoriernas analyspaket och som kan haltbestämmas, bara speglar en delmängd av den totala föroreningen. Sålunda finns det en risk att vissa aspekter av en föroreningssituation förbigås.

Ett sätt att undersöka förekomsten av okända PFAS och samtidigt kvarhålla fokus på ett prioriterat urval av PFAS, är att analysera för totala oxiderbara prekursorer (TOP-analys). En prekursor är i detta sammanhang ett förämne som under rätt betingelser kan omvandlas till någon eller flera av de PFAS som kan haltbestämmas i det ordinarie analyspaketet.

TOP-analysen kan syfta till att få en uppfattning om förekomsten av okända PFAS som till exempel kan påverka riskbedömningen av en föroreningssituation. Enstaka kända eller misstänkta prekursorer kan emellertid även ingå i redan befintliga analyspaket; PFOSA, FOSAA, MeFOSA, EtFOSA, MeFOSE och EtFOSE kan utgöra prekursorer till PFOS och har analyserats inom ramen för uppföljningsprogrammet, men av dessa har bara PFOSA påträffats; dock i liten omfattning och låga halter. Det ska också poängteras att prekursorer kan förekomma i miljön utan att de i någon väsentlig omfattning omvandlas till sina perfluorerade slutprodukter.

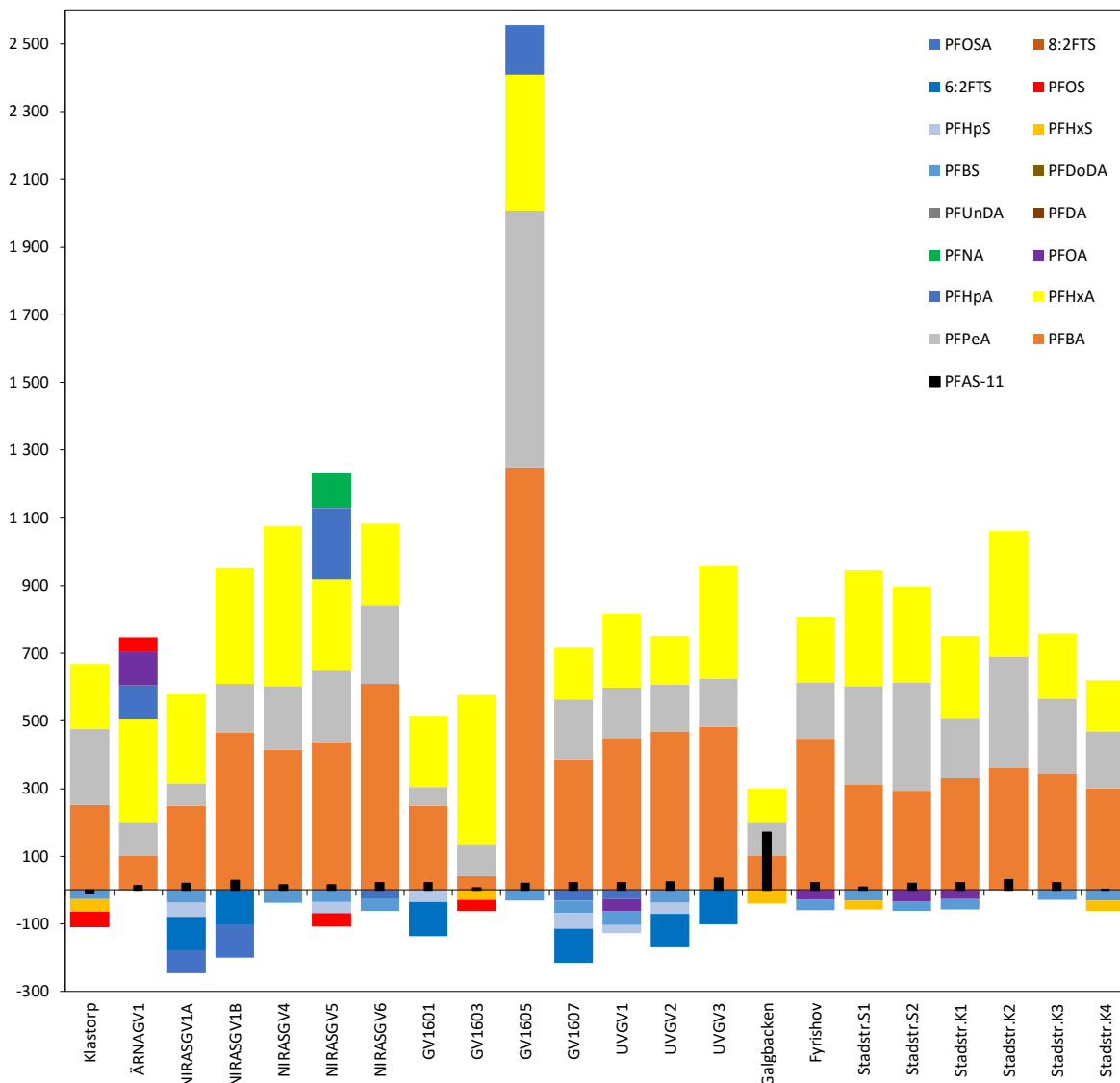
Vid uppföljningsprogrammets senaste två provtagningsomgångar (omgång 7 och 8), undersöktes prekursorer genom TOP-analyser av prover från samtliga provtagningspunkter. Resultaten av TOP-analyserna framgår av diagrammen i figur 50 och figur 51, vilka redovisar beräknade skillnader i medelhalter av de enskilda PFAS-kongenerna vid de två provtagningsomgångarna. Resultatet redovisas även i tabellerad form i bilaga 2G. Skillnader som är mindre än analysernas mätosäkerheter och lägre än 1 ng/l, har uteslutits från diagrammen. De redovisas emellertid i bilaga 2G. Märk väl att beaktandet av analysernas mätosäkerheter är av mycket stor betydelse vid tolkning av resultaten från TOP-analyserna, vilket försvårar bedömningen av föroreningssituationen i enskilda provtagnings-lokaler såväl som jämförelser mellan olika provtagningspunkter. Resultaten av TOP-analyserna bör sålunda ses som mycket indikativa.

Haltsumman av PFAS (PFAS-11) ökade vid TOP-analyserna i genomsnitt med 24%, vilket ligger i linje med teorin att det i grundvattenföroreningen av PFAS kan förekomma prekursorer till de kongener som ingår i PFAS-11. Kongenerna PFBA, PFPeA och PFHxA stod för den största ökningen, såväl procentuellt som i faktisk halt. Dessa kongener förefaller ha ökat på ett likartat sätt i samtliga provtagningspunkter.

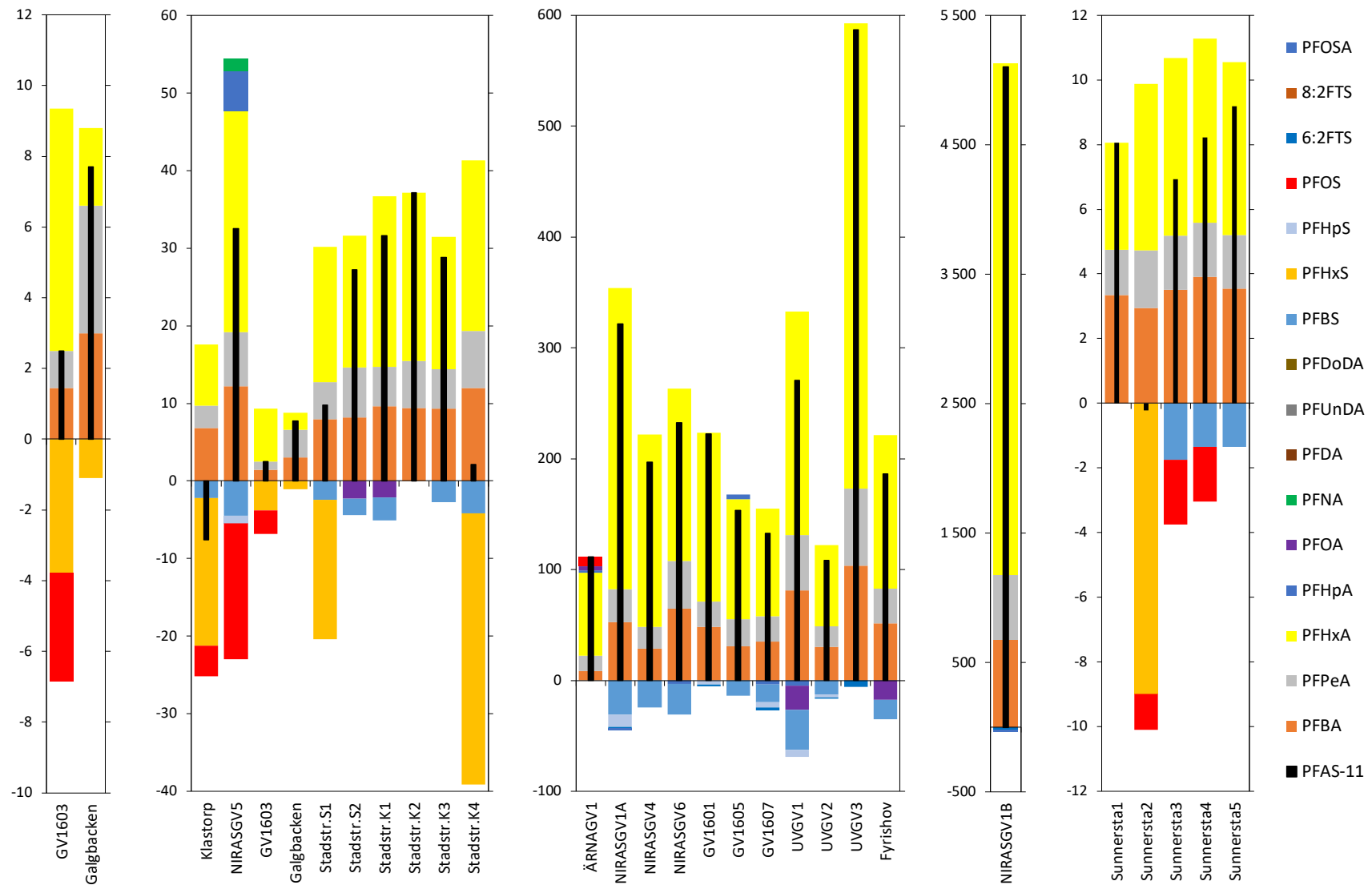
I flera provtagningspunkter förefaller halterna av främst de perfluorerade PFHxS, PFOS, PFOA och PFBS ha minskat. Dessa PFAS-kongener ska i teorin inte minska; de torde istället öka under förutsättningen att prekursorer till de aktuella kongenerna förekommer i tillräcklig omfattning. De procentuella förändringarna av de aktuella kongenerna är emellertid små och observationen förefaller vara kopplad till haltstyrkan av PFAS i provtagningspunkterna. Provtagningspunkter av högre haltstyrkor uppvisar i

betydligt lägre omfattning minskande halter av de perfluorerade PFAS-kongenerna. Den indikerade minskningen av dessa kongener bedöms sålunda bero på mätosäkerheter och kan inte anses vara reell. I ljuset av detta, torde haltsumman PFAS-11 vara högre än de redovisade för de provtagningspunkter som visar på minskande halter av de aktuella kongenerna; exempelvis torde GV1603 således uppvisa en ökning av PFAS-11 i samma storleksordning som den i Galgbacken och Stadsträdgården K4 torde uppvisa en ökning av PFAS-11 motsvarande den i Stadsträdgårdens övriga provtagningspunkter.

Diagrammen i figur 52 och figur 53 visar att provtagningspunkterna GV1605, NIRASGV5 och ÄRNAGV1 avviker något från de övriga i det att de visar på något ökande halter av PFHpA. NIRASGV5 visar även på ökande halter av PFNA och ÄRNAGV1 uppvisar därtill ökande halter av PFOA och PFOS. Dessa avvikelser kan emellertid betraktas som mycket ringa då haltskillnaderna i regel bara uppnår några enstaka ng/l. Det är svårt att dra några slutsatser om orsakerna till de indikerade avvikelserna, med anledning av TOP-analysens känslighet för mätosäkerheter.



Figur 52. Procentuella haltförändringar av enskilda PFAS och PFAS-11 (svarta staplar) efter TOP-analyser; baserade på medelvärden vid provtagningsomgång 7 och 8. Förändringar mindre än analysosäkerheterna har uteslutits i detta diagram, men redovisas i bilaga 2G.



Figur 53. Hållförändringar i ng/l av enskilda PFAS och PFAS-11 (svarta staplar) efter TOP-analyser; baserade på medelvärden vid provtagningsomgång 7 och 8. Förändringar mindre än analysosäkerheterna har utesluts i detta diagram, men redovisas i bilaga 2G.

6 SAMMANFATTANDE ANALYS

Den samlade bedömningen av föroreningssituationen, avseende PFAS i grundvatten inom och kring Uppsala flygplats, sammanfattas enligt följande.

- Det kan efter två års uppföljning inte uttolkas några trender beträffande variationen i haltstyrkan av PFAS över tid, vare sig i de enskilda provtagningspunkterna eller i det samlade resultatet. Det förefaller inte heller finnas någon enhetlig årstidsbetingad variation av PFAS. Haltsumman av PFAS förefaller generellt pendla kring en konstant medelhalt och dess variation sker i regel inom mätfelmarginalerna vid de kemiska analyserna.
- De inom Uppsala flygplats belägna provtagningspunkterna, som huvudsakligen installerats i flygplatsområdets periferi, bedöms i grunden vara påverkade av PFAS via samma spridningsprocess och från samma övergripande källområde. Spridningsprocessen avser främst en grundvattenströmning från höglänta inströmningsområden av moränkullar och berg-i-dagen, som förekommer centralt inom flygplatsområdet. Källområdet består troligtvis av flera källtermer av PFAS-förorenad mark inom flygplatsområdet, men avser huvudsakligen den f.d. brandövningsplatsen, som förmodligen utgör den dominerande grundvattenpåverkande källtermen inom flygplatsområdet.
- Variationer i nederbördsmängd med åtföljande fluktuationer i grundvattnets tryckyta medför en varierande utlakning av PFAS som sedan påverkar provtagningspunkterna på ett enhetligt sätt, vilket leder till att även provtagningspunkter som inte påverkas av samma grundvattenplym ändå samvarierar med avseende på den temporala förändringen i haltsumman av PFAS-11.
- De tre provtagningspunkterna UVGV1, UVGV2 och UVGV3 förefaller inte samvariera med provtagningspunkterna inom flygplatsområdet avseende haltutvecklingen av PFAS-11, trots att även dessa provtagningspunkter kan anses vara belägna i flygplatsområdets periferi. UVGV1, UVGV2 och UVGV3, liksom Fyrishov, uppvisar därtill en fördelning mellan isomerer (molekylformer) av PFOS indikativt för en relativt källnära lokalisering i förhållande till de vid Junkilsåsen uppströms belägna provtagningspunkterna. Haltstyrkan av PFAS är särskilt i UVGV1 och UVGV3 avvikande hög i förhållande till uppströms lokaliserade grundvattenrör. UVGV1 och Fyrishov visar även på en kvot mellan långa och korta PFAS indikativ för en mer källnära lokalisering. Det bedöms således som sannolikt att UVGV1 och UVGV3, men även UVGV2 och Fyrishov, påverkas av någon eller flera andra, mer närbelägna, källtermer än de belägna inom flygplatsens källområde av PFAS.
- Det är troligt att i nuläget oidentifierade källtermer av PFAS finns direkt vid eller strax uppströms UVGV1, UVGV2 och UVGV3, såsom i området strax nordväst om UVGV1, i området längs Bärbyleden eller inom industriområdet Norra Librobäck. Bärbyleden har utpekats som en potentiell källterm, men riktigheten i denna uppgift har inte undersökts. Det kan heller inte uteslutas att fler källtermer och spridningsvägar av PFAS finns inom flygplatsområdet än de som för närvarande är kartlagda. Det har emellertid inte framkommit några uppgifter eller någon verksamhetsförankrad information som talar för att utsläpp av släckmedel kan ha skett i det aktuella delområdet av flygplatsen.

- UVG2 och UVG3 är belägna vid gränssnittet mellan Jumkilsåsen och Uppsalaåsen. Grundvattnets tryckyta förefaller periodvis stå högre i gränssnittet än i Jumkilsåsen och området omedelbart nedströms den f.d. brandövningsplatsen inom flygplatsområdet, vilket kan innebära att det periodvis sker ett returflöde av grundvatten från Uppsalaåsen till Jumkilsåsen; i kontrast till normalläget att den generella grundvattenströmningen sker mot sydost, kan det sålunda tidvis ske en grundvattenströmning i riktning mot nordväst, förmodligen när grundvattenbildningen är väsentligt större i Uppsalaåsen än i Jumkilsåsen. I det stora hela förefaller grundvattnets temporala trycktefluktuation i övrigt ske på ett likartat sätt i såväl Jumkilsåsen och Uppsalaåsen som inom flygplatsområdet, vilket kan förklaras av att grundvattenakvifererna tillhör samma övergripande hydrogeologiska system, som främst tillförs grundvatten via den nederbörd som perkolerar genom inströmningsområdena (där grundvatten bildas) inom avrinningsområdet. Den generella fluktuationen av grundvattnets tryckyta följer också Fyrisåns variationer i vattenstånd, som likaledes är beroende av nederbörden i avrinningsområdet (bilaga 2D).
- Det bedöms inte finnas någon direkt hydraulisk förbindelse mellan Fyrisån och Jumkilsåsen, men Fyrisåns vattenstånd förefaller korrelera starkare med trycktefluktuationen i/vid Jumkilsåsen än de i Uppsalaåsen och i flygplatsområdets östra del (bilaga 2D). Det är mer troligt att detta beror på den i Uppsalaåsen konstgjorda grundvattenbildningen och uttaget av grundvatten för dricksvattenproduktion (som leder till avvikande tryckteförhållanden i Uppsalaåsen), än att Jumkilsåsen är mer influerad av nederbörd.
- Åsakviferernas naturliga grundvattenbildning sker genom att nederbörd infiltrerar och perkolerar genom marken inom inströmningsområden med jordarter av högre hydraulisk konduktivitet (genomsläpplighet) än de mäktiga leriga marklagren som dominerar inom avrinningsområdet. De inom flygplatsområdet belägna inströmningsområdena av höglänta moränkullar med berg-i-dagen bedöms stå för en förhållandevis liten del av grundvattenbildningen. I synnerhet med beaktande av det grundvattenuttag som sker centralt inom flygplatsområdet för dräneringen av urberget (dränvattnet som bildas härvid renas med avseende på PFAS). En rimlig slutsats av detta är att förhållandevis lite grundvatten strömmar ut från flygplatsområdet och in i åssystemet med följden att en relativt liten mängd av de föroreningar av PFAS som finns i källtermerna inom flygplatsområdet läcker ut i omgivningen, vilket kan anses vara en förklaring till de relativt låga PFAS-halterna som i allmänhet observeras i grundvattnet inom och vid flygplatsområdet, i förhållande till typiska källtermer av PFAS inom brandövningsplatser.
- Brunnen i Klastorp, som är belägen strax uppströms provtagningspunkterna inom flygplatsområdets sydvästra sida, förefaller i förhållande till dessa provtagningspunkter, inte påverkas lika direkt av PFAS från den f.d. brandövningsplatsen. Den låga haltstyrkan av PFAS i Klastorp har tidigare betraktats som en indikation på att provtagningspunkten är belägen i utkanten av spridningsplymen av PFAS i grundvattnet från den f.d. brandövningsplatsen, men med beaktande av den praktiskt taget obefintliga korrelationen i haltvariationen av PFAS-11 mellan Klastorp och dessa provtagningspunkter, samt mellan Klastorp och de längre nedströms belägna UVG1, UVG2 och UVG3, förefaller föroreningen i brunnen snarare härröra från en annan spridningsväg eller från en annan källterm. Om brunnen i Klastorp är installerad i och hämtar sitt vatten från berggrunden, kan källtermen till föroreningen vara belägen på ett mycket stort avstånd från brunnen, beroende på hur de vattenförande sprickzonerna i berggrunden föreligger.

- Resultaten från uppföljningsprogrammet ger inte någon tydlig fingervisning om kopplingen mellan källområdet av PFAS (inom vilket den f.d. brandövningsplatsen bedöms utgöra den dominerande källtermen) inom flygplatsområdet och föroreningsituationen i Stadsträdgården. En koppling kan inte uteslutas, men de samband som indikeras är svaga. Därtill indikerar resultaten att källtermer av PFAS förekommer nedströms flygplatsområdet; såväl längs den tänkta spridningsvägen av PFAS mellan källområdet inom flygplatsen och Stadsträdgården, som i direkt anslutning till Stadsträdgårdens brunnar. Det bedöms även som mycket sannolikt att ett relativt stort antal mindre omfattande källtermer, som dock har potentialen att i hög grad vara grundvattenpåverkande, förekommer i de mer tätbebyggda delarna av Uppsala. Till exempel kan rester av PFAS-haltiga släckmedel som använts vid den civila räddningstjänstens bekämpning av bränder i fordon, byggnader eller parkträd utgöra mindre omfattande källtermer, som tillsammans ger upphov till en stor grundvattenpåverkan. Det kan ej heller uteslutas att marklager och viss markförlagd infrastruktur inom, kring och nedom den centralt belägna f.d. civila brandstationen i Uppsala utgör en mer omfattande källterm som påverkar Stadsträdgårdens brunnar.

Det har inte legat inom ramen för uppföljningsprogrammet att specifikt utreda sambandet mellan grundvattenföroreningen av PFAS inom flygplatsområdet och Stadsträdgården, eller att undersöka förekomsten av potentiella källtermer av PFAS utanför och nedströms flygplatsområdet. Övergripande analyser av föroreningsituationen i Stadsträdgården och kopplingen till källområdet inom flygplatsen har ändå genomförts för att bättre kunna bedöma föroreningsituationen inom och direkt nedströms flygplatsområdet. Indikationerna att Stadsträdgårdens brunnar är påverkade av en eller flera till brunnarna mer lokala/närbelägna källtermer grundar sig huvudsakligen på förhållandet mellan långa och korta PFAS-kongener och kvoten mellan den linjära och de grenade isomererna (molekylformerna) av PFOS. Den i Stadsträdgården observerade, men sällsynta, förekomsten av PFAS-kongen PFDA, som inte har påträffats i grundvattnet inom flygplatsområdet eller Jumkilsåsen, samt den förhållandevis höga haltstyrkan av PFAS i Stadsträdgården, talar också för att stadsträdgårdens brunnar är påverkade av mer närbelägna källtermer.

- Haltsumman av PFAS (PFAS-11) ökade vid TOP-analyserna i genomsnitt med 24%, vilket ligger i linje med teorin att det i grundvattenföroreningar av PFAS kan förekomma prekursorer till de kongener som ingår i PFAS-11. Kongenerna PFBA, PFPeA och PFHxA stod för den största ökningen, såväl procentuellt som i faktisk halt. Dessa kongener förefaller ha ökat på ett enhetligt sätt i samtliga provtagningspunkter. TOP-analysen bedöms som bäst ge indikativa resultat, då metoden förefaller vara mycket känslig för mätosäkerheter och skillnader i haltstyrkor.
- Det kan inte uttolkas någon skillnad i föroreningsituationen som följd av behandlingen/reningen av dräneringsvattnet från byggnad 900, beträffande haltförhållandet av PFAS-11 och fördelningen mellan enskilda PFAS-kongener. Det förorenade dräneringsvattnet förefaller således inte ha påverkat föroreningsituationen av PFAS i grundvattnet, vare sig i moränakviferen inom flygplatsområdet eller i Jumkilsåsens och Uppsalaåsens grundvattenmagasin.

7 REKOMMENDATIONER

Det kan ur ett två års-perspektiv inte uttolkas någon trend avseende variationen och haltutvecklingen av PFAS-11 eller av enskilda PFAS-kongener. Det kan emellertid inte uteslutas att det ur ett längre perspektiv kan föreligga någon trend som först blir uppenbar efter en längre uppföljningstid. Vi rekommenderar därför att uppföljande regelbundna provtagningar återupptas enligt ett förenklat uppföljningsprogram.

Utvecklingen av den generella föroreningsituationen av PFAS i grundvattnet inom och kring flygplatsen torde kunna följas med tillräckligt god tillförlitlighet vid en provtagningsfrekvens om två gånger per år och i ett urval av de befintliga provtagningspunkterna inom flygplatsområdet. Det bedöms även som tillräckligt att tillämpa ett mindre omfattande analyspaket, som dock minst bör innefatta de PFAS som ingår i haltsumman PFAS-11. Ett större paket kan väljas om prisskillnaden är liten. Även beräkning av isomerer (linjär och grenade molekylformer) av främst PFOS bör ingå vid de uppföljande analyserna. De befintliga Diver-installationerna (dvs. de automatiska mätarna av grundvattnets trycknivåer) bör nyttjas för att även kunna följa grundvattnets trycktefluktuation i respektive provtagningspunkt.

Uppföljande provtagningar, med syftet att följa föroreningsituationens utveckling, ger informationsunderlag som är värdefulla för uppföljning och utvärdering av eventuella framtida åtgärdsinsatser inom flygplatsområdet.

Det föreligger vissa osäkerheter kring omfattningen (utbredningen/storleken och haltstyrkor) av de identifierade källtermerna, förekomsten av misstänkta källtermer och spridningsvägar för PFAS-förorenade grundvatten, samt de geologiska och hydrogeologiska förhållandena inom och i anslutning till flygplatsområdet. Det är till exempel oklart om provtagningspunkterna som bedömts ha installerats i Jumkilsåsen faktiskt är representativa för Jumkilsåsens grundvattenmagasin samt hur utbredd markföroreningen av PFAS är inom den f.d. brandövningsplatsen inom flygplatsen. En säkrare bedömning av föroreningsituationen är beroende av att dessa osäkerheter klargörs, genom att till exempel genomföra miljötekniska markundersökningar för att detaljavgränsa källtermer och kartera jordlagrets stratigrafi/lagerföljd i delområden av flygplatsen.

Utrednings- och undersökningsplaner bör upprättas mot bakgrund av tidigare genomförda utredningar och undersökningar, i syfte att verifiera och komplettera kunskapsläget. Fokus för de kompletterande undersökningsinsatserna bör läggas på att identifiera de viktigaste spridningsvägarna av PFAS-förorenat grundvatten till åssystemet samt att karaktärisera och avgränsa källtermerna inom flygplatsområdet. Det bör även undersökas om det i flygplatsområdets södra/sydöstra del finns en källterm som kan förklara de förhållandevis höga PFAS-halter som konstaterats i punkten UVGV1.

8 REFERENSER

Benskin J.P., De Silva A.O., Martin J.W. (2010) Isomer Profiling of Perfluorinated Substances as a Tool for Source Tracking: A Review of Early Findings and Future Applications. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 208:111-160

Buck R.C., Franklin J., Berger U., Conder J.M., Cousins I.T., de Voogt P., Jensen A.A., Kannan K., Mabury S.A., van Leeuwen S.P.J. (2011) Perfluoralkyl and polyfluoralkyl substances in the environment: Terminology, classification, and origins. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7(4):513–541

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

Helldén Environmental Engineering AB (2016). Program för uppföljning av PFAS-halter i grundvatten - Luftstridsskolan, LSS, Uppsala. 2016-12-07

Helldén Environmental Engineering AB (2018) Uppföljningsprogram. Spridning av PFAS i grundvatten. Årsrapport för år 2017. Luftstridsskolan (LSS), Uppsala. 2018-04-24

Kärrman, A., Elgh-Dalgren K., Lafossas C., Mørskeland T. (2011) Environmental levels and distribution of structural isomers of perfluoroalkyl acids after aqueous fire-fighting foam (AFFF) contamination. *Environ. Chem.* 8:372–380

Livsmedelsverket (2016) Risker vid förorening av dricksvatten med PFAS. Riskhanteringsrapport daterad 2016-02-29

Livsmedelsverket (2018) Webbinformation till allmänheten avseende PFAS. Rubriken "Åtgärder vid olika halter av PFAS i dricksvatten från egen brunn" Senast granskad 2018-12-13 www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/onskade-amnen/miljogifter/pfas-poly-och-perfluorerade-alkylsubstanser/#R%C3%A5d%20till%20dig%20som%20f%C3%A5r%20dricksvatten%20fr%C3%A5n%20egen%20brunn

Vattenmyndigheterna (2018) Åtgärdsprogram 2018–2021 för nya prioriterade ämnen i ytvatten och PFAS i grundvatten för Norra Östersjöns vattendistrikt. Åtgärder riktade till myndigheter och kommuner samt konsekvensanalys. Diarienummer: 537-5322-2017

Västmanlands läns författningssamling (19FS 2018:04) Länsstyrelsen, ISSN 0347–1691

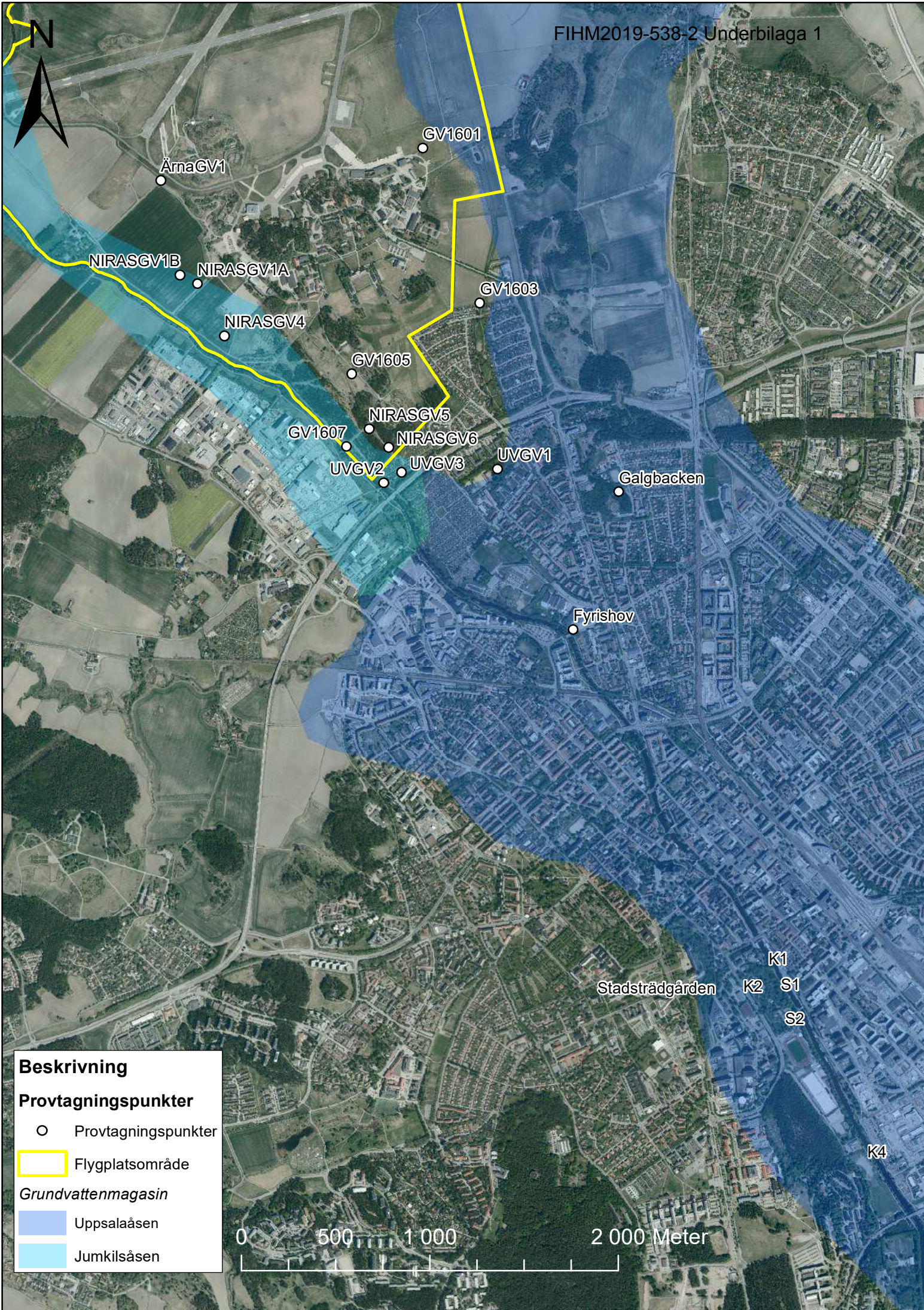
SGF (2013). Fälthandbok – Undersökningar av förorenade områden. Rapport 2:2013. Stockholm. ISSN: 1103–7237.

