

Rapportering av regeringsuppdrag

Grundvatten i framtida klimat

– förändringar i grundvattenkvalitet



Maria Åkesson, Lars-Ove Lång, Joel Häggqvist, Anders Retzner,
Eva Hellstrand, Michelle Nygren & Carl-Erik Hjerne

RR 2026:01

www.sgu.se

Författare: Maria Åkesson, Lars-Ove Lång, Joel Häggqvist, Anders Retzner,
Eva Hellstrand, Michelle Nygren & Carl-Erik Hjerne
Granskad av: Josef Källgården
Ansvarig enhetschef: Josef Källgården
Redaktör: Lina Rönnåsen
Regeringsuppdragets fullständiga namn: Analys av grundvattenmagasinens
robusthet och utsatthet för klimatförändringar

Omslagsbild: Envato Elements

Sveriges geologiska undersökning

Box 670, 751 28 Uppsala

tel: 018-17 90 00

e-post: sgu@sgu.se

www.sgu.se

Förord

Sveriges geologiska undersökning (SGU) har genom regleringsbrev för 2024 och 2025 haft i uppdrag av regeringen att analysera grundvattenmagasinens robusthet och utsatthet för klimatförändringar, i syfte att öka kunskapen om förändringar som kan ske avseende Sveriges grundvatten i ett framtida klimat. År 2024 fokuserade arbetet på att utreda kvantitativ påverkan, det vill säga påverkan på grundvattentillgång. År 2025 har inriktningen varit att utreda frågeställningar kring grundvattnets kvalitet där det ingått att beakta slutsatserna i 2024 års arbete.

Den primära målgruppen för denna rapport är de som arbetar med frågeställningar som direkt eller indirekt berörs av grundvatten och grundvattnets kvalitet. Det kan till exempel vara handläggare hos vattenproducenter, kommuner och länsstyrelser, forskare och konsulter som arbetar med vattenförsörjningsfrågor, markanvändningsplanering eller infrastrukturprojekt. På ett övergripande plan är rapporten också lämplig för beslutsfattare, utredare på andra myndigheter, forskningsfinansiärer och branschorganisationer.

För att fullt ut kunna ta del av rapporten krävs en viss grundläggande kunskap om grundvatten. Oavsett om läsaren har kunskap om grundvatten eller ej, är det mycket viktigt att vara medveten om de osäkerheter och begränsningar som beskrivs i denna rapport för att resultaten inte ska användas på ett felaktigt sätt.

Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning	6
Inledning	7
Bakgrund.....	7
Syfte	7
Avgränsningar	8
Förutsättningar för utvärdering	9
Dataunderlag	9
Modellerad fyllnadsgrad för små magasin	9
Grundvattenmiljöer	10
Samband mellan grundvattennivå och grundvattenkvalitet	11
Hypotes.....	11
Korrelationsanalyser, trendövervakning	12
Korrelation mot momentan fyllnadsgrad	12
Korrelation mot tidsförskjuten fyllnadsgrad	16
Korrelation mot uppmätt grundvattennivå.....	18
Sambandsanalyser, data från enskild vattenförsörjning.....	19
Resultat.....	20
Samband mellan grundvattentemperatur och grundvattenkvalitet.....	26
Hypotes.....	27
Trendanalys, grundvattentemperatur.....	27
Korrelationsanalys, grundvattentemperatur mot grundvattenkemi.....	29
Erfarenheter från kommunala vattenproducenter	31
Grundvattenberoende vattenförsörjning	32
Råvattenkontroll.....	32
Observerad påverkan.....	33
Grundvattentillgång	34
Grundvattenkvalitet och dricksvattenkvalitet	35
Utredningar och åtgärder	38
Övriga erfarenheter och synpunkter	39
Diskussion.....	39

Robusthet och utsatthet.....	39
Samband och möjliga orsaker	40
Framtida behov.....	41
Säkra tillgången till data om grundvattnets kvalitet.....	41
Genomför fler och bredare utvärderingar.....	42
Utför konsekvensanalyser.....	43
Möt behovet av vägledning, dialog och stöd.....	44
Slutsatser.....	44
Referenser.....	46
Bilaga 1. Korrelationsanalyser mellan grundvattenkvalitet och modellerad fyllnadsgrad	48
Bilaga 2. Jämförelse av halter i enskilda brunnar och fyllnadsgrad i små magasin.....	136
Bilaga 3. Enkät till kommunala vattenproducenter	158

Sammanfattning

Sveriges geologiska undersökning (SGU) har på uppdrag av regeringen analyserat de svenska grundvattenmagasinens robusthet och utsatthet för klimatförändringar, med fokus på grundvattnets kvalitet. Utredningen visar att klimatrelaterade förändringar i grundvattennivå och grundvattentemperatur har potential att påverka grundvattenkvaliteten, men att påverkan är komplex, varierande och i hög grad platsspecifik.

Arbetet har omfattat sambandsanalyser mellan uppmätta och modellerade grundvattennivåer respektive grundvattenkvalitet i naturliga källor, observationsrör och brunnar för enskild vattenförsörjning. Därutöver har en enkät genomförts där kommunala dricksvattenproducenter redovisat sina erfarenheter av klimat- och uttagsrelaterad påverkan på grundvatten. Arbetet har också omfattat trendanalyser av temperatur i ytligt grundvatten, samt analyser av samband mellan grundvattentemperatur och grundvattenkvalitet.

Resultaten visar att ytligt grundvatten har blivit varmare i hela landet under de senaste decennierna, i takt med ökande lufttemperaturer. Temperaturökningen samvarierar med förändringar i syrehalt och pH, vilket indikerar potential för en bredare och långsiktig påverkan även med avseende på andra parametrar och grundvattnets kvalitet.

Samband mellan grundvattennivå och grundvattenkvalitet förekommer, men tydligheten av och riktningen på dessa samband varierar mellan parametrar, platser och grundvattenmiljöer. För vissa ämnen framträder relativt tydliga mönster, medan sambanden för andra är svaga eller saknas. Utfallet tyder på att påverkan och effekter är resultatet av ett komplext samspel mellan olika, ofta platsspecifika, förutsättningar och processer.

En del i en möjlig förklaringsmodell till konstaterade samband mellan variation i grundvattennivå och grundvattenkvalitet, är att variationer i grundvattennivå har potential att påverka blandningen mellan ytligare och djupare grundvatten, med skillnader i uppehållstid och grundvattenkvalitet. Grundvattnets kvalitet på en given plats vid en given tidpunkt är dock styrd av en rad olika förutsättningar och processer, och effekten av en pålagd yttre förändring kan därmed variera betydligt både mellan och inom olika grundvattenmagasin. Effekterna skiljer sig dessutom mellan mer ostörda grundvattensystem och miljöer med aktivt grundvattenuttag, där pumpningen i sig kan förändra flödesmönster, blandningsförhållanden och uppehållstider.

Sammantaget bedöms klimatförändringarna kunna påverka Sveriges grundvattenkvalitet, men denna påverkan kan endast i begränsad utsträckning generaliseras på nationell nivå. Effekterna och konsekvenserna för vattenförsörjning, samhällsbyggnad och naturmiljö i bredare bemärkelse, bedöms följaktligen kunna variera avsevärt mellan olika delar av landet och mellan olika typer av grundvattenmagasin.

Utredningen visar vidare att det tillgängliga underlaget är begränsat och inte tillräckligt för att möjliggöra tillförlitliga långsiktiga prognoser. Fördjupade studier av styrande faktorer och processer, liksom utökad och mer samordnad övervakning är nödvändiga för att förbättra förståelsen av klimatpåverkan på grundvattenkvaliteten, och dess konsekvenser för Sveriges vattenförsörjning och naturmiljö.

Inledning

Bakgrund

Grundvatten är en av våra viktigaste naturresurser. Omkring hälften av Sveriges kommunala dricksvattenförsörjning baseras på uttag av naturligt eller konstgjort grundvatten (SCB 2022). Utöver detta baseras i regel enskild vattenförsörjning på grundvatten. Cirka 1,2 miljoner människor är folkbokförda på fastigheter med enskild vattenförsörjning och i Sverige finns det dessutom drygt 200 000 fritidsboenden med enskild vattenförsörjning (SCB 2023). Sammantaget står grundvatten för ungefär hälften av Sveriges dricksvattenförsörjning, och sannolikt mer än så sommartid. Grundvatten används också för djurhållning, bevattning, livsmedelsproduktion och andra vattenkrävande industrier, och bidrar typiskt till en betydande andel av flödet i strömmande ytvatten. Många ekosystem, terrestra liksom akvatiska, är beroende av grundvatten. Grundvatten är också av stor betydelse för markens egenskaper och fordrar noggrann kartläggning vid exempelvis byggnation och energiutvinning.

Klimatförändringarna har potential att påverka vårt grundvatten såväl kvantitativt som kvalitativt, på olika sätt och genom en rad olika mekanismer. I förlängningen kan detta ha betydande konsekvenser för vårt samhälle, på flera olika sätt och inom flera olika sektorer.

Mot denna bakgrund fick Sveriges geologiska undersökning (SGU) år 2024 i uppdrag av regeringen att analysera grundvattenmagasinens robusthet och utsatthet för klimatförändringar. Robusthet kan i detta sammanhang ses som grundvattnets förmåga att motstå eller återhämta sig från negativa förändringar orsakade av klimatpåverkan, medan utsatthet beskriver graden av påverkan som kan förväntas uppstå vid dessa förändringar. Det är komplexa begrepp och frågeställningar, som även i en avgränsad kontext liksom denna, kan och bör utredas utifrån flera olika infallsvinklar.

Som ett första steg valde SGU att utvärdera klimatförändringarnas förväntade påverkan på Sveriges grundvattentillgång. Grundvattentillgång avser här mängden grundvatten på en given plats, vilken styrs av en rad faktorer såsom grundvattenbildning, lagringskapacitet, naturlig avrinning och eventuella uttag. Möjliga förändringar utvärderades genom modellering av tre olika klimatindikatorer fram till år 2100, utifrån ett urval av klimatscenarier. Resultatet och slutsatserna utvecklas i Hjerne m.fl. (2025). Sammanfattningsvis kan man sluta sig till att klimatförändringarna kommer att påverka vår grundvattentillgång såväl kort- som långsiktigt, men på olika sätt och med varierande styrka beroende på plats och tidpunkt.

En naturlig följdfråga blir vad denna predikterade påverkan på Sveriges grundvattentillgång kan komma att ha för effekt på grundvattenkvaliteten, det vill säga grundvattnets kemiska, fysikaliska och mikrobiologiska egenskaper. Denna fråga har varit i fokus för SGU:s fortsatta utredningsarbete inom ramen för myndighetens tilldelade regeringsuppdrag *Analys av grundvattenmagasinens robusthet och utsatthet för klimatförändringar* under 2025. Resultatet av arbetet redovisas i denna rapport.

Syfte

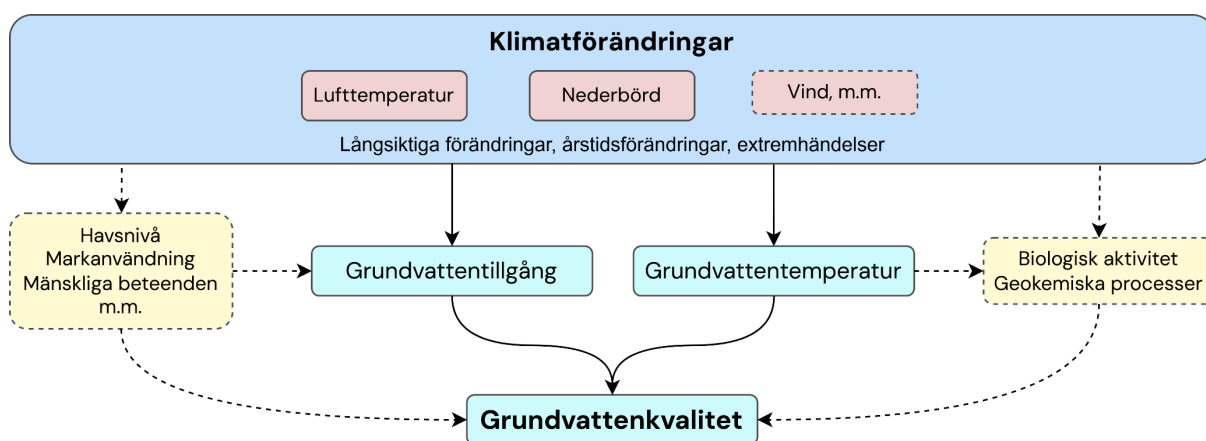
Denna utrednings övergripande syfte är att öka kunskapen om de förändringar som kan ske avseende Sveriges grundvattenkvalitet i ett framtida klimat. Arbetet tar avstamp i föregående års utredning om grundvattentillgång, och avser att bidra till en än bredare förståelse för våra grundvattenmagasins robusthet och utsatthet i ett förändrat i klimat.

Avgränsningar

Åtskilliga processer och mekanismer kan komma att påverka grundvattnets kvalitet i och med klimatförändringarna (fig. 1). Exempelvis kan ett förändrat klimat medföra påverkan genom ändrad markanvändning, ökad användning av bekämpningsmedel och andra syntetiska ämnen, förekomst av nya patogener och högre risk för extremväderhändelser (Dao m.fl. 2024).

Fokus för denna utredning är att utvärdera samband mellan grundvattenkvalitet och förändringar i grundvattentillgång respektive grundvattentemperatur. Detta utifrån tanken att sådana samband i förekommande fall, tillsammans med prediktioner avseende framtida grundvattentillgång och grundvattentemperatur, kan bidra till att belysa möjlig framtida klimatpåverkan på grundvattenkvaliteten. Genom detta fokus avgränsas utredningen till att omfatta en begränsad del av de sätt genom vilket klimatförändringarna kan komma att påverka grundvattnets kvalitet. Inriktningen bedöms motiverad utifrån resultaten av föregående års utredning, uppdragets begränsade tidsram samt vilka data som funnits tillgängliga för utvärdering.

Med grundvattenkvalitet avses i detta sammanhang grundvattnets kemiska, fysikaliska och mikrobiologiska egenskaper. Mot bakgrund av vilka data som funnits att tillgå har utredningen över lag inte omfattat syntetiska organiska föroreningar, utan avser grundläggande fysikalisk-kemiska parametrar samt relativt mer vanligt analyserade metaller och mikrobiologiska parametrar.



Figur 1. Översiktligt flödesschema över processer och mekanismer genom vilka klimatförändringen kan påverka grundvattnets kvalitet. Schemat är en principskiss och inte heltäckande. Denna utredning fokuserar bara på boxarna och pilarna med heldragna linjer, medan boxar och pilar med streckade linjer inte har ingått.

Förutsättningar för utvärdering

Dataunderlag

SGU förvaltar olika typer av data avseende Sveriges grundvattenkvalitet. Verksamheten sker dels i egen regi, dels genom det nationella datavärdskapet för grundvatten på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten. För att utreda samband mellan grundvattenkvalitet och förändringar i grundvattentillgång respektive grundvattentemperatur, har fokus riktats mot två huvudsakliga datamängder avseende Sveriges grundvattenkvalitet: löpande kemisk grundvattenövervakning respektive analysresultat från enskilda brunnar.

Med löpande kemisk grundvattenövervakning (benämns framöver som *trendövervakning*) avses här den data som samlats in dels genom det så kallade grundvattennätet (SGU 2022), dels genom miljöövervakningssystemet och då framför allt genom det delprogram som sedan en tid tillbaka benämns *Trend- och omdrevsstationer - grundvatten* (Havs- och vattenmyndigheten 2023). Denna data omfattar hundratals tidsserier av hur grundvattnets grundläggande fysikalisk-kemiska sammansättning varierat över tid på olika platser runt om i landet. Enstaka tidsserier sträcker sig ända tillbaka till 1960-talet medan flertalet spänner över något eller några decennier, typfallet är att de omfattar två till fyra prover per år och plats. Fokus för trendövervakningen har, sedan miljöövervakningssystemets införande, varit att snabbt kunna fånga upp påverkan av yttre, storskaliga miljöförändringar. Därför tenderar provplatserna att vara förhållandevis ytliga och snabbreagerande samt förlagda till så kallade referensmiljöer. Provplatserna utgörs generellt av källflöden och ytliga observationsrör med provtagningsnivå nära grundvattenytan.

Analysresultat från enskilda brunnar avser resultat av vattenprover som tagits av privatpersoner från deras egna brunnar. Sådana data samlar SGU in sedan 2007, med hjälp av två kommersiella analyslaboratorier och med tillstånd från den enskilde brunnsägaren. Insamlingen är således frivilligbaserad. Datamängden omfattar grundläggande fysikalisk-kemiska och mikrobiologiska analysresultat från totalt sett cirka 100 000 brunnar runt om i Sverige.

För att uppskatta grundvattentillgångens variation och förändring vid en given plats kan data över uppmätta grundvatten- eller trycknivåer användas. För de två datamängder som använts här har sådana nivåmätningar endast funnits att tillgå från en delmängd av provplatserna inom trendövervakningen, det vill säga de provplatser som utgörs/utgjorts av rör eller brunnar där grundvatten- eller trycknivåer har kunnat mätas. Därför har så kallad *modellerad fyllnadsgrad för små magasin* (se nästa rubrik) använts som det huvudsakliga, återkommande måttet på grundvattennivå i de utvärderingar som låtit utföras inom ramen för denna utredning. Tillämpningen av måttet fyllnadsgrad bedöms vidare motiverad utifrån att detta mått utgör en av de klimatindikatorer vars framtida utveckling predikterades inom ramen för förra årets arbete inom detta regeringsuppdrag.

Modellerad fyllnadsgrad för små magasin

SGU beräknar bland annat fyllnadsgrad för små magasin genom modellen SGU-HYPE, som är en modifierad version av SMHI:s vattenbalansmodell HYPE. SGU-HYPE drivs av nederbörds- och temperaturdata, och kan användas för att beräkna fyllnadsgrad såväl bakåt som framåt i tiden, inom ett nationellt rutnät med upplösningen 4×4 km. Modellen är anpassad för att kunna beskriva och hantera vattenflöden till och i grundvattnet, och kalibrerad mot uppmätta grundvattennivåer.

Det är också möjligt att beräkna fyllnadsgrad direkt från uppmätta grundvattennivåer utan att använda SGU-HYPE. Det har dock inte använts för denna rapport. Begreppet *fyllnadsgrad* i denna rapport syftar därför endast på modellerad fyllnadsgrad för små magasin med hjälp av modellen SGU-HYPE.

Vid beräkning av fyllnadsgrad görs en normering av grundvattennivåerna för den specifika platsen och perioden som analyseras. Fyllnadsgrad är enhetslös från 0 till 100, där 0 indikerar att grundvattennivån är lika låg som den lägsta nivån och 100 att den är lika med den högsta nivån för den specifika perioden och platsen. Mer information om fyllnadsgrad finns på SGU:s webbplats.

Vid tillämpning av modelleringsresultat från SGU-HYPE, är det viktigt att beakta att modellen bygger på en endimensionell, generaliserad beskrivning av ett permanent inströmningsområde, vilket innebär en stark förenkling av verkligheten.

Grundvattenmiljöer

SGU har sedan tidigare beskrivit fem för Sverige grundläggande typer av grundvattenmiljöer (SGU 2013; se faktaruta *Fem dominerande grundvattenmiljöer*). Dessa miljöer utgår från landets huvudsakliga geologiska jordarts- och berggrundsförhållanden. Miljöerna uppvisar generaliserat olika kemisk beskaffenhet till följd av olika bildningssätt och då de består av olika typer av geologiska material. På motsvarande vis representerar de olika sorters grundvattentillgångar både sett till relativ volym och till egenskaper i fråga om typiska grundvattennivåer (i förhållande till markytan), nivåvariationer, transport- och uppehållstider. Grundvattenmiljöerna kan således användas för att på ett övergripande plan, sortera i och diskutera kring utsatthet och robusthet i fråga om yttre förändringar såsom klimatförändringar. Viktigt att beakta är dock att den hydrogeologiska och hydrogeokemiska variationen inom respektive miljö i verkligheten kan vara betydande, samt att slutna förhållanden kan råda även för grundvattenmagasin i berg.

I denna utredning beaktas och återkommer begreppet grundvattenmiljöer i enlighet med detta resonemang. Datamängden enskilda brunnar bedöms omfatta observationer från samtliga typer av grundvattenmiljöer. Inom trendövervakningen ingår också tidsserier från alla grundvattenmiljöer, dock med tyngdpunkt mot framför allt grundvattenmiljöerna 3 och 4.

Fem dominerande grundvattenmiljöer

1. **Kristallin berggrund.** Utgörs av kristallin berggrund, typiskt gnejser och graniter, där berget kan vara blottat eller täckt av jord. Grundvattnet förekommer i sprickor och grundvattenytan ligger vanligen inte mer än någon eller några meter under markytan, antingen i de ovanliggande jordlagren eller direkt i berget. Grundvattennivån kan variera mycket. Grundvattenbildningen sker i sprickorna eller i de överlagrande jordarterna.
2. **Sedimentär berggrund.** Utgörs av sedimentära bergarter, i huvudsak sandstenar, kalkstenar och skiffrar. Områden med sedimentär berggrund är vanligen täckta av mäktiga jordavlagringar, undantag utgörs av framför allt Gotland och Öland. Grundvattnet förekommer i bergarternas porsystem, skiktfogar och sprickor.
3. **Morän och svallsediment.** Utgörs av öppna grundvattenmagasin i morän och svallsediment. Grundvattenytan i moränen är vanligen marknära på grund av jordartens låga hydrauliska konduktivitet (ledningsförmåga). Uppehållstiden är ofta kort till följd av begränsade jordmäktigheter. Grundvattennivån kan variera relativt mycket.
4. **Isälvsavlagringar.** Utgörs av öppna grundvattenmagasin i isälvs- och issjöavlagringar, samt i älvsediment, av sand och grus. Grovkorniga jordarter leder effektivt undan nybildat grundvatten och grundvattenytan kan därför ligga långt under markytan. Isälvsavlagringarna utgör ofta våra största grundvattenmagasin. Uppehållstiden är ofta lång även om vattnet är relativt rörligt. Grundvattennivån uppvisar ofta relativt begränsad variation.
5. **Morän och isälvsediment under lera och andra kohesionsjordarter.** Utgörs av slutna grundvattenmagasin i morän och isälvsmaterial. Överlagrande jordarters mäktighet och egenskaper varierar. Uppehållstiden är ofta lång.

Samband mellan grundvattennivå och grundvattenkvalitet

Det tidigare arbetet avseende framtida klimatpåverkan på Sveriges grundvatten, tyder på att Götaland, stora delar av Svealand samt Norrlandskusten kan komma att präglas av en generellt minskad grundvattentillgång fram till år 2100 (Hjerne m.fl. 2025). Det motsatta indikeras för Norrlands inland, fjällkedjan och delar av Dalarna. Utöver dessa beräknade långsiktiga förändringar av grundvattentillgången framöver, förutses också större inom- och mellan-årsvariationer av densamma.

En förändrad grundvattennivå kan även förväntas kunna påverka grundvattenkvaliteten på olika sätt. Variationer mellan höga och låga nivåer har exempelvis potential att medföra aktivering av grundvatten på olika djup, vilket kan föranleda skiftningar i halter av olika ämnen. Exempelvis kan ämnen som tenderar att ansamlas i ytliga marklager, däribland flera metaller, mobiliseras och därmed öka i koncentration i grundvattnet vid höga grundvattennivåer. Detta antas främst kunna gälla för små och snabbreagerande grundvattenmagasin. Sambandet och förklaringsmodellen har framförts avseende grundvattenmiljö 3 (morän och svallsediment) inom en tidigare studie av en delmängd av tidsserier från trendövervakningen (Aastrup m.fl. 2012). Förändringar i grundvattennivåer kan även påverka utbyte mellan yt- och grundvatten (Uhl m.fl. 2022).

Förändringar av grundvattennivån medför vidare att mäktigheten av den omättade zonen förändras, där en lägre grundvattennivå innebär en mäktigare omättad zon. En mäktigare omättad zon kan å ena sidan öka grundvattnets skydd genom större potential för filtrering och nedbrytning, men å andra sidan möjliggöra ackumulering av ämnen, inklusive föroreningar, som kan mobiliseras och tillföras grundvattnet mer episodiskt efter perioder med låg grundvattennivå (Cavelan m.fl. 2021, Das m.fl. 2024, Jarsjö m.fl. 2020). Skiftningar i grundvattennivå och därmed den omättade zonens mäktighet påverkar även syrehalt och redoxförhållanden, vilket i sin tur kan ha stor betydelse för jonbytes- och vittringsprocesser samt förekomstformer och mobilitet hos en rad andra ämnen.

Hypotes

I denna utredning används olika datamängder för att utreda samband mellan förändringar i grundvattentillgång, uttryckt som grundvattennivå, och grundvattenkvalitet. Sambandens karaktär och styrka antas kunna uppvisa en betydande variation beroende på platsspecifika förutsättningar. För provplatser i öppna grundvattenmiljöer, kan grundvattennivån företrädesvis förväntas vara:

- Positivt korrelerad mot halten av organiskt material i grundvattnet samt parametrar med potential för ytlig ansamling i marklagren i den omättade zonen. Hit hör flera metaller. Vid högre grundvattennivåer kan utsköljning ske av dessa ämnen, vilket medför högre koncentrationer av desamma.
- Negativt korrelerad mot exempelvis elektrisk konduktivitet (framöver konduktivitet), huvudsakliga kationer (Ca, Na, Mg) samt alkalinitet (HCO_3^-). Dessa parametrar uppvisar ofta högre halter hos grundvatten med längre uppehållstid under mark, på grund av relativt längre kontaktid med minerogent material. Vid lägre grundvattennivåer kan en större andel av ett djupare grundvatten aktiveras i källflöden eller vid uttag av grundvatten på en viss nivå i marken.

Korrelationen kan vara tidsförskjuten då grundvattennivån kan förändras snabbare än grundvattenkvaliteten.

Korrelationsanalyser, trendövervakning

Som en del i att utreda samband mellan grundvattennivå och grundvattenkvalitet, utfördes korrelationsanalyser mellan analysresultat från trendövervakningen och fyllnadsgrad. Förfarandet återges mer detaljerat i bilaga 1, här redogörs endast för de övergripande principerna.

Underlaget från trendövervakningen omfattade i utgångsläget 355 tidsserier från lika många provplatser, och 156 kemiska eller fysikaliska parametrar. Efter filtrering i förhållande till uppsatta analyskriterier, såsom minimum antal observationer och andel observationer över rapporteringsgräns, återstod 175 provplatser och 28 kemiska eller fysikaliska parametrar, dock med olika antal provplatser (tidsserier) per parameter. Analyskriterierna medför sannolikt en viss (oavsiktlig) premiering av särskilt reaktiva och snabbreagerande provplatser. Varje halt/mätvärde matchades mot en fyllnadsgrad utifrån plats och tidpunkt. Därefter genomfördes korrelationsanalyser mellan

- halt/mätvärde vid en given tidpunkt i förhållande till *momentan fyllnadsgrad*, d.v.s. fyllnadsgrad vid tidpunkten för provtagningen
- halt/mätvärde vid en given tidpunkt i förhållande till ett mått på *tidsförskjuten fyllnadsgrad*, i form av fyllnadsgradens medianvärde 10–180 dagar (i tidsintervall om 10 dagar) före uppmätt halt/mätvärde.

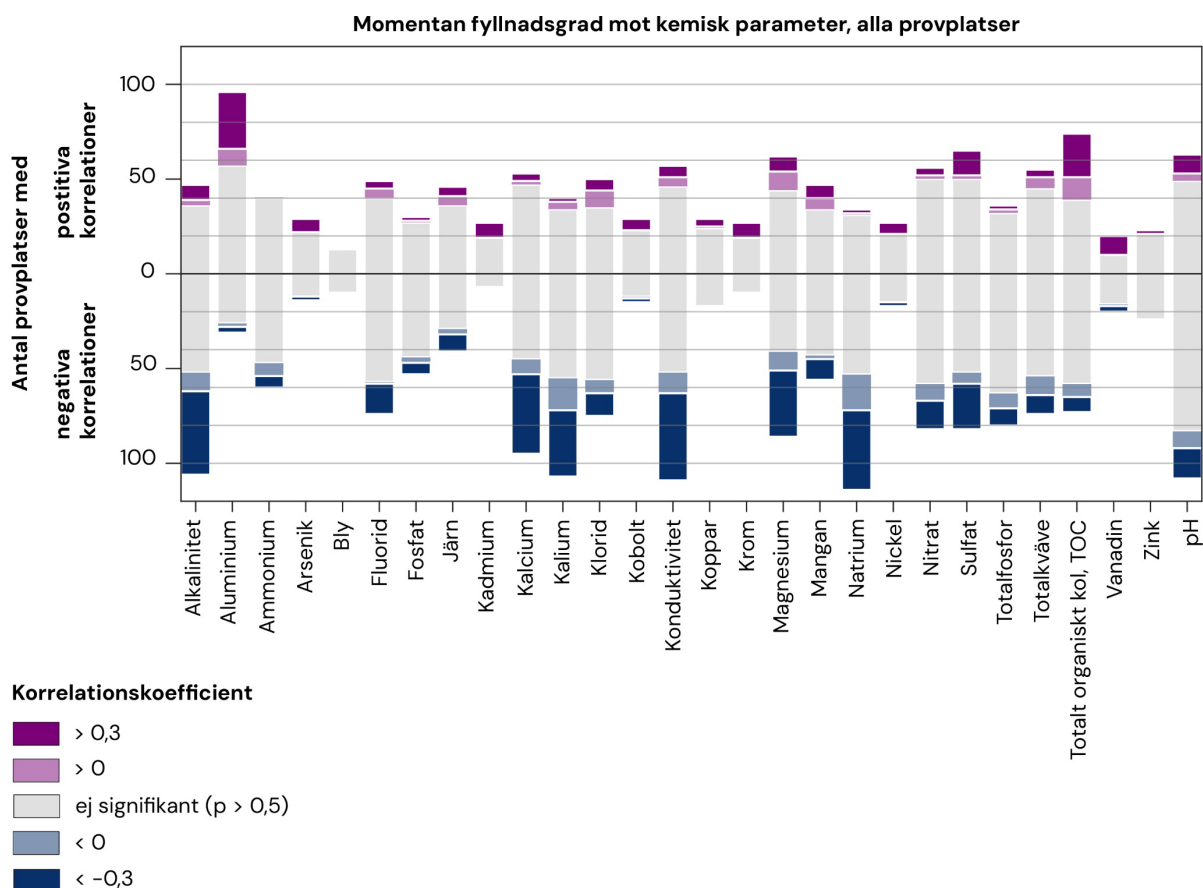
Gränsvärdet för statistisk signifikans har genomgående satts till 5 % ($p \leq 0,05$).

Korrelationsanalyser utfördes även mellan uppmätta grundvattennivåer och halt/mätvärde av olika parametrar för provplatser där nivåmätningar utförts (i observationsrör eller i brunnar). Analyskriterier motsvarande de som användes för korrelationsanalyser mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitet, tillämpades även här.

Resultaten av korrelationsanalyserna redovisas i sin helhet tillsammans med den fördjupande metodbeskrivningen i bilaga 1. I denna del presenteras ett urval av exempel och sammanfattade resultat.

Korrelation mot momentan fyllnadsgrad

Korrelationsanalyserna mellan halt/mätvärde och momentan fyllnadsgrad visar enligt förväntan en stor variation vad gäller sambandet mot fyllnadsgrad för respektive parameter (fig. 2). För samtliga parametrar gäller att en stor andel av provplatserna (tidsserierna) inte uppvisar signifikanta samband mot fyllnadsgrad. För vissa parametrar uppvisar betydligt fler provplatser negativa korrelationer, medan det för andra parametrar finns fler provplatser med positiva korrelationer. För de parametrar som domineras av negativa korrelationer, indikeras tendens till att oftare öka i koncentration vid lägre fyllnadsgrad och vice versa. Det motsatta gäller parametrar som domineras av positiva korrelationer.



Figur 2. Sammanfattande resultat för korrelationsanalyser mellan halter av olika parametrar och momentan fyllnadsgrad. Staplarna visar antal provplatser (tidsserier) med positiv respektive negativ korrelation, per parameter. Grå delar av staplarna motsvarar resultat för provplatser med icke-signifikant utfall. Lila och blå delar motsvarar statistiskt signifikanta positiva respektive negativa korrelationer. Färgstyrkan varierar beroende på korrelationskoefficientens styrka.

Sammanfattningsvis kan följande konstateras från korrelationsanalysen avseende ett urval av parametrar:

- För alkalinitet, konduktivitet (EC) samt dominerande kationer (Ca, K, Na, Mg) uppvisas för en majoritet av provplatserna negativ korrelation mot fyllnadsgrad. Sambandet är mindre tydligt för anjonerna klorid, nitrat och sulfat.
- För aluminium och flera andra metaller (arsenik, kadmium, kobolt, koppar, krom, nickel, vanadin), uppvisas för en majoritet av provplatserna positiv korrelation mot fyllnadsgrad.
- För totalt organiskt kol (TOC) uppvisas för en majoritet av provplatserna positiv korrelation mot fyllnadsgrad.

Resultaten är i stort sett i linje med framlagd hypotes avseende provplatser i öppna grundvattenmiljöer. Utfallet kan möjligen relateras till föreslagna förklaringsmodeller där graden av aktivering och bidrag av grundvatten med relativt längre uppehållstid varierar med grundvattennivån, liksom potentialen för utsköljning av ämnen som ansamlats i ytlig mark. Flera andra processer som också kan påverkas av grundvattennivåförändringar är sannolikt också av betydelse för utfallet; exempelvis redox- och pH-förändringar, kapaciteten för jonbyte mellan markpartiklarna och vatten, samt vittringshastigheter för olika mineral. Vidare torde delar av variationen i korrelationsanalysens utfall förklaras av en variation i grundläggande förutsättningar mellan utvärderade provplatser. Det gäller exempelvis grundvattenytans läge och amplitud i förhållande till marknivån, flödesdynamik, provplatsens djup, geologiska förhållanden och markanvändning.

Resultaten i figur 2 representerar sammantagna resultat oaktat grundvattenmiljö. Om resultaten delas upp per grundvattenmiljö kan vissa skillnader i utfall observeras. Figur 3 visar som exempel resultaten av korrelationsanalyserna separat för grundvattenmiljö 3 (morän och svallsediment), miljö 4 (isälvsavlagringar) respektive miljö 5 (slutna magasin i jord). Några övergripande observationer kan göras:

- Utfallet ter sig relativt samstämmigt för provplatser inom grundvattenmiljö 3 respektive 4. Andelen signifikanta korrelationer tycks dock generellt vara något högre inom grundvattenmiljö 3.
- Inom grundvattenmiljö 5 förefaller resultaten i vissa avseenden avvika mer tydligt mot övriga två grundvattenmiljöer. Exempelvis framträder ingen dominerande negativ korrelation avseende alkalinitet, konduktivitet och dominerande baskatjoner. Andelen signifikanta korrelationer är dock i nivå med den inom grundvattenmiljö 3, och för vissa parametrar (exempelvis aluminium) är resultaten mer entydiga för provplatser i grundvattenmiljö 5 än i grundvattenmiljöerna 3 och 4.

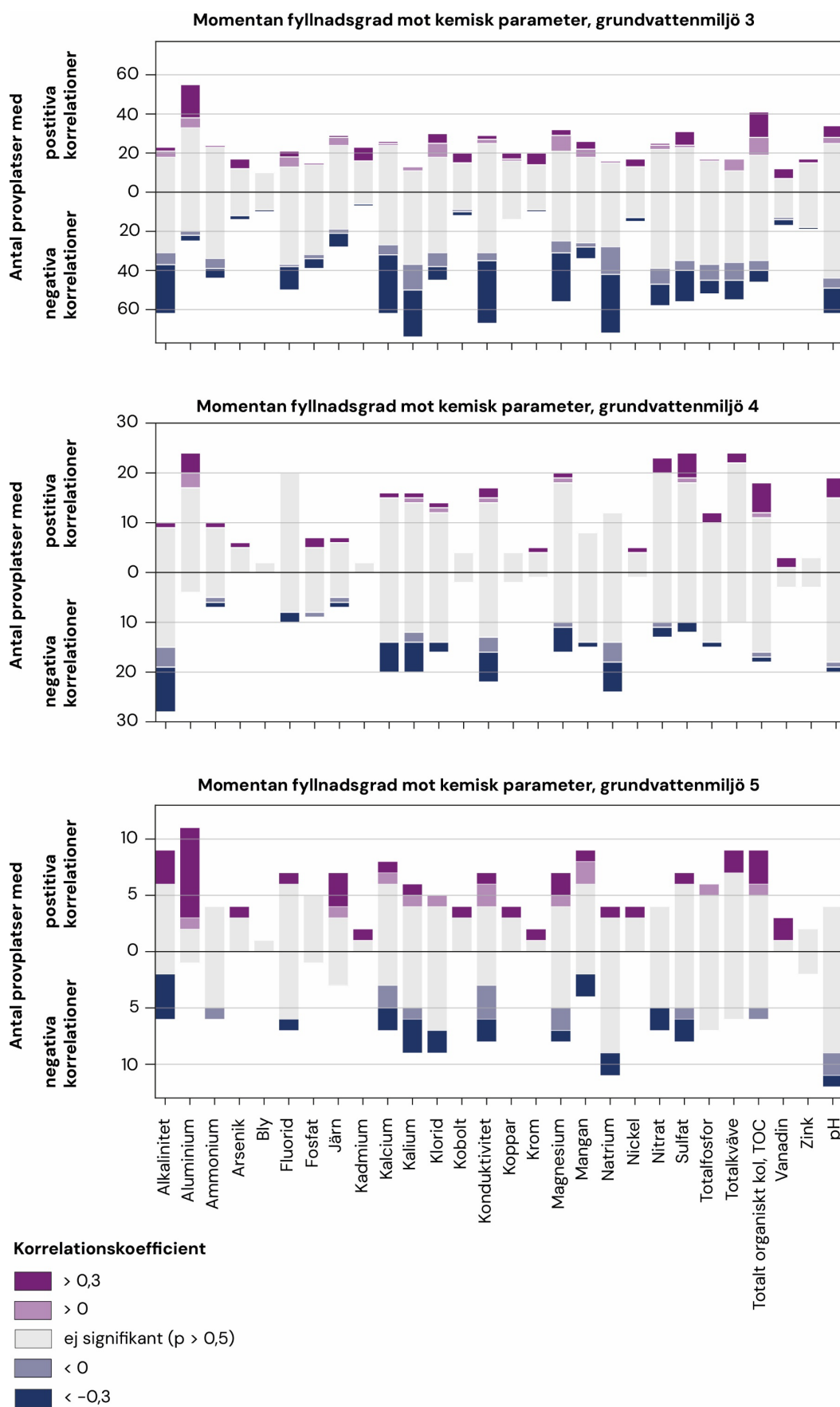
Den större likheten mellan utfallen för grundvattenmiljöerna 3 och 4, jämfört med grundvattenmiljö 5, ter sig logiskt utifrån att det i grundvattenmiljöerna 3 och 4 rör sig om öppna grundvattenförhållanden med andra förutsättningar för påverkan jämfört med de slutna förhållanden som råder för provplatser i grundvattenmiljö 5. Även i slutna magasin kan det dock tänkas att förändringar i trycknivå skulle kunna påverka grundvattenkvaliteten, exempelvis genom förändringar i CO₂-löslighet, pH, syresättning/redoxförhållanden och flödesdynamik.

Att andelen signifikanta korrelationer framstår som något högre för provplatser i grundvattenmiljö 3 jämfört med 4, kan bedömningsvis relateras till att isälvsavlagringar tenderar att utgöra förhållandevis större och, i förhållande till nivåförändringar, mer långsamt reagerande grundvattenmagasin jämfört med morän och svallsediment. Således borde förutsättningarna för momentan korrelation mellan fyllnadsgrad och halt/mätvärde vara relativt sämre för provplatser i grundvattenmiljö 4 jämfört med provplatser i grundvattenmiljö 3.

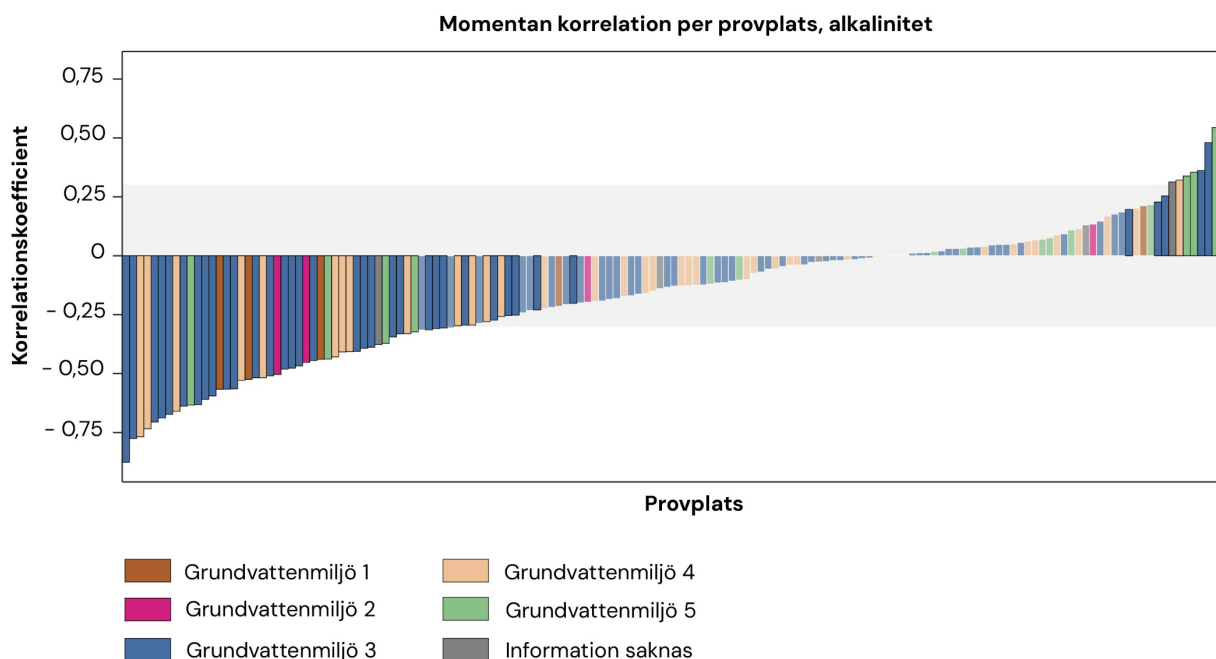
Värt att notera är även dominansen av provplatser från grundvattenmiljö 3 respektive 4 i underlaget som helhet (se de olika skalorna på y-axeln i fig. 3). Antalet provplatser inom grundvattenmiljö 5 är förhållandevis litet och underlaget från övriga grundvattenmiljöer är än mindre.

I figur 4 ges en kompletterande bild av hur korrelationen mellan fyllnadsgrad och kemiska eller fysikaliska parametrar, i detta fall alkalinitet, kan variera mellan olika provplatser och grundvattenmiljöer. Provplatser inom grundvattenmiljöerna 3 och 4 uppvisar liknande mönster med en tydlig majoritet negativa korrelationer, varav många är signifikanta, medan det inte föreligger någon tydlig indikation åt endera håll för provplatser från grundvattenmiljö 5. För grundvattenmiljö 1 (kristallin berggrund) och 2 (sedimentär berggrund) ingår endast ett fåtal provplatser, men de signifikanta korrelationer som observeras är negativa.

Variation i fyllnadsgrad indikeras kunna förklara en del av uppmätt variation i alkalinitet. I vilken utsträckning varierar dock tydligt mellan provplatser, också inom samma typ av grundvattenmiljö. Detta pekar mot betydande platsspecifika beroenden och en variation i styrande faktorer och processer.



Figur 3. Sammanfattande resultat för korrelationsanalyser mellan uppmätta halter av olika parametrar och momentan fyllnadsgrad för provplatser inom grundvattenmiljö 3 (morän och svallsediment), 4 (isälvsavlagringar) respektive 5 (morän och isälvssediment under lera och andra kohesionsjordarter). Notera varierande skala på y-axeln.



Figur 4. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och **alkalinitet** för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Grå rektangel markerar ett spann för förhållandevis svaga samband (korrelationskoefficient $\leq \pm 0,3$).

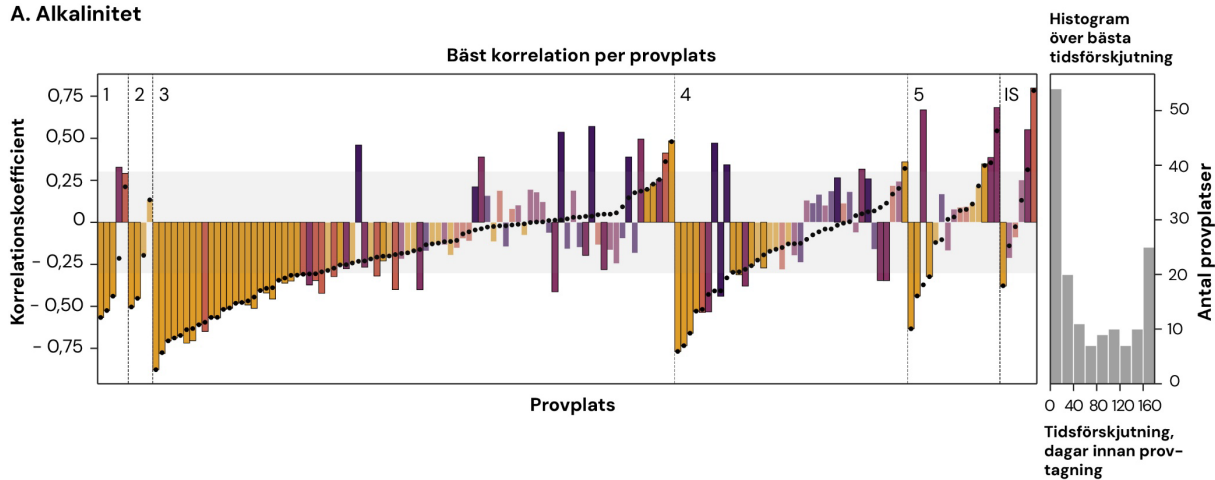
Korrelation mot tidsförskjutnen fyllnadsgrad

Resultat av korrelationsanalyser mellan uppmätta halter/mätvärden och tidsförskjutnen fyllnadsgrad exemplifieras genom diagram avseende alkalinitet, arsenik och mangan i figur 5. Diagrammen illustrerar att den momentana fyllnadsgraden, eller en kortare tidsförskjutning på maximalt 20 dagar, generellt uppvisar starkast korrelation mot halter av kemiska parametrar jämfört med längre tidsförskjutning för en stor andel av provplatserna. För samtliga kemiska parametrar gäller dock att vissa provplatser uppvisar sin starkaste korrelation vid längre tidsförskjutning. Det är relativt vanligt att den starkaste korrelationen uppträder vid förskjutning på 160–180 dagar vilket eventuellt kan vara en säsongrelaterad effekt.

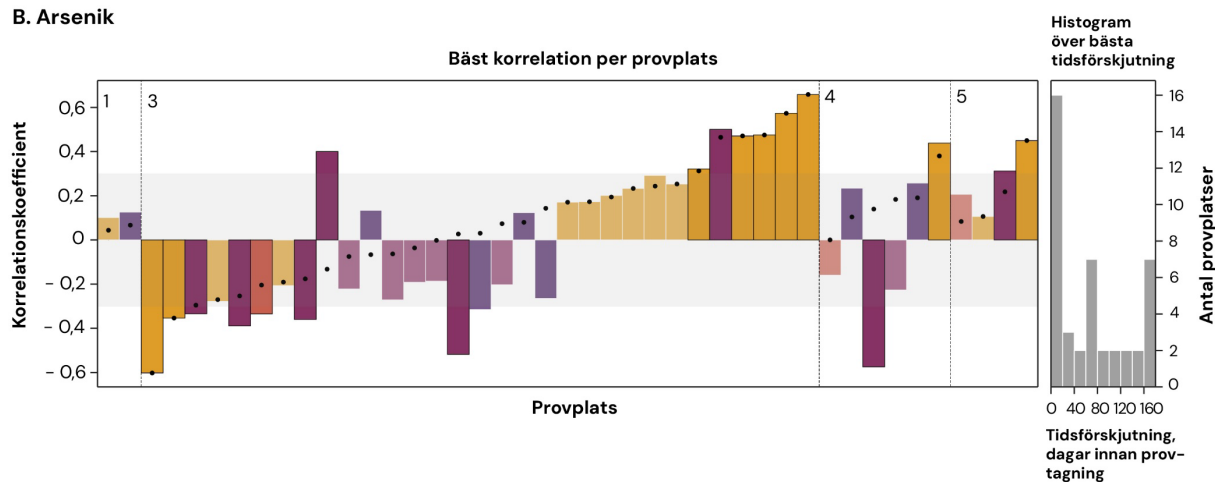
För de provplatser som redan uppvisar en relativt stark och signifikant momentan korrelation mot halter/mätvärden av en viss parameter, så förstärks sällan korrelationen vid tidsförskjutning av fyllnadsgraden. För de provplatser som saknar signifikanta momentana korrelationer är det dock relativt vanligt att starkare och signifikanta korrelationer observeras för vissa kemiska parametrar vid tidsförskjutnen fyllnadsgrad, i de fallen ofta med längre tidsförskjutning på 60–180 dagar. Ibland uppvisar i dessa fall också den tidsförskjutna korrelationen ett omvänt samband jämfört med den momentana. Även detta skulle möjligen kunna peka på genomslag av en åtminstone i vissa fall, säsongrelaterad effekt.

För enskilda provplatser kan en viss tidsförskjutning i flera fall ge den bästa korrelationen för flera parametrar samtidigt (exempelvis för flera metaller). Det förefaller också som att vissa enskilda parametrar korrelerar bättre mot tidsförskjutnen än momentan fyllnadsgrad för fler provplatser. Ett exempel är mangan, där fyllnadsgrad inom intervallet 0–20 dagar endast står för bäst korrelation för ungefär en fjärdedel av provplatserna. Inga tydliga skillnader observeras mellan de olika grundvattenmiljöerna. Underlaget är sannolikt begränsande för utvärderingen, eftersom det huvudsakligen härrör från ytliga, bedömt snabbreagerande provplatser för vilka eventuella fördröjningseffekter antas vara förhållandevis begränsade.

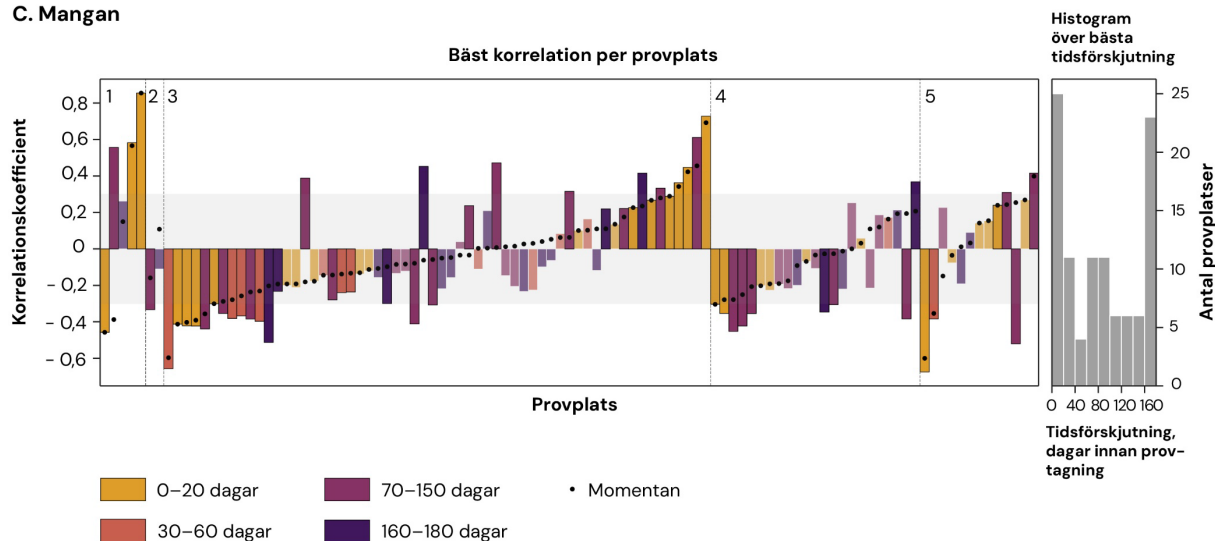
A. Alkalinitet



B. Arsenik



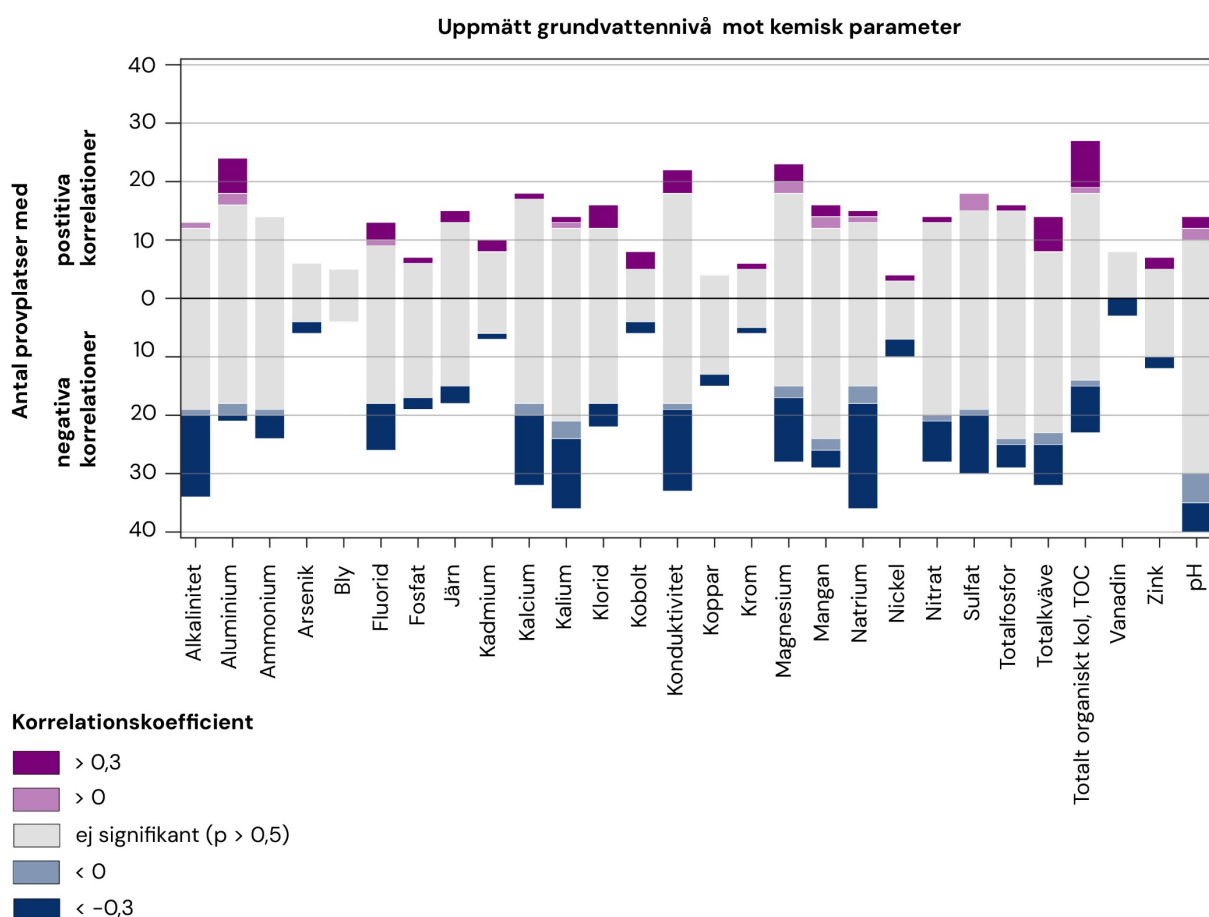
C. Mangan



Figur 5. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan tidsförskjutten fyllnadsgrad och **alkalinitet, arsenik och mangan** för respektive provplats. Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö och momentan korrelation. Stapeln färg visar vilken tidsförskjutning (lag) som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Histogram till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och den kemiska parametern i fråga.

Korrelation mot uppmätt grundvattennivå

I detta avsnitt redovisas resultat av utförda korrelationsanalyser mellan halter/mätvärden och uppmätta grundvattennivåer. En fördel med denna utvärdering är att den osäkerhet som kan finnas angående korrelation mellan modellerad fyllnadsgrad och uppmätt grundvattennivå elimineras. En nackdel är att underlaget för utvärderingen är mer begränsat till följd av att nivåobservationer endast funnits tillgängliga vid en del av provplatserna (rör, brunnar). Resultaten presenteras i figur 6.



Figur 6. Sammanfattande resultat för korrelationsanalyser mellan uppmätta halter/mätvärden av olika parametrar och uppmätt grundvattennivå. Ofärgade delar i diagrammet indikerar att resultaten ej är statistiskt signifikanta, alternativt att underlaget bedömts vara alltför begränsat för analys. Varje kolumn av staplar representerar resultat för en specifik provplats/tidsserie (se bilaga 1 för redovisning av vilka provplatser).

I stora drag framträder liknande samband som de som framträdde genom korrelationsanalysen mot fyllnadsgrad:

- Övervägande positiva korrelationer observeras mellan uppmätt grundvattennivå och halt aluminium, kobolt samt totalt organiskt kol (TOC). Inga tydliga samband kan dock uttydas här avseende exempelvis kadmium, krom, nickel eller vanadin som uppvisade övervägande positiva samband mot fyllnadsgrad. Underlaget är dock, för dessa parametrar, kraftigt begränsat för utvärderingen mot uppmätt grundvattennivå.
- Övervägande negativa korrelationer observeras mellan uppmätt grundvattennivå och majoriteten av övriga kemiska och fysikaliska parametrar. De negativa sambanden är särskilt tydliga för bland annat alkalinitet, ammonium, kalcium, kalium och natrium. Samtliga dessa parametrar visar liknande, men inte lika tydliga, samband i korrelationsanalysen mot fyllnadsgrad.

De parametrar vars resultat tydligast skiljer sig i korrelationsanalysen mot fyllnadsgrad respektive uppmätt nivå är arsenik och koppar. Analysen mot uppmätt nivå indikerar negativa samband för dessa parametrar, särskilt avseende arsenik, medan analysen mot fyllnadsgrad indikerar positiva samband.

Det finns flera möjliga orsaker till att korrelationsanalyserna mellan uppmätta grundvattennivåer respektive fyllnadsgrad och halter/mätvärden av kemiska och fysikaliska parametrar i vissa fall indikerar olika resultat. Till att börja med är underlaget för utvärdering olika. Det finns över lag mindre data att tillgå för utvärderingen mot uppmätt grundvattennivå, varför det för vissa parametrar saknas förutsättningar att utvärdera eventuella samband. Vidare saknas en viss typ av provplatser (källmiljöer) i utvärderingen mot uppmätt grundvattennivå, medan sådana ingår i utvärderingen mot fyllnadsgrad. En annan möjlig anledning till skillnaden i utfall, kan vara att det för vissa provplatser finns en mindre god överensstämmelse mellan uppmätt grundvattennivå och fyllnadsgrad. Detta kan till exempel inträffa om det vid provplatsen i fråga finns lokala hydrogeologiska förhållanden som avviker från de grundläggande antaganden som används vid modellering av fyllnadsgrad med SGU-HYPE.

Sammanfattningsvis kan dock konstateras att korrelationen mot uppmätt grundvattennivå, som alltså är ett mindre men säkrare dataunderlag, i huvudsak verifierar de resultat som erhållits från korrelationen mot fyllnadsgrad.

Sambandsanalyser, data från enskild vattenförsörjning

För att bredda utvärderingen av samband mellan grundvattennivå och grundvattenkvalitet, bland annat med avseende på typer av provplatser och grundvattenmiljöer, utfördes en jämförande utvärdering av fyllnadsgrad och uppmätta halter/mätvärden av olika parametrar från datamängden enskilda brunnar. Att använda denna datamängd innebär också att utfallet av utvärderingen direkt kan relateras till möjlig påverkan och effekter för enskild vattenförsörjning. Metodiken återges mer detaljerat i bilaga 2. Övergripande utfördes följande moment:

- Analysresultat från råvattenprover (prover uttagna innan någon form av rening) valdes ut.
- Varje analys matchades mot momentan fyllnadsgrad utifrån plats och tidpunkt.
- Varje enskilt parametervärde sorterades in under en av sex fyllnadsgradsklasser (ovanligt låg, låg, ganska låg, nära medel, ganska hög, hög–ovanligt hög).
- Statistiska percentilmått beräknades per parameter och fyllnadsgradsklass.

Data från grundvatten i jord respektive berg utvärderades separat, eftersom grundvattenkemiska och hydrogeologiska förutsättningar ofta är tydligt olika mellan dessa båda kategorier.

Det kan noteras att det inom datamängden finns en skevhet till fler utförda provtagningar under sommarhalvåret. Den tillämpade indelningen i fyllnadsgradsklasser avser att kompensera för detta. Skevheten beror till största del på att fler brunnar vid fritidshus provtas under sommarhalvåret, medan provtagningen av brunnar vid permanentboende är jämnare fördelade över året. Det bör vidare noteras att antalet observationer inom Norrlands inland liksom delar av Dalarna är begränsat jämfört med övriga delar av landet. Mer uttömmande information kring detta ges av bilaga 2.

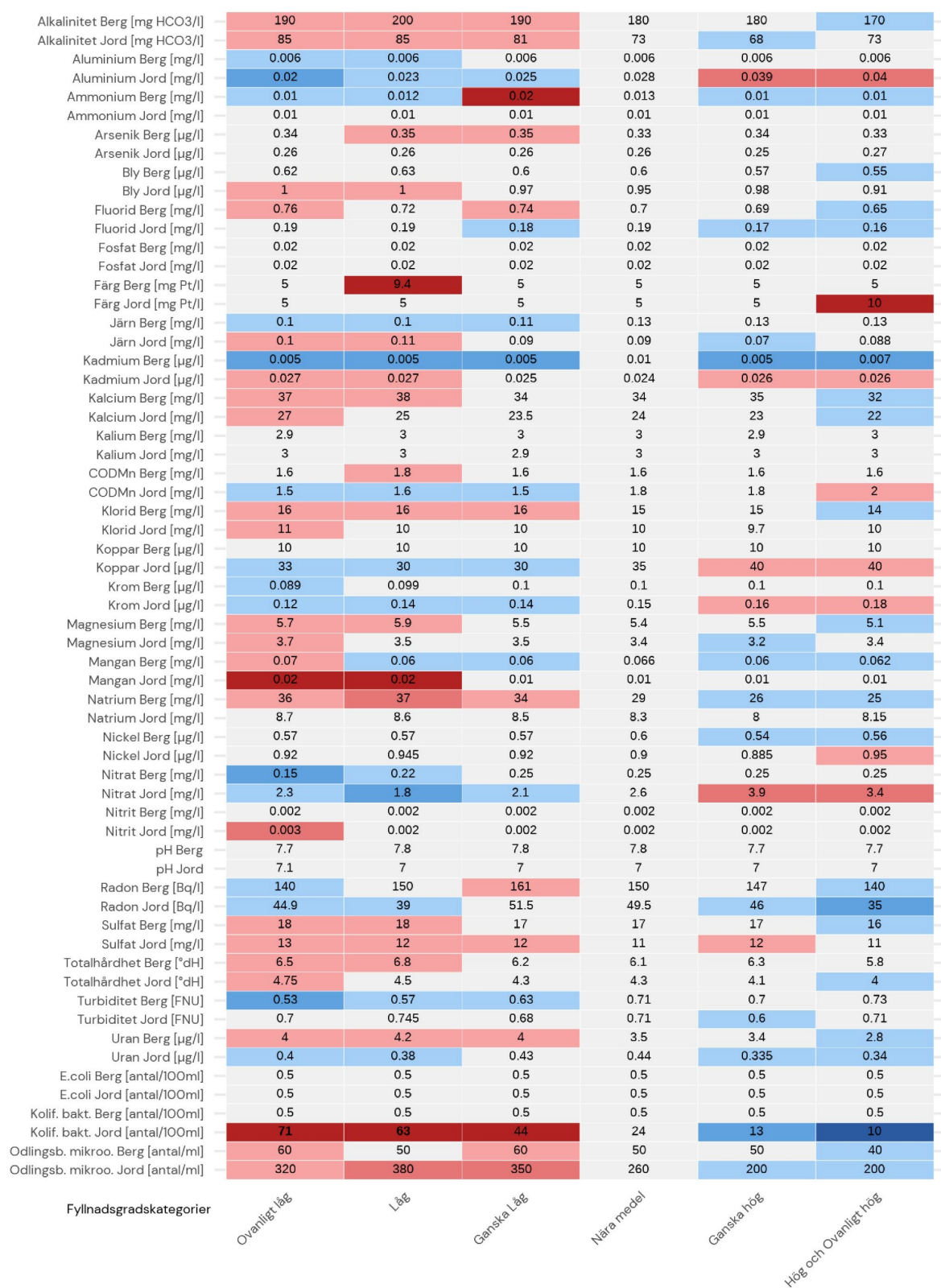
Resultat

Resultaten av sambandsanalysen mellan fyllnadsgrad och uppmätta halter/mätvärden inom datamängden enskilda brunnar redovisas mer uttömmande i bilaga 2. Här presenteras sammanfattade resultat liksom ett urval av exempel som bedömts särskilt intressanta och tydliga.

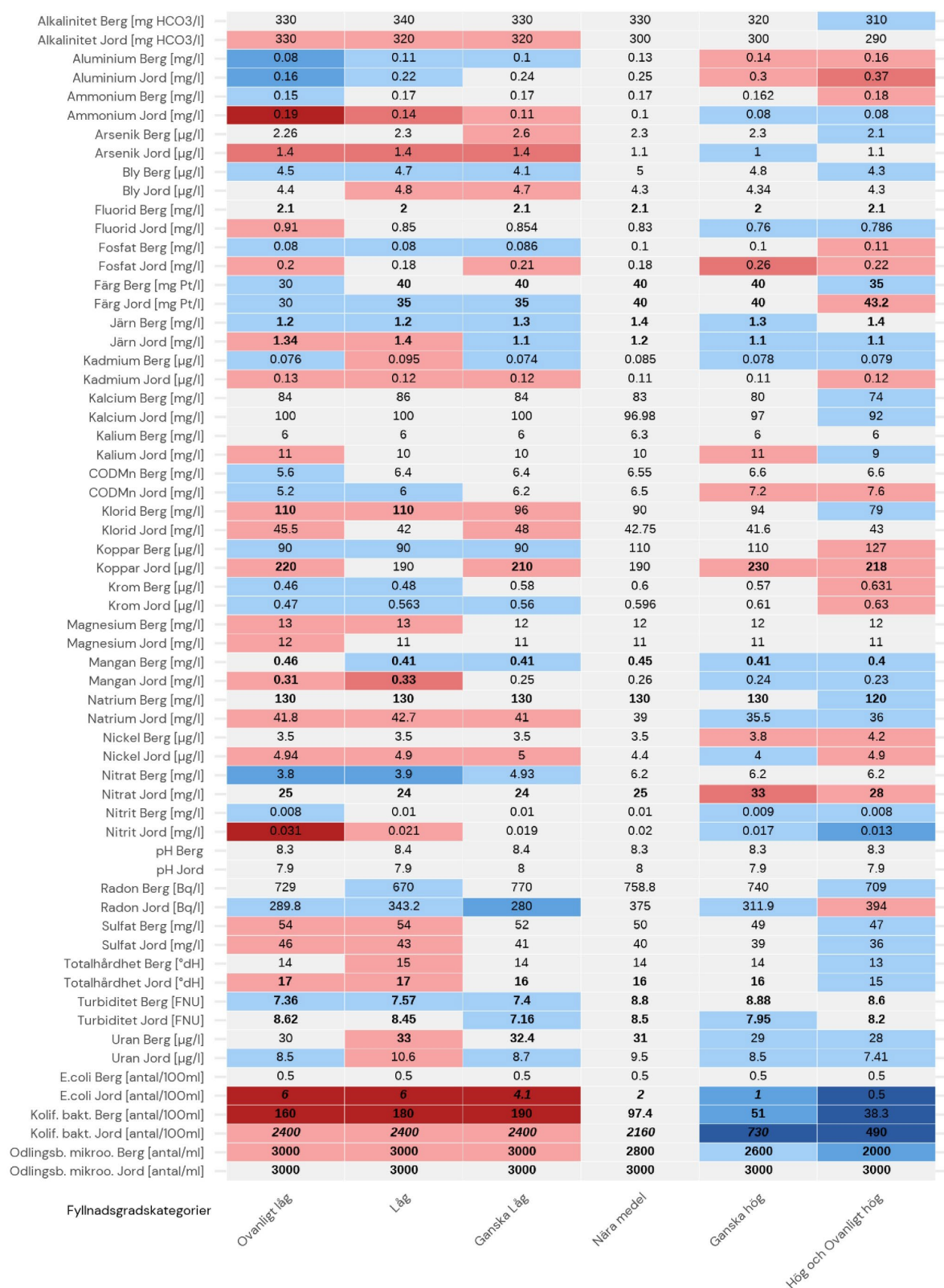
I figur 7 och 8 sammanfattas resultaten utifrån beräknade median- respektive P90-värden¹ av uppmätta halter/mätvärden. Varje rad representerar en parameter och observationer av densamma i grundvatten i jord respektive berg. Varje kolumn representerar en fyllnadsgradsklass. Varje cell innehåller således ett beräknat median/P90-värde för en given parameter, matris (grundvatten i jord/berg) och fyllnadsgradsklass. Beräknat värde inom fyllnadsgradsklassen ”nära medel” utgör, per rad, ett referensvärde som motsvarande värden inom övriga fyllnadsgradsklasser jämförs mot. Högre halter än referensvärdet för en given rad markeras med röd färg; ju starkare röd nyans desto högre relativ halt. Lägre halter än referensvärdet för en given rad markeras med blå färg; ju starkare blå nyans desto lägre relativ halt. Färgsättningen är avsedd att underlätta i uttydandet av eventuella samband mellan halt/mätvärde och fyllnadsgrad. Övergripande kan följande konstateras:

- Samband mellan halt/mätvärde och fyllnadsgradsklass indikeras förekomma för flera parametrar på medianvärdesnivå, vilket tyder på flera mer allmänt utbredda samband.
- I flera fall framträder sambanden först vid P90-nivån. Dessa samband kan tolkas som att många brunnar ligger i en miljö där den specifika parametern påverkas marginellt eller inte alls av en förändrad grundvattennivå, medan vissa (t.ex. 10 % av dem för fallet P90) ligger i en miljö där den specifika parametern påverkas av en lägre eller högre grundvattennivå.
- Haltavvikelser tycks, totalt sett, vara mer vanligt förekommande inom ytterkategorierna av fyllnadsgradsklasserna. Detta kan tolkas som att kvalitetsförändringar som i någon mån kan kopplas mot variation i grundvattennivå, ofta är mer påtagliga i förhållande till relativt större avvikelser eller skiftningar i grundvattennivå.
- Utfallet för en given parameter kan variera mellan observationer i grundvatten i jord respektive berg. Detta är rimligt i förhållande till ofta betydande skillnader i hydrogeologiska och -geokemiska förutsättningar.
- För nära nog samtliga parametrar underskrider beräknade medianvärden Livsmedelsverkets gällande riktvärden för mikroorganismer, kemiska ämnen och andra egenskaper i dricksvatten (version 2024-12-05). På P90-nivån förekommer dock flera sådana överskridanden.

¹ P90-värden avser 90:e percentilen av uppmätta parametervärden per parameter och fyllnadsgradsklass, och motsvarar ett värde som 90 % av värdena för den specifika parametern och fyllnadsgradsklassen ligger under eller är lika med. 90:e percentilen visar därmed också gränsen för de högsta 10 % av parametervärdena.



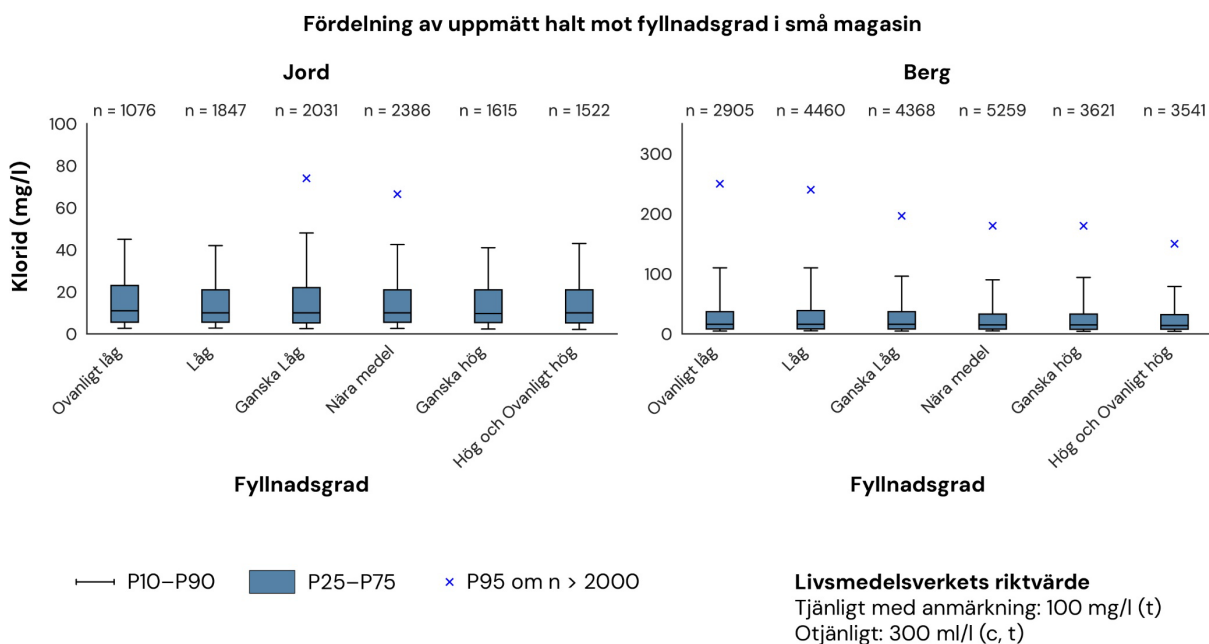
Figur 7. Beräknade medianvärden per parameter och fyllnadsgradskategori. Observationer i grundvatten i jord respektive berg skiljs åt. Färgsättningen utgår från respektive parameters medianvärde för fyllnadsgradskategorin "nära medel". Röda värden indikerar jämförelsevis högre värden, blå värden det motsatta (lägre värden). Fetstilade värden motsvarar halter över Livsmedelsverkets riktvärde *tjänligt med anmärkning* för dricksvatten.



Figur 8. Beräknade P90-värden per parameter och fyllnadsgradskategori. Observationer i grundvatten i jord respektive berg skiljs åt. Färgsättningen utgår från respektive parameters medianvärde för fyllnadsgradskategorin "nära medel". Röda värden indikerar jämförelsevis högre värden, blå värden det motsatta (lägre värden). Fetstilade värden motsvarar halter över Livsmedelsverkets riktvärde *tjänligt med anmärkning* för dricksvatten, fetstilade och kursiverade värden motsvarar halter över riktvärdet för *otjänligt*.

Mer specifikt, indikerar resultaten ett negativt samband mellan fyllnadsgrad och alkalinitet samt ett flertal baskatjoner. Sambandet är tydligast när beräknade medianhalter inom respektive fyllnadsgradskategori jämförs. Detta ligger i linje med korrelationsanalyserna baserade på data från trendövervakningen.

Avseende klorid och sulfat indikeras också dominerande negativa samband. Sambanden är som tydligast vid högre percentiler, och för klorid framför allt för observationer i grundvatten i berg (fig. 9). För såväl klorid som sulfat är det nära till hands att tänka sig att särskilt tydliga samband framför allt föreligger för den delmängd av utvärderade data som härrör från kustnära grundvatten och/eller relativt djupa brunnar under den så kallade marina gränsen². En kompletterande utvärdering där observationer av klorid från brunnar vid fritidshus hålls åtskilda från motsvarande observationer från brunnar vid permanentboenden, stödjer i någon mån åtminstone delar av en sådan förklaringsmodell. Även om sambandet mellan kloridhalt och fyllnadsgradsklass kan konstateras föreligga inom båda kategorier, är det tydligare avseende observationer i brunnar från fritidshus (se bilaga 2 för fördjupning). Detta skulle kunna bero på att en större andel av fritidshusen återfinns i en miljö där klorid kan förekomma i grundvatten i högre utsträckning, än vad som är fallet för permanentboenden.



Figur 9. Statistisk fördelning av kloridhalter inom varje fyllnadsgradskategori, grundvatten i jord respektive berg.

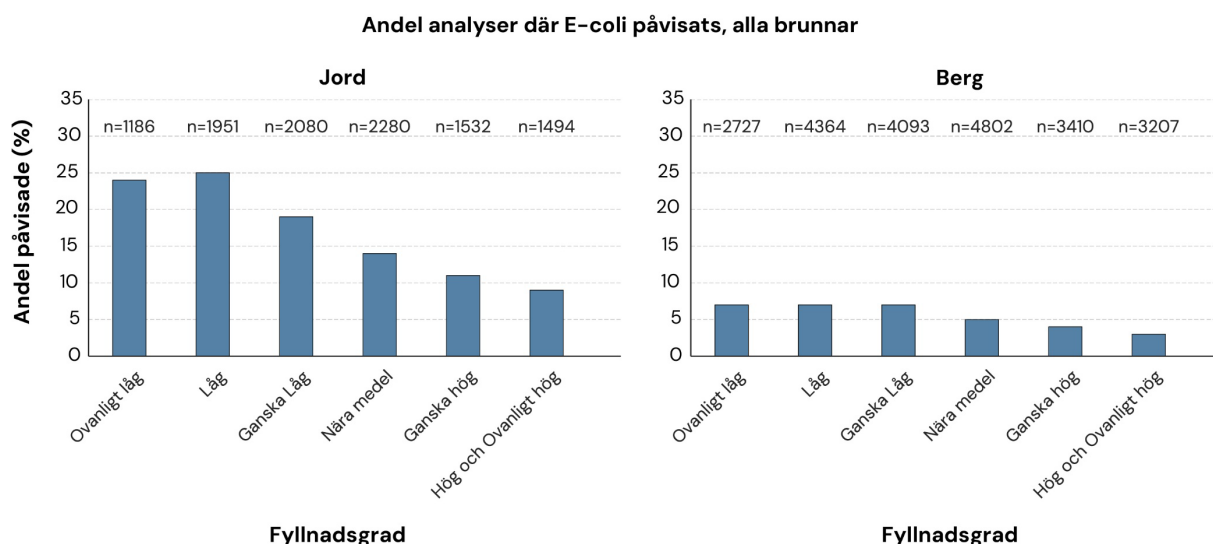
² Den högsta nivå till vilken havet nått under eller efter senaste istiden.

Vad gäller ämnesgruppen metaller syns inga genomgående, entydiga samband, vare sig för observationer i grundvatten i jord eller berg. För aluminium, koppar och krom tycks dock positiva samband huvudsakligen dominera, med högre halter vid lägre grundvattennivåer och vice versa. Dessa samband är som tydligast vid högre percentiler, men syns även med avseende på beräknade medianvärden och då tydligast avseende observationer i grundvatten i jord. Vad gäller koppar i grundvatten i jord, indikeras relativt högre halter vid såväl högre som lägre grundvattennivåer än ”nära medel”, på P90-nivån. För arsenik i grundvatten i jord, och bly i grundvatten i berg, indikeras i stället snarast negativa samband mellan halt och grundvattennivå. Det varierande utfallet är rimligt utifrån att ämnesgruppen metaller består av parametrar med betydligt varierande geokemiska och hydrogeokemiska egenskaper. Olika metaller kan därmed förväntas uppvisa såväl varierande känslighet, liksom olika typer av samband, i förhållande till förändringar i grundvattennivå och möjliga följdverkningar i fråga om exempelvis syresättning och dominerande uppehållstider. Vidare torde platsspecifika förutsättningar vara av stor vikt till följd av att olika metaller kan förekomma i mycket olika utsträckning och på olika sätt beroende på geologiska förutsättningar och mänsklig påverkan.

För kväveföreningar indikeras ett positivt samband föreligga mellan grundvattennivåer och halter av nitrat, detta på medianvärdesnivå. För ammonium och nitrit tycks tvärtom negativa samband föreligga mot grundvattennivå och då först vid högre percentiler och för grundvatten i jord. En möjlig förklaringsmodell till dessa samband är att höga grundvattennivåer ger en större andel relativt nybildat, väl syresatt vatten där nitrat kan förväntas dominera, medan lägre grundvattennivåer ger en större andel vatten med längre uppehållstid och sämre syresättning/reducerande förhållanden, som präglas av relativt lägre nitrathalter och möjlighet till förekomst av ammonium och nitrit.

De data från enskilda brunnar som använts omfattar även parametrar som inte analyseras inom trendövervakningen, exempelvis kemisk syreförbrukning (COD, vilket kan jämföras med TOC), färg och bakteriologiska parametrar. För COD och färg indikeras ett övervägande positivt samband mellan grundvattennivå och halt i grundvatten i jord. En möjlig förklaringsmodell, liksom tidigare framfört med avseende på TOC, är att högre grundvattennivåer ökar potentialen för mobilisering av naturligt organiskt material.

Avseende bakteriologiska parametrar (*E. coli*, koliforma bakterier och odlingsbara mikroorganismer), framträder ett tämligen genomgående negativt samband. Detta samband syns inte alltid på haltnivå (antal per volym), eller blir först tydligt vid högre percentiler. Anledningen till detta är att en stor andel prover inte alls innehåller dessa mikroorganismer. Ett alternativt sätt att redovisa sambandet för specifikt *E. coli* framgår av figur 10, där andelen prov med påvisad förekomst jämförs mot fyllnadsgradsklasserna. Här framträder ett negativt samband i förhållande till grundvattennivå, för brunnar i både jord och berg. En möjlig bidragande förklaring är att många enskilda brunnar har närliggande enskilda avloppsanläggningar, och att risken för flöde och bidrag från sådana kan öka vid lägre grundvattennivåer. Detta bland annat till följd av att avsänkningstrattar runt uttagsbrunnar kan förväntas breda ut sig över större områden i samband med låga grundvattennivåer. Liksom för klorid utfördes även för *E. coli*, en kompletterande utvärdering där observationer i brunnar vid fritidshus utvärderades separat från observationer i brunnar vid permanentboenden. Utfallen för de två kategorierna är snarlika (se bilaga 2 för fördjupning). Detta talar emot att ett samband mellan *E. coli* och grundvattennivå skulle vara en följd av exempelvis sämre underhållna fritidshusbrunnar.



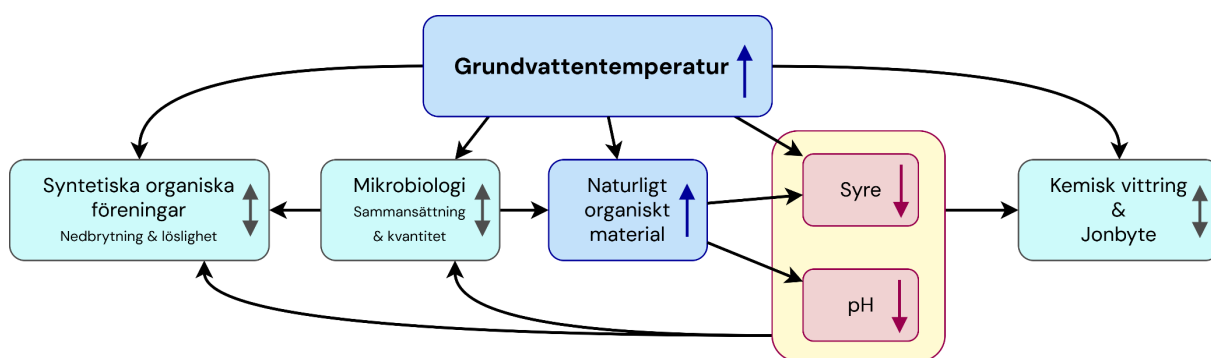
Figur 10. Andel prov med påvisad förekomst av E. coli inom varje fyllnadsgradskategori, grundvatten i jord respektive berg.

Halter av E. coli, men även koliforma bakterier, överskrider ofta Livsmedelsverkets riktvärden för ”tjänligt med anmärkning” respektive ”otjänligt” oavsett grundvattennivå, samtidigt som de indikeras vara högre vid lägre grundvattennivåer. Därför kan problem avseende mikrobiologisk förorening inom enskild vattenförsörjning tänkas öka i de delar av landet som förväntas få lägre grundvattennivåer under sommarhalvåret och längre perioder med grundvattentorka. Motsvarande mönster och potentiell problematik indikeras även avseende vissa kemiska parametrar, exempelvis mangan (brunnar i jord och berg), samt klorid i brunnar i berg.

Samband mellan grundvattentemperatur och grundvattenkvalitet

Grundvattentemperaturen kan ha en direkt påverkan på grundvattenberoende ekosystem (Jyväsjärvi m.fl. 2015) och effektiviteten i värmeutvinningssystem, men har också potential att påverka grundvattenkvaliteten genom en rad olika mekanismer. Vattnets temperatur påverkar gasers löslighet, organismers ämnesomsättning samt geokemiska processer såsom vittring- och jonbytesprocesser. Vattnets temperatur spelar också roll för organiska föreningars potential att frigöras från mark och för att brytas ned. I förlängningen finns potential för påverkan på exempelvis syretillgång, redoxförhållande och pH, vilket i sin tur kan leda till en bredare och mer komplex geokemisk påverkan, och förändrad löslighet för flera olika ämnen (fig. 11).

Mycket av den kunskap som finns rörande temperaturrelaterade förändringar i grundvattenkvalitet härrör från studier om användning av geotermisk energi. Dessa studier berör vanligen betydligt större temperaturförändringar i ett högre temperaturintervall än vad som kan förväntas orsakas i grundvatten av klimatförändringar i någon form av närtid. Under senare år har dock allt fler studier undersökt och belyst dels klimatrelaterade trender i grundvattentemperatur, dels effekter på grundvattenkvalitet av den typ av temperaturpåverkan som klimatförändringarna kan ha på naturliga, mer ostörda grundvattensystem. Sammantaget finns det nu flera studier som visar på tydligt ökande trender i grundvattentemperatur (se exempel i Egidio m.fl. 2024) och ett antal studier som visar på relaterad påverkan på grundvattenkvalitet (t.ex. Riedel m.fl. 2019, Neihardt och Shao 2023). Generellt understryks dock ett fortsatt behov av att närmare utreda frågan om grundvattentemperaturens påverkan på grundvattenkvaliteten i ett förändrat klimat.



Figur 11. Generell principskiss över teoretiska samband mellan grundvattentemperatur och ett urval av variabler för grundvattenkvalitet. Blå ruta med uppåtriktad pil indikerar förmodat dominerande ökning, röd ruta med nedåtriktad pil indikerar förmodat dominerande minskning och indigofärgad ruta med dubbelriktad pil indikerar variabler för vilka påverkan bedöms kunna vara mer skiftande och komplex.

Hypotes

Normalt sett penetrerar lufttemperaturens säsongsvariationer ned till omkring 10–20 meters djup under markytan, om än med en generell tendens till dämpning och fördröjning med djupet. Än djupare ökar normalt sett grundvattentemperaturen ganska förutsägbart i enlighet med den geotermiska gradienten, även om flera djupare borrhålsprofiler uppvisat mönster som bedöms vara nutida antropogen klimatpåverkan ända ned till 100–200 meters djup (SGU 2023b).

I södra Sverige motsvarar det relativt ytliga grundvattnets medeltemperatur ungefär årsmedeltemperaturen i luften, medan den i norra Sverige kan vara flera grader högre än lufttemperaturen på grund av snötäckets isolerande effekt och utebliven grundvattenbildning under årets kallare månader.

Under det senaste århundradet har medeltemperaturen i luft i Sverige ökat betydligt, och sedan 1988 har alla år med två undantag, varit varmare eller mycket varmare än genomsnittet för 1961–1990 (SMHI 2025a). I takt med att lufttemperaturen ökat och fortsätter att öka, är det således rimligt att tänka sig en analog trend i grundvattentemperatur. Global modellering, enligt klimatscenario SSP2-4.5.a-d, indikerar vidare för vår del av världen en ökning av grundvattentemperaturen i nivå med grundvattenytan på omkring 2–4 °C under innevarande sekel (Benz m.fl. 2024).

Utifrån den typ av samband mellan temperatur och grundvattenkvalitet som tidigare studier indikerat, torde provplatser inom trendövervakningen utöver att uppvisa en tydlig temperaturökning, i någon mån indikera samband mellan temperatur och ett flertal andra kemiska parametrar. Mot bakgrund av att grundvattenkvaliteten styrs av fler faktorer utöver temperatur, och då dessa faktorer ofta har ett betydande platsspecifikt beroende, bedöms det dock som mindre troligt att dessa samband skulle vara generellt entydiga. Företrädesvis borde dock uppmätt grundvattentemperatur vara

- positivt korrelerad mot halt organiskt material
- negativt korrelerad mot pH och löst syre.

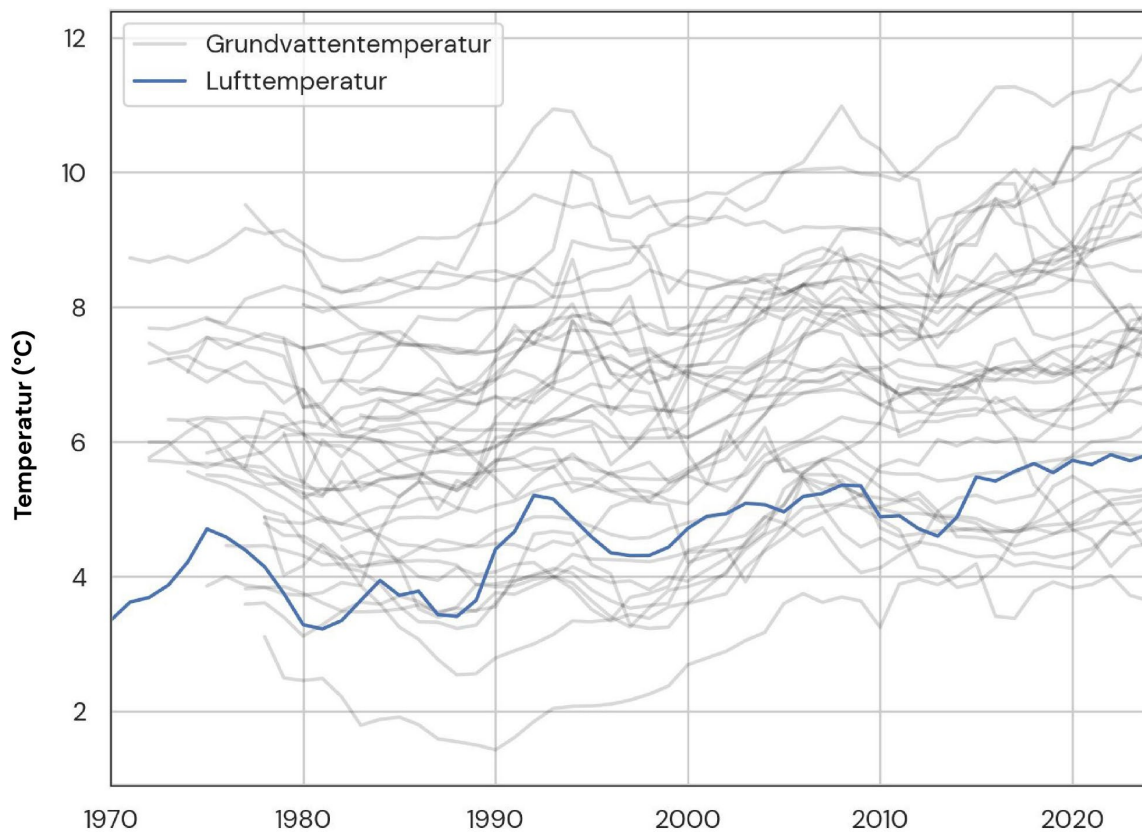
Eventuella effekter av andra processer, såsom exempelvis vittring och jonbyte, bedöms vara förhållandevis svårare att uttolka och/eller vara generellt mer begränsade. Detta dels utifrån osäkerheter kring vilka temperaturförändringar som kan antas ha en tydlig effekt i förhållande till dessa processer, dels utifrån att effekter av dylika processer kan tänkas präglas av en viss fördröjning.

Trendanalys, grundvattentemperatur

För att undersöka trender i grundvattentemperatur utvärderades tidsserier från trendövervakningen. Kriterierna för att inkludera en given tidsserie var att den skulle sträcka sig över minst 30 år, och omfatta minst två mättillfällen per år. Trendanalysen utfördes enligt metoden Mann-Kendall (Hussain & Mahmud 2019).

Totalt 37 tidsserier (provplatser) bedömdes kvalificerade för att ingå i trendanalysen av grundvattentemperatur, varav 28 (ca 75 %) härrör från naturliga källor. Flera av tidsserierna sträcker sig nästan 50 år tillbaka i tiden.

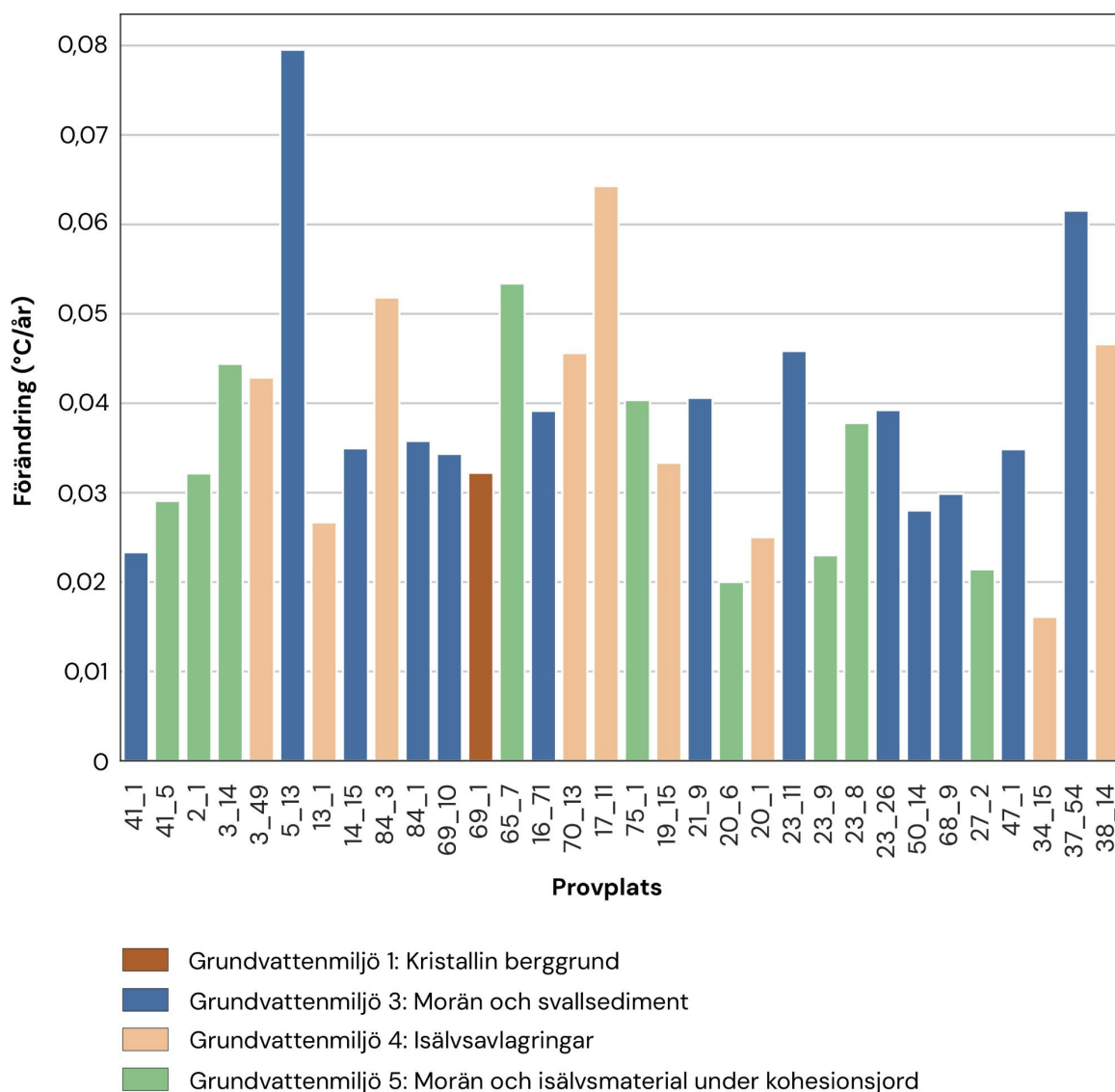
Av de 37 tidsserierna uppvisar 35 en ökande temperaturtrend, varav 32 är statistiskt signifikanta (fig. 12). Den uppåtgående trenden tycks över lag ta fart omkring 1990, vilket överensstämmer med utvecklingen i luft.



Figur 12. Förändring av temperatur i grundvatten (tidsserier från trendövervakningen med signifikant ökande trend) respektive luft (hela Sverige; SMHI 2025a) under de senaste ca 55 åren. Figuren bygger på rullande medelvärdesbildning med tidsfönster om fem år.

Med utgångspunkt i referensåret 1988, varierar medeltemperaturökningen för de provplatser som har en signifikant ökande trend under tidsperioden 1988–2023, mellan ca 0,025 och 0,15 °C/år, med ett medianvärde på omkring 0,04 (fig. 13). Detta motsvarar en genomsnittlig temperaturökning på cirka 1,5 °C över de senaste 35 åren. Liknande temperaturökningar har rapporterats från ytliga jordmagasin i exempelvis Tyskland och Österrike (referenser i Neihardt och Shao 2023).

Enligt SMHI har förändringen av årsmedeltemperaturen i luft under senare decennier, varit som kraftigast i norra och östra Sverige (SMHI 2025b). Motsvarande geografiska mönster går inte att tydligt utläsa i denna utrednings utvärderade grundvattendata, vilket möjligen kan relatera till att en stor del av grundvattenbildningen i norr sker när vattnet är nära 0 grader i samband med snösmältning. Det tycks inte heller föreligga någon tydlig trend eller tydligt samband mellan typ av grundvattenmiljö och temperaturökning. Då utvärderade data huvudsakligen bedöms representera relativt ytliga och snabbreagerande provplatser, är det dock osannolikt att något sådant mönster skulle kunna framträda genom denna utvärdering. Värt att notera är dock att även provplatser i slutna och förmodat mer långsamreagerande och mindre känsliga grundvattenmiljöer, uppvisar liknande temperaturtrender som övriga provplatser. Detsamma gäller den enda provplatsen i kristallint berg (> 100 m djup, med foderrör till 17 m under markytan).

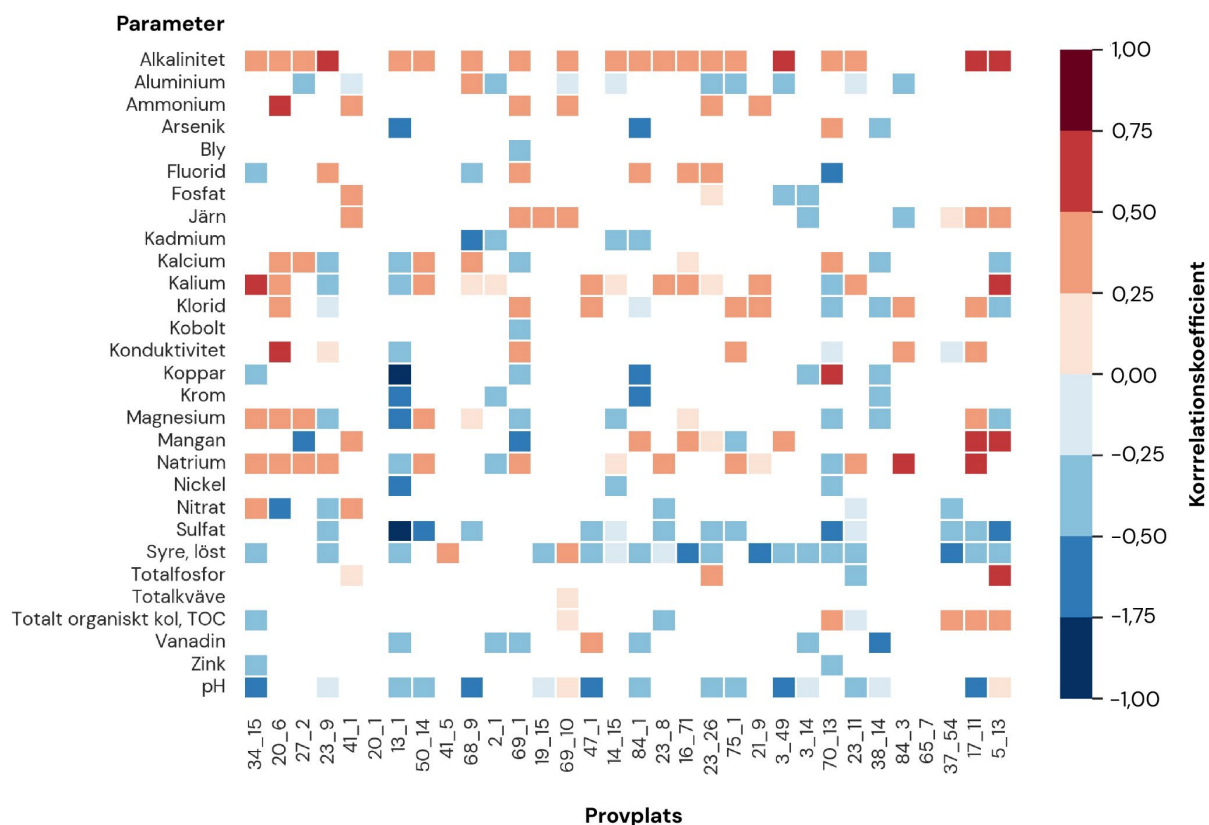


Figur 13. Årlig medeltemperaturförändring över perioden 1988–2023, för provplatser med signifikant ökande trend under samma period. Staplarna (provplatserna) är sorterade geografiskt, från söder (vänster) till norr (höger).

Korrelationsanalys, grundvattentemperatur mot grundvattenkemi

För att undersöka eventuella samband mellan grundvattentemperatur och grundvattenkvalitet utfördes korrelationsanalyser mellan grundvattentemperatur och kemiska halldata. Utgångspunkt för analyserna var de 32 provplatserna med statistiskt signifikant temperaturökning enligt tidigare trendanalys. Korrelationsanalyser utfördes för de parametrar för vilka det fanns minst 30 matchande värden av grundvattentemperatur respektive halt/mätvärde. Metodiken följer i stora drag korrelationsanalysen mellan fyllnadsgrad och halt (bilaga 1).

Resultaten av korrelationsanalysen framgår av figur 14. För flera parametrar och provplatser föreligger begränsningar i dataunderlag alternativt icke-signifikanta resultat.



Figur 14. Sammanfattande resultat för korrelationsanalyser mellan uppmätta halter/mätvärden av olika parametrar och uppmätt grundvattentemperatur. Ofärgade delar i diagrammet indikerar statistiskt ej signifikanta resultat, alternativt för lite underlag för analys. Sorteringen av provplatser är gjord utifrån beräknad medeltemperaturförändring per år, från lägst (vänster) till högst (höger).

För ett mindre antal parametrar finns såväl förhållandevis gott underlag som tydliga, nära nog konsekventa samband vilket indikerar samvariation i fråga om exempelvis säsongsvariation, och i förhållande till långsiktig trendutveckling:

- Syrehalt, pH och sulfat korrelerar så gott som genomgående negativt med temperatur. Avseende syre och pH är resultaten i linje med uppställd hypotes och möjliga förklaringsmodeller inkluderar lägre gaslöslighet samt ökad nedbrytning av organiskt material i såväl mark som grundvatten vid högre temperaturer. Avseende sulfat är orsaken till sambandet inte klarlagt.
- Alkalinitet uppvisar genomgående positiv korrelation med temperatur, det vill säga ökande alkalinitet med ökande temperatur. Baskatjonerna kalium och natrium uppvisar liknande mönster. Även om grundvattentemperatur påverkar såväl vittrings- som jonbytesprocesser, torde möjlig påverkan på dessa processer vara mycket begränsad i förhållande till aktuella temperaturförändringarna.

TOC uppvisar inget konsekvent samband gentemot temperatur. Utifrån korrelationsanalysen är det alltså inte tydligt att mängden organiskt material i grundvattnet ökar med temperaturen, vilket möjligen kan relateras till parallellt ökad potential för nedbrytning.

För enskilda metaller är underlaget generellt mer begränsat och/eller mer tvetydigt vad gäller relationen till temperatur. Totalt sett indikeras dock övervägande negativ korrelation mellan halter av ett flertal metaller och grundvattentemperatur, exempelvis aluminium, arsenik, koppar, krom, nickel och vanadin. Avseende järn och mangan är tendensen den motsatta och tyder huvudsakligen

på en positiv korrelation. Som tidigare framfört, torde olika metallers olika geokemiska och hydrogeokemiska egenskaper vara en förklaring till det varierande utfallet.

Sammantaget pekar resultaten på att den temperaturökning som konstaterats för en majoritet av de utvärderade tidsserierna under de senaste decennierna, åtföljts av en påverkan på pH liksom syrehalt i motsvarande stationer. Såväl pH som syrehalt är styrande för löslighet och mobilitet av flera andra i grundvatten förekommande ämnen. Parametrarna är också centrala variabler vad gäller nedbrytning av organiskt material och i förekommande fall syntetiska organiska föroreningar, och har potential att påverka vittrings- och jonbytesprocesser. En bredare påverkan avseende grundvattnets kvalitet ter sig därmed som möjlig, om än mer komplex att uttolka.

Det bör noteras att det i underlaget och resultaten, föreligger en risk för skenbara samband. Sådana skulle kunna uppstå exempelvis genom en kombination av säsongsbunden haltvariation i förhållande till grundvattennivå (för vilken ytlig grundvattentemperatur skulle kunna vara en proxy), och/eller en parallell trend för en given parameter. Potential för sådana skenbara samband bedöms exempelvis kunna föreligga avseende alkalinitet genom den försurningsåterhämtning som pågått under den aktuella mätperioden, och för sulfat i förhållande till förändrad sammansättning i nederbörd och markvatten (Pihl Karlsson m.fl. 2024).

Erfarenheter från kommunala vattenproducenter

För att låta kunskapsinhämtningen och därmed uppdraget omfatta ett bredare spektrum av grundvattenförhållanden än vad utvärderingarna av data från trendövervakning och enskilda brunnar medger valde SGU att även skicka ut en enkät till kommunala VA-huvudmän.

Den allmänna grundvattenbaserade vattenförsörjningen har ofta betydande beroenden mot förhållandevis större och potentiellt mer långsamreagerande grundvattenmagasin än vad utvärderingarna av data från trendövervakning och enskilda brunnar bedöms omfatta.

Tillgången till ostörda, högupplösta tidsserier från större och mer långsamreagerande grundvattenmagasin och -miljöer är förhållandevis begränsad. Den stora massan av grundvattenkemiska data från denna typ av magasin och miljöer härrör främst från vattenproducenternas råvattenkontroll, som kan variera i utformning och där det ofta bedöms finnas stora beroenden mot pumpning och uttag. SGU har tidigare bedrivit frivilligbaserad insamling av vattenproducenternas råvattenkontroll, men för närvarande saknas nationell förvaltning av densamma.

Enkäten genomfördes i ett webbaserat verktyg och skickades ut till totalt 210 huvudmän, vilket var samtliga som SGU identifierade som möjliga mottagare. Enkäten var öppen under knappt två månader (23 juni till 14 augusti 2025). Vid otydligheter togs kompletterande kontakter, i de fall som bedömdes särskilt intressanta, för att bättre förstå sammanhang, svar och observationer.

Totalt inkom 160 svar, vilket motsvarar en svarsfrekvens på 77 procent. I vissa fall har en större VA-organisation svarat för sin vattenproduktion som helhet, i andra fall per ingående kommun. I enstaka fall har svar inkommit från en enskild kommun såväl som en större VA-organisation denna kommun är en del av. Svaren representerar sammanlagt 200 av Sveriges 290 kommuner, med god spridning sett såväl till geografi som geologi.

Enkäten återfinns i sin helhet i bilaga 3. Frågorna ställdes så att det per VA-huvudman skulle gå att skapa en överblick över den allmänna vattenförsörjningen utifrån följande faktorer:

- Grundvattenberoende.
- Råvattenkontroll.
- Observationer av påverkan på grundvattentillgång som kan eller skulle kunna relatera till klimat.
- Observationer av påverkan på grundvattenkvalitet som kan eller skulle kunna relatera till klimat.
- Observationer av påverkan på dricksvattenkvalitet som kan eller skulle kunna relatera till klimat.
- Eventuella utförda utredningar relaterade till klimatpåverkan på grundvattenresursen.
- Eventuella utförda åtgärder relaterade till klimatpåverkan på grundvattenresursen.

Frågorna om råvattenkontroll och utredningar var tänkta att skapa en bild av VA-huvudmännens förutsättningar för att överhuvudtaget kunna observera påverkan.

Svaren redovisas här på aggregerad nivå, med fördjupningar utifrån fritextsvar och kompletterande kontakter.

Grundvattenberoende vattenförsörjning

En majoritet av respondenterna (56 %) har en dricksvattenproduktion som till 75 % eller mer är baserad på grundvatten. Knappt 30 % anger en andel lägre än 25 %. Inom intervallet 25–75 % ryms 11 % av respondenterna. Bedömningen är att det finns en viss överrepresentation av förhållandevis mer grundvattenberoende huvudmän bland respondenterna. En (1) av respondenterna anger grundvattenberoende enbart i fråga om reservvatten. Sju respondenter valde svarsalternativet ”Har ej grundvattenbaserad dricksvattenproduktion”. För dessa sju avslutades därmed enkäten, varför kommande frågor enbart omfattar svar från vattenproducenter med någon form av grundvattenberoende.

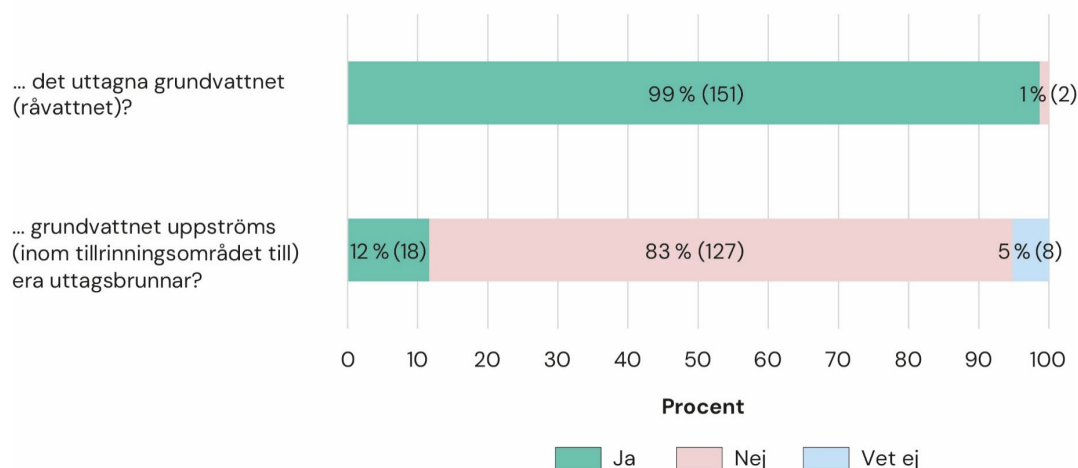
Flera fritextsvar indikerar ett ytvattenberoende för grundvattenuttaget, genom naturlig inducering och/eller genom konstgjord, kontrollerad grundvattenbildning. Det är också tydligt att det inom kommuner ofta kan finnas beroenden mot ett flertal olika typer av råvattenkällor. Vidare ges exempel på att grundvattenberoendet för en given kommun kan vara litet sett till total produktionsvolym, men samtidigt betydande i fråga om det totala antalet råvattentäkter. Detta exempelvis för det fall då en centralort försörjs via ytvatten, men mer glesbebyggda områden via mindre grundvattentäkter.

Råvattenkontroll

Nära nog alla respondenter anger att man regelbundet låter analysera sitt råvatten (fig. 15). Av de som utvecklat sitt svar, hänvisar de flesta till Livsmedelsverkets dricksvattenföreskrifter, vilket innebär en kontroll vars omfattning och frekvens i utgångsläget styrs av produktionsvolym (LIVSFS 2022:12). Minimikravet för alla grundvattenbaserade dricksvattenproducenter är att, beroende på produktionsvolym, analysera sitt råvatten 1–24 ggr/år med avseende på en uppsättning bakteriologiska parametrar samt färg, konduktivitet, mangan, pH och turbiditet. Med råvatten avses råvatten vid intagspunkt till vattenverket. Utifrån fritextsvaren tycks detta ibland innebära råvatten från specifika brunnar, ibland ett blandvatten från olika brunnar.

Analyserar ni regelbundet vattenkvaliteten i ...

(n = 153)



Figur 15. Antal och andel svar per svarskategori avseende råvattenkontroll.

Utöver miniminivån för råvattenkontrollen, ska en faroanalys utföras. Utifrån faroanalysen ska analysomfattning och -frekvens anpassas utifrån konstaterade behov. Flera av respondenterna nämner också en kombination av en förhållandevis mer frekvent, men i fråga om parameteruppsättning mindre omfattande kontroll, och en mindre frekvent men parametermässigt mer omfattande kontroll. Syntetiska organiska föroreningar nämns ställvis som en del av en regelbunden råvattenkontroll, framför allt PFAS.

Regelbunden analys av vattenkvaliteten uppströms uttagsbrunnar framstår som mycket ovanligt då bara 12 procent (18 respondenter) anger att de har en sådan kontroll. Detta indikerar att eventuella förändringar och variationer i råvattenkvaliteten först kan upptäckas och konstateras i uttagspunkten, för de flesta VA-huvudmän.

Observerad påverkan

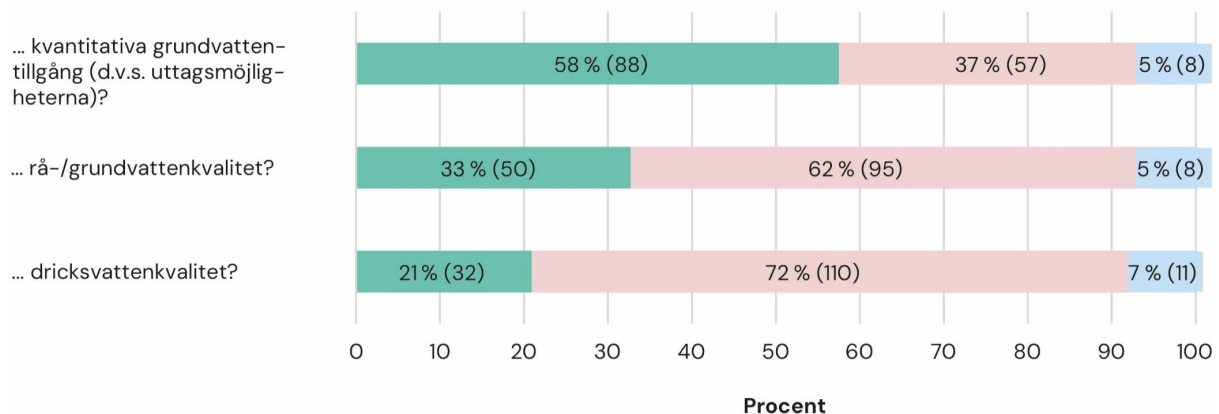
Utgångspunkten för enkäten var att relativt få VA-huvudmän skulle ha identifierat påverkan, som med säkerhet skulle kunna hänföras till påverkan av klimatförändringar, på sin grundvattentillgång eller grundvattenkvalitet. Detta inte nödvändigtvis på grund av avsaknad av sådan påverkan, utan också för att ett sådant konstaterande ställer stora krav på datatillgång samt tid och resurser för utvärdering. Syftet med enkäten var inte heller enbart att ringa in konstaterad påverkan, utan även att erhålla information som skulle gå att relatera till aspekter av utsatthet och robusthet i förhållande till klimatförändringar i bredare bemärkelse.

Således ställdes relativt breda frågor om så kallad ”observerad påverkan”, i syfte att ringa in förändringar och/eller variationer i grundvattentillgång, grundvattenkvalitet och dricksvattenkvalitet. Dessa frågor skulle inte bara direkt, utan även mer indirekt, kunna relateras till en potentiell klimatpåverkan nu eller framöver. ”Observerad påverkan” innebär således ingen genomgående direktöversättning av klimatpåverkan, men kan ses som indikativt för potential eller robusthet för klimatpåverkan nu och i framtiden.

Figur 16 visar en sammanställning av hur svaren fördelar sig vad gäller så kallad observerad påverkan avseende grundvattentillgång, grundvattenkvalitet respektive dricksvattenkvalitet. Svarsalternativ och svar inom respektive kategori utvecklas i avsnittets underrubriker. Det kan konstateras att andelen ja-svar (observationer) är som högst avseende grundvattentillgång, för att sedan sjunka avseende rå-/grundvattenkvalitet respektive dricksvattenkvalitet.

Har ni observerat påverkan av klimat, väder eller klimatförändringar på er ...

(n = 153)



Figur 16. Aggregerade svar avseende så kallad "observerad påverkan" avseende klimat, väder eller klimatförändringar.

Grundvattentillgång

Frågan som ställdes var: "Har ni observerat påverkan på er kvantitativa grundvattentillgång (d.v.s. uttagsmöjligheterna) av klimat, väder eller klimatförändringar?". Flera svarsalternativ gavs och tilläts, inklusive möjligheter till utveckling i fritext. En majoritet av respondenterna (58 procent) svarade ja på ett eller flera svarsalternativ. Figur 17 redovisar fördelningen av observationer för de olika alternativen för ja-svar samt "vet ej". Det bör noteras att svaren angivits per huvudman och inte per grundvattenmagasin.

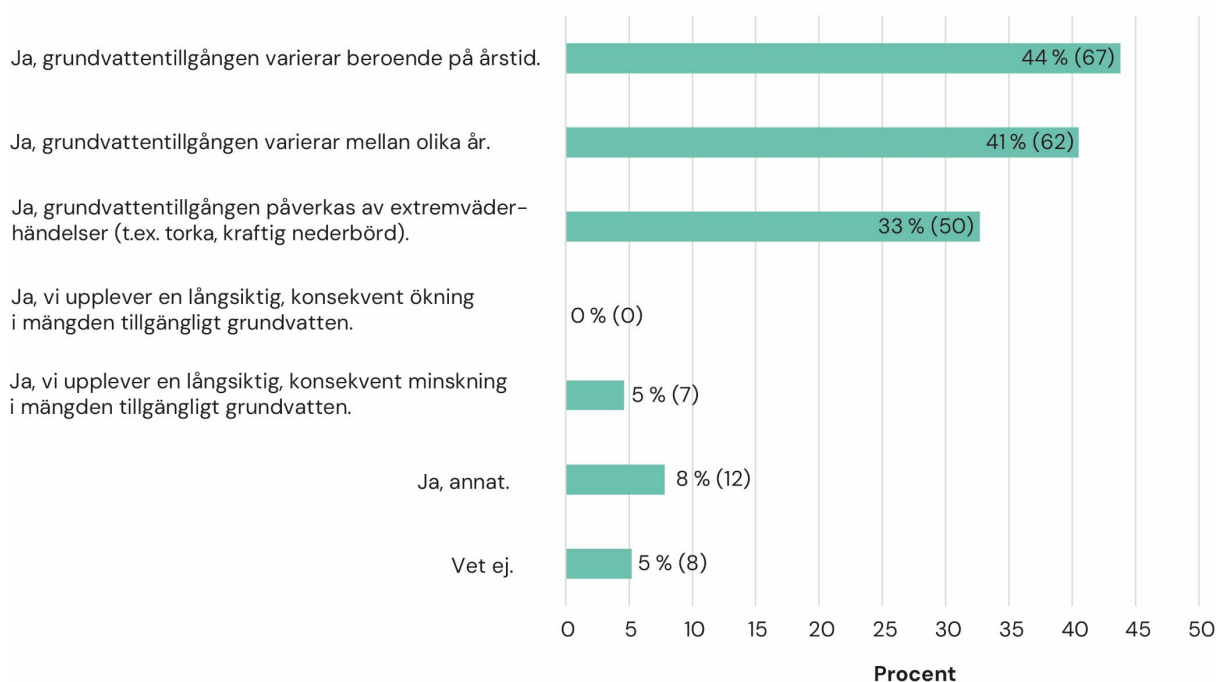
De absolut flesta ja-svaren avser observationer av variabilitet i grundvattentillgång i förhållande till säsong och/eller år (de som svarat ja på det ena, har i en majoritet av fallen svarat ja också på det andra). Bland de som angivit säsongs- och/eller mellanårsvariation, har flera också angivit observerad påverkan i samband med extremväderhändelser. Endast i undantagsfall anges observerad påverkan i förhållande till extremväderhändelser utan någon annan form av påverkansobservation.

Ingen svarande anger en långsiktig, konsekvent ökning i mängden tillgängligt grundvatten. Sju respondenter anger en långsiktig, konsekvent minskning. För sex av dessa sju svar anges även någon annan form av påverkansobservation.

Svarsalternativet "ja, annat", rymmer i flera fall referenser till övriga svarsalternativ, men i fritextform och lite mer utvecklat. Här noteras också exempel på en respondent som uttrycker att även om man inte märkt någon påverkan på uttagsbrunnarna specifikt, så vet man att många privata brunnar inom kommunen har påverkats, varför man noggrant följer utvecklingen.

Har ni observerat påverkan på er kvantitativa grundvattentillgång (d.v.s. uttagsmöjligheterna) av klimat, väder eller klimatförändringar?

(antal valda alternativ = 206)



Figur 17. Fördelning av observationer per ja-svarskategori alternativt "vet ej" avseende påverkan på grundvattentillgång i förhållande till klimat, väder eller klimatförändringar.

Grundvattenkvalitet och dricksvattenkvalitet

Frågorna som ställdes var: "Har ni observerat påverkan på er rå-/grundvattenkvalitet av klimat, väder eller klimatförändringar?" respektive "Har ni observerat påverkan på er dricksvattenkvalitet av klimat, väder eller klimatförändringar?". Flera svarsalternativ gavs och tilläts, inklusive möjligheter till utveckling i fritext. Utöver svarsalternativ som direkt relaterar till klimat, väder eller klimatförändringar, inkluderades även svarsalternativ för observerad påverkan i förhållande till grundvattentillgång (uttagsvolym respektive grundvattennivå). Det bör återigen noteras att svaren angivits per huvudman och inte per grundvattenmagasin.

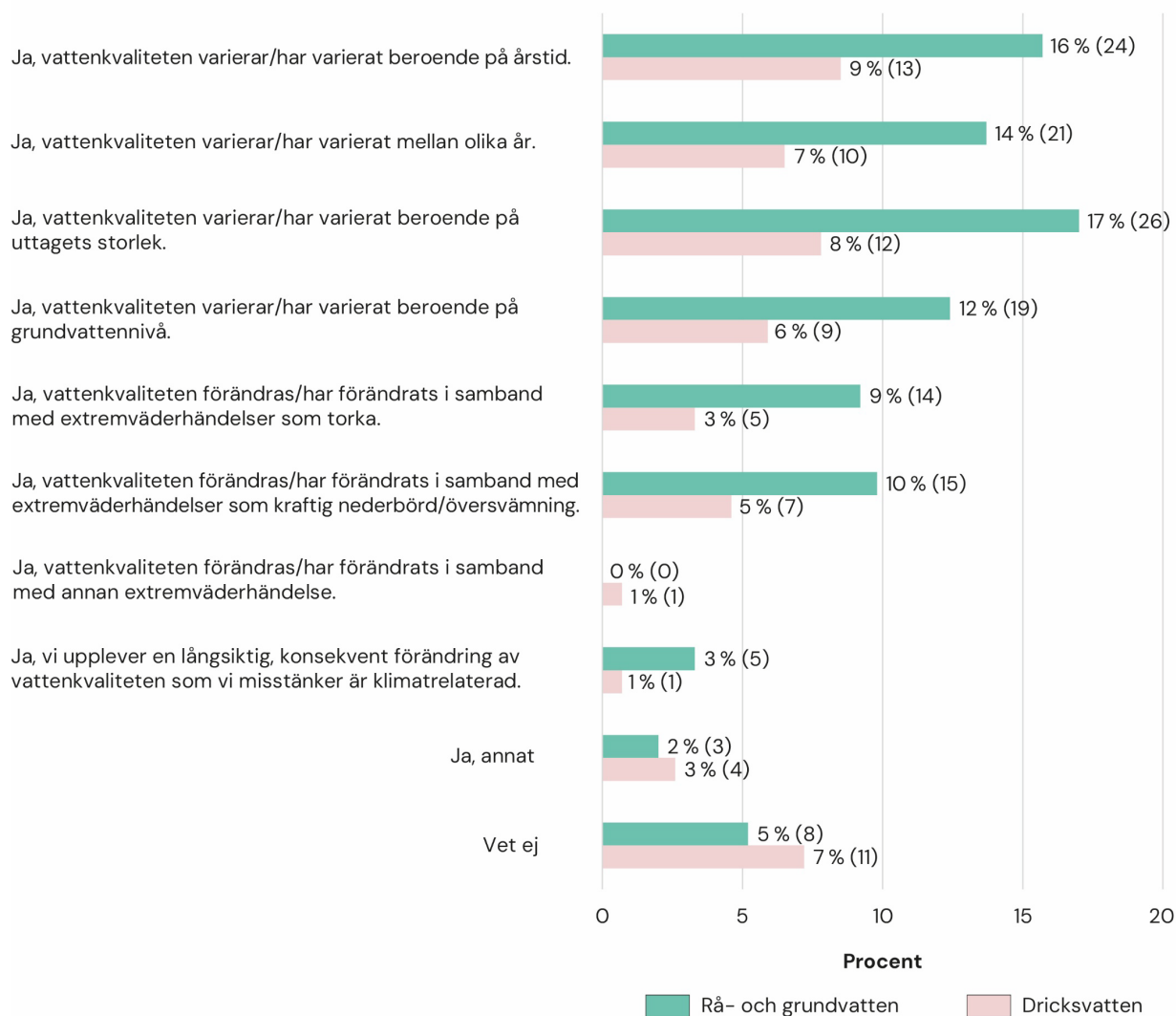
Jämfört med observationer avseende kvantitativ påverkan, är antalet påverkansobservationer avseende vattenkvalitet klart lägre. Andelen respondenter som svarade ja på ett eller flera svarsalternativ uppgick för grundvattenkvalitet till 33 procent, och för dricksvattenkvalitet till 21 procent. Den förhållandevis lägre andelen för dricksvatten jämfört med grund(rå-)vatten var förväntad eftersom en dricksvattenberedning bland annat syftar till att stabilisera vattenkvaliteten.

Av de respondenter som anger någon form av påverkansobservation avseende grundvattenkvalitet, anger de flesta (84 procent) också påverkansobservation avseende grundvattentillgång. Bland undantagen finns fall av observerad påverkan avseende grundvattenkvalitet som kopplas strikt till uttagsstorlek snarare än väder och klimat, samt kraftigt ytvattenberoende produktion (kvantitativ tillgång stabil, men grundvattenkvalitet varierar med ytvattenkvalitet).

Figur 18 redovisar fördelningen av observationer för de olika alternativen för ja-svar samt "vet ej" avseende påverkan av klimat, väder, klimatförändringar och tillgång. Bortsett från att det totala antalet observationer (ja-svar) skiljer sig åt, är den inbördes fördelningen av andelen påverkansobservationer mellan de olika svarsalternativen förhållandevis samstämmig mellan grund- respektive dricksvattenkvalitet. Därför redovisar och diskuterar texten i detta avsnitt fortsättningsvis enbart påverkansobservationer utifrån svar avseende grundvattenkvalitet.

Har ni observerat påverkan på vattenkvaliteten av klimat, väder eller klimatförändringar?

(antal valda alternativ = 135 för rå- och grundvatten och 73 för dricksvatten)



Figur 18. Fördelning av observationer per kategori för ja-svar alternativt "vet ej", avseende påverkan på grund- och dricksvattenkvalitet i förhållande till klimat, väder eller klimatförändringar.

De vanligaste typerna av observerad påverkan avseende grundvattenkvalitet relaterar till uttag, årstid, mellanårsvariation och grundvattennivå, i den ordningen. Sammantaget står dessa typer för ca 70 procent av samtliga angivna observationer avseende grundvattenkvalitet. Endast undantagsvis anges något av dessa svarsalternativ isolerat, typiskt anges alltså flera av dessa tillsammans. Parametrar som återkommande anges variera i förhållande till dessa faktorer är pH, färg, turbiditet, organiskt material, järn och mangan samt i vissa fall även mikrobiologi (bakteriologiska mått). I flera fall framförs en förklaringsmodell i form av varierande grad av ytvattenpåverkan; såväl i förhållande till höga nivåer som låga nivåer/stora uttag. Lokala hydrogeologiska förhållanden i kombination med den specifika dricksvattenproduktionens utformning (typ, brunnkonstruktioner, driftstrategi), är sannolikt helt avgörande för eventuell påverkan och dominerande samband i det enskilda fallet.

Även exempelvis nitrat, klorid, sulfat, metaller och PFAS nämns. Avseende nitrat och klorid anges observerad haltvariation i enstaka fall vara kopplad till en varierande grad av konkret tillförsel (gödsling respektive saltning), även om effekten noteras kunna vara fördröjd i förhållande till variationer i grundvattennivå. Det vill säga, en haltökning i grundvatten är först

möjlig när grundvattennivåerna är tillräckligt höga för att tillåta inblandning av ytligt tillförda och ansamlade volymer. För såväl nitrat som klorid framförs även andra förklaringsmodeller. Nitrathalter beskrivs i ett fall öka efter torrår, till följd av mobilisering via syresättning av torv i utdikade våtmarker inom vattentäktens tillrinningsområde. Avseende klorid kan flera fall av observationer av stigande halter vid låga grundvattennivåer och/eller höga uttag sannolikt relateras till inträngning av havsvatten och/eller relik saltvatten. Denna typ av påverkan torde också kunna orsaka och vara en förklaringsmodell för andra kvalitetsförändringar, exempelvis i fråga om sulfat, metaller och hårdhet.

Avseende påverkan på grundvattenkvaliteten i förhållande till extremväder, anger 14 procent av respondenterna sådana observationer. Fördelningen är jämn mellan svarsalternativen torka respektive kraftig nederbörd/översvämning. I fem fall finns överlapp, det vill säga att en respondent anger observerad påverkan i förhållande till båda typerna av extremväderhändelser. Observerad påverkan i förhållande till extremväderhändelse anges bara undantagsvis isolerat, det vill säga utan någon annan angiven typ av påverkansobservation avseende grundvattenkvalitet.

Avseende typ av observerad påverkan i förhållande till extremväder, tycks denna i stor utsträckning spegla vad som anges i förhållande till säsong, år, nivå och uttag mer allmänt. Avseende kraftig nederbörd/översvämning nämns påverkan på färg, turbiditet samt halt organiskt material återkommande i angivna fritextsvar. Bakteriologisk påverkan nämns till övervägande del kopplat till kraftig nederbörd/översvämning, men också i samband med torka. I förhållande till torka noteras också ett exempel där en respondent anger att man efter att ha observerat förhöjda nickelhalter i samband med perioder av låga grundvattennivåer, konstaterat parallell påverkan med avseende på pH och sulfat. Sammantaget kunde man sluta sig till en förklaringsmodell som gjorde gällande att låga grundvattennivåer resulterade i syresättning av sulfidleror i tillrinningsområdet, vilket i sin tur orsakade mobilisering av sulfat och metaller liksom pH-sänkning. Utifrån kompletterande kontakter med vissa respondenter, går det att sluta sig till att detta exempel inte är unikt.

Fem respondenter anger i enkätsvaren att man upplever en långsiktigt konsekvent förändring av grundvattenkvaliteten som man misstänker är klimatrelaterad. I ett av dessa fall förefaller det framför allt vara tal om en oro för ökad mikrobiologisk problematik i takt med en ökande vattentemperatur snarare än faktiska observationer. För två av de återstående fyra fallen specificeras den observerade konsekventa påverkan närmre. I det ena anges nivåer av klorid, sulfat, konduktivitet, färg och pH ha ökat något över tid, under en period av ca 15 år. Dricksvattenproduktionen är beroende av konstgjord grundvatteninfiltration. I det andra fallet anges ökande nivåer av järn, mangan, PFAS liksom en ökande hårdhet. I detta fall anges en parallell konsekvent minskning i grundvattentillgång.

Liksom för grundvattentillgång, kan angivna påverkansobservationer avseende grundvattenkvalitet över lag anses utgöra en indikation på relativt lägre grad av robusthet i förhållande till klimatförändringarna. Däremot är det väldigt svårt att veta huruvida en avsaknad av observationer av påverkan på grundvattenkvalitet utgör en faktisk avsaknad av sådan påverkan, eller snarare är en spegling av begränsade underlag och utredningar. En variation i grundvattentillgång är bedömningsvis mer omedelbart påtaglig för en vattenproducent utan att nödvändigtvis kräva någon form av extra kontroll, än en variation i grundvattenkvalitet som i princip kan gå obemärkt förbi beroende på analysomfattning, provtagningsfrekvens och/eller tid för utvärdering. Man kan i detta sammanhang notera att de parametrar som oftast återkommer i fritextsvaren rörande angivna observationer, också tämligen väl speglar sådana parametrar som är obligatoriska inom den relativt tätare råvattenkontrollen (LIVSFS 2022:12, se tidigare avsnittet *Råvattenkontroll*).

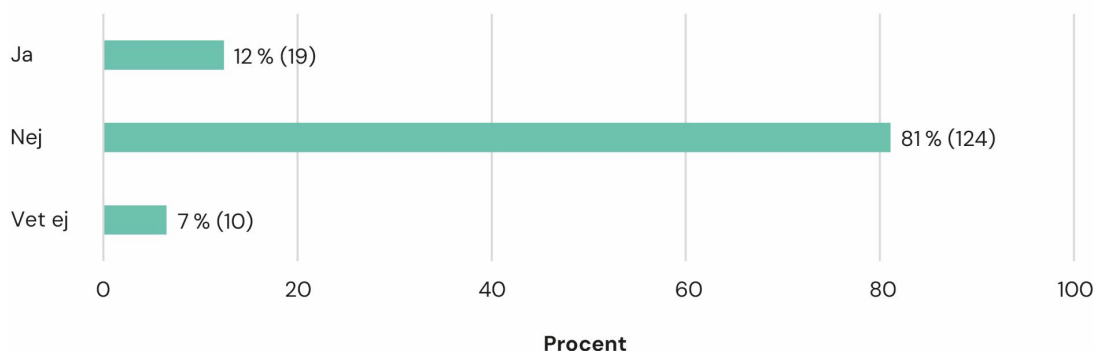
Utredningar och åtgärder

Cirka 80 procent av respondenterna har inte utrett påverkan på grund- och/eller dricksvattenkvaliteten av klimat, väder eller klimatförändringar (fig. 19). Bland de 12 procent som svarat att man har utrett påverkan, pekar flera på utredningar utförda i samband med tillståndsansökningar och riskbedömningar i samband med översyn av vattenskyddsområden. I några fall nämns kommunala övergripande utredningar såsom vattenförsörjningsplaner samt klimat- och sårbarhetsanalyser. Råvattenkontrollens utförande nämns av någon, och andra pekar på kontroller av grundvatten- och ytvattennivåer.

Frågan om eventuella åtgärder ställdes enbart till de respondenter som angett en observerad påverkan avseende grundvattentillgång, grundvatten- och/eller dricksvattenkvalitet. En majoritet av dessa (56 procent) har inte vidtagit åtgärder för att minska eventuell påverkan på grundvattnet av klimat, väder eller klimatförändringar (fig. 20). Åtgärder framstår dock som relativt mer vanligt avseende grundvattentillgång än grund-/dricksvattenkvalitet (28 respektive 12 procent; figur 20). Utfallet är i linje med vad som kan förväntas utifrån den högre andelen påverkansobservationer avseende just grundvattentillgång än grund-/dricksvattenkvalitet. Bland specificerade åtgärder ryms allt från restriktioner avseende vattenanvändning (inklusive bevattningsförbud) och justeringar av befintliga anläggningar (nya vattenledningar, fler uttagsbrunnar, nya vattentäkter, reningssteg), till ändrade driftstrategier (pumpning) och ändringar/tillägg i råvattenkällan (konstgjord grundvattenbildning, avsaltning). Vidare nämns också mer förebyggande åtgärder i form av samverkan med andra VA-huvudmän, reservvattenutredningar, utökningar av vattenskyddsområden och allmänt klimatanpassningsarbete. Även tillståndsansökningar framhålls. I ett par fall nämns även arbete med återställning och anläggningar av våtmarker.

Har ni utrett påverkan på grund- och/eller dricksvattenkvaliteten av klimat, väder eller klimatförändringar?

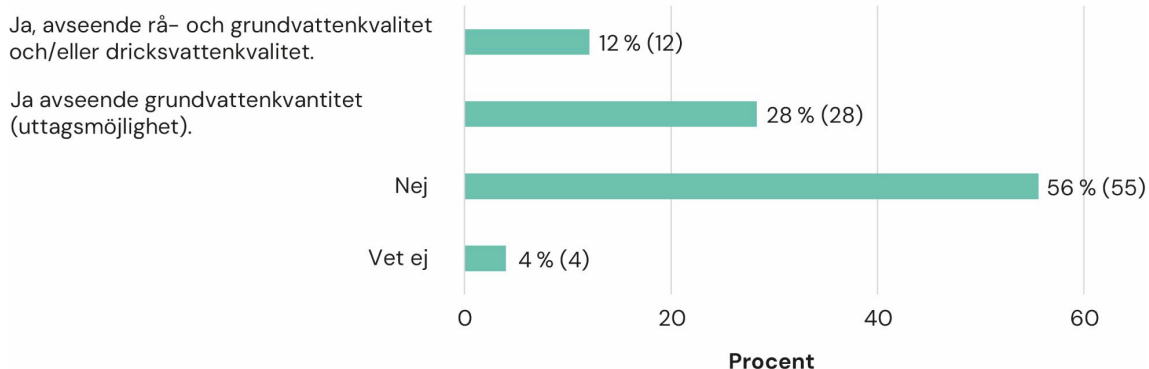
(n = 153)



Figur 19. Fördelning av svar avseende utredning av påverkan på grund- och/eller dricksvattenkvalitet i förhållande till klimat, väder eller klimatförändringar.

Har ni vidtagit åtgärder för att minska eventuell påverkan på ert grundvatten av klimat, väder eller klimatförändringar?

(n = 99)



Figur 20. Fördelning av svar avseende åtgärd av påverkan på grundvattenkvantitet, grund- och/eller dricksvattenkvalitet i förhållande till klimat, väder eller klimatförändringar.

Övriga erfarenheter och synpunkter

Utifrån de fritextsvar som gavs under denna rubrik, går det att uttyda en viss oro och osäkerhet i förhållande till framtida klimatpåverkan på grundvattnet. Svaren pekar också mot upplevda svårigheter i att utreda frågan. Detta dels i förhållande till frågeställningens inneboende komplexitet ("Svårt att veta vad som beror på klimat och vad som beror på andra faktorer.") och bristande datatillgång ("Dåligt med historik vad gäller prover."), dels i förhållande till begränsningar i tid och kompetens ("Vi har svårt att göra dessa bedömningar.", "Som en mindre kommun har vi inte tid och kanske inte rätt kompetens att belysa och se trender enligt det ni efterfrågar."). Respondenterna uttrycker också konkreta önskemål om vägledning kring olika former av åtgärder och "utpekande av områden där dricksvattenproducenten borde vara särskilt uppmärksam på klimatförändringar". Behov av att inte bara fokusera på potentiell kvantitativ påverkan av klimatförändringarna, utan även möjlig kvalitativ sådan, påtalas också.

Diskussion

I avsnittet diskuteras dels uppdragets begrepp "robusthet" och "utsatthet" i förhållande till grundvattenkvalitet, dels resultaten av studiens sambandsanalyser och möjliga förklaringar till dem. Till sist presenteras även förslag och rekommendationer till fortsatta insatser.

Robusthet och utsatthet

Regeringsuppdraget till SGU handlar om att utreda grundvattnets robusthet och utsatthet för klimatförändringar. När det gäller grundvattnets kvalitet anser SGU att begreppet robusthet kan antas avse grundvattnets förmåga att motstå eller återhämta sig från förändringar i dess kvalitet trots förändrade yttre betingelser. Begreppet utsatthet kan på samma sätt antas avse grundvattnets känslighet för klimatförändringar i förhållande till dess initiala kvalitet, och kan på så vis utgöra ett mått på graden av påverkan som kan förväntas uppstå genom klimatförändringarna. Resultaten av denna utredning har huvudsakligen bäring mot aspekter av robusthet.

Grundvattnets kvalitet, på en viss plats och vid en viss tidpunkt, är ett resultat av en rad kemiska, fysiska och biologiska faktorer. Robusthet kan i detta sammanhang ses som en funktion av hur snabbt nederbördsvatten eller annat till marken tillfört vatten kan nå till grundvattnet, hur grundvattnets strömning sker samt vilka processer som är dominerande i marken och grundvattnet.

Det minst robusta grundvattnet finns vanligen där nybildningen av grundvatten sker snabbt och där den naturliga tillgången är liten. Grundvatten med förutsättningar för hög robusthet har exempelvis ett naturligt skydd genom att det finns geologiska formationer, oftast finkorniga jordlager, med för vattentransport tätande egenskaper som överlagrar det grundvattenförande jord- eller berglagret. Högre grad av robusthet hos grundvattenmagasin kan också sägas följa med rikligare och stabilare grundvattenbildning, och med en lägre grad av belastning av naturliga och antropogena föroreningar.

Bedömningen av robustheten kan också tänkas utgå från den kemiska sammansättningen hos grundvattnet. Den geokemiska miljön kan vara sådan att förändringar i sig har en marginell inverkan på någon eller några parametrar. I grundvatten i kalkrika områden är exempelvis halterna av alkalinitet och kalcium höga och ofta stabila.

För att i samhällsplaneringen kunna använda begreppen robusthet och utsatthet konsekvent, vad gäller grundvattnets kvalitet, behövs tydligare definitioner och framtagna kriterier.

Samband och möjliga orsaker

Denna utredning har genererat en stor mängd resultat för att belysa eventuella samband mellan förändringar i grundvattennivå respektive grundvattentemperatur, och förändringar i grundvattnets kvalitet. Med samband avses samvariation, det vill säga att en förändring i grundvattennivå eller grundvattentemperatur motsvaras av en haltförändring av en given parameter i grundvattnet. Sambandsanalyser mellan grundvattennivå och grundvattenkvalitet har tidigare utförts på en relativt sett mindre mängd data från trendövervakningen (Aastrup m.fl. 2012). Att nu genomföra de jämförande studierna på ett större och mer varierat dataunderlag, också från enskild och allmän vattenförsörjning, innebär en större bredd i möjliga tolkningar av samband. Möjlighet ges också att värdera befintligt dataunderlag för att kunna belysa frågeställningar kopplade till utsatthet och robusthet i förhållande till klimatpåverkan.

Undersökningens resultat visar på en temperaturökning i ytligt grundvatten över hela landet sedan ett antal decennier tillbaka, vilken överensstämmer med motsvarande utveckling i luft. Temperaturförändringen i grundvatten korrelerar negativt mot variationer i syrehalt och pH, vilket eventuellt kan förklaras genom förändrade förutsättningar för löslighet av gaser och nedbrytning av organiskt material till följd av temperaturförändringen. Temperatur, syrehalt och pH är hydrogeokemiska nyckelvariabler med potential att påverka löslighet, nedbrytning och mobilitet av en rad andra ämnen som kan förekomma i grundvatten. Därför kan en bredare, förlängd påverkan på grundvattenkvaliteten vara tänkbar över tid.

Samband mellan grundvattennivå och grundvattenkvalitet förekommer, men deras karaktär och tydlighet varierar mellan parametrar, provplatser och grundvattenmiljöer. För vissa parametrar framträder en dominerande typ av samband, medan sambanden för andra är mer otydliga eller helt saknas. Denna variation i utfall indikerar att flera olika faktorer och processer är av betydelse för hur förändringar i grundvattennivå relaterar till grundvattenkvalitet.

Negativa samband, det vill säga högre halter vid lägre grundvattennivåer och vice versa, framträder tydligast för alkalinitet, elektrisk konduktivitet och dominerande kationer. Positiva samband, med högre halter vid högre grundvattennivåer, förekommer mer återkommande för vissa metaller samt för olika mått på organiskt material. Dessa resultat är relativt samstämmiga med vad som redovisas av Aastrup m.fl. (2012). För enskilda brunnar framträder även tydliga negativa samband mellan grundvattennivå och vissa mikrobiologiska parametrar samt klorid. Vattenproducenternas erfarenheter ger ytterligare exempel på samband mellan förändringar i grundvattentillgång och grundvattenkvalitet, där vissa samband upplevs som mer generella och andra som mer lokalt betingade.