Bilaga 1

Kartfigurer över provtagningspunkter
och geografiska resultatredovisningar

Bilaga 1A

Provtagningspunkternas geografiska
placering i förhållande till
flygplatsområdet



Beskrivning

Provtagningspunkter

○ Provtagningspunkter

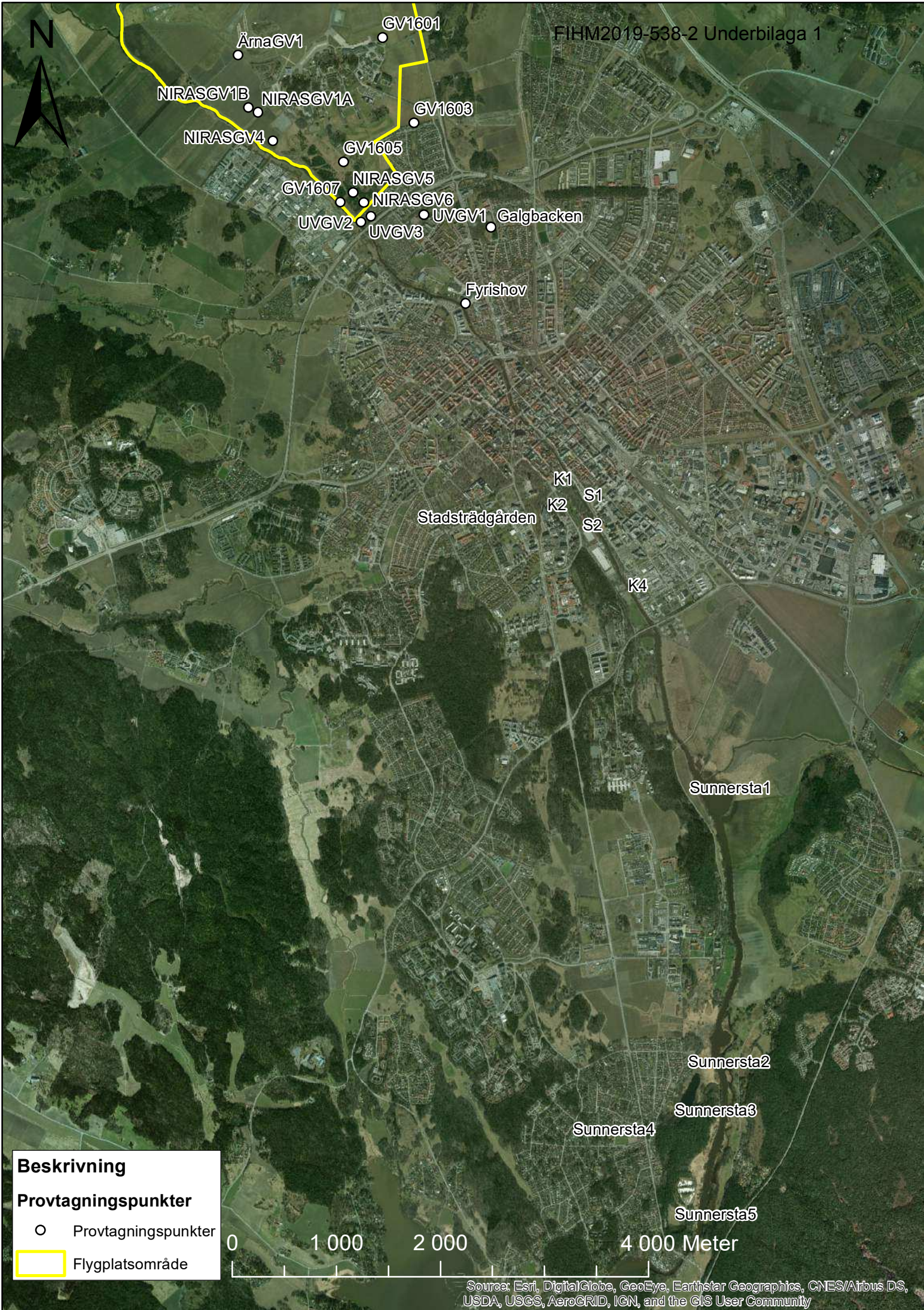
Flygplatsområde

Grundvattenmagasin

Uppsalaåsen

Jumkilsåsen

0 500 1 000 2 000 Meter



Beskrivning

Provtagningspunkter

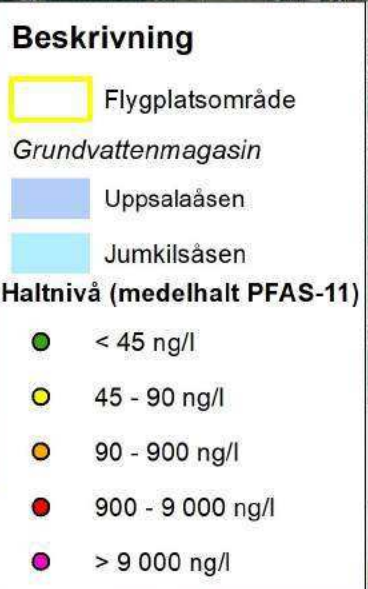
○ Provtagningspunkter

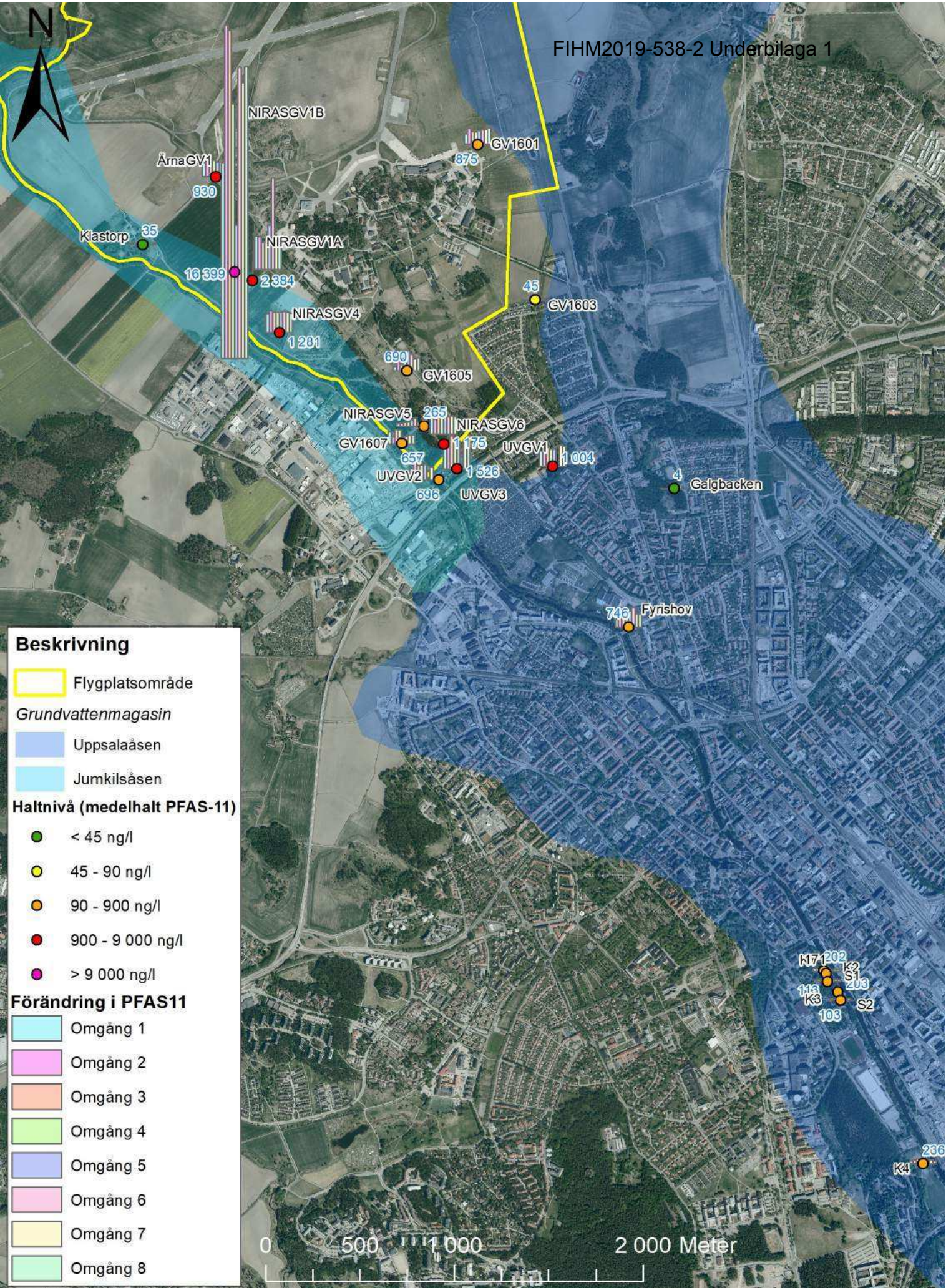
Flygplatsområde

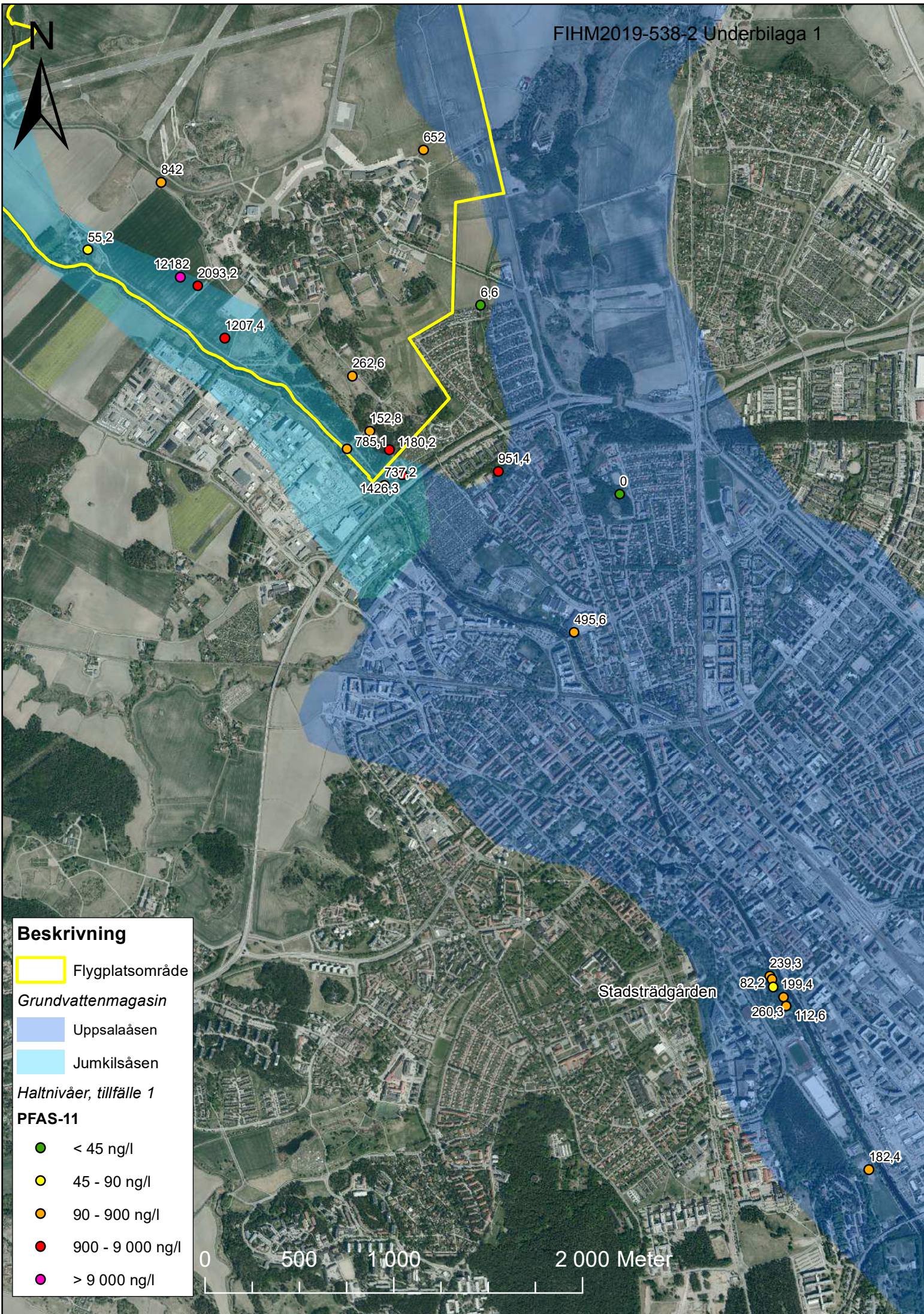
0 1 000 2 000 4 000 Meter

Bilaga 1B

Haltnivåer av PFAS-11 vid varje
provtagningsomgång







Beskrivning

Flygplatsområde

Grundvattenmagasin

Uppsalaåsen

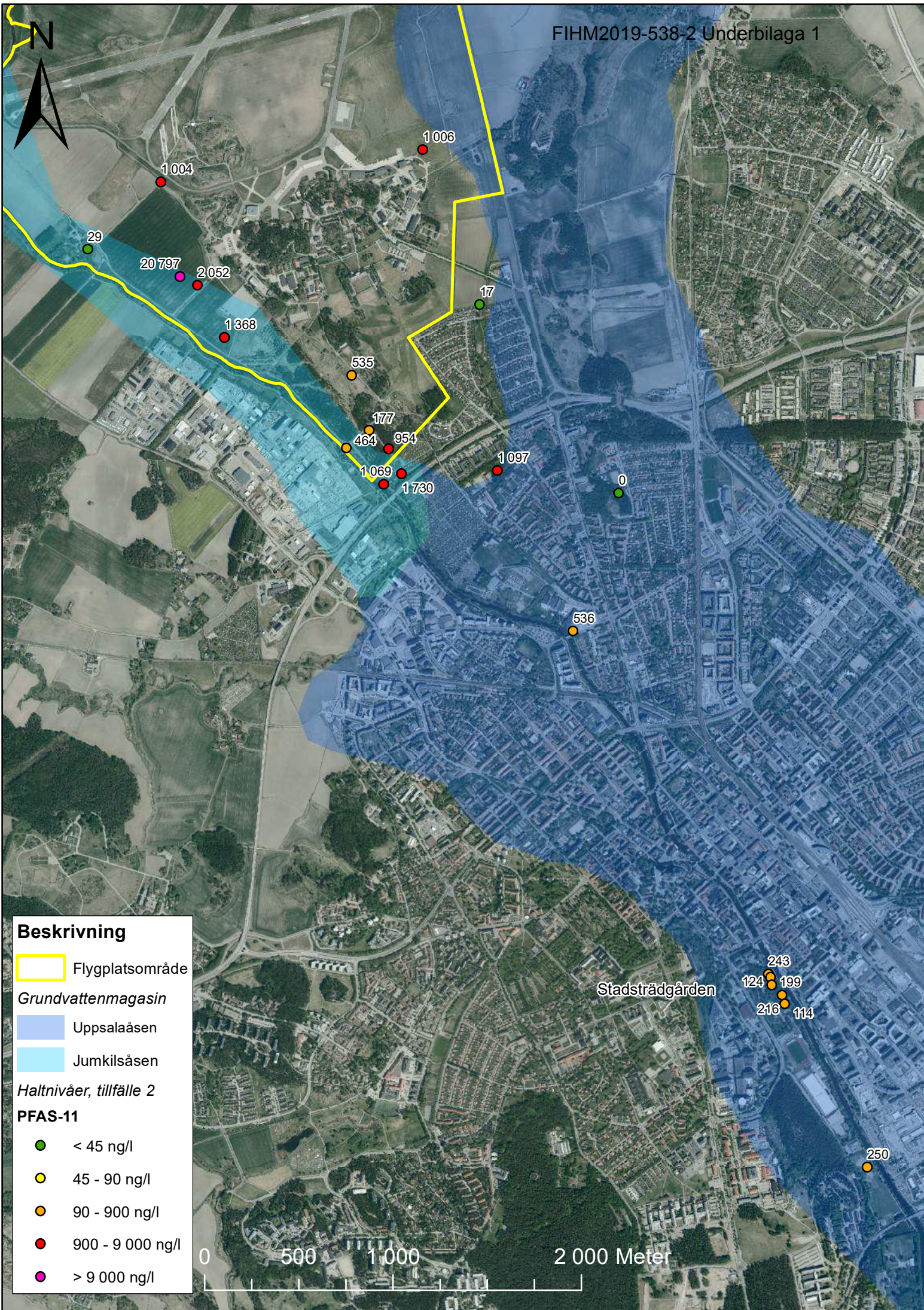
Jumkilsåsen

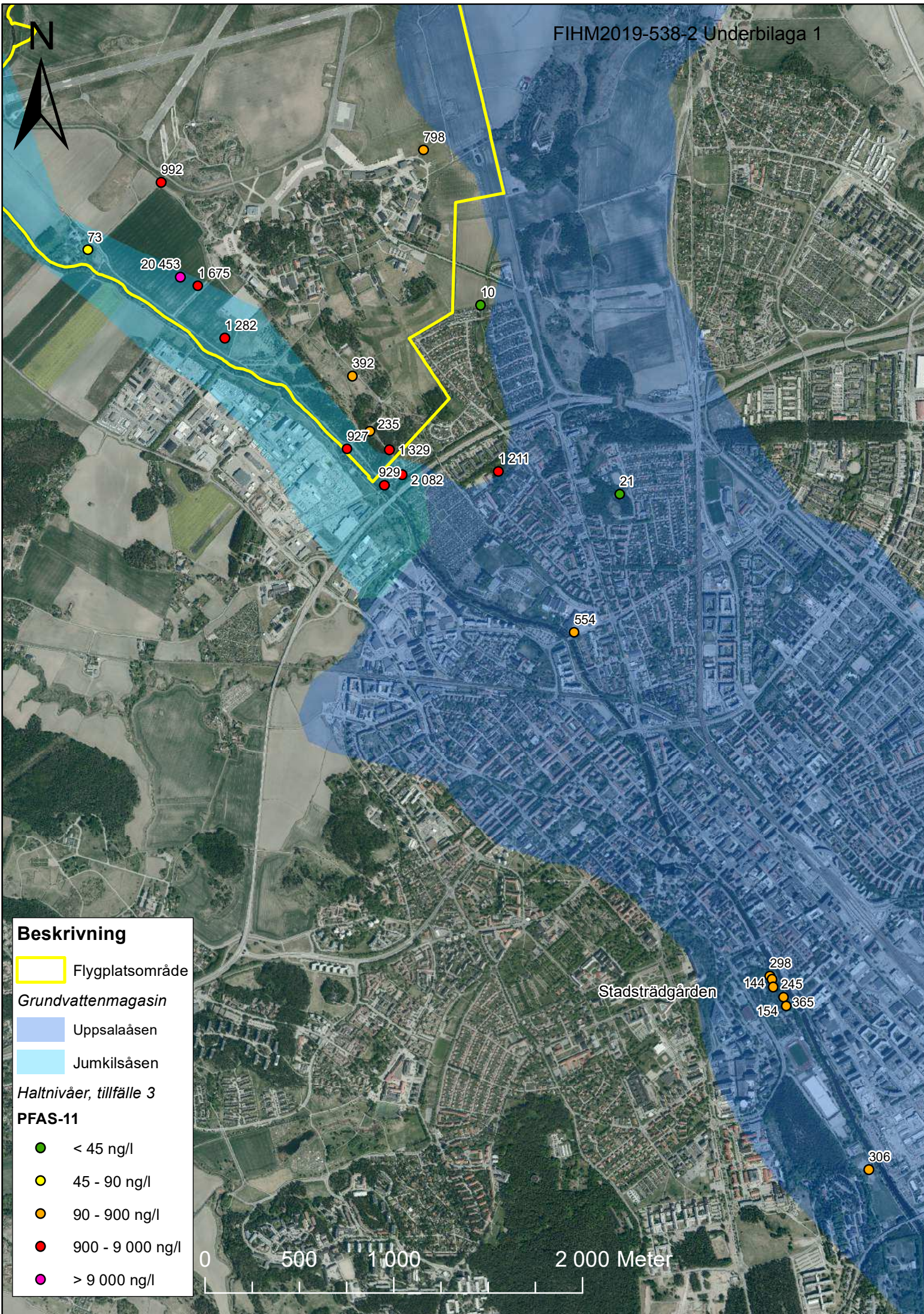
Haltnivåer, tillfälle 1

PFAS-11

- < 45 ng/l
- 45 - 90 ng/l
- 90 - 900 ng/l
- 900 - 9 000 ng/l
- > 9 000 ng/l

0 500 1 000 2 000 Meter



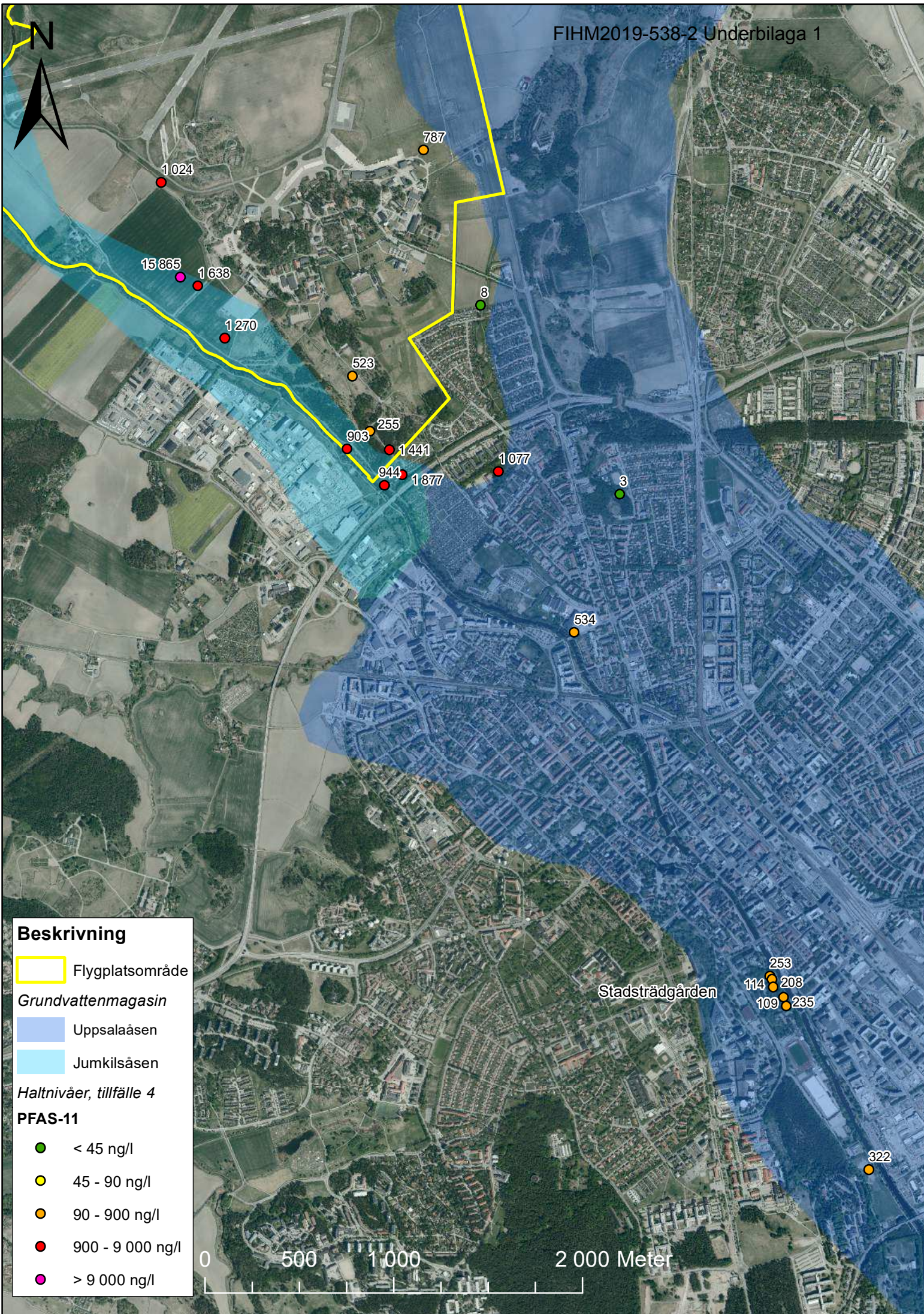


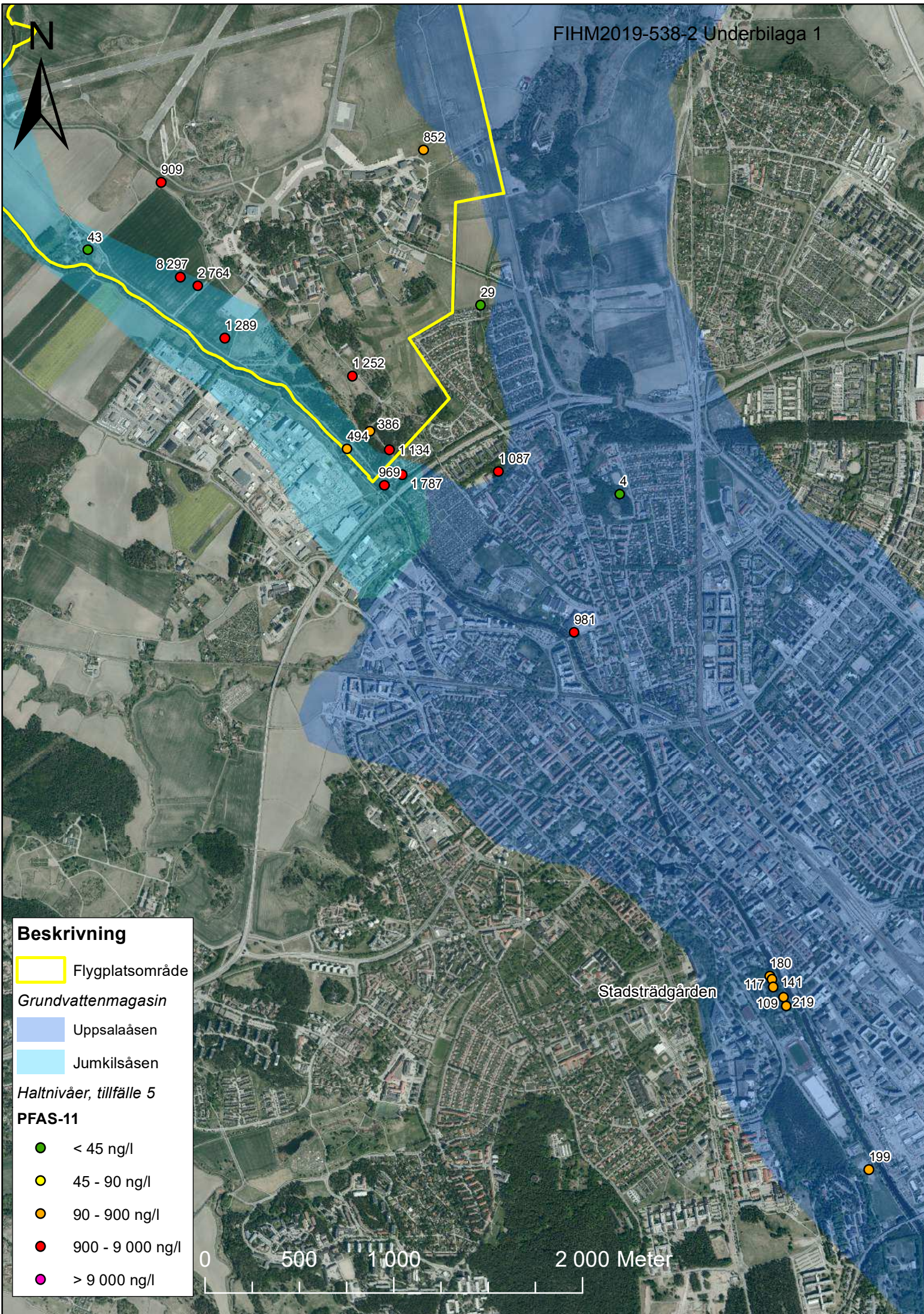
992
73
20 453
1 675
1 282
392
927
235
1 329
929
2 082

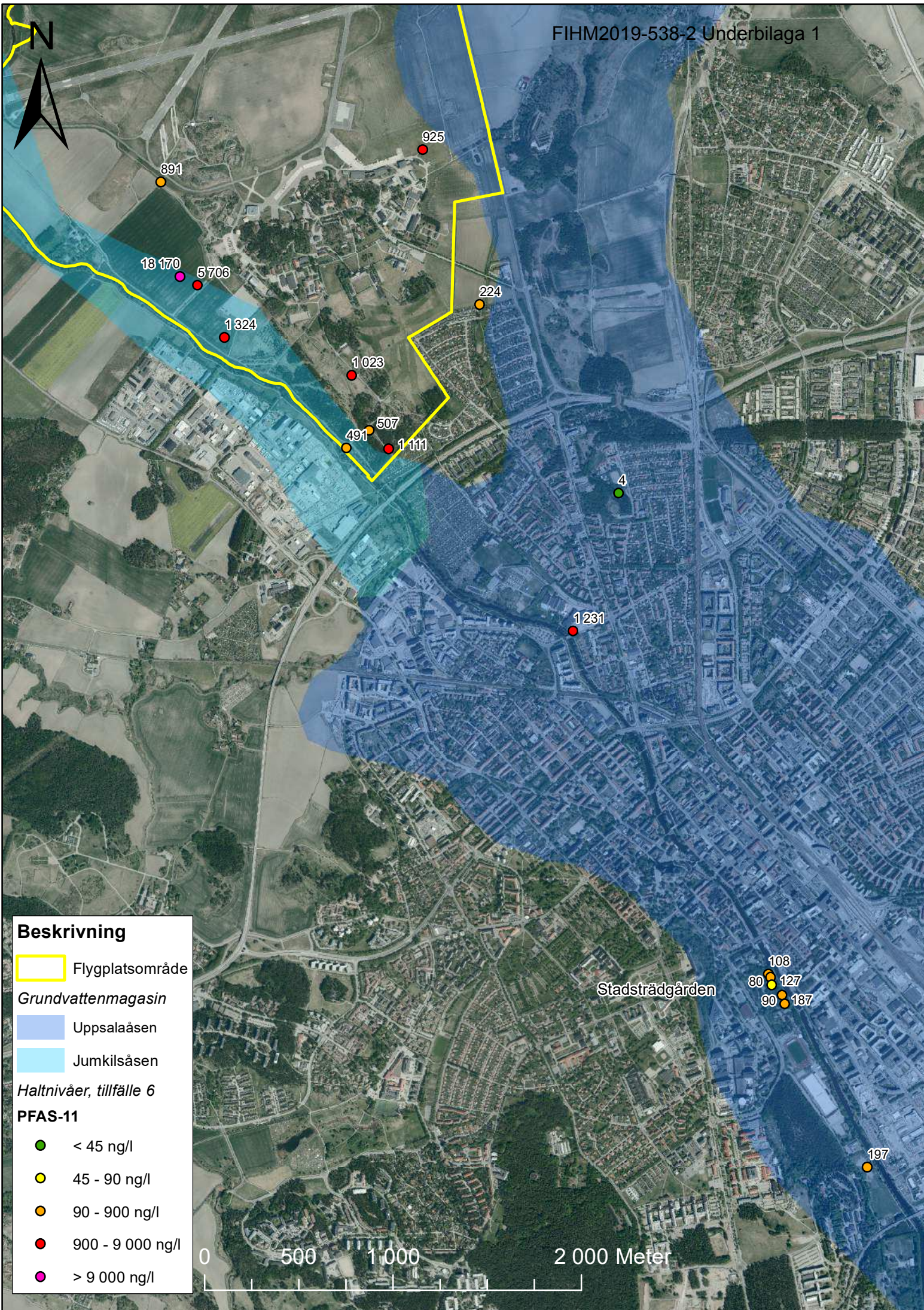
798
10
1 211
554

298
144
245
154
365

306









Beskrivning

 Flygplatsområde

Haltnivåer, tillfälle 7

PFAS-11

-  < 45 ng/l
-  45 - 90 ng/l
-  90 - 900 ng/l
-  900 - 9 000 ng/l
-  > 9 000 ng/l

0 900 1 800 3 600 Meter



Beskrivning

 Flygplatsområde

Haltnivåer, tillfälle 8

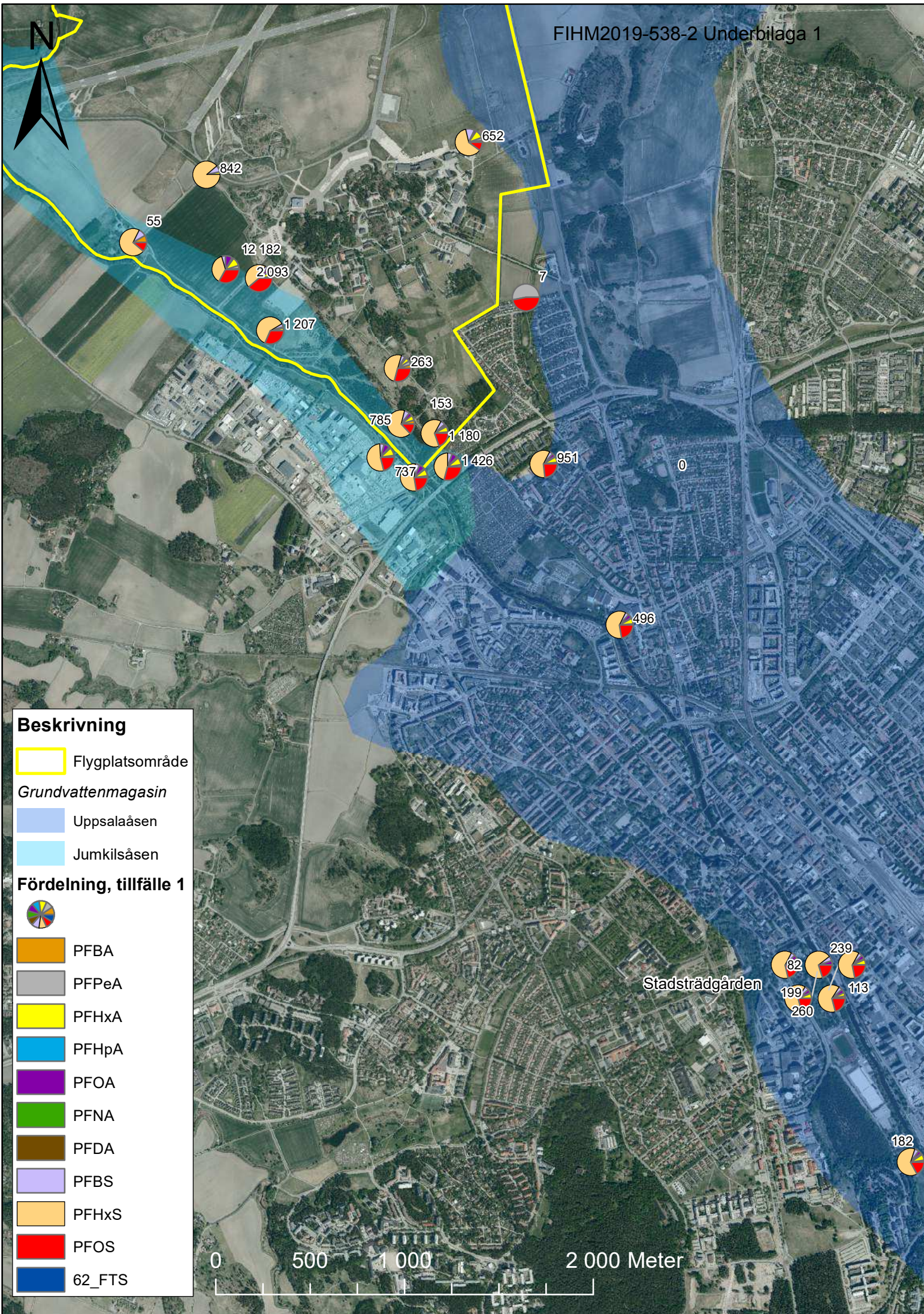
PFAS-11

-  < 45 ng/l
-  45 - 90 ng/l
-  90 - 900 ng/l
-  900 - 9 000 ng/l
-  > 9 000 ng/l