En del i en möjlig förklaringsmodell till flera av de observerade sambanden är att variationer i grundvattennivå påverkar fördelningen mellan ytligare och djupare grundvatten. Lägre grundvattennivåer kan, på en given plats, innebära en större andel djupare grundvatten med längre uppehållstid i marken. Sådant grundvatten uppvisar ofta högre halter av vissa ämnen, exempelvis vittringsrelaterade parametrar, till följd av längre kontakttid med minerogent material. Djupare grundvatten innehåller dessutom ofta mindre organiskt material och mindre syre, vilket kan ha stor betydelse för koncentrationerna av flera redoxkänsliga ämnen samt ämnen som i hög grad är associerade med organiskt material. Högre grundvattennivåer kan å andra sidan innebära en större andel ytligare grundvatten med kortare uppehållstid i marken och därmed motsatta hydrogeokemiska egenskaper. Vid höga grundvattennivåer finns det också en ökad potential för kontakt med och utsköljning av ämnen som tenderar att ansamlas i ytlig mark.

Variation i geologiska, hydrauliska och hydrogeokemiska egenskaper mellan olika grundvattenmagasin gör att modellen får olika relevans i olika system. Detta eftersom variationerna innebär skillnader i uppehållstider och flödesvägar samt i potentialen för, likaväl som effekterna av, blandning mellan ytligare och djupare grundvatten av olika karaktär. Lokala faktorer såsom jordartsföljd, förekomst av tätande lager, sprickighet i berg, markanvändning, angränsande ytvatten och punktvisa föroreningskällor medför därmed att effekterna på grundvattenkvaliteten blir starkt platsspecifika vid förändringar i grundvattennivå.

Samtidigt är det ofta förenat med osäkerhet att avgöra vilka faktorer och processer som är mest styrande i ett enskilt fall, liksom hur de samverkar och varierar över tid. Betydelsen av olika processer kan dessutom skilja sig mellan mer ostörda grundvattensystem där nivåvariationer i huvudsak drivs av naturlig tillrinning och avrinning, och miljöer där grundvattenuttag eller pumpning påverkar flödesmönster, blandningsförhållanden och uppehållstider. I sådana fall blir även brunnskonstruktioner, uttagsdjup och uttagsvolym i relation till den lokala grundvattentillgången viktiga förutsättningar för hur samband mellan grundvattennivå och grundvattenkvalitet kommer till uttryck. Sammantaget understryker detta, behovet av att tolka observerade samband i ljuset av platsspecifika hydrogeologiska och hydrogeokemiska förhållanden.

Sammanfattningsvis är bedömningen att variationer i grundvattennivå och därmed grundvattentillgång, liksom grundvattentemperatur, har potential att påverka grundvattnets kvalitet. Mot bakgrund av de förändringar avseende Sveriges grundvattentillgång och -temperatur som troligen stundar i ett längre perspektiv, är det således rimligt att tänka sig en påverkan även på Sveriges grundvattenkvalitet. Resultaten från utredningen visar dock att denna påverkan bara i begränsad utsträckning går att generalisera kring, och att det krävs fördjupade och fortsatta studier för att kunna utföra prediktioner för framtiden.

Framtida behov

I detta avsnitt följer några förslag och rekommendationer till fortsatta insatser. Förslagen bygger både på resultat i denna utredning och på allmänna samhällstrender i arbetet med grundvatten och klimatförändringar med tonvikt på grundvattnets kvalitet.

Säkra tillgången till data om grundvattnets kvalitet

Ambitionen och utgångspunkten för utredningen var att angripa frågeställningen brett genom att utföra utvärderingar som beaktar de olika grundvattenmiljöer- och magasin som förekommer runt om i landet. Utredningen bygger också på observationer och erfarenheter från flera olika grundvattenmagasin- och miljöer. Utvärderingen har dock inte kunnat genomföras på ett konsekvent sätt tvärs de olika underlagen och därmed inte heller mellan olika miljöer och

magasin, till följd av att underlagen väsentligen skiljer sig åt. Detta är i vissa avseenden enligt förväntan, då de härrör från olika delar av samhället och bygger på datainsamling som görs i olika syften.

Att utvärderingen inte har kunnat genomföras konsekvent är inte nödvändigtvis rakt igenom negativt, då olika angreppssätt minskar eventuell metodbias och möjliggör en mer nyanserad analys. Det kan därmed också anses stärka de sammantagna slutsatserna. Likväl är det tydligt att det finns ett betydande dataunderskott avseende Sveriges grundvattenkvalitet och dess utveckling över tid, vilket begränsar analyser som denna avseende grundvattenmagasinens utsatthet och robusthet i förhållande till klimatförändringarna.

Dataunderskottet och behovet av utökad statlig övervakning är välkänt (Tunemar m.fl. 2020, Bastviken m.fl. 2021, Havs- och vattenmyndigheten 2021, Lång m.fl. 2022). Detsamma gäller behovet av statlig insamling och förvaltning av data avseende bland annat grundvattnets kvalitet från andra delar av samhället (Havs- och vattenmyndigheten 2014, Elenström m.fl. 2021, Livsmedelsverket 2025).

Insamling av data från vattenproducenternas råvattenkontroll skulle otvetydigt bidra till att kraftigt minska stora, problematiska och kostsamma kunskapsglapp. Samtidigt kan analysresultat från kommunala vattenproducenters råvattenkontroll anses vara betydligt påverkade av den pumpning som sker för grundvattenuttaget, samt behäftad med en betydande grad av osäkerhet och variation avseende omfattning, frekvens och stabilitet. Därför föreligger, oaktat råvattenkontrollen, ett behov av att utöka en långsiktig och stabil grundvattenövervakning i olika typer av referensmiljöer. Att förverkliga den övervakning som vattenförvaltningen ställer krav på är en del av detta. Samtidigt kan det krävas ett bredare angreppssätt för att kunna fånga och följa påverkan inom och mellan olika grundvattenmagasin- och miljöer.

Konkret föreslår denna utredning följande insatser i förhållande till observerade brister och behov:

- Säkra statlig insamling och förvaltning av allmänna vattenproducenters råvattenkontroll.
- Säkra statlig insamling och förvaltning av analysresultat från privatpersoners brunnsprovtagning.
- Stärk statlig grundvattenövervakning från provplatser på olika djup inom olika typer av grundvattenmagasin och miljöer.
- Säkerställ relevant metadatainsamling kopplad till specifika provtagningstillfällen, provplatser och datamängder. Observationer av grundvattennivåer, flöden och uttagsvolymmer på samma plats eller i samma område är en del i detta.
- Utöka grundvattenövervakningen av syntetiska, organiska miljögifter (i såväl tid som rum).

Genomför fler och bredare utvärderingar

I denna utredning har data från flera årtionden och olika delar av samhället kunnat användas, vilket gett en rad indikationer på samband mellan grundvattenkvalitet och grundvattentillgång respektive grundvattentemperatur. Dessa samband är viktiga för att kunna bedöma möjlig framtida klimatpåverkan på grundvattnets kvalitet. Sambanden är dock i flera fall svaga och/eller otydliga, bakomliggande processer osäkra och utifrån resultaten av utredningen som helhet är det tydligt att det krävs ytterligare studier för att kunna göra prediktioner avseende förändringar i grundvattnets kvalitet i förhållande till klimatförändringarna.

Konkret föreslås följande:

- Styrande faktorer och processer för klimatpåverkan på grundvattnets kvalitet behöver utredas närmare och i förhållande till varandra för att fastslå de dominerande orsaks- och verkan-sambanden för olika parametrar, grundvattenmiljöer och grundvattenmagasin i olika delar av landet. Detta kräver sannolikt en kombination av fördjupade fältstudier, mer platsspecifik information, modellering samt utvärdering med multivariata, statistiska analyser.
- Kompletterande studier behövs, som omfattar provplatser på olika djup inom olika typer av grundvattenmiljöer och -magasin, för att bättre kunna bedöma representativiteten av påverkan och samband för enskilda provplatser i förhållande till en grundvattentillgång som helhet.
- Långsiktiga studier inom olika typer av grundvattenmiljöer och -magasin behövs för att observera och utreda potentiell klimatpåverkan på grundvattenkvaliteten över tid. Föreliggande utredning har fokuserat på att utreda mer direkt och momentan påverkan i förhållande till förändringar i grundvattennivå och temperatur. Detta fokus bedömdes som motiverat avseende grundvattennivå utifrån att det tydligaste resultatet av den tidigare utredningen är en kraftigare variation i grundvattentillgång såväl inom som mellan år (Hjerne m.fl. 2025). Samtidigt är det rimligt att tänka sig även en mer långsiktig, konsekvent påverkan på grundvattenkvaliteten i förhållande till långsiktig temperaturökning, liksom återkommande och/eller gradvisa förskjutningar av grundvattennivån i ett givet grundvattenmagasin åt ett eller annat håll. Styrande faktorer och dominerande processer bedöms väsentligen kunna skilja sig åt i detta avseende. Det vill säga att bedömningen är att det föreligger väsentliga skillnader avseende potential för grundvattenkvalitetspåverkan beroende på om det yttre förändringstrycket är tillfälligt eller mer permanent. Frågan behöver utredas närmare.

Utför konsekvensanalyser

Utöver fördjupade utredningar för att fastslå samband mellan orsak och verkan, krävs i förlängningen också konsekvensanalyser. Till exempelvis i förhållande till gällande rikt- och gränsvärden för dricksvattenförsörjning samt tröskelvärden för grundvattenförekomster inom vattenförvaltningen. När representativa samband och dominerande processer på kort och lång sikt har fastslagits för olika grundvattenmiljöer och -magasin, krävs alltså prediktioner av påverkan i fråga om absoluta eller relativa haltförändringar av olika parametrar i olika delar av landet. Först därefter kan betydelsen och konsekvenserna för exempelvis vattenförsörjning, miljö och hälsa bedömas.

Utvärderingen av data från enskilda brunnar ger viss ledning i detta avseende just när det gäller enskild vattenförsörjning. Med undantag för mikrobiologiska parametrar, överskrider gällande riktvärden främst i förhållandevis begränsad utsträckning sett till det totala antalet observationer. Detta gäller oavsett kopplad grundvattennivå (eg. fyllnadsgrad). Indikationen utifrån detta är att en hälsomässigt betydande haltförändring i förhållande till en klimatrelaterad nivåpåverkan, företrädesvis kommer att vara begränsad till en mindre andel brunnar (vilken kan variera beroende på parameter). Andelen kan dock fortfarande utgöra ett betydande absolut antal, sett till landet i stort, i förhållande till en viss geografisk region, en viss typ av grundvattenmiljö och/eller beroende på vilken typ av parameter som påverkas. Andelen kan också tänkas förändras i takt med att förutsättningarna i fråga om tillgång och temperatur förändras.

Analysen behöver fördjupas och motsvarande typ av utvärdering behöver utföras också med avseende på exempelvis naturmiljö och allmän vattenförsörjning. I sammanhanget är det då också viktigt att beakta att de bredare samhällseliga konsekvenserna av en specifik förändring av grundvattnets kvalitet, inte nödvändigtvis behöver stå i direkt proportion till den givna förändringen. Detta eftersom utgångsläget i fråga om haltnivåer, liksom användningen eller beroendet av grundvatten, kan variera stort mellan olika områden.

Möt behovet av vägledning, dialog och stöd

Utredningen indikerar ett behov av stöd och vägledning kring klimatpåverkan och -effekter avseende grundvattnets kvalitet. Detta gäller såväl aktörer inom allmän som enskild vattenförsörjning, liksom utredare och beslutsfattare inom vattenförvaltnings- och miljömålsarbetet i stort.

Bedömningen är att det dels finns behov av vägledning och stöd för allmän orientering kring potentiell påverkan och effekter på grundvattenkvaliteten av klimatförändringar, dels för upprättande och utvärdering av relevanta övervakningsprogram för identifiering av möjlig klimat- och klimatförändringspåverkan.

Vikten av lokala förhållanden och förutsättningar behöver genomgående understrykas. Exempelvis kan pH, sulfat och metaller vara särskilt relevanta att beakta i områden med sulfidleror, medan konduktivitet och baskat- och anjoner är av särskild betydelse i områden med risk för saltpåverkan. I torvmarksområden kan olika kväveföreningar behöva ges särskild uppmärksamhet, och i miljöer där det redan finns utmaningar med syresättnings- och redoxförhållanden kan anpassade åtgärder eller bedömningar vara motiverade. Dessa exempel är inte uttömmande utan illustrerar endast hur relevanta aspekter kan variera beroende på lokala förhållanden och förutsättningar.

Även mer generella råd och rekommendationer behöver utarbetas. I förlängningen är det rimligt att tänka sig behov av åtgärdsrelaterad vägledning.

De kommunala vattenproducenterna besitter onekligen stora mängder värdefull information, erfarenhet och kompetens. Här finns det stor potential för att bygga ytterligare kunskap genom exempelvis erfarenhetsutbyte mellan olika kommunala vattenproducenter. Generellt är det också angeläget att nyttja och vid behov skapa olika samverkansytor mellan och via olika organisationer, branscher och forskningsprogram för att samla och samverka kring den kunskap och de erfarenheter som finns kring olika aspekter av frågan.

Slutsatser

Utvärderingen visar på samband mellan förändringar i grundvattentillgång och grundvattenkvalitet samt mellan förändringar i grundvattentemperatur och grundvattenkvalitet. Dessa samband är av betydelse för bedömningar av potentiell klimatpåverkan på grundvattenkvaliteten, eftersom både grundvattentillgång och grundvattentemperatur förväntas att fortsätta förändras till följd av klimatförändringen. Samtidigt varierar de observerade sambanden i tydlighet och karaktär beroende på plats och parameter, vilket behöver beaktas vid bedömningar av framtida konsekvenser. Här sammanfattas några centrala observationer.

- Ytligt grundvatten har blivit varmare över hela landet under de senaste decennierna, i överensstämmelse med ökande lufttemperaturer. Temperaturökningen samvarierar negativt med syrehalt och pH, vilket indikerar potential för en bredare påverkan också vad avser innehåll av andra parametrar/ämnen.
- Låga grundvattennivåer tycks framför allt associerade med högre jonstyrka och, för enskild vattenförsörjning, ökad risk för mikrobiologisk påverkan. Lokalt kan även halter av andra ämnen, såsom klorid, vara förhöjda vid förhållandevis låga grundvattennivåer.
- Höga grundvattennivåer sammanfaller i flera fall med högre halter av organiskt material och vissa metaller.
- Ökad variation av grundvattennivåer inom och mellan år kan leda till ökad variation i grundvattenkvalitet.

Sammantaget bedöms klimatförändringarna kunna påverka grundvattenkvaliteten, men påverkan och dess konsekvenser förväntas variera betydligt mellan olika grundvattenmagasin och mellan olika delar av landet. Detta till följd av betydande platsspecifika beroenden. Såväl påverkansbilden som styrande förutsättningarna kan även skilja sig åt mellan mer ostörda grundvattensystem och miljöer med aktivt grundvattenuttag. Vidare är fler faktorer än nivå- och temperaturförändringar av betydelse för sammantagen möjlig klimatpåverkan, exempelvis förändringar i markanvändning.

Landets vattenproducenter och andra aktörer som utför och utvärderar miljöövervakning bör beakta resultaten och slutsatserna i denna rapport och vid behov genomföra en översyn av befintliga övervakningsprogram. Uppföljningen av vattenkvalitetsvariationer och -trender kan också behöva anpassas. Det är genomgående viktigt att ta hänsyn till lokala förutsättningar.

Lokal miljötillsyn av enskild vattenförsörjning och små avloppsanläggningar, som kan utgöra beslutsunderlag för bygglovsärenden och verksamhetsområden av allmänt vatten och avlopp, kan också behöva anpassas utifrån förväntade förändringar av grundvattenkvalitet. Detta gäller särskilt för områden där låga grundvattennivåer kan bli vanligare i framtiden.

Fortsatt övervakning och utvärdering av klimatförändringarnas påverkan på grundvattnets kvalitet, samt konsekvensutredningar av en förändrad framtida grundvattenkvalitet, är avgörande för att långsiktigt säkerställa en god vattenförsörjning och robusta naturmiljöer.

Referenser

- Bastviken, P., Bovin, K., Lindahl, A., Fagerström, E., Tunemar, L. & Elenström, A-K., 2021: Sveriges miljöövervakning av grundvatten år 2020 – Kartläggning av länsvisa behov och brister. *SGU-rapport 2021:22*. Sveriges geologiska undersökning.
- Dao, P.U., Heuzard, A.G., Le, T.X.H., Zhao, J., Yin, R., Shang, C. & Fan, C., 2024: The impacts of climate change on groundwater quality: A review. *The Science of the Total Environment* 912, 169241.
- Cavelan, A., Golfier, F., Colombano, S., Davarzani, H., Departis, J. & Faure, P., 2021: A critical review of the influence of groundwater level fluctuations and temperature on LNAPL contaminations in the context of climate change. *Science of the Total Environment* 806:150412.
- Das, T.K., Han, Z., Banerjee, S., Raoelison, O.D., Adeleye, A.S., Mohanty, S.K., 2024: PFAS release from the subsurface and capillary fringe during managed aquifer recharge. *Environmental Pollution* 343:123166. DOI: 10.1016/j.envpol.2023.123166.
- Egidio, E., De Luca, D.A. & Lasagna, M., 2024: How groundwater temperature is affected by climate change: A systematic review. *Heliyon*, e27762.
- Elenström, A-K., Djursäter, R. & Herzog, A., 2021: PM dricksvattendirektivsutredningen, kostnadsuppskattning av datavärdskap för råvatten. SGU dnr 314-1088/2021.
- Havs- och vattenmyndigheten, 2023: *Trend- och omdrevsstationer – grundvatten*. <<https://www.havochvatten.se/overvakning-och-uppfoljning/miljoovervakning/organisation-och-programomraden/miljoovervakningens-programomrade-sotvatten/delprogram-trend-och-omdrevsstationer--grundvatten.html>> Senast åtkommen 16 januari 2026.
- Havs- och vattenmyndigheten, 2021: Full koll på våra vatten! Version 2.0: Handlingsplan för arbetet med övervakning enligt vattenförvaltningens behov. *Havs- och vattenmyndighetens rapport 2021:13*
- Hjerne, C-E., Retzner, A., Hellstrand, E., Thunholm, B., Nygren, M., Forsgren, J. & Gierup, J., 2025: Grundvatten i framtida klimat – effekter för vattenförsörjningen. Rapportering av regeringsuppdrag, RR 2025:01, Sveriges geologiska undersökning.
- Hussain, M., & Mahmud, I., 2019: pyMannKendall: a python package for non parametric Mann Kendall family of trend tests. *Journal of Open Source Software* 4(39), 1556.
- Jarsjö, J., Andersson-Sköld, Y., Fröberg, M., Pietron, J., Borgström, R., Löf, Å., & Kleja, D.B., 2020: Projecting impacts of climate change on metal mobilization at the contaminated sites: Controls by the groundwater level. *Science of the Total Environment* 712.
- Jyväsjärvi, J., Marttila, H., Rossi, P.M., Ala-Aho, P., Olofsson, B., Nisell, J., Backman, B., Ilmonen, J., Virtanen, R., Paasivirta, L., Britschgi, R., Kløve, B. & Muotka, T., 2015: Climate-induced warming imposes a threat to north European spring ecosystems. *Global Change Biology*, 21.
- LIVSFS 2022:12: *Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten*. Livsmedelsverkets författningssamling. Livsmedelsverket.
- Livsmedelsverket, 2025: *Nationell samordning av dricksvattenfrågor – Identifierade behov av åtgärder och insatser samt resultat och effekter av arbete under 2024*. Livsmedelsverket.
- Lång, L-O., Norström, E., Maxe, L. & Lindeberg, C., 2022: Fördjupad utvärdering av Grundvatten av god kvalitet 2023. *SGU-rapport 2022:13*, Sveriges geologiska undersökning.
- Pihl Karlsson, G., Akselsson, C., Hellsten, S. & Karlsson P. E., 2024: Atmospheric deposition and soil water chemistry in Swedish forests since 1985 – Effects of reduced emissions of sulphur and nitrogen. *Science of the Total Environment* 913.

- Neihardt, H. & Shao, W., 2023: Impact of climate change-induced warming on groundwater temperatures and quality. *Applied Water Science* 13:235.
- Riedel, T., 2019: Temperature-associated changes in groundwater quality. *Journal of Hydrology* 572, 206–212.
- SCB, 2023. Statistikdatabasen. *Vatten- och avloppsförhållanden*. Statistiska centralbyrån. Utsök gjorda 2025-07-16.
- SCB, 2022: Vattenanvändningen i Sverige 2020 MI27 - Vattenuttag och vattenanvändning 2022:1. Statistiska Centralbyrån.
- SMHI, 2025a: *Temperatur*. <<https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/temperatur>> Senast åtkommen 16 januari 2026.
- SMHI, 2025b: *Temperaturens ökning i Sverige sedan 1800-talet*. <<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/temperaturens-okning-i-sverige-sedan-1800-talet>> Senast åtkommen 16 januari 2026.
- SGU, 2022: *SGU:s grundvattennät*. <<https://www.sgu.se/grundvatten/overvakning-av-grundvattenkvalitet/sgus-grundvattennat/>> Senast åtkommen 16 januari 2026.
- SGU, 2023b: *Temperaturmätning i djupa borrhål*. <<https://www.sgu.se/samhallsplanering/energi/Geoenergi-geotermi-och-energilagring/temperaturmatningar-i-djupa-borrhall/>> Senast åtkommen 16 januari 2026.
- SGU, 2013: Bedömningsgrunder för grundvatten. *SGU-rapport 2013:01*, Sveriges geologiska undersökning.
- Tunemar, L., Maxe, L., Lindahl, A., Fagerström, E. & Bastviken, P., 2020: Miljöövervakningsbehovet för grundvatten. *SGU-rapport 2020:27*. Sveriges geologiska undersökning.
- Uhl, A., Hahn, H. J., Jäger, A., Luftensteiner, T., Siemensmeyer, T., Döll, P., Noack, M., Schwenk, K., Berkhoff, S., Weiler, M., Karwautz, C. & Griebler, C., 2022: Making waves: Pulling the plug – Climate change effects will turn gaining into losing streams with detrimental effects on groundwater quality. *Water Research* 220, 118649.

Bilaga 1. Korrelationsanalyser mellan grundvattenkvalitet och modellerad fyllnadsgrad

Databearbetning

För att analysera relationen mellan variationer i grundvattennivåer och parametrar för grundvattenkvalitet över tid, användes data från trendövervakning (se huvudrapport) samt modellerad fyllnadsgrad (hädanefter fyllnadsgrad) för motsvarande område från SGU-HYPE.

Grundvattenkvalitet

Underlaget från trendövervakningen innehåller data för totalt 39 olika vattenkvalitetsparametrar. Provtagningsfrekvensen varierar stort. Då syftet med analysen inte var att beräkna trender, filterades data ut efter minst antal observationer/analyser per provplats, och inte på minst antal år med data. Då vissa provplatser har en lägre provtagningsfrekvens på grund av att variationen i en grundvattenkvalitetsparameter inte varierar stort under året, premieras sannolikt särskilt reaktiva och snabbreagerande provplatser och tidsserier.

Urval har tillämpats så att utvärdering endast utförts för provplatser och tidsserier med minst 30 unika observationer per parameter. Vidare har endast tidsserier inkluderats för vilka mer än hälften av observationerna per parameter utgör faktiska mätvärden (det vill säga mätvärdet utgör en halt över rapporteringsgräns). Tidsserier med konstanta värden har också tagits bort, då sådana värden troligen beror på mätfel.

Före urvalet gjordes bearbetades vattenkvalitetsdatat i syfte att minimera effekter av varierande rapporteringsgränser över tid. För varje parameter identifierades således betydande brytpunkter avseende rapporteringsgräns (storleksordning tiopotens), varpå tidsserier kapades i förhållande till dessa. Alltså kapades samtliga tidsserier för en given parameter vid samma tillfälle. Därefter ansattes samtliga mätvärden lägre än högsta rapporteringsgräns inom kvarvarande tidsserie, till halva denna rapporteringsgräns.

Efter urval i förhållande till uppsatta analyskriterier och inledande databearbetning, återstod totalt 175 provplatser/tidsserier och 28 vattenkvalitetsparametrar. Antalet provplatser/tidsserier varierar per parameter (tabell B1.1). För att jämföra korrelationen mellan olika parametrar och fyllnadsgrad, så har parameterhalterna normaliserats enligt Z-score, så att medelvärdet för varje halt är 0, och standardavvikelsen 1. Detta betyder att distributionen skiftas till 0, och skalan på variationen ändras, men distributionens form – skevhet, symmetri och kurtosis, alltså dess svansfördelning – bevaras.

Tabell B1.1. Antal unika provplatser per grundvattenkvalitetsparameter.

Parameter	Antal provplatser
Alkalinitet	153
Aluminium	127
Ammonium	102
Arsenik	43
Bly	25
Fluorid	123
Fosfat	83
Järn	87
Kadmium	35
Kalcium	148
Kalium	147
Klorid	125
Kobolt	44
Konduktivitet	166
Koppar	46
Krom	38
Magnesium	148
Mangan	103
Natrium	148
Nickel	44
Nitrat	138
Sulfat	147
Totalfosfor	116
Totalkväve	129
Totalt organiskt kol, TOC	147
Vanadin	40
Zink	48
pH	171

Fyllnadsgrad

SGU-HYPE genererar dagliga värden för fyllnadsgrad för hela Sverige i ett gridsystem av s.k. områden, där varje område är 4x4 km. För en utförlig beskrivning av fyllnadsgrad, se Bilaga 2. För fyllnadsgrad finns inga temporala begränsningar, då SGU-HYPE genererar värden för fyllnadsgrad med en daglig upplösning baserat på PT-HBV data för nederbörd och temperatur. Eftersom PT-HBV data genererats från år 1961, finns även värden för fyllnadsgrad från 1961 till dagens datum. Varje provplats matchas således mot motsvarande SGU-HYPE område. För denna analys har fyllnadsgrad från 2025-års uppdatering använts.

Metod

Aggregering av fyllnadsgrad

För att analysera om tidsförskjuten fyllnadsgrad påverkar grundvattenkvaliteten har fyllnadsgrad aggregerats med olika tidsförskjutning, alltså med varierande dagar innan provtagningstillfället. För detta har funktionen *rolling* från paketet *pandas* (version 2.3.2) i Python (version 3.10.12) applicerats på tidsserierna, med ett fönster på 0 till 180 dagar, med ett intervall på 10 dagar. För

varje intervall beräknades medianfyllnadsgrad, där en tidsförskjutning på 0 dagar motsvarar värdet på fyllnadsgrad vid provtagningstillfället (momentan fyllnadsgrad), och en tidsförskjutning på 180 dagar motsvarar medianfyllnadsgrad under föregående sex månader innan provtagning. Detta ger totalt 18 tidsserier av fyllnadsgrad med olika tidsförskjutning. Fyllnadsgrad har inte normaliserats för analysen, eftersom den variabeln redan är normaliserad.

Korrelationsanalys

Distributionen för varje grundvattenkvalitetsparameter varierar per provplats. Därför utgår alla korrelationsanalyser från Spearman rho, alltså Spearmans korrelationskoefficient, som är en icke-parametriskt metod. För detta har funktionen *spearmanr* från paketet *scipy* (version 1.15.3) i Python applicerats på varje enskild tidsserie, alltså en tidsserie per parameter och provplats, och på varje enskild tidsserie per tidsförskjutning på medianfyllnadsgrad. För varje korrelationsanalys har sedan motsvarande korrelationskoefficient och p-värde extraherats för jämförelse. Spearmans korrelationskoefficient är ett mått på styrkan och riktningen på det monotona sambandet mellan rangordnade data, i detta fall fyllnadsgrad med olika tidsförskjutning och olika vattenkvalitetsparametrar. Koefficienten kan variera mellan -1 till 1. En koefficient med värdet -1 indikerar en perfekt negativ korrelation mellan fyllnadsgraden och parametern, en koefficient med värdet 1 indikerar en perfekt positiv korrelation, och värdet 0 indikerar att en monoton korrelation mellan rangordnade data av fyllnadsgrad och parametern saknas. Sannolikhetsvärdet, s.k. p-värdet, är ett mått på sannolikheten att skillnaden mellan nollhypotesen – att korrelationen mellan de observerade variablerna endast beror på slumpen – och den resulterande korrelationskoefficienten beror på en tillfällighet. Ett litet p-värde indikerar att det är ytterst osannolikt att uppnå den resulterande korrelationskoefficienten om nollhypotesen är sann. Alltså är det i stället sannolikt att sambandet inte beror på slumpen. Ett tröskelvärde på p-värde 0,05 har antagits i denna analys för att skilja på signifikanta och icke signifikanta korrelationer.

För varje provplats och parameter har den tidsförskjutning på medianfyllnadsgrad med starkast korrelation till parametern valts ut på följande sätt:

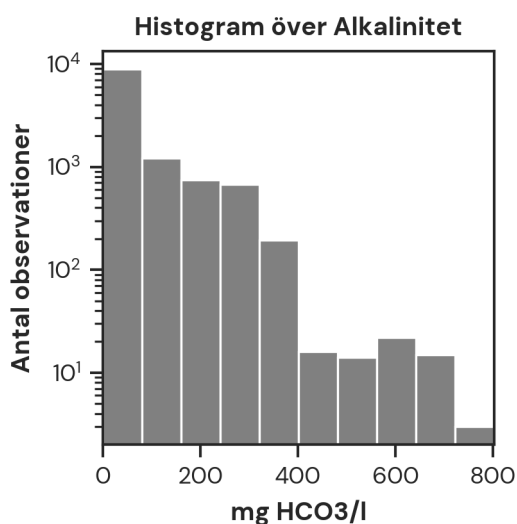
1. För varje provplats har tidsförskjutning på fyllnadsgrad sorterats ut enligt den korrelationen med lägst p-värde;
2. För de provplatser där fler än en tidsförskjutning på fyllnadsgrad har samma låga p-värde, har tidsförskjutning på fyllnadsgrad sorterats ut enligt den korrelationen med högst absoluta korrelationskoefficient (oberoende av om den är positiv eller negativ).

Resultat

Resultaten av analyserna redovisas nedan, per parameter. Fem figurer är återkommande för samtliga parametrar, och en förklaring för dessa fem redovisas för alkalinitet.

Alkalinitet

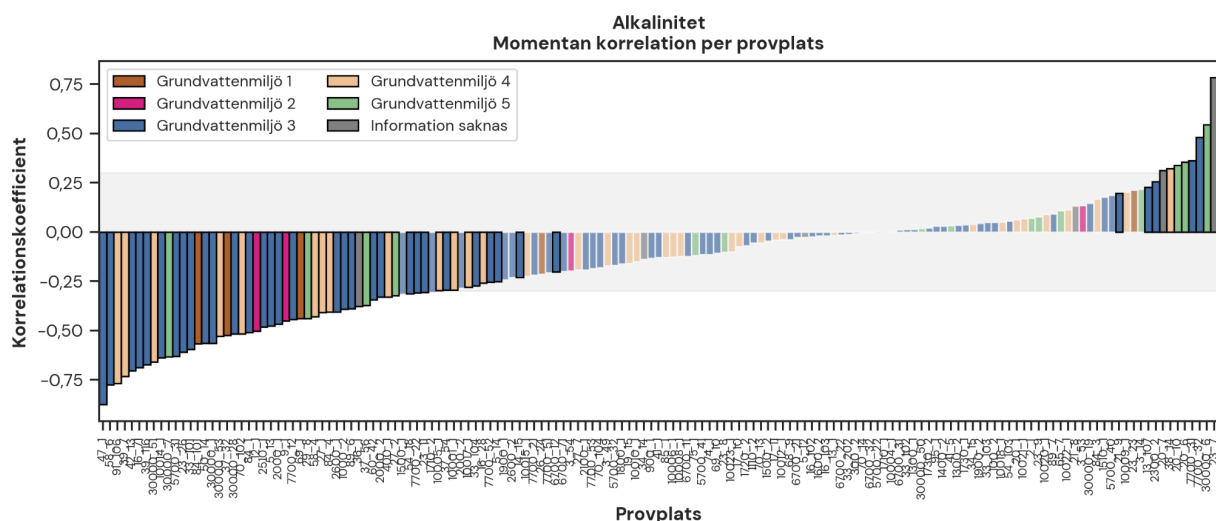
Fördelningen av provresultat för alkalinitet (samtliga data från samtliga provplatser/tidsserier) redovisas i figur B1.1. De allra flesta proverna visar på en alkalinitet under 400 mg HCO_3/l , med enstaka prover med halter upp till 800 mg HCO_3/l . Fördelningen är positivt skev, med en lång svans till höger.



Figur B1.1. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

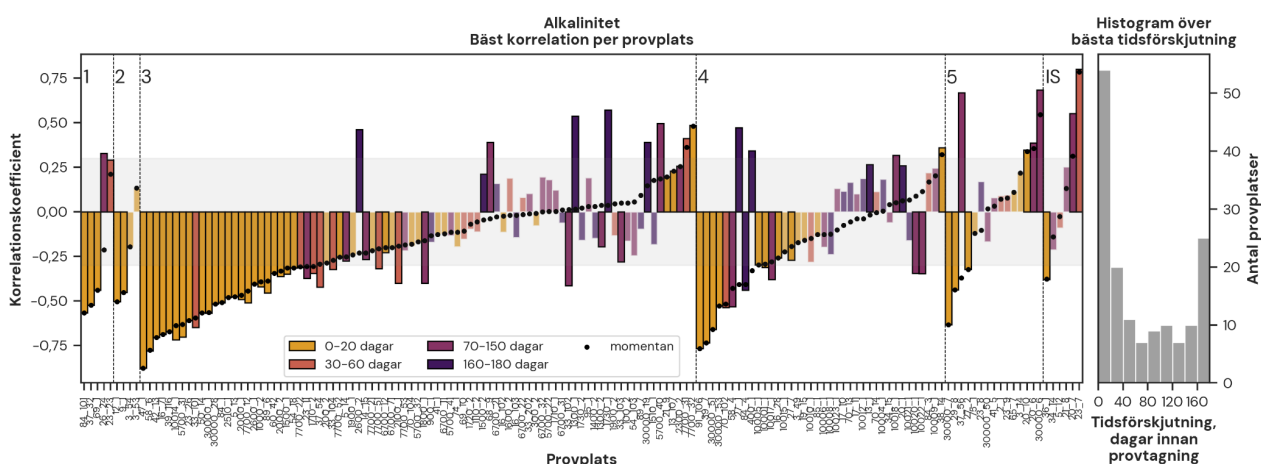
För alkalinitet uppvisar många provplatser en stark negativ korrelation ($< -0,3$) till momentan fyllnadsgrad medan några andra uppvisar en positiv korrelation (figur B1.2). Detta indikerar att alkalinitet och momentan fyllnadsgrad samvarierar för många av provplatserna.



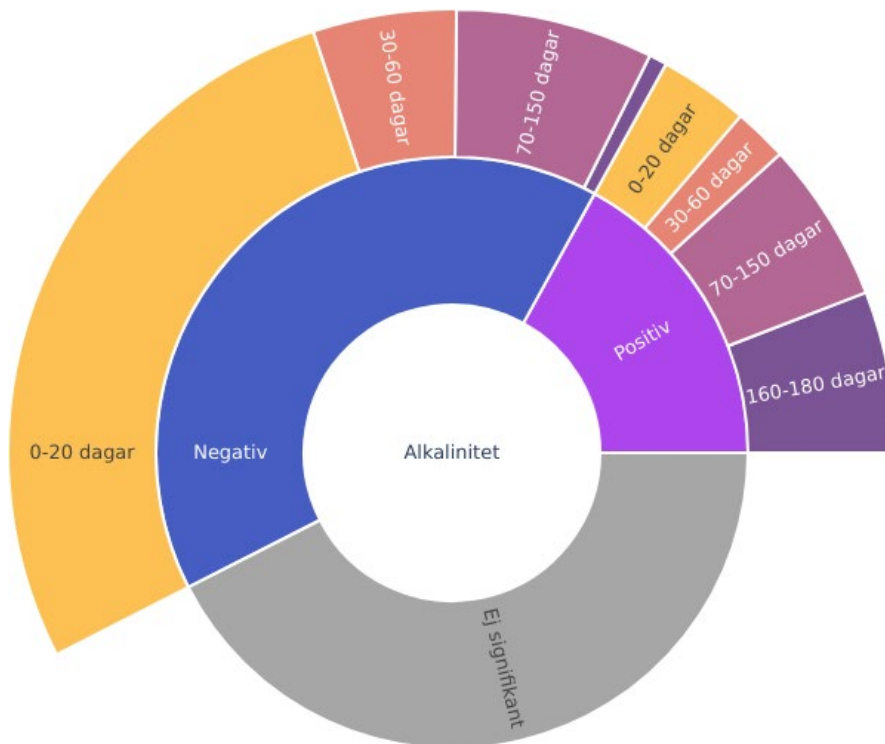
Figur B1.2. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer (p -värde $< 0,05$). Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

När en tidsförskjutning för fyllnadsgrad tillåts, förbättras i flera fall korrelationskoefficienten något (figur B1.3). Förbättringen är dock i de flesta fall mycket begränsad. De fallen med störst förbättring i korrelationskoefficient, tenderar att vara provplatser med en mycket liten och inte signifikant korrelation till momentan fyllnadsgrad. Tidsförskjutningen som korrelerar bäst mot dessa platser är förhållandevis hög, från 60 till 180 dagar. Dessa provplatser kan möjligen vara i mer långsamreagerande miljöer, där säsongsvariationen har större betydelse. Figur B1.4 visar samma resultat, dock inte fördelat per miljö. Det är tydligt att alkalinitet, i förhållande till de utvärderade provplatserna, har en dominerande negativ korrelation till fyllnadsgrad med kort eller ingen tidsförskjutning (under 20 dagar).



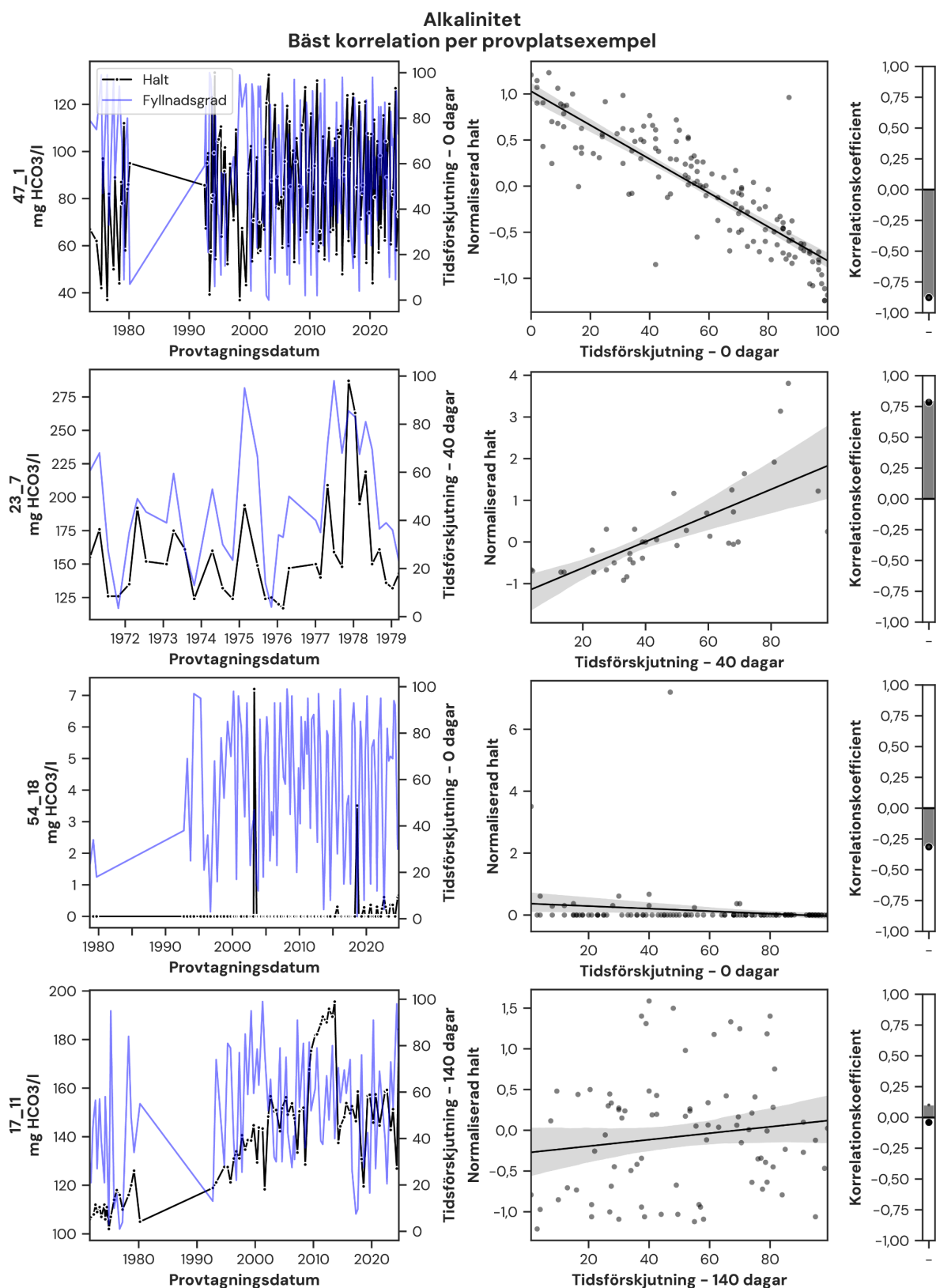
Figur B1.3. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta (p -värde $< 0,05$) medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



Figur B1.4. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

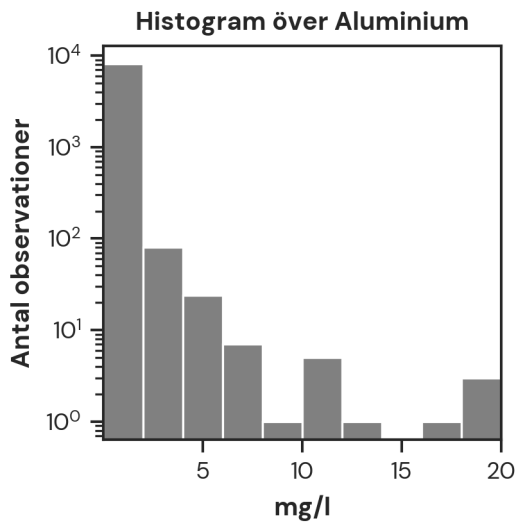
Exempel

Figur B1.5 visar tidsserier för fyra provplatsexempel, tillsammans med motsvarande normaliserad halt mot fyllnadsgrad med bäst korrelation inklusive eventuell tidsförskjutning (från figur B1.3). Figuren visar också korrelationskoefficienterna med och utan tidsförskjutning. De två översta exemplen visar de provplatser med högst respektive lägst bästa korrelationskoefficient. För dessa två stämmer normaliserad halt och fyllnadsgrad väl överens. De två nedre exemplen är slumpvis utvalda provplatser. För dessa är det också tydligt att den låga korrelationen över -0,3 eller under 0,3, stämmer överens med den stora spridningen i graferna med normaliserad halt mot fyllnadsgrad, och att alkalinitet och fyllnadsgrad inte verkar samvariera på dessa platser.



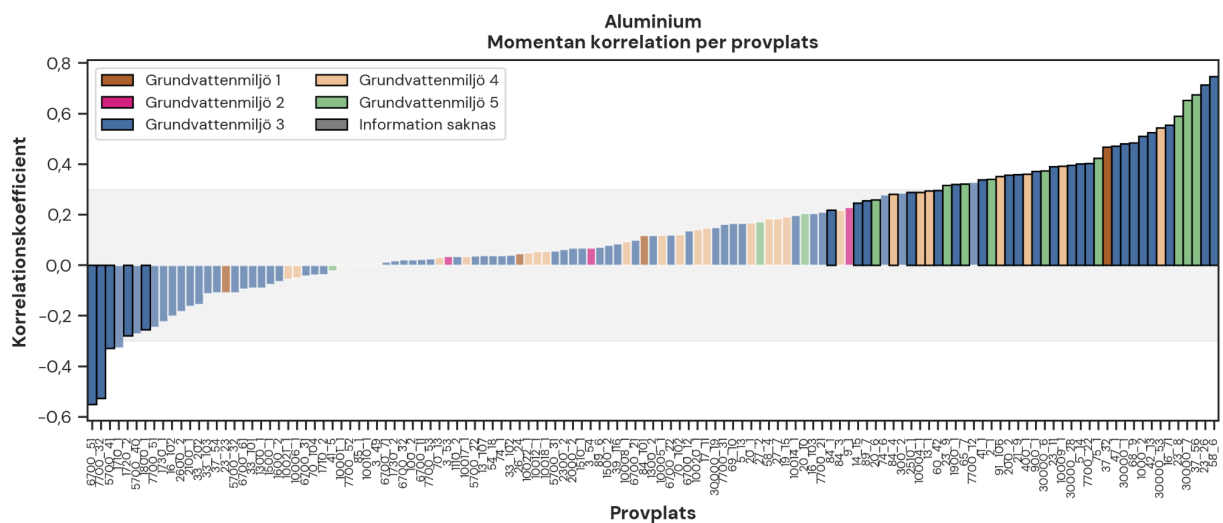
Figur B1.5. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Aluminium



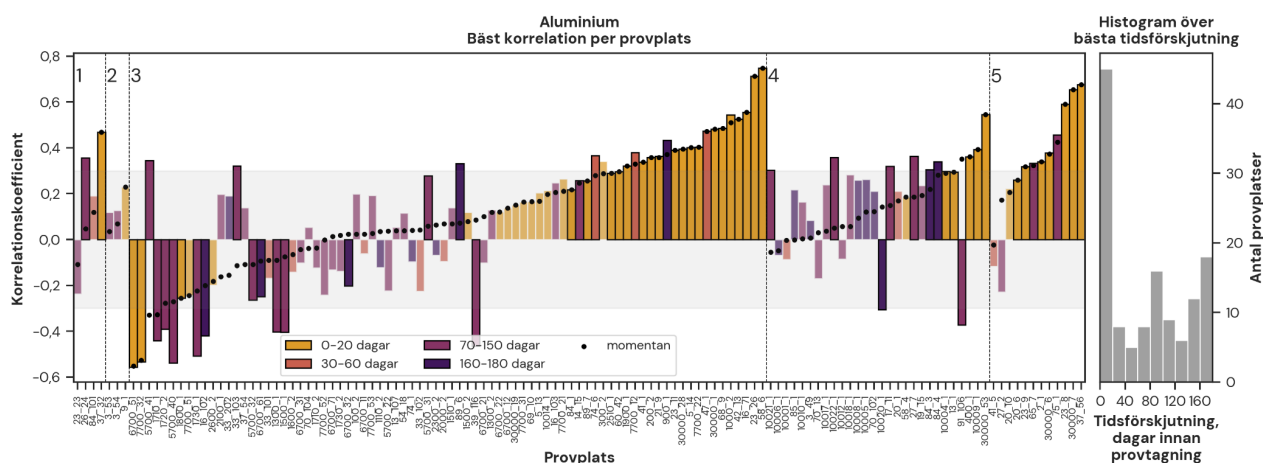
Figur B1.6. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

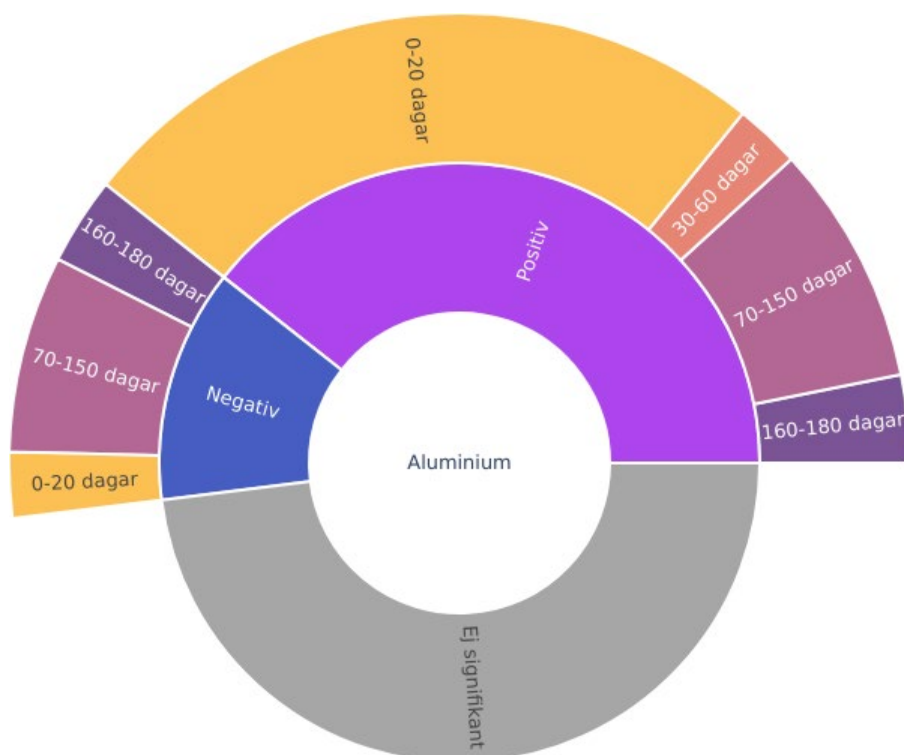


Figur B1.7. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

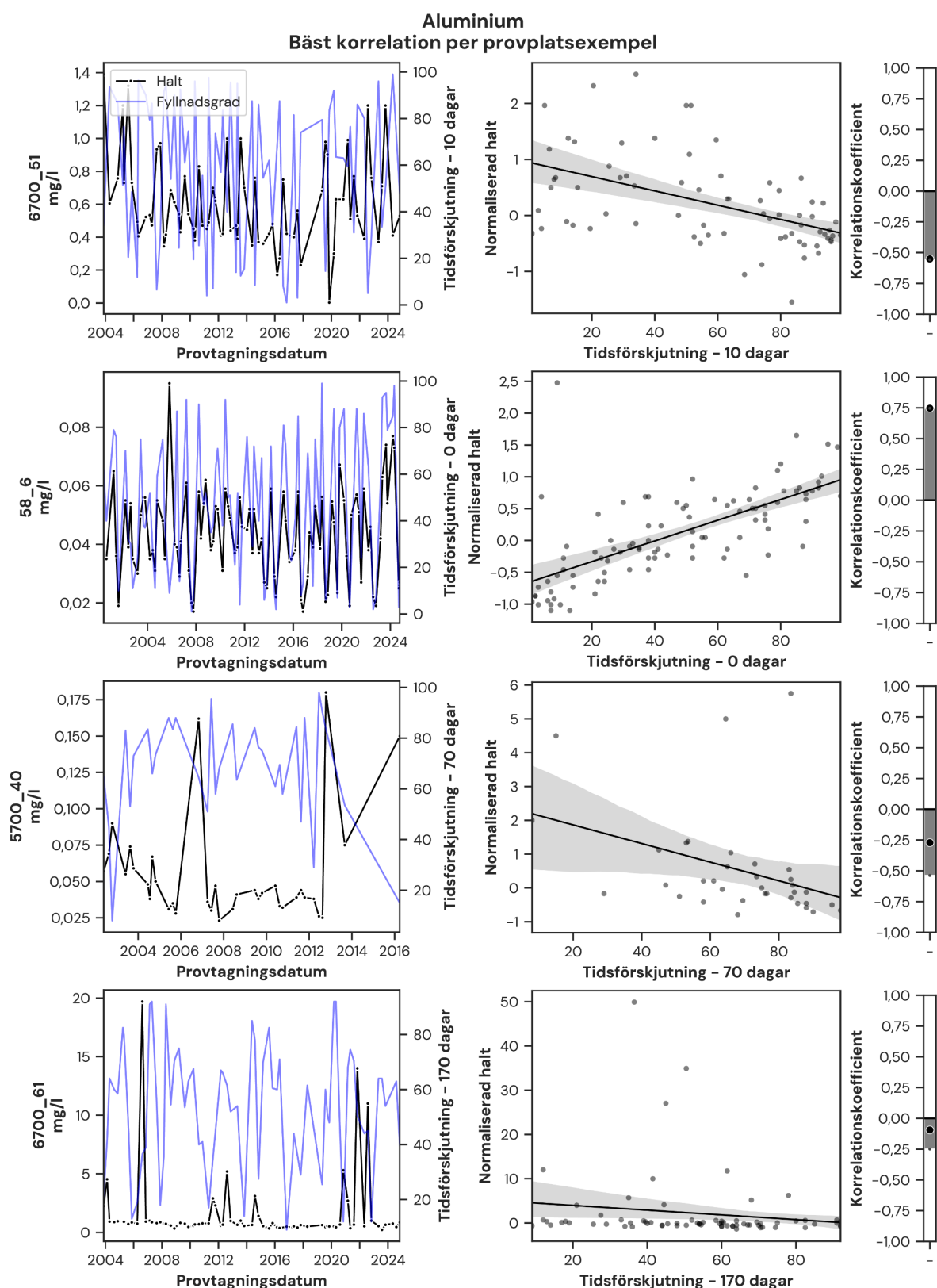


Figur B1.8. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



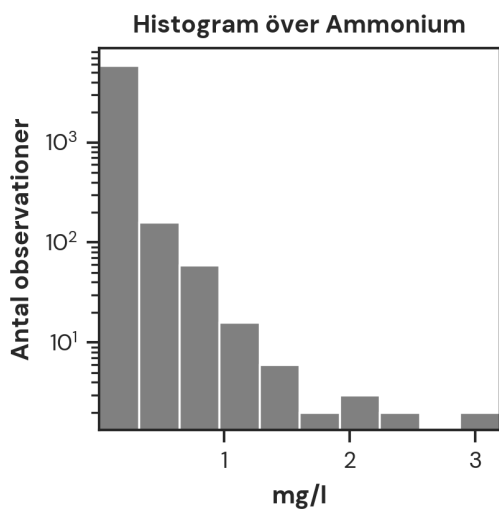
Figur B1.9. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



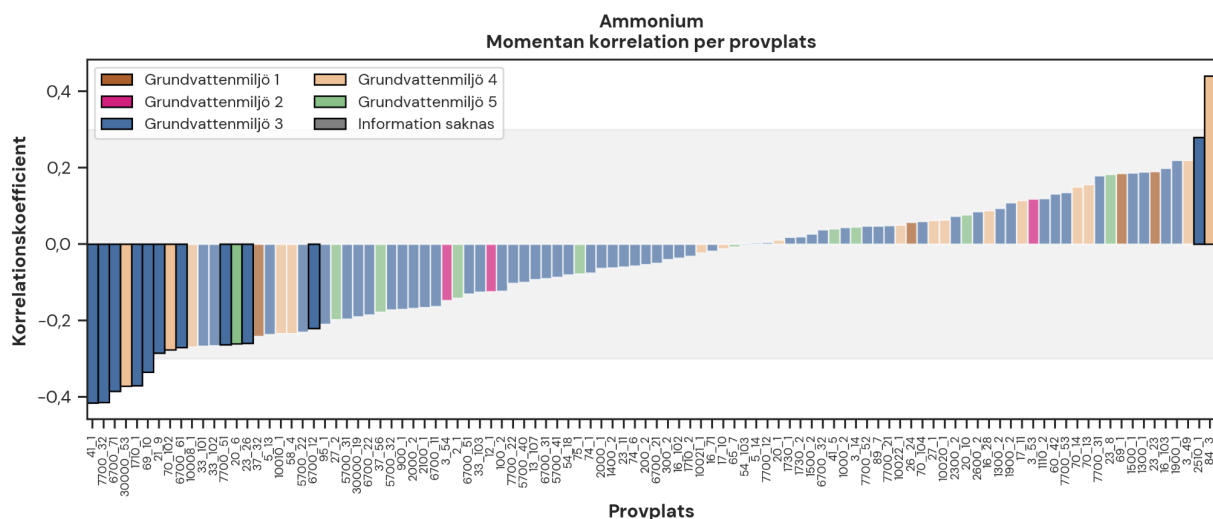
Figur B1.10. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Ammonium



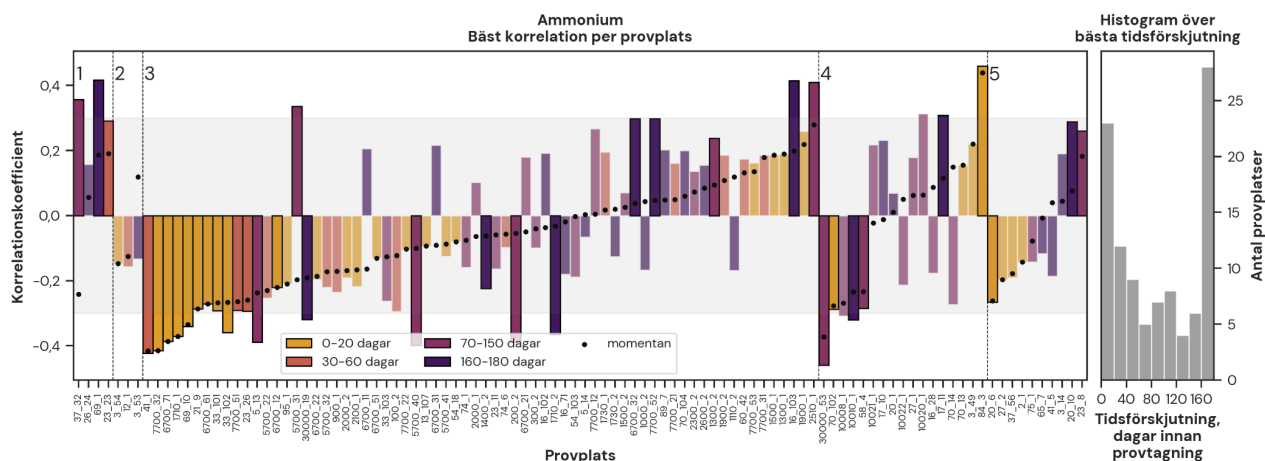
Figur B1.11. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

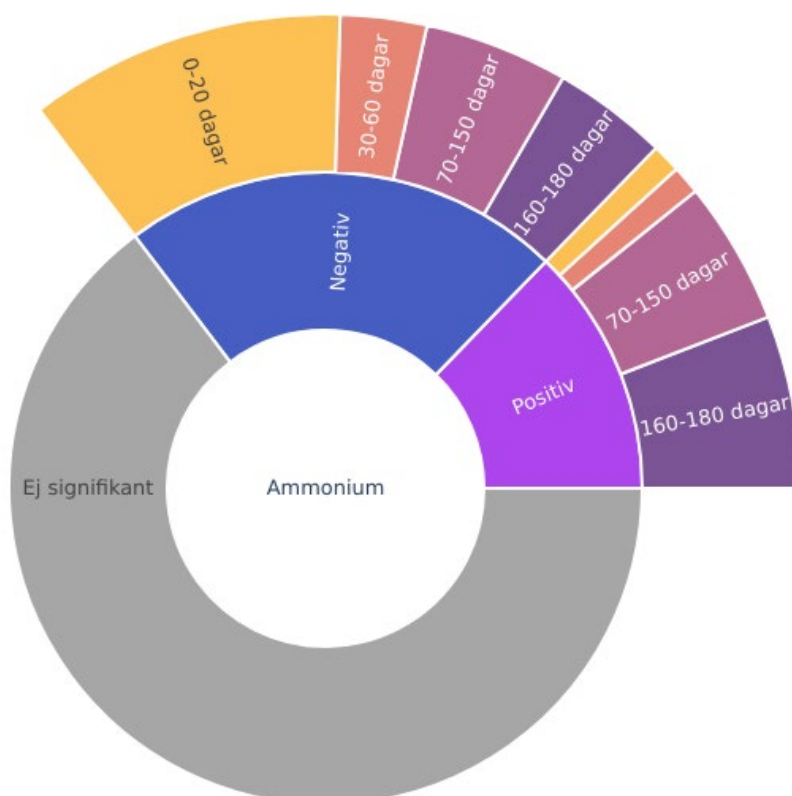


Figur B1.12. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

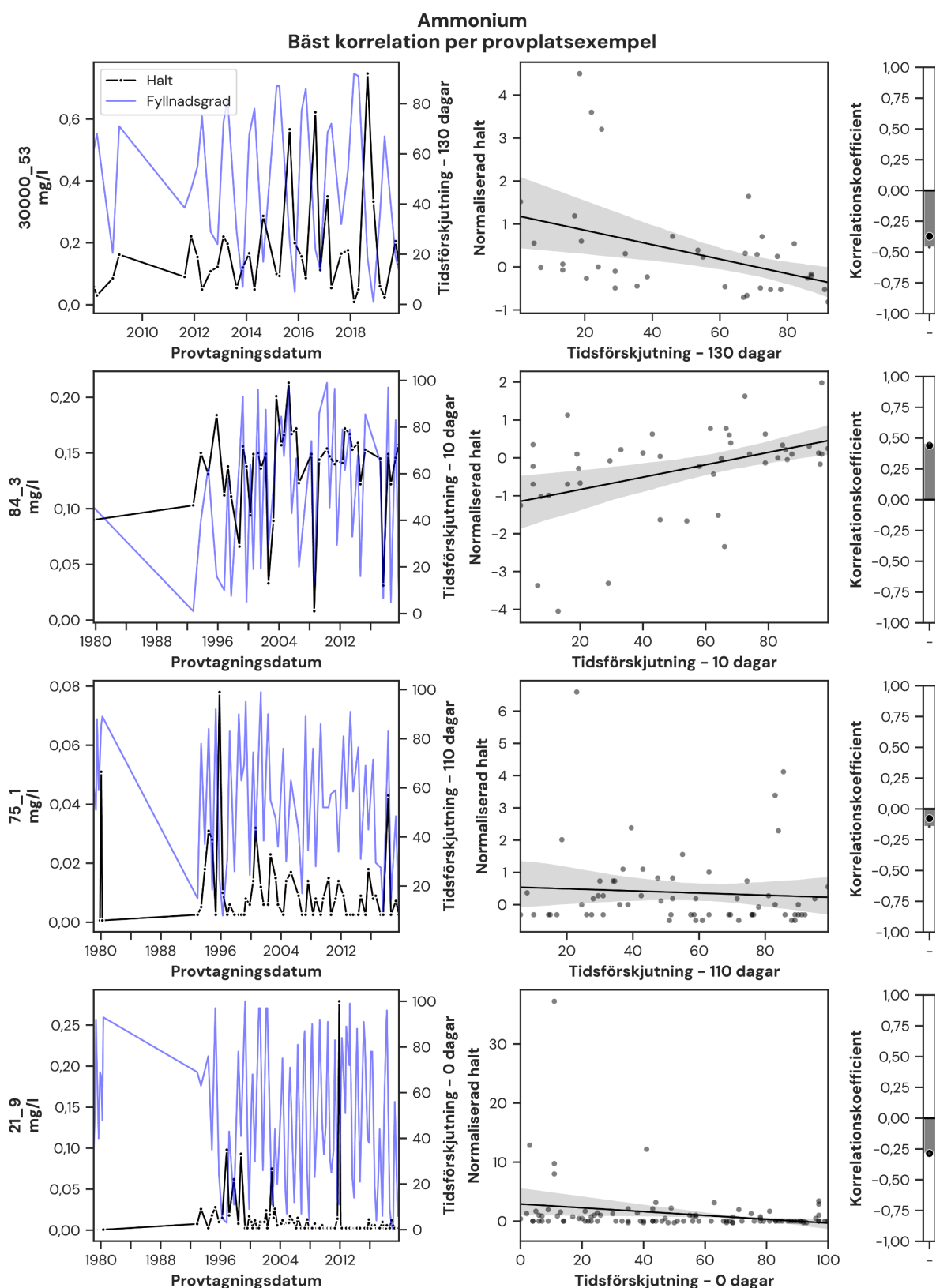


Figur B1.13. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjutnen fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



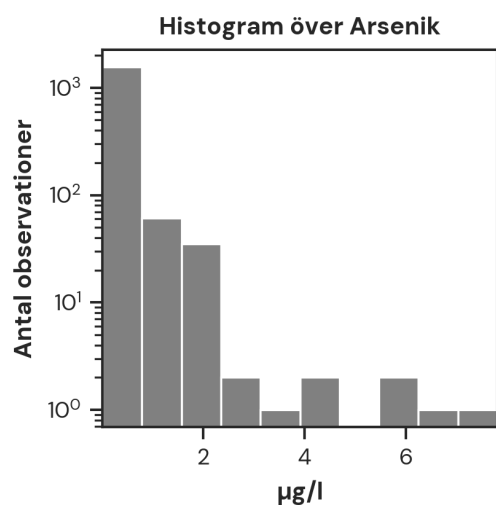
Figur B1.14. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



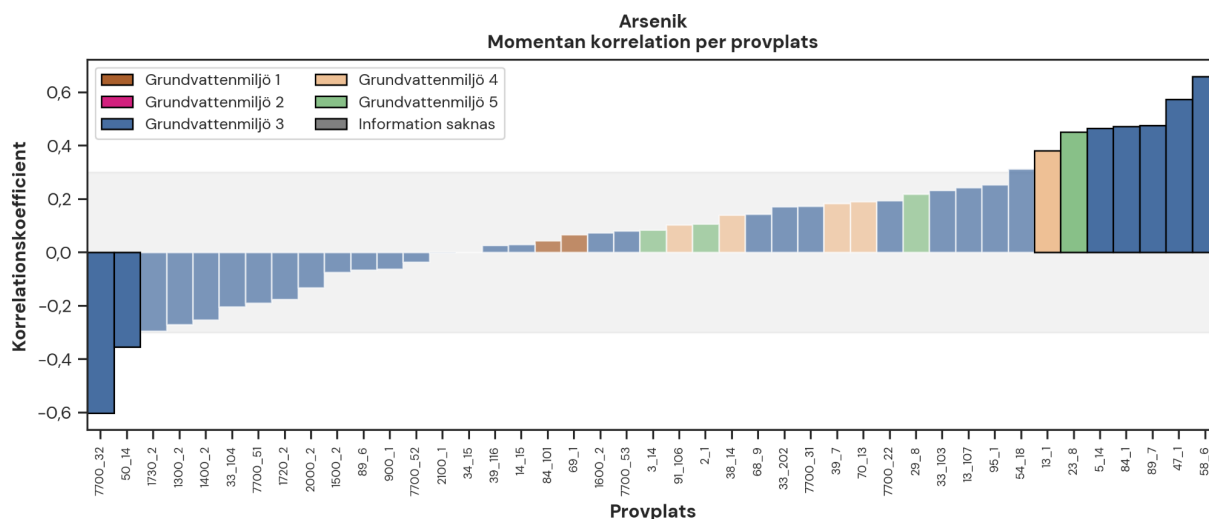
Figur B1.15. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Arsenik



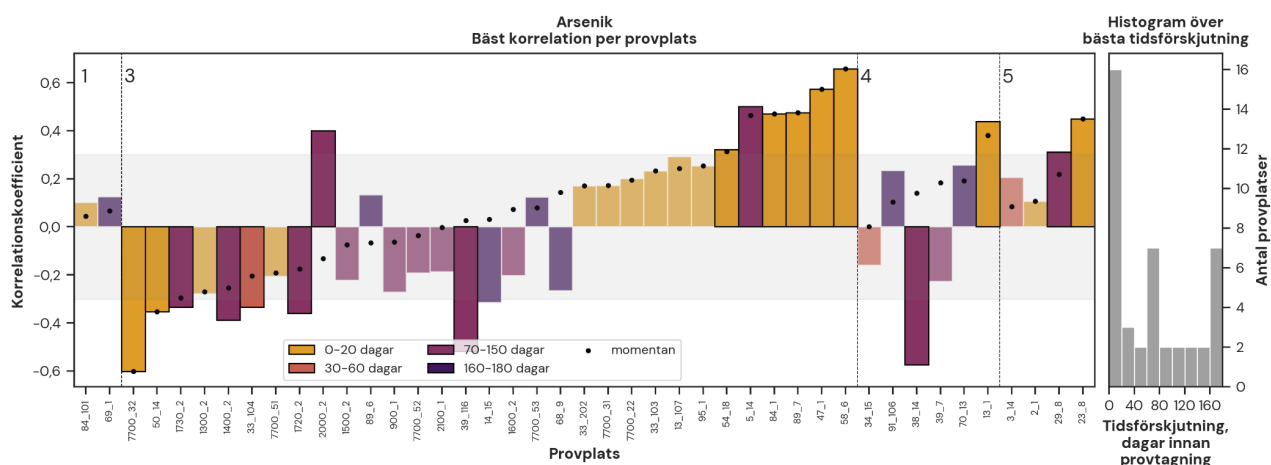
Figur B1.16. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

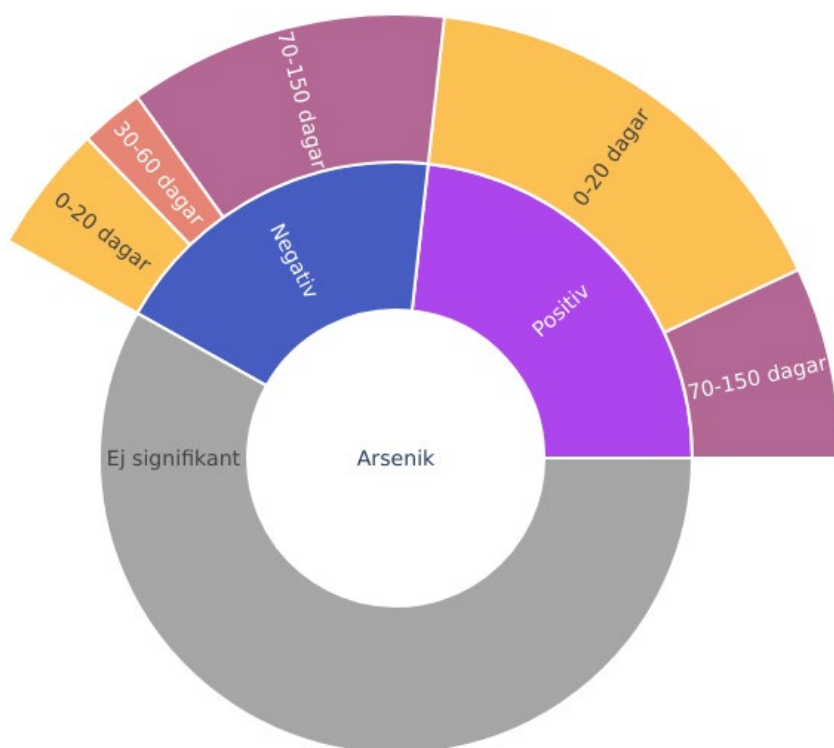


Figur B1.17. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

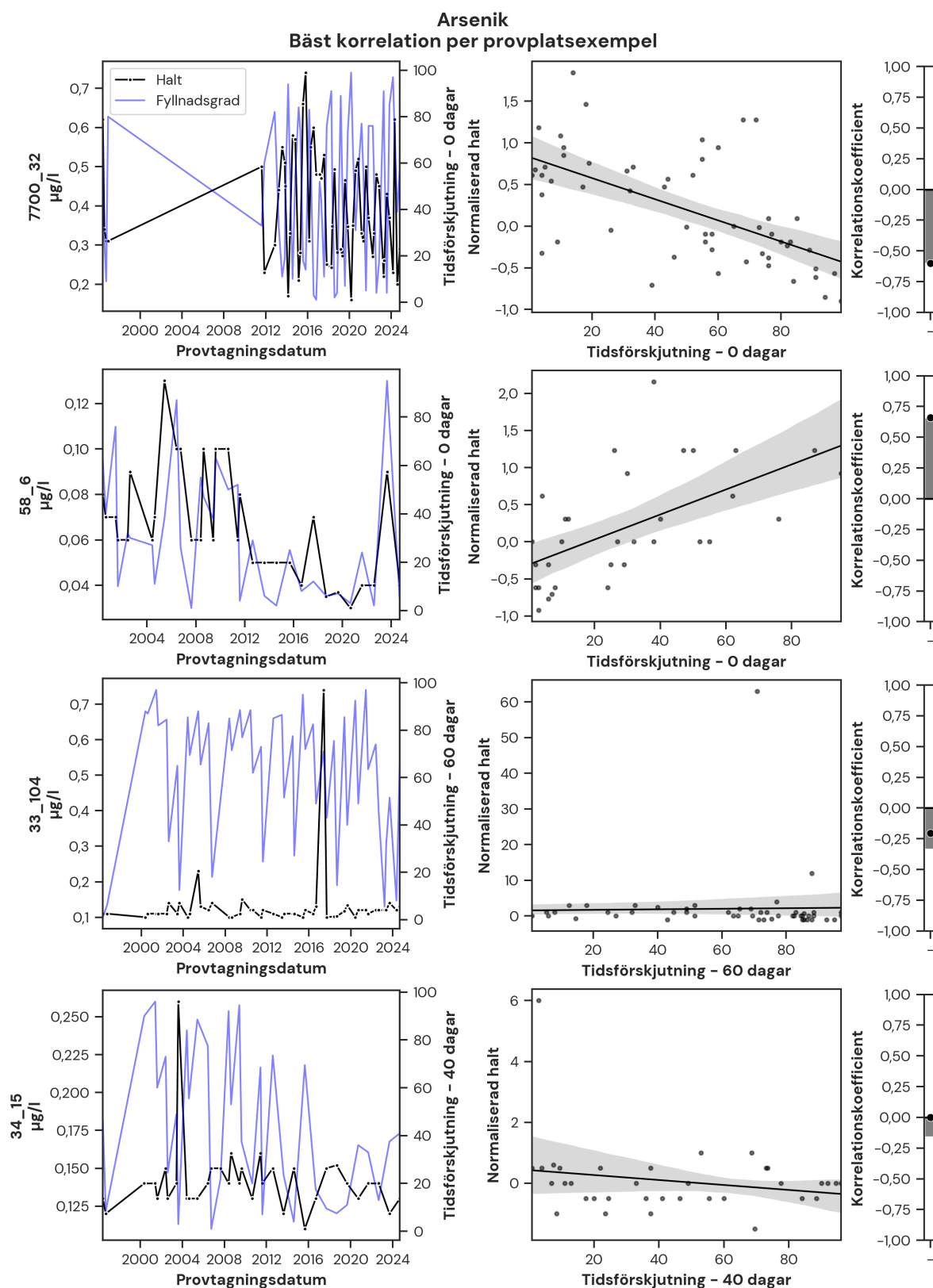


Figur B1.18. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



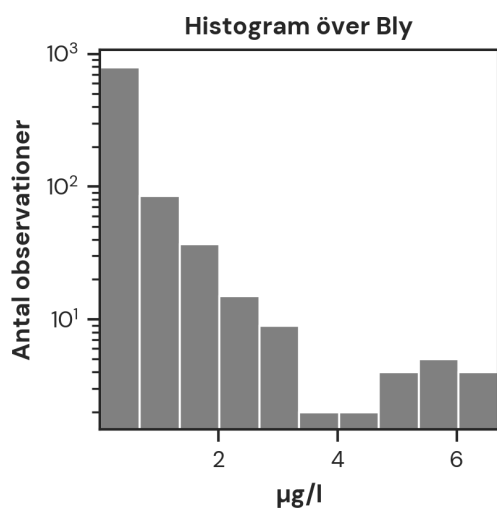
Figur B1.19. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



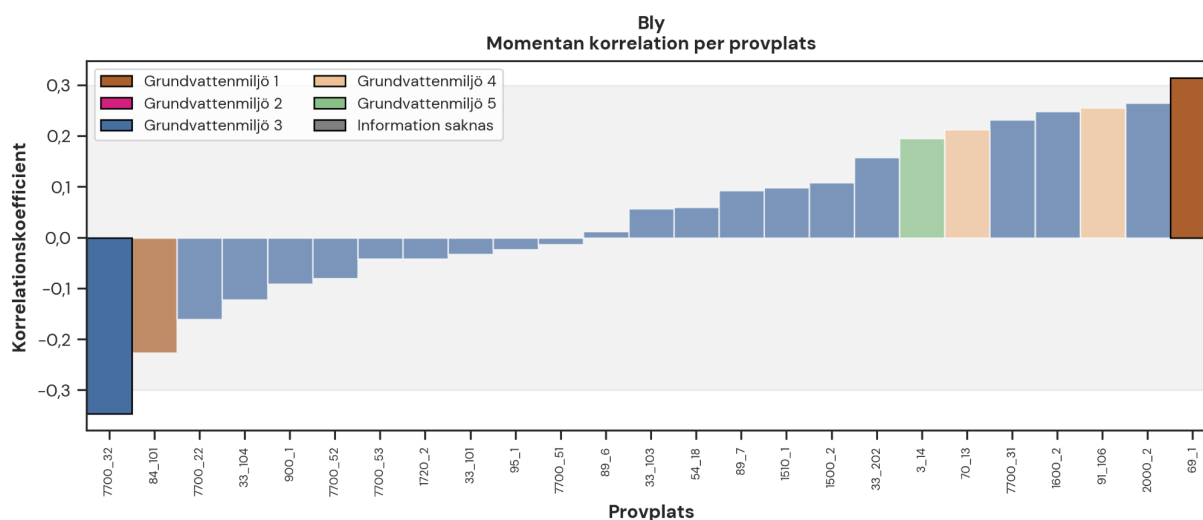
Figur B1.20. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Bly



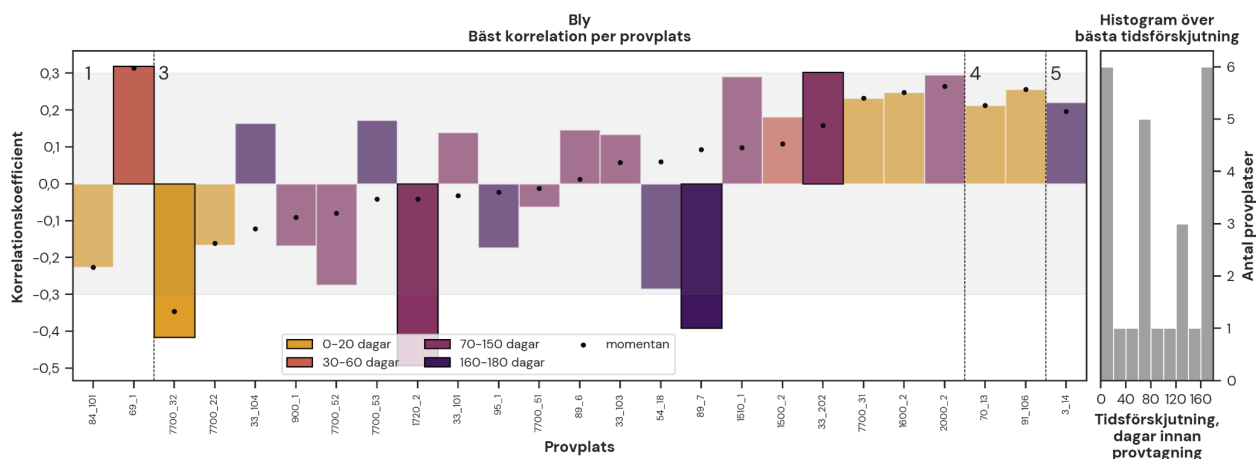
Figur B1.21. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

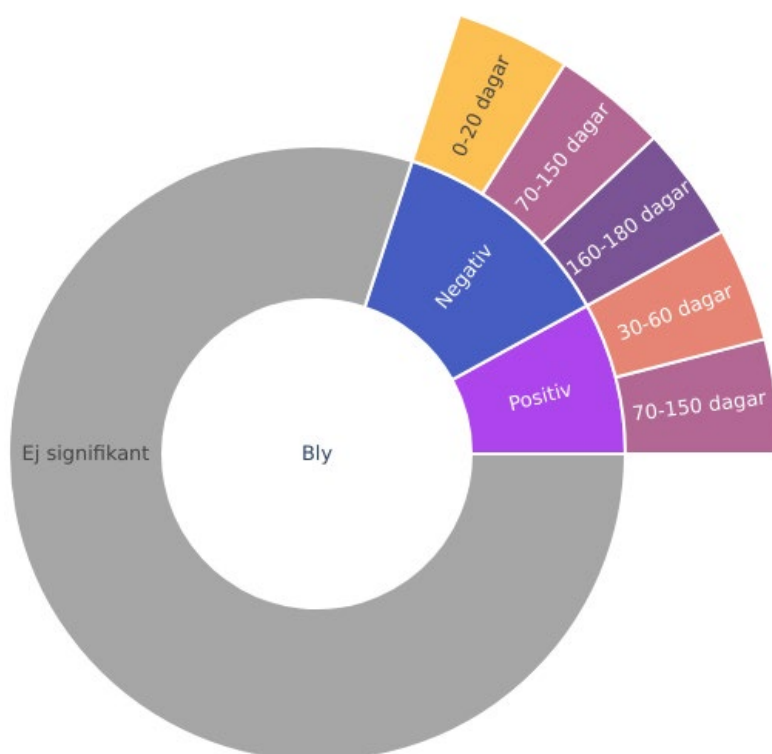


Figur B1.22. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

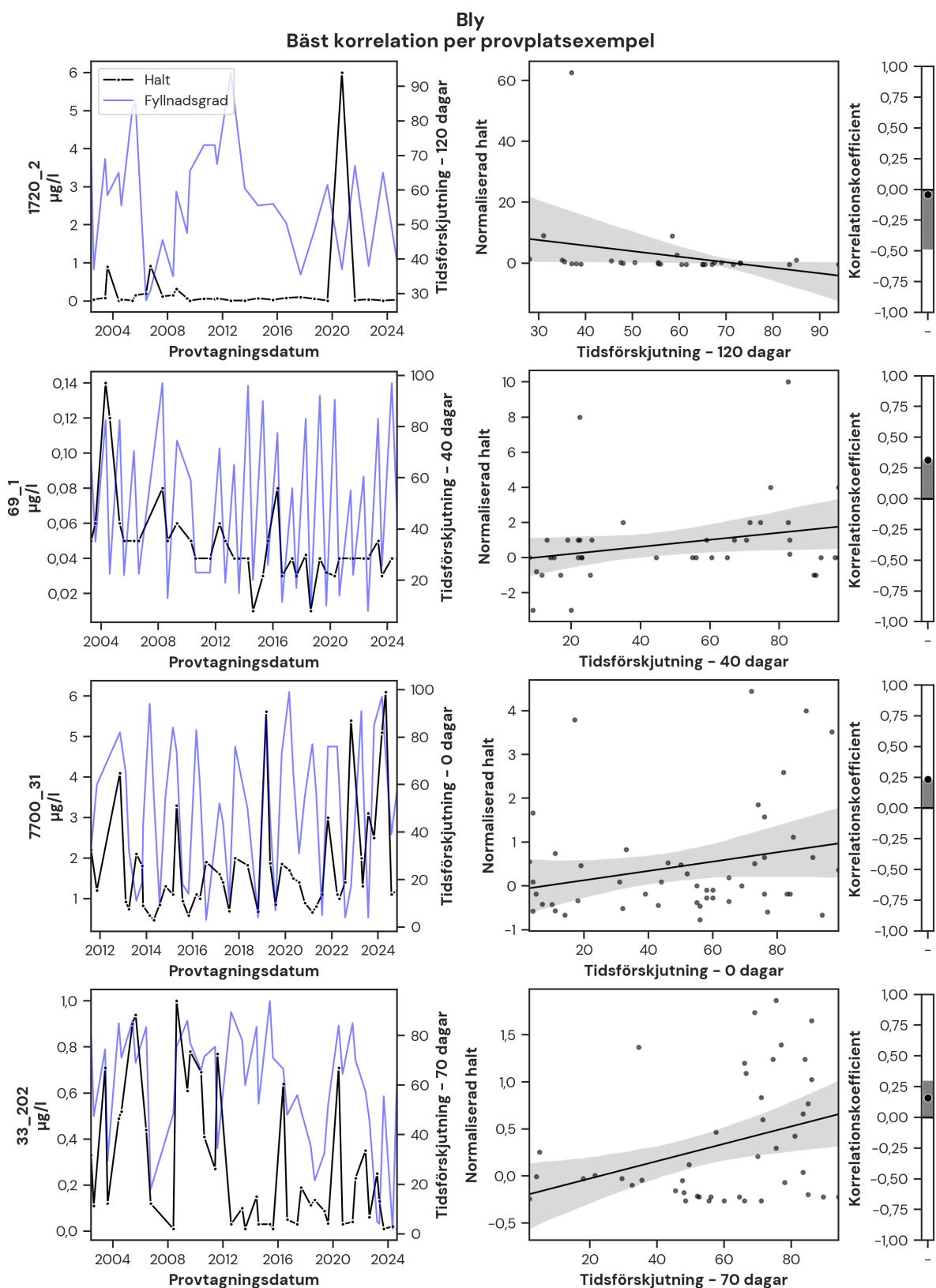


Figur B1.23. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



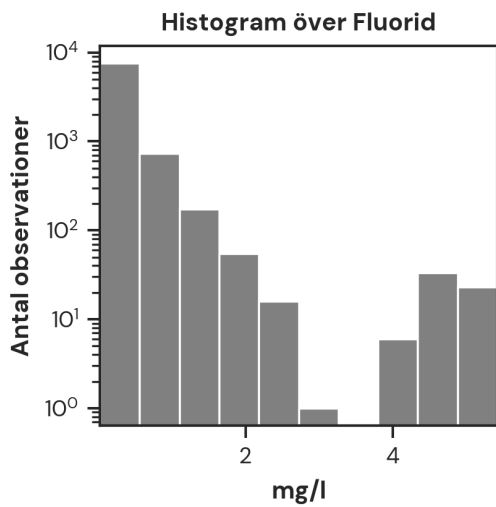
Figur B1.24. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



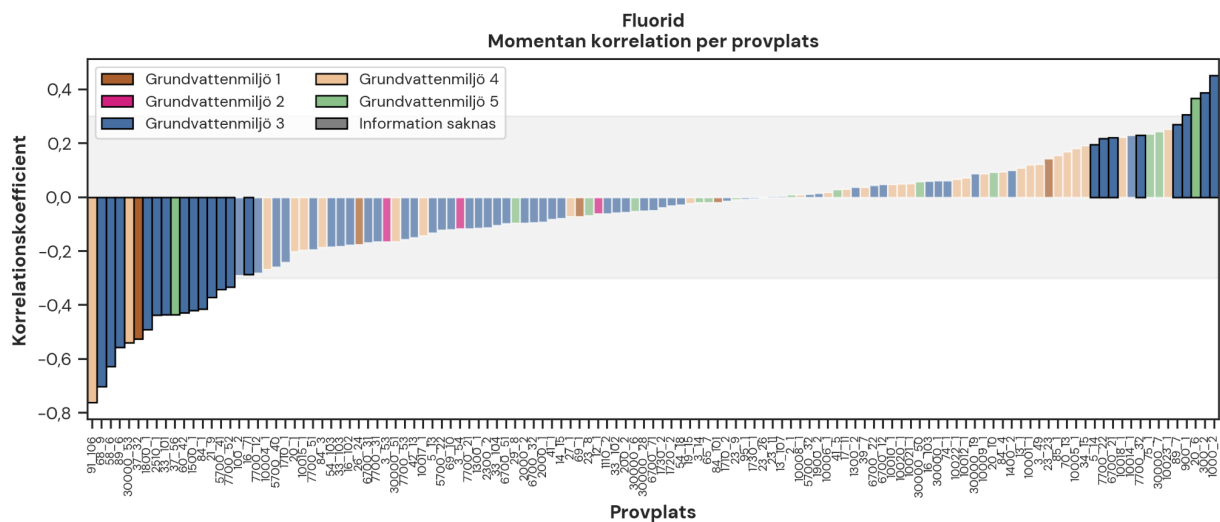
Figur B1.25. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Fluorid



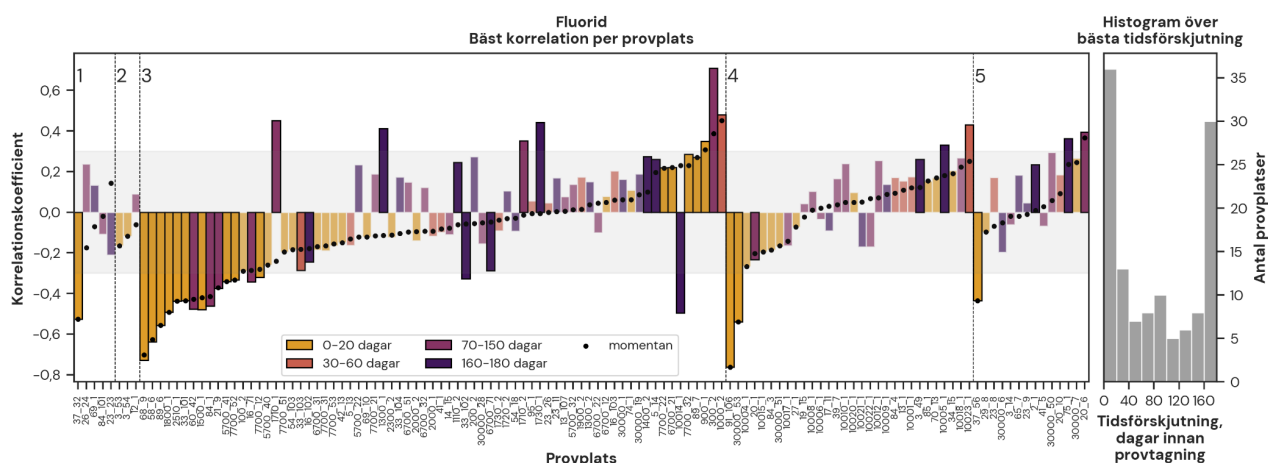
Figur B1.26. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

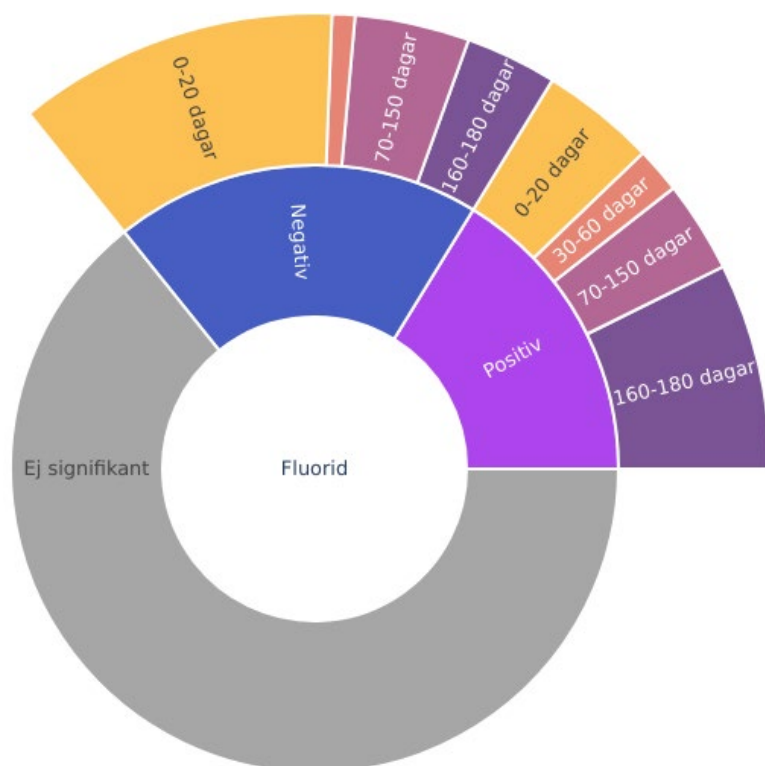


Figur B1.27. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

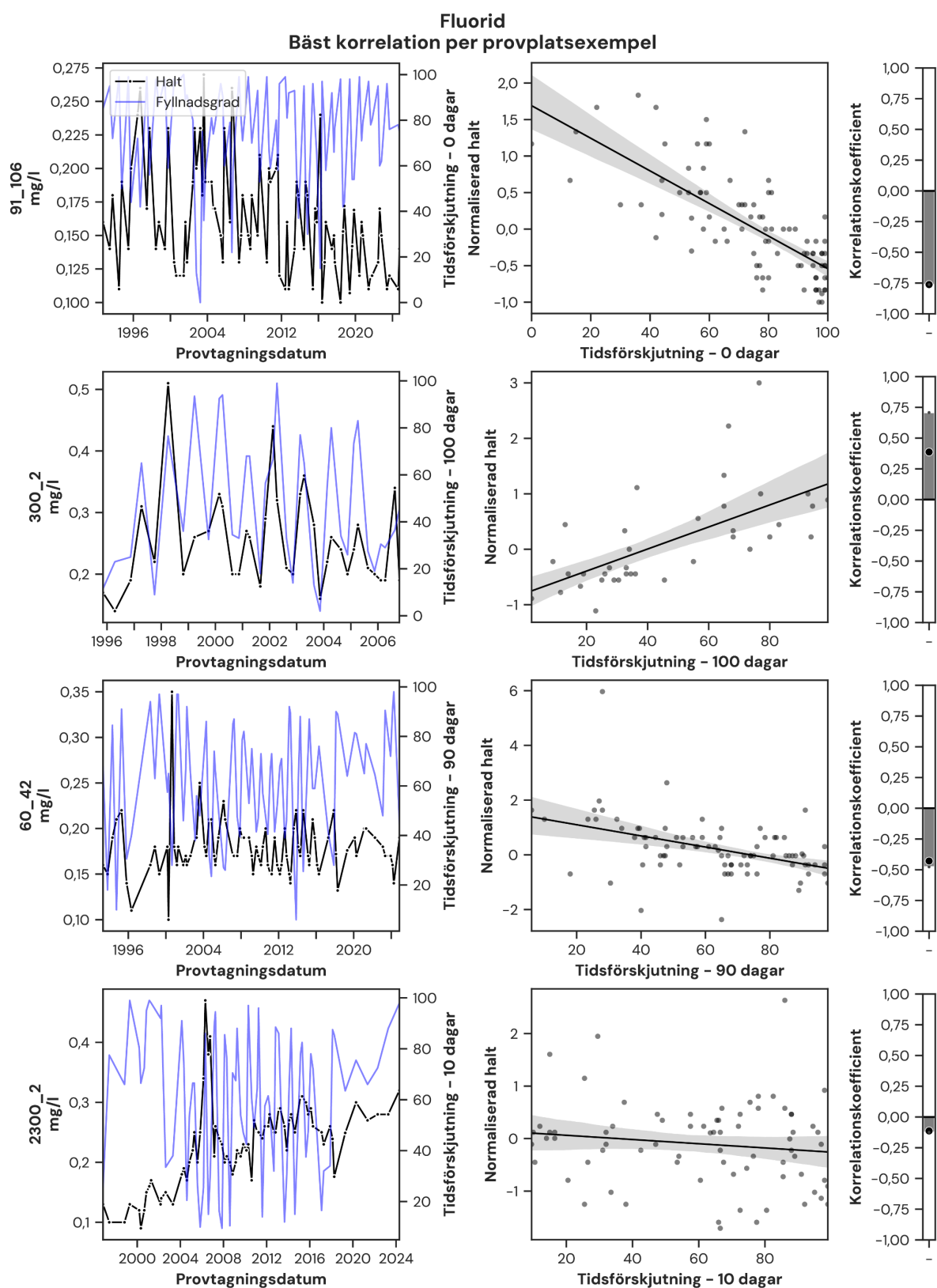


Figur B1.28. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



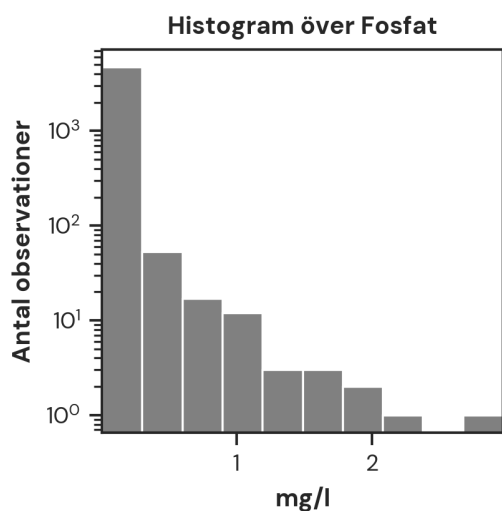
Figur B1.29. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's $\rho > 0$) eller negativ (Spearman's $\rho < 0$).

Exempel



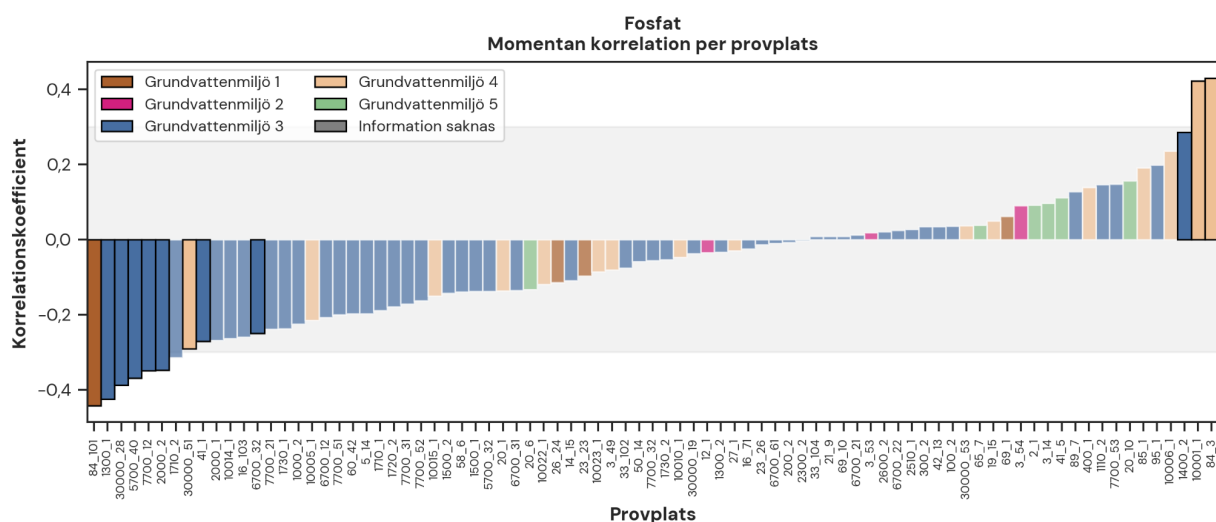
Figur B1.30. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Fosfat



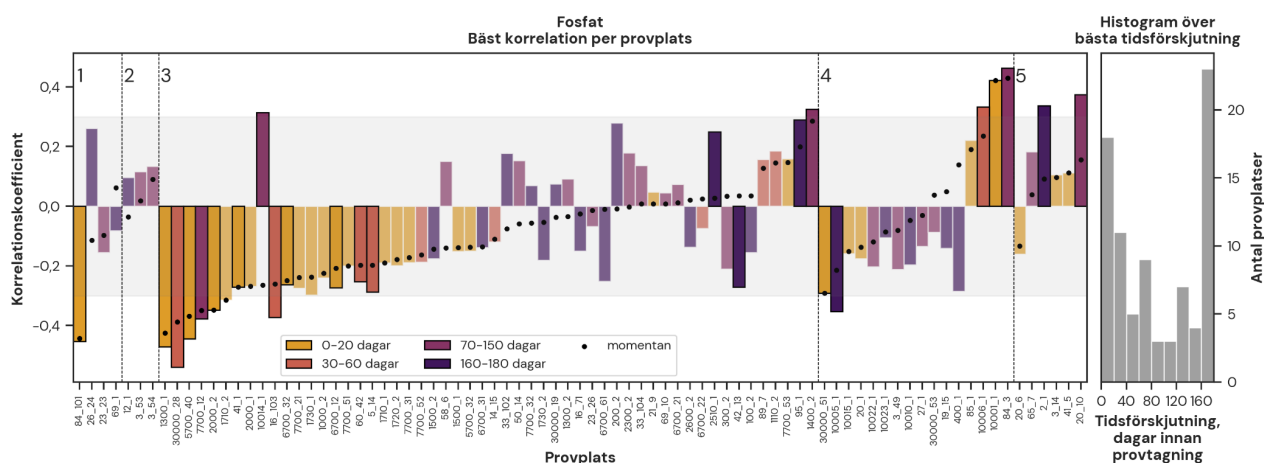
Figur B1.31. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

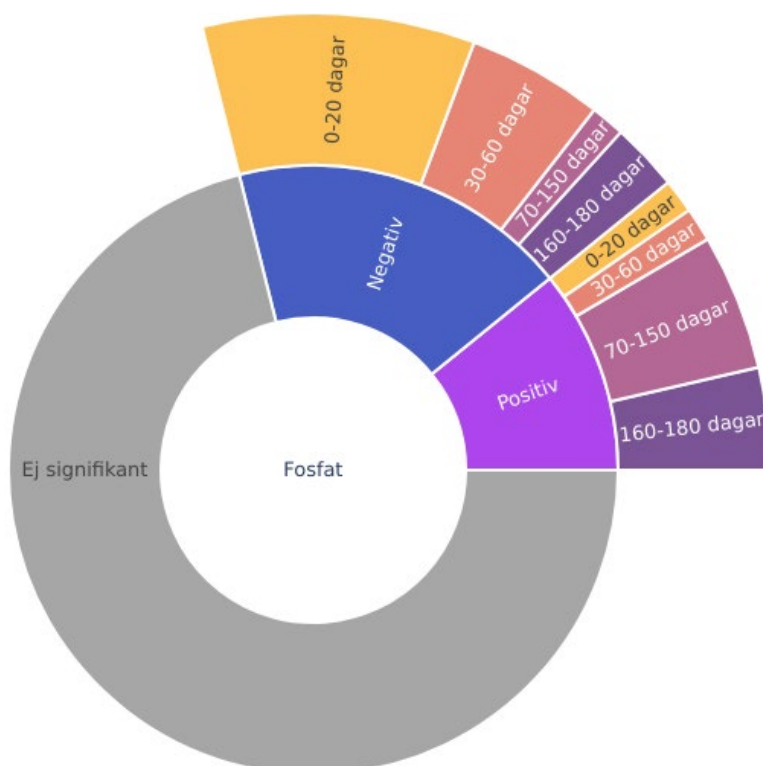


Figur B1.32. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

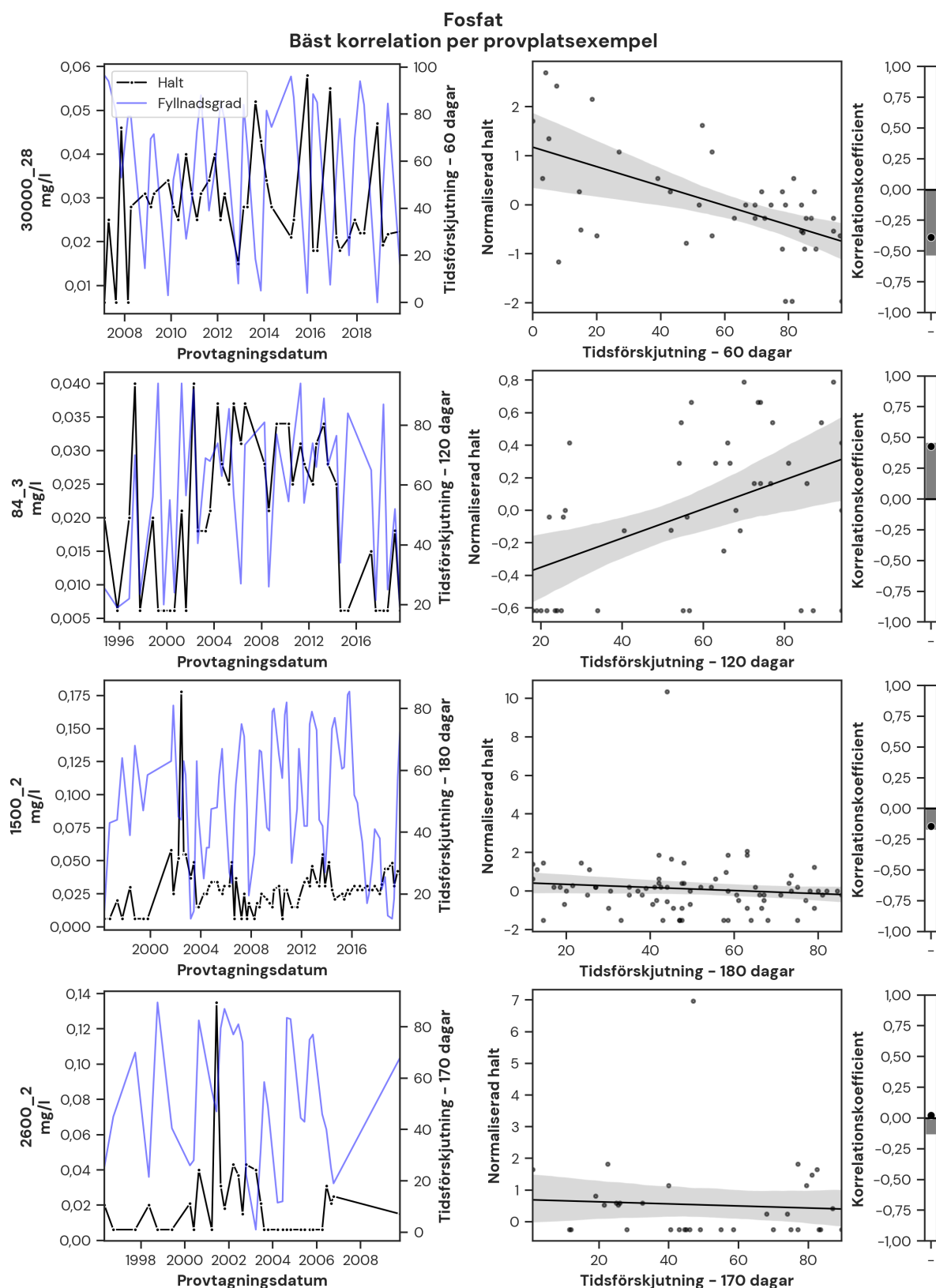


Figur B1.33. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



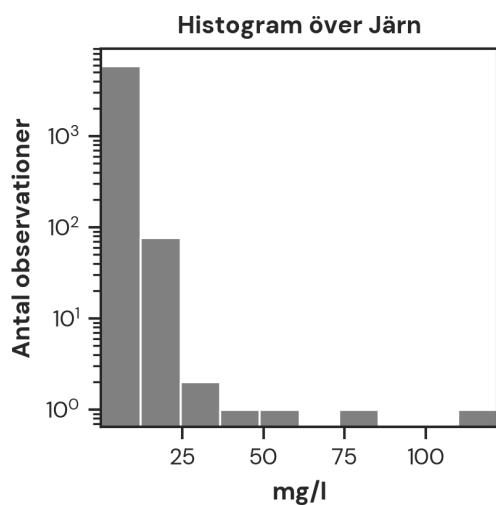
Figur B1.34. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



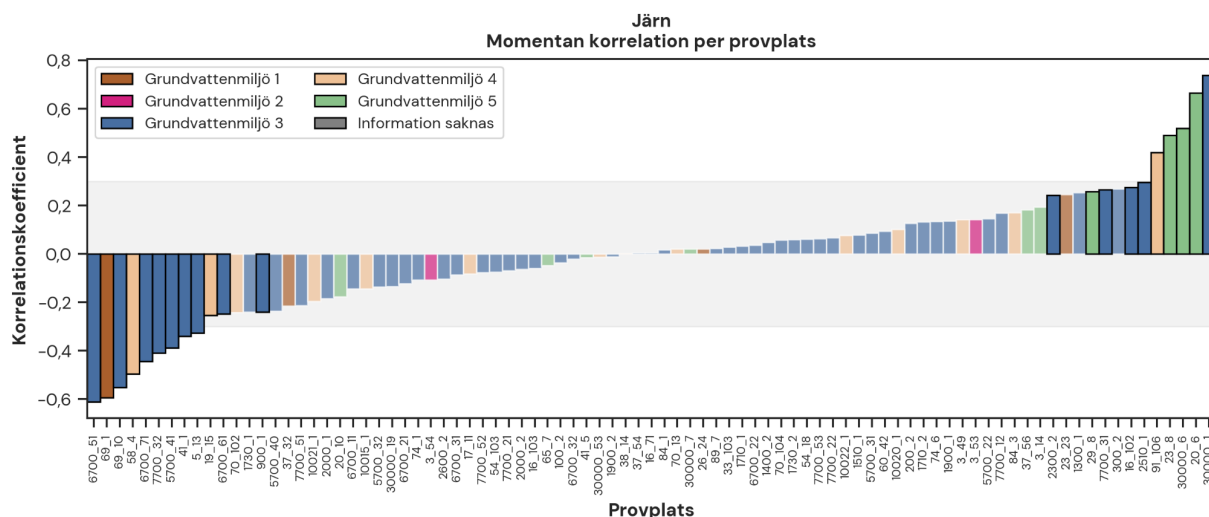
Figur B1.35. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Järn



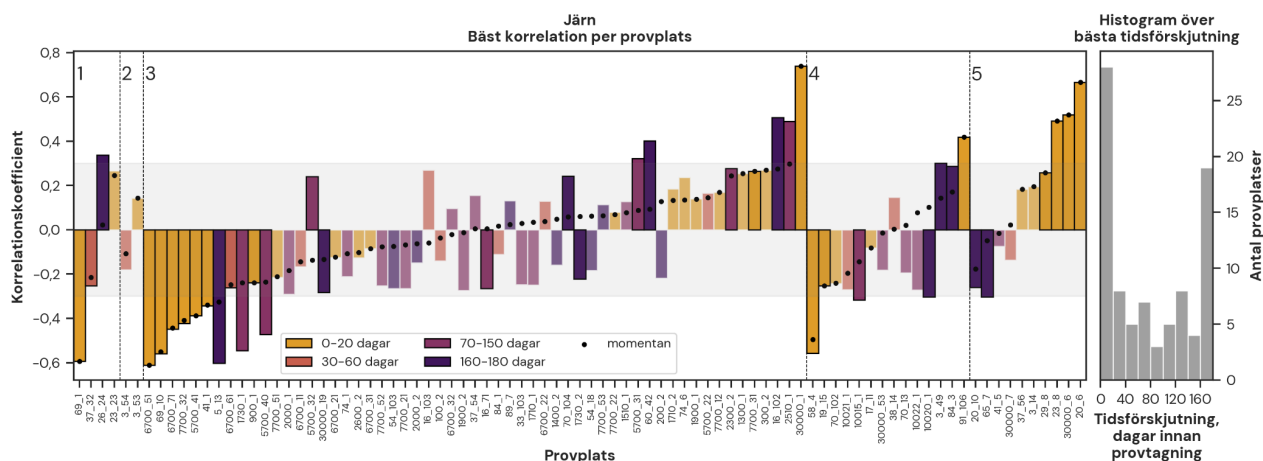
Figur B1.36. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

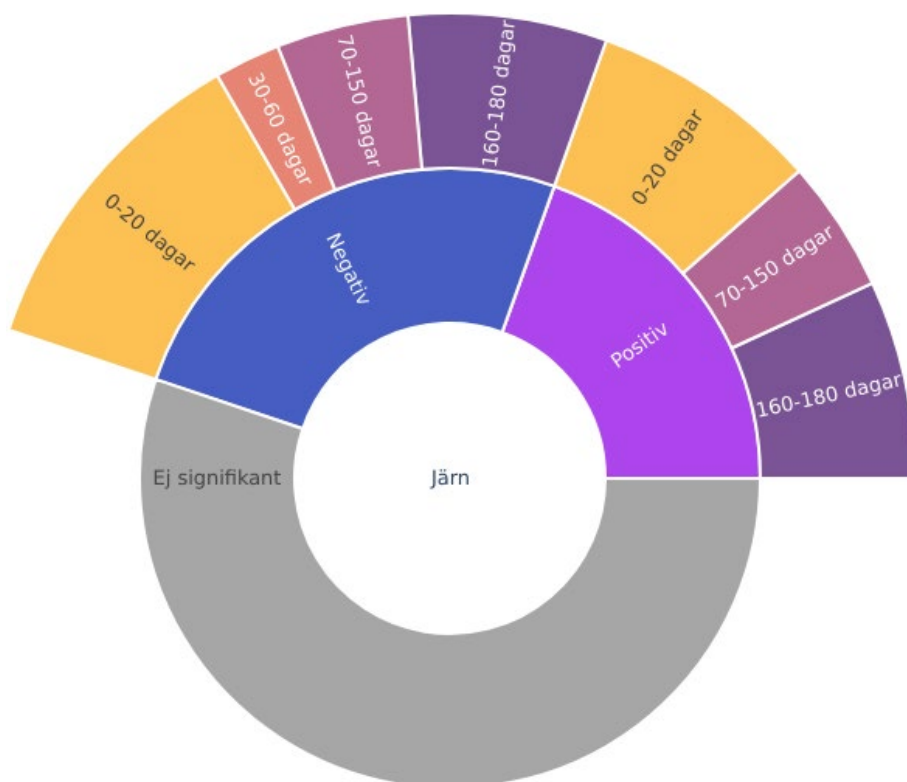


Figur B1.37. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

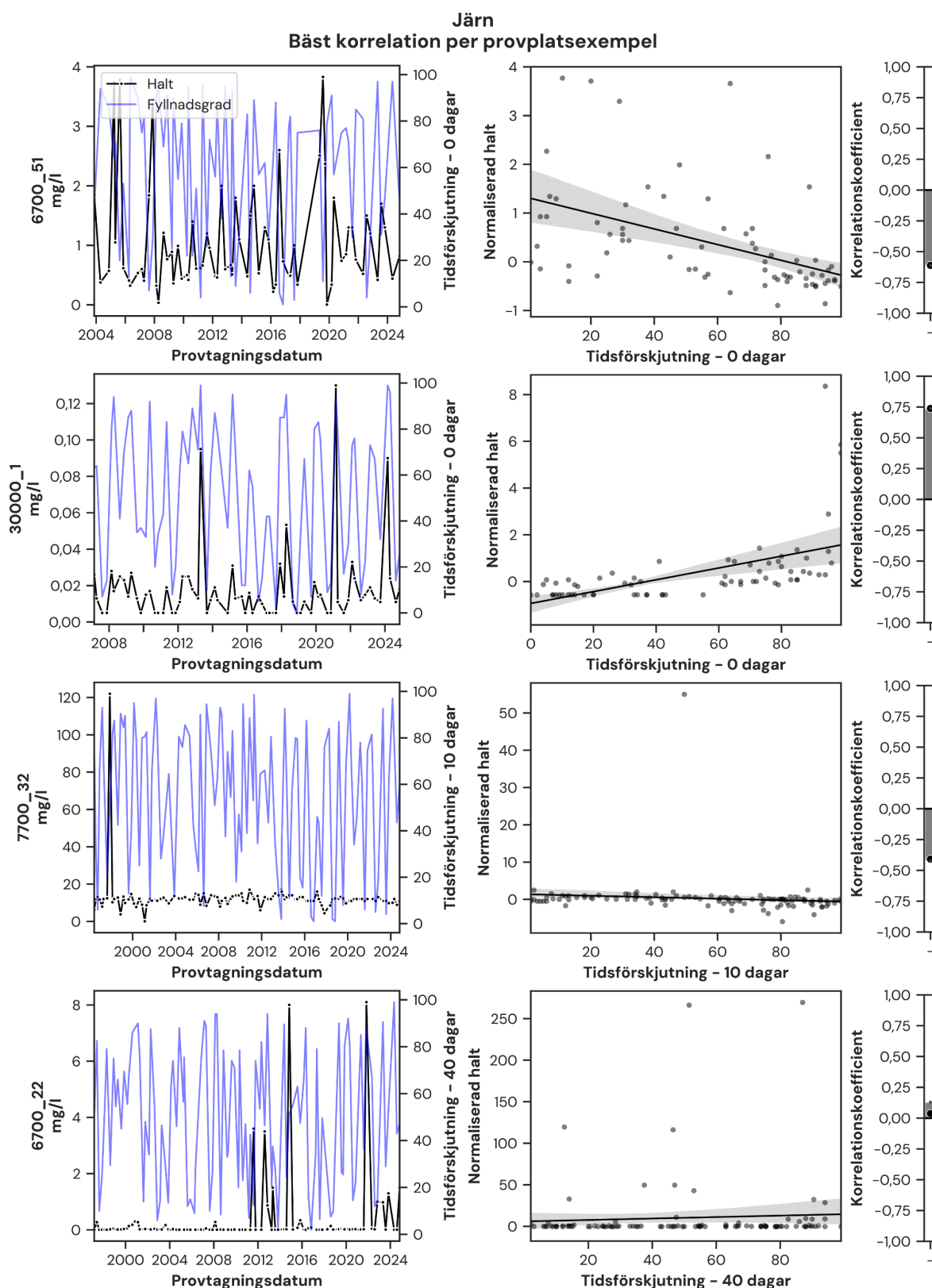


Figur B1.38. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjutnen fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



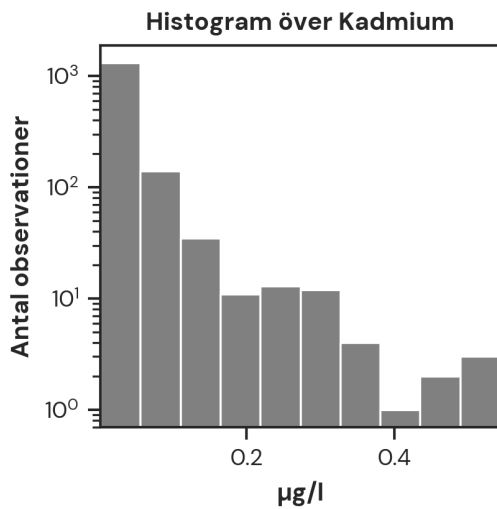
Figur B1.39. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



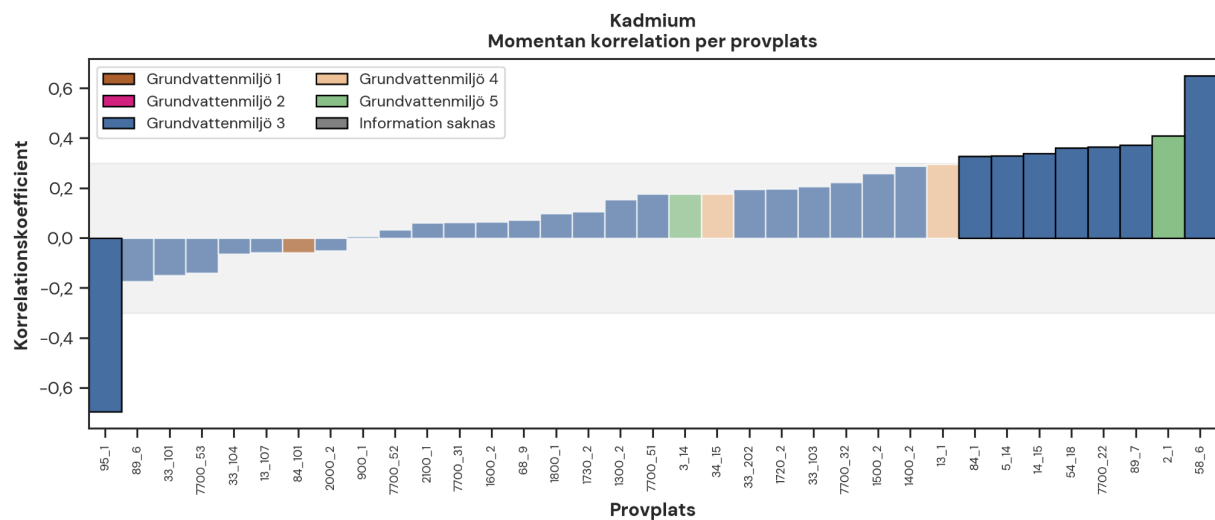
Figur B1.40. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Kadmium



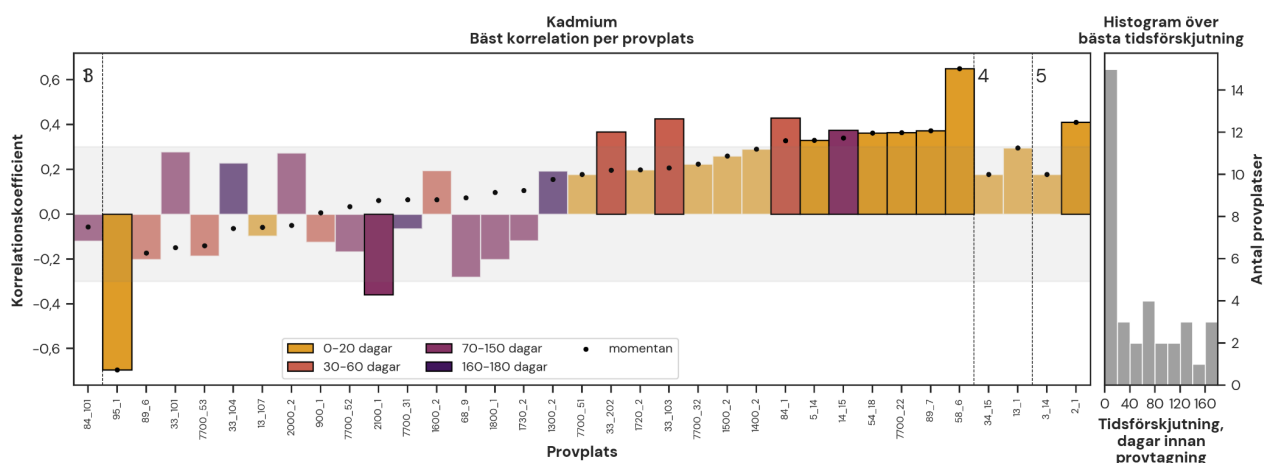
Figur B1.41. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

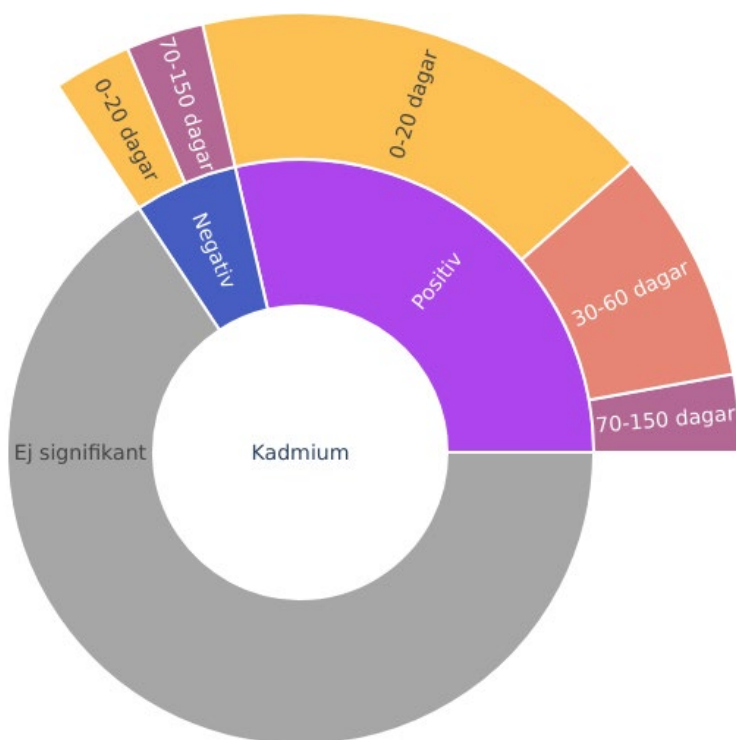


Figur B1.42. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

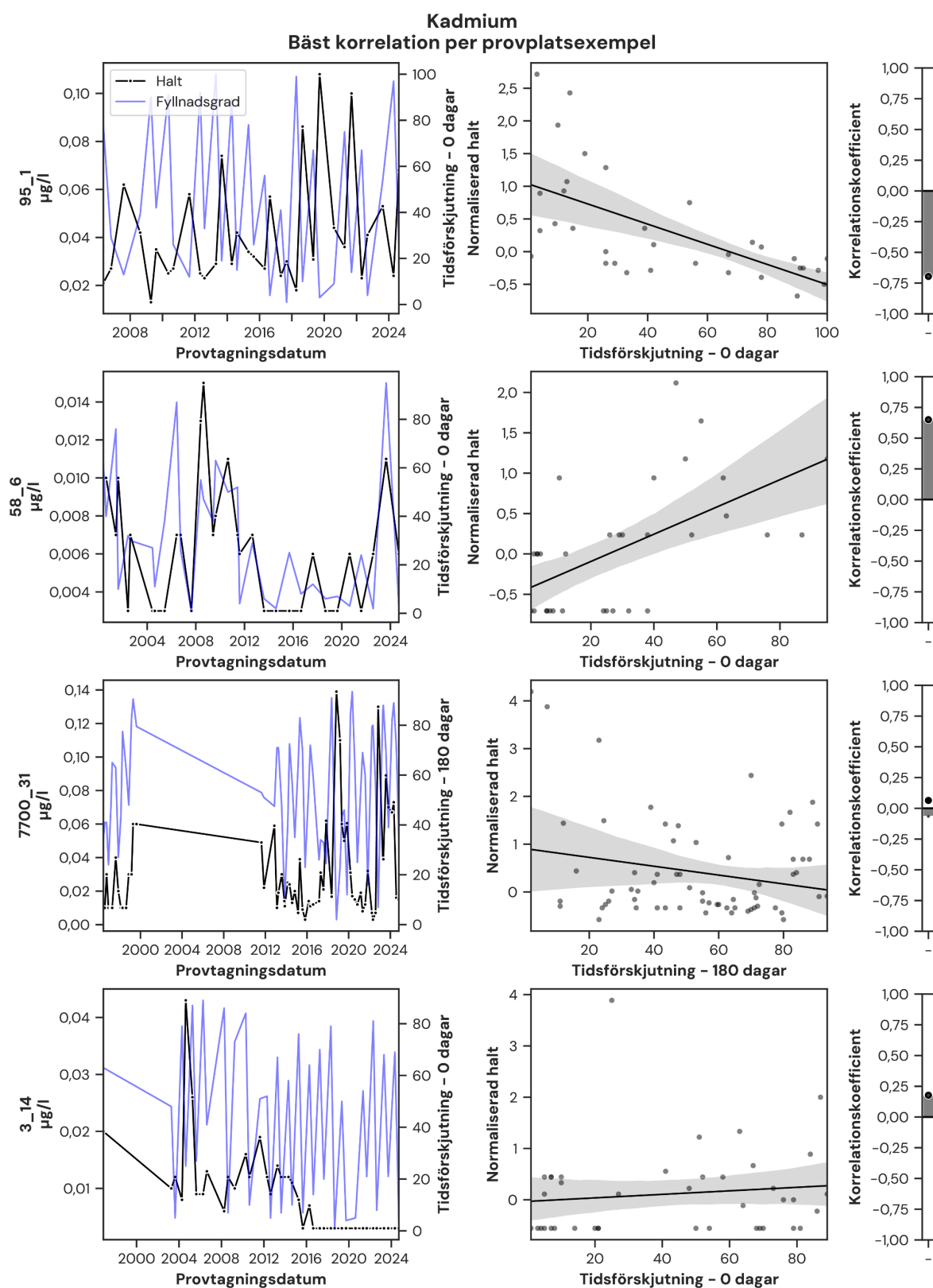


Figur B1.43. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



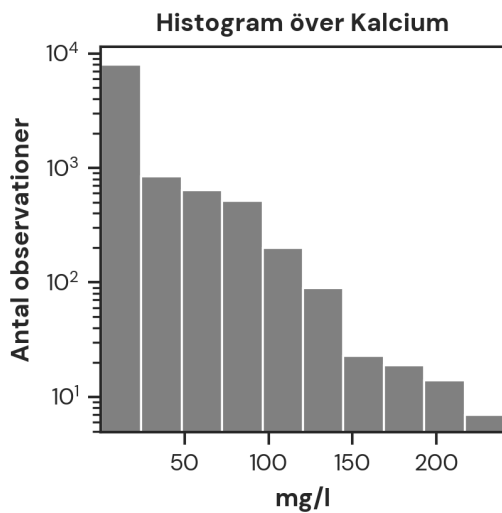
Figur B1.44. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



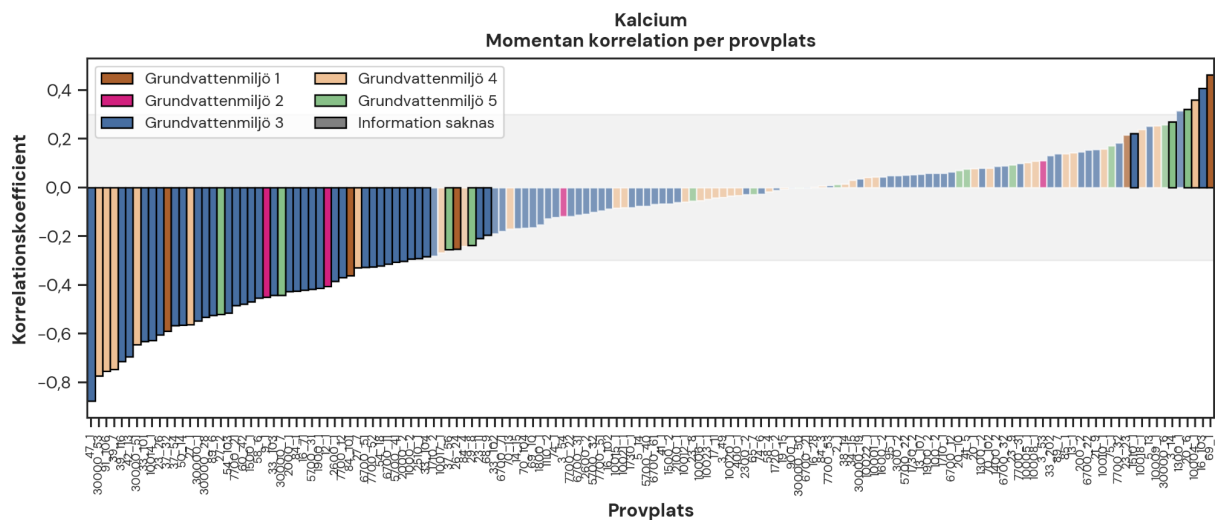
Figur B1.45. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Kalcium



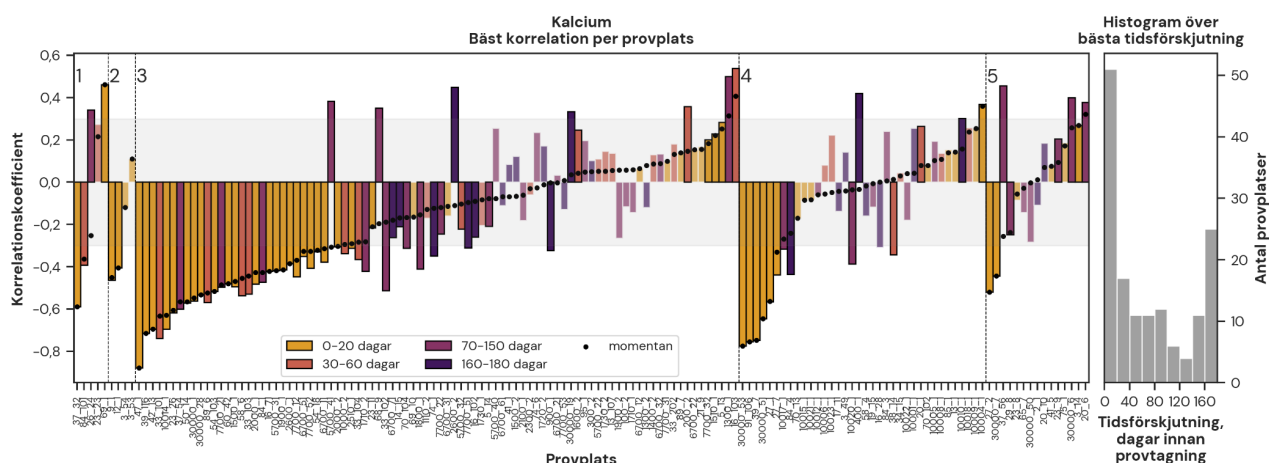
Figur B1.46. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

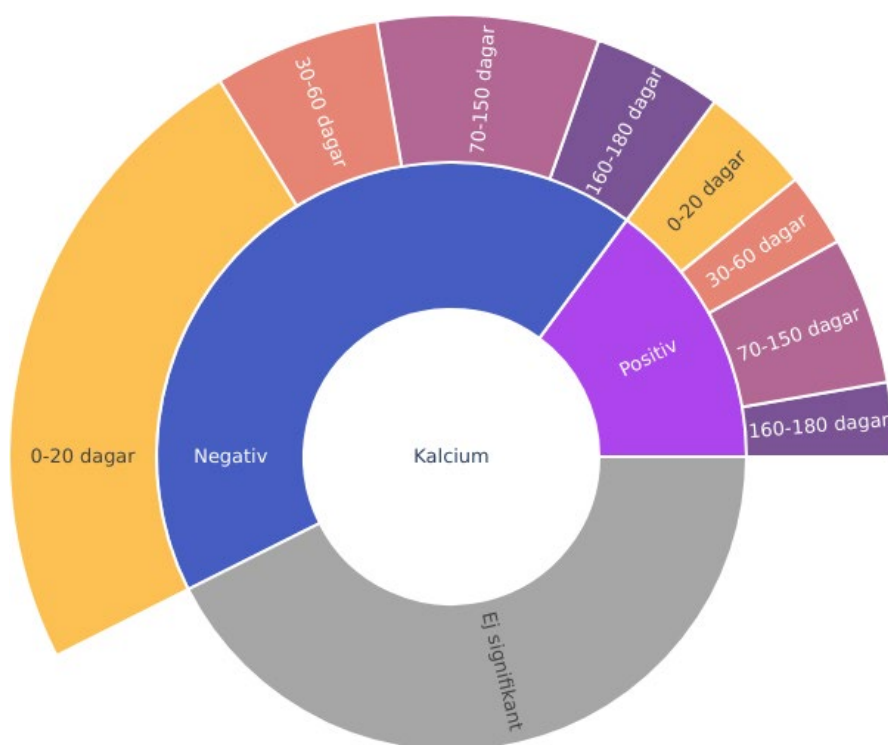


Figur B1.47. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

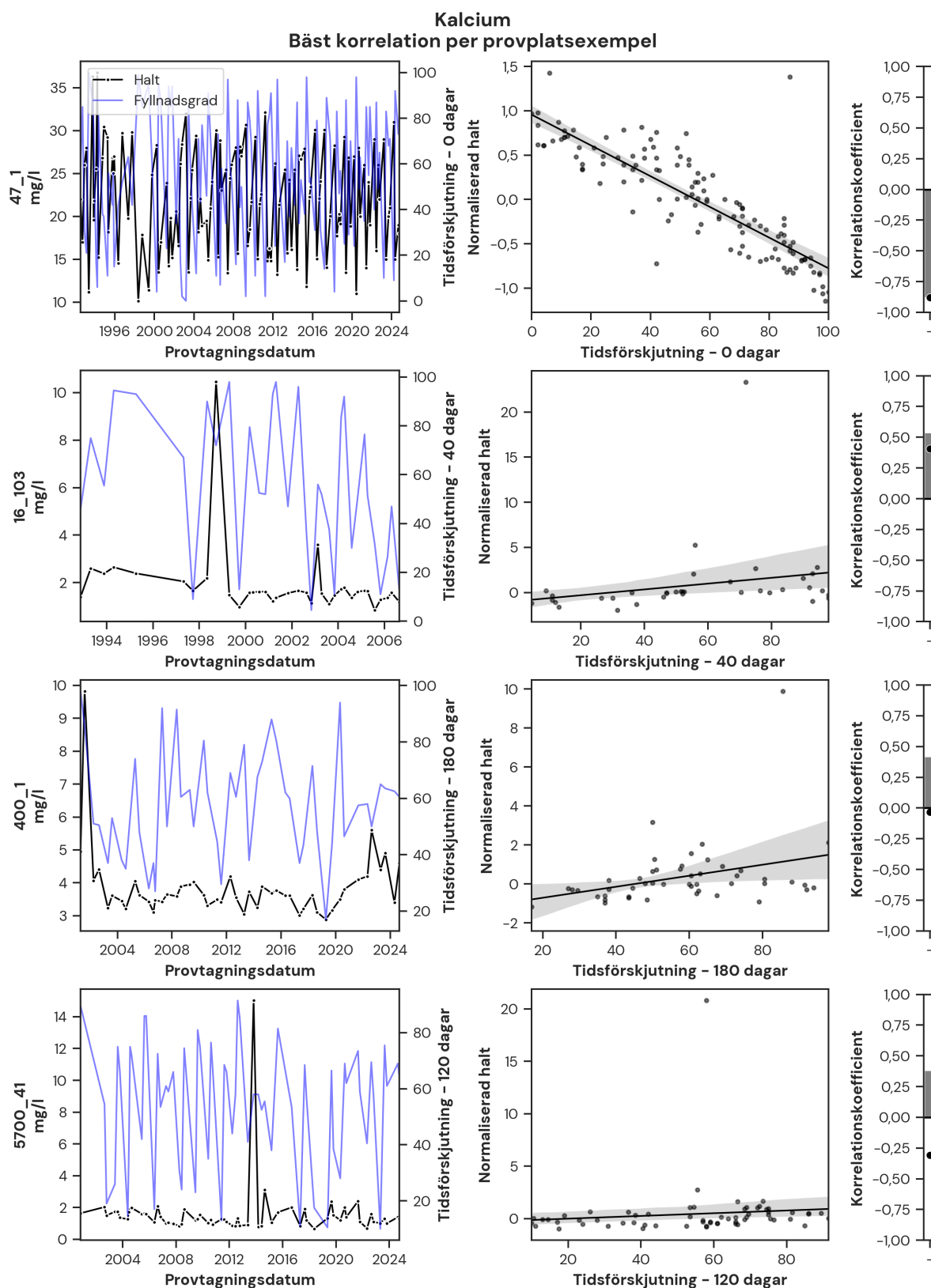


Figur B1.48. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



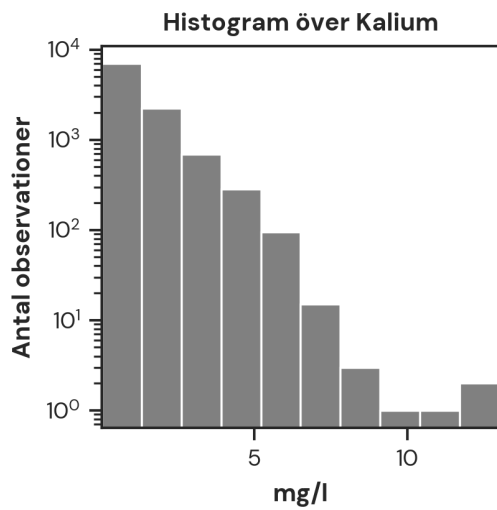
Figur B1.49. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



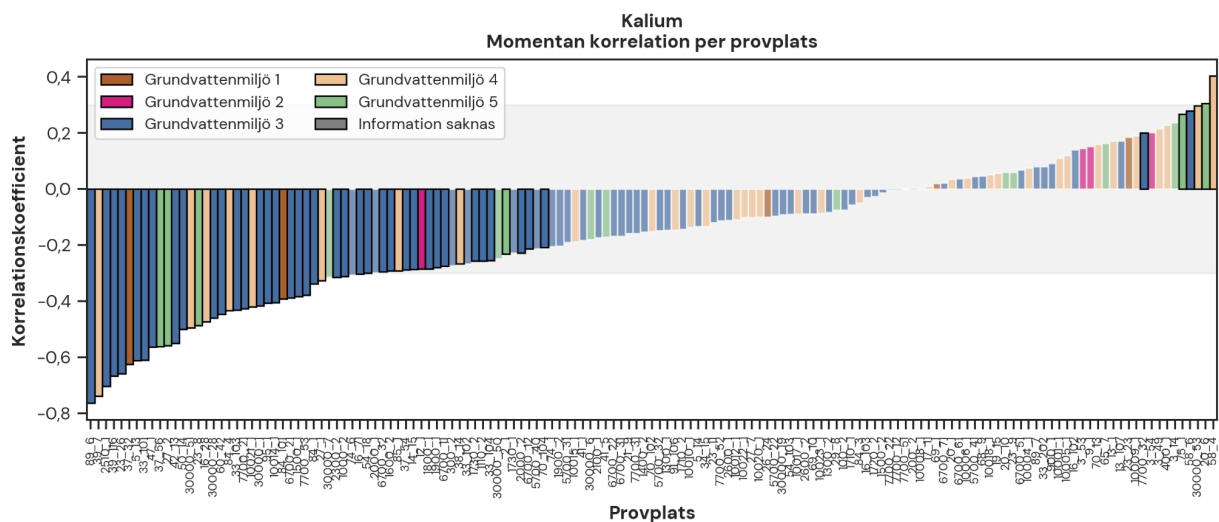
Figur B1.50. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Kalium



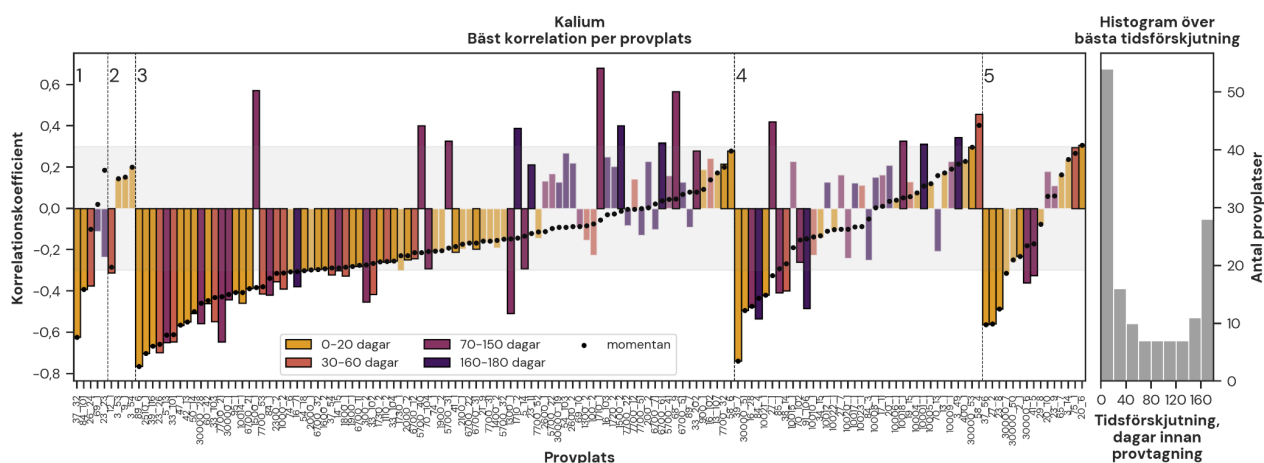
Figur B1.51. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