0 900 1 800 3 600 Meter

Bilaga 1C

PFAS-profiler vid respektive
provtagningsomgång



Beskrivning

Flygplatsområde

Grundvattenmagasin

Uppsalaåsen

Jumkilsåsen

Fördelning, tillfälle 1



PFBA

PFPeA

PFHxA

PFHpA

PFOA

PFNA

PFDA

PFBS

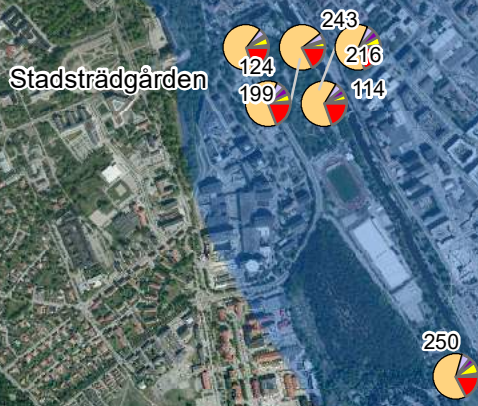
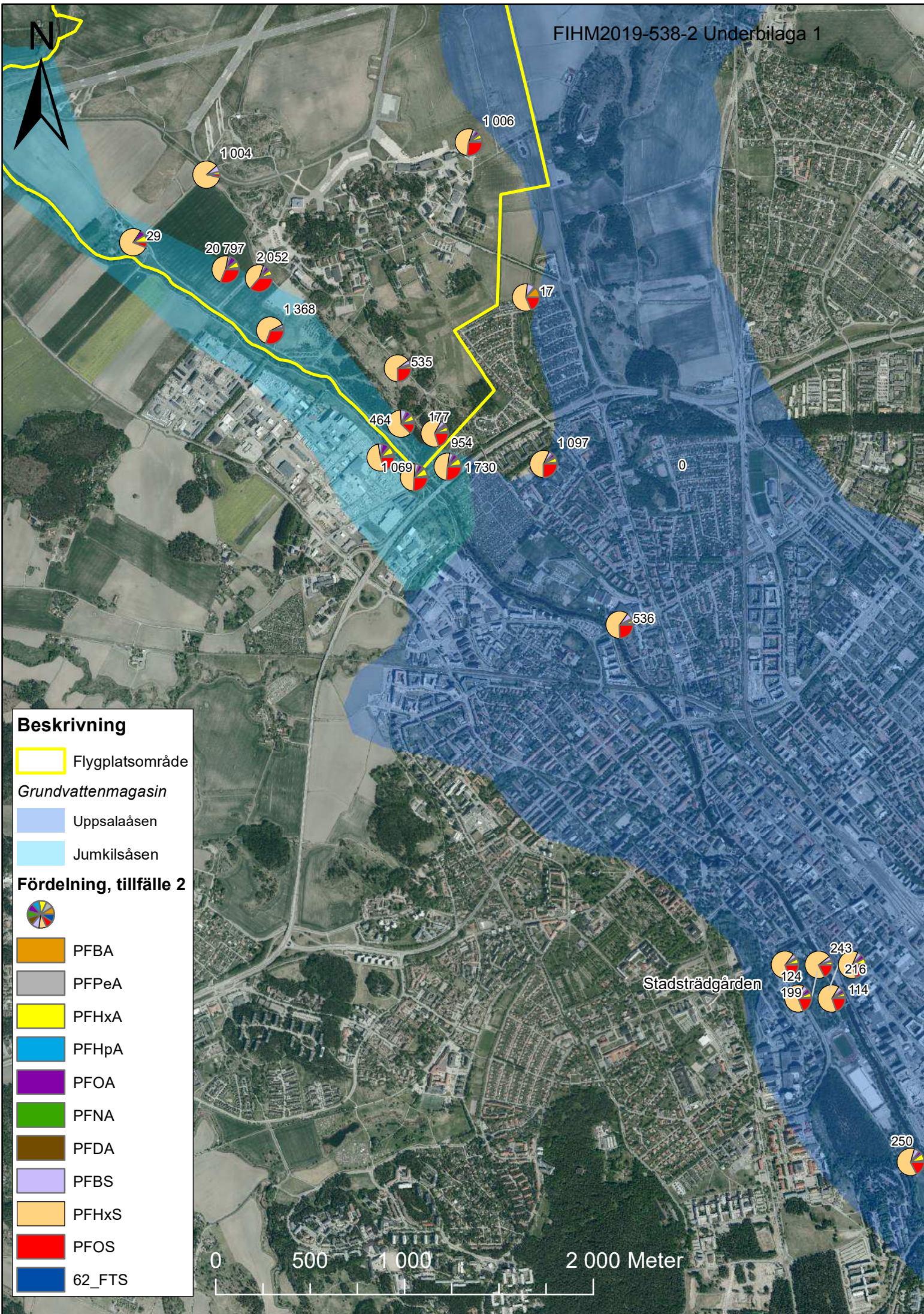
PFHxS

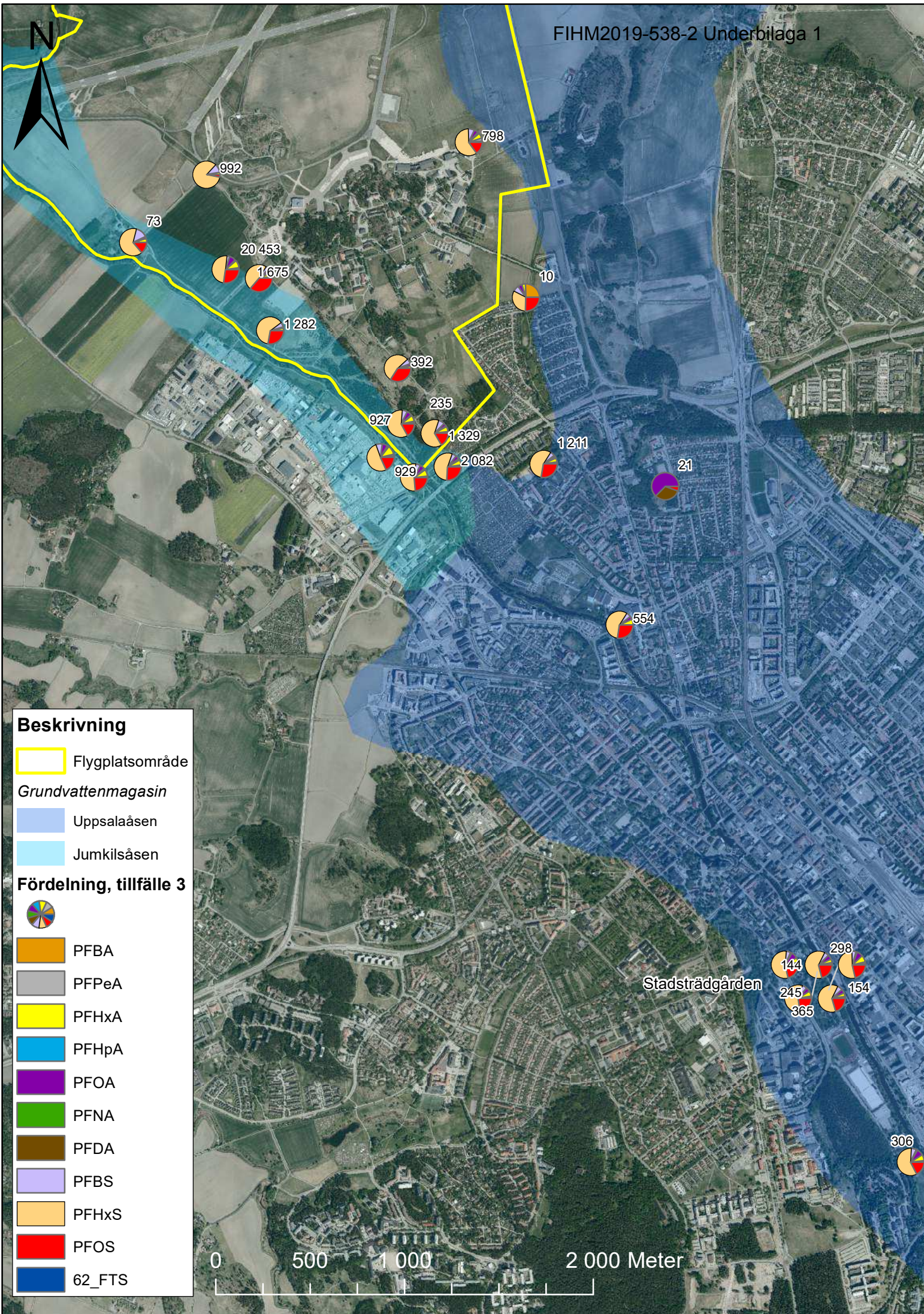
PFOS

62_FTS

0 500 1 000 2 000 Meter

Stadsträdgården





Beskrivning

Flygplatsområde

Grundvattenmagasin

Uppsalaåsen

Jumkilsåsen

Fördelning, tillfälle 3



PFBA

PFPeA

PFHxA

PFHpA

PFOA

PFNA

PFDA

PFBS

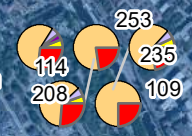
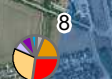
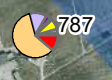
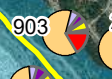
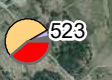
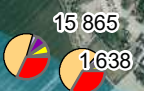
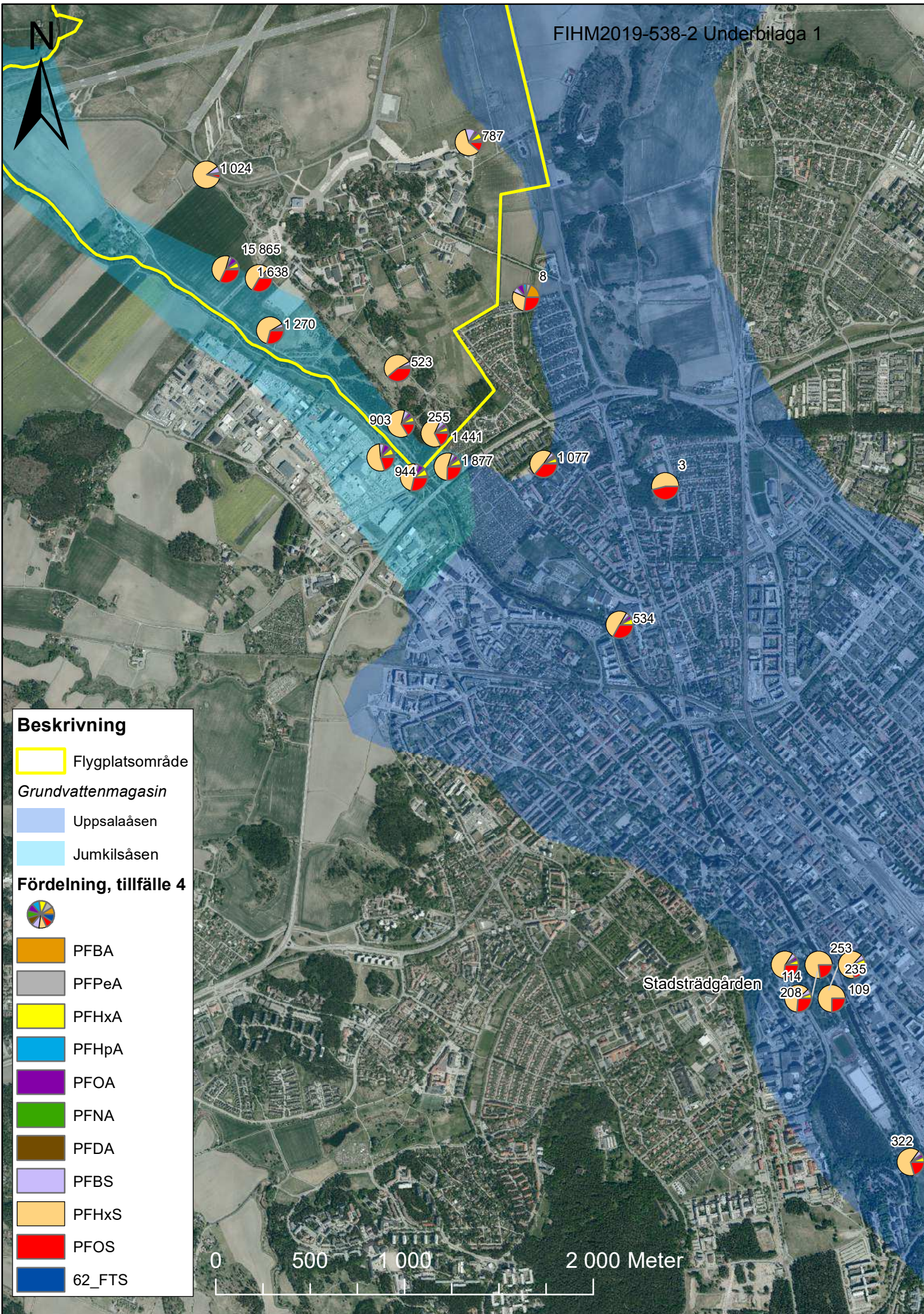
PFHxS

PFOS

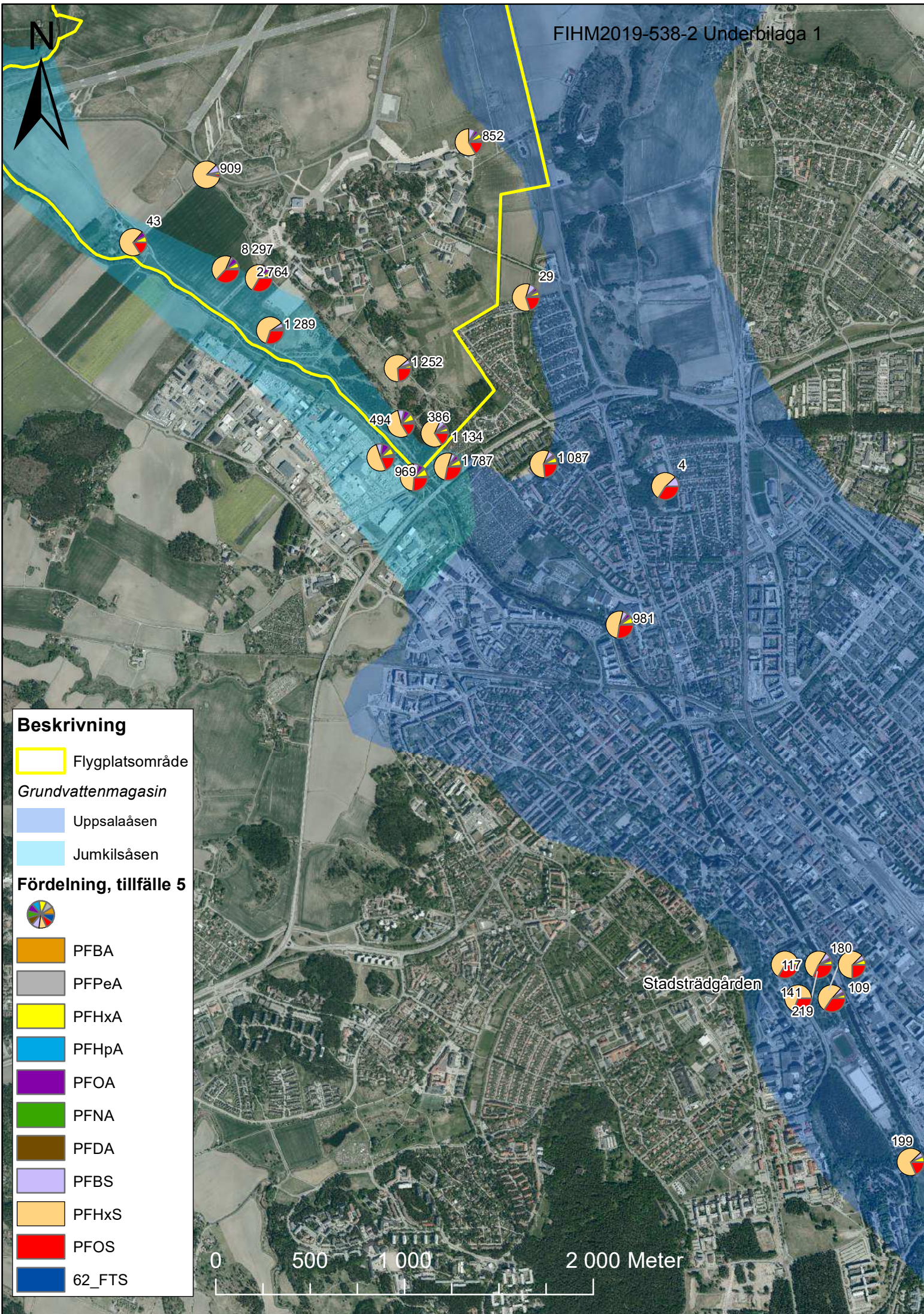
62_FTS

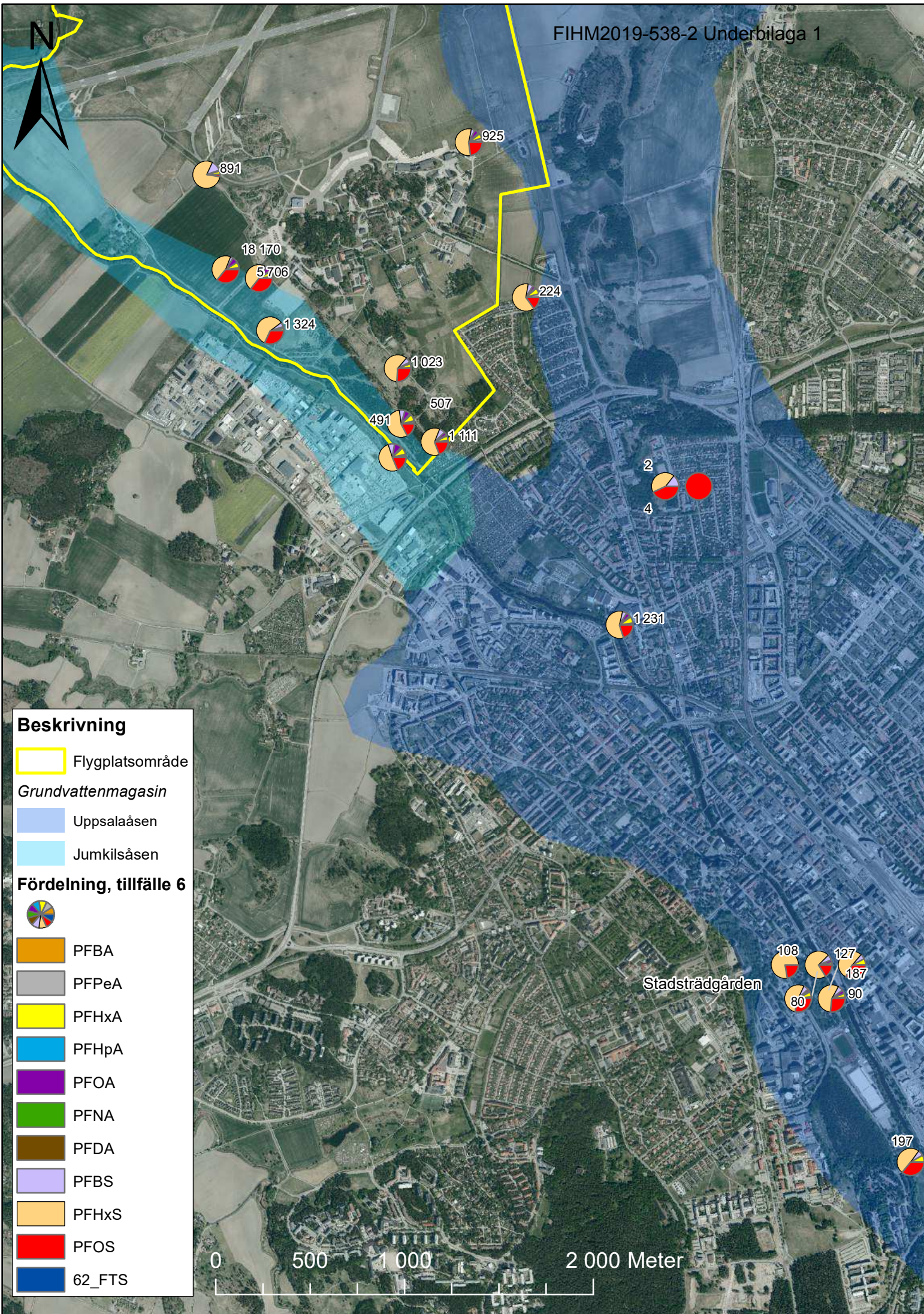
0 500 1 000 2 000 Meter

Stadsträdgården



Stadsträdgården





Beskrivning

Flygplatsområde

Grundvattenmagasin

Uppsalaåsen

Jumkilsåsen

Fördelning, tillfälle 6



PFBA

PFPeA

PFHxA

PFHpA

PFOA

PFNA

PFDA

PFBS

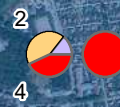
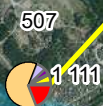
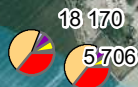
PFHxS

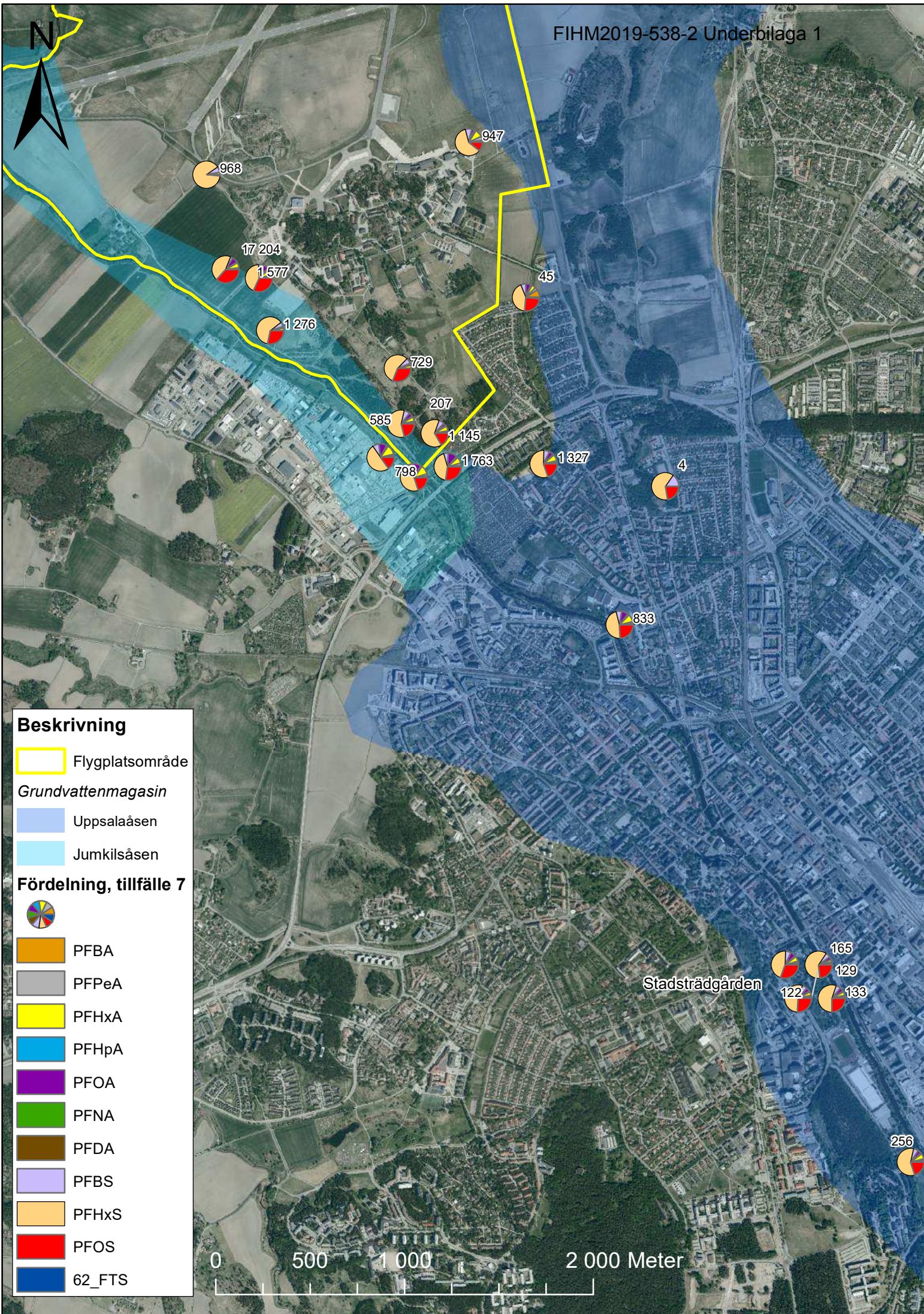
PFOS

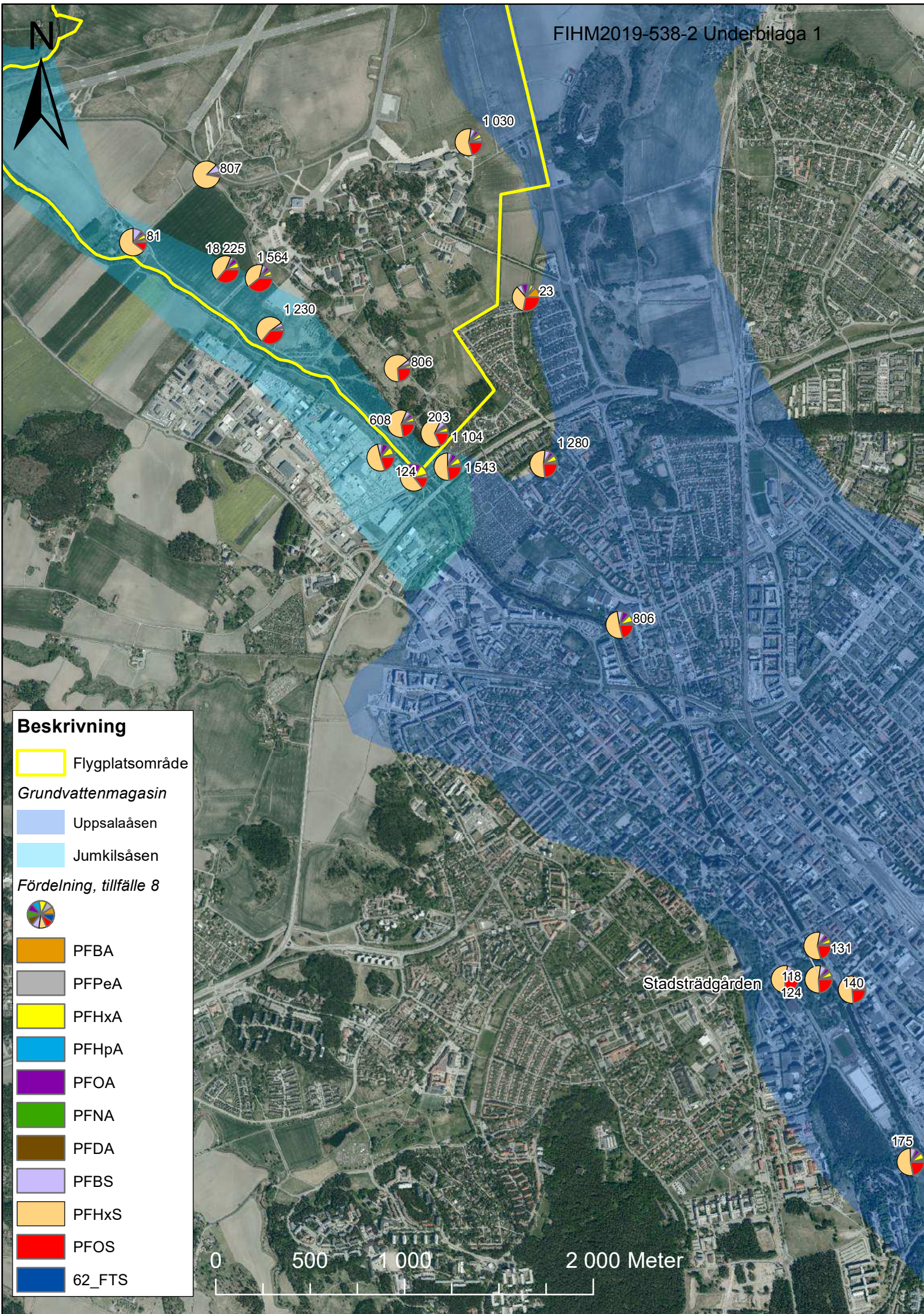
62_FTS

0 500 1 000 2 000 Meter

Stadsträdgården

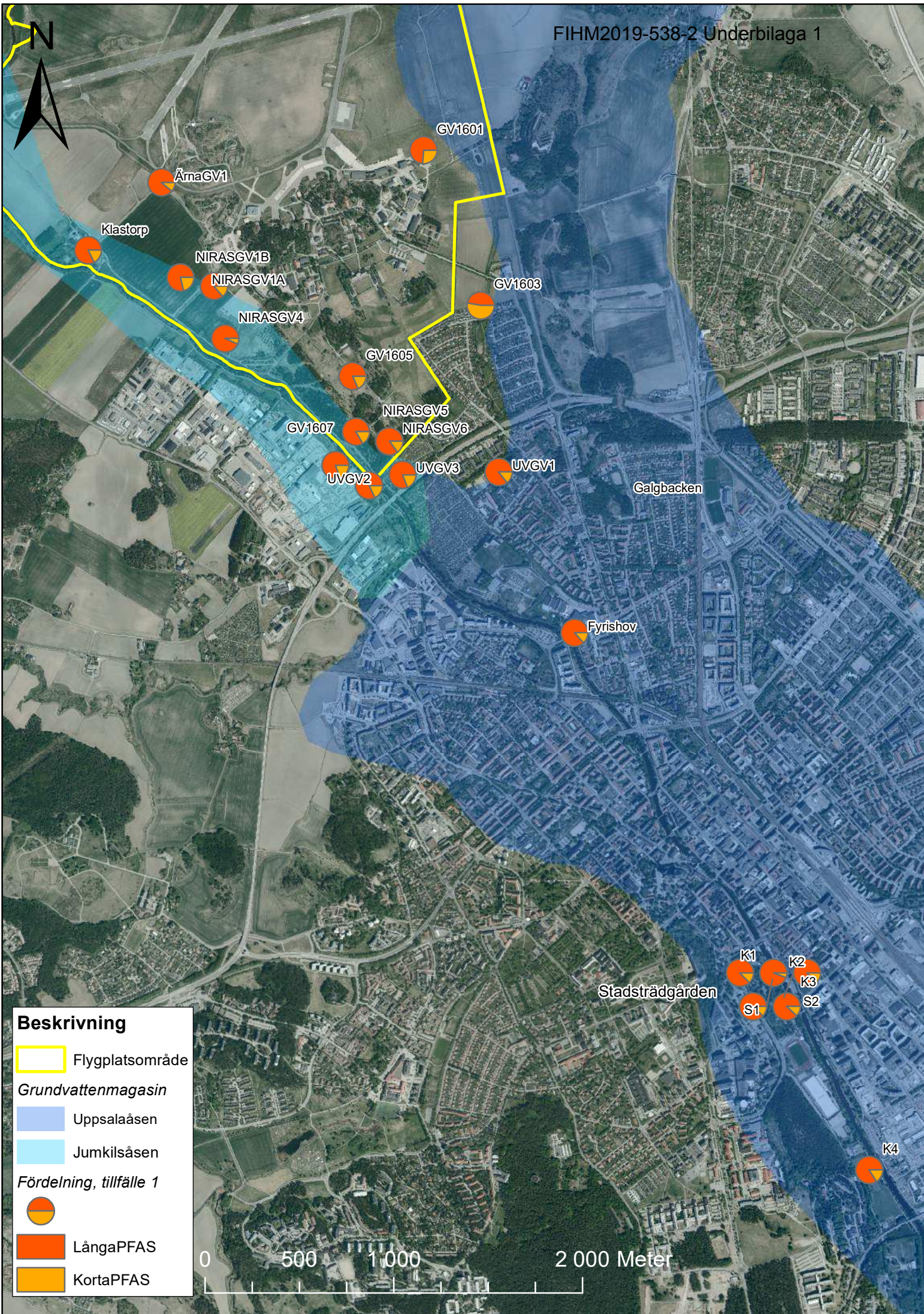






Bilaga 1D

Kvoter mellan långa och korta
PFAS-kongener vid respektive
provtagningsomgång



Beskrivning

Flygplatsområde

Grundvattenmagasin

Uppsalaåsen

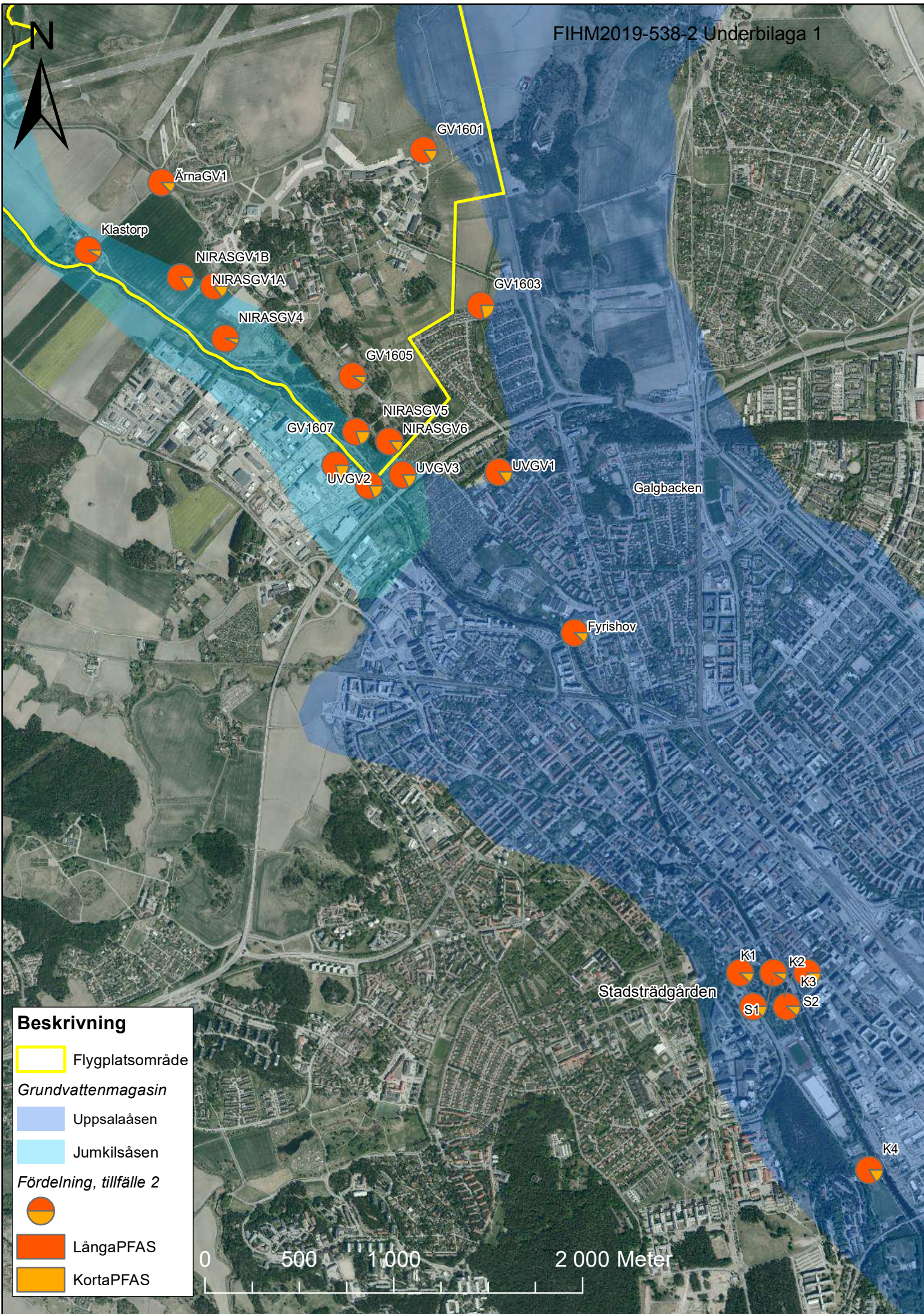
Jumkilsåsen

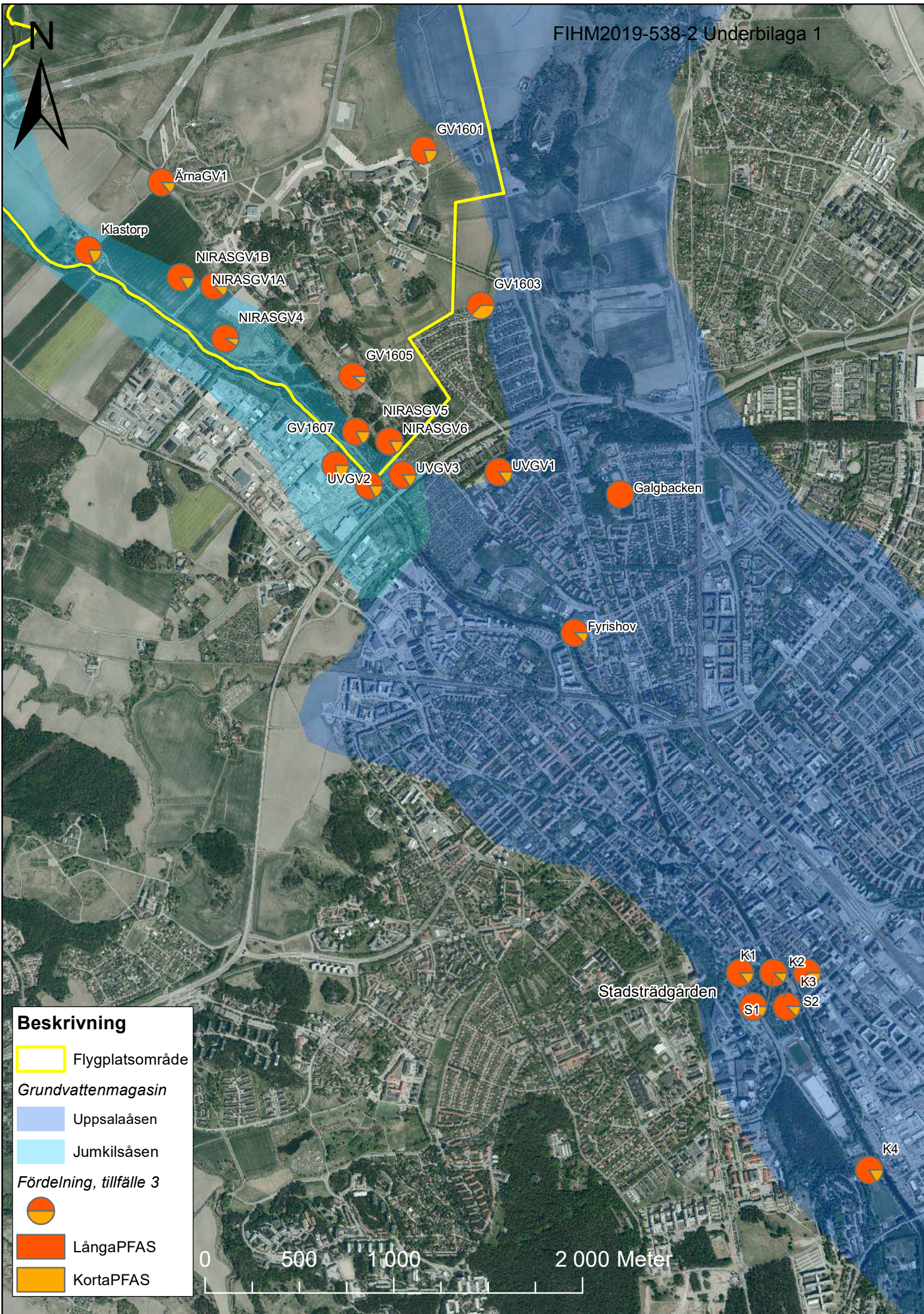
Fördelning, tillfälle 1

LångaPFAS

KortaPFAS

0 500 1 000 2 000 Meter

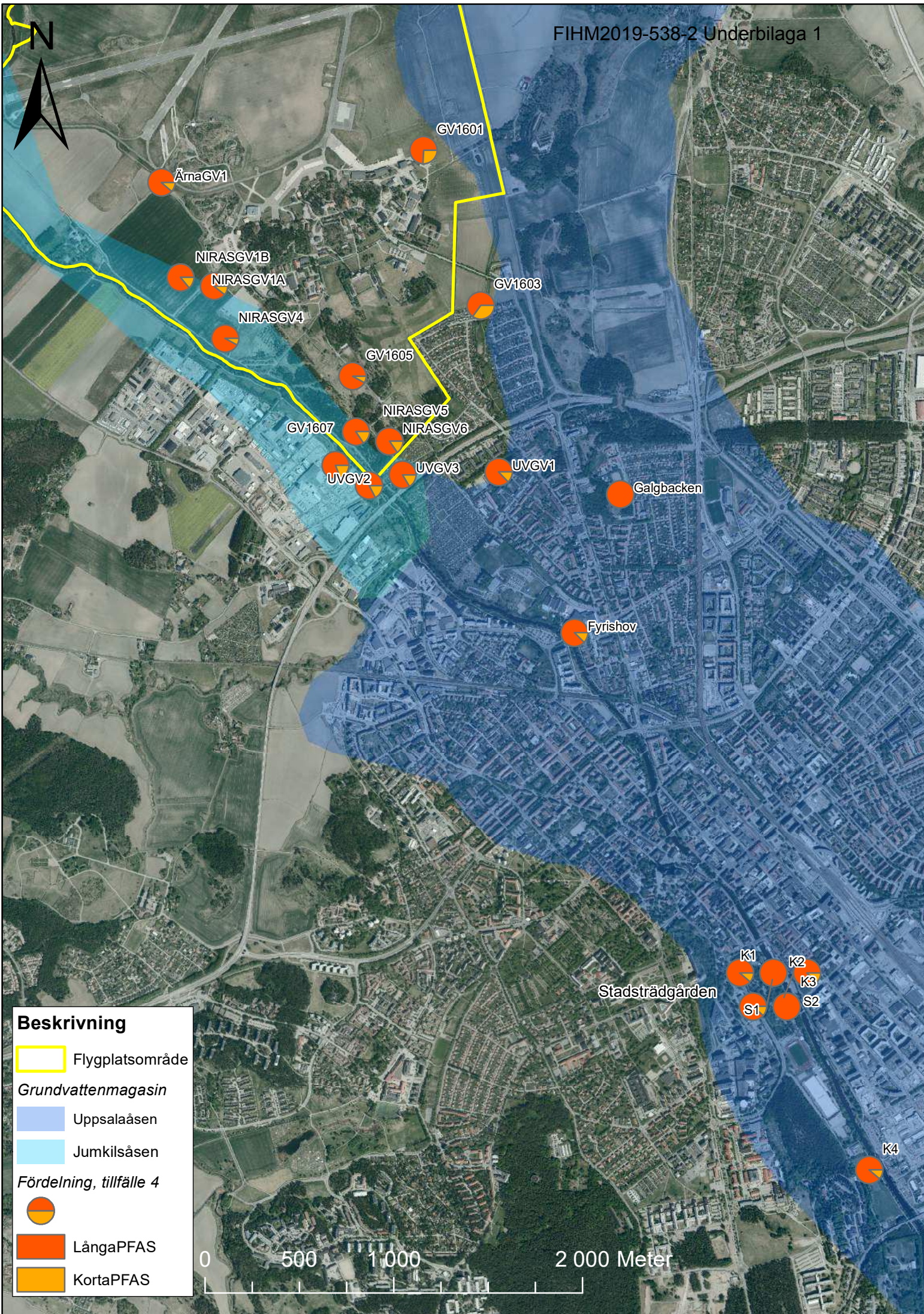


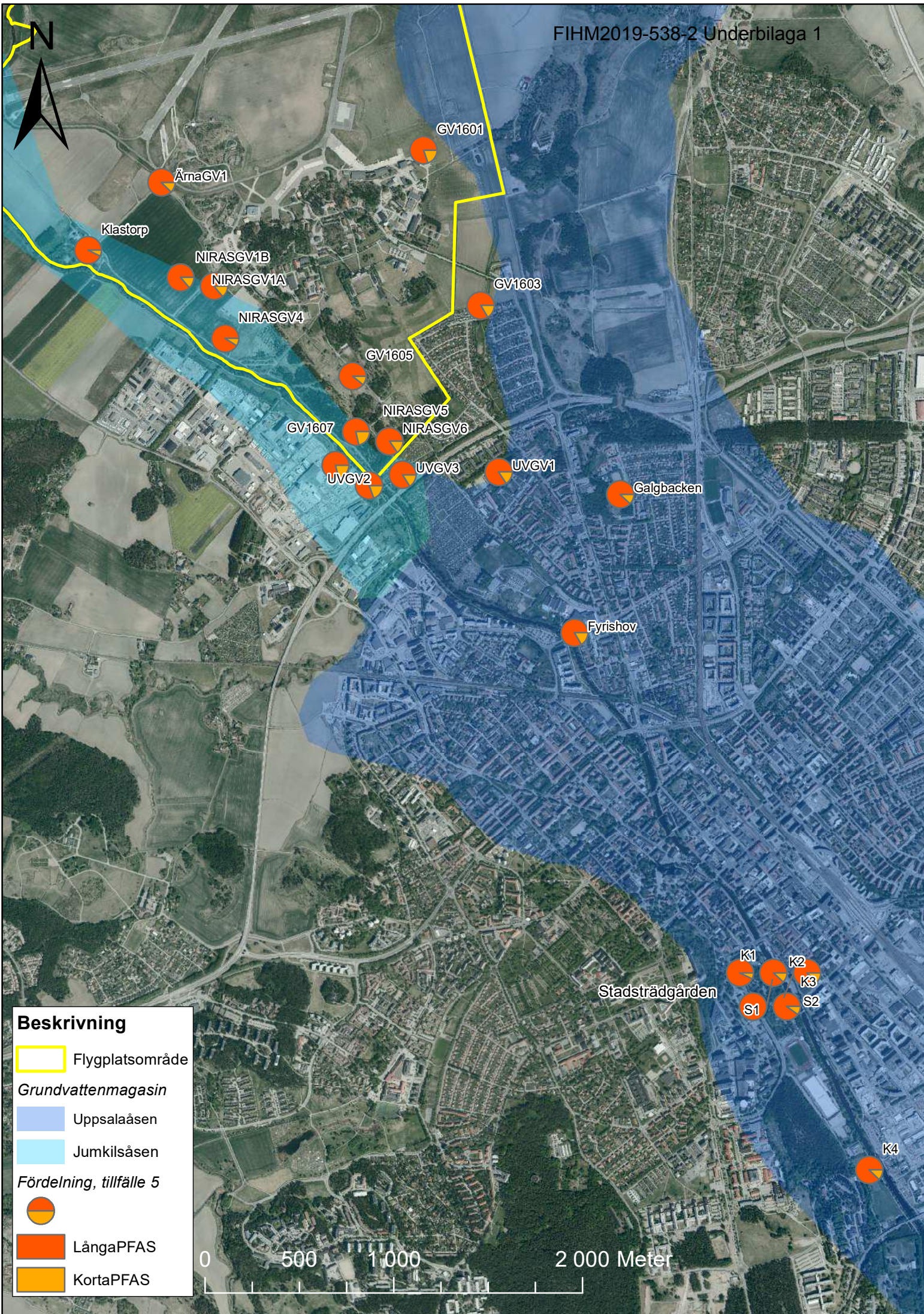


Beskrivning

- Flygplatsområde
- Grundvattenmagasin**
- Uppsalaåsen
- Jumkilsåsen
- Fördelning, tillfälle 3**
-
- LångaPFAS
- KortaPFAS

0 500 1 000 2 000 Meter





Beskrivning

Flygplatsområde

Grundvattenmagasin

Uppsalaåsen

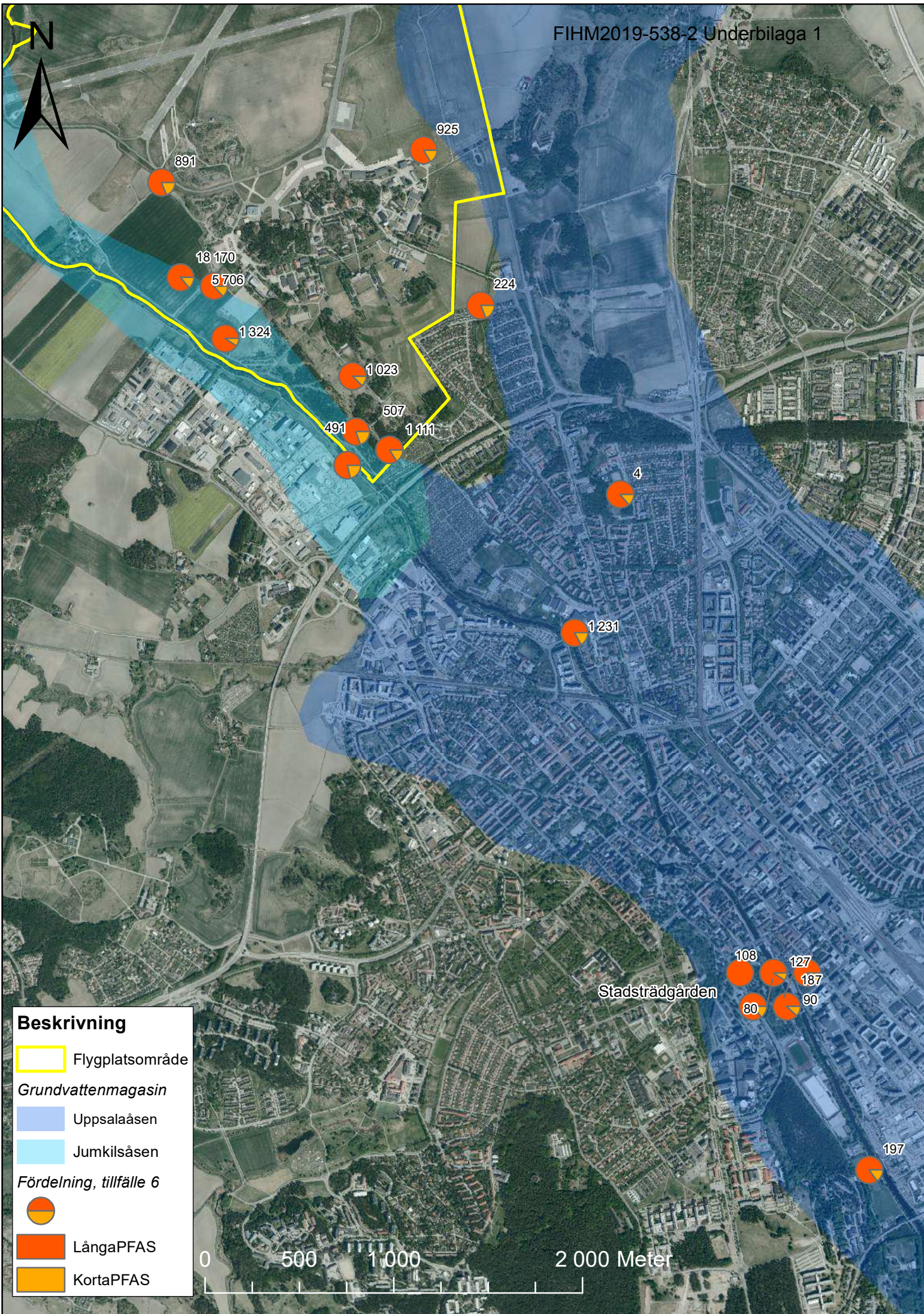
Jumkilsåsen

Fördelning, tillfälle 5

LångaPFAS

KortaPFAS

0 500 1 000 2 000 Meter





ÅmaGV1
 NIRASGV1B
 NIRASGV1A
 NIRASGV4
 GV1601
 GV1603
 GV1605
 NIRASGV5
 NIRASGV6
 GV1607
 UVGV2
 UVGV3
 UVGV1

Gaigbacken
 Fyrishov

Stadsträdgården

K1
 S1
 K2
 S2
 K4

Sunnersta1

Sunnersta2

Sunnersta

Sunnersta4

Sunnersta3

Sunnersta5

Beskrivning

 Flygplatsområde

Fördelning, tillfälle 7



 LångaPFAS

 KortaPFAS

0 900 1 800 3 600 Meter



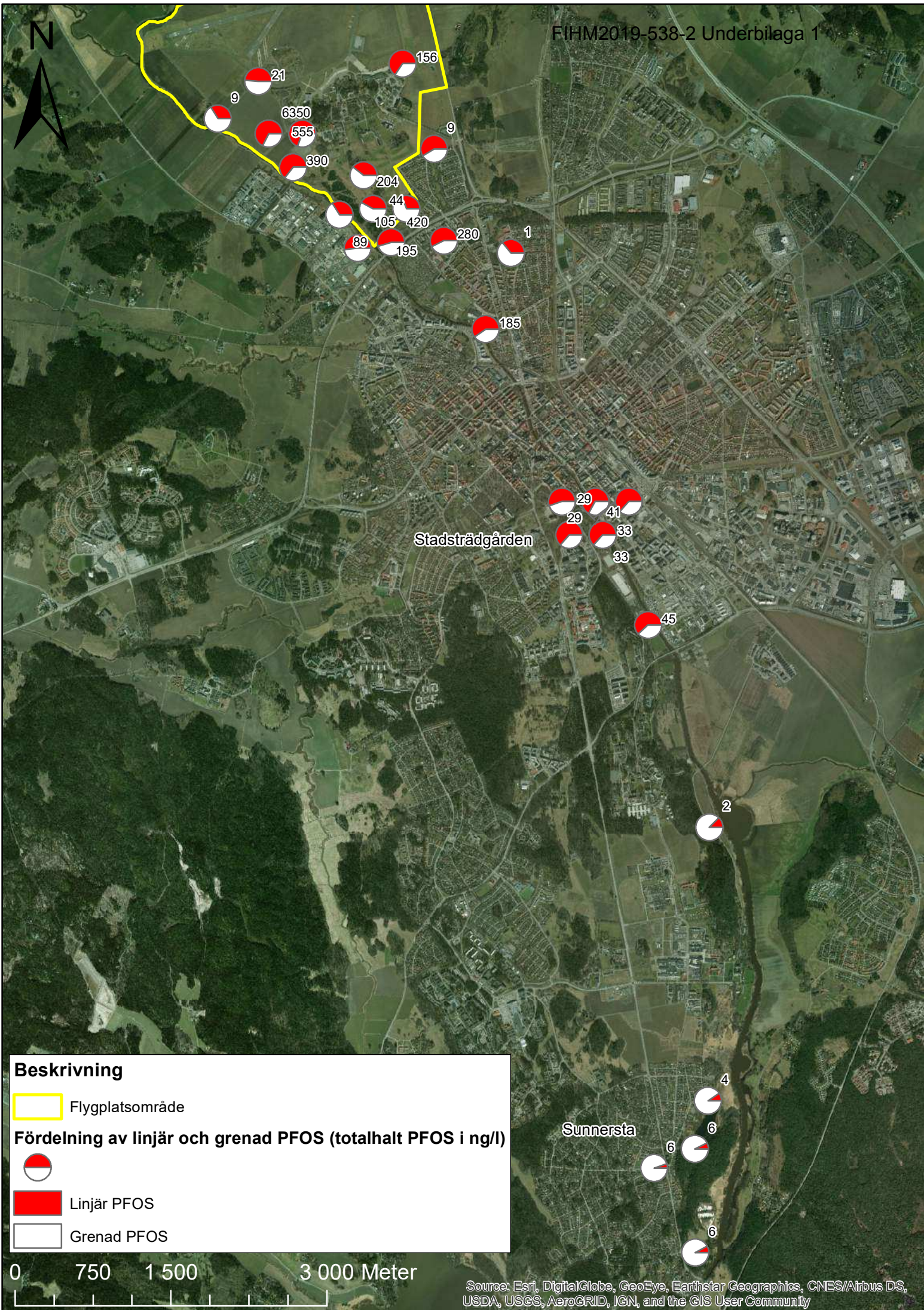
Beskrivning

-  Flygplatsområde
-  LångaPFAS
-  KortaPFAS

0 900 1 800 3 600 Meter

Bilaga 1E

Isomerförhållanden av PFOS,
PFHxS och PFOA vid
provtagningsomgång 7 och 8





Beskrivning

 Flygplatsområde

Fördelning av linjär och grenad PFHxS (totalhalt PFHxS i ng/l)



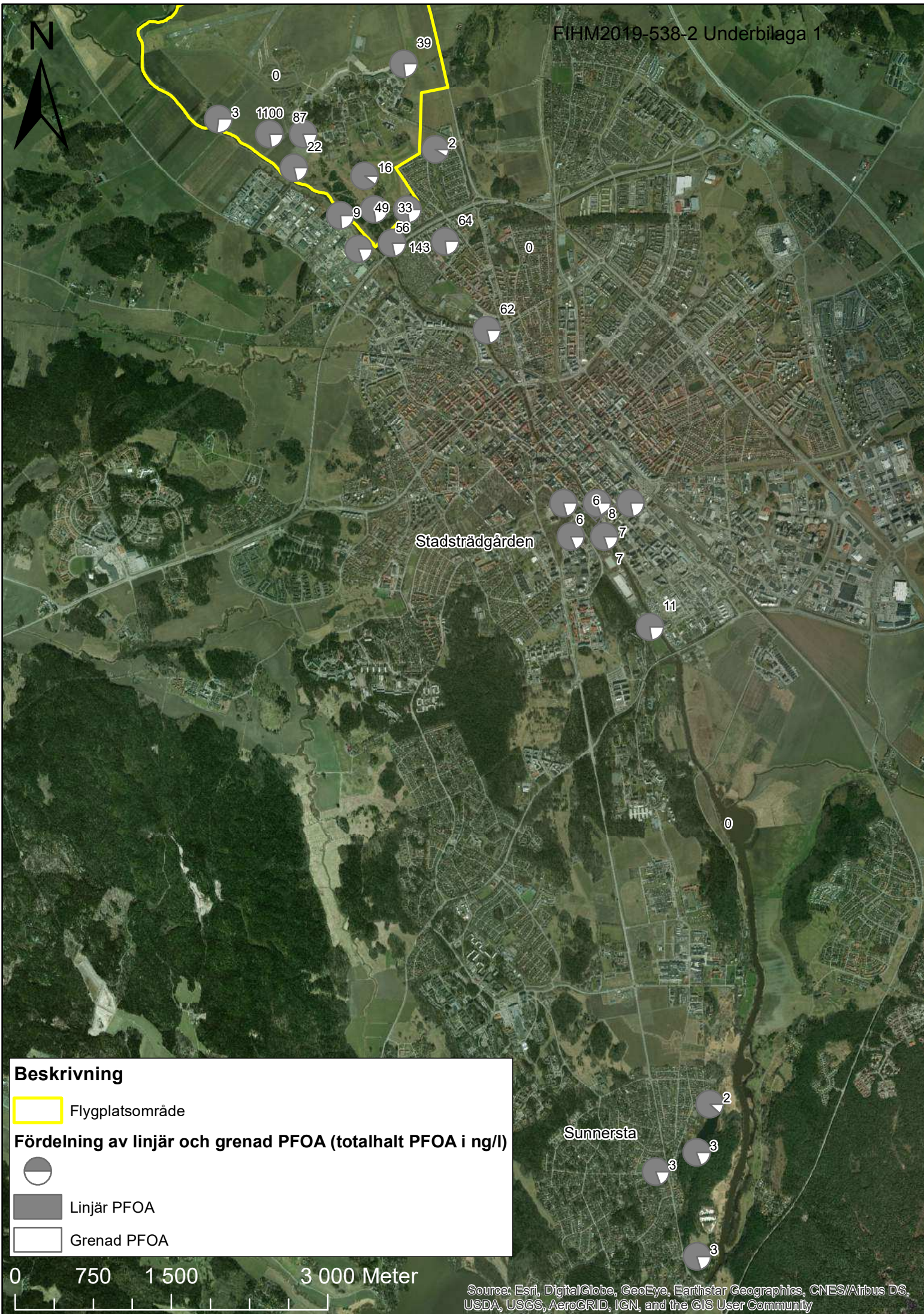
 Linjär PFHxS

 Grenad PFHxS

0 750 1 500 3 000 Meter

Stadsträdgården

Sunnersta



Beskrivning

 Flygplatsområde

Fördelning av linjär och grenad PFOA (totalhalt PFOA i ng/l)



 Linjär PFOA

 Grenad PFOA

0 750 1 500 3 000 Meter

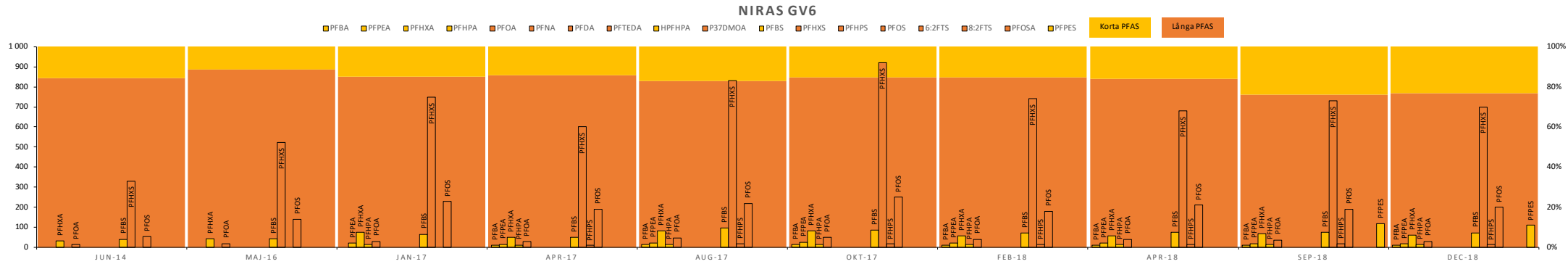
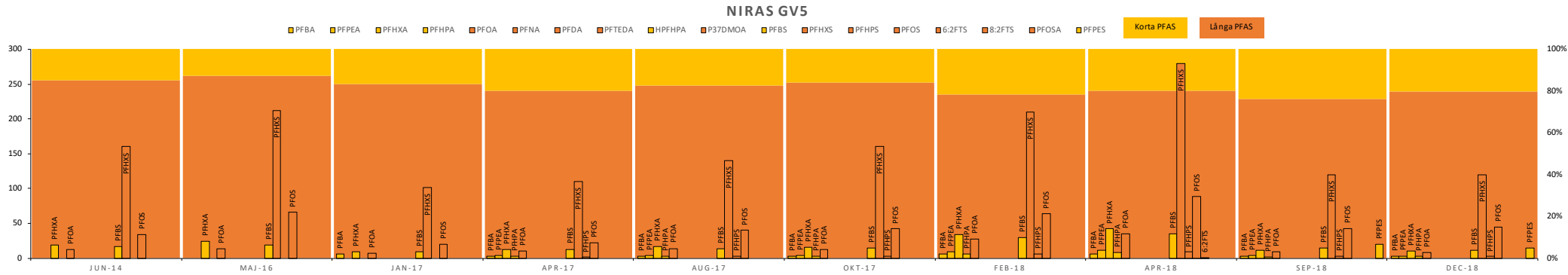
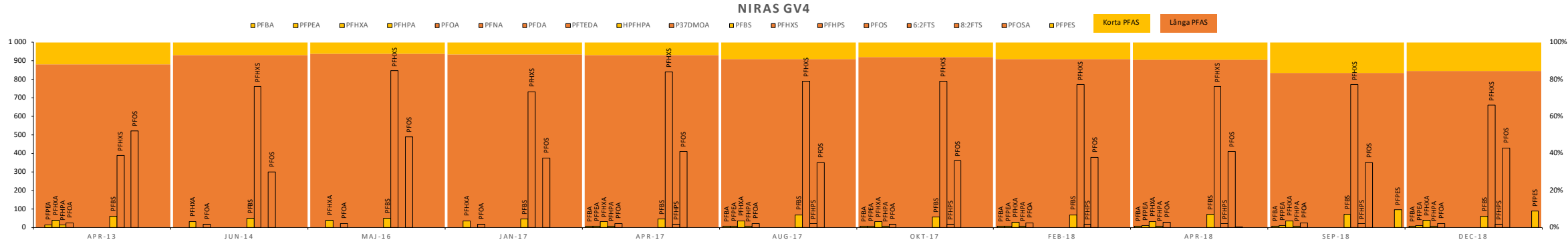
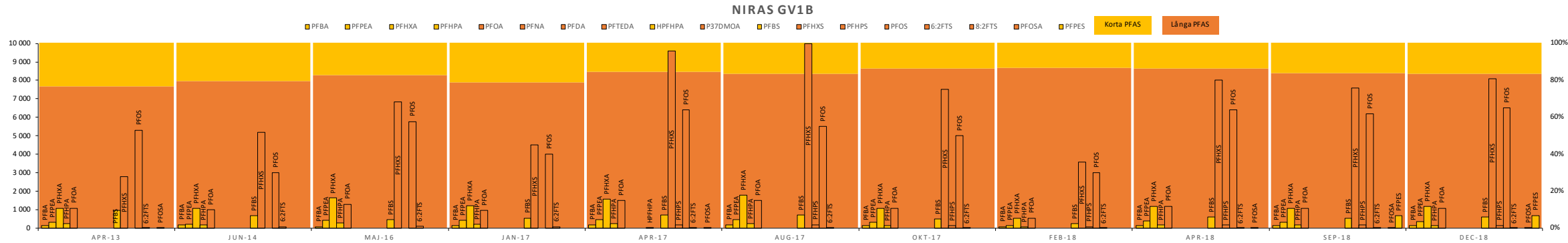
Bilaga 2A