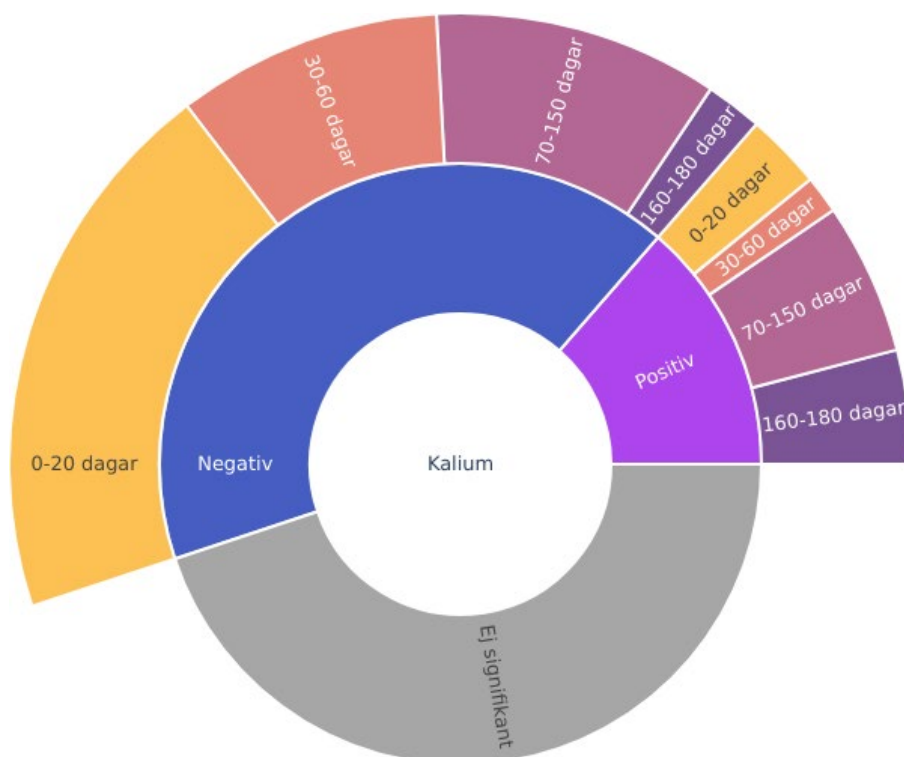


Figur B1.52. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

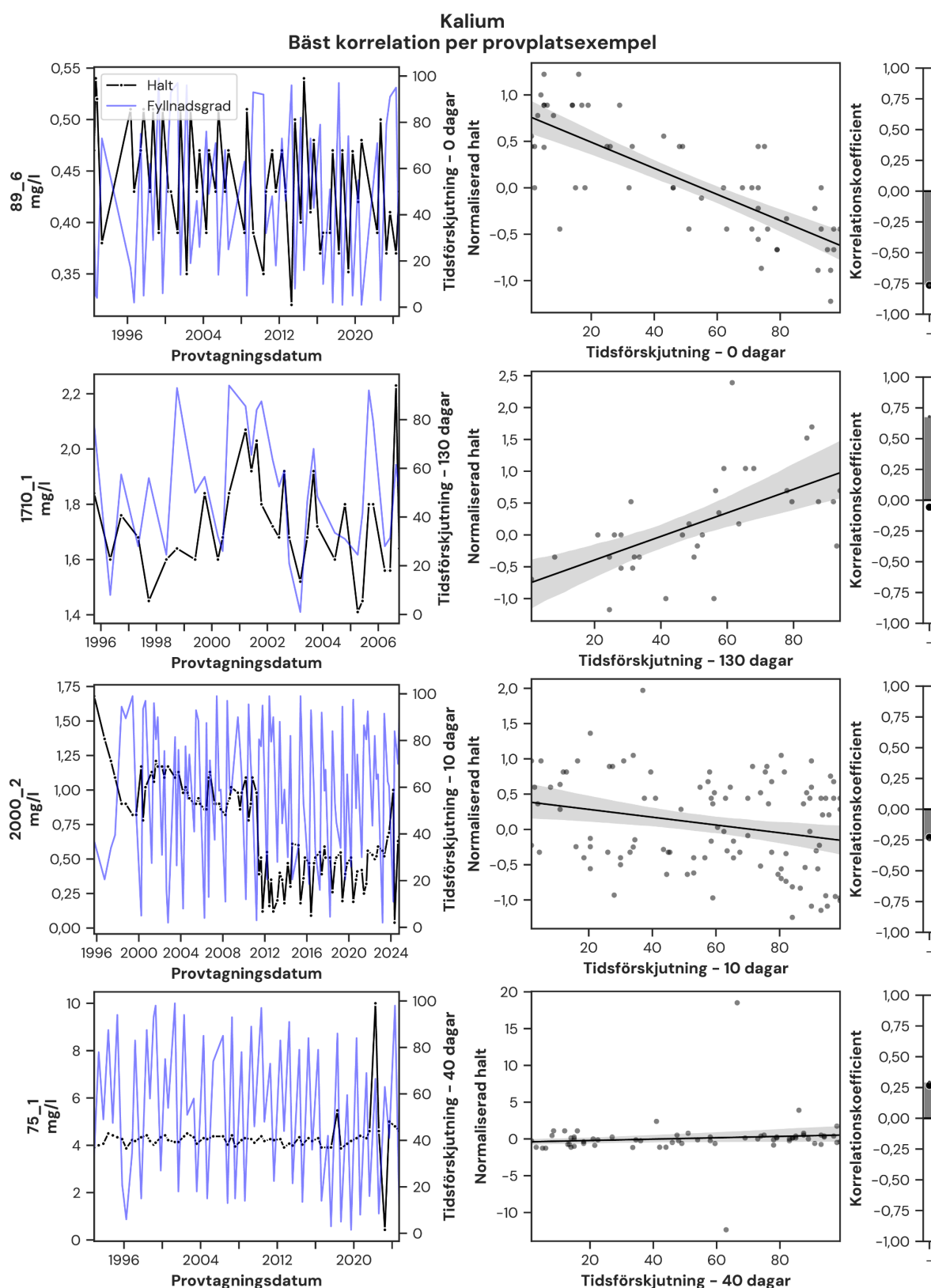


Figur B1.53. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



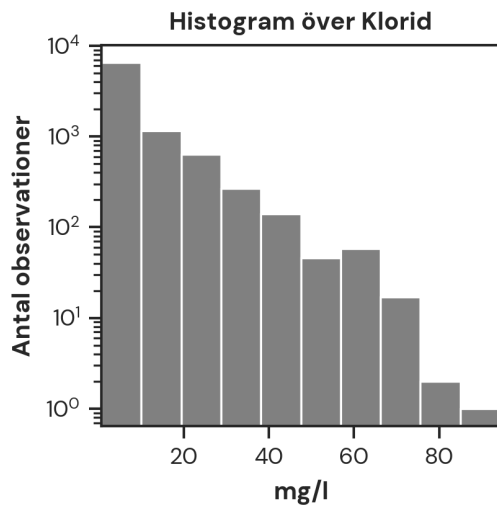
Figur B1.54. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



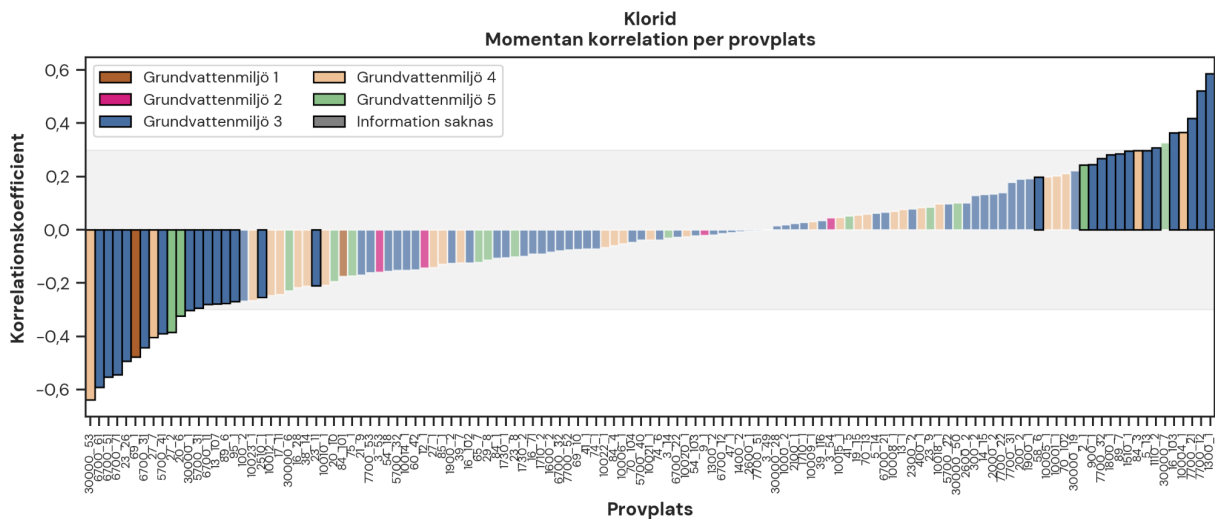
Figur B1.55. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Klorid



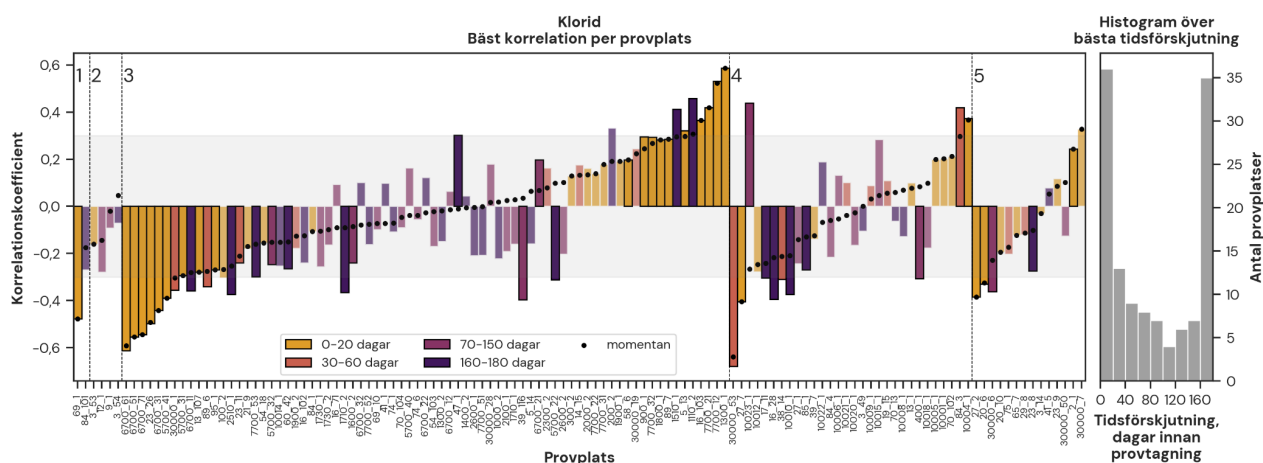
Figur B1.56. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

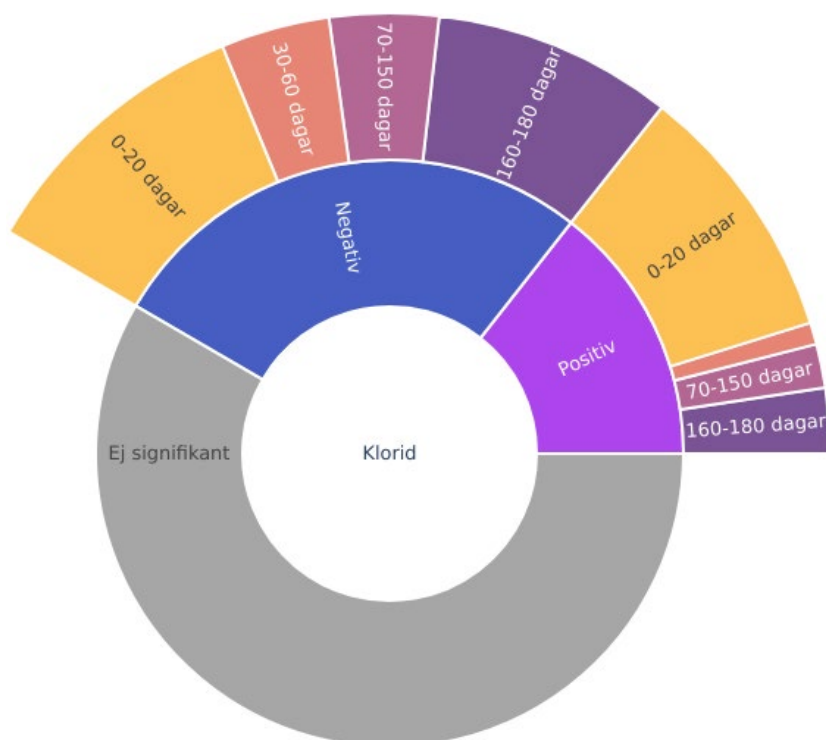


Figur B1.57. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

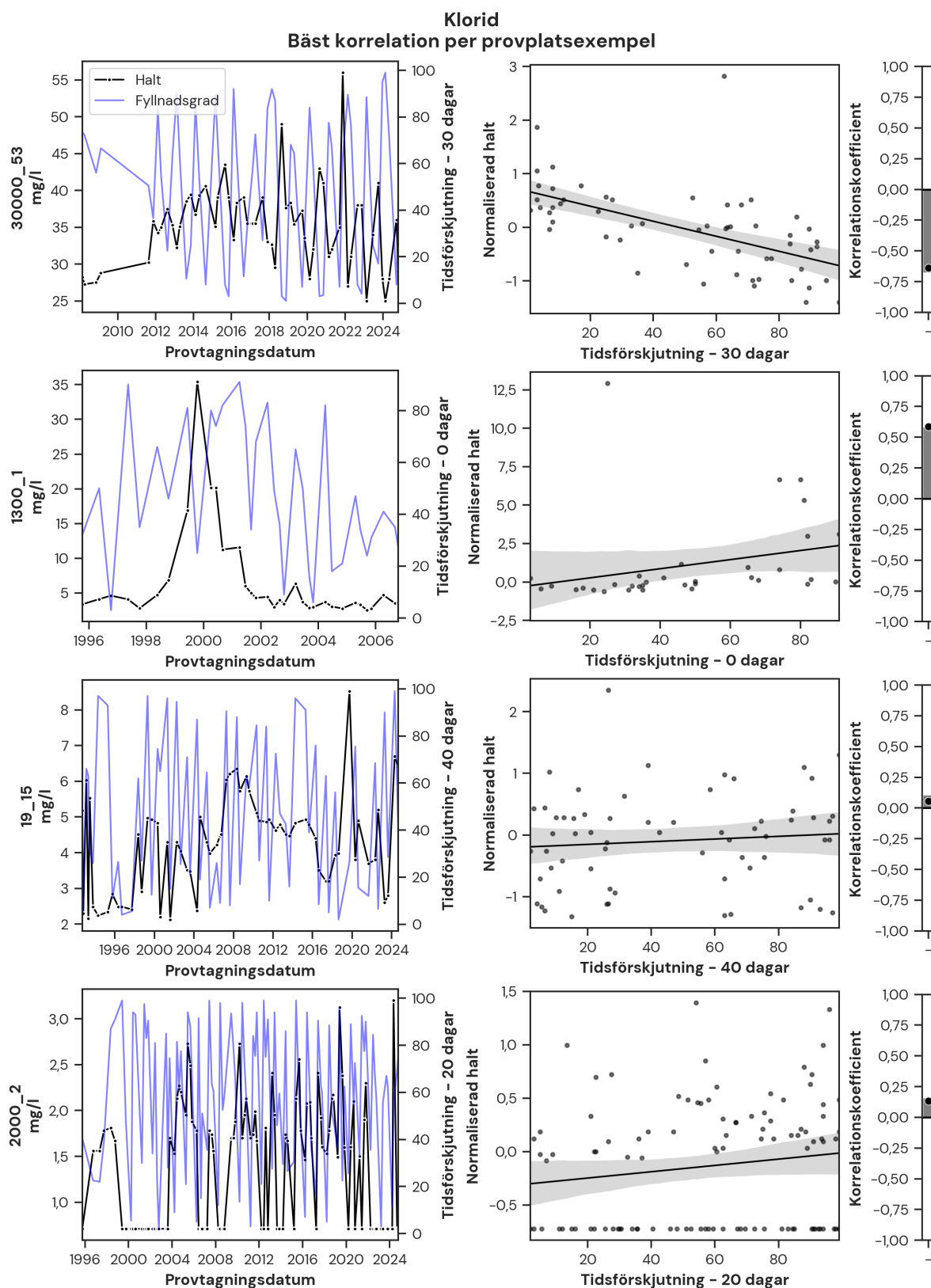


Figur B1.58. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



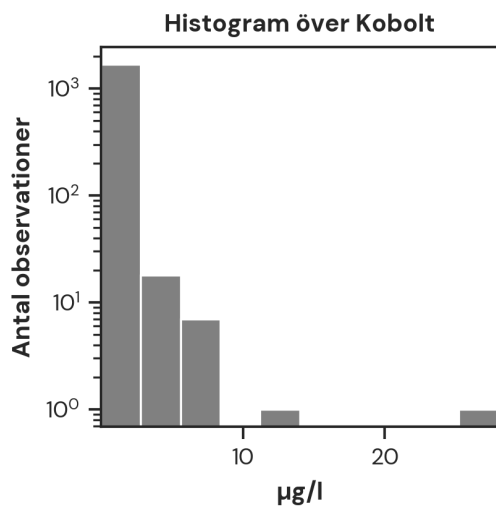
Figur B1.59. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



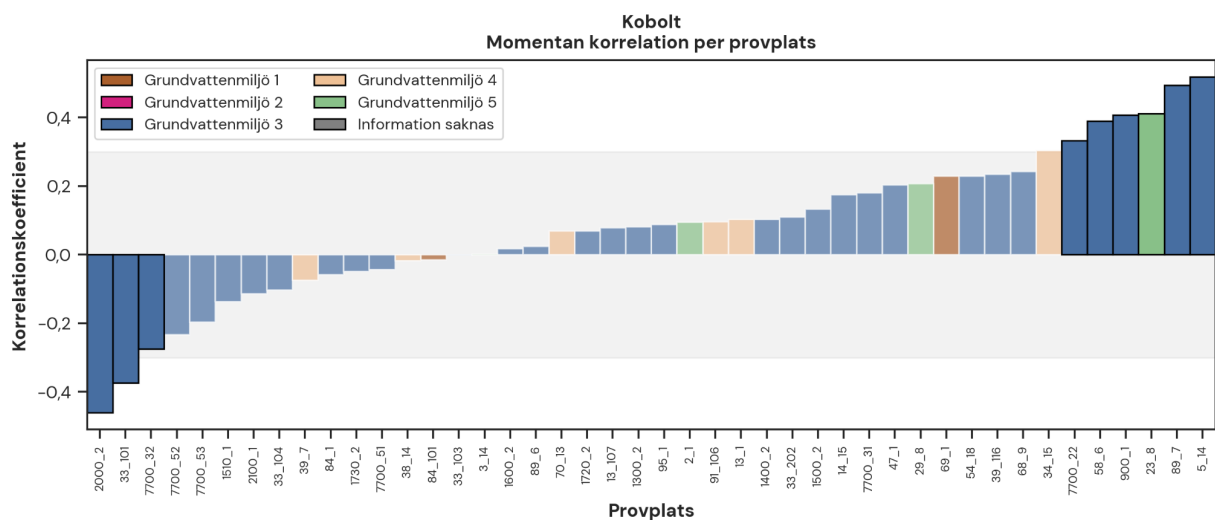
Figur B1.60. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Kobolt



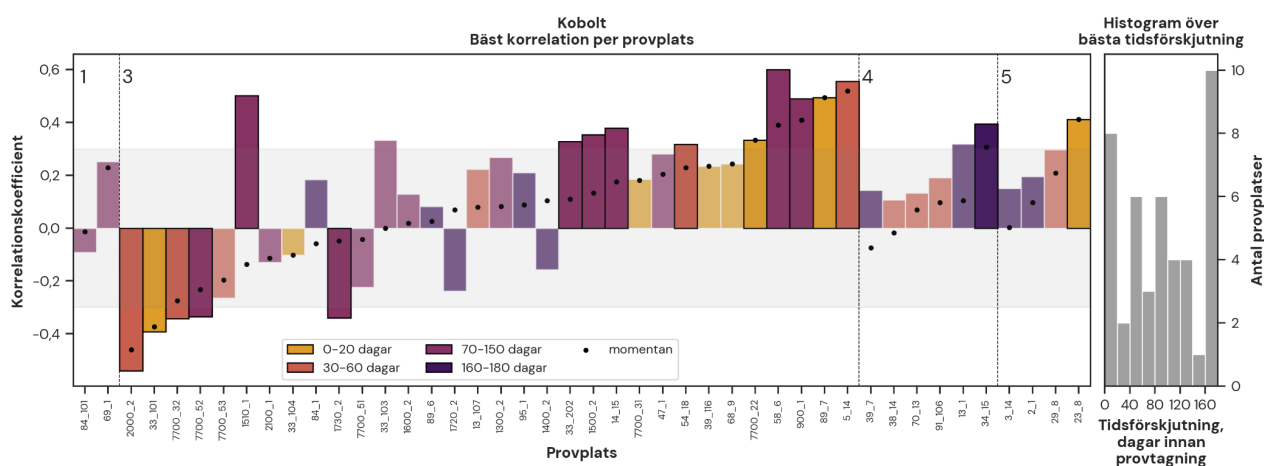
Figur B1.61. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

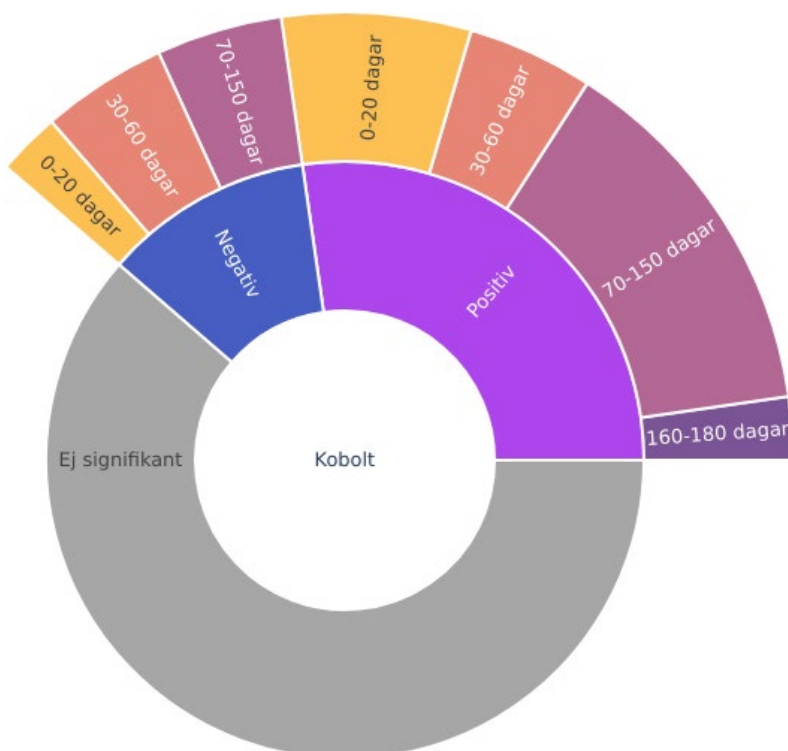


Figur B1.62. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

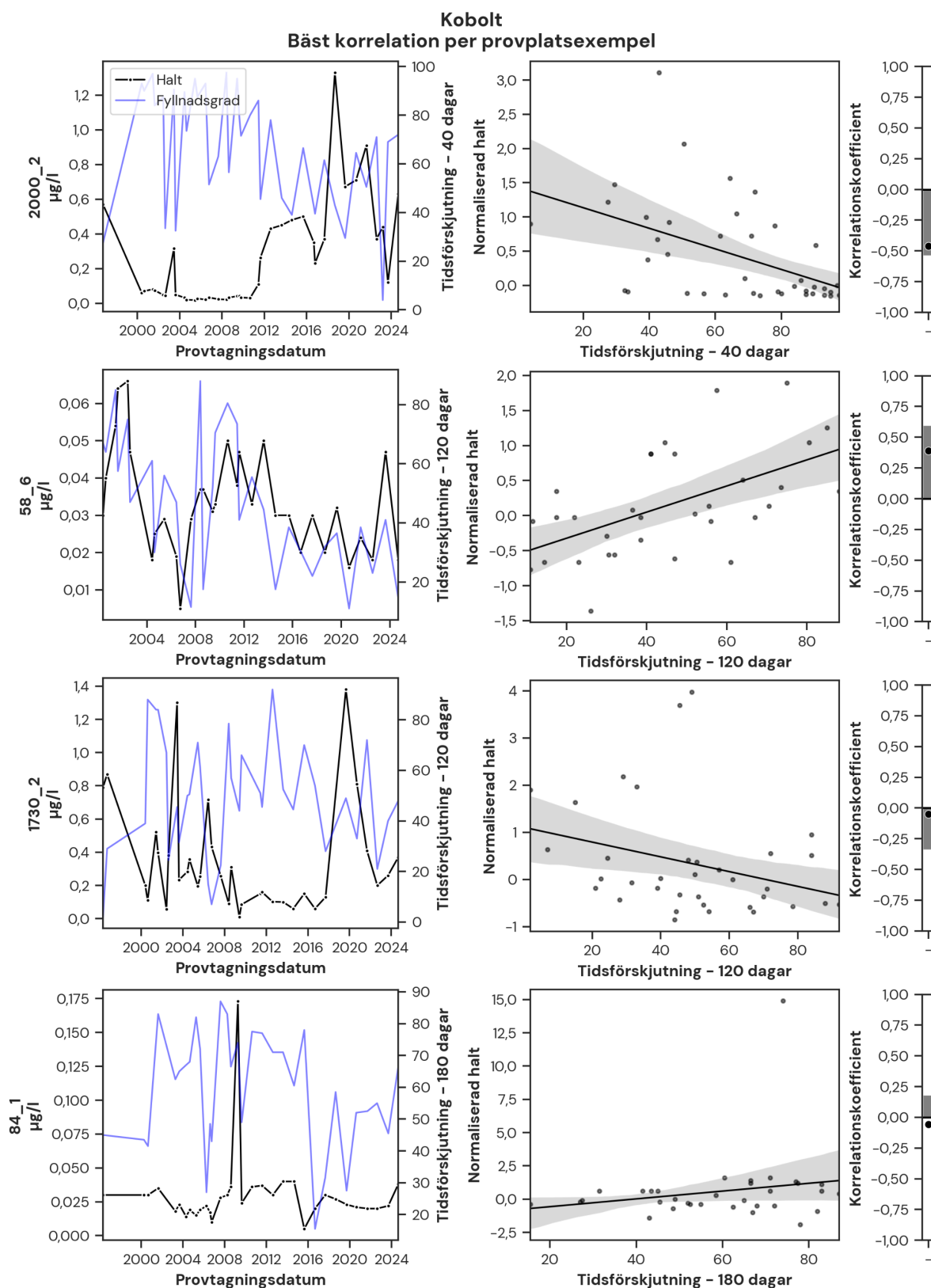


Figur B1.63. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



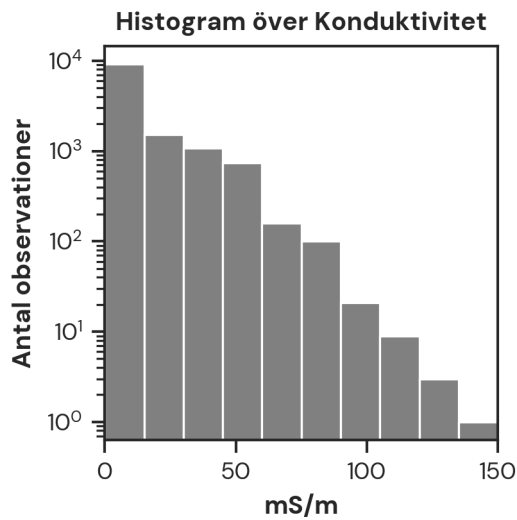
Figur B1.64. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



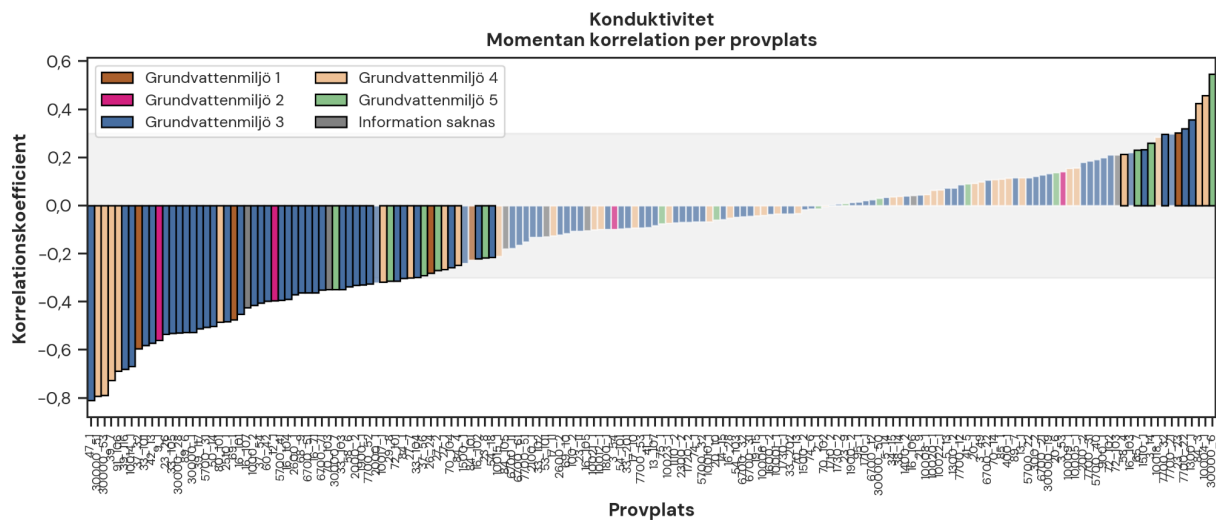
Figur B1.65. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Konduktivitet



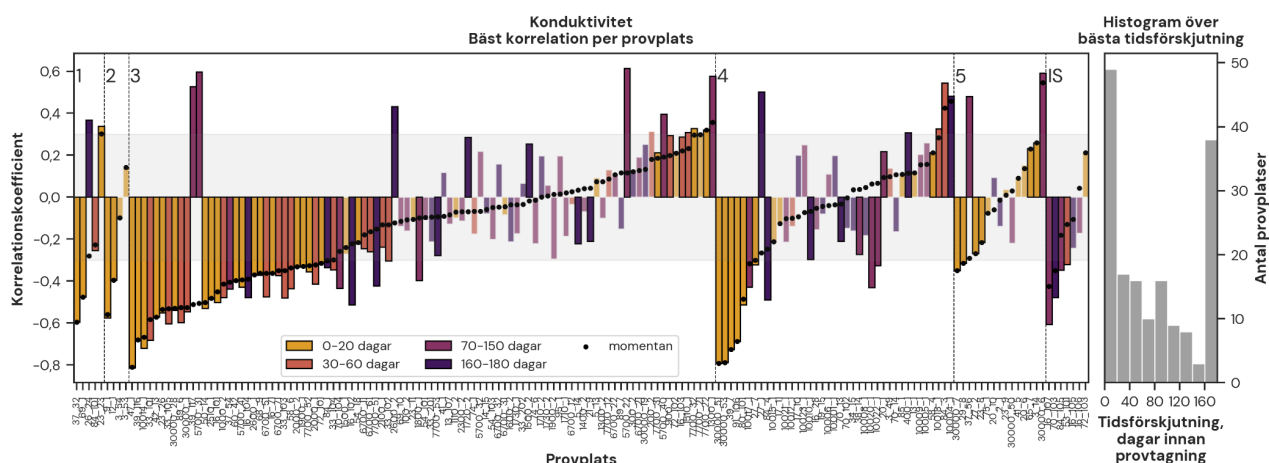
Figur B1.66. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

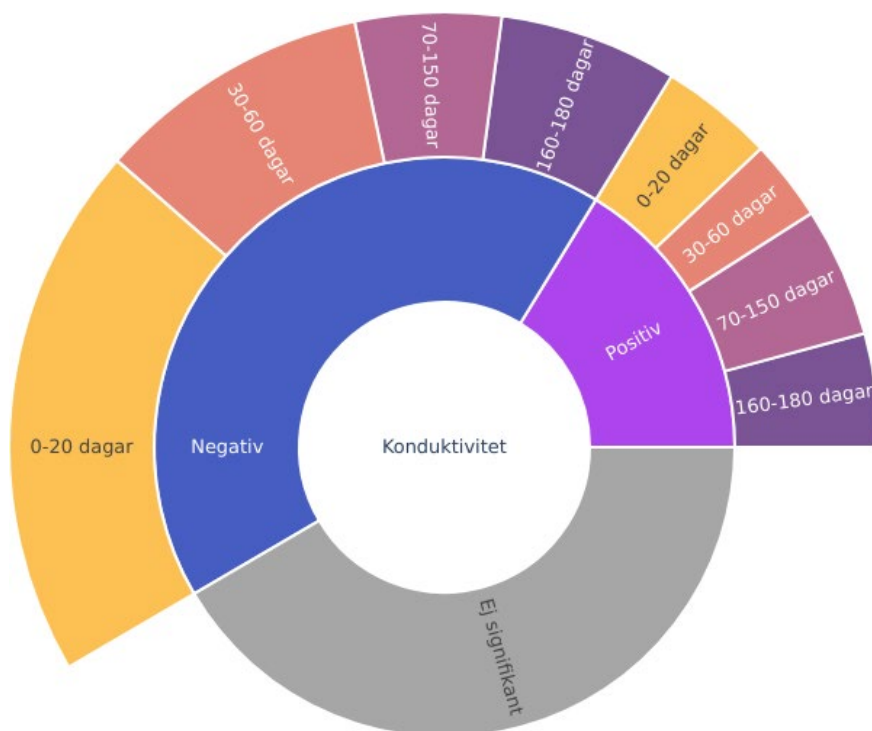


Figur B1.67. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

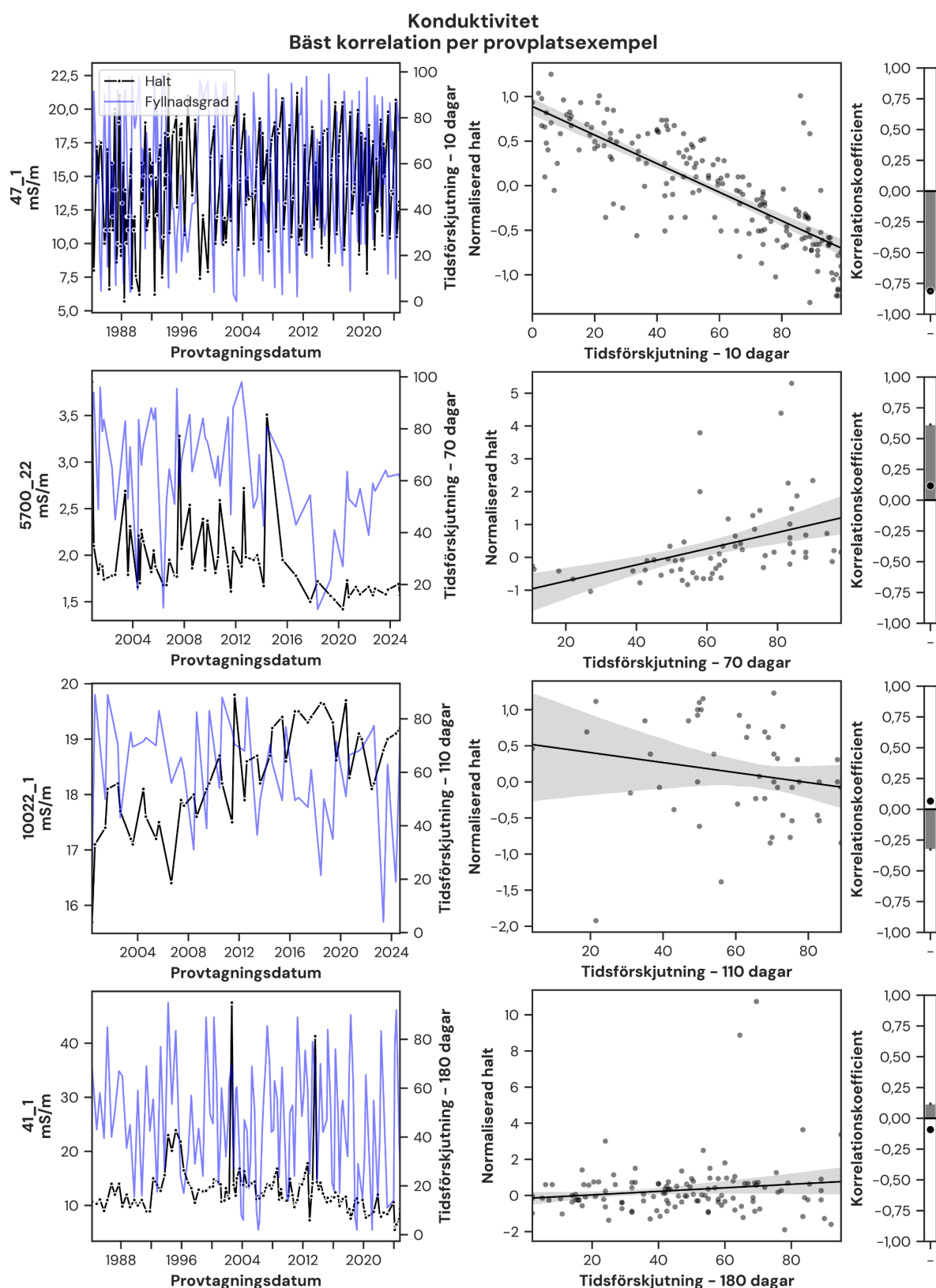


Figur B1.68. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



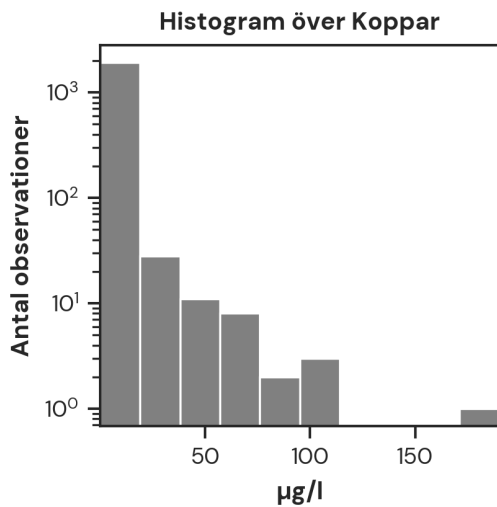
Figur B1.69. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



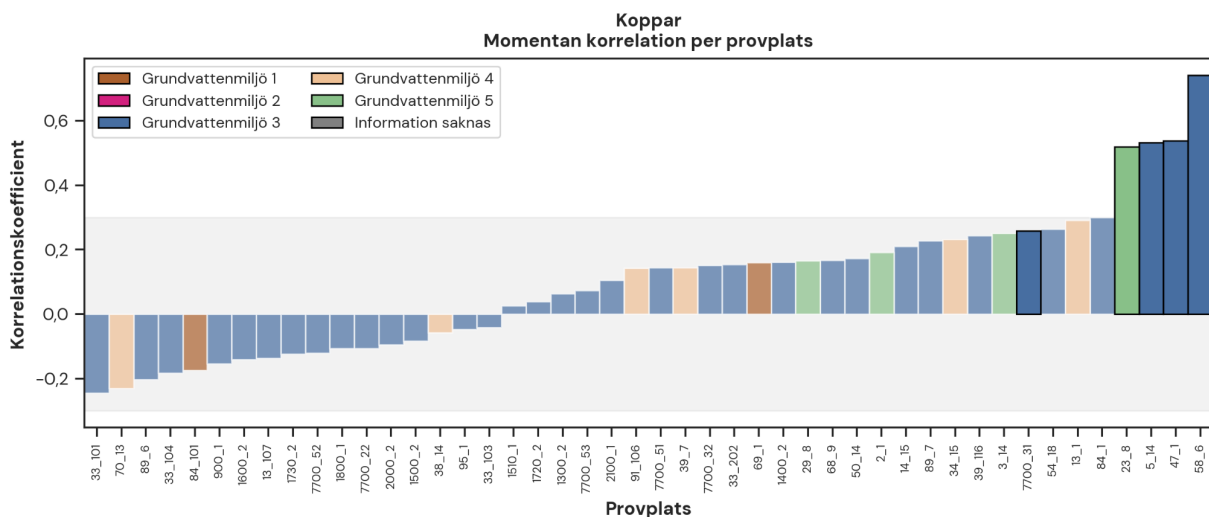
Figur B1.70. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Koppar



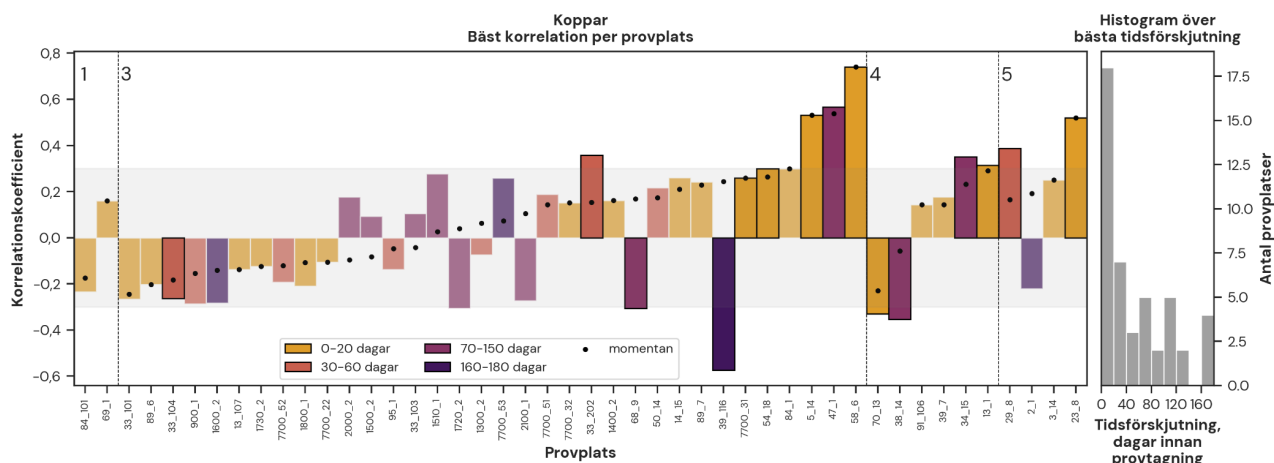
Figur B1.71. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

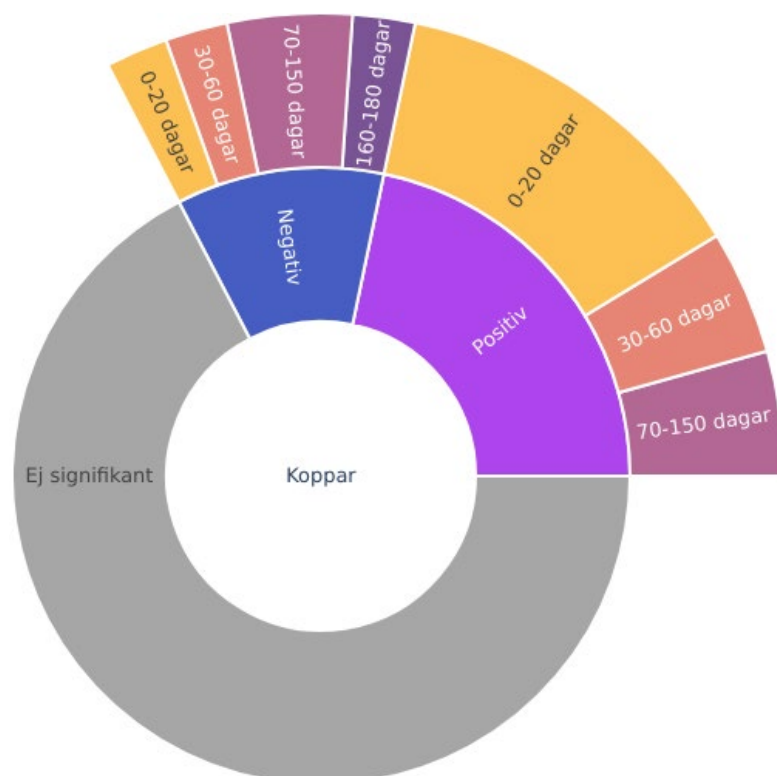


Figur B1.72. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

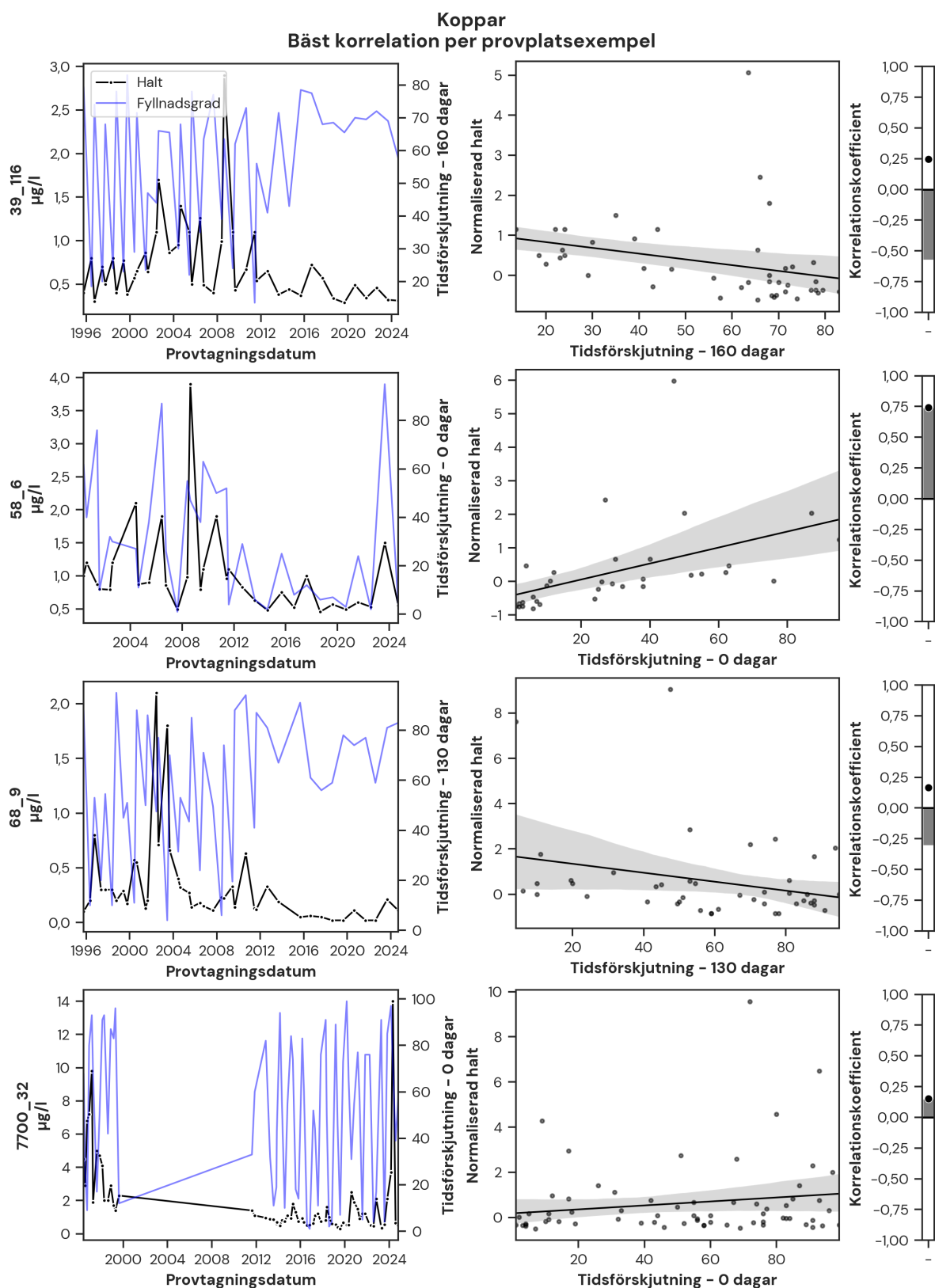


Figur B1.73. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



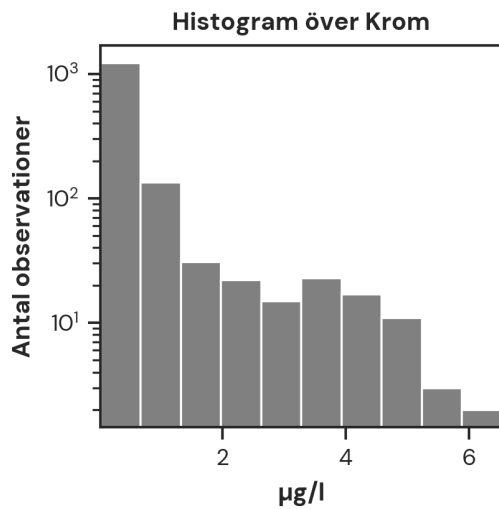
Figur B1.74. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



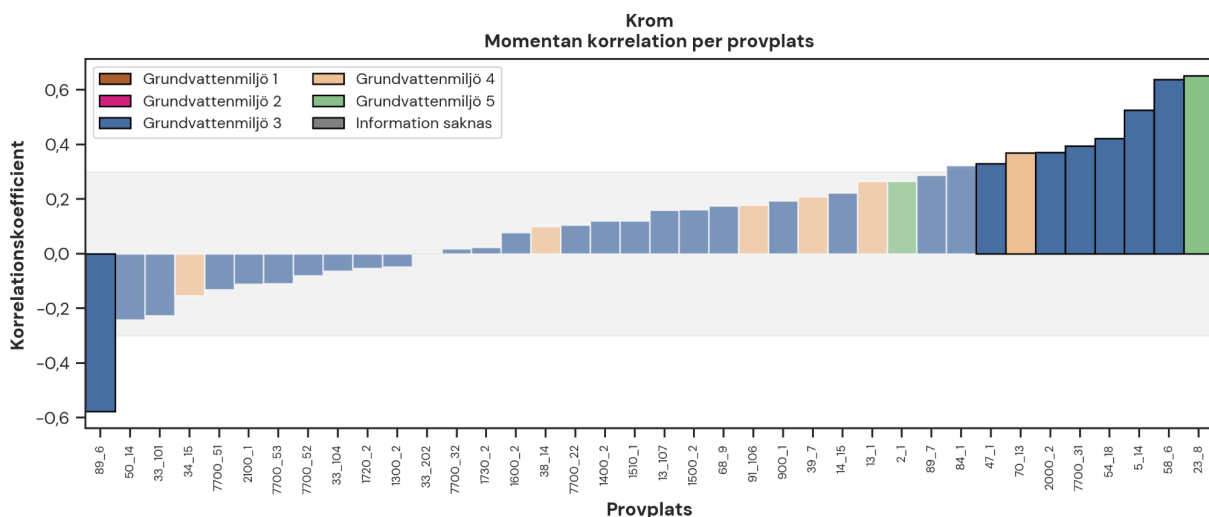
Figur B1.75. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Krom



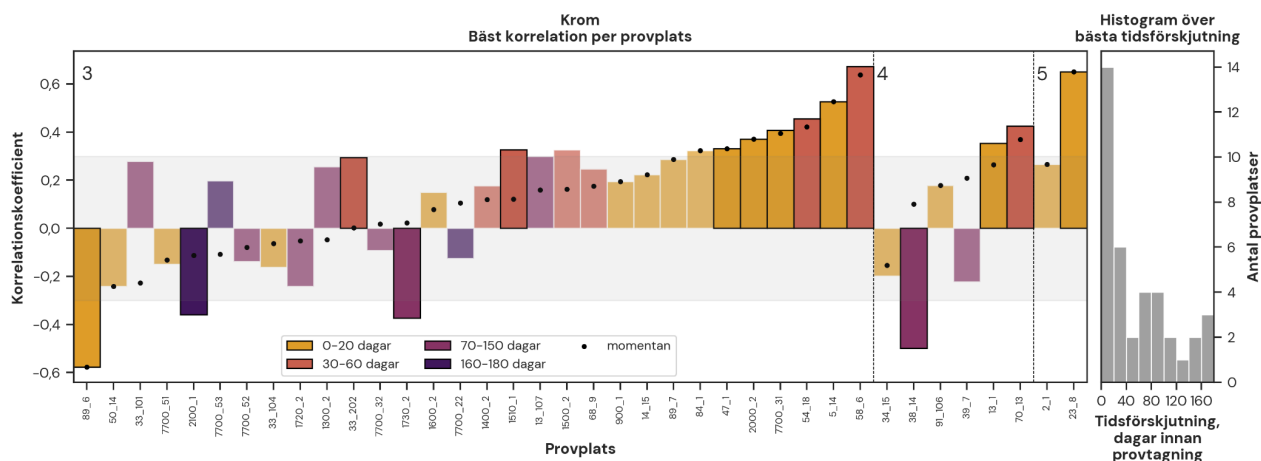
Figur B1.76. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

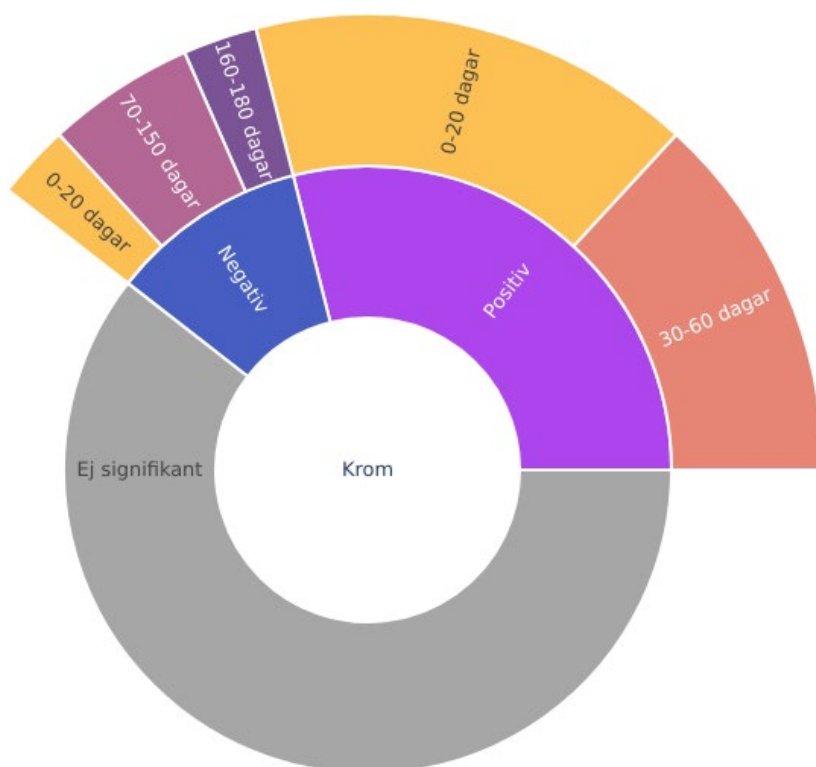


Figur B1.77. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

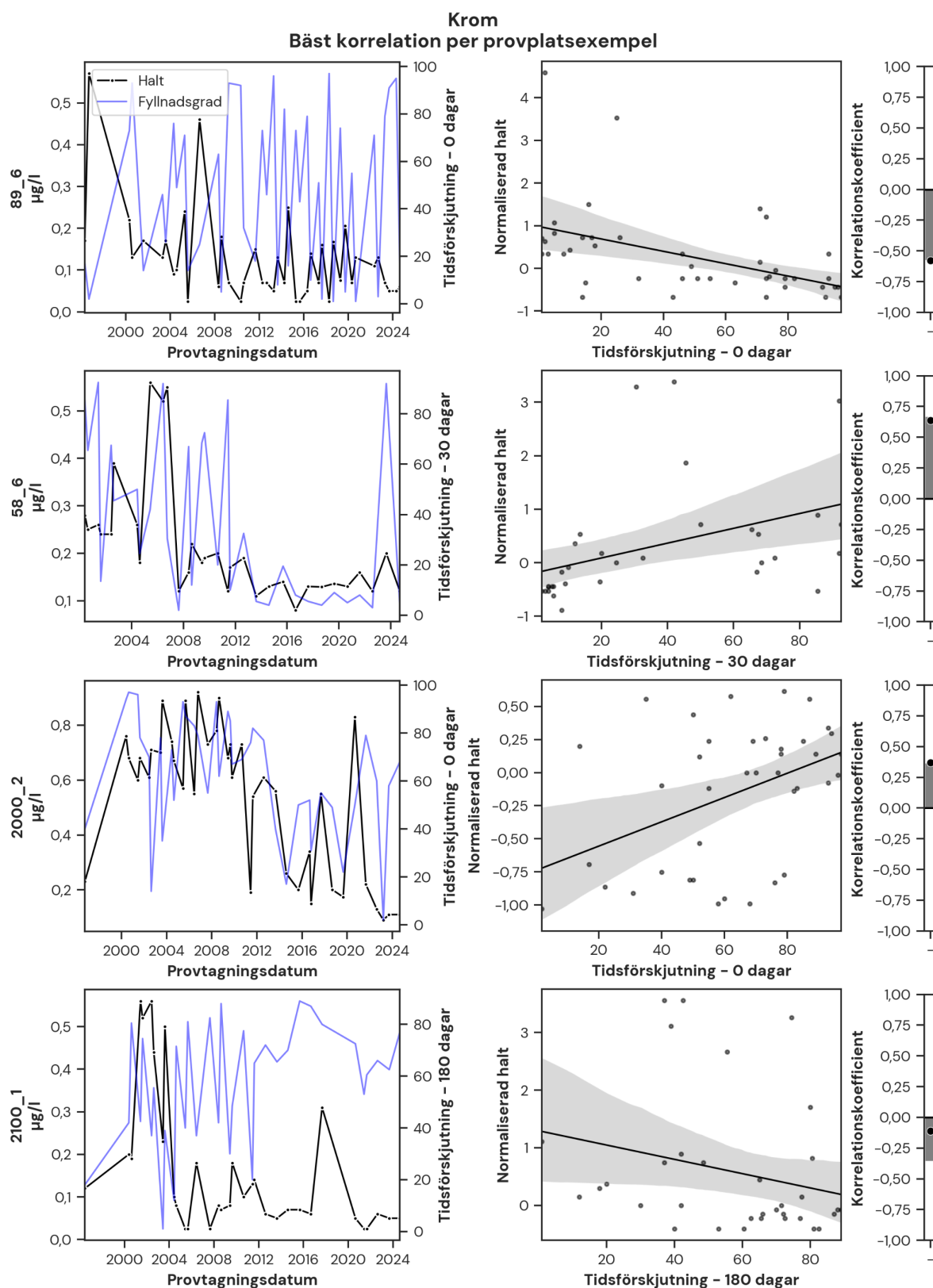


Figur B1.78. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



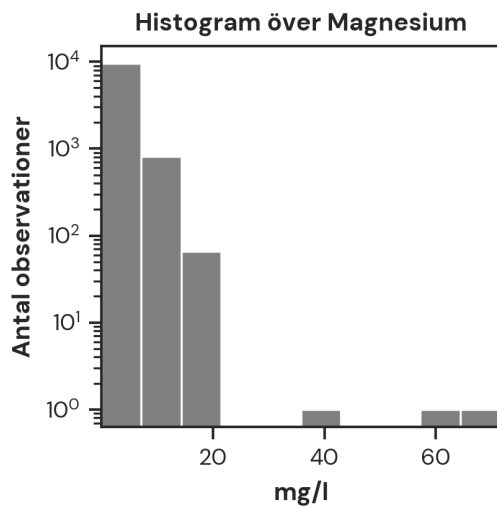
Figur B1.79. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



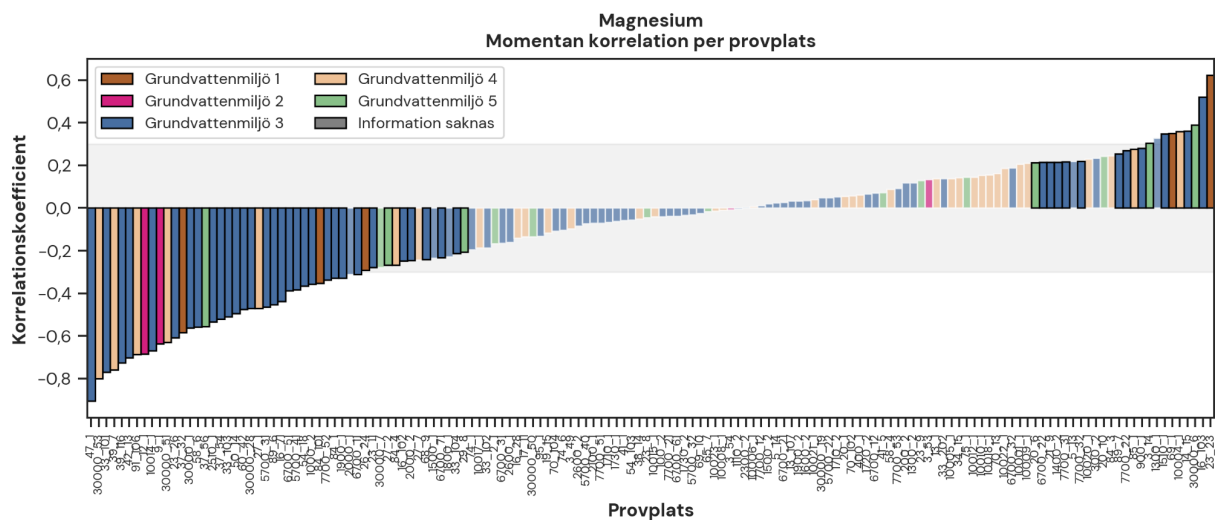
Figur B1.80. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Magnesium



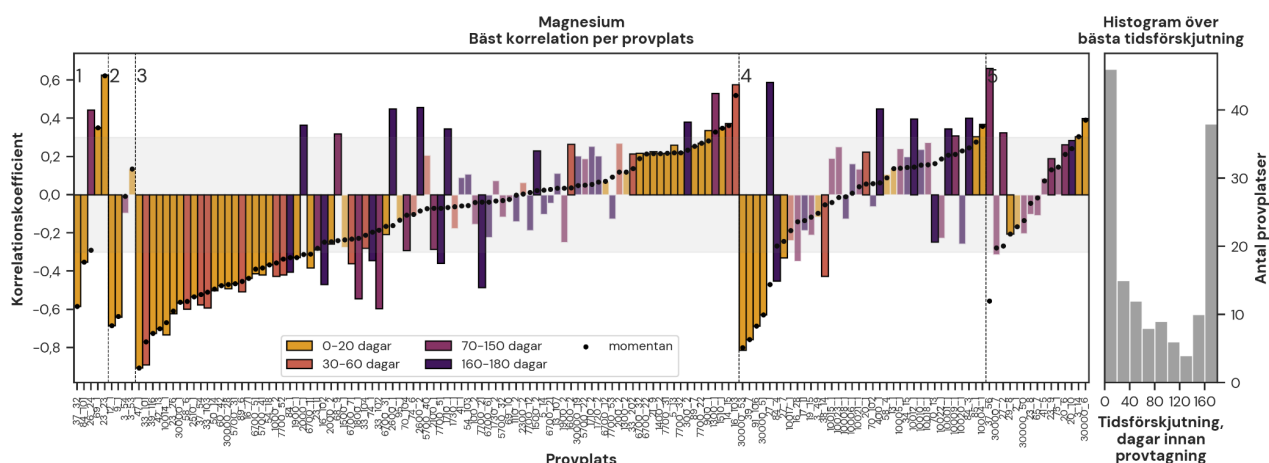
Figur B1.81. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

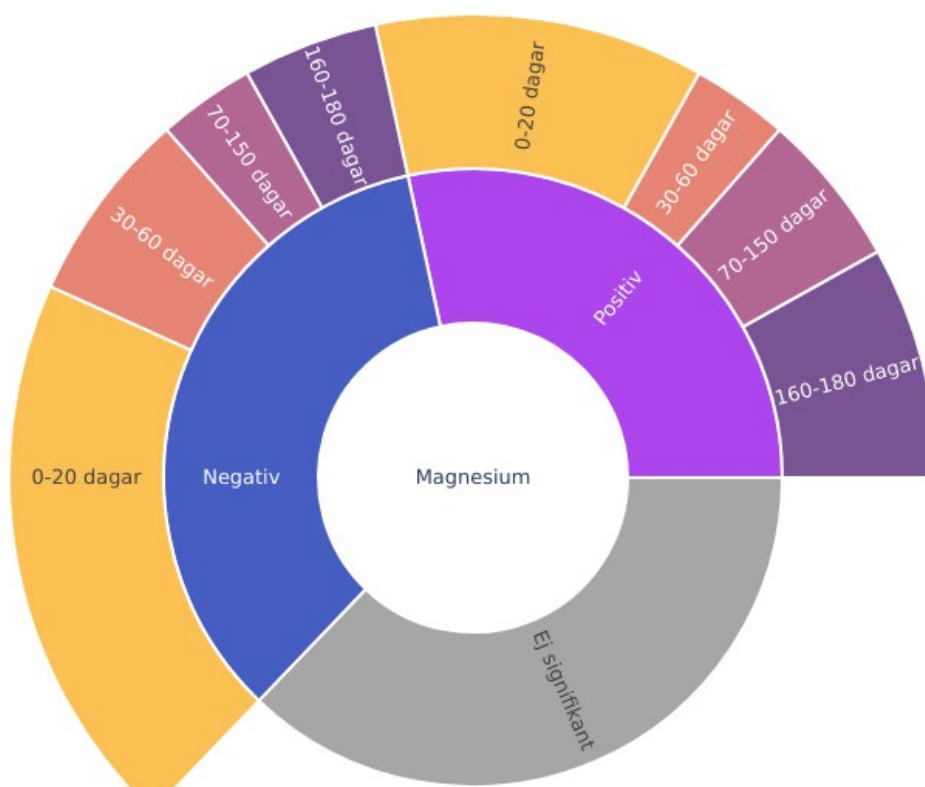


Figur B1.82. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

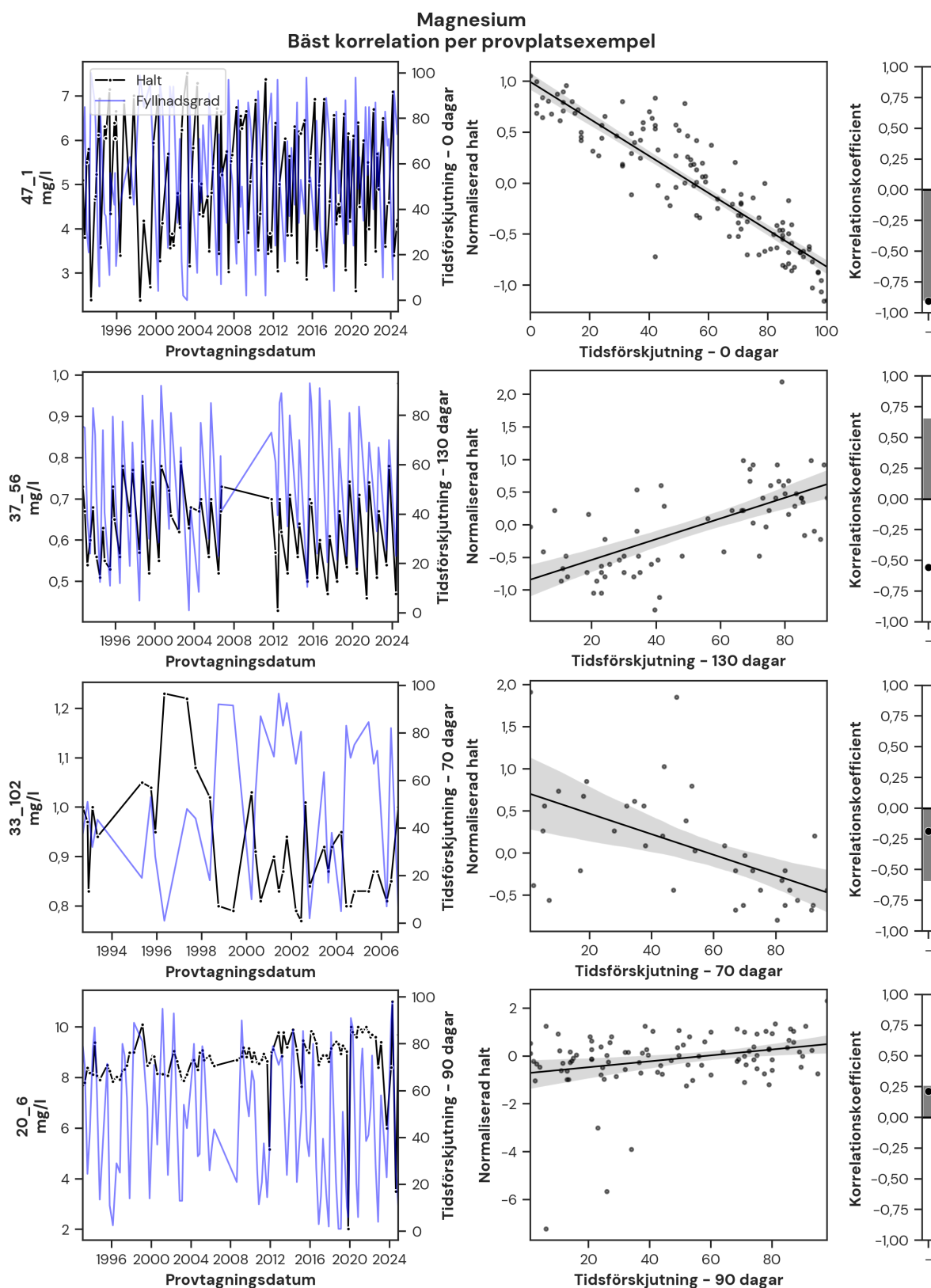


Figur B1.83. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



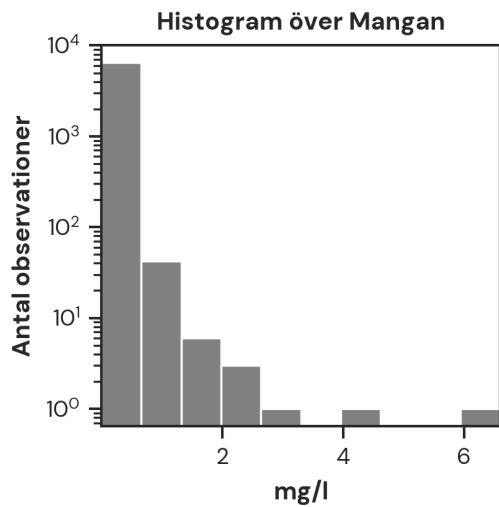
Figur B1.84. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



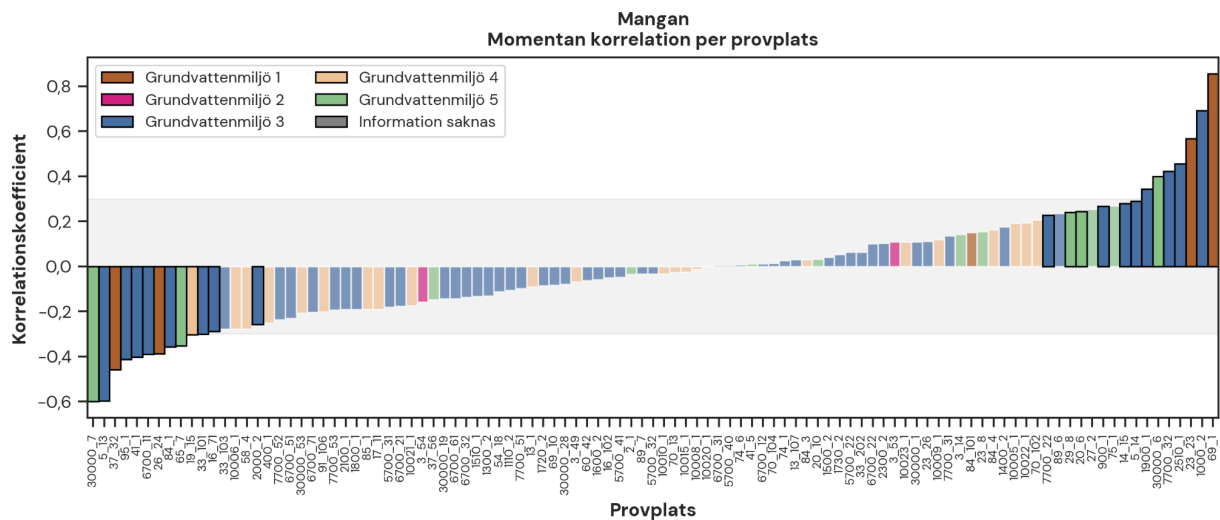
Figur B1.85. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Mangan



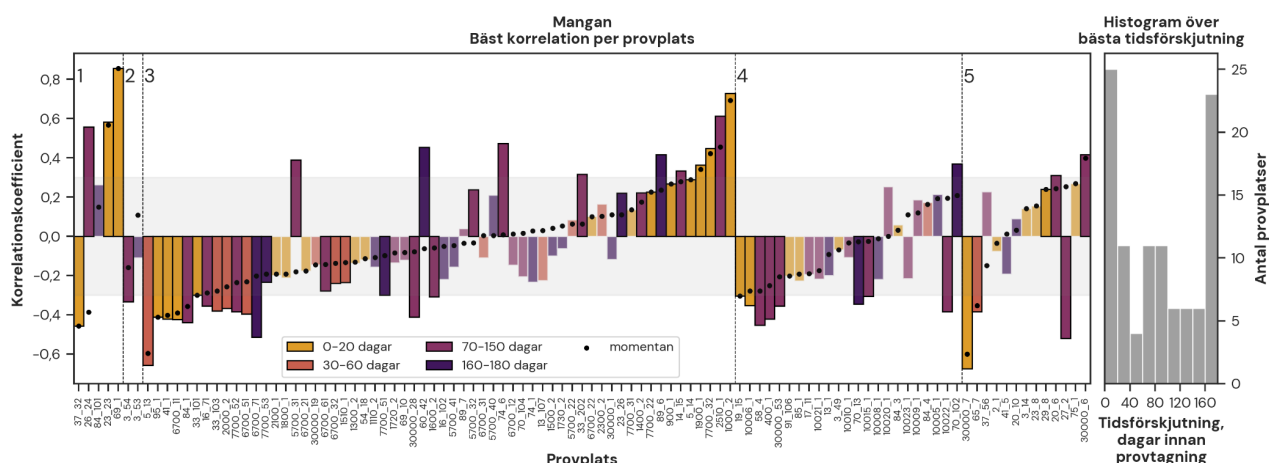
Figur B1.86. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