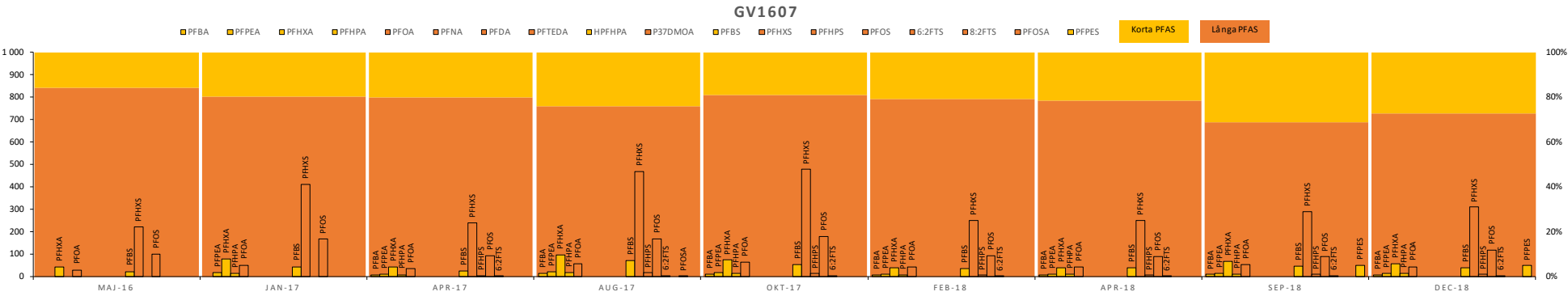
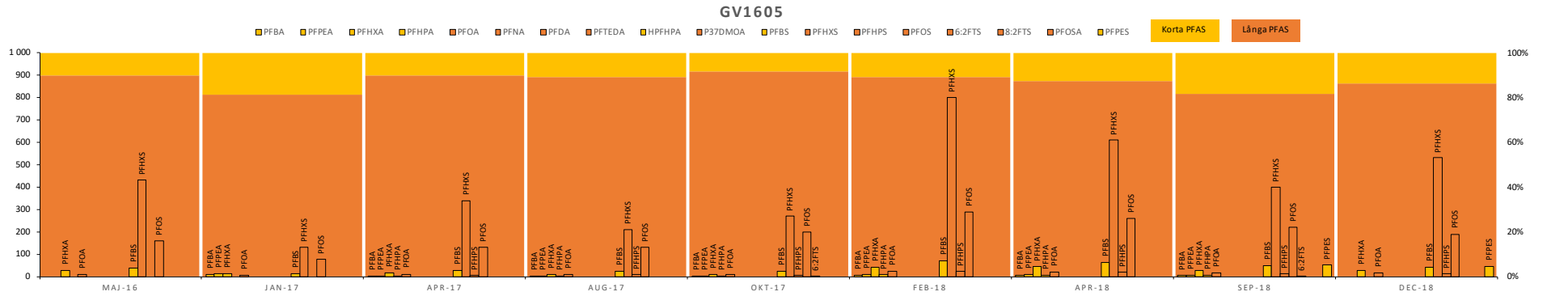
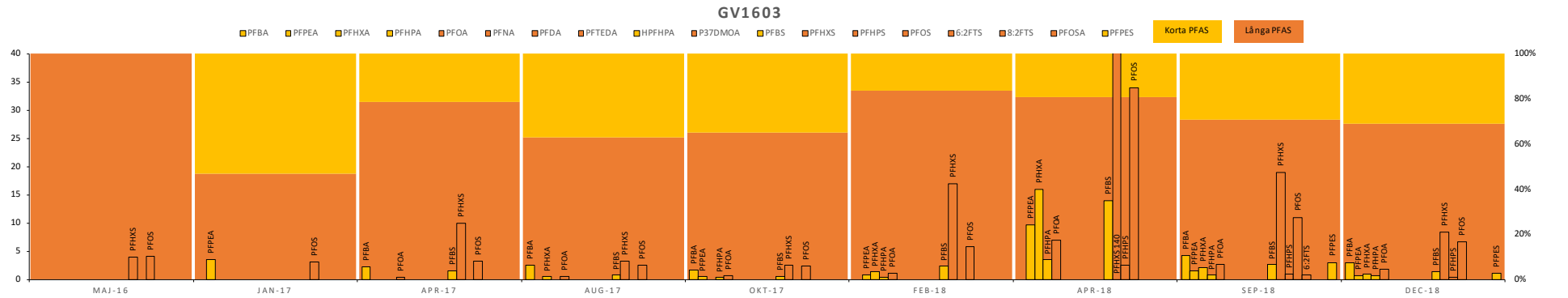
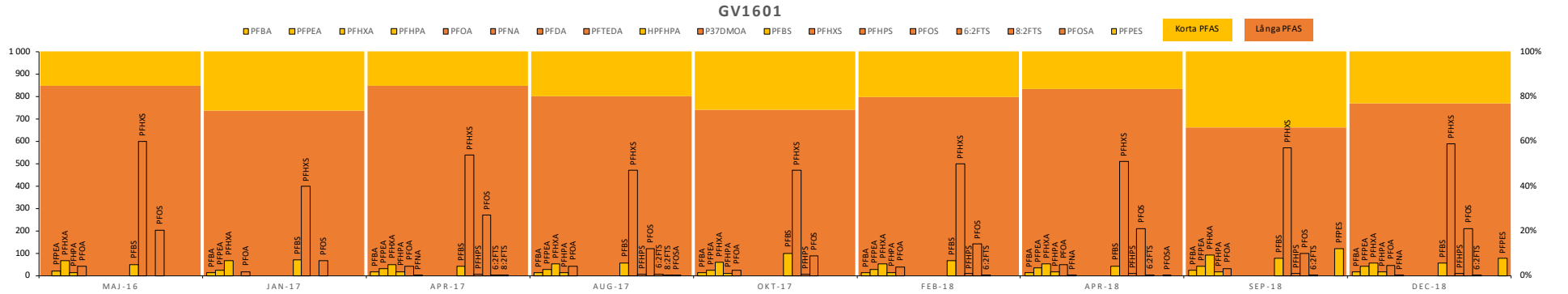
Diagram över haltförhållanden av enskilda PFAS samt långa och korta PFAS. Samlingsdiagram av PFAS-profiler och korrelationsmatris över variationen av långa och korta PFAS

Av följande 23 figurer framgår haltförållandena av samtliga påträffade PFAS-kongener för varje enskild provtagnings-lokal och vid varje provtagningstillfälle. I diagrammen representerar de breda staplarna i bakgrunden den relativa procentuella fördelningen av långa och korta PFAS vid varje enskilt provtagningstillfälle. Dessa staplar svarar mot den högra axelskalan. Påträffade enskilda PFAS redovisas med de smala staplarna i miljarddels gram per liter (ng/l) och svarar mot den vänstra axelskalan. Indelningen mellan långa och korta PFAS har skett enligt Buck m.fl. (2011).

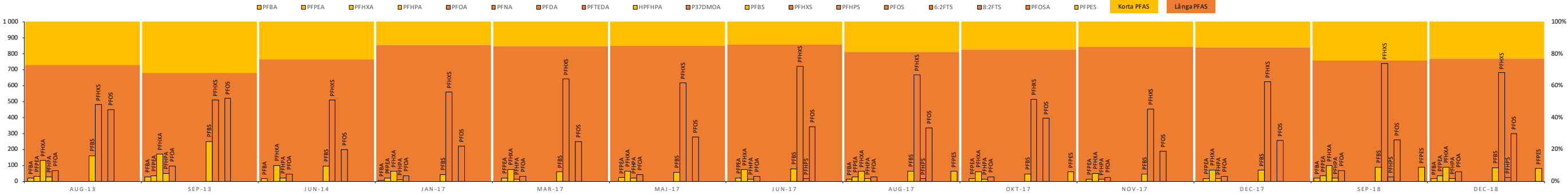
Märk väl att diagrammen endast baseras på det urval av PFAS som har låtits analyseras. Ett större urval av PFAS har analyserats i senare provtagningar och rapporteringsgränserna har sänkts från 10-tals ng/l till enstaka ng/l. Tidiga PFAS-analyser inkluderade inte heller grenade isomerer/molekylformer av t.ex. PFOS. Diagrammen är sannolikt missvisande vid låga halter (halter nära laboratoriets rapporteringsgränser) och risk föreligger härvid att den redovisade relativa fördelningen inte är representativ i provtagningspunkter som uppvisar låga haltstyrkor av PFAS.



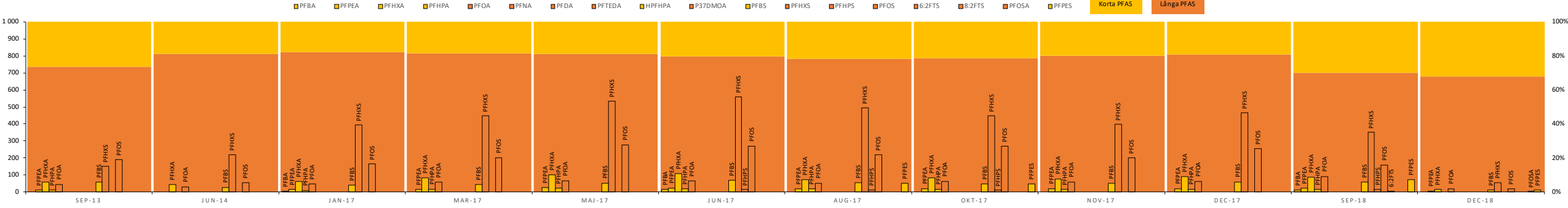




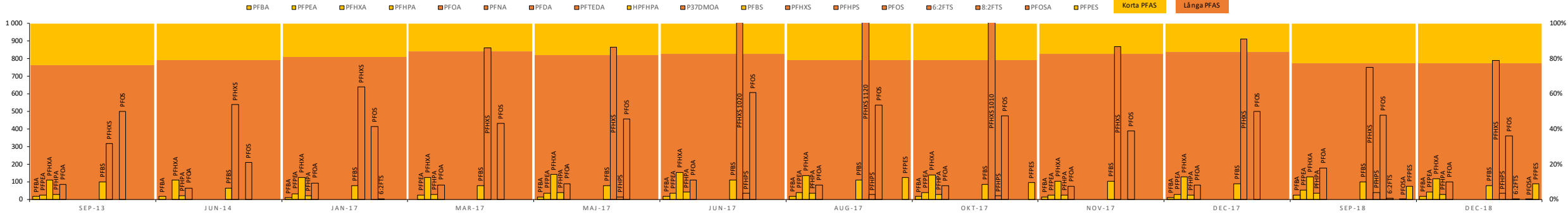
UVGV1



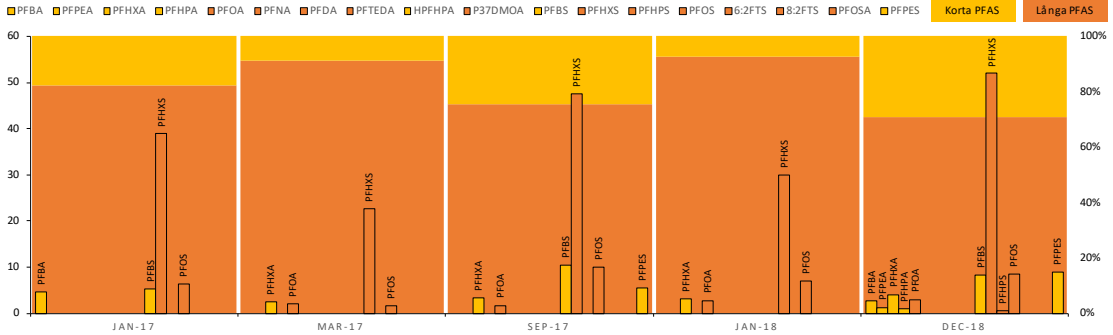
UVGV2



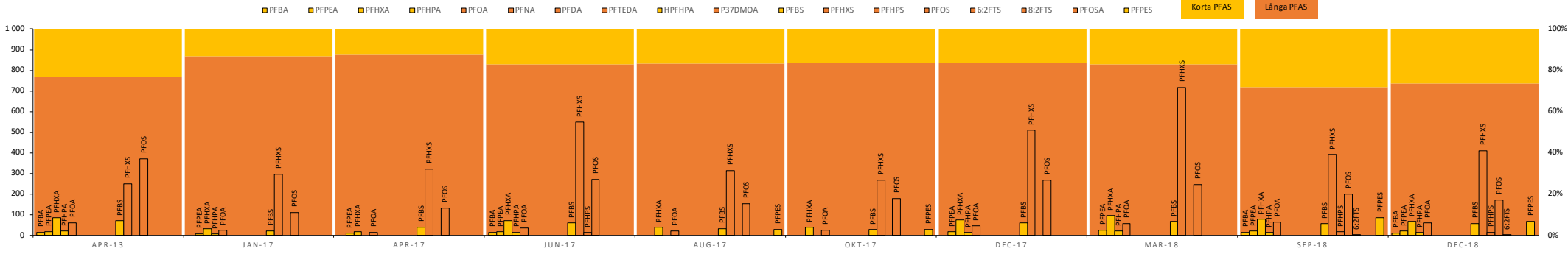
UVGV3



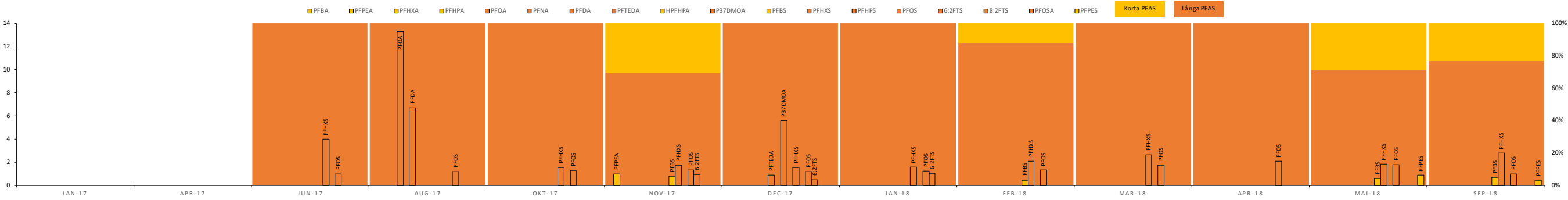
KLASTORP



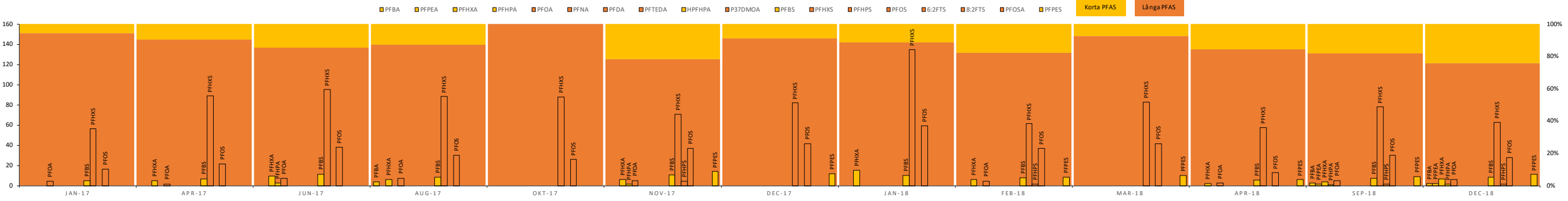
FYRISHOV



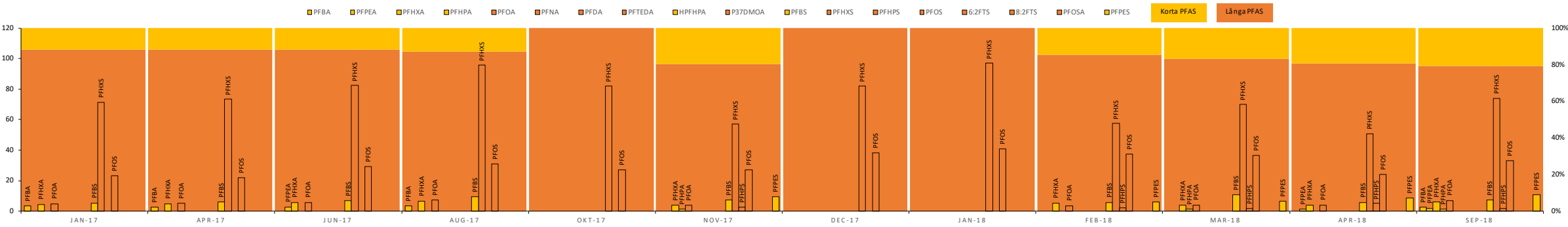
GALGBACKEN



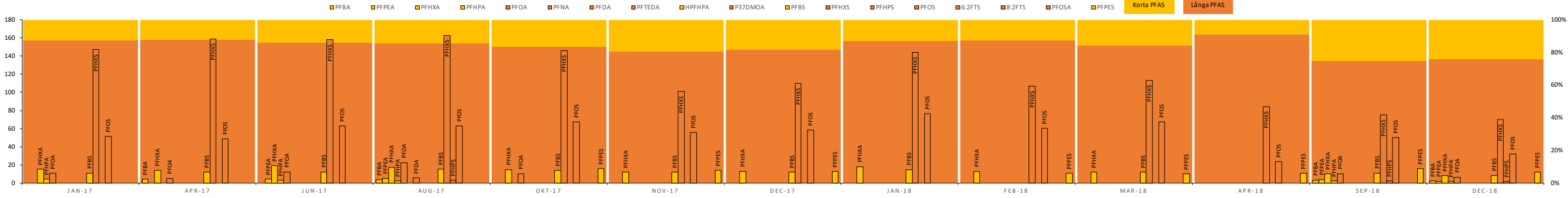
STADSTRÄDGÅRDEN S1



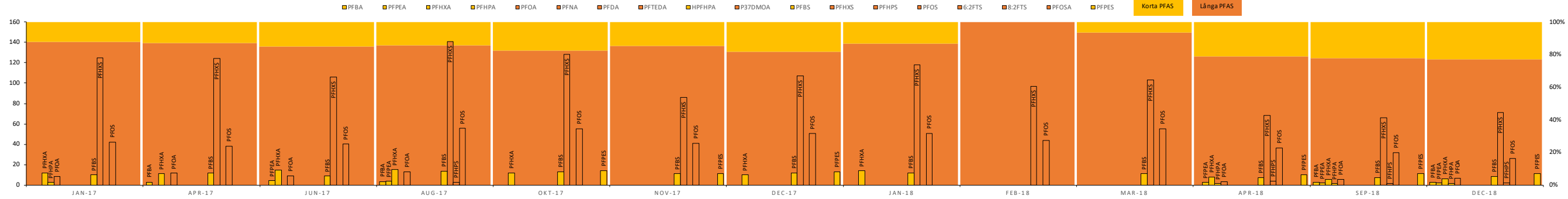
STADSTRÄDGÅRDEN S2



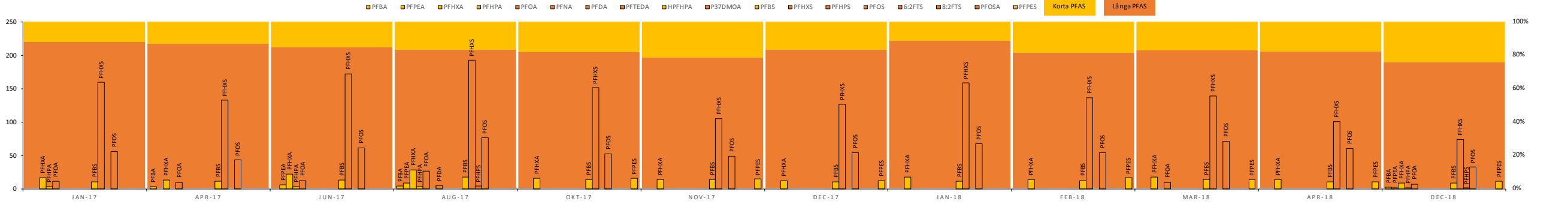
STADSTRÄDGÅRDEN K1



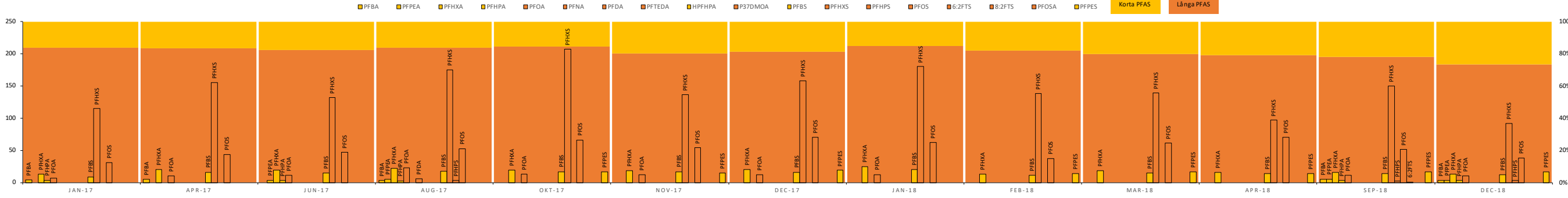
STADSTRÄDGÅRDEN K2

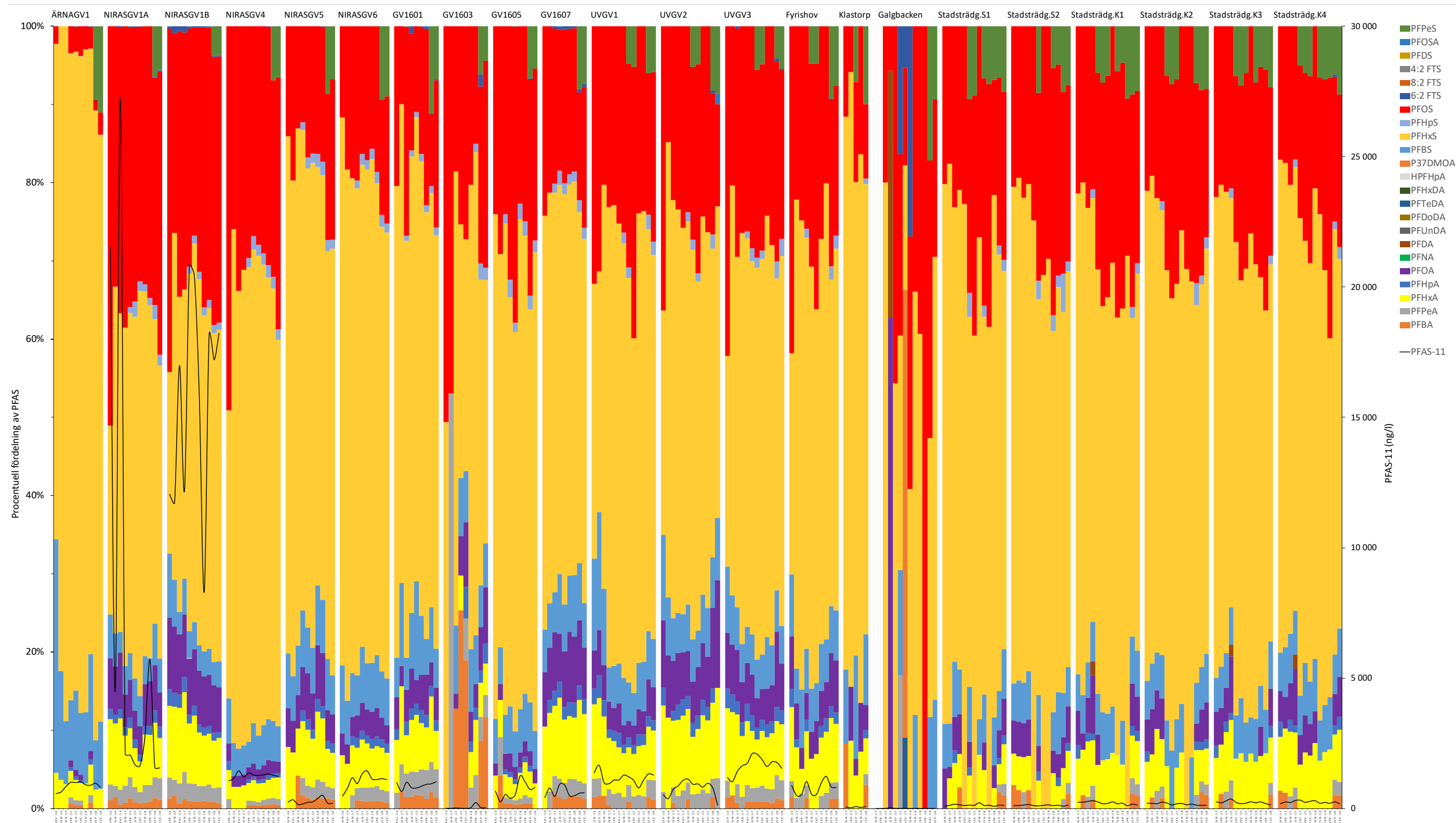


STADSTRÄDGÅRDEN K3



STADSTRÄDGÅRDEN K4





Figur B2A:24. Översikt av den relativa fördelningen av enskilda analyserade PFAS-kongener i samtliga provtagningspunkter. Diagrammet visar resultatet av alla genomförda provtagningsstillfällen (även de som genomfördes tiden före uppföljningsprogrammet). Provtagningsresultaten för respektive provtagningslokal ligger i kronologisk ordning, från vänster till höger. Notera att de låga halterna i provtagningspunkt GV1603 och Galgbacken medför att den redovisade fördelningen av PFAS i dessa punkter inte är helt representativ. Flera PFAS-kongener, såsom PFPeS, har analyserats först vid senare provtagningsstillfällen och somliga av dessa, till exempel PFPeS, har sannolikt varit närvarande även tidigare. PFPeS bedöms sålunda inte ha tillkommit som en ny förorening på senare tid. Tidigare analysresultat (innan år 2016) är av analystekniska orsaker inte helt jämförbara med senare.

Tabell B2A:1. Deskriptiv korrelation mellan varje parkombination av provtagningspunkterna, med avseende på molförhållandet mellan lång- och kortkedjade PFAS beräknad vid varje provtagningsstillfälle år 2017–2018. Korrelationsmatrisen har färgsatts efter korrelationsstyrka så att mörkare grönt indikerar starkare positiv korrelation och mörkare rött starkare negativ korrelation; gult indikerar lägre eller obefintlig korrelation.

ÄRNAGV1	1,00																					
NIRASGV1A	0,59	1,00																				
NIRASGV1B	-0,21	0,16	1,00																			
NIRASGV4	0,78	0,86	-0,13	1,00																		
NIRASGV5	0,40	0,73	-0,26	0,58	1,00																	
NIRASGV6	0,74	0,86	0,01	0,98	0,48	1,00																
GV1601	-0,05	0,49	0,34	0,48	0,12	0,55	1,00															
GV1603	-0,34	-0,11	0,81	-0,19	-0,66	-0,02	0,47	1,00														
GV1605	0,05	0,49	0,78	0,23	0,24	0,30	0,58	0,47	1,00													
GV1607	0,67	0,89	-0,02	0,94	0,62	0,95	0,48	-0,11	0,31	1,00												
UVGV1	0,90	0,83	-0,49	0,98	0,81	0,98	0,25	-0,92	-0,08	0,93	1,00											
UVGV2	0,94	0,86	-0,39	0,98	0,78	0,97	0,27	-0,86	-0,01	0,86	0,94	1,00										
UVGV3	0,90	0,87	-0,44	0,99	0,83	0,99	0,33	-0,90	-0,01	0,92	0,85	0,81	1,00									
Fyrishov	0,85	0,84	-0,24	0,99	0,68	0,99	0,59	-0,37	0,22	0,91	0,90	0,97	0,68	1,00								
Klastorp	1,00	1,00	-1,00	1,00	1,00	1,00	-1,00	-1,00	-1,00	1,00	0,75	0,79	1,00	1,00	1,00							
Galgbacken	0,12	0,89	0,26	0,83	0,86	0,74	0,69	-0,28	0,76	0,74	0,28	0,41	0,15	0,99		1,00						
Stadstr.S1	0,76	0,69	-0,14	0,76	0,71	0,69	-0,05	-0,45	0,13	0,73	0,50	0,63	0,26	0,75	0,54	0,68	1,00					
Stadstr.S2	0,68	0,69	0,12	0,57	0,77	0,52	-0,02	-0,35	0,51	0,64	0,36	0,47	0,37	0,41	1,00	0,54	0,63	1,00				
Stadstr.K1	0,41	0,78	0,10	0,83	0,28	0,88	0,69	0,20	0,21	0,81	0,85	0,88	0,56	0,97	0,74	0,57	0,39	0,09	1,00			
Stadstr.K2	0,69	0,43	0,07	0,56	-0,06	0,63	0,28	0,20	0,18	0,53	0,88	0,92	0,62	0,74	0,69	-0,01	0,19	-0,06	0,47	1,00		
Stadstr.K3	0,77	0,52	-0,45	0,95	0,24	0,89	0,00	-0,32	-0,40	0,81	0,76	0,80	0,42	0,94	0,80	0,65	0,62	0,41	0,63	0,29	1,00	
Stadstr.K4	0,93	0,77	-0,02	0,86	0,50	0,82	0,14	-0,24	0,23	0,73	0,73	0,87	0,50	0,84	0,85	0,46	0,68	0,73	0,59	0,49	0,76	1,00
	ÄRNAGV1	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	UVGV1	UVGV2	UVGV3	Fyrishov	Klastorp	Galgbacken	Stadstr.S1	Stadstr.S2	Stadstr.K1	Stadstr.K2	Stadstr.K3	Stadstr.K4

Bilaga 2B

Provtagningsmetoder, information om
Diver-installationer och
provtagningspunkternas koordinater

Tabell B2B:1. Koordinater, höjd och provtagningsmetod(er) för de grundvattenrör som Försvarsmakten har låtit provta inom kontrollprogrammet. Koordinatsystem: SWEREF 99 1800, RH2000. m ö.h. avser meter över havsnivå.

Benämning	Nord (X)	Öst (Y)	Markyta (m ö.h.)	Provtagningsmetod
NIRASGV1A	6641437	126940,642	10,65	Engångsbailer omgång 1-4. Dränkbar pump omgång 5-8.
NIRASGV1B	6641483	126846,716	10,44	Engångsbailer omgång 1-4. Dränkbar pump omgång 5-8.
NIRASGV4	6641160	127083,050	9,30	Engångsbailer omgång 1-4. Dränkbar pump omgång 5-8.
NIRASGV5	6640666	127850,259	9,23	Engångsbailer provtagningsomgång 1-8.
NIRASGV6	6640570	127954,189	10,50	Engångsbailer omgång 1-4. Dränkbar pump omgång 5-8.
ÄRNAGV1	6641986	126746,147	14,96	Engångsbailer omgång 1-3. Rostfri skakpump omgång 4-8.
GV1601	6642157	128134,885	19,23	Engångsbailer provtagningsomgång 1-8.
GV1603	6641335	128437,759	17,90	Engångsbailer omgång 1-4. Dränkbar pump omgång 5-8.
GV1605	6640960	127758,856	12,24	Engångsbailer provtagningsomgång 1-8.
GV1607	6640574	127730,767	8,78	Engångsbailer omgång 1-2. Dränkbar pump omgång 3-8.

Installation av Diver-mätare

Diver-mätare, dvs. automatiska tryckmätare, för beräkning av grundvattennivå installerades i samband med provtagningsomgång 1 i januari år 2017 i provtagningspunkterna NIRASGV1A, NIRASGV4, NIRASGV6, GV1601, GV1603, GV1605 och GV1607. Vid provtagningsomgång 3 i augusti år 2017 försågs även provtagningspunkterna NIRASGV1B och NIRASGV5 med Diver-mätare. Mätarna placerades i möjligaste mån i höjd med grundvattenfiltret i de aktuella grundvattenrören. Detaljer avseende Diver-installationerna framgår av tabell B2B:2. En baro-Diver för registrering av lufttrycket vid markytan placerades i anslutning till provtagningspunkt GV1607. Mätserien från denna baro-Diver användes vid exporten av det registrerade trycknivådatat från respektive Diver för barojustering/kompensering av mätserien. Diver-mätarna loggade ett mätvärde varje timme.

Tabell B2B:2. Installationsinformation för Diver-mätare. m u.r.t. avser meter under rörtopp och m ö.h. meter över havet (RH2000).

	Rörspets (m u.r.t.)	Diver-installation	
		(m u.r.t.)	(m ö.h.)
NIRASGV1A	20,77	19,70	-8,18
NIRASGV1B	10,63	10,00	1,06
NIRASGV4	27,00	25,50	-15,48
NIRASGV5	15,08	10,00	0,00
NIRASGV6	34,00	30,00	-18,45
GV1601	20,02	14,00	6,10
GV1603	29,40	15,00	7,84
GV1605	12,06	7,00	5,98
GV1607	55,00	10,00	-0,21

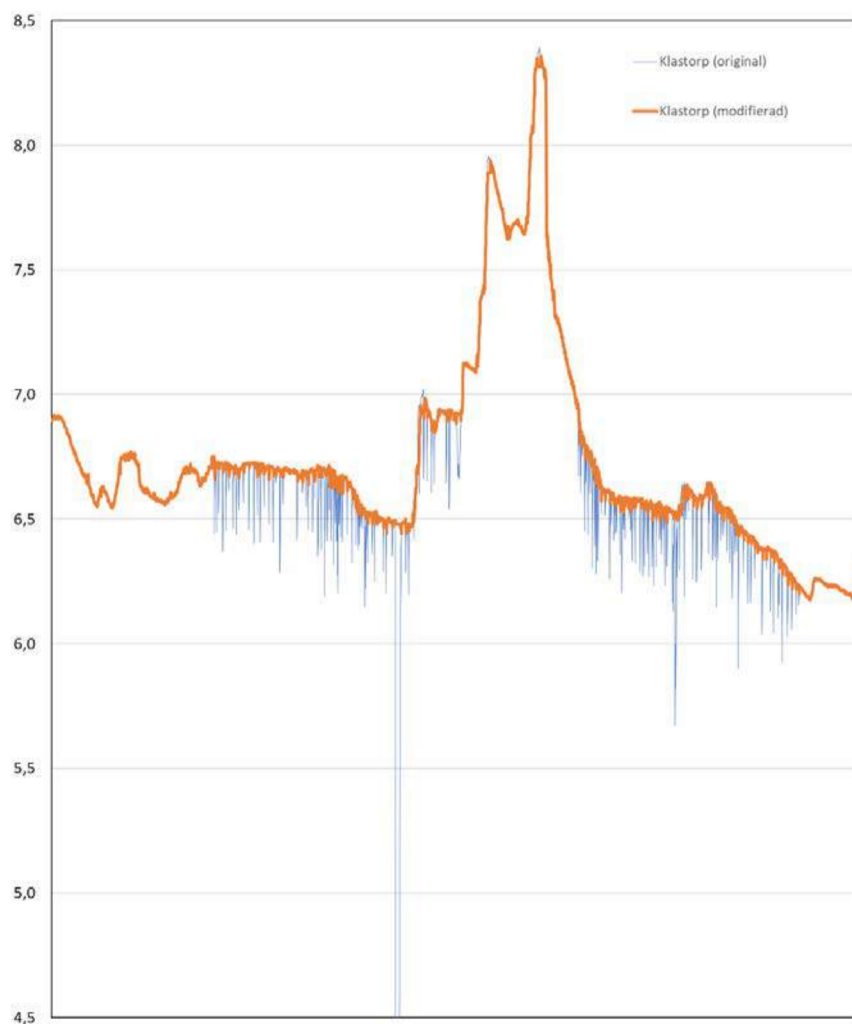
Bilaga 2C

Information om hantering av Diver-
data och kompletterande diagram över
trycktor

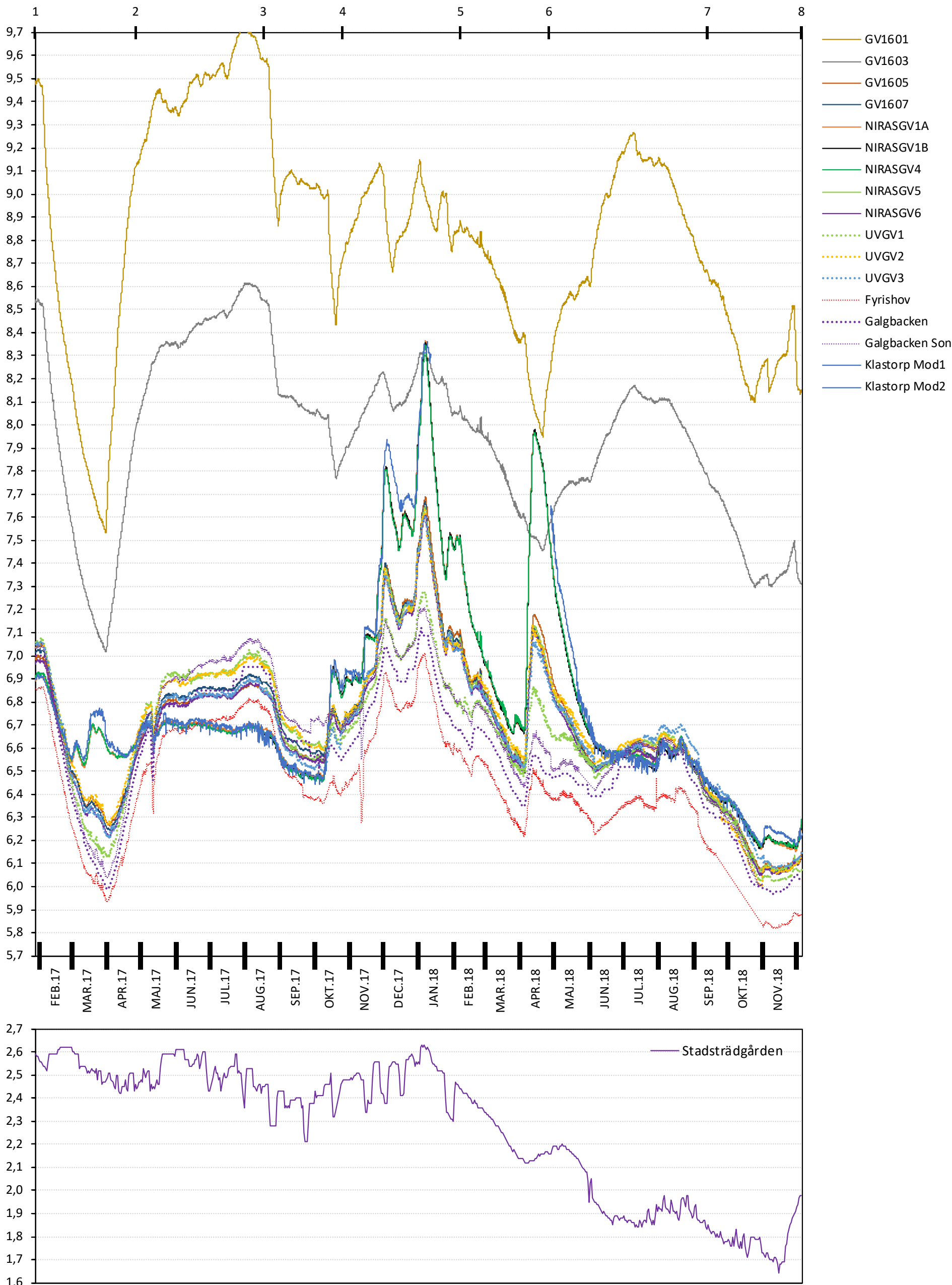
Bearbetning av Diver-dataserier

Trycknivådataserierna från Diver-mätningarna bearbetades i syfte att rensa bort kraftiga kortvariga mätfel/dataspikar och provtagningsstörningar för att underlätta tolkningen av den grafiska presentationen av mätningarna. De data som loggades vid respektive provtagningsomgång (en period om två dagar) rensades bort manuellt och övriga data representeras som 5 h glidande medelvärde.

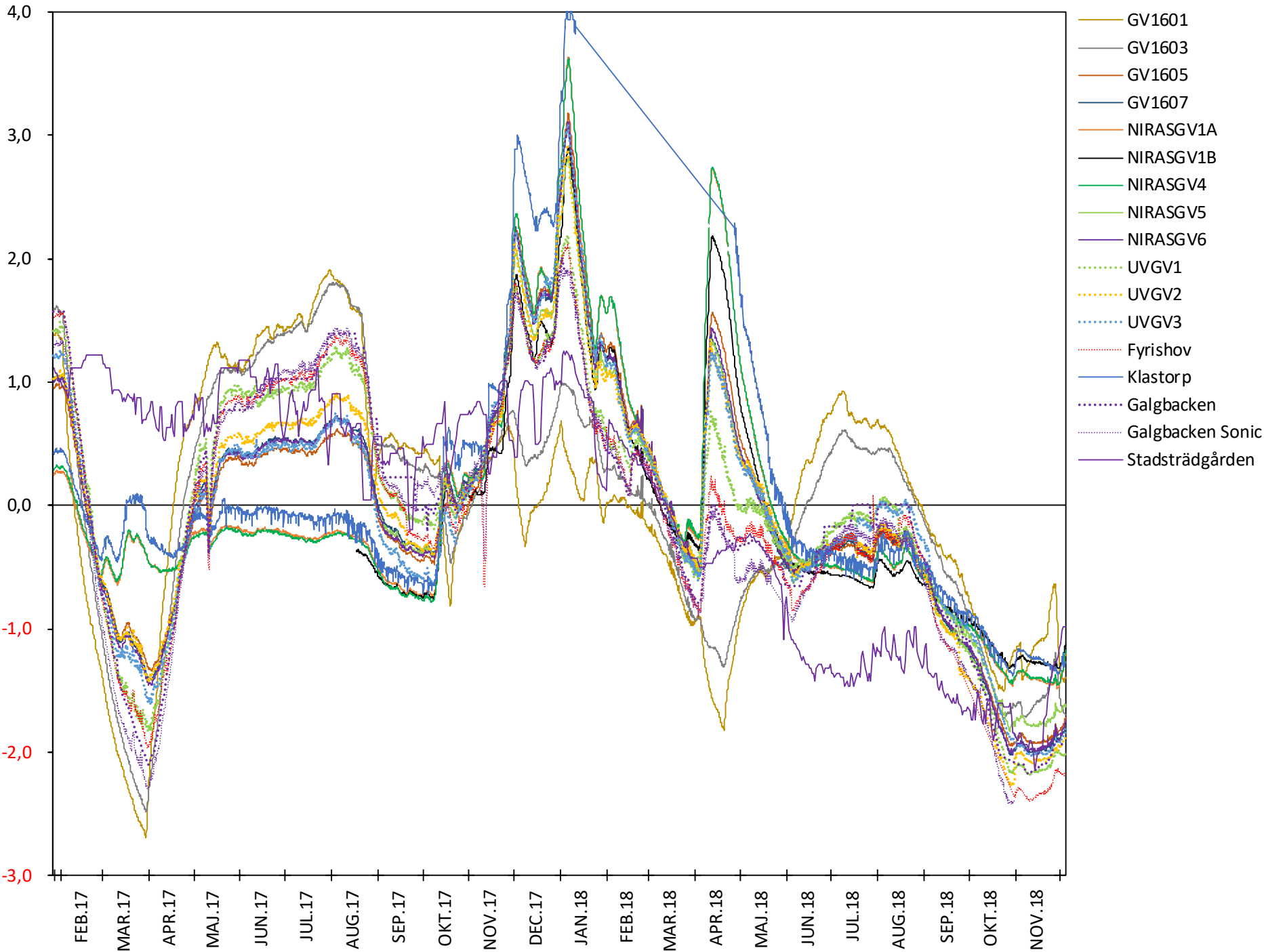
De från Uppsala Vatten erhållna Diver-dataserierna omfattade en mätning/loggning per dag avseende Galgbacken och Stadsträdgården samt var fjärde timme avseende övriga mätpunkter. Mätserien för Klastorp uppvisade kraftiga mätstörningar i form av nedåtriktade "dataspikar" vilka rensades bort för den grafiska representationen i enlighet med figur B1H6:1 och följande beskrivning. Om det absoluta värdet i skillnaden mellan det ursprungliga värdet och medianen av de 35 föregående och 25 efterföljande värdena (dvs medianen av 60 mätvärden kring det ursprungliga värdet) var större än 0,05 tilldelades den modifierade serien det beskrivna medianvärdet. Om skillnaden var mindre än 0,05 flyttades det ursprungliga värdet över oförändrat till den modifierade serien. Mätserien modifierades fr.o.m. 2017-05-23 kl. 08 i programvaran Excel 2016 med följande formel (avseende det ursprungliga värdet i cellen B40). " $=OM(ABS(B40-MEDIAN(B5:B65))>0,05;MEDIAN(B5:B65);B40)$ ".



Figur B2C:1. Modifiering av mätserien Klastorp avseende nedåtriktade "spikar" i grundvattnets absoluta tryckyta, gjordes i Excel med formeln " $=OM(ABS(B40-MEDIAN(B5:B65))>0,05;MEDIAN(B5:B65);B40)$ "



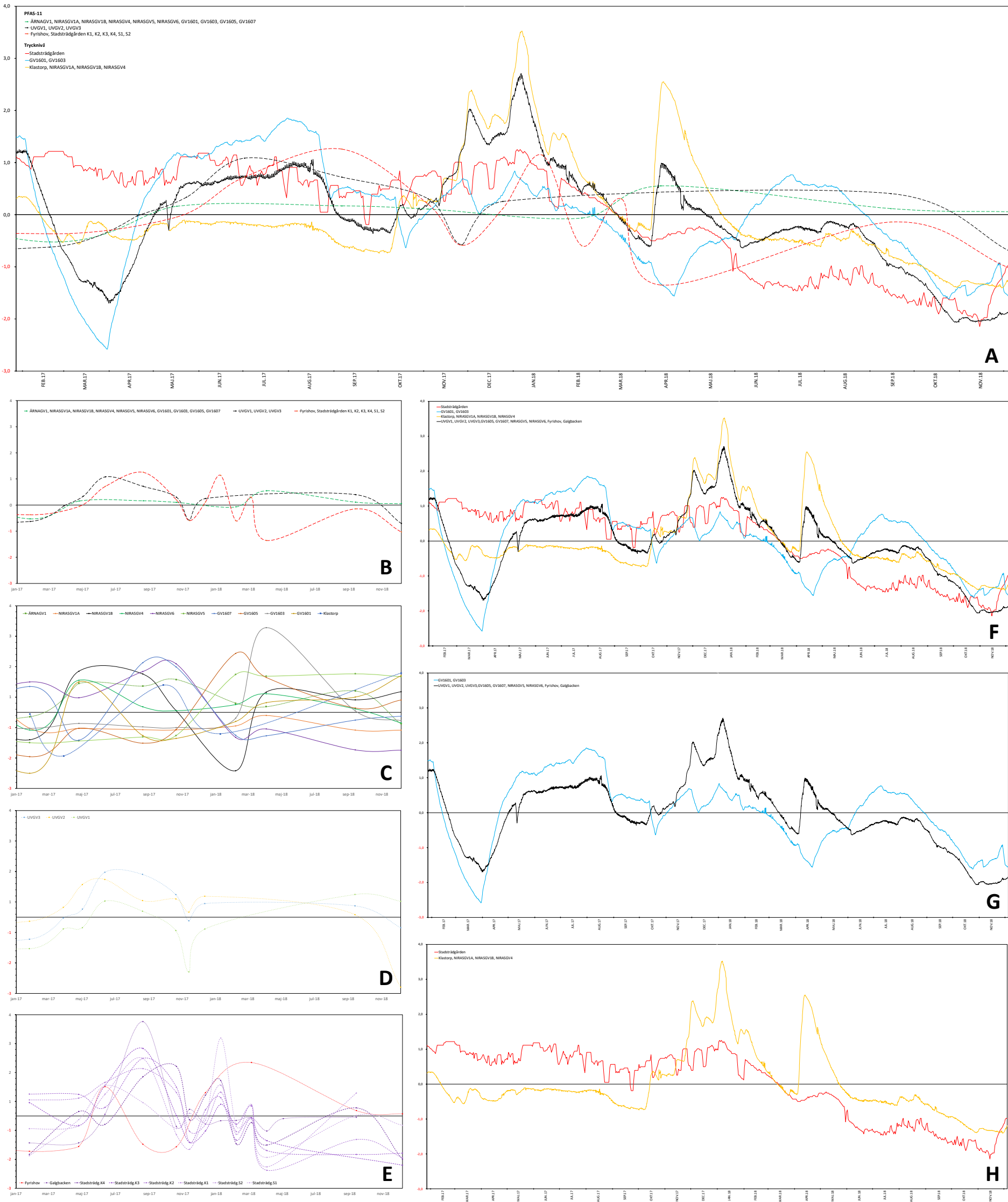
Figur B2C:2. Grundvattennivåer (trycktor) i meter över havet (m ö.h., RH2000) bestämda genom Diver-mätningar. Datamängden har behandlats och korrigerats med avseende på mätfel.



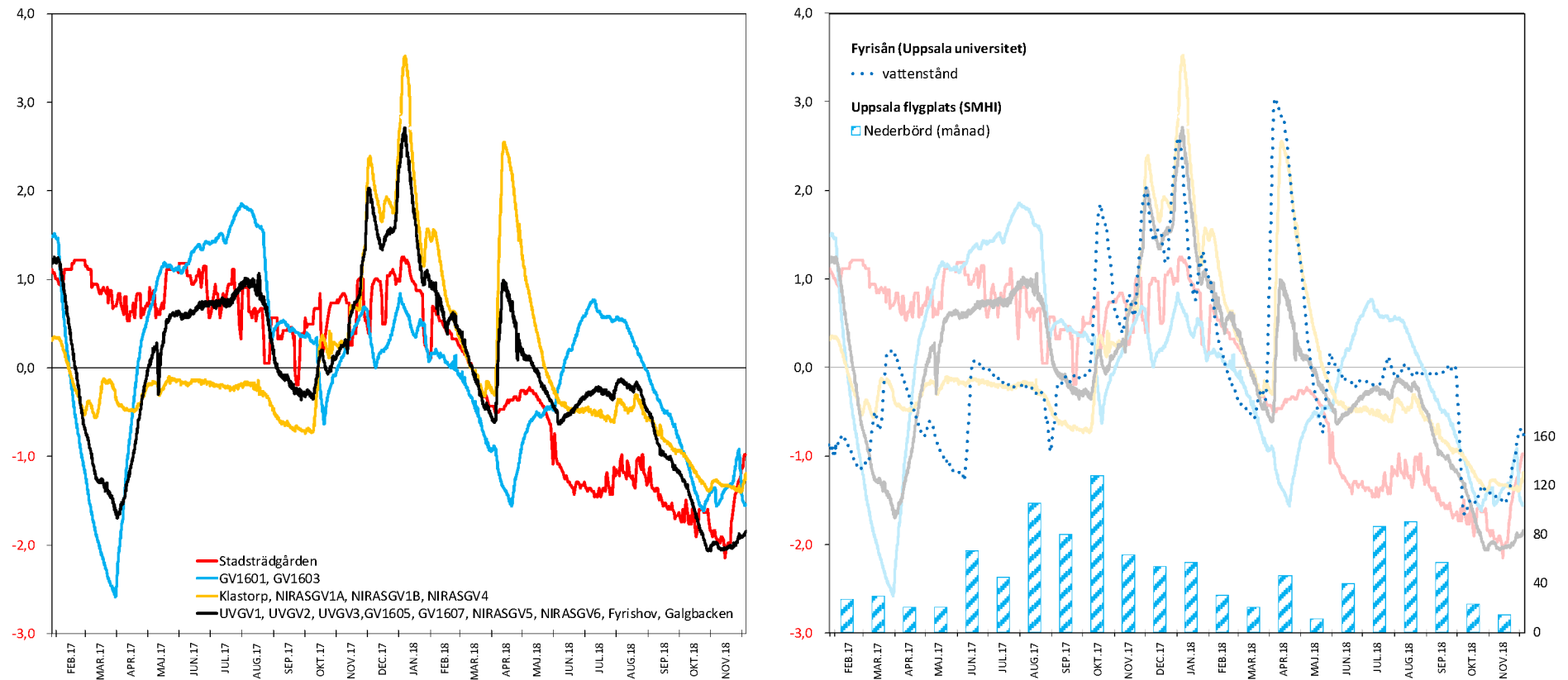
Figur B2C:3. Standardiserade mätserier av grundvattennivåer (trycktor) bestämda genom Diver-mätningar. Datamängden har behandlats och korrigerats med avseende på mätfel.

Bilaga 2D

Kompletterande diagram av
grundvattnets tryckteförhållanden och
variationer av FAS-11



Figur B2D:1. Jämförelse av fluktuationer i grundvattnets tryckyta med haltvariationer av PFAS-11. Diagram A är ett samlingsdiagram av diagram B och F för jämförelser av generella variationer av haltsumman PFAS-11 och grundvattnets tryckyta mellan grupper av samvarierande provtagningslokaler. Diagram B är ett medelvärdesdiagram av C, D och E, vilka visar variationen av haltsumman PFAS-11 i de tre huvudsakliga grupper som uppvisar inbördes samvariation avseende haltutvecklingen av PFAS-11. Diagram F visar generella variationer i grundvattnets tryckyta och är ett samlingsdiagram av diagram G och H, vilka utgör medelvärdesdiagram av provtagningslokaler som uppvisar samvariation. Diagrammen är baserade på standardiserade dataserier av samtliga provtagningsstillfällen år 2017–2018.



Figur B2D:2. Jämförelse av fluktuationer i grundvattnets tryckyta med variationen i nederbörd (mätstationen Uppsala flygplats) och Fyrisåns vattenstånd. Diagrammet till vänster visar fluktuationen över tid av grundvattnets generella tryckyta mellan grupper av samvarierande provtagningslokaler perioden år 2017–2018 (standardiserade tidsserier). I diagrammet till höger har variationen i Fyrisåns vattenstånd (standardiserad tidsserie) och nederbördsmängden (nederbördsmängd per månad i millimeter enligt den högra skalaxeln) inom samma period lagts ovanpå diagrammet med tryckytelfluktuationen.

Bilaga 2E

Resultattabeller och
korrelationsmatriser av
hydrogeokemiska parametrar

COD-Mn (mg O ₂ /l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,52	1,00								
GV1605	0,26	0,40	1,00							
GV1607	-0,40	0,31	0,29	1,00						
NIRASGV1A	-0,24	0,65	-0,04	0,52	1,00					
NIRASGV1B	-0,01	0,09	0,25	0,22	0,01	1,00				
NIRASGV4	0,44	0,65	0,82	0,08	0,25	0,20	1,00			
NIRASGV5	-0,23	0,28	-0,27	0,25	0,47	-0,01	-0,35	1,00		
NIRASGV6	-0,01	-0,01	-0,44	-0,53	0,11	-0,03	-0,29	0,65	1,00	
ÄrnaGV1	0,39	0,42	0,76	0,00	-0,06	0,67	0,70	-0,06	0,04	1,00

Magnesium Mg (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,55	1,00								
GV1605	0,21	0,89	1,00							
GV1607	0,77	0,94	0,74	1,00						
NIRASGV1A	0,89	0,81	0,52	0,88	1,00					
NIRASGV1B	0,76	0,83	0,74	0,86	0,88	1,00				
NIRASGV4	0,97	0,64	0,32	0,82	0,90	0,81	1,00			
NIRASGV5	0,24	0,81	0,92	0,72	0,45	0,72	0,40	1,00		
NIRASGV6	0,69	0,92	0,77	0,96	0,81	0,85	0,79	0,82	1,00	
ÄrnaGV1	0,73	0,59	0,52	0,64	0,80	0,93	0,77	0,51	0,64	1,00

Kisel Si (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,57	1,00								
GV1605	0,76	0,58	1,00							
GV1607	0,56	0,91	0,76	1,00						
NIRASGV1A	0,84	0,70	0,75	0,64	1,00					
NIRASGV1B	0,93	0,61	0,81	0,61	0,95	1,00				
NIRASGV4	0,95	0,59	0,73	0,52	0,93	0,92	1,00			
NIRASGV5	0,22	0,80	0,60	0,86	0,53	0,38	0,31	1,00		
NIRASGV6	0,32	0,74	0,07	0,61	0,25	0,19	0,25	0,39	1,00	
ÄrnaGV1	0,87	0,24	0,51	0,16	0,59	0,74	0,79	-0,19	0,06	1,00

Kalcium Ca (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,10	1,00								
GV1605	-0,39	0,74	1,00							
GV1607	0,25	0,92	0,74	1,00						
NIRASGV1A	0,42	0,80	0,27	0,75	1,00					
NIRASGV1B	0,56	0,63	0,19	0,51	0,56	1,00				
NIRASGV4	0,64	0,62	0,33	0,68	0,50	0,84	1,00			
NIRASGV5	-0,34	0,87	0,92	0,76	0,42	0,38	0,39	1,00		
NIRASGV6	-0,43	0,70	0,87	0,68	0,23	0,09	0,19	0,92	1,00	
ÄrnaGV1	0,62	0,06	-0,30	0,01	0,21	0,61	0,29	-0,22	-0,35	1,00
Natrium Na (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,44	1,00								
GV1605	0,80	0,04	1,00							
GV1607	-0,14	0,70	-0,26	1,00						
NIRASGV1A	-0,33	0,27	-0,10	0,77	1,00					
NIRASGV1B	0,07	0,78	-0,19	0,53	0,36	1,00				
NIRASGV4	0,64	0,85	0,26	0,25	-0,09	0,78	1,00			
NIRASGV5	0,05	-0,44	0,60	-0,18	0,18	-0,46	-0,37	1,00		
NIRASGV6	0,59	0,91	0,36	0,54	0,25	0,76	0,91	-0,14	1,00	
ÄrnaGV1	0,42	0,64	0,34	0,34	0,43	0,79	0,73	-0,16	0,77	1,00
Kalium K (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	-0,32	1,00								
GV1605	0,66	0,06	1,00							
GV1607	-0,40	0,79	0,28	1,00						
NIRASGV1A	-0,10	0,72	0,47	0,88	1,00					
NIRASGV1B	-0,33	0,49	0,15	0,52	0,52	1,00				
NIRASGV4	-0,08	0,60	0,29	0,37	0,35	0,75	1,00			
NIRASGV5	0,10	0,43	0,75	0,74	0,71	0,15	0,27	1,00		
NIRASGV6	0,14	0,61	0,77	0,73	0,76	0,48	0,67	0,89	1,00	
ÄrnaGV1	0,82	-0,43	0,74	-0,30	0,09	-0,12	-0,08	0,21	0,22	1,00

Alkalinitet (mg HCO ₃ /l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	-0,72	1,00								
GV1605	0,03	-0,26	1,00							
GV1607	0,47	-0,38	0,59	1,00						
NIRASGV1A	0,11	0,48	-0,08	0,31	1,00					
NIRASGV1B	-0,36	0,08	0,53	0,60	-0,04	1,00				
NIRASGV4	0,70	-0,52	-0,21	0,44	0,28	-0,15	1,00			
NIRASGV5	0,64	-0,73	-0,11	0,11	-0,48	-0,27	0,19	1,00		
NIRASGV6	-0,09	0,03	-0,37	-0,56	0,03	-0,61	-0,13	0,15	1,00	
ÄrnaGV1	-0,42	0,13	0,28	0,23	0,23	0,48	-0,07	-0,36	0,33	1,00
Fluorid (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,07	1,00								
GV1605	-0,20	-0,35	1,00							
GV1607	1,00	0,07	-0,20	1,00						
NIRASGV1A	0,98	0,17	-0,22	0,98	1,00					
NIRASGV1B	0,19	0,97	-0,35	0,19	0,25	1,00				
NIRASGV4	-0,16	-0,21	0,53	-0,16	-0,26	-0,07	1,00			
NIRASGV5	0,10	-0,53	0,72	0,10	0,03	-0,48	0,34	1,00		
NIRASGV6	0,35	-0,31	0,33	0,35	0,43	-0,41	-0,46	0,48	1,00	
ÄrnaGV1	-0,10	0,32	0,62	-0,10	0,03	0,21	-0,02	0,25	0,50	1,00
Sulfat (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,68	1,00								
GV1605	-0,23	0,42	1,00							
GV1607	0,01	0,12	0,09	1,00						
NIRASGV1A	0,57	0,38	-0,45	0,09	1,00					
NIRASGV1B	0,81	0,52	-0,35	-0,35	0,36	1,00				
NIRASGV4	-0,03	0,18	0,53	0,77	-0,24	-0,44	1,00			
NIRASGV5	0,20	0,20	-0,18	-0,14	0,83	-0,02	-0,28	1,00		
NIRASGV6	0,08	0,66	0,81	0,49	-0,08	-0,23	0,64	-0,02	1,00	
ÄrnaGV1	-0,29	-0,36	-0,45	0,25	0,33	-0,15	-0,07	0,22	-0,43	1,00

Färg (mg Pt/l, 410 nm)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,32	1,00								
GV1605	0,19	0,23	1,00							
GV1607	-0,41	0,48	-0,24	1,00						
NIRASGV1A	-0,40	0,57	-0,27	0,91	1,00					
NIRASGV1B	-0,24	0,52	0,03	0,86	0,76	1,00				
NIRASGV4	-0,01	0,04	0,69	-0,24	-0,16	0,23	1,00			
NIRASGV5	-0,16	0,14	-0,10	0,62	0,45	0,29	-0,59	1,00		
NIRASGV6	-0,32	0,06	0,17	0,32	0,43	0,63	0,71	-0,24	1,00	
ÄrnaGV1	-0,14	-0,37	0,27	-0,26	-0,26	-0,54	-0,25	0,47	-0,38	1,00
DOC (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,33	1,00								
GV1605	-0,19	0,49	1,00							
GV1607	1,00	0,33	-0,19	1,00						
NIRASGV1A	0,36	0,33	-0,11	0,36	1,00					
NIRASGV1B	0,60	-0,13	-0,02	0,60	-0,33	1,00				
NIRASGV4	1,00	0,33	-0,19	1,00	0,36	0,60	1,00			
NIRASGV5	0,38	0,32	0,13	0,38	0,76	-0,26	0,38	1,00		
NIRASGV6	1,00	0,33	-0,19	1,00	0,36	0,60	1,00	0,38	1,00	
ÄrnaGV1	-0,47	-0,27	0,19	-0,47	-0,97	0,20	-0,47	-0,82	-0,47	1,00
Konduktivitet (mS/m)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	-0,18	1,00								
GV1605	0,32	-0,38	1,00							
GV1607	-0,61	-0,13	-0,57	1,00						
NIRASGV1A	-0,14	0,77	-0,83	0,33	1,00					
NIRASGV1B	0,34	0,15	0,13	-0,60	0,00	1,00				
NIRASGV4	0,74	0,28	0,32	-0,83	-0,01	0,54	1,00			
NIRASGV5	-0,67	-0,20	-0,18	0,86	0,00	-0,75	-0,73	1,00		
NIRASGV6	0,24	0,74	-0,16	-0,22	0,55	-0,23	0,49	-0,15	1,00	
ÄrnaGV1	0,00	-0,50	0,63	-0,34	-0,79	-0,21	-0,15	-0,08	-0,32	1,00

pH	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,75	1,00								
GV1605	0,45	0,18	1,00							
GV1607	0,35	0,64	0,09	1,00						
NIRASGV1A	0,39	0,84	-0,07	0,33	1,00					
NIRASGV1B	0,65	0,87	0,52	0,50	0,70	1,00				
NIRASGV4	0,50	0,59	0,75	0,18	0,53	0,84	1,00			
NIRASGV5	0,49	0,37	0,91	0,04	0,26	0,65	0,92	1,00		
NIRASGV6	0,31	0,10	0,38	0,30	-0,30	0,23	0,29	0,28	1,00	
ÄrnaGV1	0,39	0,22	0,96	0,04	0,10	0,55	0,78	0,93	0,12	1,00
Temperatur vid pH-mätning (°C)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,78	1,00								
GV1605	0,68	0,98	1,00							
GV1607	0,72	0,96	0,96	1,00						
NIRASGV1A	0,79	0,87	0,85	0,88	1,00					
NIRASGV1B	0,88	0,81	0,75	0,86	0,77	1,00				
NIRASGV4	0,84	0,82	0,78	0,86	0,98	0,84	1,00			
NIRASGV5	0,57	0,75	0,73	0,74	0,85	0,56	0,77	1,00		
NIRASGV6	0,14	0,50	0,60	0,60	0,53	0,40	0,47	0,66	1,00	
ÄrnaGV1	0,59	0,90	0,90	0,80	0,79	0,49	0,68	0,76	0,42	1,00
Turbiditet (FNU)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,46	1,00								
GV1605	-0,54	-0,01	1,00							
GV1607	0,59	0,16	-0,15	1,00						
NIRASGV1A	0,51	0,39	0,32	0,80	1,00					
NIRASGV1B	0,73	0,54	0,03	0,71	0,84	1,00				
NIRASGV4	0,66	0,17	0,17	0,47	0,74	0,75	1,00			
NIRASGV5	0,30	0,43	-0,01	-0,12	0,12	0,55	0,32	1,00		
NIRASGV6	0,02	-0,63	0,17	0,56	0,43	0,26	0,43	-0,17	1,00	
ÄrnaGV1	-0,55	-0,70	0,04	-0,41	-0,59	-0,43	-0,37	0,08	0,29	1,00

Aluminium Al (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	1,00	1,00								
GV1605	0,99	0,99	1,00							
GV1607	0,03	0,03	0,07	1,00						
NIRASGV1A	0,07	0,07	0,11	1,00	1,00					
NIRASGV1B	1,00	1,00	0,99	0,04	0,08	1,00				
NIRASGV4	0,95	0,95	0,97	0,14	0,17	0,96	1,00			
NIRASGV5	1,00	0,99	0,99	0,08	0,13	0,99	0,97	1,00		
NIRASGV6	0,98	0,96	0,97	-0,05	-0,01	0,97	0,96	0,98	1,00	
ÄrnaGV1	0,99	0,98	0,97	0,00	0,04	0,99	0,94	0,98	0,97	1,00
Arsenik As (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	-0,44	1,00								
GV1605	0,37	-0,65	1,00							
GV1607	-0,94	0,34	-0,44	1,00						
NIRASGV1A	0,13	-0,81	0,29	0,09	1,00					
NIRASGV1B	0,07	-0,61	0,13	0,20	0,84	1,00				
NIRASGV4	-0,87	0,41	-0,13	0,81	-0,06	0,01	1,00			
NIRASGV5	-0,26	0,08	-0,44	0,27	-0,10	-0,23	-0,23	1,00		
NIRASGV6	0,05	0,27	-0,11	-0,07	0,02	-0,06	0,33	-0,68	1,00	
ÄrnaGV1	0,73	-0,69	0,29	-0,65	0,58	0,38	-0,60	-0,30	0,28	1,00
Barium Ba (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,64	1,00								
GV1605	0,81	0,90	1,00							
GV1607	0,69	0,97	0,93	1,00						
NIRASGV1A	0,26	0,45	0,40	0,51	1,00					
NIRASGV1B	0,32	0,76	0,70	0,85	0,67	1,00				
NIRASGV4	0,37	0,44	0,46	0,59	0,83	0,81	1,00			
NIRASGV5	0,66	0,95	0,95	0,97	0,60	0,85	0,60	1,00		
NIRASGV6	0,38	-0,04	0,22	0,05	0,65	0,10	0,50	0,21	1,00	
ÄrnaGV1	0,34	0,68	0,58	0,55	-0,29	0,18	-0,34	0,50	-0,53	1,00

Bor B (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,98	1,00								
GV1605	-0,62	-0,68	1,00							
GV1607	-0,04	0,02	0,38	1,00						
NIRASGV1A	0,00	0,02	-0,18	-0,15	1,00					
NIRASGV1B	0,10	0,11	-0,37	-0,39	0,96	1,00				
NIRASGV4	-0,23	-0,17	0,39	0,44	-0,81	-0,89	1,00			
NIRASGV5	-0,28	-0,36	0,77	0,52	-0,22	-0,43	0,33	1,00		
NIRASGV6	-0,17	-0,05	0,18	0,64	0,42	0,19	0,09	0,36	1,00	
ÄrnaGV1	0,99	0,98	-0,69	-0,14	0,02	0,14	-0,26	-0,36	-0,19	1,00
Kadmium Cd (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,18	1,00								
GV1605	0,68	0,29	1,00							
GV1607	-0,25	0,30	0,41	1,00						
NIRASGV1A	-0,25	0,19	0,37	0,82	1,00					
NIRASGV1B	0,68	0,29	1,00	0,41	0,37	1,00				
NIRASGV4	0,68	0,29	1,00	0,41	0,37	1,00	1,00			
NIRASGV5	0,68	0,29	1,00	0,41	0,37	1,00	1,00	1,00		
NIRASGV6	-0,17	0,36	0,43	0,99	0,74	0,43	0,43	0,43	1,00	
ÄrnaGV1	0,08	0,09	0,74	0,73	0,51	0,74	0,74	0,74	0,72	1,00
Kobolt Co (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,61	1,00								
GV1605	-0,24	-0,22	1,00							
GV1607	0,99	0,63	-0,18	1,00						
NIRASGV1A	-0,43	0,22	0,38	-0,46	1,00					
NIRASGV1B	0,97	0,60	-0,18	0,98	-0,46	1,00				
NIRASGV4	0,94	0,62	-0,05	0,98	-0,47	0,96	1,00			
NIRASGV5	0,97	0,59	-0,27	0,97	-0,44	0,99	0,92	1,00		
NIRASGV6	0,93	0,62	-0,10	0,97	-0,49	0,97	0,99	0,94	1,00	
ÄrnaGV1	0,72	0,72	-0,66	0,73	-0,45	0,70	0,70	0,70	0,71	1,00