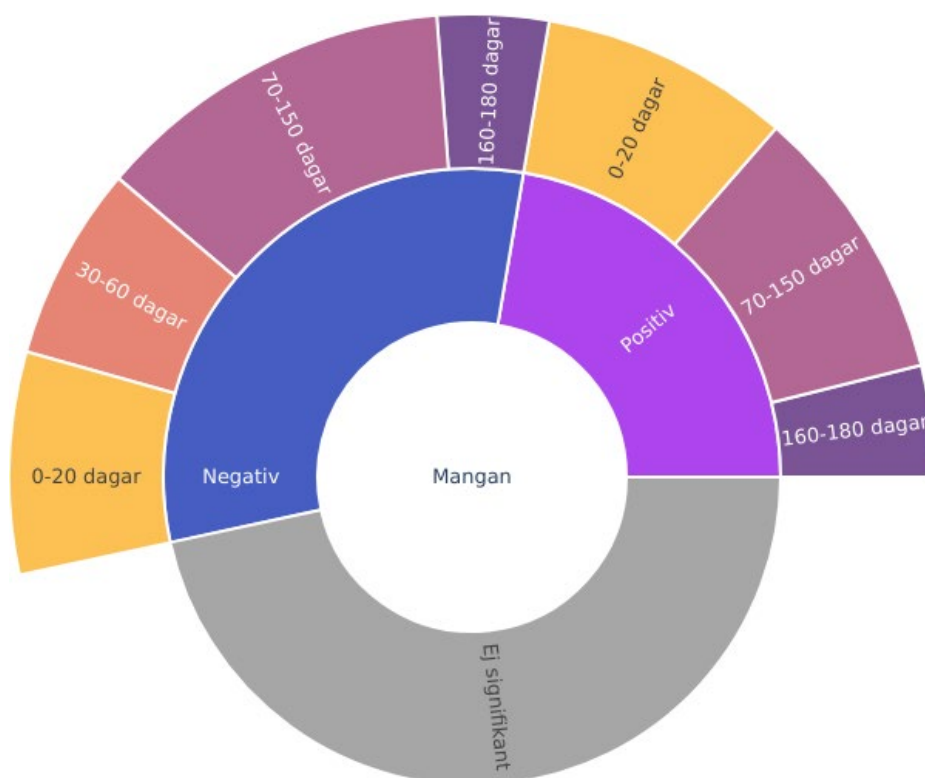


Figur B1.87. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

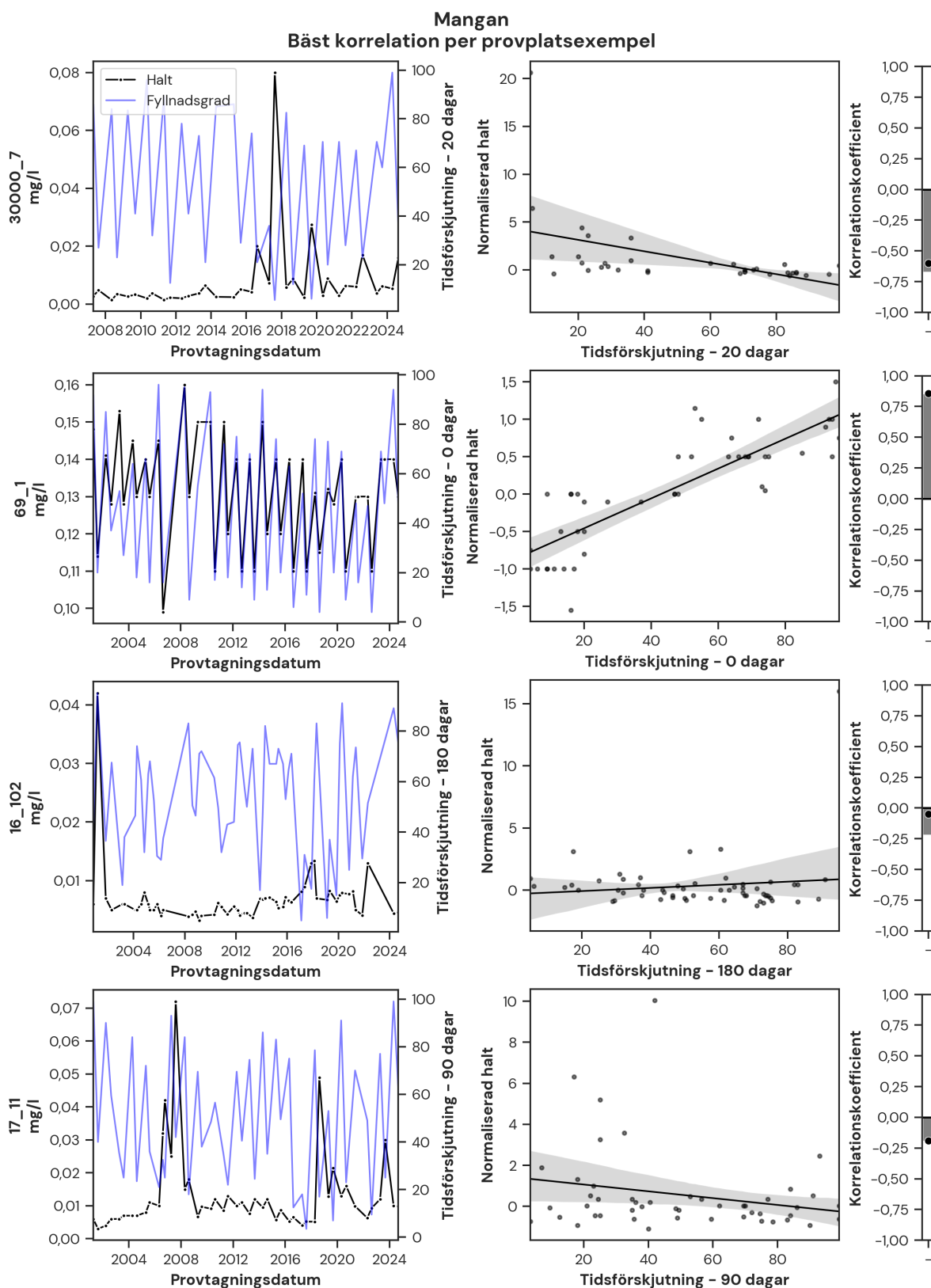


Figur B1.88. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



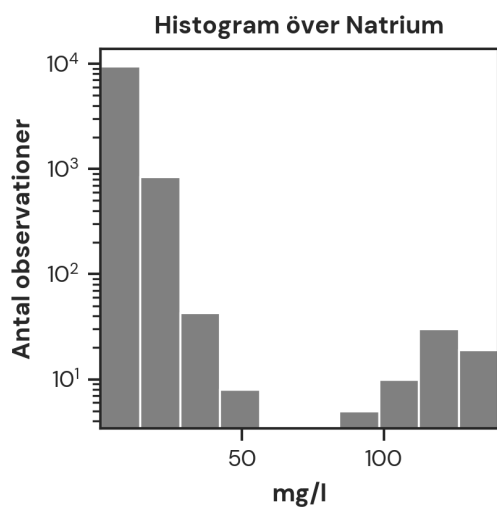
Figur B1.89. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



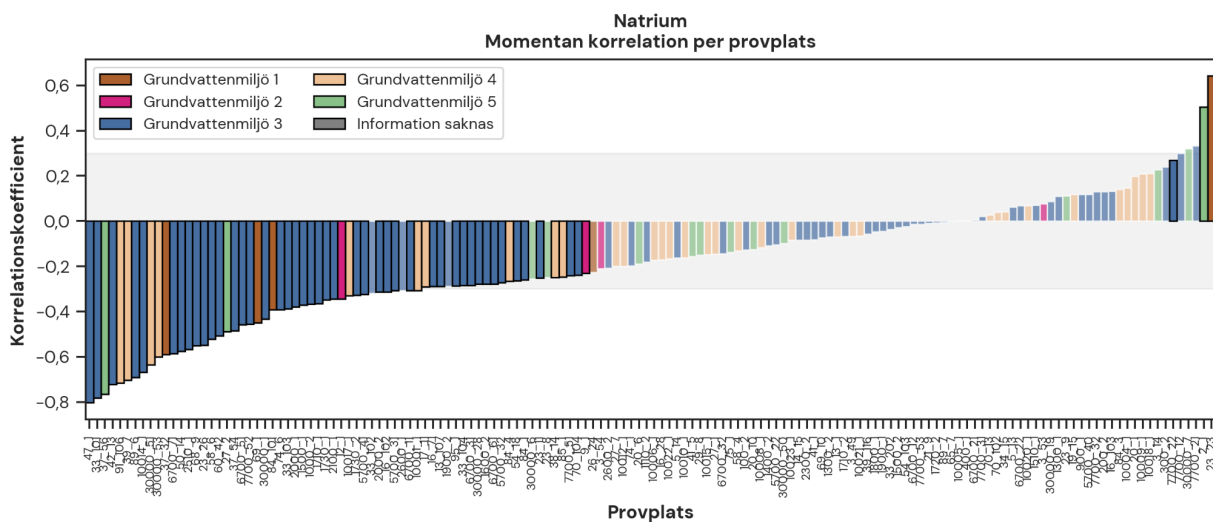
Figur B1.90. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Natrium



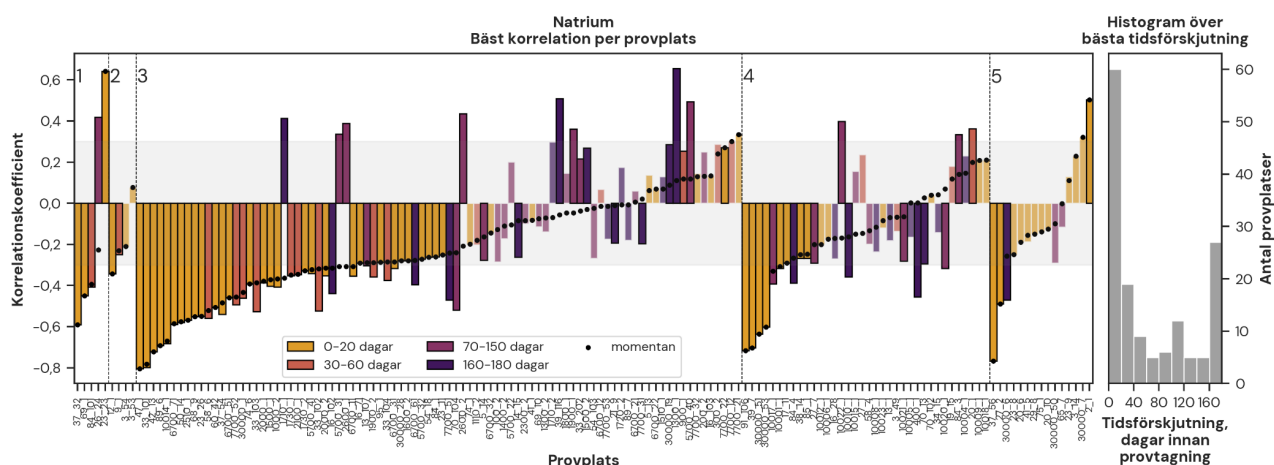
Figur B1.91. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

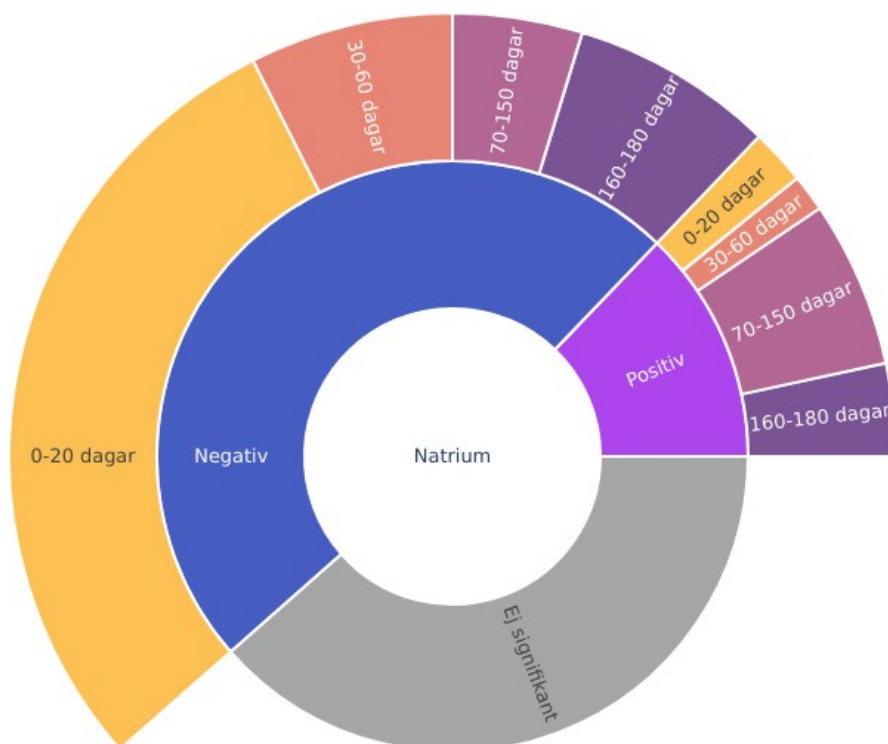


Figur B1.92. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

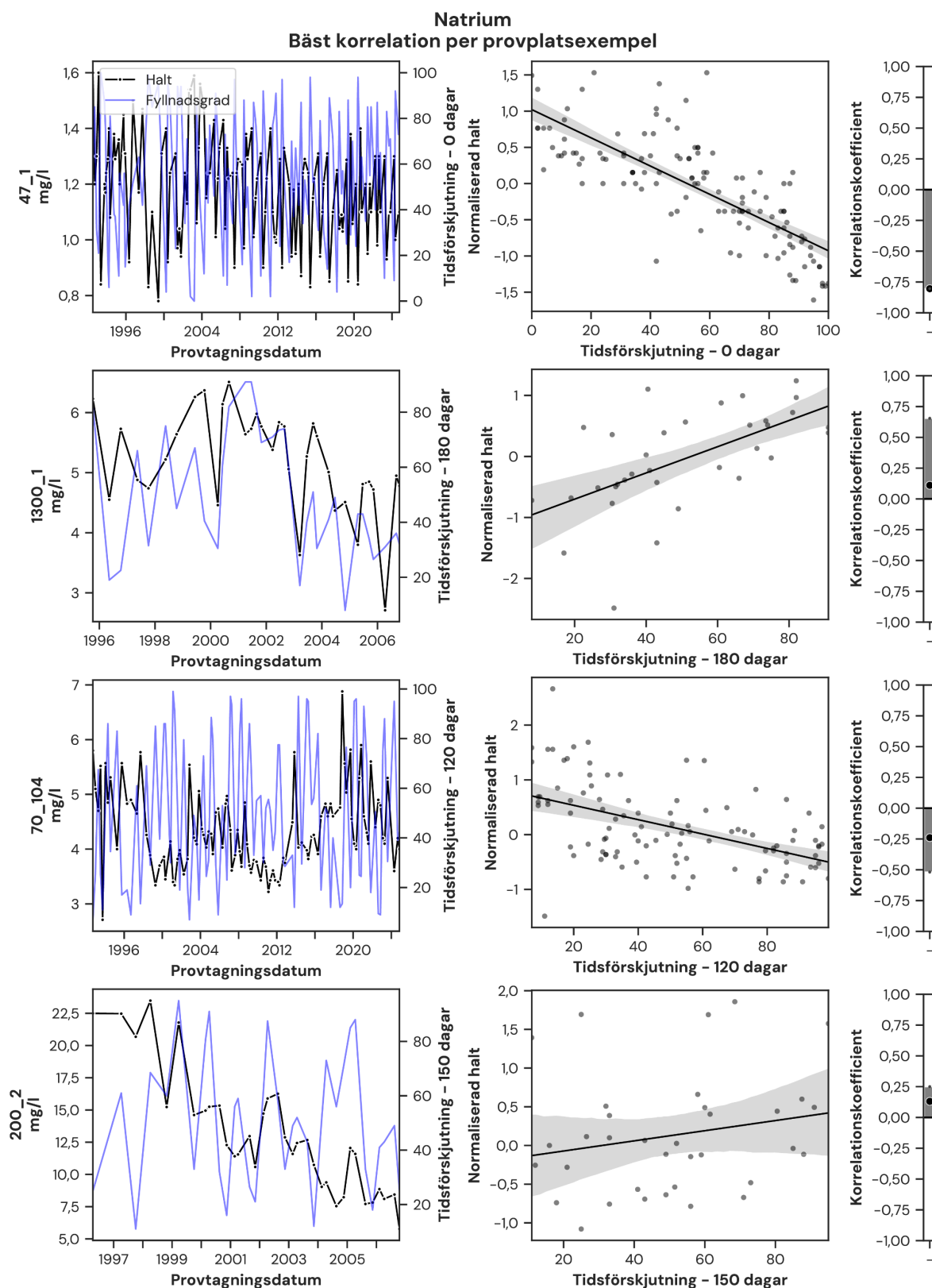


Figur B1.93. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



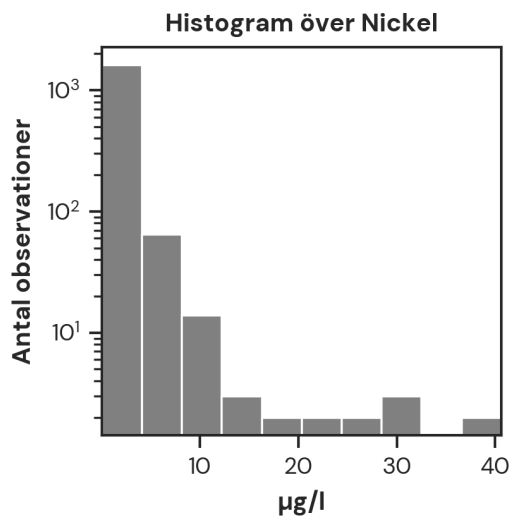
Figur B1.94. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



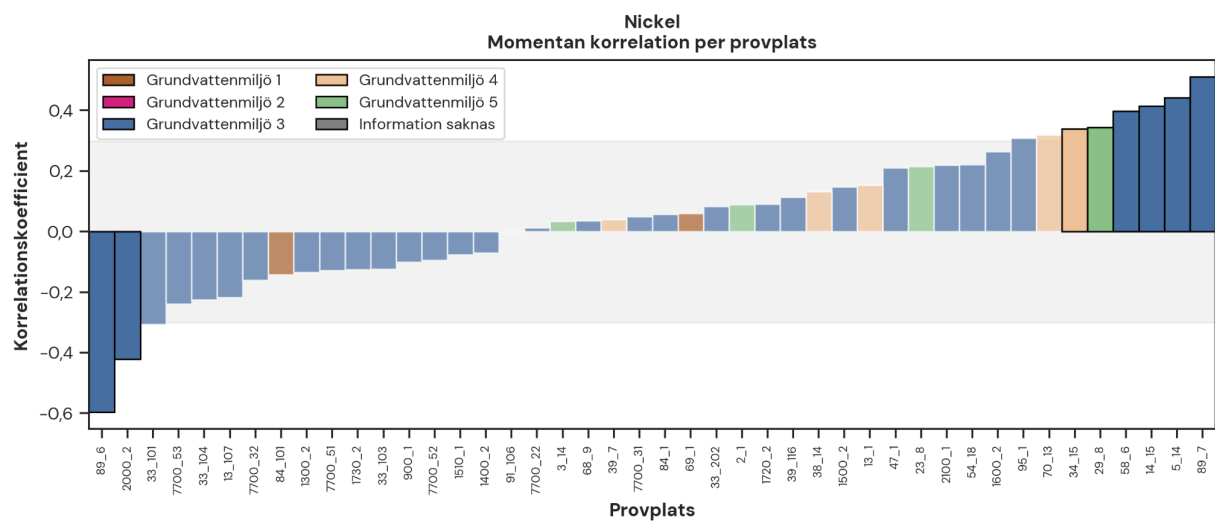
Figur B1.95. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Nickel



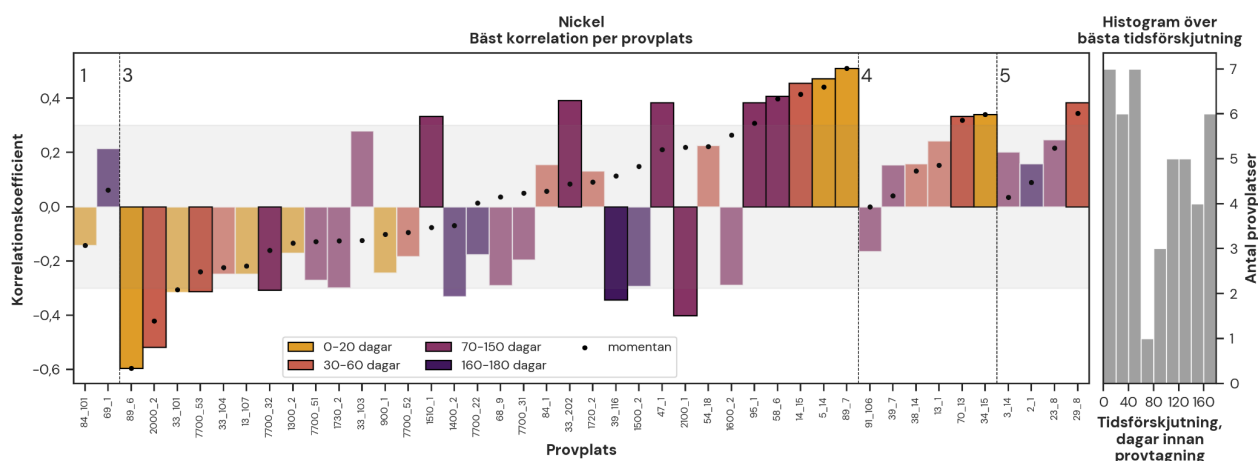
Figur B1.96. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

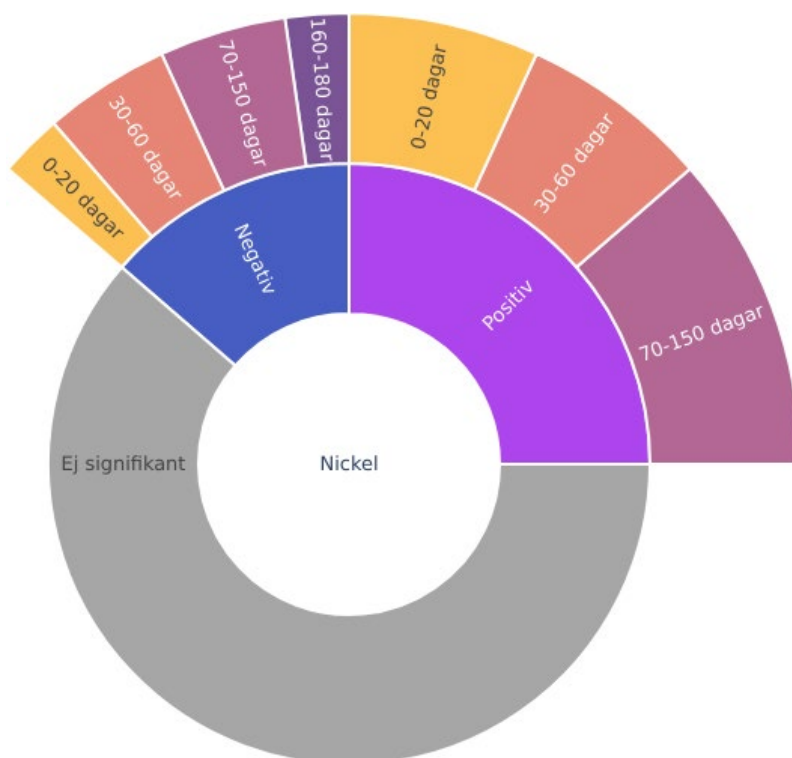


Figur B1.97. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

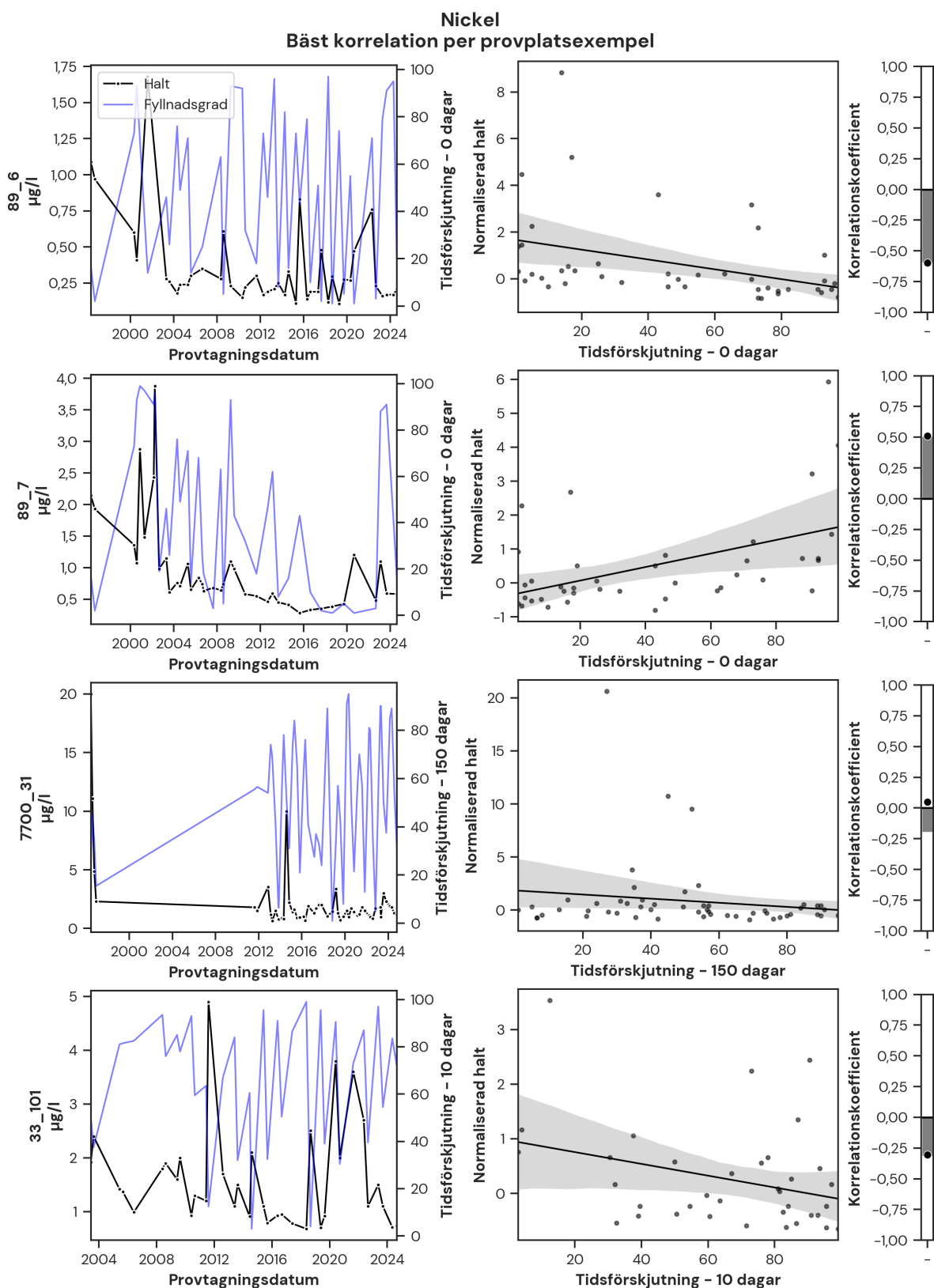


Figur B1.98. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



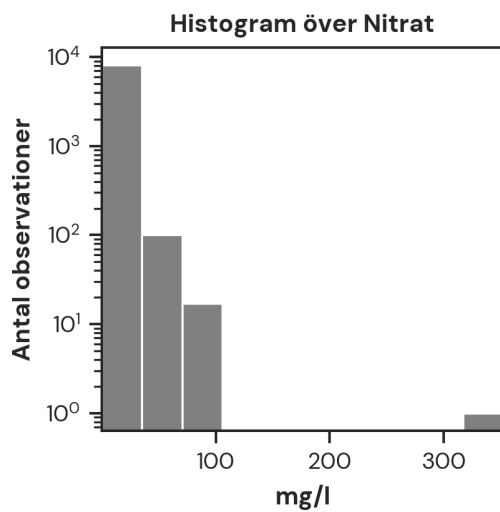
Figur B1.99. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



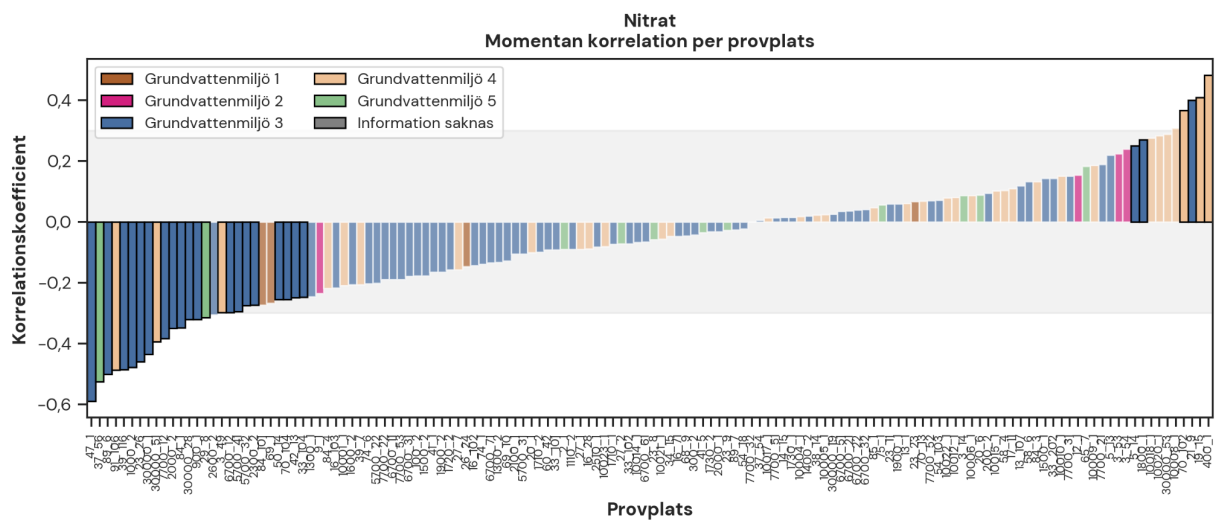
Figur B1.100. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Nitrat



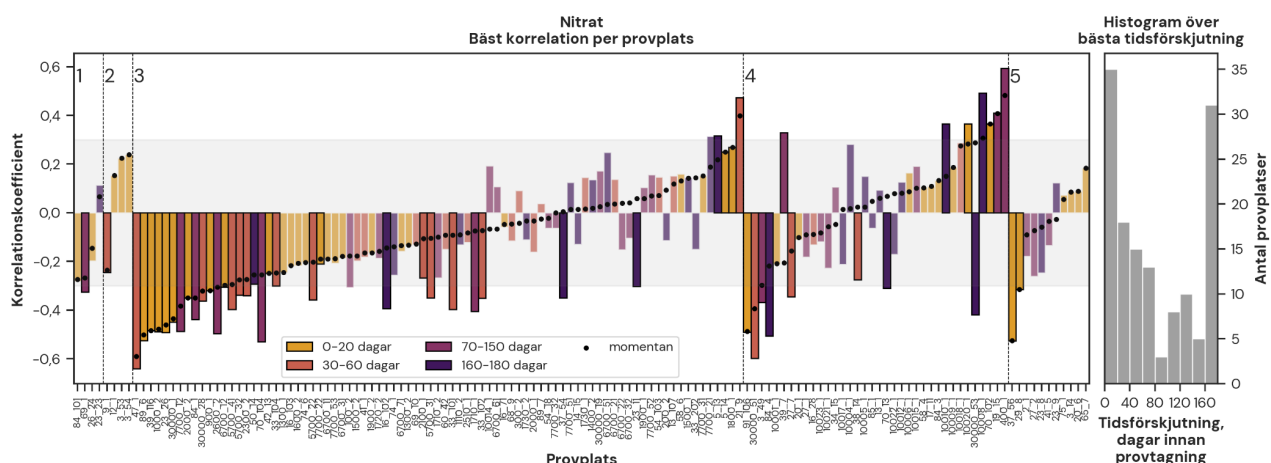
Figur B1.101. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

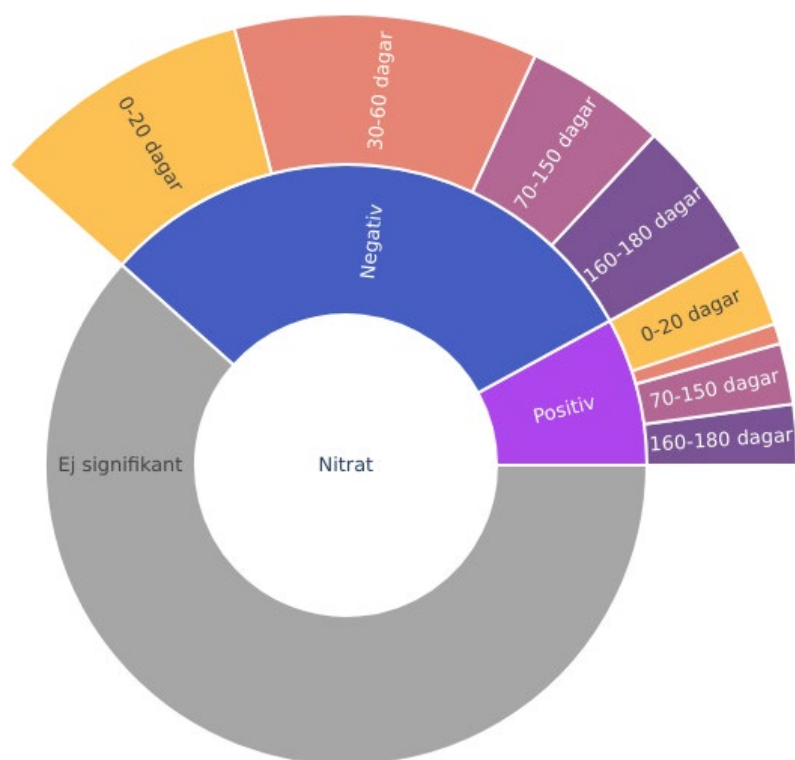


Figur B1.102. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

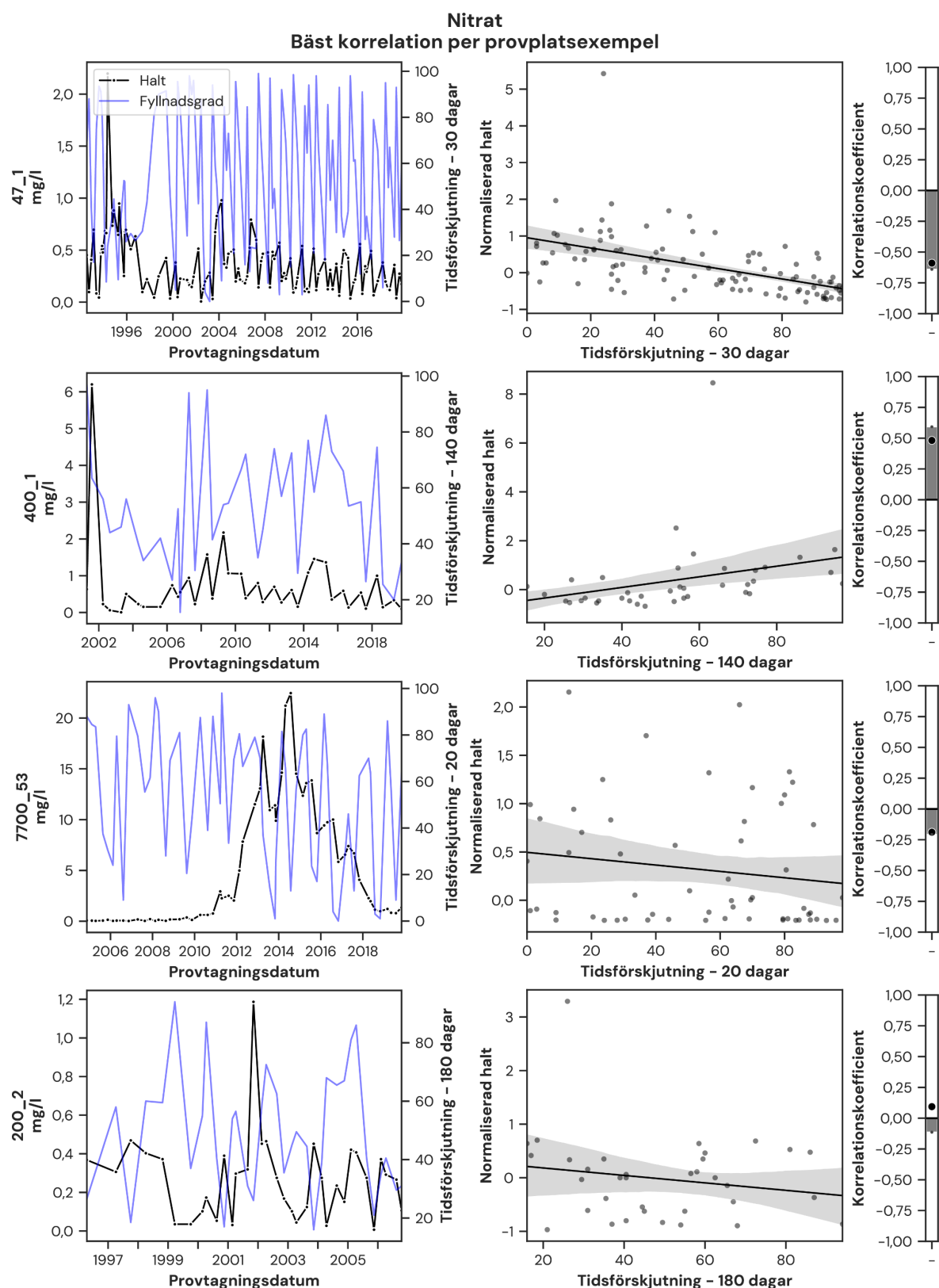


Figur B1.103. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



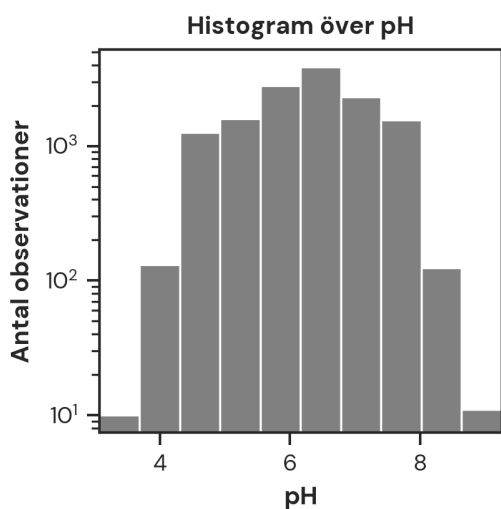
Figur B1.104. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



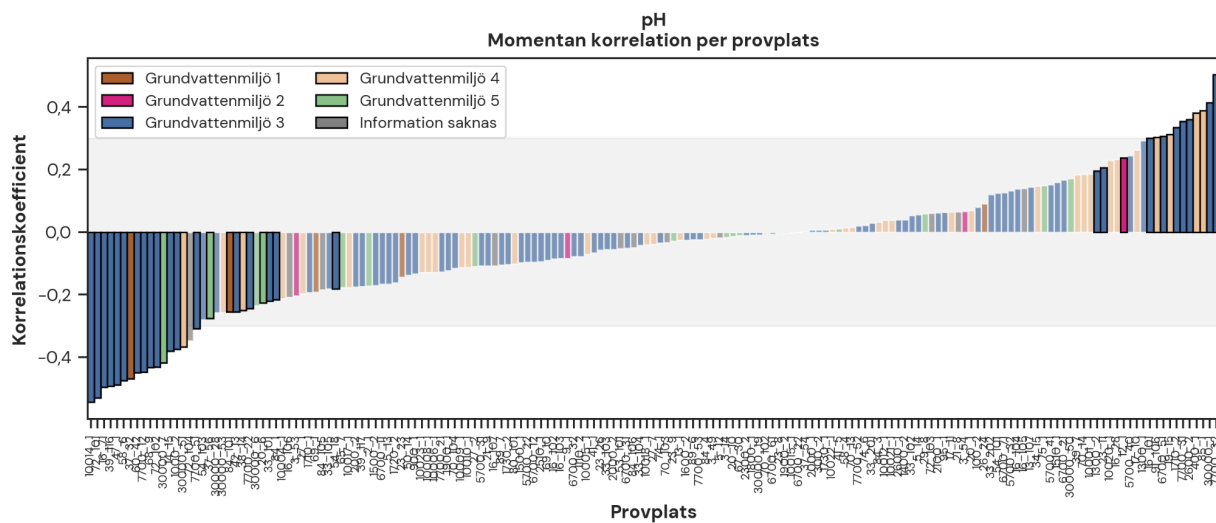
Figur B1.105. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

pH



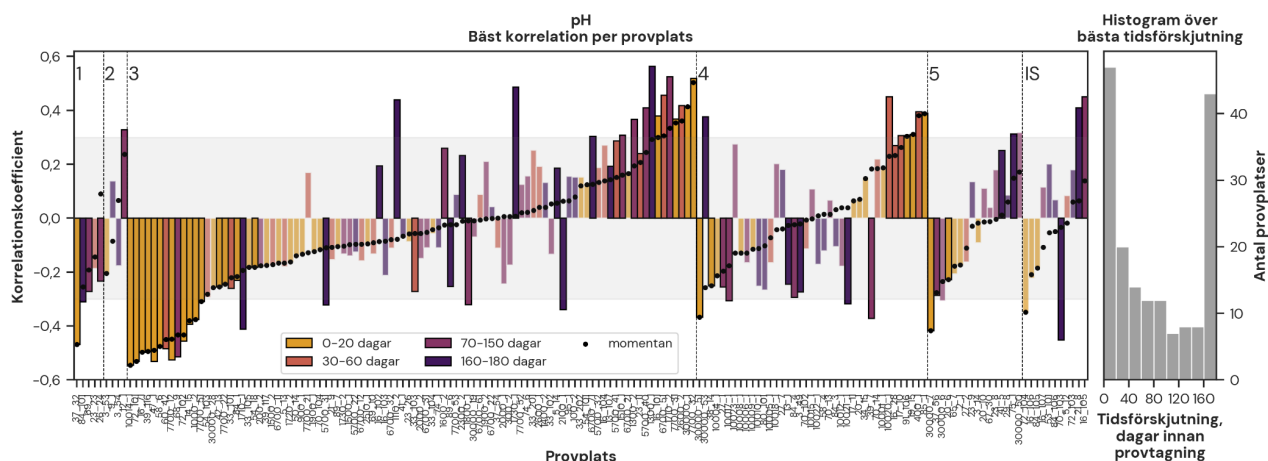
Figur B1.106. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

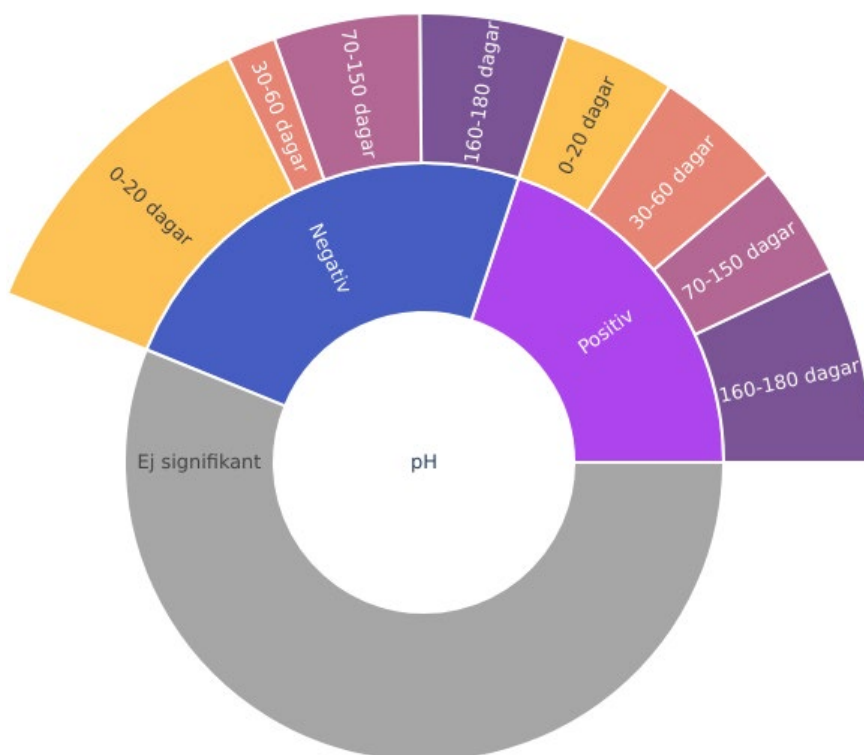


Figur B1.107. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

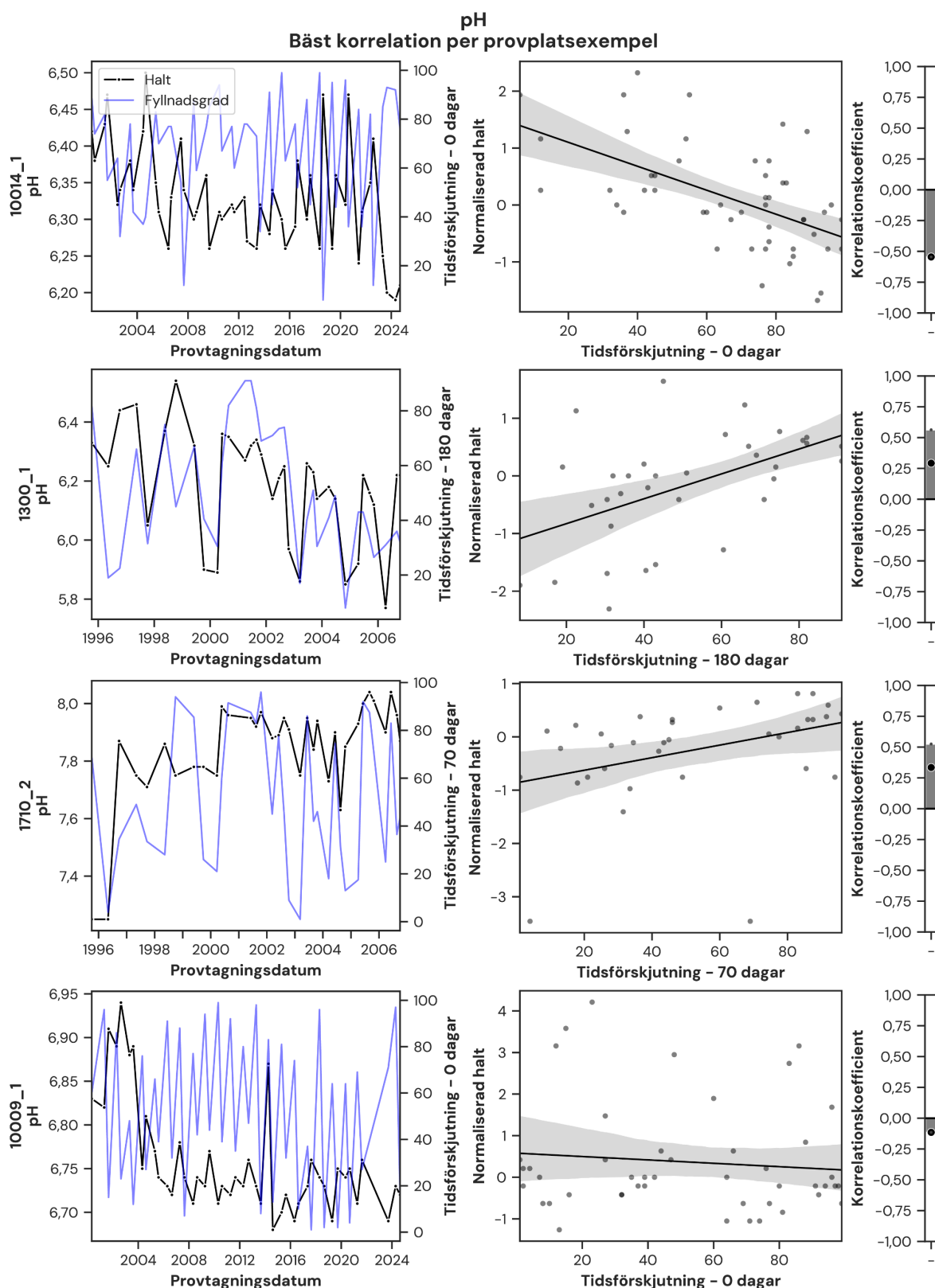


Figur B1.108. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



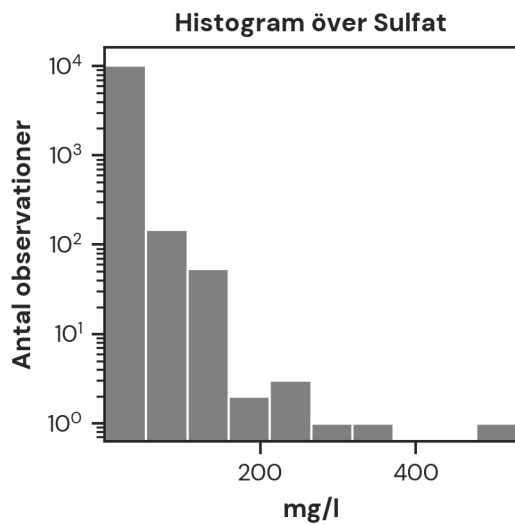
Figur B1.109. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



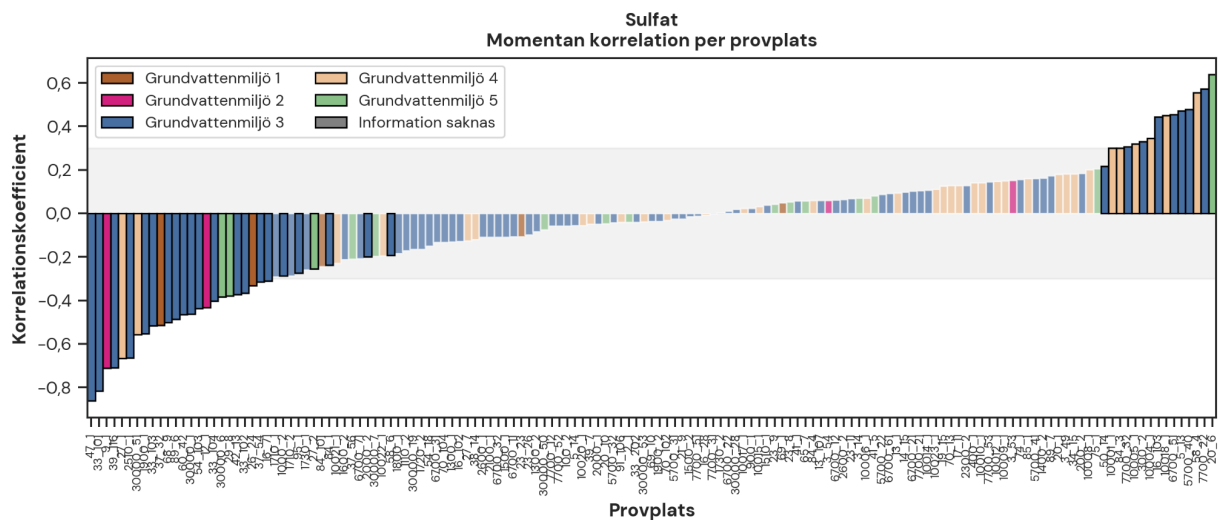
Figur B1.110. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Sulfat



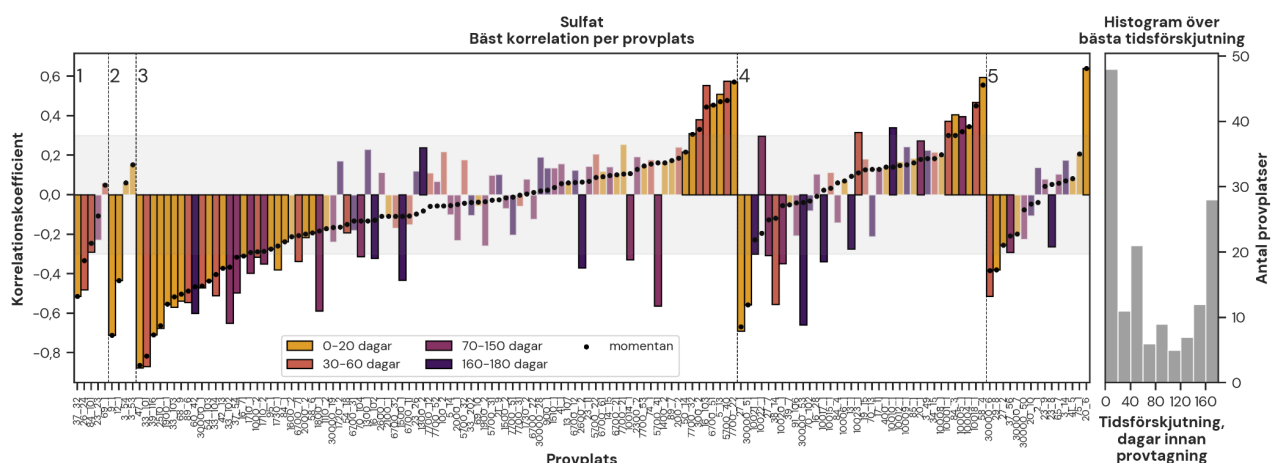
Figur B1.1111. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

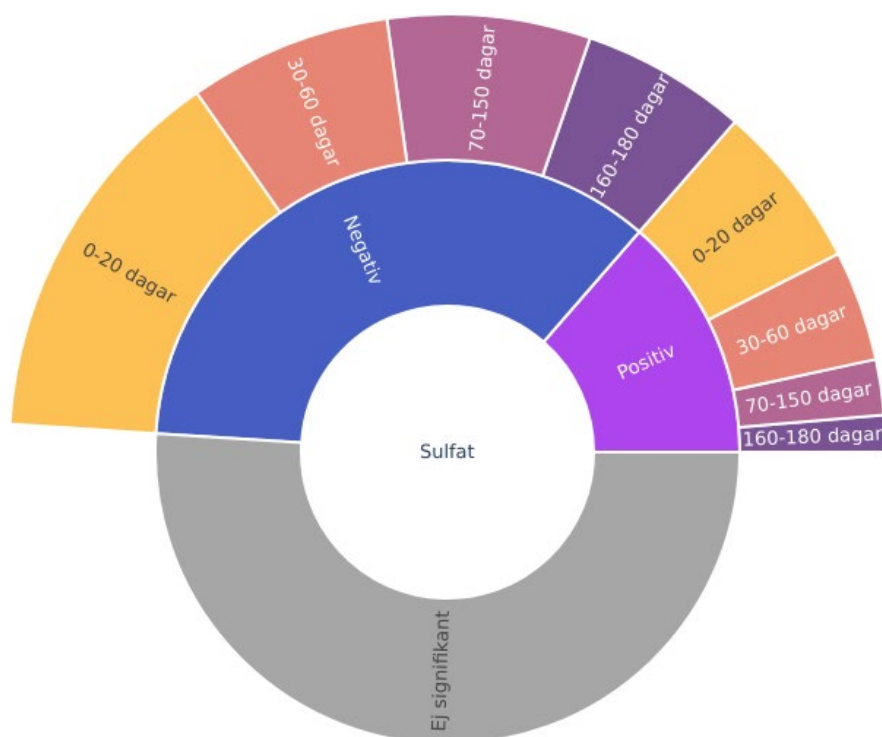


Figur B1.112. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

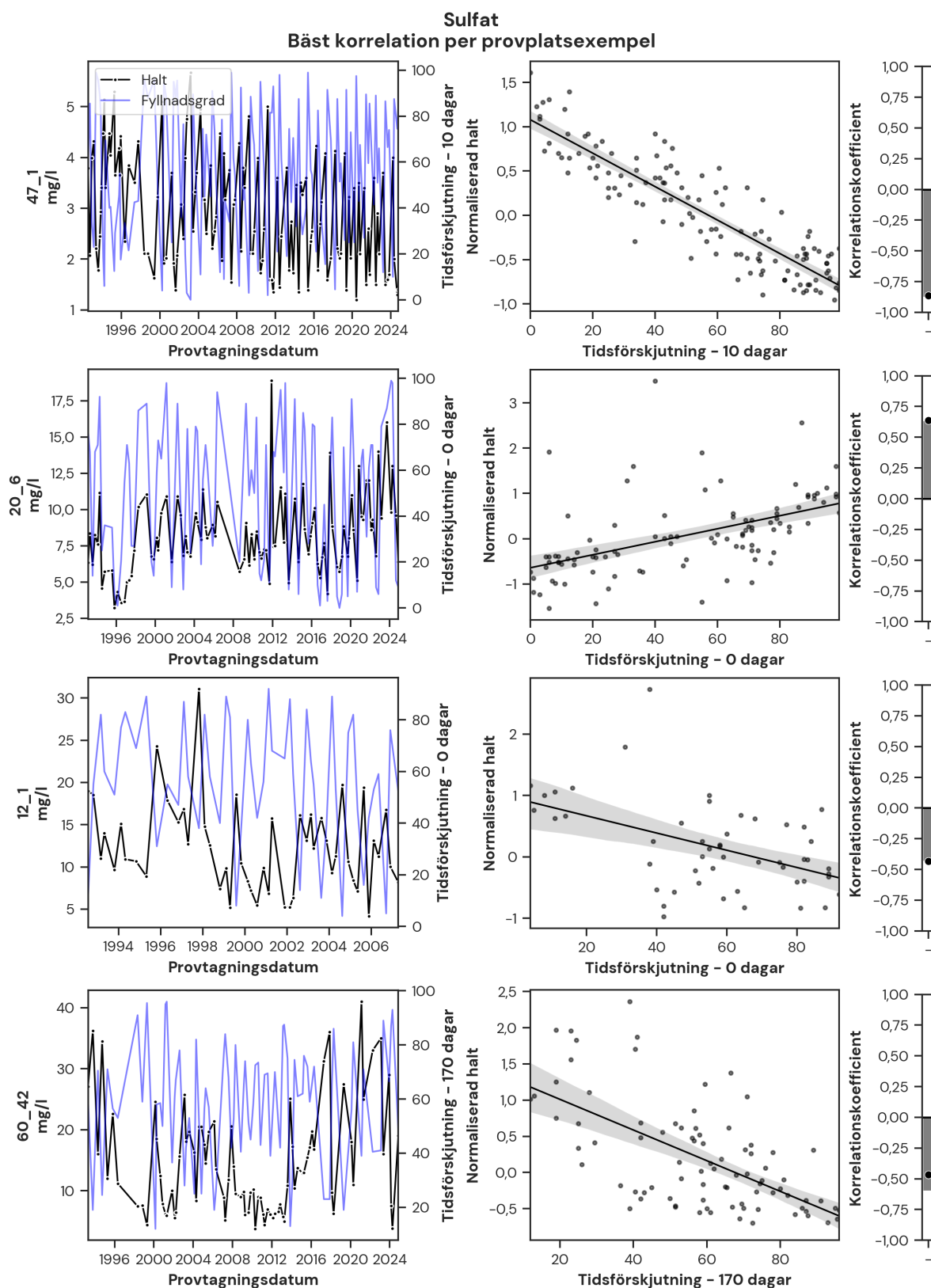


Figur B1.113. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



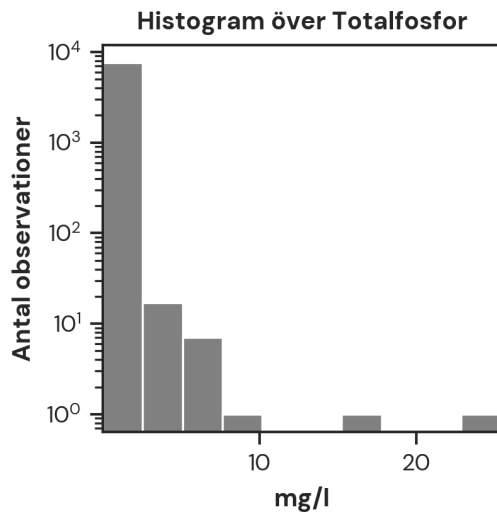
Figur B1.114. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



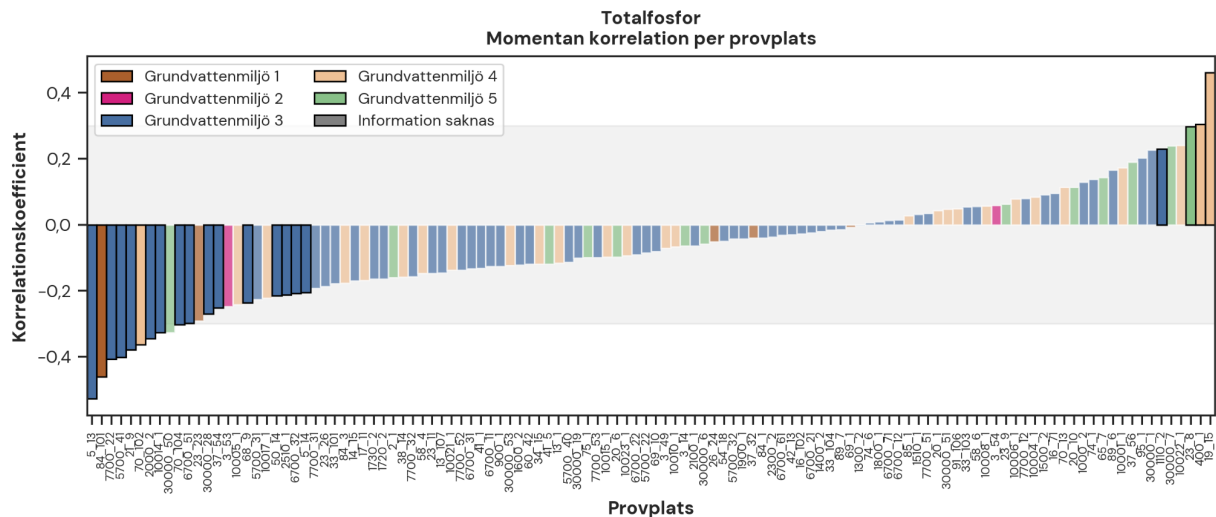
Figur B1.115. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Totalfosfor



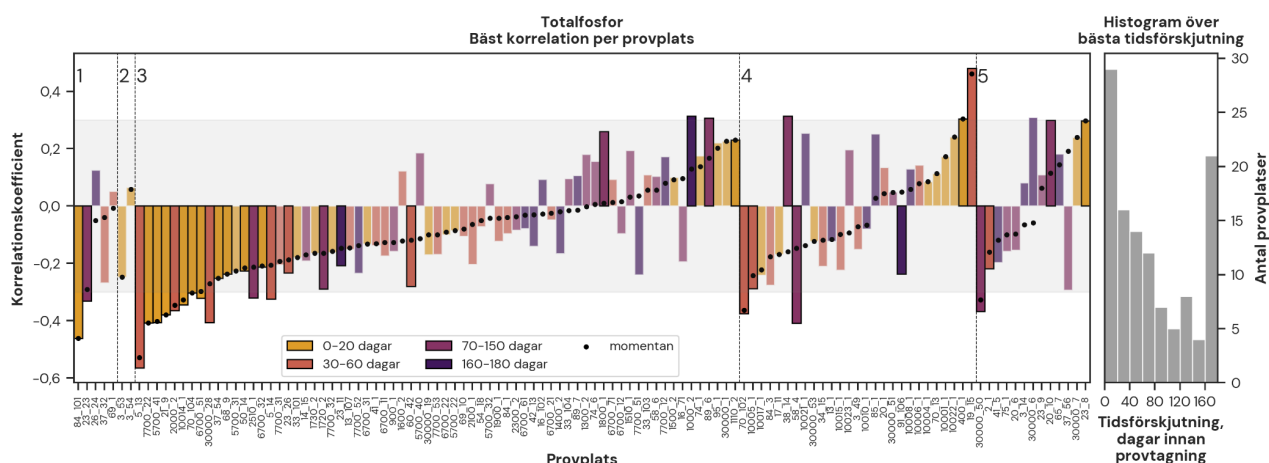
Figur B1.116. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

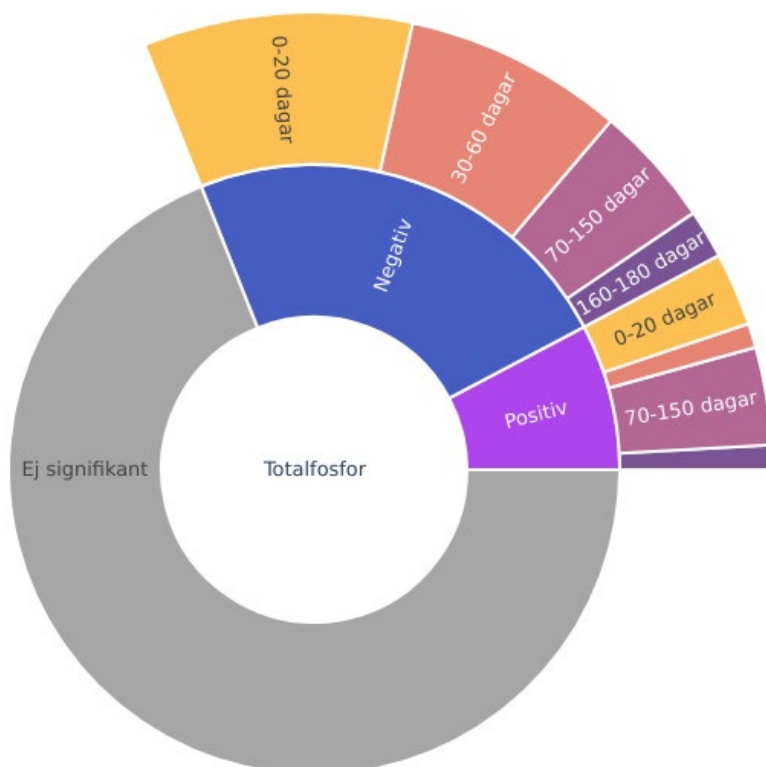


Figur B1.117. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

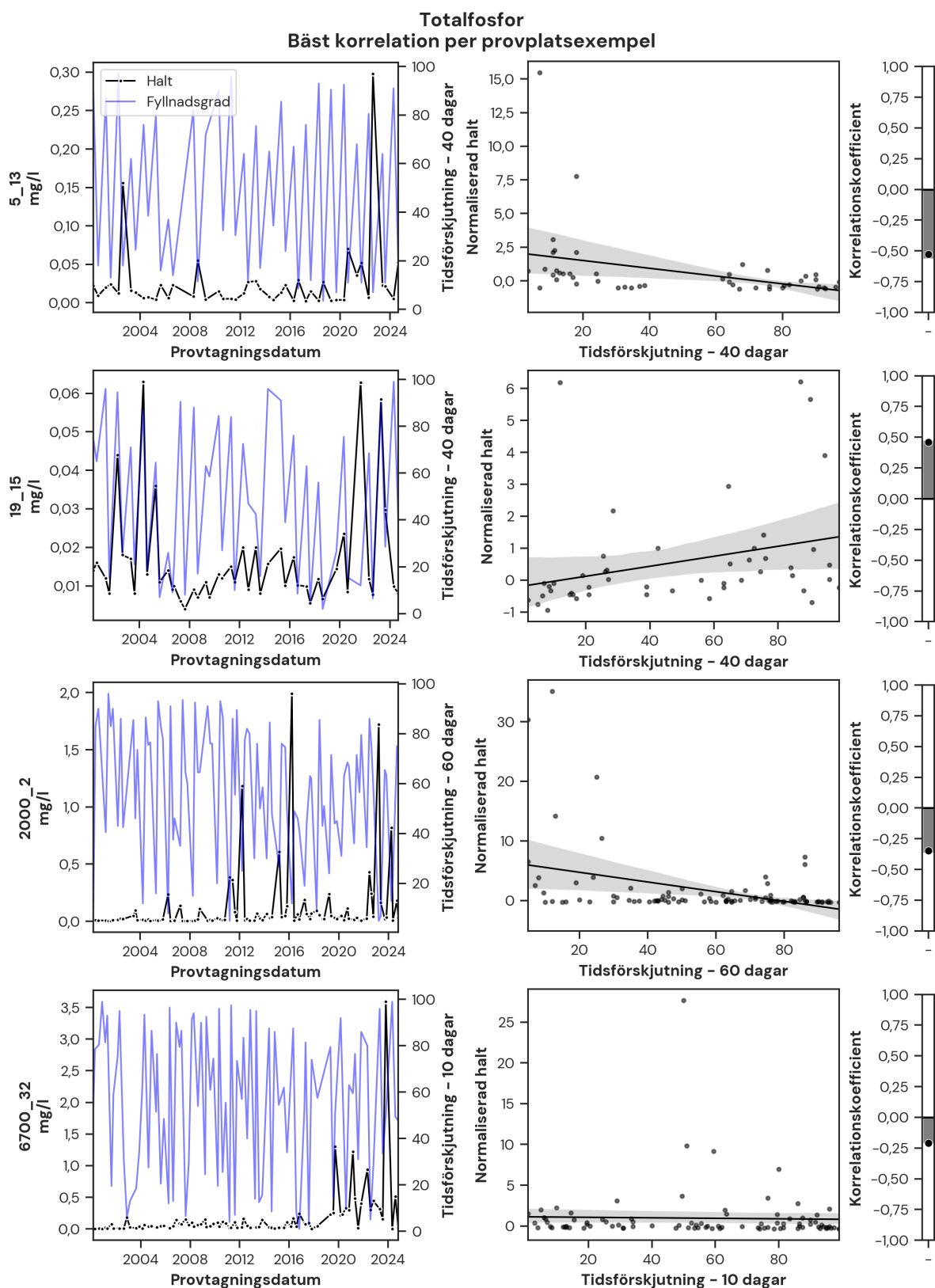


Figur B1.118. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



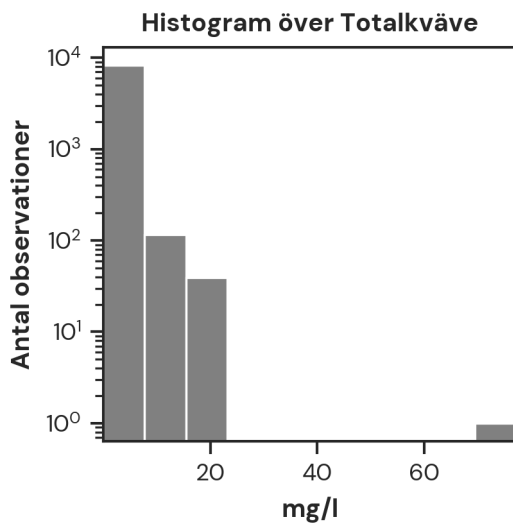
Figur B1.119. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



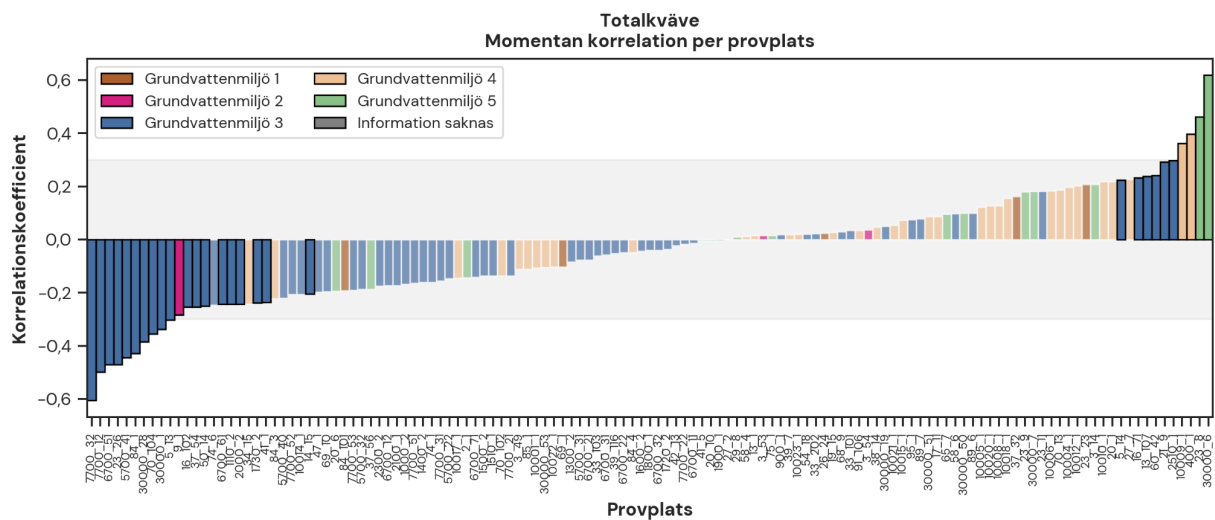
Figur B1.120. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Totalkväve



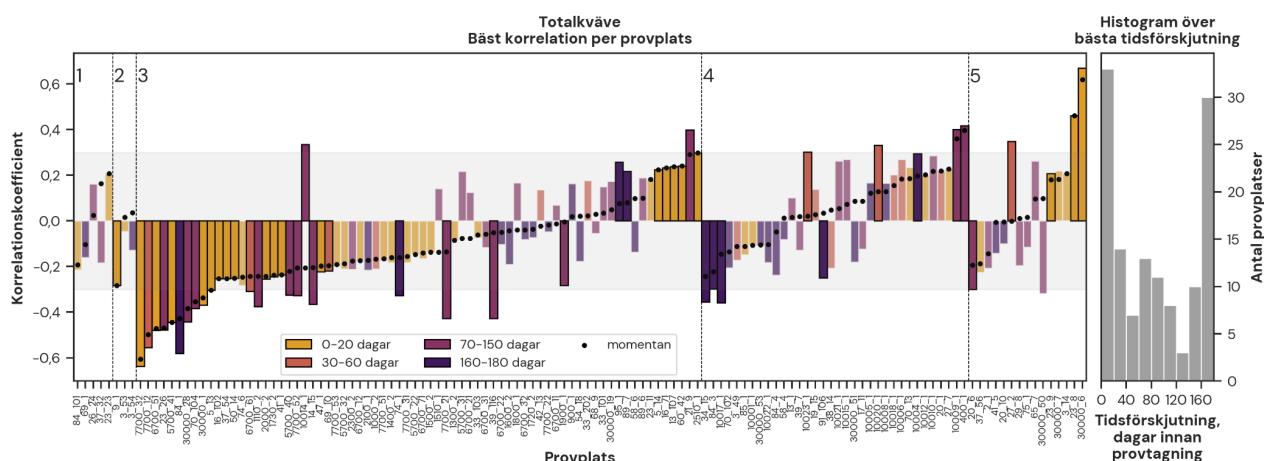
Figur B1.121. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

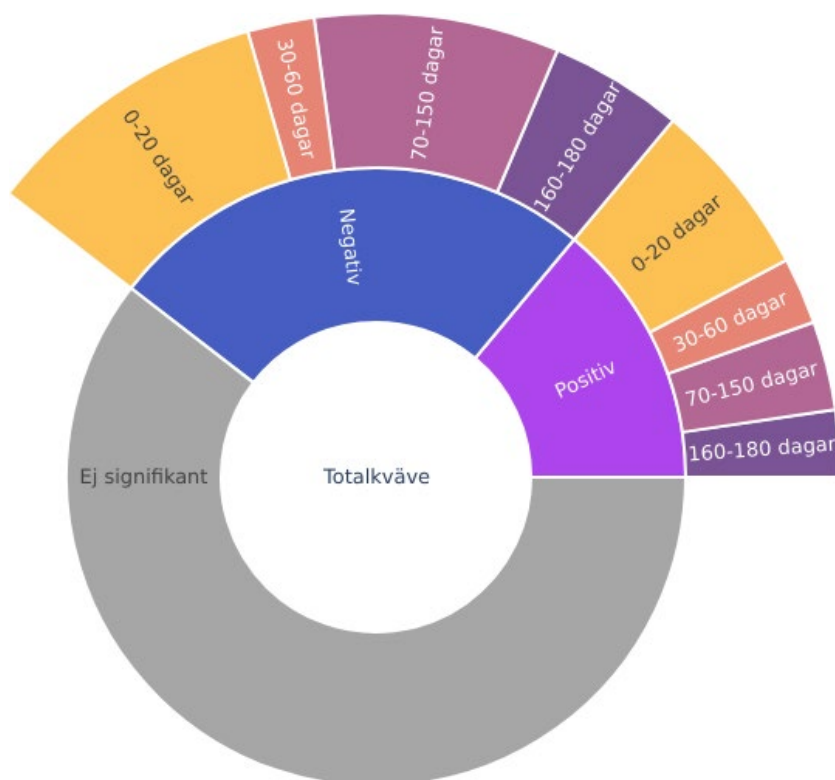


Figur B1.122. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

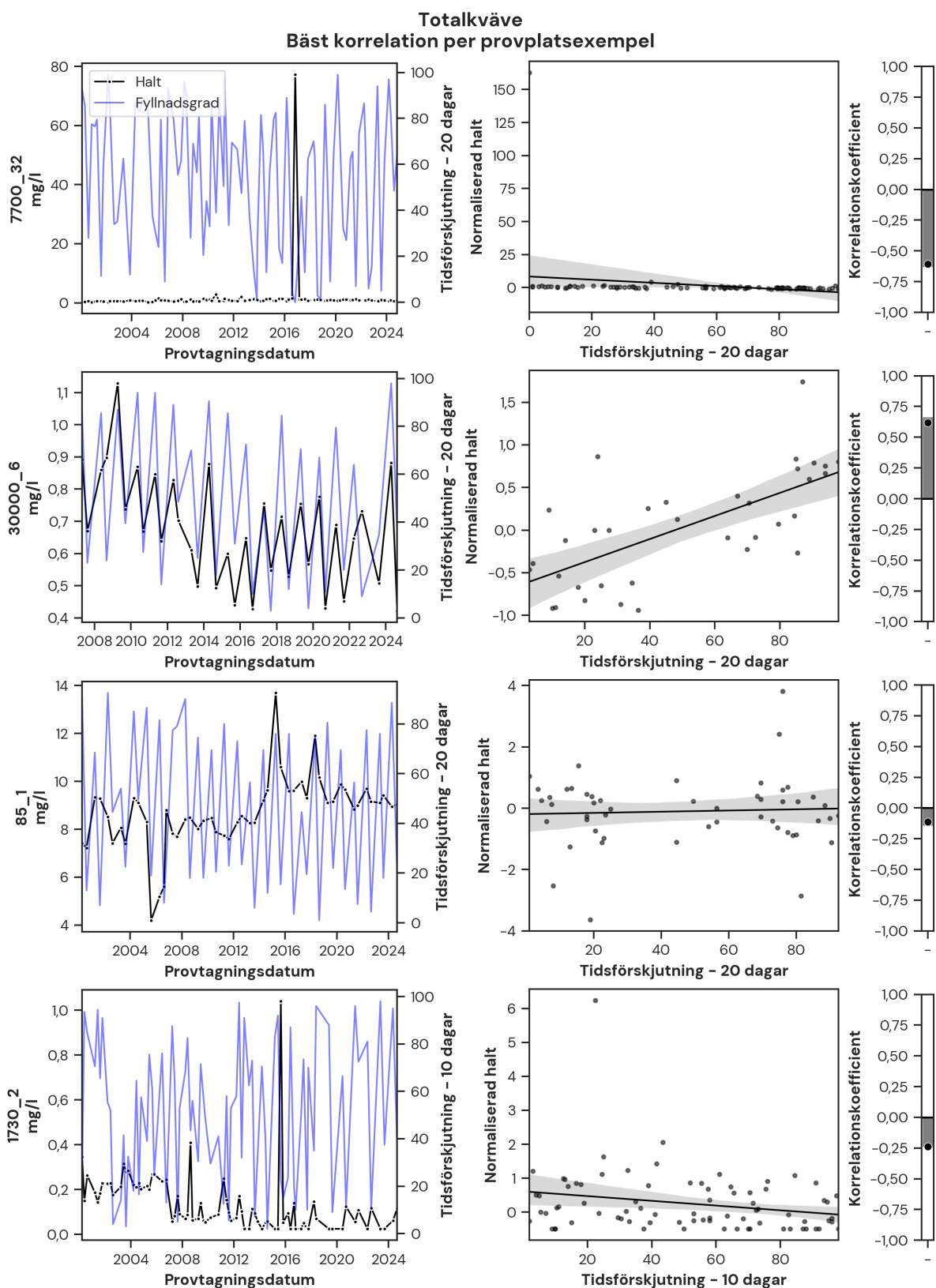


Figur B1.123. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



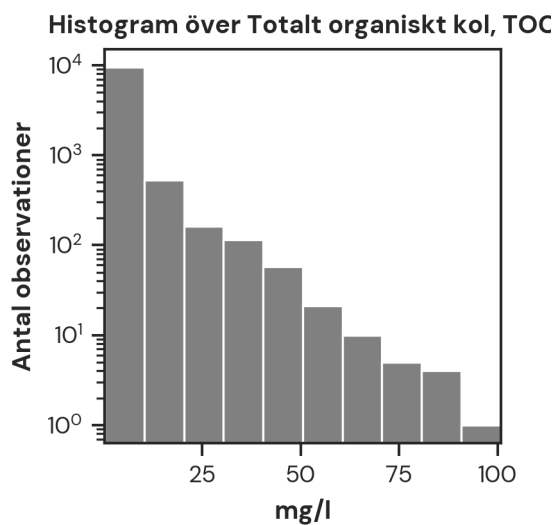
Figur B1.124. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



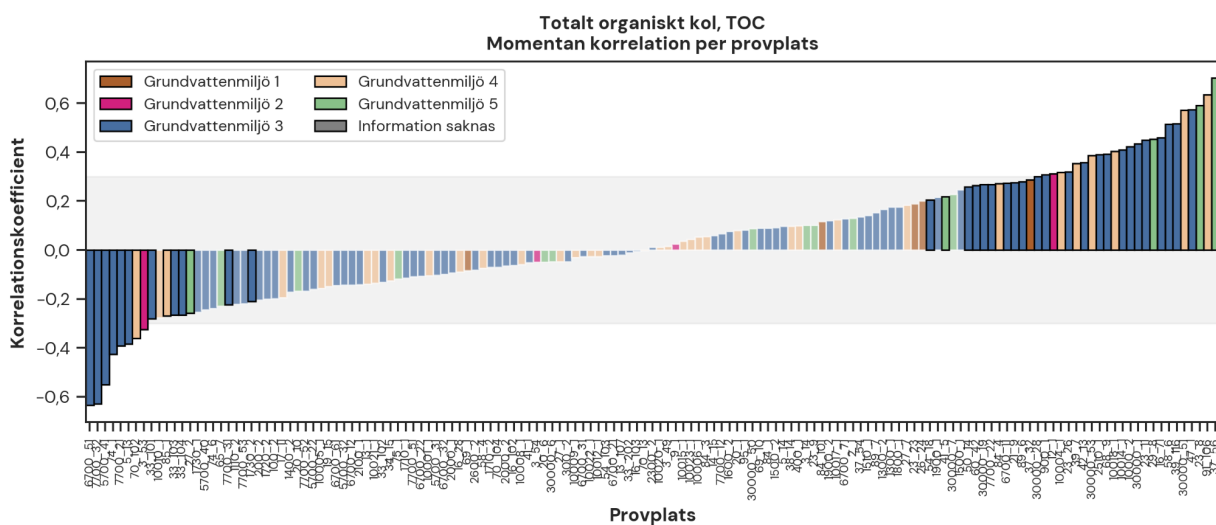
Figur B1.125. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Totalt organiskt kol, TOC



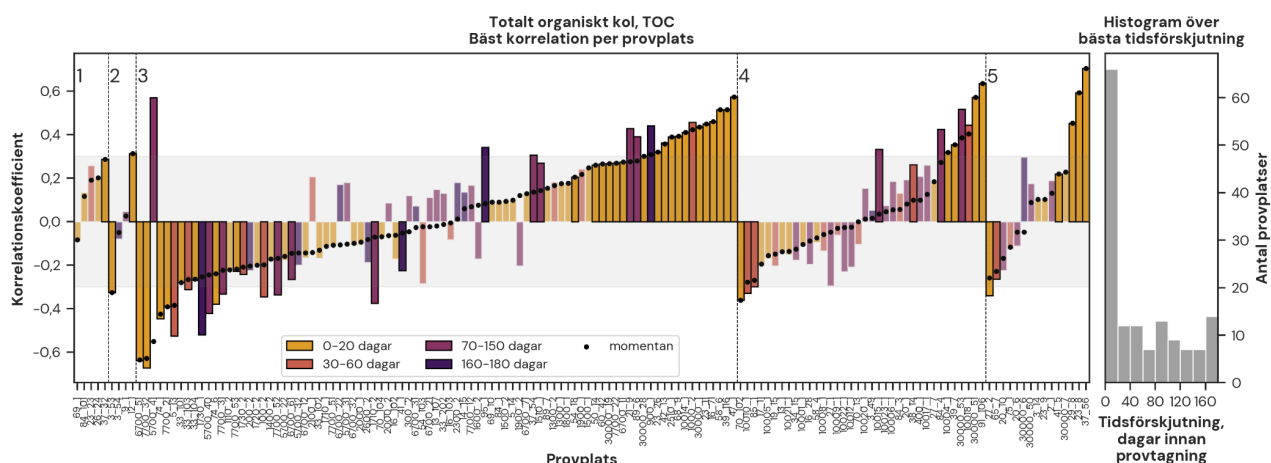
Figur B1.126. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

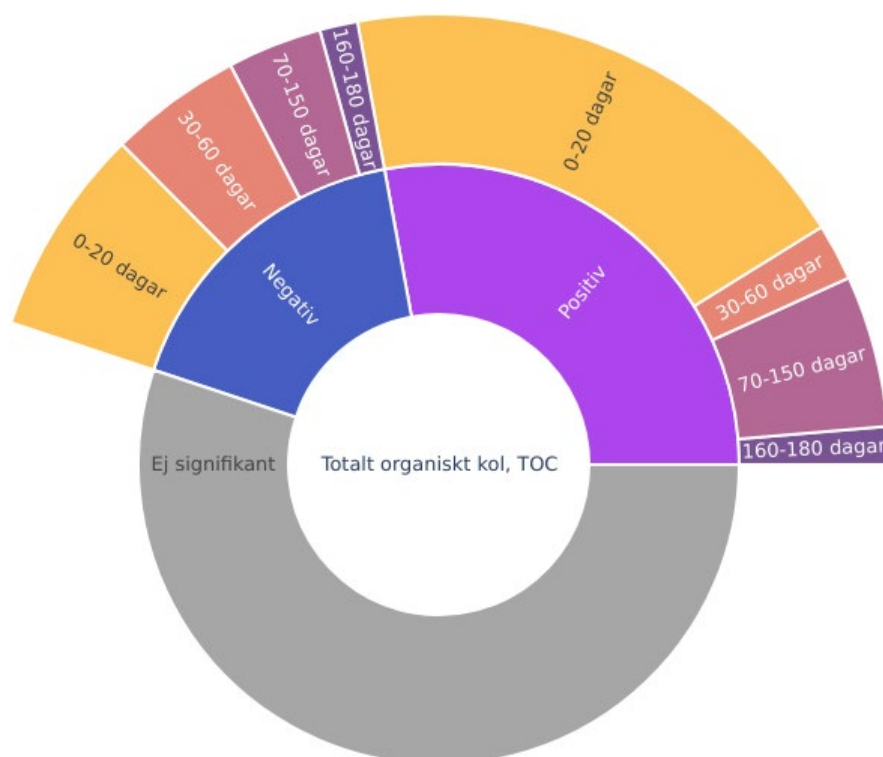


Figur B1.127. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

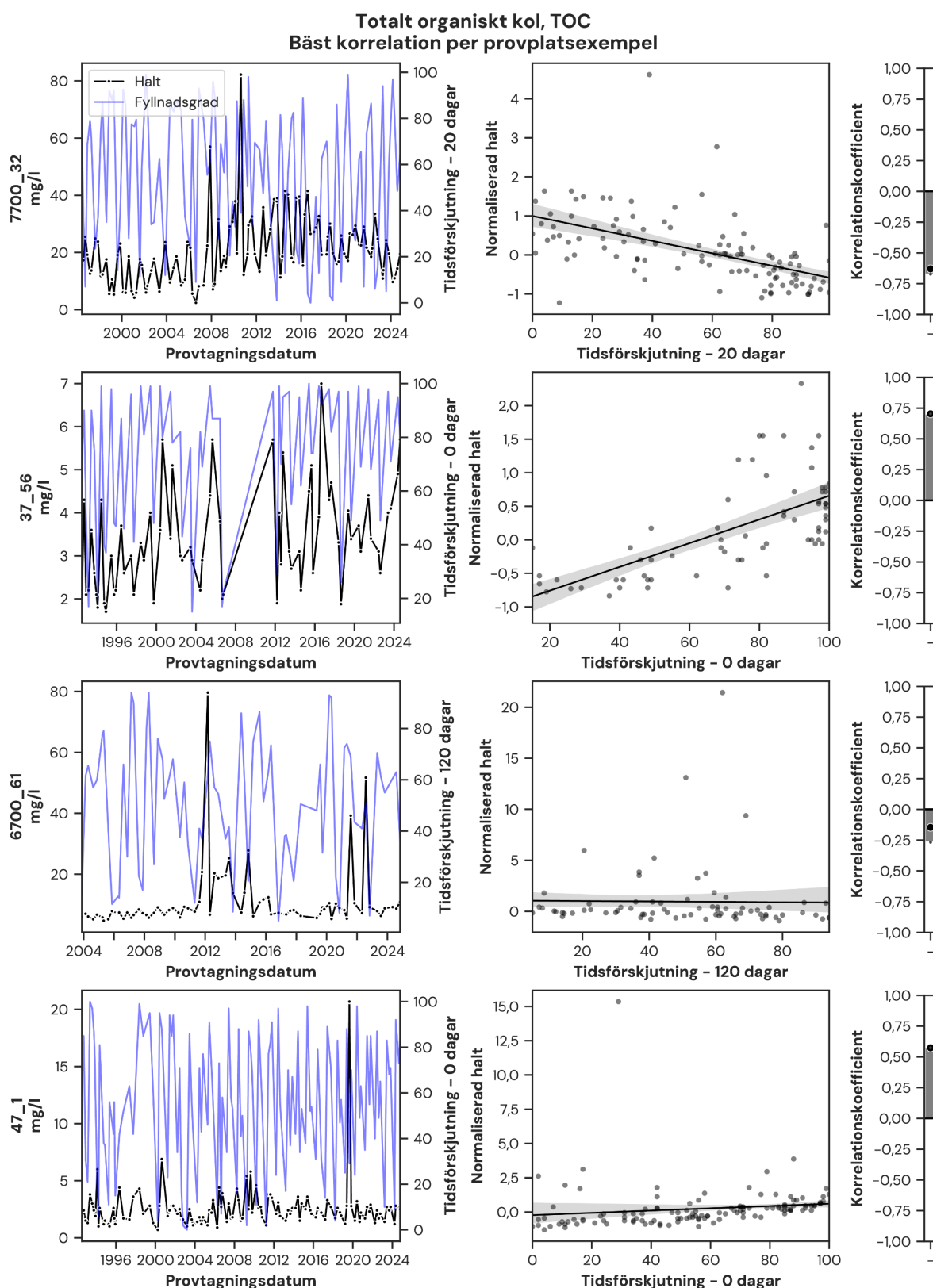


Figur B1.128. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjutnen fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



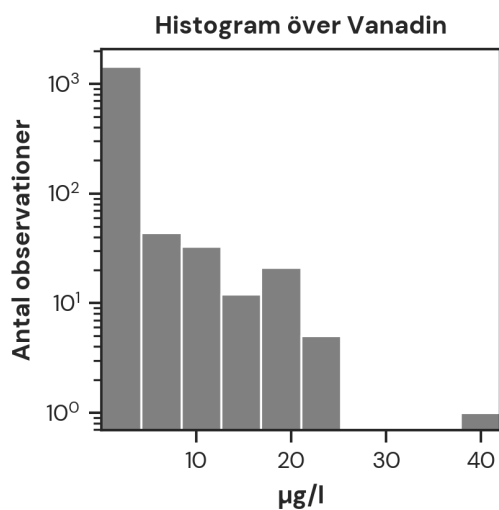
Figur B1.129. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



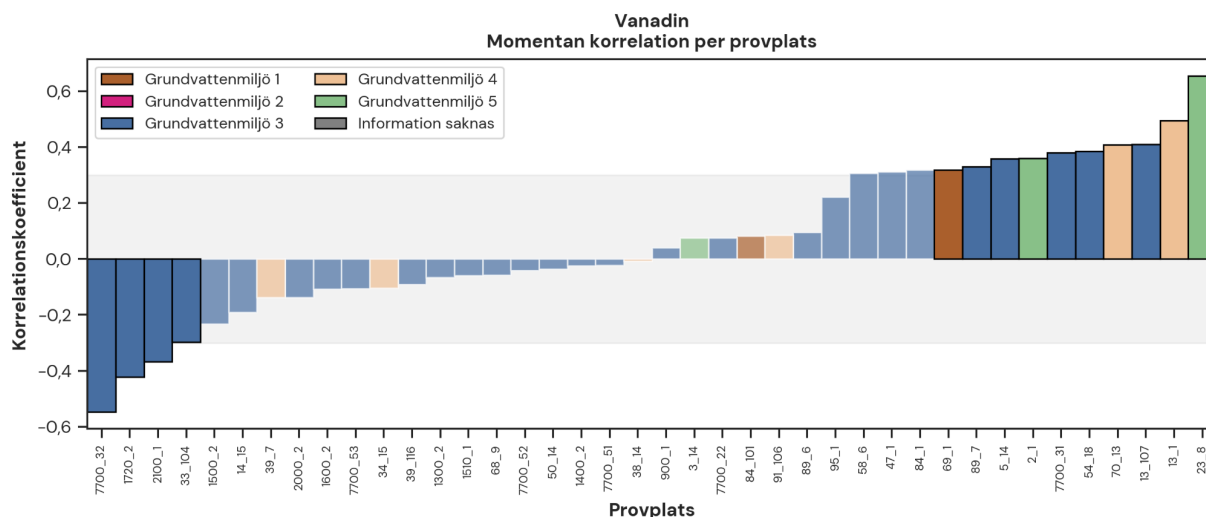
Figur B1.130. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Vanadin



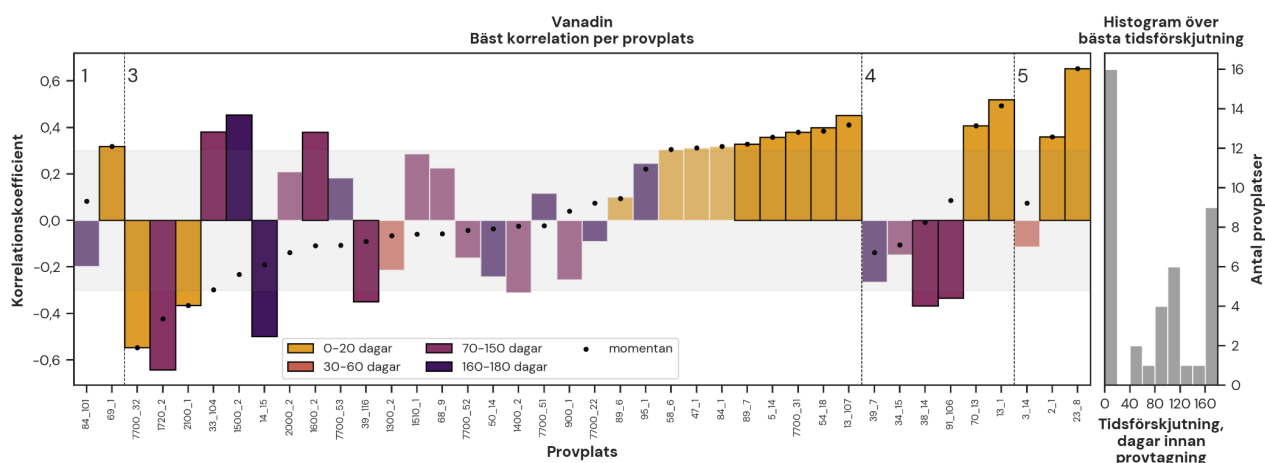
Figur B1.131. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

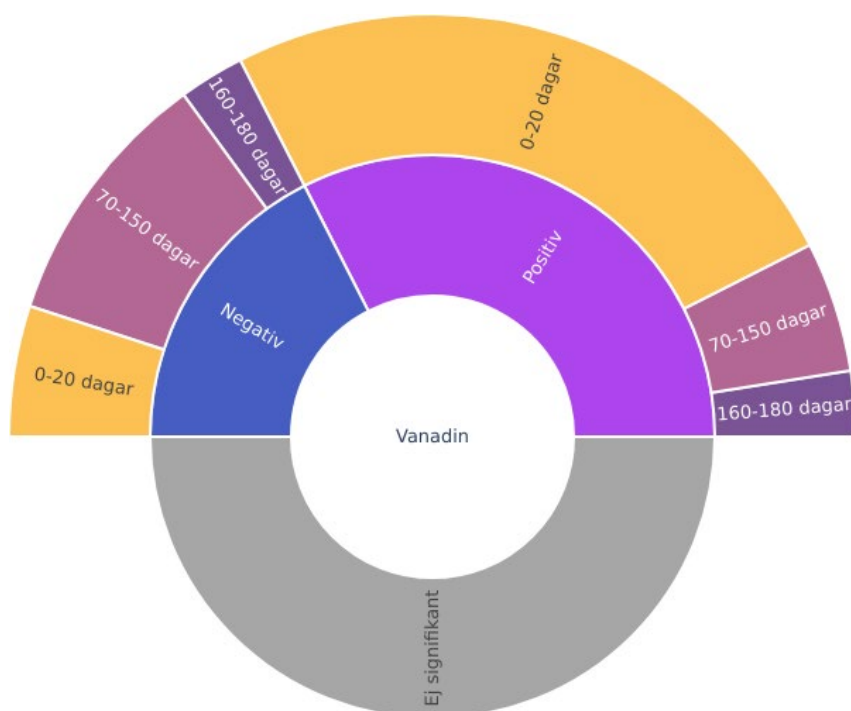


Figur B1.132. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

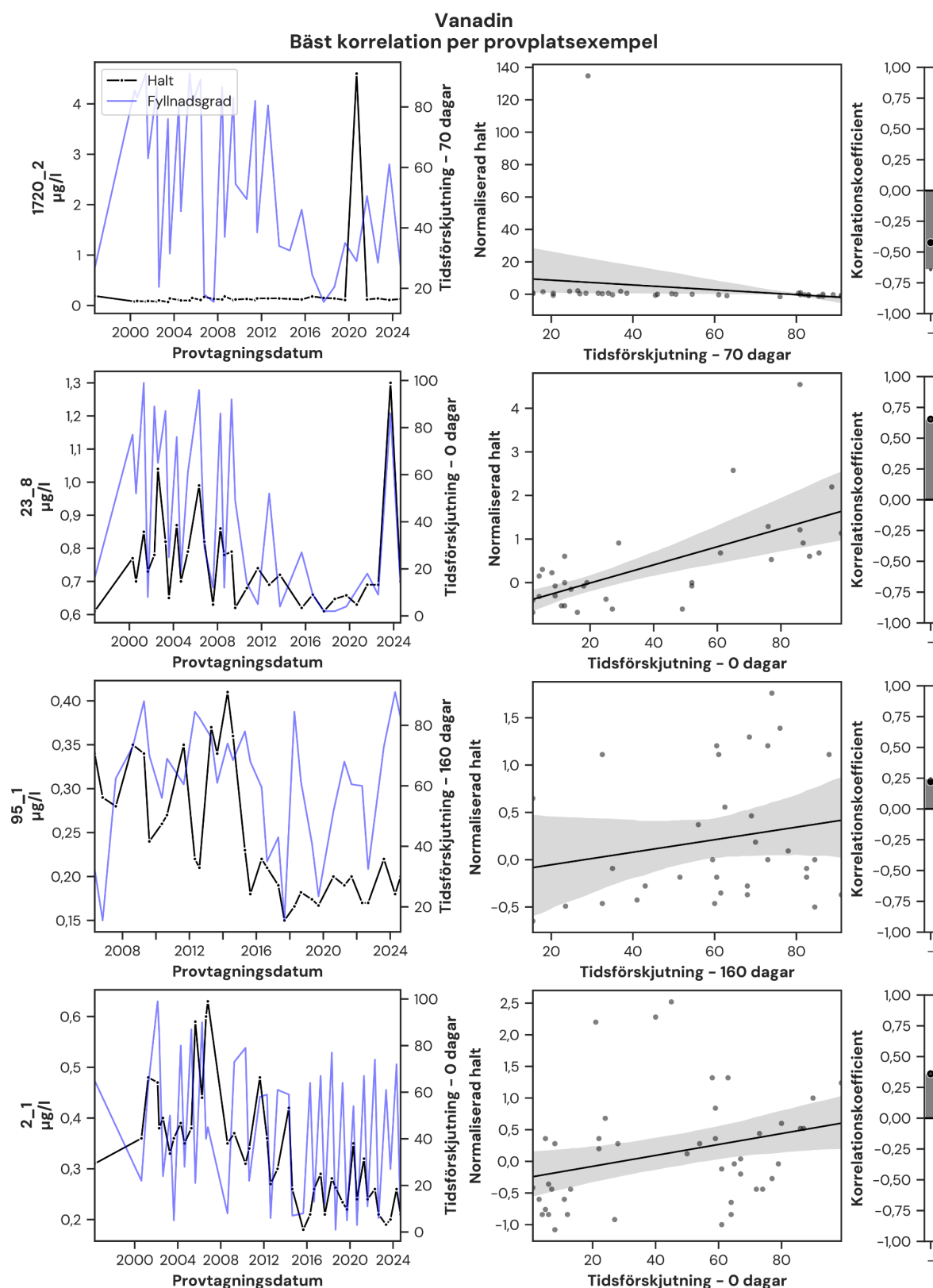


Figur B1.133. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjuten fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



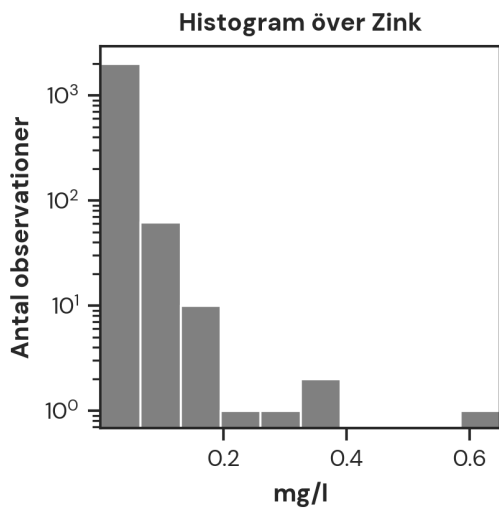
Figur B1.134. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



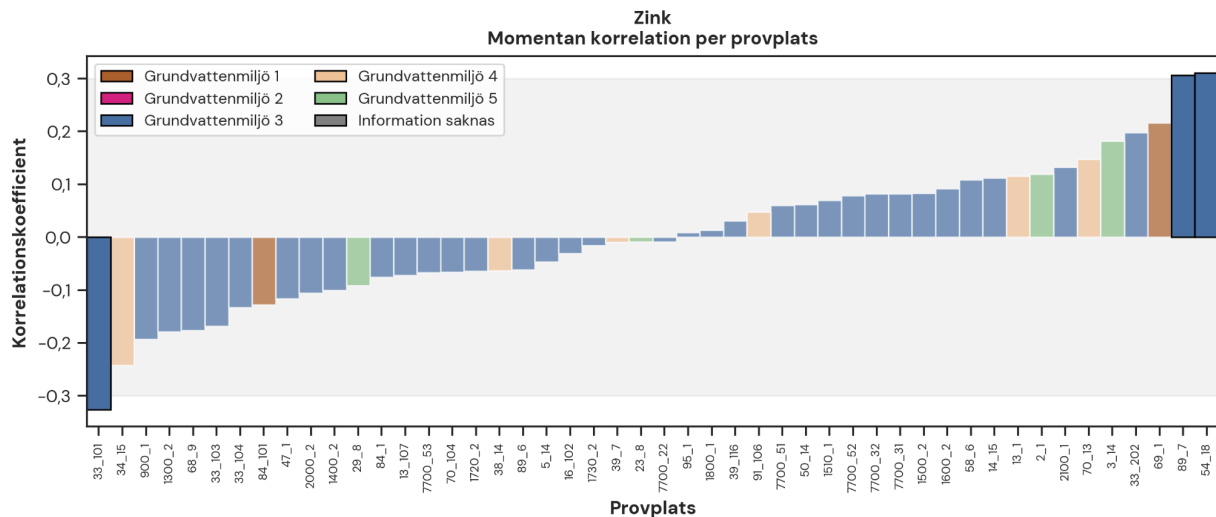
Figur B1.135. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Zink



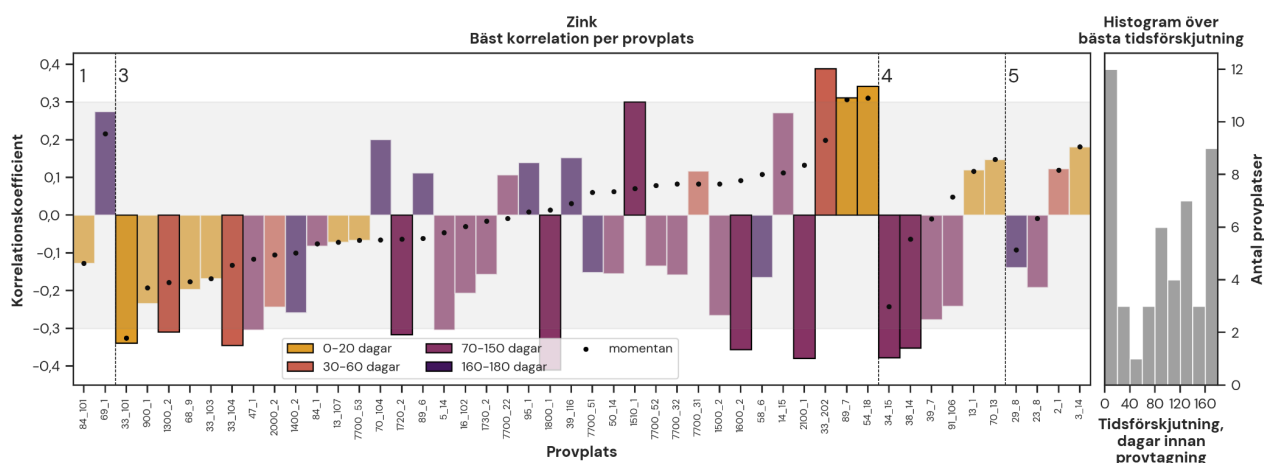
Figur B1.136. Log-fördelning av provresultat för enskilda provtagningar, oberoende av provplats.

Momentan korrelation

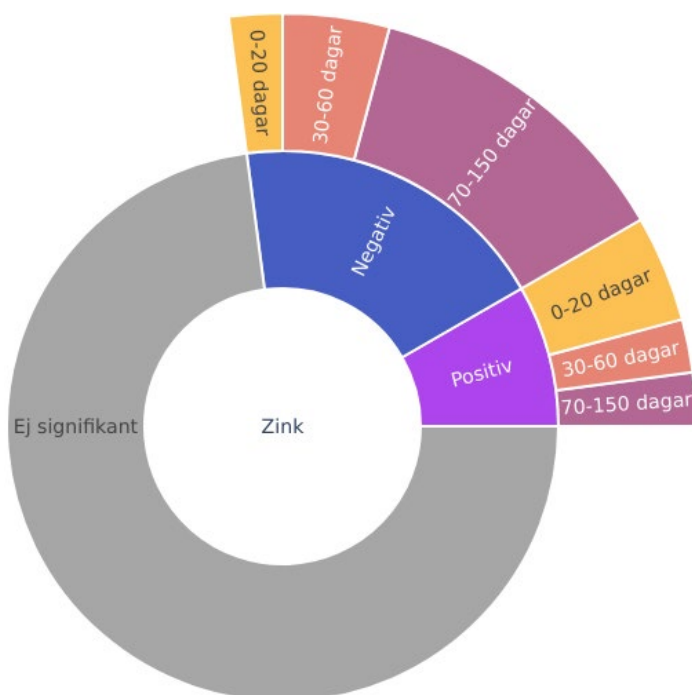


Figur B1.137. Stapeldiagram som visar korrelationer mellan momentan fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Stapelns färg visar vilken grundvattenmiljö som provplatsen representerar. Staplar med starka färger markerar provplatser med statistiskt signifikanta korrelationer. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans.

Bästa korrelation

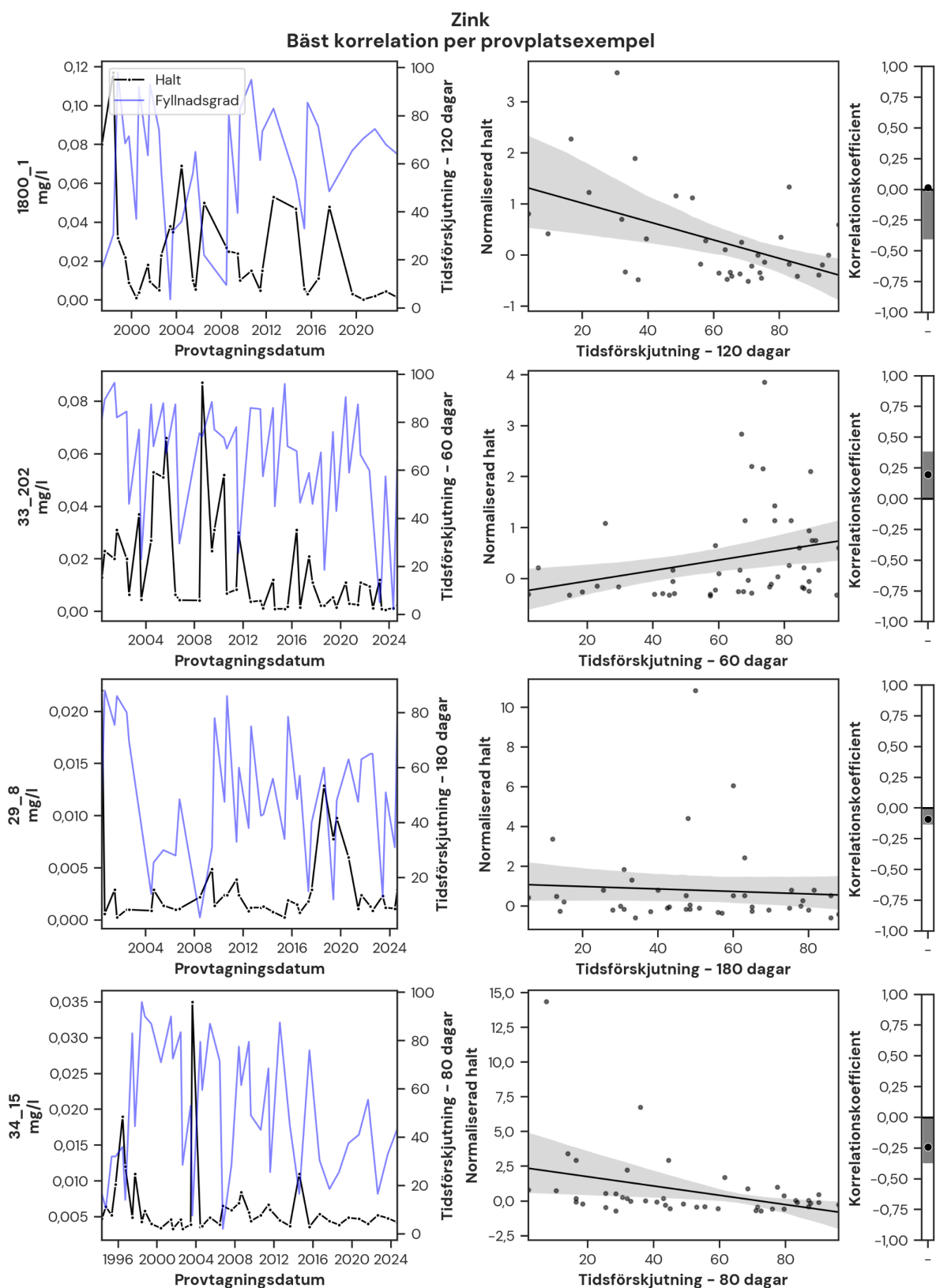


Figur B1.138. Stapeldiagram som visar den starkaste korrelationen mellan tidsförskjutnen fyllnadsgrad och parameter för respektive provplats (varje stapel utgör en provplats/tidsserie). Provplatserna är sorterade utifrån grundvattenmiljö (1–5; IS = information saknas). Stapelns färg visar vilken tidsförskjutning som ger den bästa korrelationen, medan punkten visar den momentana korrelationen. Staplar med starka färger är signifikanta medan dämpade färger ej är signifikanta. Det gråa området markerar en gräns inom vilka samband anses förhållandevis svaga ($-0,3 \leq \text{korrelationskoefficient} \leq 0,3$), oavsett statistisk signifikans. Histogrammet till höger visar fördelningen av tidsförskjutning som ger de bästa korrelationerna mellan fyllnadsgrad och grundvattenkvalitetsparametern i fråga.



Figur B1.139. Pajdiagram över den tidsförskjutning för fyllnadsgrad med starkast/bäst korrelation till grundvattenkvalitetsparametern, samt om korrelationen var positiv (Spearman's rho > 0) eller negativ (Spearman's rho < 0).

Exempel



Figur B1.140. Exempel på provplatser med det starkaste positiva och negativa sambandet, samt två slumpvis utvalda exempel på provplatser. Kolumnen till vänster visar uppmätt halt per provplats samt korresponderande fyllnadsgrad inklusive eventuell tidsförskjutning. Mittenkolumnen visar den normaliserade halten mot fyllnadsgrad för att visa på hur sambanden ser ut. Den högra kolumnen visar korrelationskoefficient med och utan tidsförskjutning (grå stapel respektive svart punkt).

Bilaga 2. Jämförelse av halter i enskilda brunnar och fyllnadsgrad i små magasin – fördjupad metodbeskrivning och resultatredovisning

Inledning

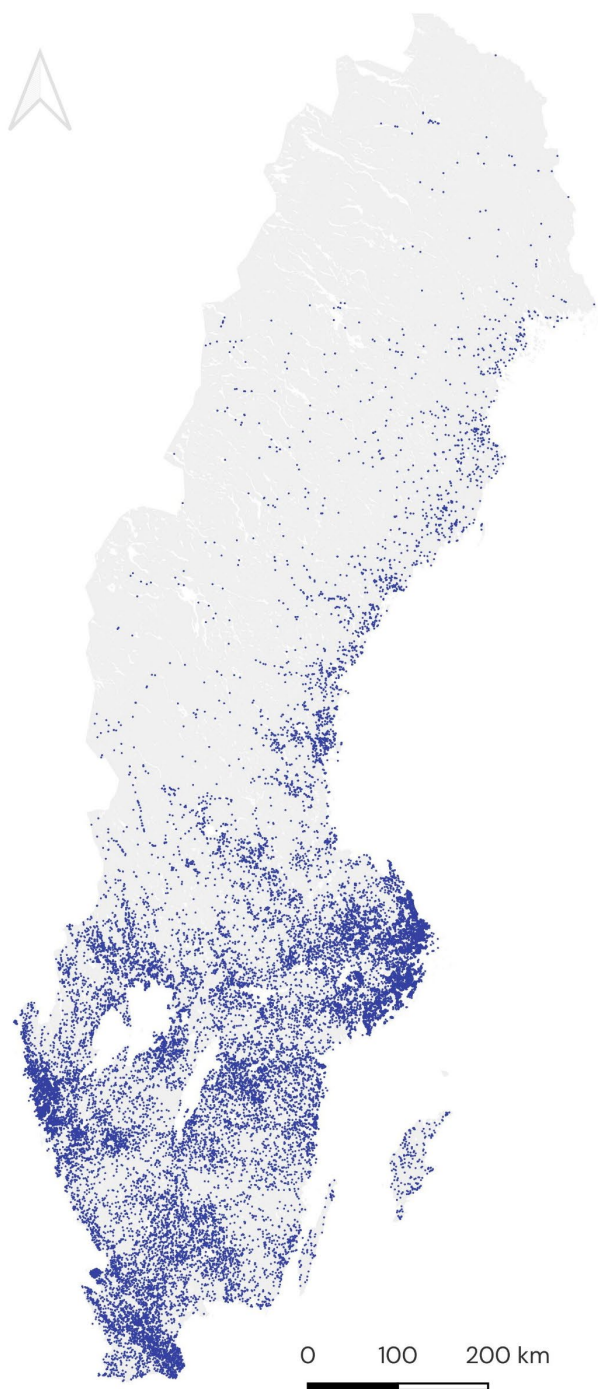
Denna bilaga beskriver jämförelse och statistisk sammanställning av ett antal kemiska parametrar inhämtade från insamlad provtagning i enskilda brunnar under åren 2007–2022, och grundvattennivå. Information om grundvattennivå registreras dock i allmänhet inte vid provtagning i enskilda brunnar. Vidare är en uppmätt nivå vid ett enskilt tillfälle i en pumpad brunn behäftad med osäkerheter avseende representativitet. Därför har jämförelsen i stället gjorts mot den modellerade fyllnadsgraden från SGU:s nationella grundvattenmodell SGU-HYPE som troligtvis bättre beskriver den generella naturliga grundvattennivån i området vid provtagnings-tillfället.

Syftet har varit att undersöka om det går att identifiera några samband så som högre uppmätta halter vid högre fyllnadsgrad (positivt samband) eller motsatt högre uppmätta halter vid lägre fyllnadsgrad (negativt samband).

Analysdata

De kemiska och mikrobiologiska data som utvärderingen grundas på utgörs av analysresultat från privat brunnsprovtagning insamlade av SGU mellan åren 2007–2022. Insamlingen görs via två laboratorier, med medgivande från berörda privatpersoner. Provtagningen utförs av privatpersoner och i allmänhet finns bara ett prov per brunn. För endast 14 % av brunnarna finns mer än ett prov. Alla prover har dock behandlats lika i utvärderingen, oavsett om ett eller flera prover tagits i en brunn. Då provtagningen utförs av privatpersoner och inte enligt någon särskild rutin, kan isolerade prover och mätvärden anses behäftade med viss osäkerhet. Styrkan i datamängden är i stället att den är stor, vilket vid utvärdering av flera analysdata bedöms kompensera för enskilda osäkerheter. Den geografiska distributionen är god med undantag för delar av norra Sverige (figur B2.1). Den ojämna geografiska distributionen bedöms dock var relevant då den väl återspeglar användningen av enskild vattenförsörjning i Sverige.

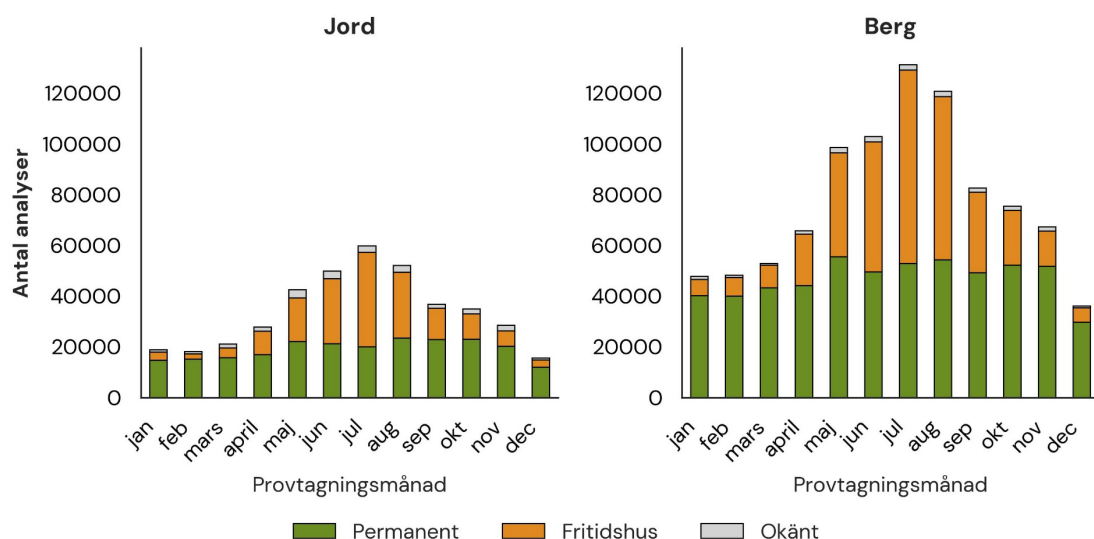
För föreliggande analys har endast prover använts där det angetts att provet är uttaget innan någon form av vattenrening. Totalt resulterade det i ett underlag av total ca 40 000 prover med ett varierande antal ingående analysparametrar (tabell B2.1). För de flesta parametrar finns omkring 35 000 mätvärden. Det finns fler analyser för prov tagna i berg än i jord. Flest analyser finns för standardparametrar såsom klorid, järn och mangan och minst antal analyser finns för radon.



Figur B2.1. Geografisk spridning av enskilda brunnar som ingått i utvärderingen.

Tabell B2.1. Fördelning av antal analyser per parameter provtagna i jord respektive berg.

Parameter	Antal analyser Jord	Antal analyser Berg
Klorid	10 500	24 176
Järn	10 616	24 087
Mangan	10 587	24 007
Magnesium	10 585	24 003
Kalcium	10 585	24 003
Koppar	10 590	23 983
Kalium	10 574	23 979
Natrium	10 574	23 979
Nitrit	10 475	23 783
Fluorid	10 491	23 768
Nitrat	10 474	23 760
Turbiditet	10 471	23 752
Totalhårdhet, tyska grader	10 473	23 752
Alkalinitet	10 471	23 746
Ammonium	10 452	23 744
Kemisk syreförbrukning, CODMn	10 450	23 737
Sulfat	10 460	23 723
Fosfat	10 437	23 710
Koliforma bakterier	11 602	23 647
pH	9545	22 757
Escherichia coli, E.coli	10 573	22 630
Färg	7985	19 542
Odlingsbara mikroorganismer, 22°C, 3 dygn	9503	19 363
Uran	7661	19 108
Arsenik	7547	18 675
Bly	7493	18 571
Aluminium	7360	18 269
Kadmium	7343	18 262
Krom	7343	18 261
Nickel	7342	18 261
Radon	1396	13 578



Figur B2.2. Fördelning av analyser baserat på vilken månad provet är taget.

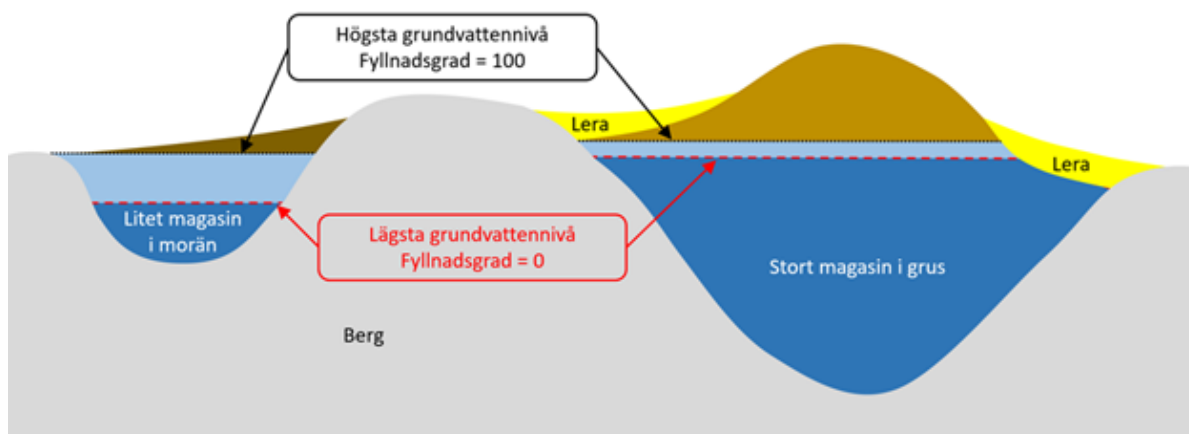
Privatpersoners provtagning av enskilda brunnar sker under hela året men det finns en skevhet i datamängden med betydligt fler prover tagna under sommaren (figur B2.2.). Detta beror på att många enskilda brunnar nyttjas i fritidsboenden där provtagning oftare sker på sommaren. Detta innebär att det finns en inbyggd snedfördelning i datamängden då fler prover har tagits vid låg fyllnadsgrad på sommarhalvåret.

Fyllnadsgrad

Måttet fyllnadsgrad är enhetslöst. Värdet noll indikerar att grundvattennivån på platsen är lika låg som den lägsta nivån, och 100 att den är lika med den högsta nivån, för den aktuella platsen och ingående data period. För att beräkna fyllnadsgrad används kumulativ relativ frekvens vilket innebär att grundvattennivåerna normeras för den specifika platsen och den mätserie av grundvattennivåer som analyseras. Normeringen görs så att det blir en likformig sannolikhetsfördelning, även kallad rektangulär fördelning, från 0 till 100. I praktiken visar detta hur många procent av observationerna som ligger under värdet i fråga. Till exempel innebär det att 10 procent av observationerna är lägre än fyllnadsgrad 10. Följaktligen är 90 procent av observationerna högre än fyllnadsgrad 10.

Att använda fyllnadsgrad är ett praktiskt sätt att beskriva hur nivåobservationer förhåller sig varandra, speciellt om observationerna inte är jämnt fördelade vilket ofta är fallet med grundvattennivåer om de uttrycks i meter. Det möjliggör också en jämförelse av relativa grundvattennivåer mellan olika platser utan att behöva ta hänsyn till att grundvattennivån räknat i meter kan skilja stort mellan olika platser.

Det är viktigt att vara medveten om att fyllnadsgrad inte är identiskt med grundvattenmagasinets totala vatteninnehåll. Exempelvis kan fyllnadsgraden vara noll vid en tidpunkt utan att grundvattenmagasinet i fråga är tomt eller att det inte går att ta ut mer vatten. Dock är en låg fyllnadsgrad en tydlig signal om att magasinet inte innehåller lika mycket vatten som det brukar vilket kan vara viktigt vid riskbedömning (figur B2.3.).



Figur B2.3. Illustration av förhållande mellan fyllnadsgrad, grundvattennivå och totalt vatteninnehåll i grundvattenmagasin.

Eftersom fyllnadsgraden endast jämför grundvattennivån vid ett visst tillfälle med tidigare observationer, och det hela tiden tillkommer nya observationer, så förändras referensen som en viss nivå vid en viss plats skall jämföras mot hela tiden. Därför utför SGU en uppdatering av fyllnadsgradsberäkningen vid varje årsskifte. De beräknade värdena som har använts i denna rapport är hämtade efter årsuppdateringen 2025. Enskilda brunnar nyttjar i regel så kallat små magasin. Analysen har därför begränsats till att endast studera eventuella samband mellan kemiska parametrar och beräknad fyllnadsgrad i små magasin.

Det finns tidsserier med dygnsberäkning av fyllnadsgrad tillbaka till 1961 vilket gjort det möjligt att plocka ut aktuell fyllnadsgrad vid provtagningstillfället för alla prover. Modellen har en beräkningsdomän med 4x4 km områden över hela Sverige vilket har matchats mot angivna geografiska koordinater för provtagna brunnar som då fått värdet från området brunnen faller inom.

Databearbetning och utvärdering

Alla tillgängliga analyser har tilldelats en beräknad fyllnadsgrad vid provtagningstillfället. Därefter har analyserna delats in utifrån de klasser för fyllnadsgrad som SGU normalt använder vid kommunikation kring fyllnadsgrad. Skalan har 7 klasser och går från *Ovanligt låg* till *Ovanligt hög* fyllnadsgrad. För att inte riskera att dra slutsatser på för få datapunkter inom en klass samt för att försöka jämna ut antal analyser inom varje klass har de högsta klasserna slagits ihop till en *Hög och Ovanligt hög* klass. Den fortsatta utvärderingen är alltså gjord utifrån en skala med 6 klasser.

Anledningen till att det är färre antal prover i de högre klasserna är den inbyggda snedfördelningen som finns i datamängden på grund av att flest prover tas under sommaren. Slutligen har percentilvärden för halter inom respektive fyllnadsgradsklass beräknats, parameter för parameter.

Observationer avseende grundvatten i jord har hållits åtskilda från observationer i grundvatten i berg. För de analysresultat som gett ett värde under angiven rapporteringsgräns, har halva rapporteringsgränsen ansatts som mätvärde. Resultaten består av statistiska mått på halvfördelning inom respektive fyllnadsgradsklass.

Resultat

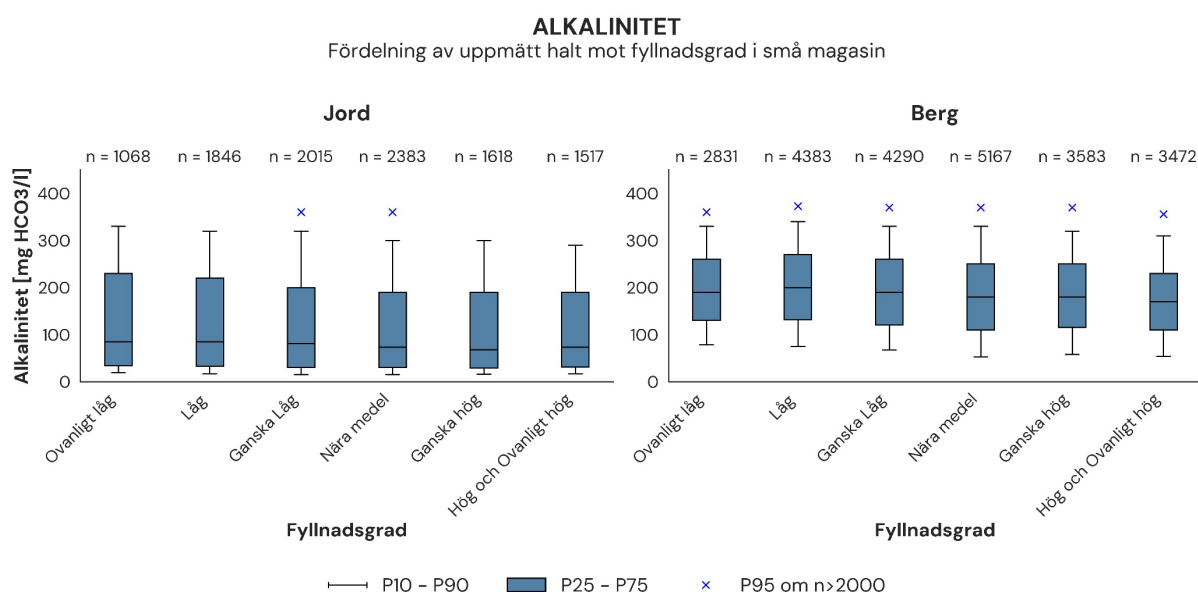
Nedan redovisas resultaten av utvärderingen, parameter för parameter (figur B2.4–B2.37). Resultaten presenteras som låddiagram utgående från övre och undre kvartiler, ett streck för median samt vertikala streck (eng. *whiskers*) för 10- respektive 90-percentilerna, av datamängden. Även 95-percentilen är markerad för de fall då antalet analyser inom en given klass för fyllnadsgrad är fler än 2000. En P95-markering indikerar då minst 100 värden.

Ett undantag i redovisningsformat föreligger för uppmätta halter av E-coli bakterier, då den stora mängden av prover inte uppvisar någon förekomst av E-coli bakterier vilket gör låddiagram till en olämplig form för redovisning. För E-coli redovisas sammanställningen i stället som ett histogram där staplarna visar på andelen analyser med påvisad E-coli av den totala mängden analyser inom varje fyllnadsgradsklass.

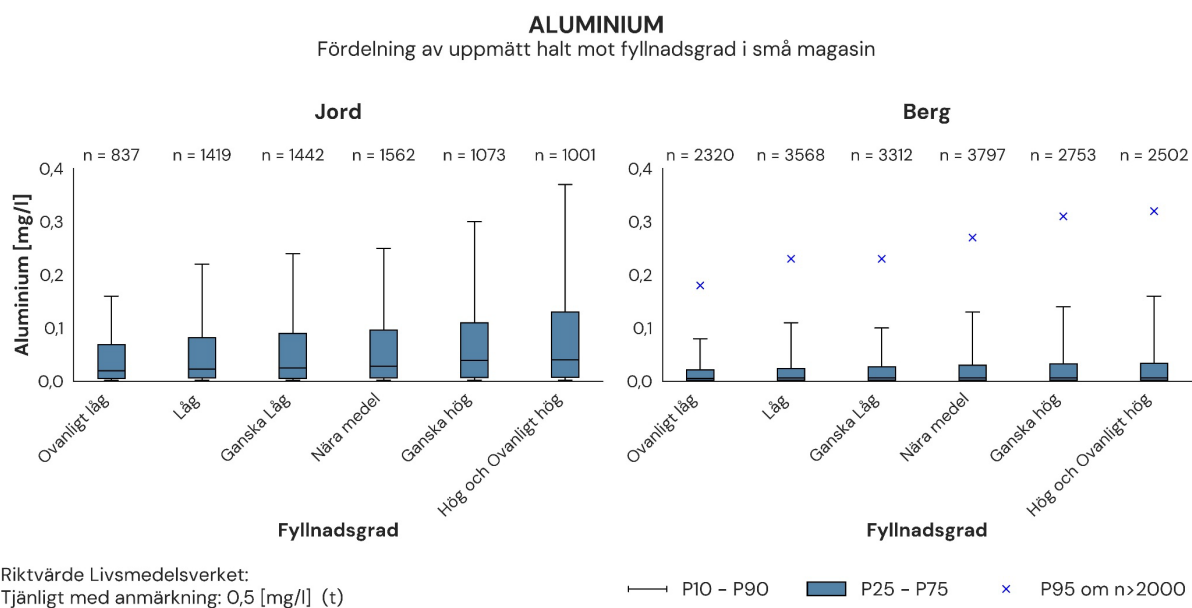
För E-coli i jordmagasin och klorid i bergmagasin syns tydliga negativa samband med högre andel otjänliga prover respektive högre kloridhalter vid lägre fyllnadsgrad. Detta skulle potentiellt kunna härröra från den skevhet som finns i datamängden med fler prover tagna på sommaren och att många brunnar används vid fritidshus med potentiellt sämre brunnar samt ofta känsligare miljöer jämfört med brunnar för permanentboende. Därför redovisas plottar för dessa parametrar även uppdelat på vilken användning som är markerad för brunnen. För E-coli redovisas då i princip identiskt mönster oavsett användning av brunnen. För klorid halter i berg syns ett liknande mönster om än svagare för permanentboende och starkare för brunnar som används för fritidshus. När datamängden delas upp på användning blir det färre prover inom respektive fyllnadsgradsklass och därför justerades även gränser för att visa en P95-markering till att en klass ska innehålla minst 1000 värden. En P95-markering indikerar då minst 50 värden.

För att ge en indikation på om uppmätta halter och eventuell trend vid varierande fyllnadsgrad utgör ett större eller mindre problem med avseende på vattenförsörjning, redovisas även riktvärden för mikroorganismer, kemiska ämnen och andra egenskaper i dricksvatten (version 2024-12-05), för de parametrar där riktlinjer finns.

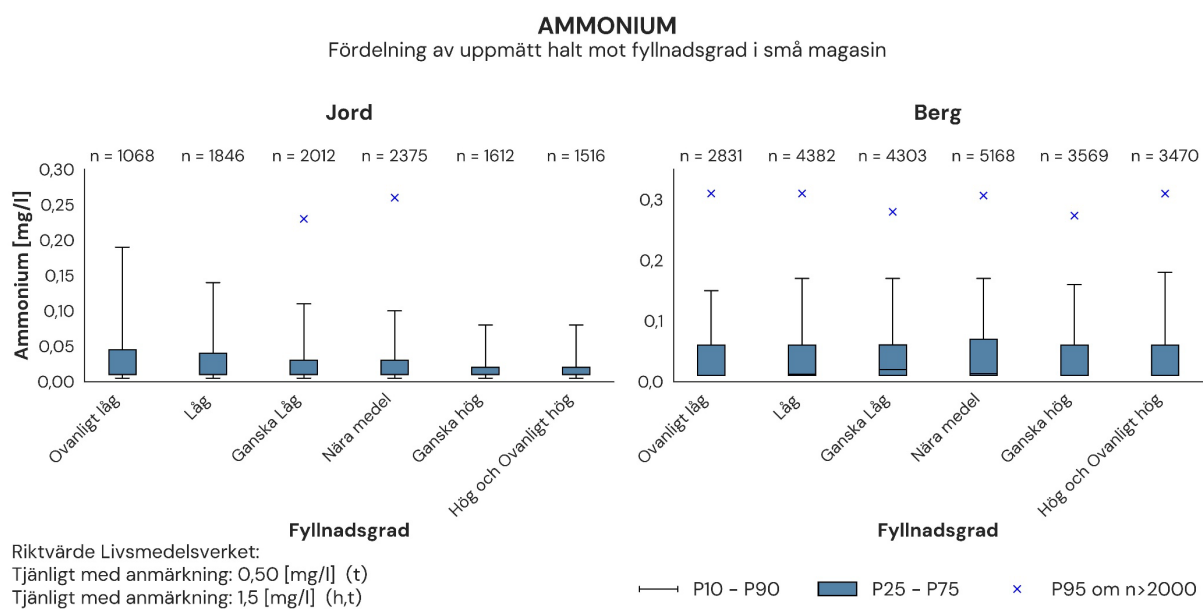
Nedan följer diagram för samtliga undersökta parametrar i bokstavsordning.



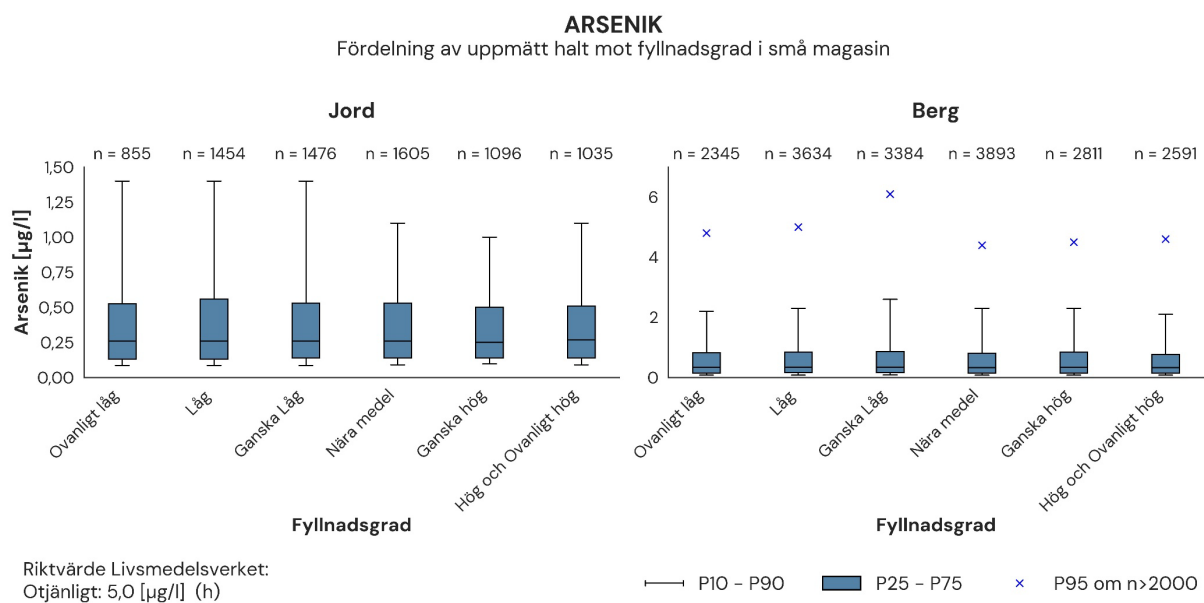
Figur B2.4. Fördelning av uppmätt alkalinitet mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



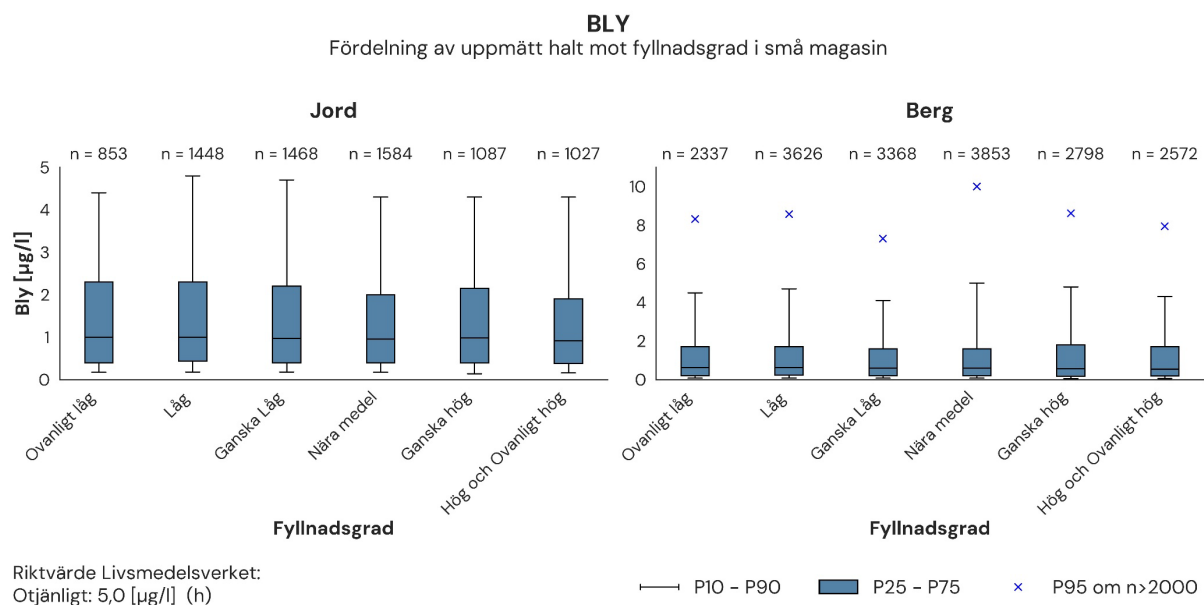
Figur B2.5. Fördelning av uppmätt aluminium mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



Figur B2.6. Fördelning av uppmätt ammonium mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



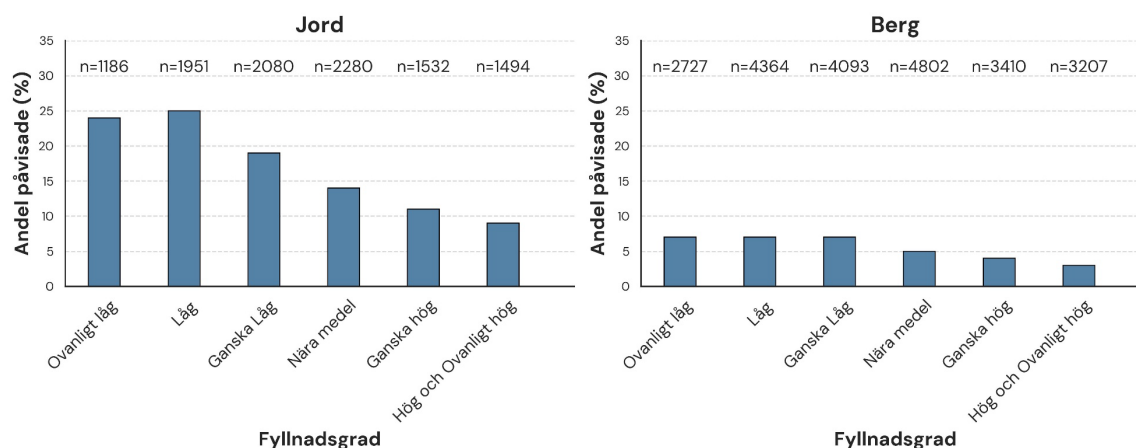
Figur B2.7. Fördelning av uppmätt arsenik mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



Figur B2.8. Fördelning av uppmätt bly mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.

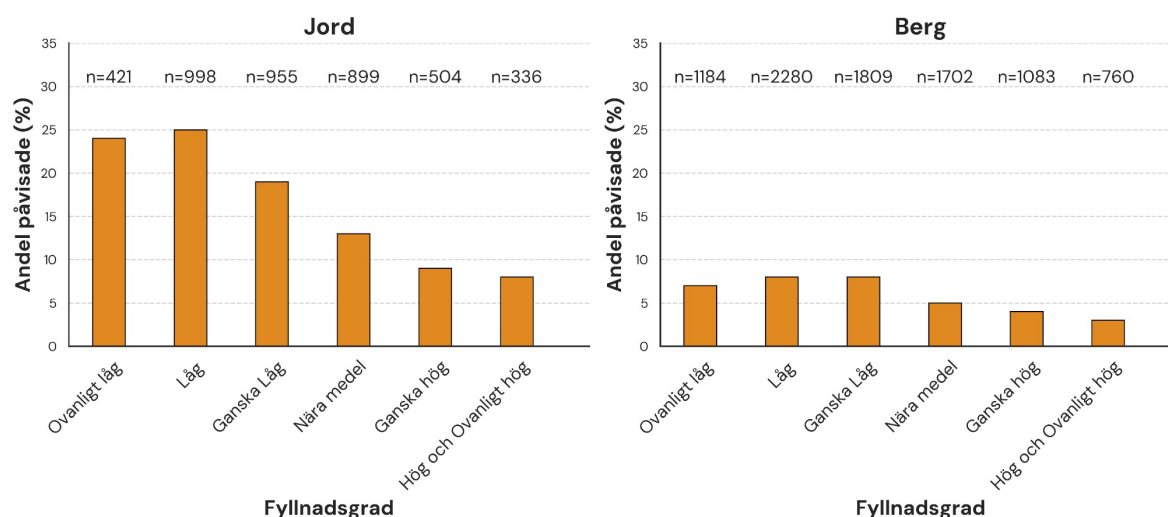
ESCHERICHIA COLI, E.COLI

Andel analyser där E-coli har påvisats – alla brunnar



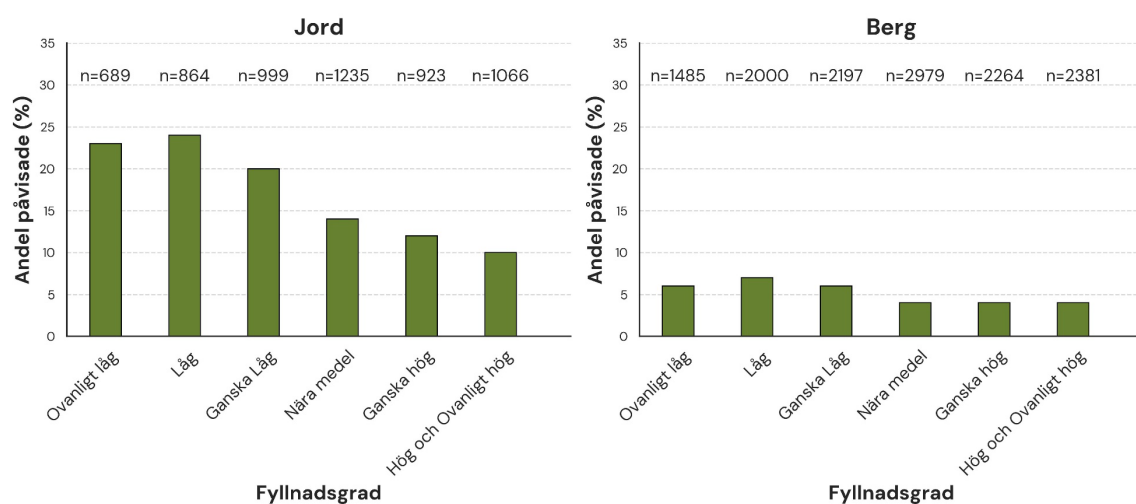
Figur B2.9 Andel analyser där E-coli har påvisats för samtliga brunnar.