Krom Cr (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,13	1,00								
GV1605	0,29	0,41	1,00							
GV1607	0,13	1,00	0,41	1,00						
NIRASGV1A	-0,31	-0,25	0,36	-0,25	1,00					
NIRASGV1B	0,13	1,00	0,41	1,00	-0,25	1,00				
NIRASGV4	0,13	1,00	0,41	1,00	-0,25	1,00	1,00			
NIRASGV5	0,13	1,00	0,41	1,00	-0,25	1,00	1,00	1,00		
NIRASGV6	0,57	0,45	0,70	0,45	-0,03	0,45	0,45	0,45	1,00	
ÄrnaGV1	0,61	-0,11	-0,15	-0,11	-0,20	-0,11	-0,11	-0,11	-0,26	1,00
Koppar Cu (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,78	1,00								
GV1605	-0,53	-0,69	1,00							
GV1607	0,55	0,43	-0,62	1,00						
NIRASGV1A	0,46	0,56	-0,85	0,66	1,00					
NIRASGV1B	-0,04	0,28	-0,08	-0,23	-0,05	1,00				
NIRASGV4	-0,04	0,17	-0,01	-0,23	-0,39	-0,17	1,00			
NIRASGV5	-0,04	0,17	-0,01	-0,23	-0,39	-0,17	1,00	1,00		
NIRASGV6	0,55	0,62	-0,61	0,94	0,64	0,00	-0,13	-0,13	1,00	
ÄrnaGV1	0,22	0,29	-0,50	0,91	0,58	-0,26	-0,10	-0,10	0,90	1,00
Järn Fe (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,99	1,00								
GV1605	-0,83	-0,82	1,00							
GV1607	0,95	0,96	-0,76	1,00						
NIRASGV1A	-0,32	-0,27	0,69	-0,23	1,00					
NIRASGV1B	-0,75	-0,74	0,79	-0,53	0,42	1,00				
NIRASGV4	-0,64	-0,60	0,67	-0,62	0,30	0,49	1,00			
NIRASGV5	-0,80	-0,82	0,81	-0,66	0,24	0,93	0,60	1,00		
NIRASGV6	0,53	0,50	-0,31	0,32	-0,04	-0,70	0,09	-0,55	1,00	
ÄrnaGV1	-0,93	-0,89	0,75	-0,92	0,18	0,61	0,71	0,71	-0,42	1,00

Mangan Mn (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	-0,33	1,00								
GV1605	0,88	-0,17	1,00							
GV1607	0,85	0,09	0,87	1,00						
NIRASGV1A	0,73	-0,06	0,75	0,54	1,00					
NIRASGV1B	0,37	0,62	0,33	0,50	0,47	1,00				
NIRASGV4	0,93	-0,06	0,86	0,88	0,72	0,62	1,00			
NIRASGV5	-0,23	0,96	-0,06	0,25	-0,09	0,54	0,01	1,00		
NIRASGV6	0,98	-0,28	0,82	0,82	0,70	0,48	0,93	-0,22	1,00	
ÄrnaGV1	-0,76	0,14	-0,51	-0,75	-0,24	-0,41	-0,79	-0,01	-0,77	1,00
Molybden Mo (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,20	1,00								
GV1605	0,24	0,61	1,00							
GV1607	0,87	0,19	0,06	1,00						
NIRASGV1A	0,85	0,03	0,23	0,66	1,00					
NIRASGV1B	0,67	-0,51	-0,31	0,70	0,55	1,00				
NIRASGV4	0,90	0,24	0,10	0,87	0,86	0,52	1,00			
NIRASGV5	0,39	0,68	0,14	0,31	0,29	-0,25	0,58	1,00		
NIRASGV6	0,57	-0,46	-0,42	0,70	0,42	0,83	0,60	0,04	1,00	
ÄrnaGV1	0,19	0,62	0,03	0,27	0,01	-0,31	0,42	0,92	0,12	1,00
Nickel Ni (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,54	1,00								
GV1605	0,47	0,96	1,00							
GV1607	0,18	0,72	0,74	1,00						
NIRASGV1A	0,64	0,84	0,84	0,86	1,00					
NIRASGV1B	0,11	0,75	0,77	0,93	0,81	1,00				
NIRASGV4	-0,34	0,60	0,64	0,61	0,34	0,76	1,00			
NIRASGV5	0,64	0,97	0,95	0,77	0,94	0,78	0,48	1,00		
NIRASGV6	-0,06	0,72	0,78	0,93	0,70	0,93	0,86	0,71	1,00	
ÄrnaGV1	0,16	0,91	0,92	0,82	0,73	0,86	0,85	0,85	0,92	1,00

Bly Pb (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,97	1,00								
GV1605	0,85	0,80	1,00							
GV1607	-0,34	-0,25	-0,41	1,00						
NIRASGV1A	-0,04	0,05	-0,27	0,93	1,00					
NIRASGV1B	0,80	0,77	0,97	-0,35	-0,21	1,00				
NIRASGV4	0,98	0,98	0,78	-0,24	0,08	0,76	1,00			
NIRASGV5	0,98	0,96	0,80	-0,25	0,07	0,78	1,00	1,00		
NIRASGV6	-0,23	-0,41	0,16	-0,36	-0,56	0,12	-0,40	-0,35	1,00	
ÄrnaGV1	0,99	0,99	0,77	-0,28	0,05	0,72	0,99	0,97	-0,38	1,00
Strontium Sr (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,55	1,00								
GV1605	0,65	0,89	1,00							
GV1607	0,79	0,92	0,92	1,00						
NIRASGV1A	0,56	0,64	0,62	0,71	1,00					
NIRASGV1B	0,47	0,86	0,70	0,81	0,28	1,00				
NIRASGV4	0,71	0,83	0,67	0,81	0,38	0,81	1,00			
NIRASGV5	0,57	0,95	0,94	0,94	0,73	0,76	0,69	1,00		
NIRASGV6	0,71	0,80	0,91	0,83	0,64	0,50	0,71	0,84	1,00	
ÄrnaGV1	0,43	0,00	0,22	0,29	0,04	0,23	-0,04	0,09	-0,05	1,00
Vanadin V (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,04	1,00								
GV1605	-0,27	-0,90	1,00							
GV1607	-0,22	0,44	-0,38	1,00						
NIRASGV1A	-0,36	-0,14	0,29	0,23	1,00					
NIRASGV1B	0,85	0,00	-0,29	0,09	-0,34	1,00				
NIRASGV4	0,57	0,82	-0,82	0,13	-0,33	0,43	1,00			
NIRASGV5	-0,34	0,58	-0,33	-0,02	0,42	-0,46	0,37	1,00		
NIRASGV6	0,93	0,13	-0,40	0,13	-0,33	0,94	0,55	-0,44	1,00	
ÄrnaGV1	0,07	0,79	-0,77	-0,09	-0,25	-0,01	0,74	0,71	0,00	1,00

Zink Zn (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,02	1,00								
GV1605	-0,51	-0,58	1,00							
GV1607	-0,38	-0,10	-0,20	1,00						
NIRASGV1A	-0,48	-0,14	-0,13	0,92	1,00					
NIRASGV1B	0,20	0,64	-0,24	-0,42	-0,48	1,00				
NIRASGV4	-0,35	0,39	-0,48	0,87	0,82	-0,06	1,00			
NIRASGV5	0,44	-0,32	0,08	-0,05	0,05	0,11	-0,14	1,00		
NIRASGV6	-0,20	0,72	0,01	-0,49	-0,37	0,76	-0,06	-0,08	1,00	
ÄrnaGV1	-0,28	0,34	0,33	-0,56	-0,50	0,76	-0,33	-0,09	0,82	1,00
Nitrat-kväve (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	-0,52	1,00								
GV1605	0,09	-0,42	1,00							
GV1607	-0,87	0,27	-0,17	1,00						
NIRASGV1A	0,41	-0,42	-0,17	-0,17	1,00					
NIRASGV1B	0,41	-0,42	-0,17	-0,17	1,00	1,00				
NIRASGV4	0,41	-0,42	-0,17	-0,17	1,00	1,00	1,00			
NIRASGV5	0,41	-0,42	-0,17	-0,17	1,00	1,00	1,00	1,00		
NIRASGV6	-0,12	0,31	0,04	-0,14	-0,92	-0,92	-0,92	-0,92	1,00	
ÄrnaGV1	0,47	-0,38	-0,04	-0,28	0,88	0,88	0,88	0,88	-0,85	1,00
Nitrit-kväve (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,10	1,00								
GV1605	-0,17	-0,27	1,00							
GV1607	0,88	-0,06	-0,24	1,00						
NIRASGV1A	-0,17	-0,33	-0,17	-0,24	1,00					
NIRASGV1B	-0,17	-0,33	-0,17	-0,24	1,00	1,00				
NIRASGV4	-0,17	-0,33	-0,17	-0,24	1,00	1,00	1,00			
NIRASGV5	-0,17	-0,33	-0,17	-0,24	1,00	1,00	1,00	1,00		
NIRASGV6	1,00	0,10	-0,17	0,88	-0,17	-0,17	-0,17	-0,17	1,00	
ÄrnaGV1	0,30	-0,52	0,04	0,65	0,13	0,13	0,13	0,13	0,30	1,00

Ammonium-kväve (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	0,61	1,00								
GV1605	0,26	0,62	1,00							
GV1607	0,48	0,52	0,17	1,00						
NIRASGV1A	0,79	0,46	0,19	0,74	1,00					
NIRASGV1B	0,54	-0,07	-0,17	0,65	0,79	1,00				
NIRASGV4	0,52	0,98	0,74	0,49	0,43	-0,12	1,00			
NIRASGV5	0,40	0,17	0,13	0,74	0,59	0,76	0,11	1,00		
NIRASGV6	0,25	0,82	0,63	0,42	0,38	-0,21	0,90	-0,06	1,00	
ÄrnaGV1	0,65	0,64	0,55	0,04	0,43	0,00	0,60	0,19	0,42	1,00
Fosfatfosfor (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	-0,40	1,00								
GV1605	0,30	0,37	1,00							
GV1607	-0,27	0,08	-0,37	1,00						
NIRASGV1A	0,49	0,08	0,64	0,30	1,00					
NIRASGV1B	0,51	0,53	0,71	-0,15	0,56	1,00				
NIRASGV4	1,00	-0,40	0,35	-0,28	0,51	0,53	1,00			
NIRASGV5	0,80	-0,29	0,00	0,10	0,52	0,33	0,75	1,00		
NIRASGV6	-0,06	-0,12	0,64	-0,15	0,48	-0,01	-0,01	-0,21	1,00	
ÄrnaGV1	0,01	0,31	0,30	-0,09	0,15	0,41	0,00	0,14	0,21	1,00
Klorid (mg/l)	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
GV1601	1,00									
GV1603	-0,07	1,00								
GV1605	0,54	0,18	1,00							
GV1607	-0,48	-0,51	-0,85	1,00						
NIRASGV1A	-0,67	-0,32	-0,85	0,93	1,00					
NIRASGV1B	-0,81	0,46	-0,46	0,22	0,54	1,00				
NIRASGV4	0,15	0,87	0,56	-0,80	-0,68	0,16	1,00			
NIRASGV5	0,06	-0,33	-0,11	0,48	0,35	-0,17	-0,29	1,00		
NIRASGV6	0,28	0,69	0,59	-0,57	-0,56	-0,15	0,77	0,08	1,00	
ÄrnaGV1	0,17	-0,16	-0,14	0,38	0,43	-0,01	-0,41	0,45	-0,03	1,00

COD-Mn (mg O₂/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0,59	4,9	4,3	0,9	1,7	1,2	0,97	2,3	0,72	5
3	1,4	5,8	4,6	0,89	1,2	1,8	1	2,5	0,71	10
4	0,72	5,4	5,4	0,91	1,5	2	1,2	3	1,1	14
5	0,63	5,8	3,9	0,96	2,3	2,1	0,97	3,1	1,1	9
6	0,91	5,8	3,7	0,81	1,9	1,4	0,76	4,2	1,7	7,3
7	1,3	7,7	5,3	0,97	2,5	1,6	1,5	3,1	0,94	12
8	0,49	6,2	4,7	1,2	2,3	1,7	0,91	3,9	0,73	8

Magnesium Mg (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	20	8,5	25	22	18	22	21	31	24	11
3	20	7,4	20	19	18	18	20	23	21	10
4	25	9,2	23	26	23	23	26	28	26	11
5	18	7,1	20	19	14	15	18	25	21	8,2
6	20	9,5	26	24	20	21	20	29	24	10
7	20	6,8	20	19	16	18	19	23	20	9,8
8	19	8	23	21	16	18	19	27	23	9,3

Kisel Si (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	6,2	4,3	11	5,6	7,3	5,5	6,6	9	6,7	17
3	5,7	3,6	9,9	4,6	5,8	4,8	5,9	7,9	5,2	17
4	6,8	4,4	15	6,1	7,4	6	6,9	8,9	6,6	21
5	5,8	3,9	7,9	4,9	5,3	4,4	5,9	7,8	6,8	17
6	6,1	4,2	9,8	5,5	6,4	5,3	6,1	8,3	6,8	18
7	6,6	3,9	10	4,7	7	5,7	6,8	7,3	6,2	22
8	6,1	4,3	10	5,3	6,7	5,2	6,4	8,6	6,5	19

Kalcium Ca (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	130	79	73	74	93	140	110	58	110	55
3	130	72	58	70	91	110	100	44	95	57
4	140	76	60	76	100	120	110	47	100	51
5	120	73	77	72	79	95	100	55	120	46
6	130	87	100	84	110	130	110	68	130	53
7	140	76	67	76	89	130	110	51	110	60
8	130	76	88	76	85	120	110	55	110	52

Natrium Na (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	11	16	130	98	70	50	41	330	38	10
3	13	14	140	75	52	44	43	290	34	10
4	12	22	110	100	64	70	63	260	48	12
5	8,5	14	68	88	57	50	36	260	28	8,7
6	10	18	99	110	79	56	40	270	37	11
7	9,3	12	110	80	68	55	38	300	31	11
8	8,8	14	100	94	67	52	37	300	34	9,8

Kalium K (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	4,6	3,9	8,2	9,4	4,7	4	2,7	9,4	7	3
3	4,9	3,4	6,8	6,9	3,3	3,4	2,5	7	5,8	2,7
4	4,5	3,8	7,2	7,8	3,6	4,6	3	7,6	6,6	2,5
5	3,8	3,8	5,3	8,3	3,6	3,9	2,6	7,1	5,8	1,6
6	4,3	4,7	6,8	10	4,8	4,6	2,9	8,2	6,8	1,9
7	4,4	3,7	6,7	8,2	4,3	4,7	2,7	7	6,1	2,8
8	4,2	3,8	7,1	9,5	4,2	4,6	2,7	8,3	6,5	2,1

Alkalinitet (mg HCO₃/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	410	230	620	320	400	440	400	550	420	230
3	420	220	630	340	410	450	420	540	410	260
4	440	220	600	340	410	440	420	560	400	170
5	430	220	560	310	400	420	420	560	430	210
6	400	240	570	310	420	440	410	530	410	210
7	420	220	610	310	360	430	410	550	410	170
8	410	220	590	320	350	450	410	560	410	220

Fluorid (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	1,2	0,8	0,87	1,3	0,96	0,95	0,92	2,5	1,2	0,6
3	1,2	0,79	0,91	1,3	0,9	0,95	0,91	3	1,2	0,57
4	1,2	0,81	0,95	1,3	0,89	0,97	1	2,9	1,1	0,57
5	1,2	0,88	0,78	1,3	0,93	1	0,92	2,4	1,1	0,52
6	1,2	0,88	0,84	1,3	0,93	1	0,92	2,1	1,1	0,58
7	1,2	0,89	0,95	1,3	0,97	1	0,93	2,8	1,2	0,76
8	1,2	0,85	0,85	1,3	1,3	0,99	0,92	2,7	1,2	0,58

Sulfat (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	26	45	27	35	15	60	17	0	34	11
3	29	45	16	35	22	55	15	4,1	34	9,2
4	19	41	17	36	20	40	15	3,5	31	18
5	21	44	38	39	16	28	22	1,8	44	11
6	18	43	39	33	14	37	15	2,3	38	8
7	18	37	16	36	13	36	16	0	30	11
8	20	38	22	34	16	35	17	2,6	28	13

Färg (mg Pt/l, 410 nm)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	8,1	36	140	33	64	85	28	110	5,3	120
3	17	27	39	8,5	42	46	47	34	8,3	140
4	58	29	350	0	6,5	53	94	9	7,7	94
5	11	27	14	5,1	16	33	20	26	0	66
6	180	31	120	0	6,6	33	23	57	0	140
7	15	23	220	0	6,8	17	26	87	0	460
8	7,6	18	36	9,7	12	51	35	67	5,3	150

DOC (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0	7,6	5,5	0	2,9	2,3	0	2,8	0	6,7
3	0	7,3	5,4	0	0	2,4	0	2,2	0	10
4	0	6,7	5,7	0	2,1	2,4	0	2,5	0	7,9
5	0	7	3,4	0	2,6	2,2	0	2,3	0	7,4
6	0	7	4,7	0	3,1	2,1	0	3,2	0	6,5
7	0	8,5	6,5	0	3,1	2,1	0	2,8	0	7,2
8	0	7,9	4,7	0	3,4	2,5	0	3	0	6

Konduktivitet (mS/m)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	78	52	99	99	86	86	80	190	85	38
3	79	51	100	84	82	94	85	170	81	41
4	82	52	100	85	86	96	93	170	84	35
5	80	50	95	99	88	90	82	180	82	36
6	77	54	95	100	92	94	79	180	82	34
7	80	48	100	97	82	92	78	180	78	39
8	77	49	99	100	82	92	79	190	78	37

pH

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	7,5	7,9	7,9	8	7,7	7,6	7,7	8,3	7,7	7,9
3	7,5	7,8	7,6	8	7,5	7,4	7,5	7,9	7,8	7,3
4	7,4	7,7	7,5	7,9	7,5	7,4	7,5	7,8	7,7	7,2
5	7,5	7,9	7,5	8	7,7	7,5	7,5	7,8	7,5	7,3
6	7,4	7,8	7,4	8	7,7	7,4	7,5	7,8	7,5	7,2
7	7,5	8	7,5	8,1	7,8	7,6	7,6	7,9	7,8	7,2
8	7,5	7,9	7,5	7,9	7,8	7,5	7,6	8	7,6	7,3

Temperatur vid pH-mätning (°C)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	22	22	20,7	21,8	21,9	20,6	21,6	21,7	21,9	21,6
3	22,1	22,1	20,8	22,5	22,2	22,1	22,3	21,9	22,6	20,9
4	22,8	22,8	21,7	22,9	22,7	22,8	22,8	21,5	22,8	21,5
5	22,1	23,1	22,1	23,1	22,1	22,1	21,8	22	23,1	22
6	23,2	23,3	22	23,2	23,1	23,2	23,1	23,4	23,2	22
7	23,4	23,7	22,4	23,6	23,3	23,4	23,4	22,5	21,9	22,4
8	22,9	23,9	23	24	24,1	23	24	24	23,9	22,9

Turbiditet (FNU)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	47	4,1	120	8,7	54	30	67	54	1,3	36
3	6,5	2,6	240	1,2	35	12	45	30	0,9	100
4	40	2,2	130	0,38	19	19	83	97	0,85	370
5	27	7,6	150	0,3	21	22	25	130	0	150
6	26	4,1	100	0,24	0,6	4,5	3,7	9,8	0	98
7	2,3	0	170	0,1	0,74	7,8	4,9	58	1	1000
8	17	0,3	90	0,97	1,3	6,4	4,6	51	0,91	450

Aluminium Al (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0,003	0,0035	0,0031	0,029	0,2	0,0026	0,007	0,0025	0	0,021
3	0,0028	0,0044	0,0027	0	0	0,0021	0	0,0014	0	0,013
4	0,059	0,027	0,022	0,0058	0,046	0,026	0,04	0,024	0,0078	0,53
5	0,0014	0,002	0	0	0,0014	0,0022	0	0	0	0,071
6	0,0026	0,0032	0,0034	0,0013	0,0013	0,0026	0,012	0,0022	0,0013	0,038
7	0,0027	0,0024	0,0012	0	0,0011	0,0012	0,001	0,0014	0,0013	0,0094
8	0,0022	0,004	0,003	0,0018	0	0,0024	0	0	0	0,024

Arsenik As (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0	0,00041	0,002	0,00026	0,00036	0,00058	0,0003	0,0011	0	0,009
3	0	0,0004	0,0024	0,00026	0,00043	0,00063	0,0005	0,00084	0,00038	0,014
4	0	0,00073	0,0017	0,00024	0,00021	0,00041	0,00044	0,0009	0,0003	0,0059
5	0,00013	0,00037	0,0032	0,00017	0,00032	0,00044	0,00021	0,00092	0,00019	0,014
6	0,00015	0,00037	0,0027	0,00019	0,00037	0,00066	0,00022	0,0008	0,00021	0,015
7	0,00013	0,00038	0,0021	0,00018	0,00035	0,00054	0,00017	0,00091	0,00028	0,02
8	0,00013	0,00051	0,0016	0,0002	0,00035	0,00053	0,00016	0,001	0,00028	0,015

Barium Ba (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0,03	0,022	0,09	0,076	0,056	0,081	0,059	0,12	0,055	0,024
3	0,033	0,019	0,073	0,063	0,048	0,068	0,056	0,09	0,054	0,023
4	0,027	0,018	0,036	0,057	0,047	0,074	0,056	0,076	0,047	0,023
5	0,032	0,022	0,08	0,08	0,056	0,081	0,062	0,11	0,054	0,015
6	0,032	0,025	0,09	0,091	0,063	0,086	0,062	0,13	0,055	0,018
7	0,034	0,03	0,13	0,11	0,052	0,087	0,059	0,15	0,049	0,049
8	0,032	0,022	0,094	0,086	0,054	0,087	0,062	0,12	0,053	0,016

Bor B (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0,024	0,023	0,22	0,093	0,095	0,058	0,043	0,26	0,045	0,041
3	0,027	0	0,2	0,075	0,062	0,045	0,038	0,28	0,036	0,05
4	0,018	0,021	0,19	0,089	0	0	0,055	0,25	0,039	0,043
5	0,2	0,16	0,11	0,079	0,07	0,055	0,039	0,19	0,039	0,32
6	0,018	0,025	0,15	0,094	0,083	0,056	0,04	0,19	0,042	0,04
7	0,015	0,016	0,14	0,052	0,087	0,072	0,038	0,15	0,036	0,064
8	0,019	0,025	0,16	0,085	0,095	0,061	0,041	0,26	0,048	0,055

Kadmium Cd (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0,00002	0,00004	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0,000021	0,000029	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0,000021	0,000032	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0,000019	0,000035	0	0,000006	0	0	0	0	0,000012	0,000004
6	0,000017	0,000032	0	0,000008	0,000006	0	0	0	0,000012	0,000004
7	0,00002	0,00004	0	0,000007	0,000004	0	0	0	0,000013	0
8	0,000023	0,000038	0	0,0000077	0,0000042	0	0	0	0,000014	0

Kobolt Co (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0	0,00021	0,00033	0	0,00033	0	0	0	0	0,00042
3	0	0	0,0003	0	0,0002	0	0	0	0	0,00043
4	0	0,00022	0,00025	0	0,00025	0	0	0	0	0,00067
5	0,000029	0,00025	0,00031	0,000072	0,00021	0,000088	0,000053	0,00014	0,000042	0,00066
6	0,000039	0,00027	0,00029	0,00008	0,00022	0,000072	0,000052	0,00012	0,000035	0,00071
7	0,000037	0,00023	0,00029	0,000069	0,00024	0,000085	0,000042	0,00015	0,000027	0,00062
8	0,000038	0,00025	0,00024	0,000073	0,00022	0,000085	0,000037	0,00017	0,000032	0,00071

Krom Cr (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0	0	0	0	0,00039	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0,00024	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00093
5	0,00015	0	0,000074	0	0,00064	0	0	0	0,00011	0,0002
6	0,0002	0	0,000057	0	0	0	0	0	0,00012	0,00016
7	0,00022	0	0	0	0	0	0	0	0,00013	0,00012
8	0,00017	0	0,000059	0	0	0	0	0	0,00014	0,00014

Koppar Cu (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0,00061	0,0076	0	0,00041	0,00075	0	0	0	0,00072	0,0012
3	0,00063	0,0071	0,00022	0,00042	0,00022	0	0	0	0,00066	0,00042
4	0,00062	0,0076	0	0,00063	0,00072	0	0	0	0,0014	0,0067
5	0,00015	0,0066	0,00029	0,00033	0,00023	0	0	0	0,00048	0,0014
6	0,00059	0,0075	0,00027	0,00041	0,00036	0	0	0	0,00086	0,0019
7	0,0005	0,0076	0,00013	0,00037	0,00038	0,000052	0	0	0,00081	0,00071
8	0,0005	0,0075	0,00015	0,00037	0,0002	0	0	0	0,00072	0,0015

Järn Fe (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0,0026	0,0085	1,8	0,17	0,53	0,82	0,48	0,74	0,03	4,7
3	0,0025	0,0092	1,5	0,0077	0,11	0,55	0,54	0,47	0,13	5,8
4	0,037	0,057	0,81	0,5	0,092	0,41	0,22	0,15	0,13	1,2
5	0	0,0042	1,3	0,061	0,12	0,65	0,34	0,48	0,0033	4,6
6	0,001	0,0046	1,6	0,042	0,12	0,66	0,31	0,58	0,012	5,5
7	0	0,0048	1,9	0,019	0,98	0,64	0,41	0,47	0,09	4,7
8	0,007	0,0062	1,5	0,075	0,12	0,61	0,38	0,58	0,11	3,8

Mangan Mn (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0,00056	0,11	0,19	0,068	0,094	0,1	0,057	0,12	0,0098	1,7
3	0,00087	0,084	0,2	0,046	0,11	0,087	0,054	0,085	0,012	2,1
4	0,0024	0,089	0,45	0,099	0,12	0,093	0,069	0,1	0,027	1,5
5	0,00031	0,087	0,2	0,053	0,09	0,075	0,05	0,098	0,0018	2
6	0,00028	0,11	0,24	0,06	0,11	0,09	0,051	0,12	0,0027	2,4
7	0,00022	0,095	0,25	0,054	0,097	0,086	0,051	0,1	0,0047	2,4
8	0,00043	0,091	0,18	0,058	0,089	0,079	0,047	0,1	0,0064	2,1

Molybden Mo (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0,0077	0,002	0,0019	0,0075	0,0027	0,0077	0,0023	0	0,005	0,0017
3	0,0071	0,002	0,0019	0,0073	0,002	0,0069	0,002	0	0,0053	0,0025
4	0,0061	0,0022	0,0014	0,0067	0,0017	0,0042	0,0017	0	0,0038	0,0022
5	0,0068	0,0025	0,0034	0,0069	0,0022	0,0034	0,002	0,00014	0,0038	0,0028
6	0,0078	0,0027	0,0031	0,0076	0,0023	0,006	0,0022	0,00016	0,0043	0,0028
7	0,0072	0,0025	0,0018	0,0076	0,0022	0,0053	0,0023	0,00024	0,0049	0,0038
8	0,0076	0,0024	0,0018	0,0073	0,0024	0,0056	0,0023	0,00035	0,0048	0,0038

Nickel Ni (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0,00029	0,00052	0,0005	0,00021	0,00067	0,00023	0	0,00044	0,00023	0,0017
3	0,0003	0,00054	0,00047	0	0,00028	0	0	0,00034	0	0,0013
4	0	0,00068	0,00067	0,00021	0,00042	0,0003	0,00029	0,00041	0,00043	0,0035
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0,00015	0,00047	0,00048	0,000094	0,00041	0,00024	0,00013	0,00036	0,00018	0,0017
8	0,00018	0,00058	0,00037	0,00013	0,00043	0,00021	0,00011	0,00037	0,00018	0,002

Bly Pb (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0	0	0	0,000087	0,00036	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0,00013	0,00027	0,000066	0	0,0001	0,000058	0,00014	0,000071	0	0,00072
5	0,000023	0,000012	0,000015	0	0	0	0	0	0,000012	0,000085
6	0,000019	0,00001	0,000021	0	0,000012	0,000022	0	0	0,000013	0,000045
7	0,000028	0	0,000037	0,00001	0,000015	0,000034	0,000016	0,000014	0,000017	0,000033
8	0,000016	0,000042	0,00004	0,000017	0	0,000034	0	0	0,000011	0,000028

Strontium Sr (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0,2	0,13	0,3	0,41	0,29	0,33	0,34	0,39	0,25	0,13
3	0,22	0,12	0,27	0,39	0,32	0,28	0,32	0,33	0,25	0,14
4	0,19	0,12	0,2	0,35	0,3	0,29	0,33	0,29	0,22	0,1
5	0,22	0,13	0,31	0,42	0,32	0,3	0,35	0,41	0,29	0,1
6	0,22	0,14	0,34	0,47	0,36	0,33	0,35	0,49	0,28	0,12
7	0,24	0,13	0,29	0,45	0,32	0,33	0,36	0,4	0,26	0,14
8	0,24	0,14	0,34	0,47	0,33	0,34	0,38	0,44	0,29	0,12

Vanadin V (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0	0,00021	0,00051	0,00028	0,00084	0	0	0,00028	0	0,00029
3	0	0,00021	0,00049	0,00026	0	0	0	0,00023	0	0,00032
4	0	0,00025	0,00031	0,00029	0,00026	0	0,00023	0,00032	0	0,0012
5	0,00013	0,00022	0,00038	0,0003	0,00016	0,00017	0,00013	0,00024	0,0002	0,00059
6	0,00015	0,00024	0,00031	0,00032	0,00025	0,000097	0,00022	0,00025	0,00021	0,00059
7	0,00016	0,00022	0,00039	0,0002	0,00015	0,00008	0,00016	0,00027	0,00013	0,00087
8	0,00018	0,00022	0,00046	0,00025	0,00017	0,00011	0,0002	0,00026	0,00017	0,00053

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0,0012	0,0078	0	0,0016	0,0013	0	0,0036	0	0	0
3	0,0022	0,0056	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0,0016	0,024	0	0	0	0,0011	0,0015	0	0,0018	0,0021
5	0,00099	0,0018	0,0012	0,00034	0,00031	0	0,00037	0	0,00061	0,0012
6	0,0012	0,0035	0,0006	0	0,00035	0,00036	0,00021	0	0,0009	0,0019
7	0,002	0,00076	0,00048	0,00031	0,00039	0,00047	0,00054	0,00027	0,00046	0,00091
8	0,0017	0,0025	0,00049	0,00035	0	0,00064	0,00037	0	0,00022	0,0015

[illegible][illegible]

Ammonium-kväve (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0,067	0,03	4,7	0,18	0,51	0,16	0,15	5,1	0,15	0,81
3	0,012	0,023	4,4	0,013	0,36	0,061	0,13	4,4	0,13	0,74
4	0	0,02	5	0,11	0,4	0,093	0,14	4,5	0,18	0,4
5	0	0	3,1	0,052	0,42	0,12	0,072	4,5	0,096	0,44
6	0,019	0	3,4	0,034	0,38	0,12	0,066	4,5	0,022	0,34
7	0	0	4,7	0,033	0,39	0,12	0,078	4,9	0,058	0,59
8	0	0,01	3,5	0,16	0,4	0,13	0,092	5,1	0,077	0,34

Fosfatfosfor (mg/l)

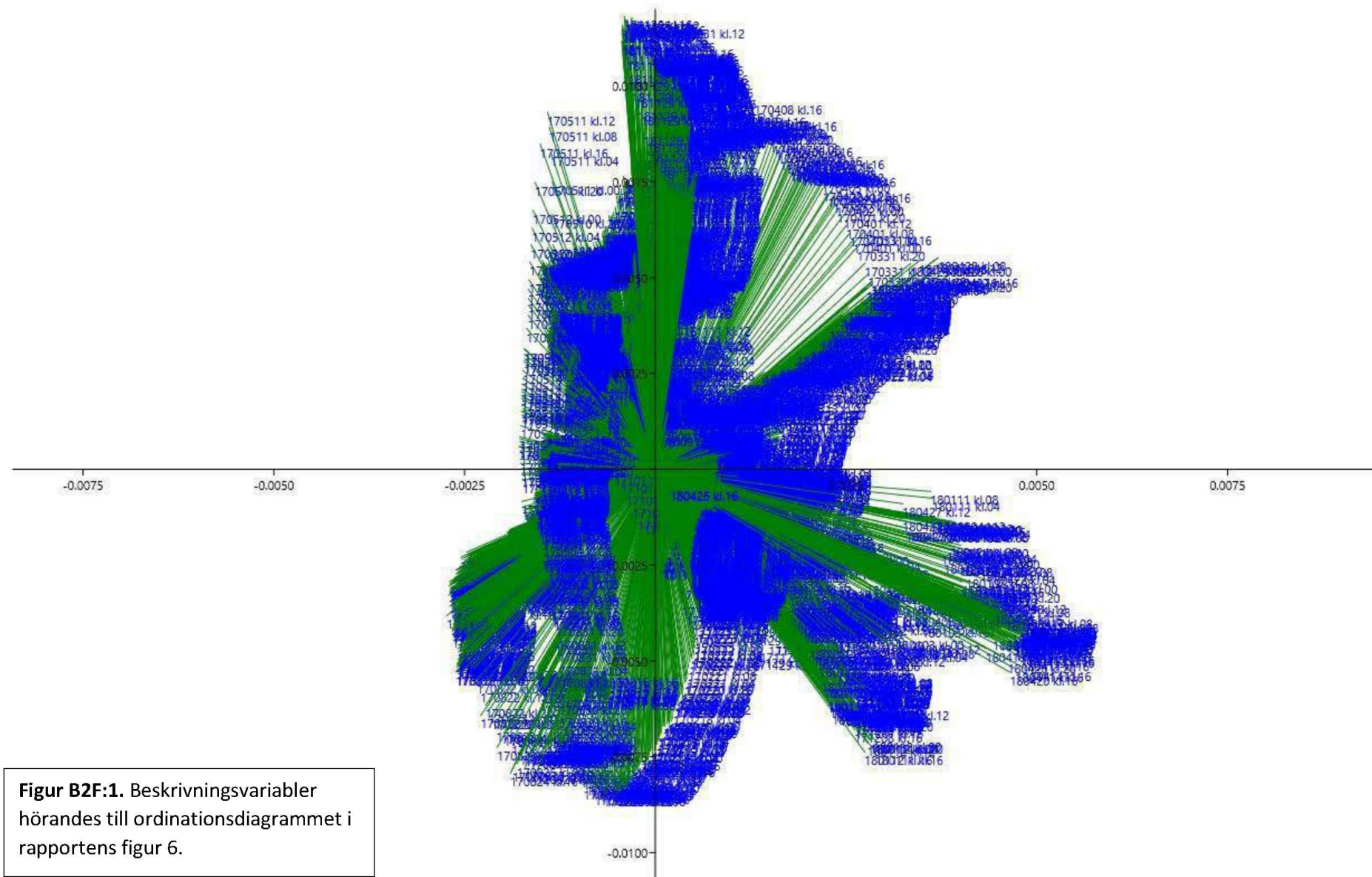
Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	0	0,007	0,42	0,017	0,009	0,007	0	0,098	0,015	0,32
3	0	0	0,4	0	0,006	0	0	0,073	0,024	0,19
4	0	0,007	0,46	0,008	0,008	0,005	0	0,065	0,014	0,046
5	0	0	0,067	0,01	0	0	0	0,059	0,007	0,078
6	0,007	0	0,29	0,009	0,01	0,005	0,006	0,22	0,01	0,15
7	0,006	0	0,58	0,006	0,012	0,007	0,006	0,11	0,021	0,13
8	0	0	0,22	0,03	0,011	0	0	0,11	0,018	0,066

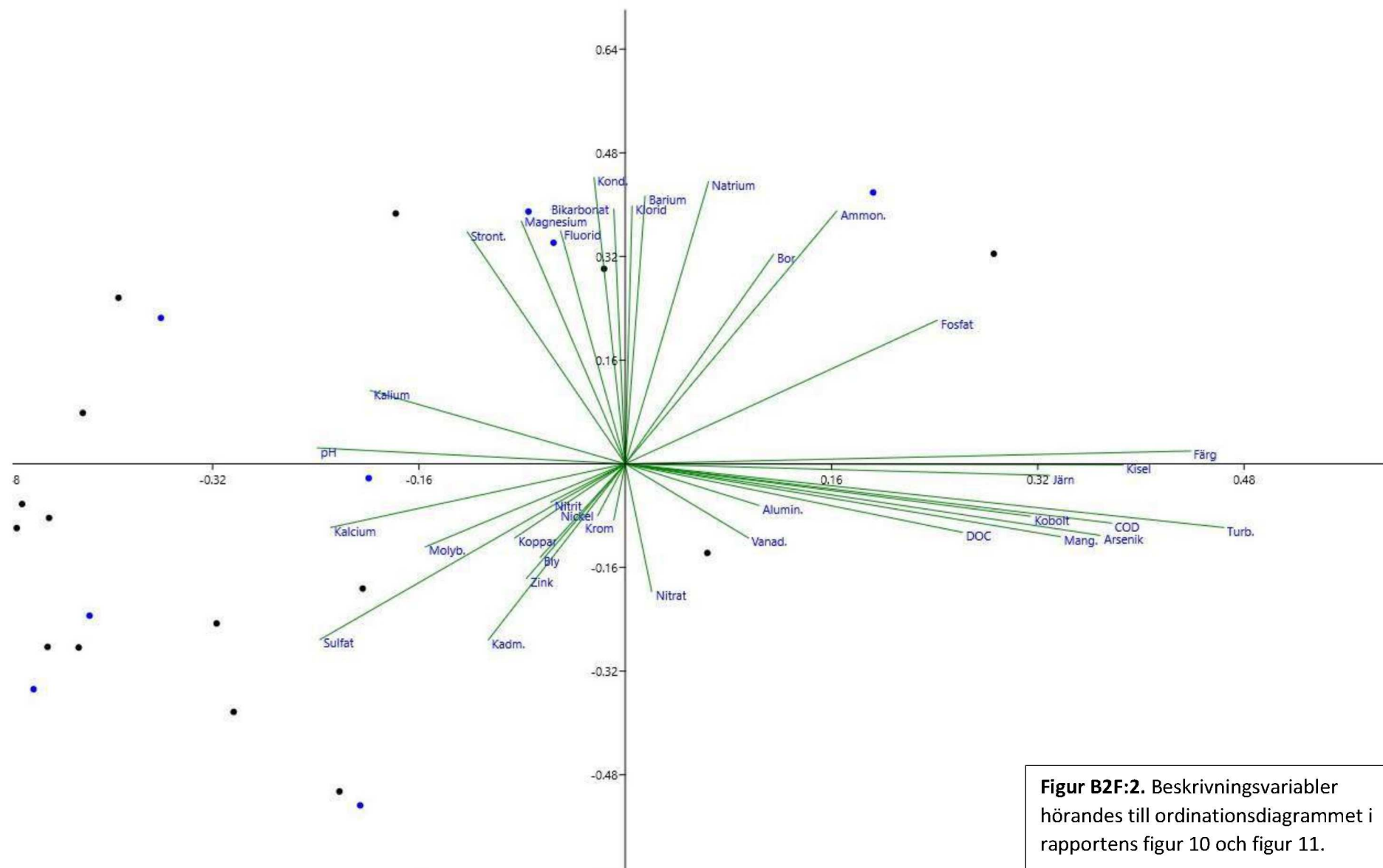
Klorid (mg/l)

Omgång	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	ÄrnaGV1
2	4,8	21	38	140	74	53	53	360	46	2,5
3	6	21	52	81	57	47	63	310	39	2,2
4	4,3	30	47	85	66	73	88	310	53	2,3
5	3,8	22	26	140	80	73	53	320	27	1,9
6	4,4	22	29	140	79	63	42	300	34	2,7
7	3,9	18	43	130	78	65	42	330	32	2,6
8	5	22	34	140	81	66	47	350	35	3,4

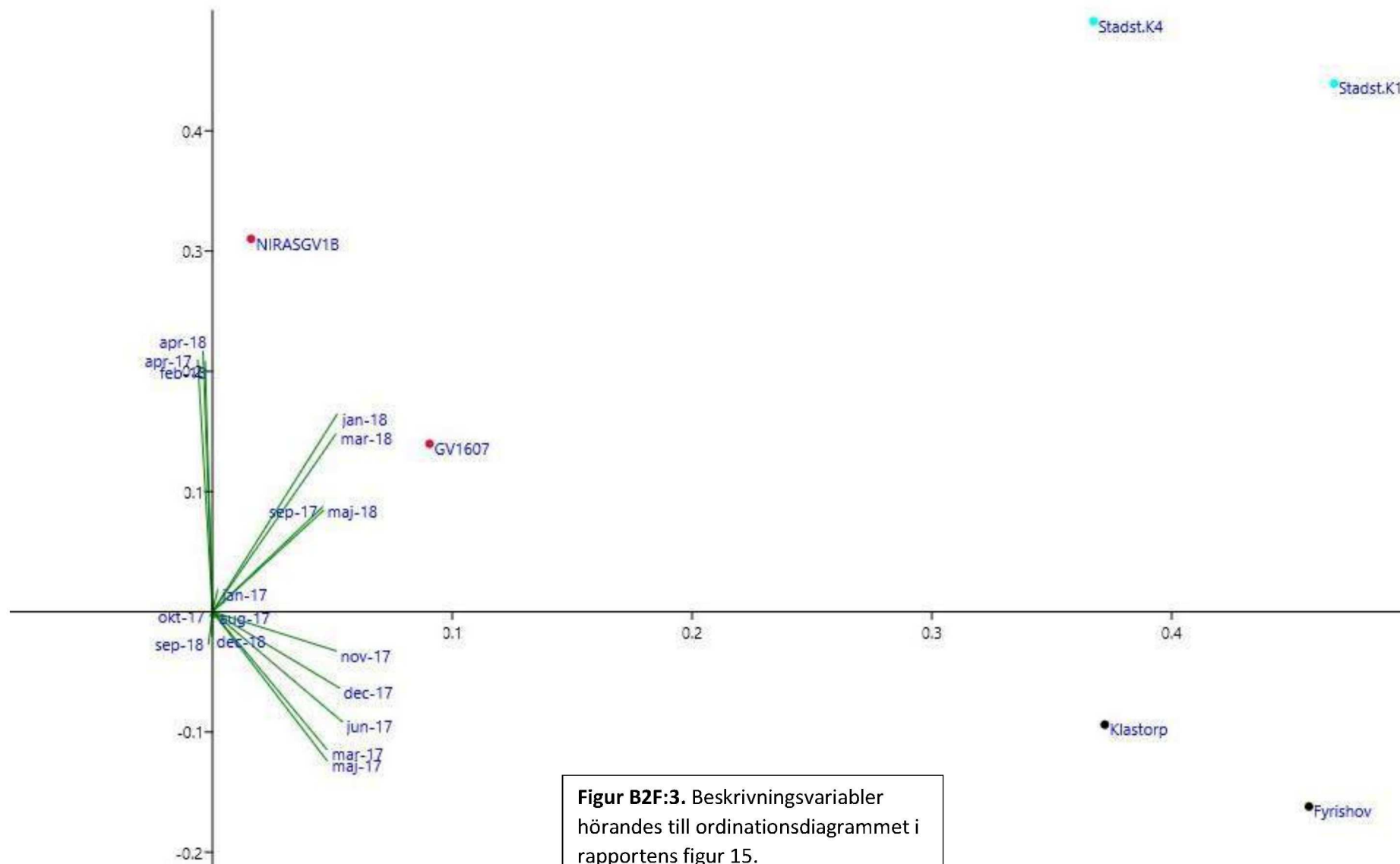
Bilaga 2F

Kompletterande parameterredovisning
i ordinationsdiagram av PCA

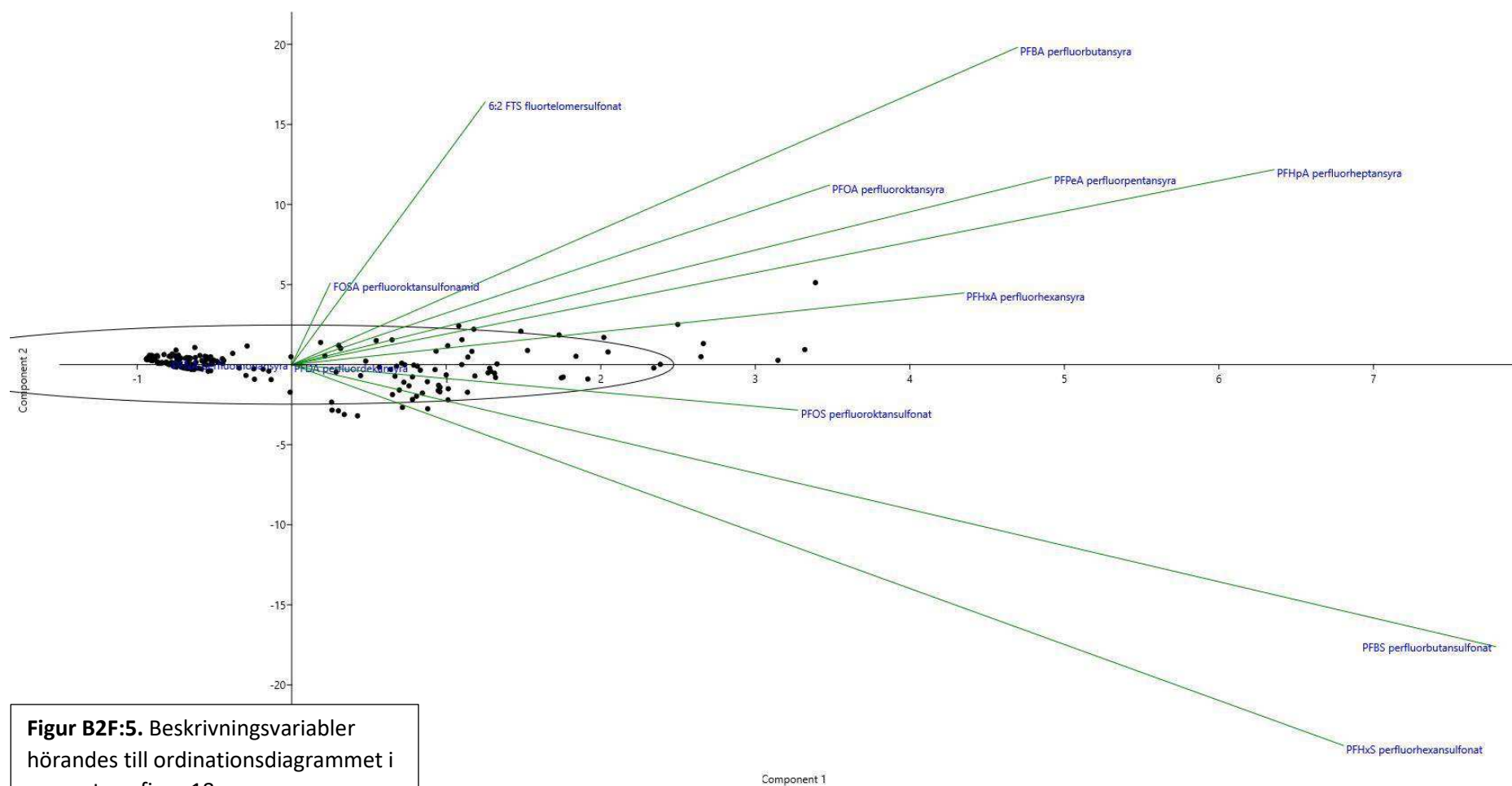




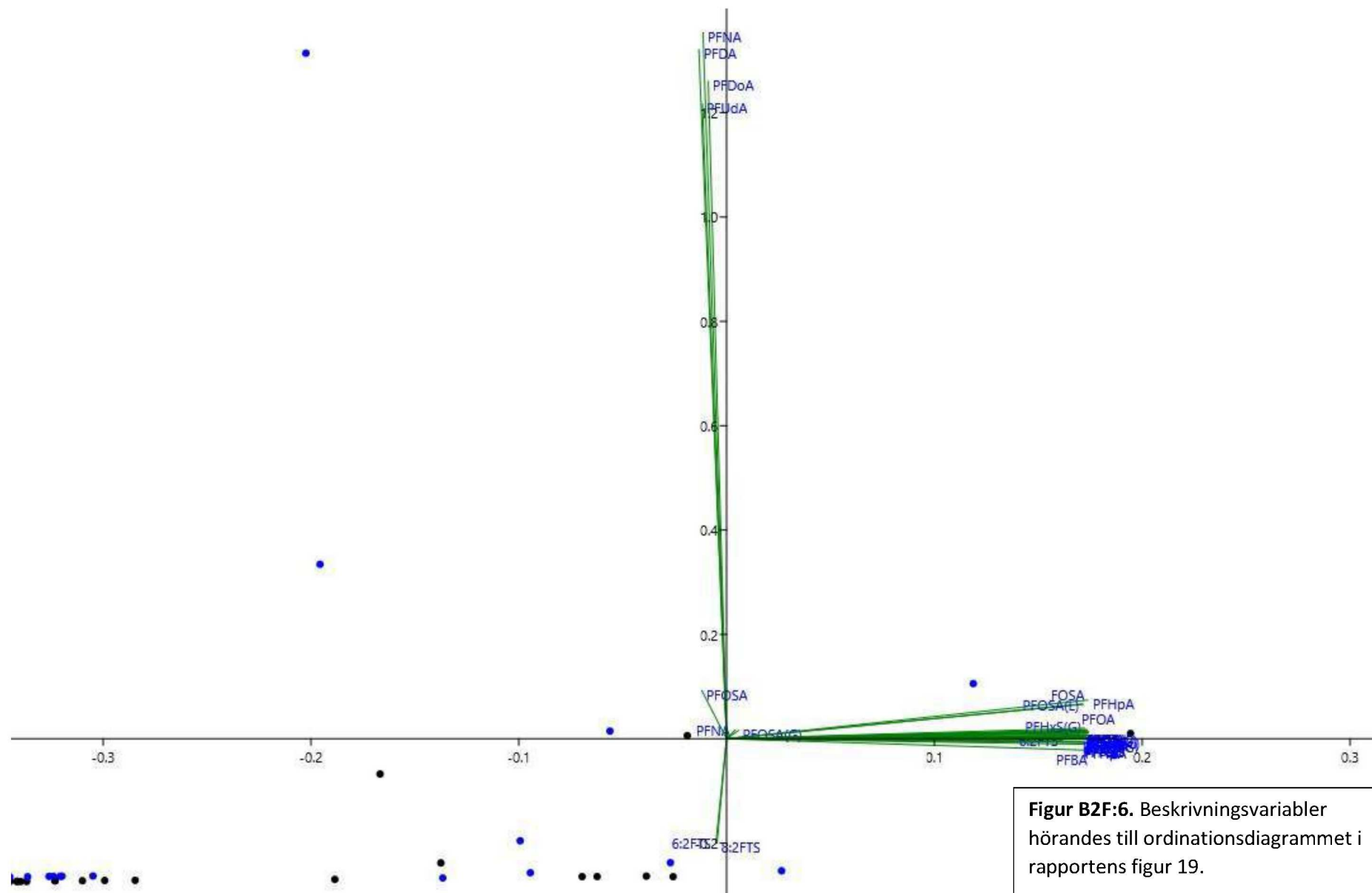
Figur B2F:2. Beskrivningsvariabler
hörandes till ordinationsdiagrammet i
rapportens figur 10 och figur 11.



Figur B2F:4. Beskrivningsvariabler hörandes till ordinationsdiagrammet i rapportens figur 17.

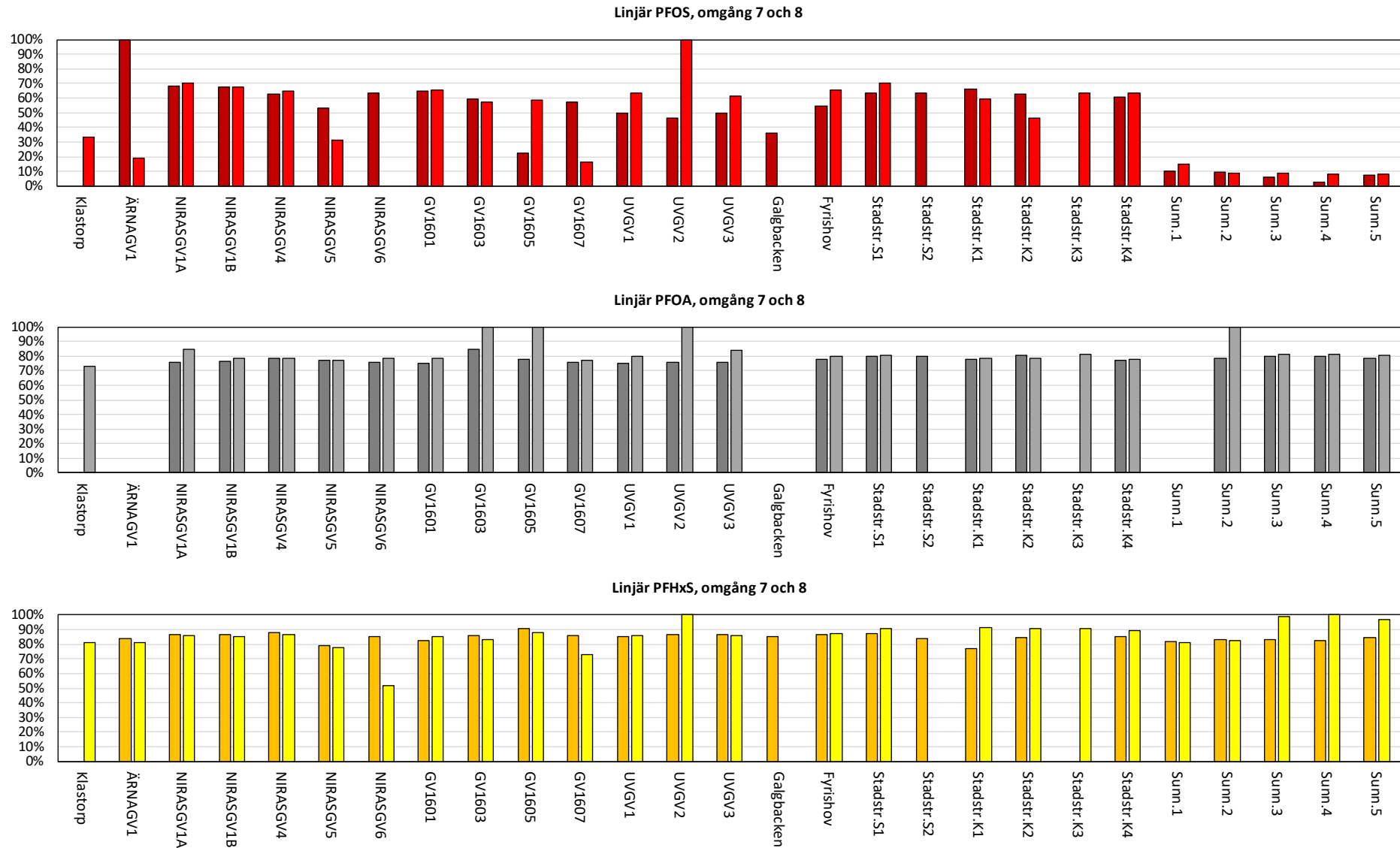


Figur B2F:5. Beskrivningsvariabler
hörandes till ordinationsdiagrammet i
rapportens figur 18.



Bilaga 2G

Kompletterande
resultatsammanställningar av TOP-
analyser och isomerförhållanden



Figur B2G:1. Procentuell mängd linjär isomer (molekylform) av PFOS (röd), PFOA (grå) och PFHxS (gul), vid provtagning omgång 7 (mörk stapel) och 8 (ljus stapel).

Tabell B2G:1. Haltskillnader i ng/l av de enskilda PFAS-kongenerna efter oxidativ omvandling av prekursorer/förämnerna (TOP; totala oxiderbara prekursorer). Haltskillnaderna är beräknade på medelhalter vid uppföljningsprogrammets provtagningsomgång 7 och 8. De PFAS-kongener som ingår i haltsumman PFAS-11 är markerade i blått. Gulmarkerade haltskillnader är mindre än mätosäkerheten vid den kemiska analysen och kan sålunda inte anses vara signifikanta. PFAS-11* avser haltsummans skillnad inklusive de gulmarkerade icke signifikanta haltskillnaderna. PFAS-11** avser haltsummans skillnad exklusive de gulmarkerade icke signifikanta haltskillnaderna. Även haltskillnader underskridande 1 ng/l bedöms som icke signifikanta med anledning av mätosäkerheterna vid den kemiska analysen.

	Klasterp	ÄRNASGV1	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	UVGV1	UVGV2	UVGV3
6:2FTS	0,0	0,0	-1,2	-19,5	0,0	0,0	0,0	-1,4	-0,4	-0,6	-2,8	0,2	-1,5	-6,0
8:2FTS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0
PFOSA	0,0	0,2	-1,5	-14,5	0,8	0,0	0,3	0,0	0,3	0,8	0,3	0,0	-0,9	-0,4
PFBA	6,8	8,5	52,5	675,0	28,6	12,2	64,9	48,5	1,5	30,6	35,0	81,0	30,5	103,5
PFBS	-2,2	4,5	-31,0	-55,0	-24,5	-4,5	-27,5	-8,0	-0,8	-14,0	-16,0	-36,0	-12,6	-15,0
PFDA	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,4	0,0
PFDODA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PFHpA	-0,0	2,1	-6,0	15,0	-0,9	5,2	-3,4	-0,5	0,7	4,2	-3,8	-5,0	1,6	-2,0
PFHpS	-0,1	0,2	-11,0	-20,0	-3,5	-1,0	-1,5	-3,7	-0,3	-1,5	-4,6	-6,5	-2,7	-7,0
PFHxA	7,9	74,5	271,5	3 950,0	173,5	28,5	155,5	152,5	6,9	108,0	97,0	202,0	73,5	420,0
PFHxS	-19,0	-5,0	-60,0	-1 200,0	-75,0	-14,5	0,0	-25,0	-3,8	-20,0	-15,0	25,0	20,5	65,0
PFNA	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	1,6	0,0	0,3	0,2	0,8	0,0	0,0	0,6	0,4
PFOA	-0,6	3,7	-7,0	50,0	-5,0	0,8	-6,5	-8,5	0,9	-0,5	-10,0	-21,5	-13,5	0,0
PFOS	-4,0	9,0	45,0	-450,0	30,0	-17,5	10,0	20,5	-3,1	20,0	2,5	-15,0	7,5	75,0
PFPeA	2,9	14,0	30,0	500,0	19,6	7,0	43,0	22,5	1,0	24,8	23,0	50,0	18,2	69,5
PFUnDA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
PFAS-11*	-8,2	111,5	293,7	3 465,5	146,3	19,7	236,0	200,9	3,2	153,7	110,0	280,7	125,1	710,4
PFAS-11**	-7,6	112,0	321,8	5 105,5	197,2	33,4	232,5	222,4	3,2	154,2	132,5	270,7	109,0	587,4

Tabell B2G:2. Haltskillnader i ng/l av de enskilda PFAS-kongenerna efter oxidativ omvandling av prekursorer/förämnar (TOP; totala oxiderbara prekursorer). Haltskillnaderna är beräknade på medelhalter vid uppföljningsprogrammets provtagningsomgång 7 och 8. De PFAS-kongener som ingår i haltsumman PFAS-11 är markerade i blått. Gulmarkerade haltskillnader är mindre än mätosäkerheten vid den kemiska analysen och kan sålunda inte anses vara signifikanta. PFAS-11* avser haltsummans skillnad inklusive de gulmarkerade icke signifikanta haltskillnaderna. PFAS-11** avser haltsummans skillnad exklusive de gulmarkerade icke signifikanta haltskillnaderna. Även haltskillnader underskridande 1 ng/l bedöms som icke signifikanta med anledning av mätosäkerheterna vid den kemiska analysen.

	Galgbacken	Fyrishov	Stadstr.S1	Stadstr.S2	Stadstr.K1	Stadstr.K2	Stadstr.K3	Stadstr.K4	Sunnersta1	Sunnersta2	Sunnersta3	Sunnersta4	Sunnersta5
6:2FTS	0,0	-0,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8:2FTS	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PFOSA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PFBA	3,0	51,5	8,0	8,2	9,6	9,4	9,3	12,0	3,4	3,0	3,5	3,9	3,6
PFBS	-0,2	-17,5	-2,4	-2,1	-3,0	-1,7	-2,7	-4,2	-0,8	-0,8	-1,8	-1,4	-1,4
PFDA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PFDODA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PFHpA	0,0	-2,5	-0,2	0,0	-0,5	0,0	-0,2	-0,3	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
PFHpS	0,0	-2,5	-0,5	-0,8	-0,4	-0,5	0,1	-0,4	0,0	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3
PFHxA	2,2	138,5	17,4	17,0	22,0	21,7	17,1	22,0	3,3	5,2	5,5	5,7	5,4
PFHxS	-1,1	25,0	-18,0	-18,0	-1,5	-2,5	-6,0	-35,0	-3,3	-9,0	-7,5	-5,0	-7,0
PFNA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PFOA	0,0	-17,5	-0,6	-2,3	-2,1	-0,5	-1,1	-1,3	0,0	0,0	-0,5	-0,6	-0,4
PFOS	-0,1	10,0	-6,0	-7,0	-8,5	-0,5	-5,0	-8,5	-0,5	-1,1	-2,0	-1,7	-1,3
PFPeA	3,6	31,5	4,8	6,4	5,1	6,1	5,1	7,3	1,4	1,8	1,7	1,7	1,6
PFUnDA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PFAS-11*	7,4	218,3	3,2	2,2	21,2	32,0	16,5	-8,4	3,5	-0,9	-1,0	2,6	0,6
PFAS-11**	7,7	185,8	9,9	27,2	31,6	37,2	28,8	1,7	7,3	-0,1	6,9	8,2	9,2

Tabell B2G:3. Haltskillnader efter oxidativ omvandling av prekursorer/förämn i procent av de enskilda PFAS-kongenernas ursprungliga halter. Haltskillnaderna är beräknade på medelhalter vid uppföljningsprogrammets provtagningsomgång 7 och 8. De PFAS-kongener som ingår i haltsumman PFAS-11 är markerade i blått. Gulmarkerade haltskillnader är mindre än mätosäkerheten vid den kemiska analysen och kan sålunda inte anses vara signifikanta. PFAS-11* avser haltsummans procentuella förändring inklusive de gulmarkerade och kursiva icke signifikanta haltskillnaderna. PFAS-11** avser haltsummans förändring exklusive de gulmarkerade icke signifikanta haltskillnaderna. Procentuella haltskillnader från ursprungsvärdet 0 (då halter har påträffats efter TOP-analys men de ursprungliga halterna underskridit analysernas rapporteringsgränser) anges som: >100.

	Klaster	ÄRNAGV1	NIRASGV1A	NIRASGV1B	NIRASGV4	NIRASGV5	NIRASGV6	GV1601	GV1603	GV1605	GV1607	UVGV1	UVGV2	UVGV3
6:2FTS	0	0	-100	-100	0	0	0	-100	-100	-100	-100	>100	-100	-100
8:2FTS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	>100	0	0
PFOSA	0	>100	-67	-100	>100	0	>100	0	>100	>100	>100	0	-100	-100
PFBA	252	>100	250	466	414	436	609	249	41	1 247	386	450	469	481
PFBS	-27	6	-38	-9	-37	-34	-37	-12	-37	-30	-38	-41	-37	-17
PFDA	0	>100	0	0	0	>100	0	0	0	>100	0	0	>100	0
PFDODA	0	0	0	0	0	>100	0	0	0	0	0	0	0	0
PFHpA	-4	>100	-24	9	-13	210	-25	-3	98	147	-30	-27	20	-6
PFHpS	-18	>100	-41	-11	-18	-34	-9	-36	-48	-11	-47	-25	-33	-18
PFHxA	193	304	262	343	475	271	241	210	442	400	154	217	144	336
PFHxS	-37	-1	-9	-15	-10	-12	0	-4	-28	-4	-5	4	10	8
PFNA	0	0	-16	0	0	>100	0	155	>100	>100	0	0	>100	>100
PFOA	-21	>100	-8	5	-23	9	-20	-22	40	-3	-20	-34	-24	0
PFOS	-47	44	8	-7	8	-40	5	13	-35	10	2	-5	8	18
PFPeA	223	>100	65	143	187	212	232	56	94	762	177	149	138	143
PFUnDA	0	0	0	0	0	>100	0	0	0	0	0	0	>100	0
PFAS-11*	-10	13	19	20	12	10	21	20	9	20	18	22	27	43
PFAS-11**	-9	13	20	29	16	16	21	22	7	20	22	21	23	36

Tabell B2G:4. Haltskillnader efter oxidativ omvandling av prekursorer/förämnar i procent av de enskilda PFAS-kongenernas ursprungliga halter. Haltskillnaderna är beräknade på medelhalter vid uppföljningsprogrammets provtagningsomgång 7 och 8. De PFAS-kongener som ingår i haltsumman PFAS-11 är markerade i blått. Gulmarkerade haltskillnader är mindre än mätosäkerheten vid den kemiska analysen och kan sålunda inte anses vara signifikanta. PFAS-11* avser haltsummans procentuella förändring inklusive de gulmarkerade och kursiva icke signifikanta haltskillnaderna. PFAS-11** avser haltsummans förändring exklusive de gulmarkerade icke signifikanta haltskillnaderna. Procentuella haltskillnader från ursprungsvärdet 0 (då halter har påträffats efter TOP-analys men de ursprungliga halterna underskridit analysernas rapporteringsgränser) anges som >100.

	Galgbacken	Fyrishov	Stadstr.S1	Stadstr.S2	Stadstr.K1	Stadstr.K2	Stadstr.K3	Stadstr.K4	Sunnersta1	Sunnersta2	Sunnersta3	Sunnersta4	Sunnersta5
6:2FTS	0	-100	>100	0	0	0	0	-100	0	0	0	0	0
8:2FTS	0	0	>100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFBA	>100	448	312	293	331	362	344	300	>100	74	103	110	113
PFBS	-23	-31	-31	-29	-31	-21	-29	-32	-31	-21	-32	-26	-26
PFDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFDODA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFHpA	0	-19	-12	0	-22	0	-9	-9	0	50	17	14	5
PFHpS	0	-16	-26	-45	-16	-26	6	-12	0	-56	-62	-54	-64
PFHxA	>100	194	341	283	244	370	192	152	>100	518	393	368	233
PFHxS	-39	6	-26	-24	-2	-4	-8	-29	-24	-31	-22	-16	-21
PFNA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFOA	0	-28	-11	-33	-25	-8	-15	-12	0	0	-19	-23	-14
PFOS	-12	5	-21	-21	-21	-2	-15	-19	-22	-25	-36	-29	-22
PFPeA	>100	166	291	320	176	330	222	168	>100	284	268	231	233
PFUnDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PFAS-11*	165	27	3	2	14	26	12	-4	19	-2	-2	5	1
PFAS-11**	171	23	8	20	21	30	21	1	43	0	13	16	17