Andel analyser där E-coli har påvisats – fritidshus

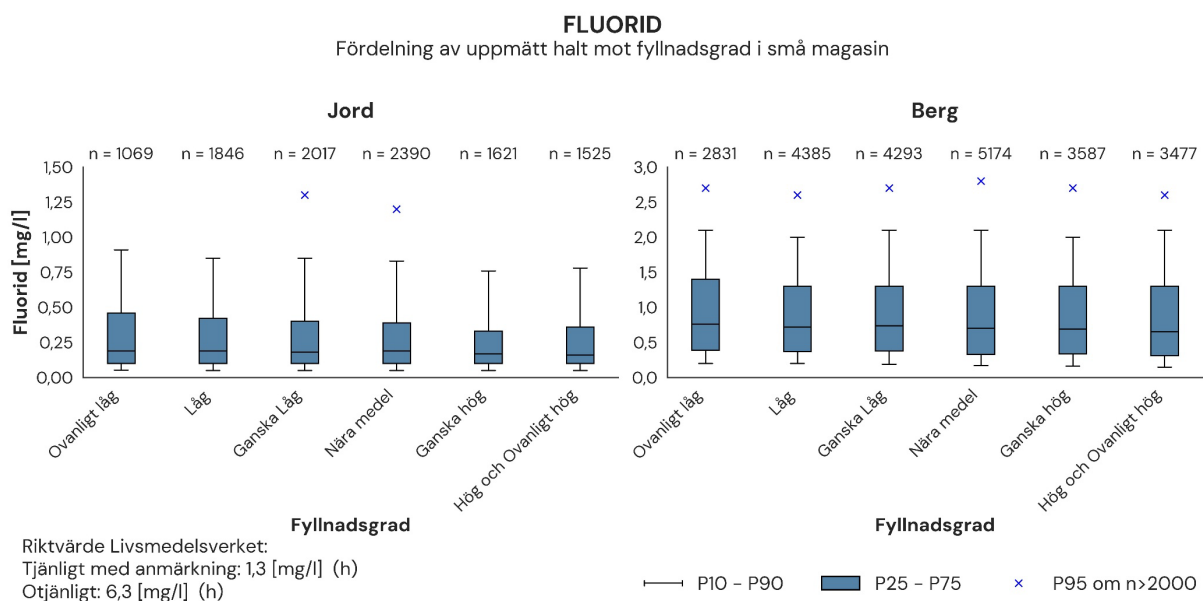


Figur B2.10 Andel analyser där E-coli har påvisats för brunnar som används vid fritidsboende.

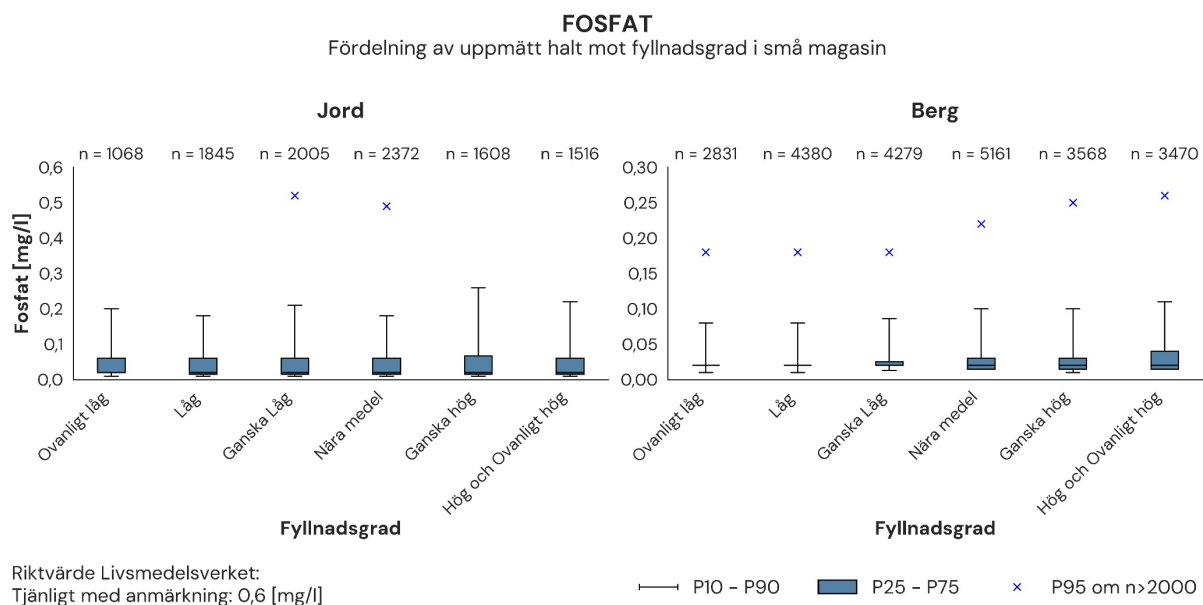
Andel analyser där E-coli har påvisats – permanentboende



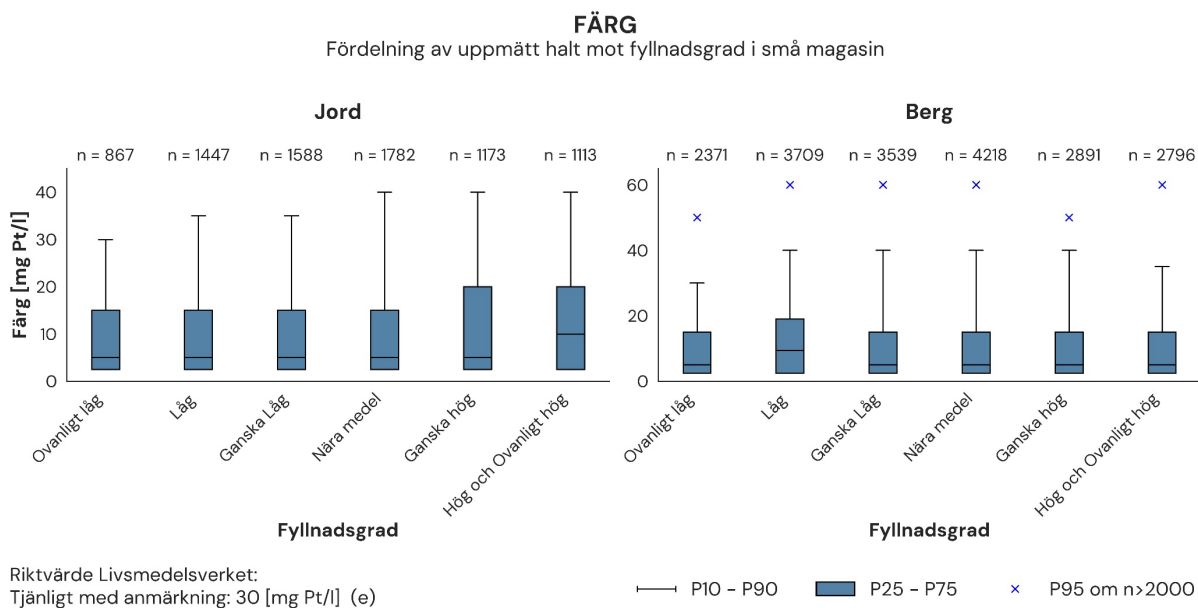
Figur B2.11 Andel analyser där E-coli har påvisats för brunnar som används för permanentboende



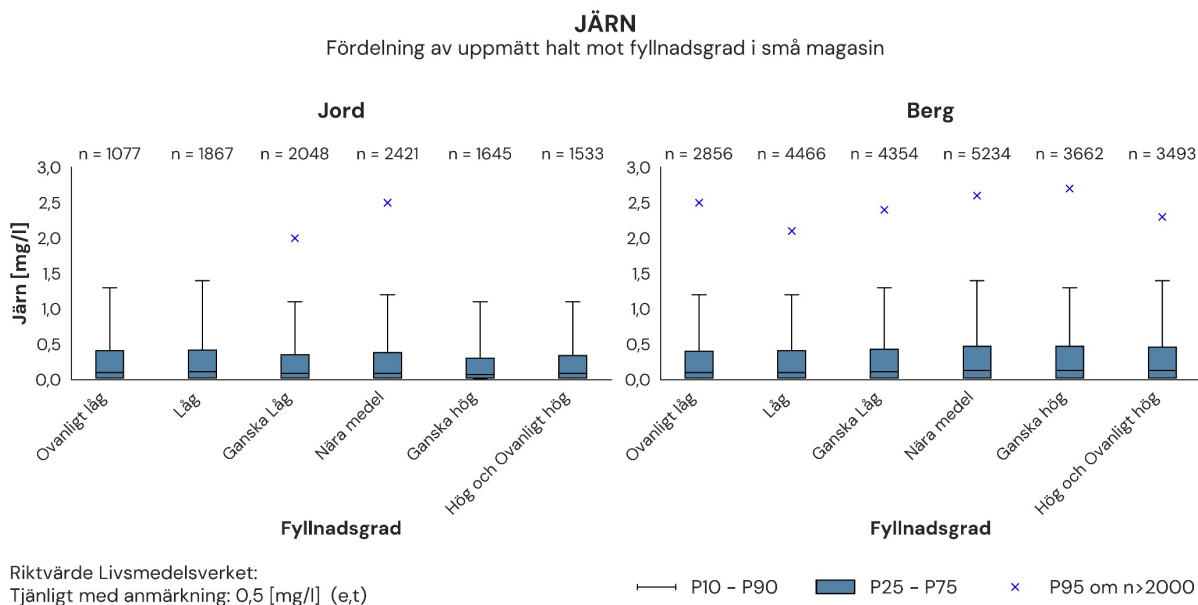
Figur B2.12. Fördelning av uppmätt fluorid mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



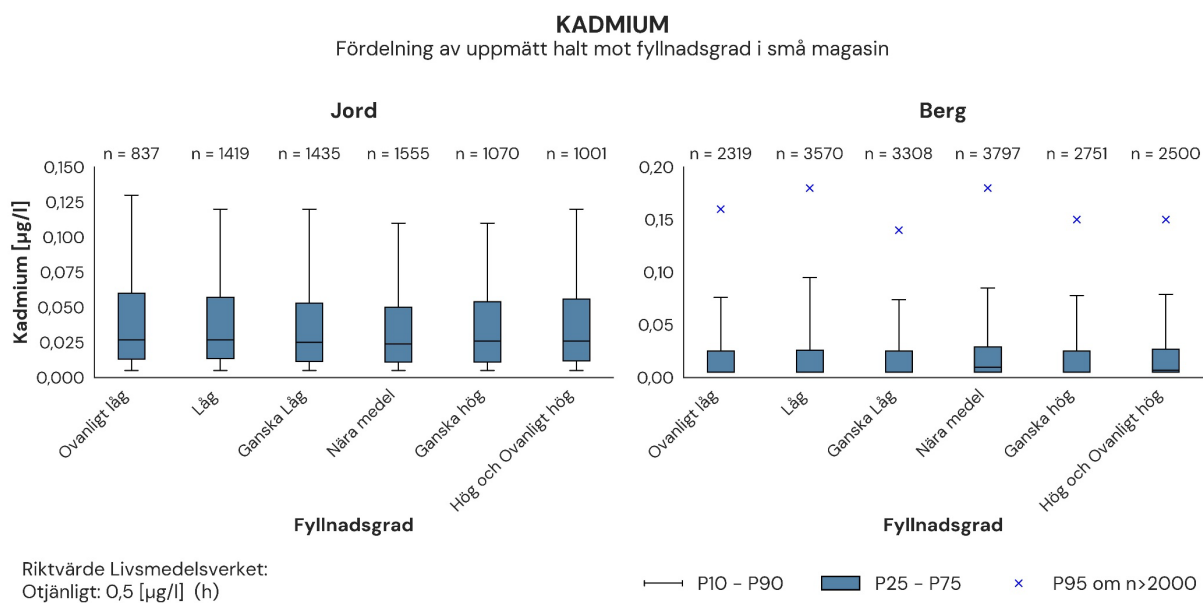
Figur B2.13. Fördelning av uppmätt fosfat mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



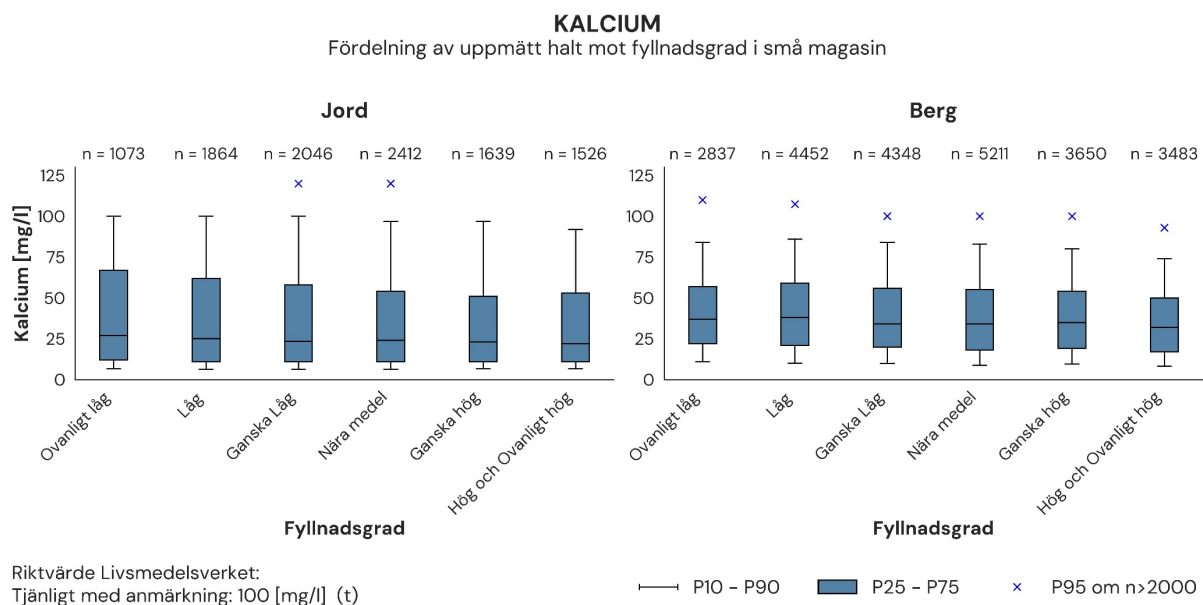
Figur B2.14. Fördelning av uppmätt färg mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



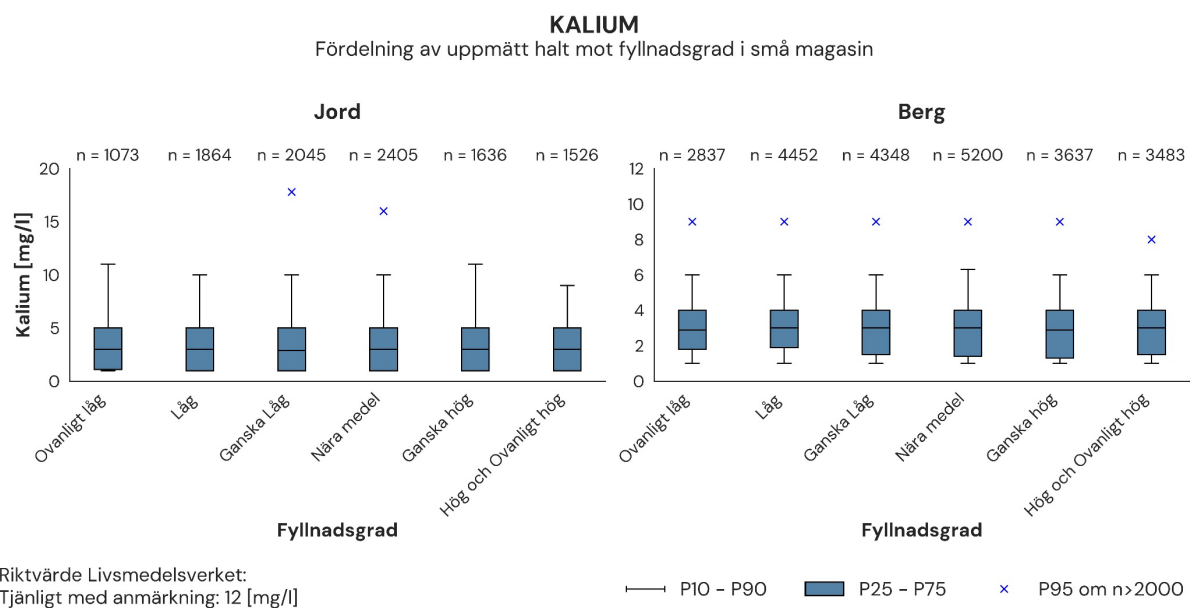
Figur B2.15. Fördelning av uppmätt järn mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



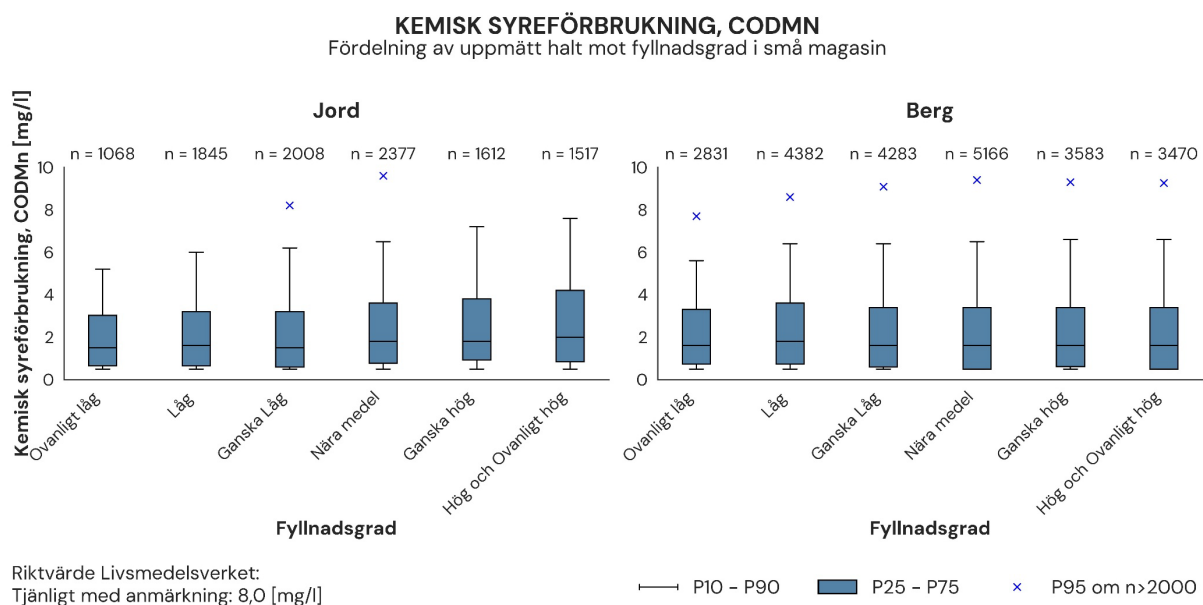
Figur B2.16. Fördelning av uppmätt kadmium mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



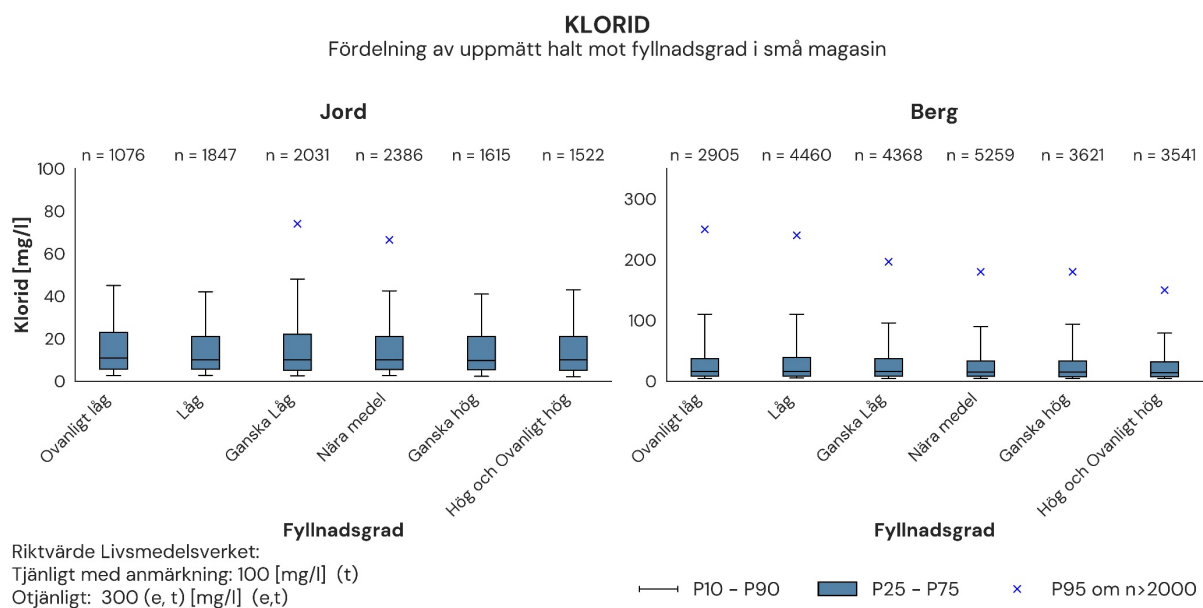
Figur B2.17. Fördelning av uppmätt kalcium mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



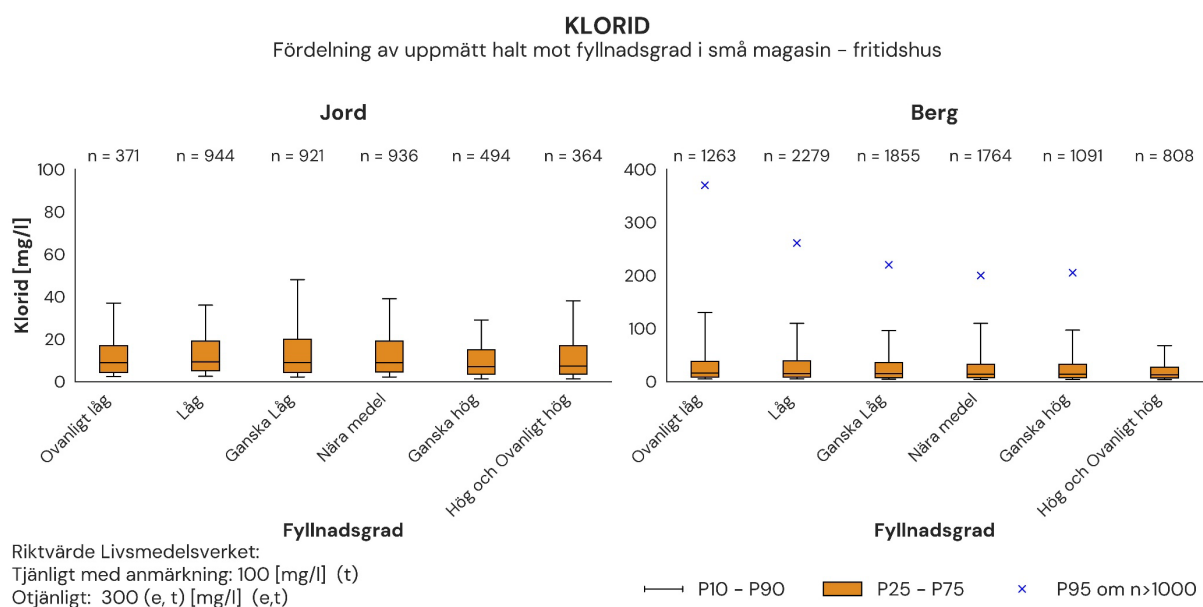
Figur B2.18. Fördelning av uppmätt kalium mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



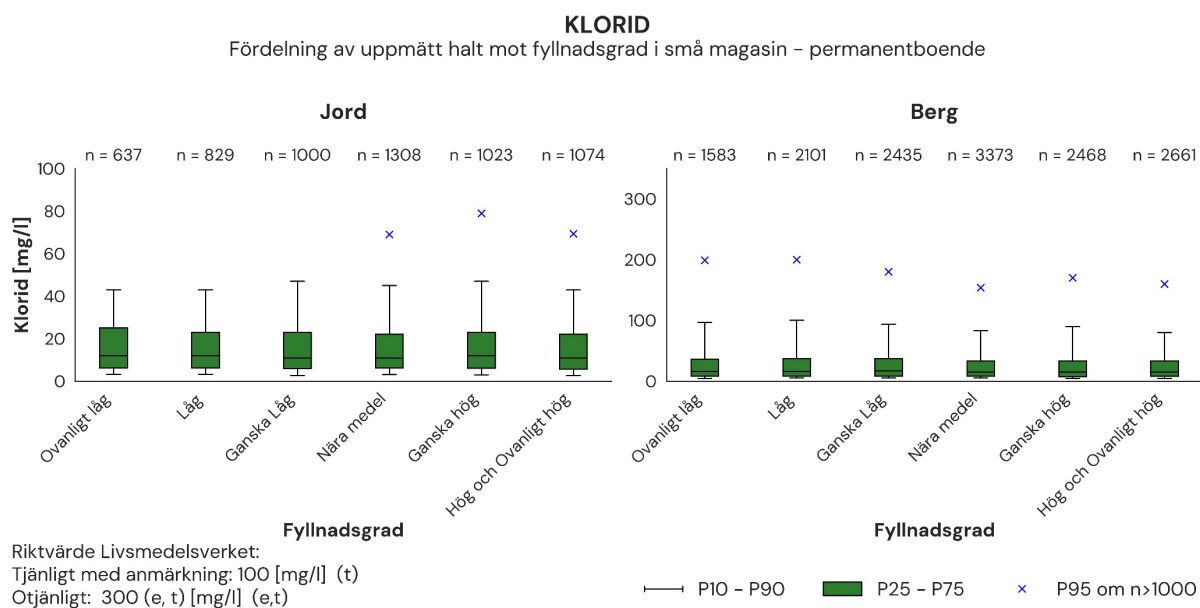
Figur B2.19. Fördelning av uppmätt kemisk syreförbrukning mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



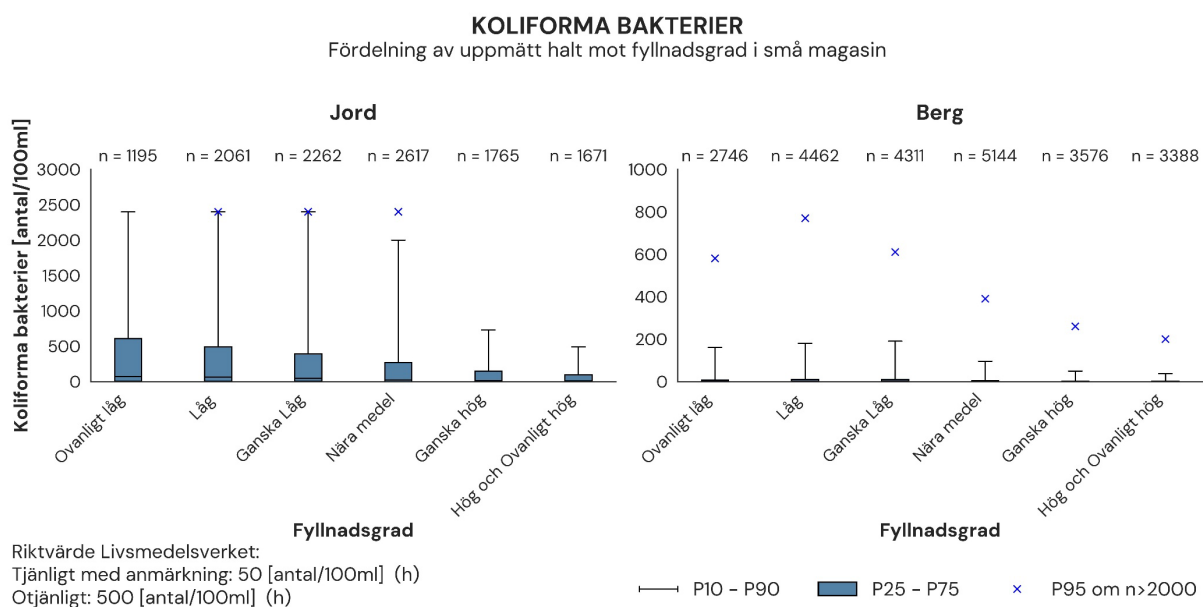
Figur B2.20. Fördelning av uppmätt klorid mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



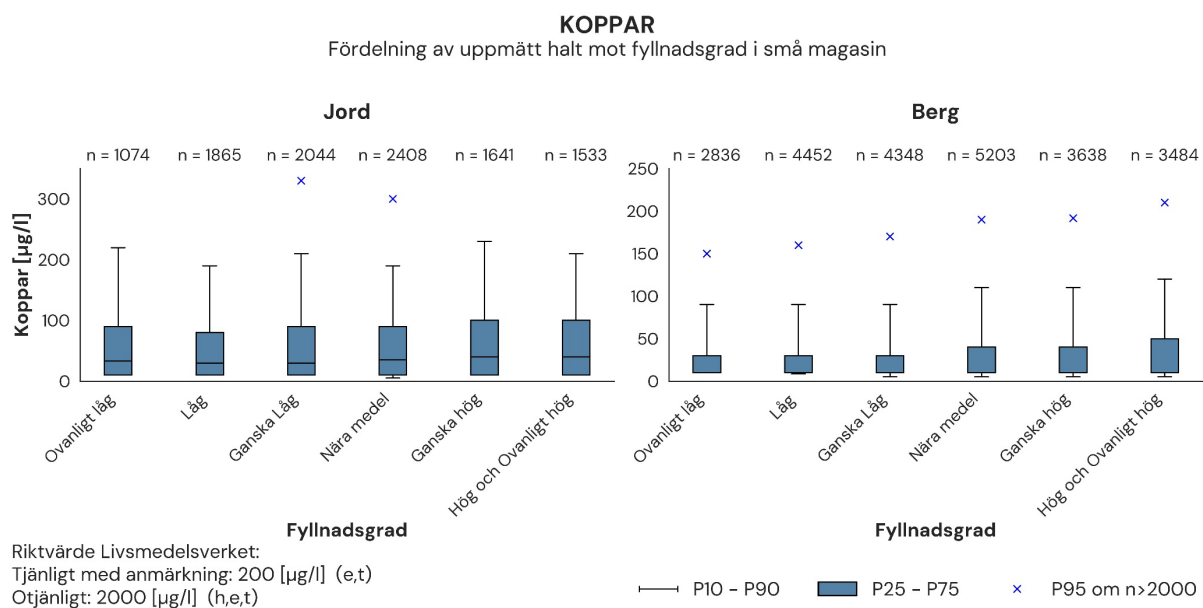
Figur B2.21. Fördelning av uppmätt klorid mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



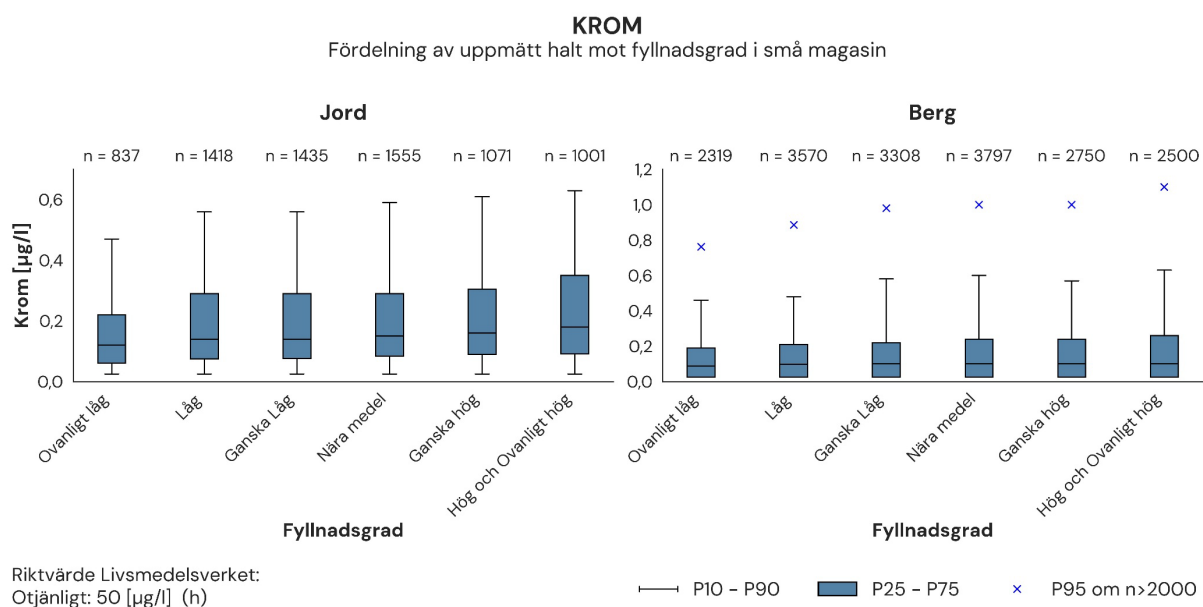
Figur B2.22. Fördelning av uppmätt klorid mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



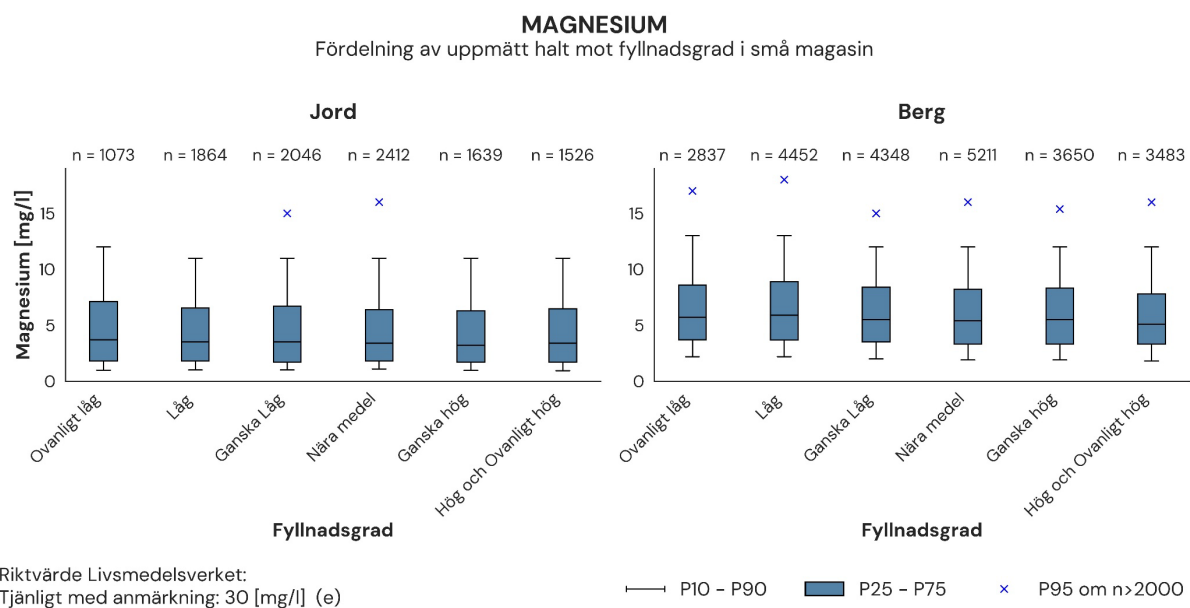
Figur B2.23. Fördelning av uppmätt koliforma bakterier mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



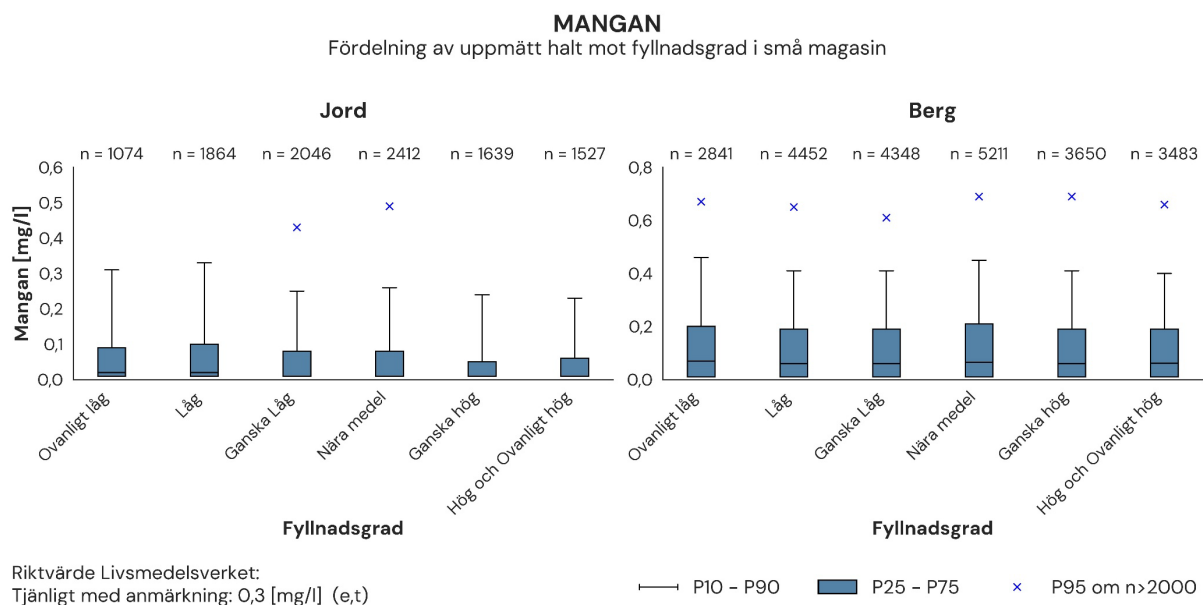
Figur B2.24. Fördelning av uppmätt koppar mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



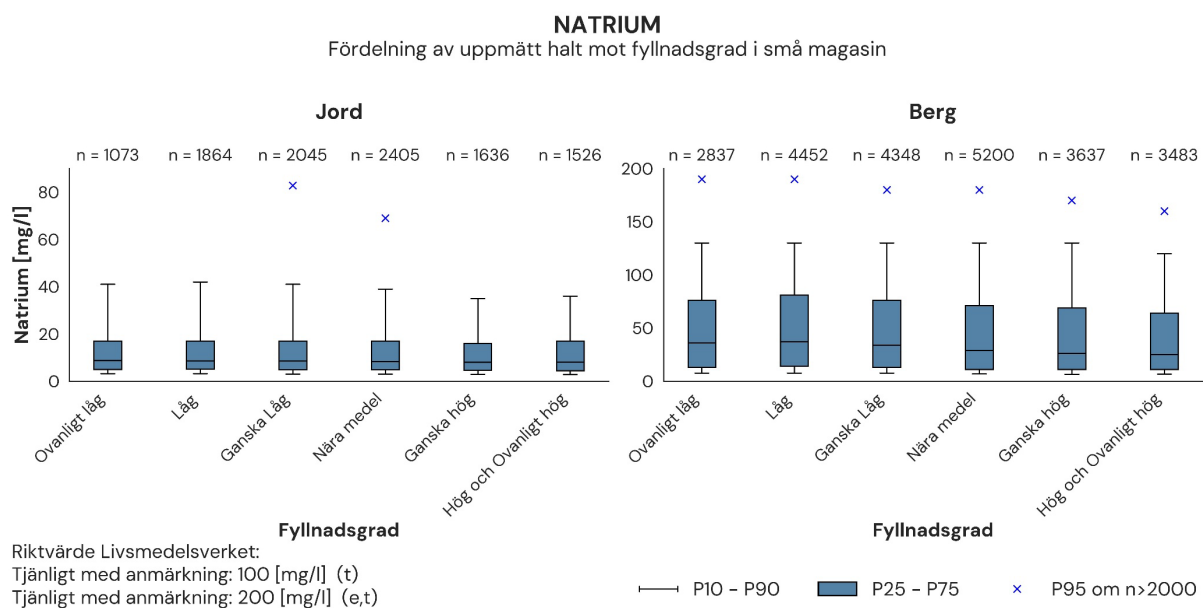
Figur B2.25. Fördelning av uppmätt krom mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



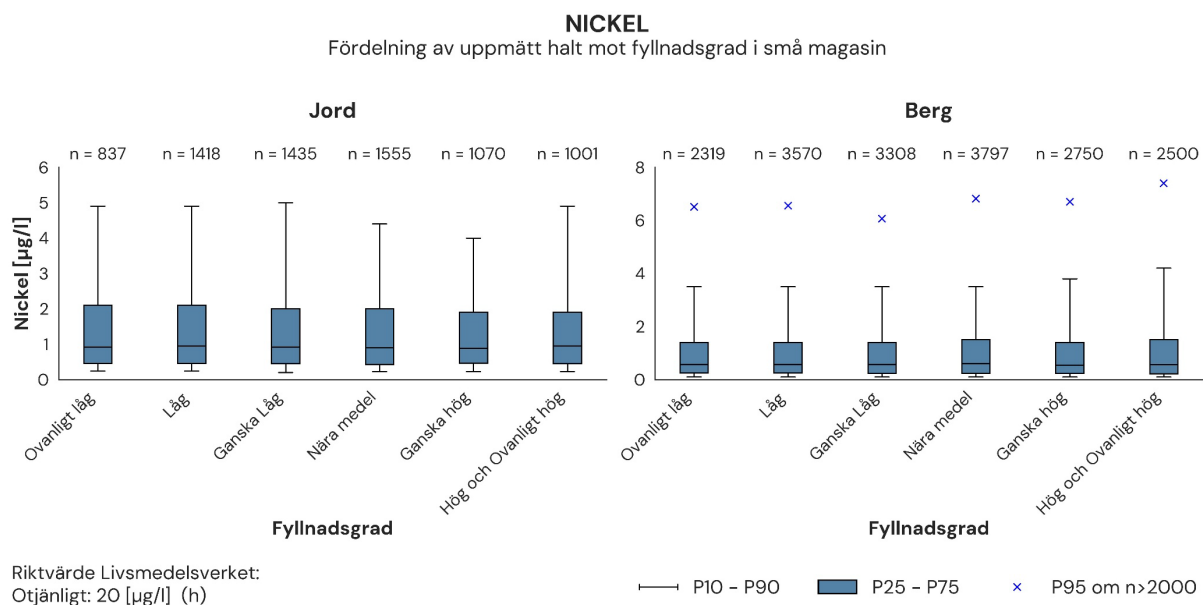
Figur B2.26. Fördelning av uppmätt magnesium mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



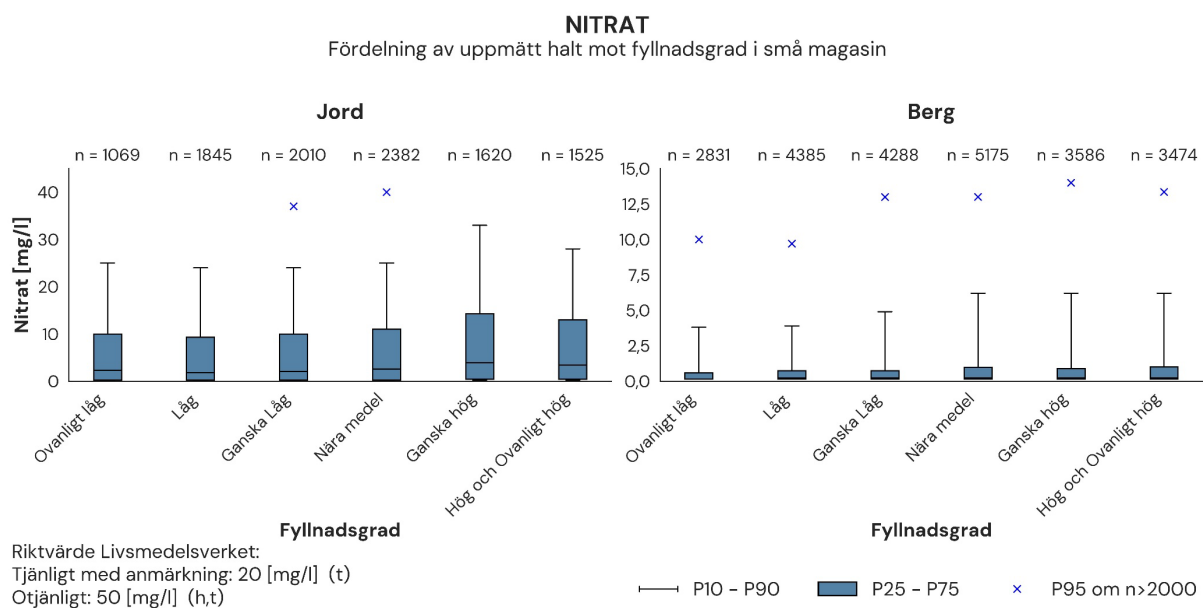
Figur B2.27. Fördelning av uppmätt mangan mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



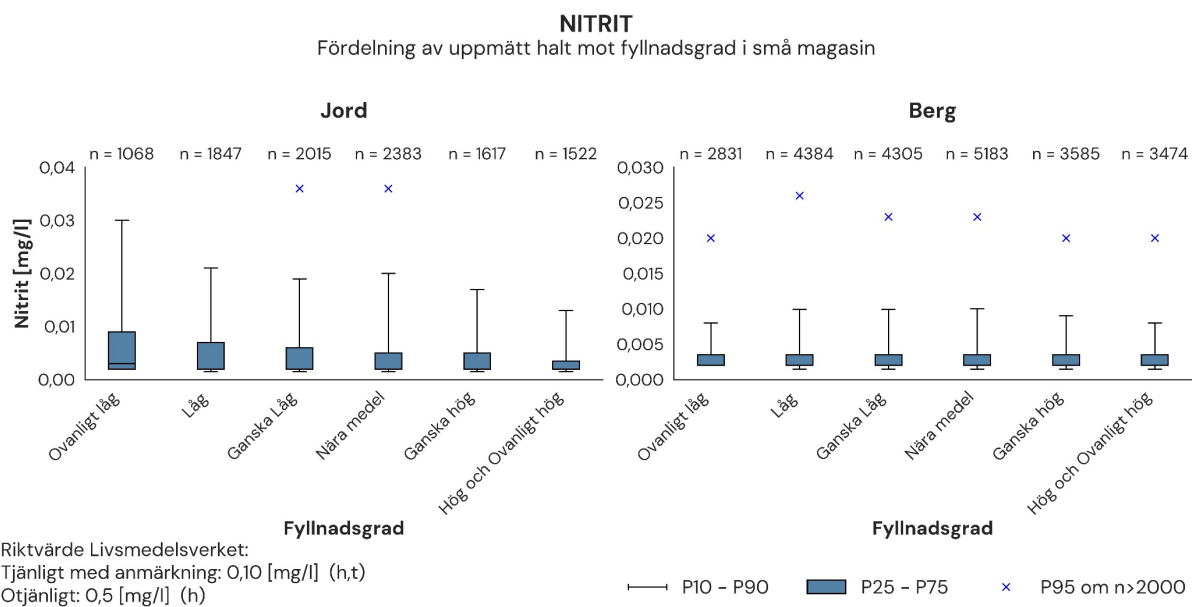
Figur B2.28. Fördelning av uppmätt natrium mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



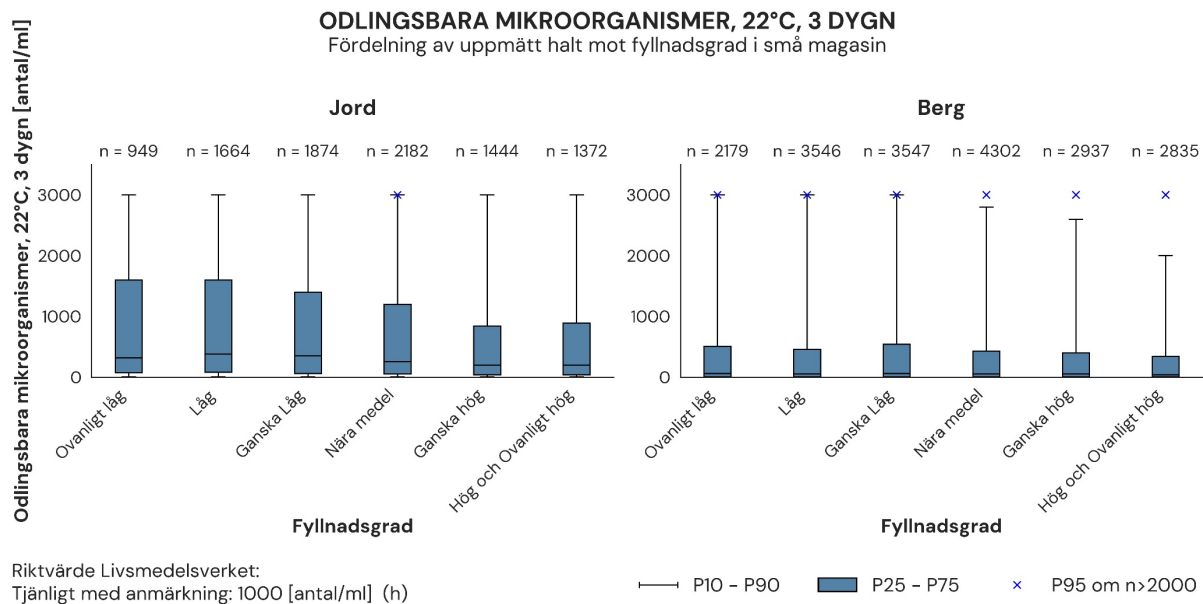
Figur B2.29. Fördelning av uppmätt nickel mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



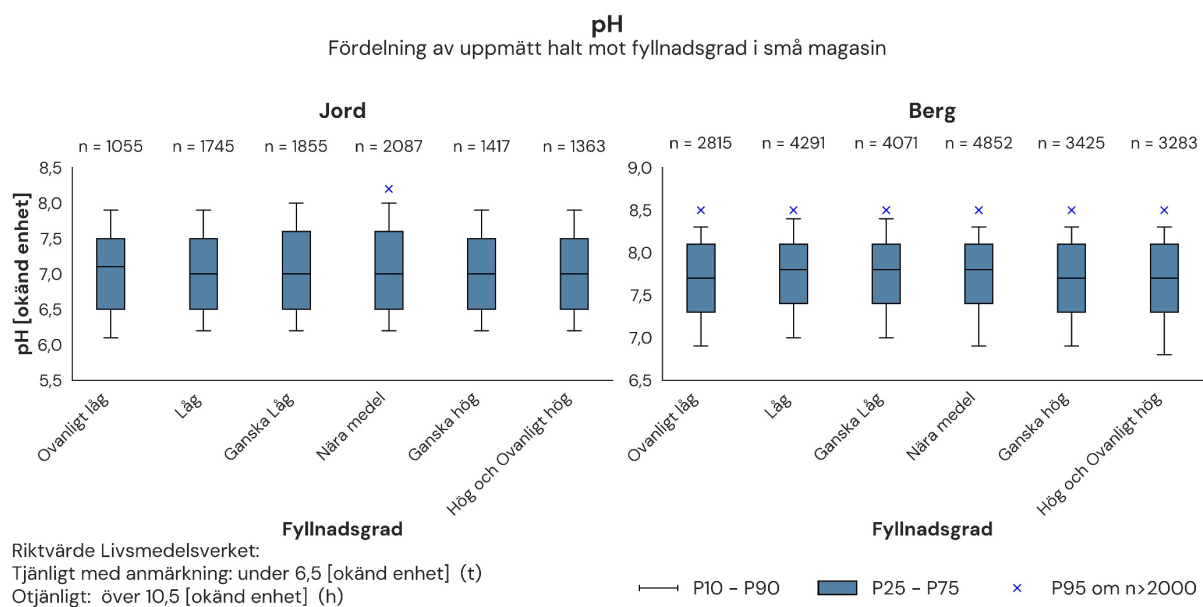
Figur B2.30. Fördelning av uppmätt nitrat mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



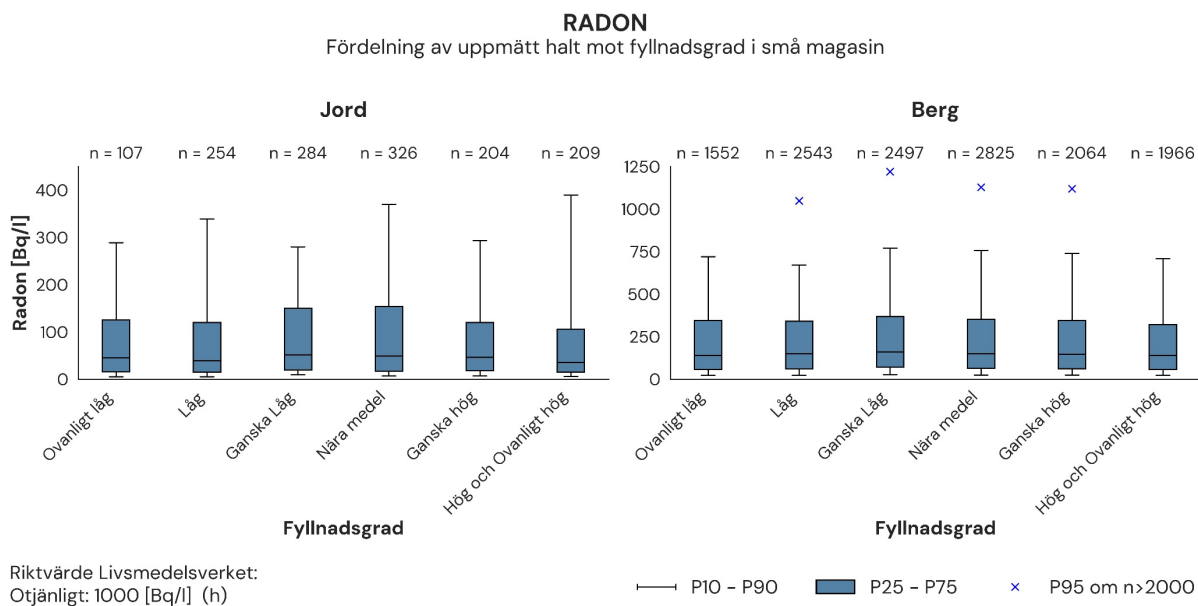
Figur B2.31. Fördelning av uppmätt nitrit mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



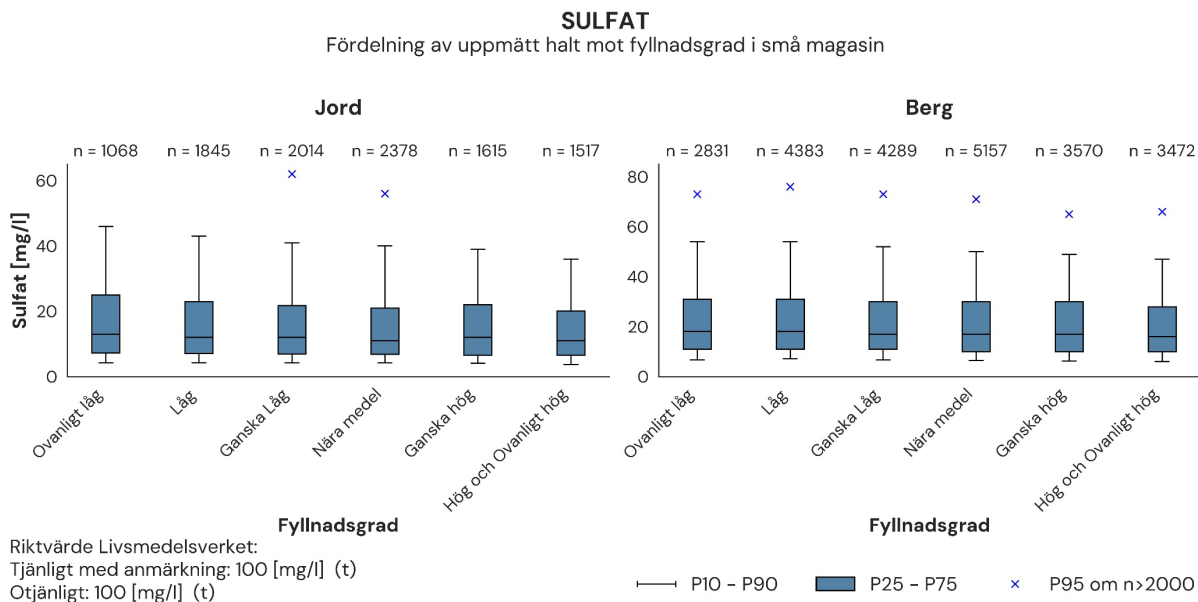
Figur B2.32. Fördelning av uppmätt odlingsbara mikroorganismer mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



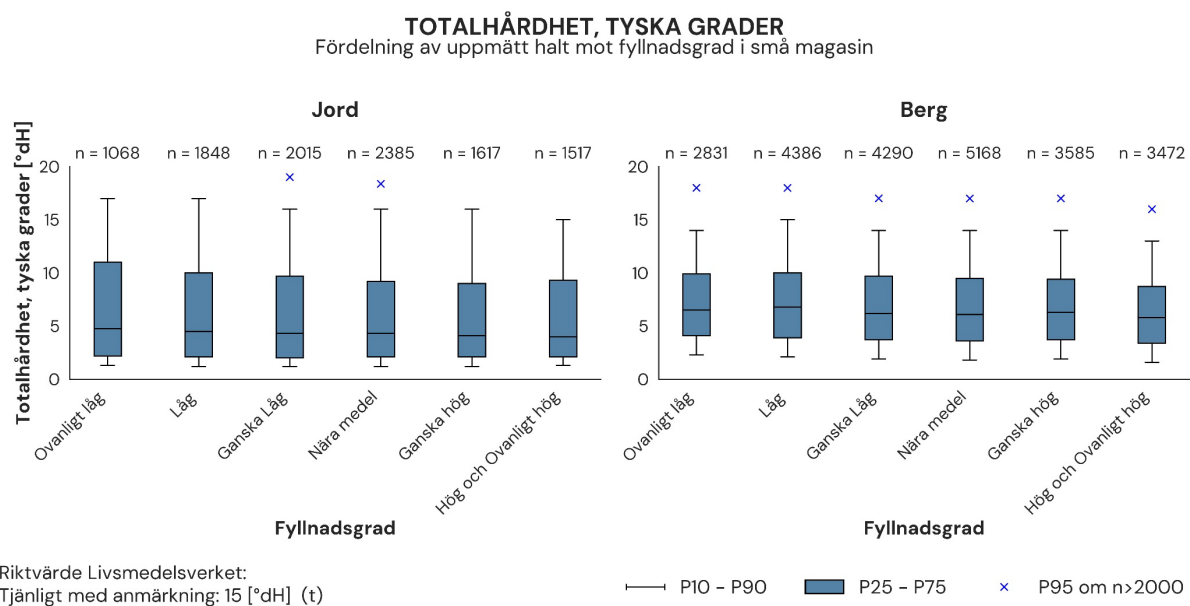
Figur B2.33. Fördelning av uppmätt pH mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



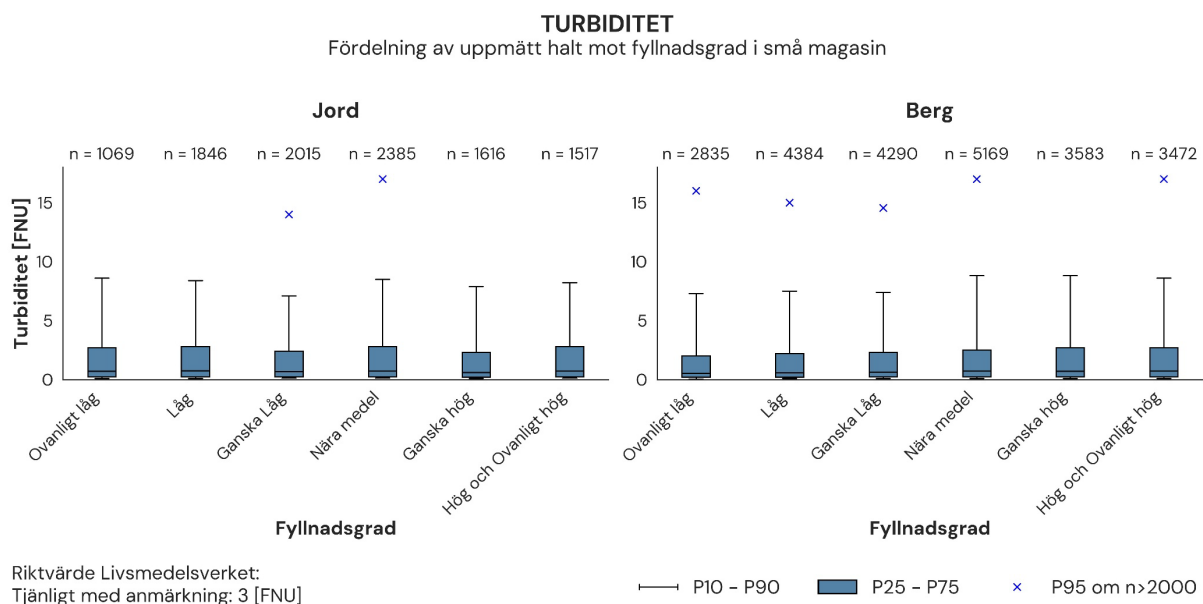
Figur B2.34. Fördelning av uppmätt radon mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



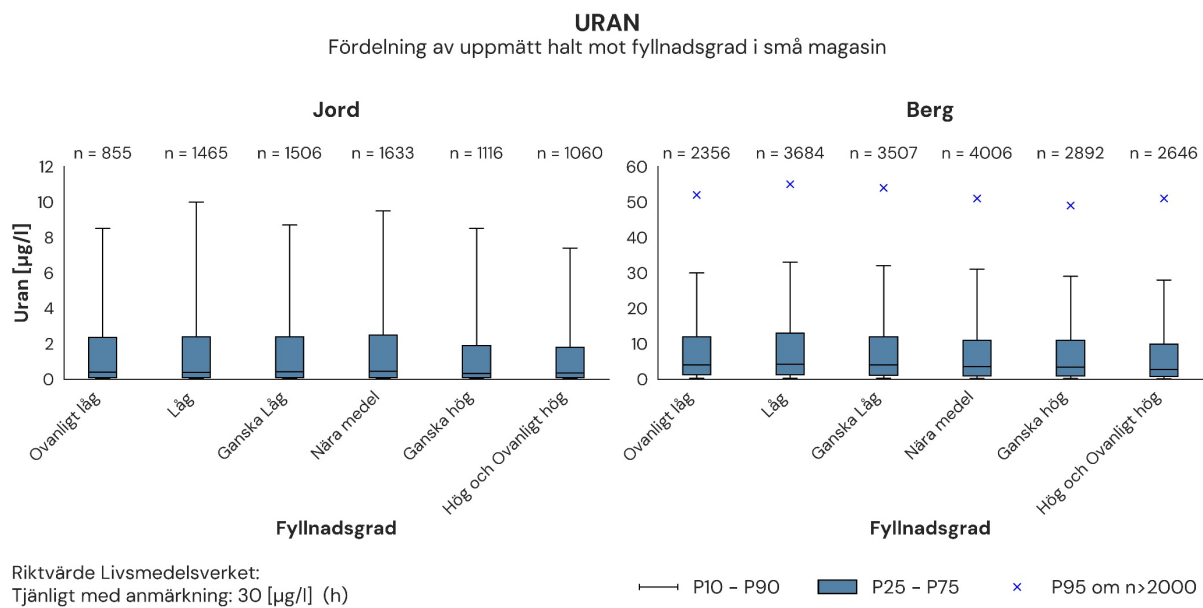
Figur B2.35. Fördelning av uppmätt sulfat mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



Figur B2.36. Fördelning av uppmätt totalhårdhet mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



Figur B2.37. Fördelning av uppmätt turbiditet mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.



Figur B2.38. Fördelning av uppmätt uran mot olika fyllnadsgrad för grundvatten i jord respektive berg.

Bilaga 3. Enkät till kommunala vattenproducenter

Informationstext i e-post vid enkätutskick

Bidra med det kommunala perspektivet i regeringsuppdrag om svenska grundvattenmagasins robusthet och utsatthet till följd av klimatförändringar.

Sveriges geologiska undersökning (SGU) har under 2024 och 2025 ett uppdrag av regeringen att analysera svenska grundvattenmagasins robusthet och utsatthet för klimatförändringar. Förra året utreddes frågan med fokus på tillgänglig mängd grundvatten (kvantitet). Årets arbete fokuserar på att utreda påverkan av klimatförändringar på grundvattnets kvalitet.

För att resultaten av utredningen ska bli så relevanta som möjligt behöver vi fånga det kommunala perspektivet. Vi behöver skapa oss en bild av i vilken utsträckning kommunala VA-huvudmän konstaterat, misstänkt, utrett och/eller agerat för att förebygga påverkan på grundvattenkvalitet till följd av klimatförändringar. Vi vill därför be dig att fylla i denna enkät. Dina svar bidrar till att ge en representativ bild av hur dessa frågor hanteras på kommunal nivå.

OBS! Vi önskar endast få in ett svar per huvudman. Om ovanstående inte ingår i ditt arbetsområde, vänligen skicka detta mail, med länk till enkäten, till en kollega i din organisation som du bedömer är mer insatt i området.

Med grundvattenkvalitet avser vi genomgående råvattnets kvalitet, det vill säga vattenkvaliteten innan eventuell beredning.

För att ha möjlighet att vid behov kontakta er vidare för kompletterande frågor, vill vi att du anger vilken VA-huvudman ni representerar.

Uppgift om vilka svar som rapporterats av vilken huvudman är enbart för internt bruk, och kommer inte att redovisas utåt på något sätt. I den rapport som ska tas fram kommer resultaten från enkätsvaren att redovisas på aggregerad nivå där ingen enskild VA-huvudmans svar går att identifiera. Enstaka fritextsvar kan komma att citeras/framhållas, men då avidentifierat.

Vi vill ha dina svar senast torsdag den 3 juli.

Tack på förhand för att du besvarar enkäten

Enkätfrågor

Obligatoriska frågor är markerade med en stjärna (*)

1. Vilken VA-huvudman svarar du för? *

2. Ungefär hur stor andel av er totala dricksvattenproduktion baseras på grundvatten? *

- <25 %
- 25 - 49 %
- 50 - 74 %
- 75 % eller mer
- Grundvatten enbart som reservvatten
- Har ej grundvattenbaserad dricksvattenproduktion

Vid behov, kommentera gärna ditt svar:

3. Analyserar ni regelbundet vattenkvaliteten i det uttagna grundvattnet (råvattnet)? *

- Ja
- Nej
- Vet ej

4. Analyserar ni regelbundet vattenkvaliteten i grundvattnet uppströms (inom tillrinningsområdet) till era uttagsbrunnar? *

- Ja
- Nej
- Vet ej

5. Har ni observerat påverkan på er kvantitativa grundvattentillgång (dvs uttagsmöjligheterna) av klimat, väder eller klimatförändringar? Vilka av följande alternativ har ni erfarenhet av? Flera svar möjliga*

- Ja, grundvattentillgången varierar beroende på årstid
- Ja, grundvattentillgången varierar mellan olika år
- Ja, grundvattentillgången påverkas av extremväderhändelser (t.ex. torka, kraftig nederbörd)
- Ja, vi upplever en långsiktig, konsekvent ökning i mängden tillgängligt grundvatten
- Ja, vi upplever en långsiktig, konsekvent minskning i mängden tillgängligt grundvatten
- Ja, annat: ange vad
- Nej, misstänker ingen påverkan av klimat, väder eller klimatförändringar på den kvantitativa grundvattentillgången
- Vet ej

6. Har ni observerat påverkan på rå-/grundvattenkvaliteten av klimat, väder eller klimatförändringar? Flera svar möjliga *

- Ja, rå-/grundvattenkvaliteten varierar/har varierat beroende på årstid
- Ja, rå-/grundvattenkvaliteten varierar/har varierat mellan olika år
- Ja, rå-/grundvattenkvaliteten förändras/har förändrats beroende på uttagets storlek
- Ja, rå-/grundvattenkvaliteten förändras/har varierat beroende på grundvattennivå
- Ja, rå-/grundvattenkvaliteten förändras/har förändrats i samband med extremväder i form av torka
- Ja, rå-/grundvattenkvaliteten förändras/har förändrats i samband med extremväder i form av kraftig nederbörd/översvämning
- Ja, rå-/grundvattenkvaliteten förändras/har förändrats i samband med annat extremväder, ange vad:
- Ja, vi upplever en långsiktigt konsekvent förändring av rå-/grundvattenkvaliteten som vi misstänker är klimatrelaterad
- Ja, annan misstänkt påverkan av klimat, väder eller klimatförändring på rå-/grundvattenkvaliteten, ange vad:
- Nej, har ej observerat påverkan på rå-/grundvattenkvaliteten av klimat, väder eller klimatförändringar
- Vet ej

7–13. Vilka ämnen/parametrar upplever ni påverkas, och på vilket sätt?

Frågan ställdes till de som observerat att rå-/grundvattenkvaliteten varierar/har varierat, uppdelat per svarsalternativ.

14. Har ni observerat påverkan på den grundvattenbaserade dricksvattenkvaliteten av klimat, väder eller klimatförändringar? Flera svar möjliga *

- Ja, dricksvattenkvaliteten varierar/har varierat beroende på årstid
- Ja, dricksvattenkvaliteten varierar/har varierat mellan olika år
- Ja, dricksvattenkvaliteten varierar/har varierat beroende på uttagets storlek
- Ja, dricksvattenkvaliteten varierar/har varierat beroende på grundvattennivå
- Ja, dricksvattenkvaliteten förändras/har förändrats i samband med extremväderhändelser som torka
- Ja, dricksvattenkvaliteten förändras/har förändrats i samband med extremväderhändelser som kraftig nederbörd/översvämning
- Ja, dricksvattenkvaliteten förändras/har förändrats i samband med annan extremväderhändelse, ange vad:
- Ja, vi upplever en långsiktig, konsekvent förändring av dricksvattenkvaliteten som vi misstänker är klimatrelaterad
- Ja, annat: ange vad
- Nej, har ej observerat påverkan på den grundvattenbaserade dricksvattenkvaliteten av klimat, väder eller klimatförändringar
- Vet ej

15–21. Vilka ämnen/parametrar upplever ni påverkas, och på vilket sätt?

Frågan ställdes till de som angett att dricksvattenkvaliteten varierar/har varierat, uppdelat per svarsalternativ.

22. Har ni utrett påverkan på grund- och/eller dricksvattenkvaliteten av klimat, väder eller klimatförändringar? *

- Ja
- Nej
- Vet ej

23. Har ni vidtagit åtgärder för att minska eventuell påverkan på ert grundvatten av klimat, väder eller klimatförändringar? *

Frågan ställdes till de som svarat att de misstänkt klimatpåverkan på kvantitet respektive kvalitet fråga 5 (grundvattenkvantitet), fråga 6 (grundvattenkvalitet) eller fråga 14 (dricksvattenkvalitet).

- Ja avseende grundvattenkvantitet (uttagsmöjlighet)
- Ja, avseende rå-/grundvattenkvalitet och/eller dricksvattenkvalitet
- Nej
- Vet ej

24. Har du övriga erfarenheter och synpunkter vad gäller påverkan av klimatförändringar på grundvattenkvalitet som du vill delge SGU får du gärna skriva dessa här: