

# Trendanalyser i Sveriges vattenmiljö

## Kortfattad beskrivning av syften och statistiska metoder

Tidsserier av miljödata har alltid inslag av slumpvariation som försvårar tolkningen av insamlade data. De flesta variabler man mäter inom miljöövervakningen kan påverkas av väderförhållandena vid eller före provtagningen. Mätningar av individtätheten av bottendjur kan ge olika resultat även vid provpunkter som ligger mycket nära varandra, och de uppmätta halterna av miljögifter i biota kan påverkas starkt av vilka individer som råkar väljas ut för kemisk analys. Trendanalyser av insamlade rådata syftar till att se bakom dessa ridåer av tillfälliga störningar och tydliggöra mer bestående förändringar eller övergripande mönster i mätvärdena.

Inom Sveriges vattenmiljö inleds alla databearbetningar med att rådata reduceras till någon form av årsvärden. Beroende på vilken variabel som undersöks kan ett årsvärde till exempel vara ett medelvärde för en viss årstid eller ett helt år. Det kan också vara en sammanvägning av flera mätvärden från ett enda mättillfälle eller ett minimivärde under året. Information om vad som gäller för respektive variabler ges i anslutning till datavisningarna i Sveriges vattenmiljö.

Trendanalyser av de beräknade årsvärdena sker med två olika metoder som har olika syften och olika styrkor och svagheter. Den ena metoden kan beskrivas som ett så kallat randomiseringstest och har utvecklats speciellt för att testa om det finns en statistiskt säkerställd uppgång eller nedgång av mätvärdena under den undersökta tidsperioden. Efter sina upphovsmän brukar de tester som används i Sveriges vattenmiljö kallas *Mann-Kendalltester* för monoton trend. En multivariat form av sådana tester kan användas för att undersöka om det finns en gemensam monoton trend i ett område där tidsseriedata samlats in vid två eller flera stationer.

Den andra metoden för trendanalyser är en utjämningsteknik (smoothing technique på engelska) som syftar till att klarlägga hur mätvärdena i en tidsserie varierat under undersökningsperioden om man bortser från tillfälliga (kortvariga) upp- och nedgångar i den aktuella tidsserien. Metoden bygger på en klass av statistiska modeller, som går under namnet GAM-modeller efter engelskans *Generalized Additive Models*. Dessa modeller kan ses som en utveckling av de mer rigida, klassiska regressionsmodellerna. GAM-analyser är speciellt användbara för att belysa när det har skett betydande förändringar i de observerade mätvärdena och vilken form trendkurvan har. De kan också utnyttjas för att uppmärksamma förändringar av trendkurvas lutning under de senaste åren.

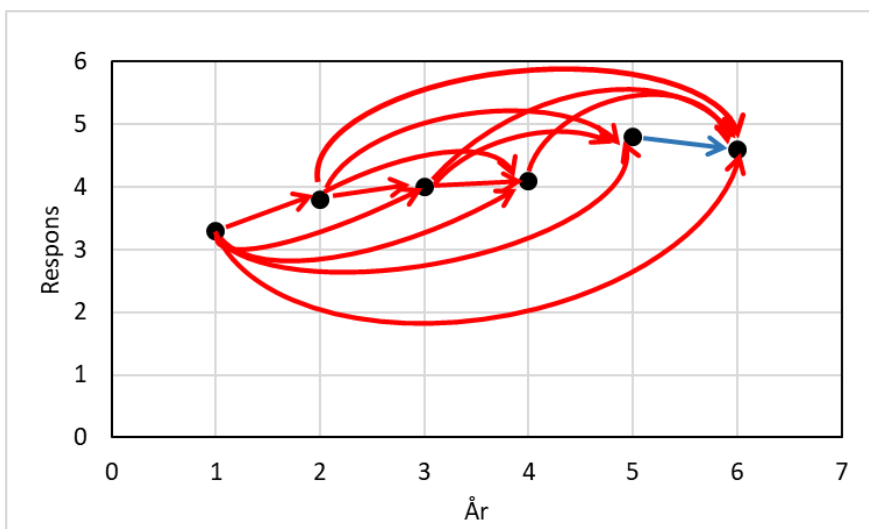
## Mann-Kendalltester för monoton trend

### Ett enkelt exempel med en tidsserie

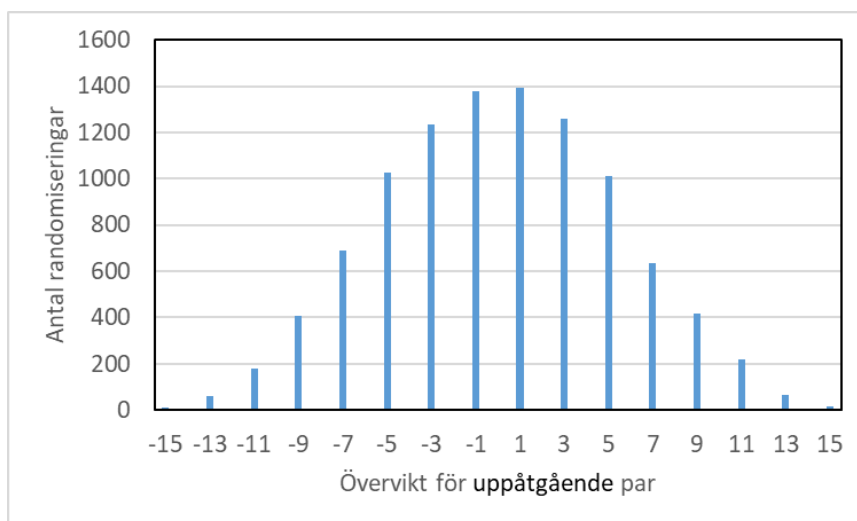
Mann-Kendalltester bygger på parvisa jämförelser av olika årsvärden. När man vill undersöka om det finns en monoton trend i en given tidsserie börjar man med att räkna antalet par där ett mindre årsvärde föregås av ett större, och tvärtom. I figur 1 finns det 15 par av årsvärden att jämföra. De par av årsvärden som binds samman med blåa pilar kännetecknas av att årsvärdet ökat med tiden, medan röda pilar indikerar att årsvärdet minskat. Totalt finns det 14 par med ökande årsvärden och ett par med minskande, det vill säga en övervikt på 13 för ökande årsvärden.

För att undersöka om den observerade övervikten för ökande årsvärden är statistiskt signifikant kan man utföra så kallade randomiseringar av årtalen. Då låter man datorn ett stort antal gånger slumpmässigt blanda om årtalen och registrerar därvid för varje omblandning hur stor övervikt åt ena eller andra hållet som uppstått. Diagrammet i figur 2 visar resultatet av 10000 slumpmässiga

omblandningar. Som synes var det ganska osannolikt att det av en ren slump skulle bli en övervikt på 13 eller mer åt endera hållet. Närmare bestämt blev den uppnådda signifikansnivån ( $p$ -värdet) så låg som 0,003. Vi kan därför dra slutsatsen att det finns en statistiskt säkerställd uppåtgående trend i observerade data.



Figur 1. Illustration av parvisa jämförelser av årsvärden i en tidsserie med sex observationer. Blå pilar visar att det senare uppmätta värdet är större än det tidigare uppmätta värdet. Röda pilar visar att det omvända förhållandet råder.



Figur 2. Randomiseringstest för trend. Diagrammet visar vilka skillnader mellan antalet ökande och antalet minskande par av årsvärden som uppstod vid 10000 slumpmässiga omblandningar av årtalen.

### Ett realistiskt exempel med tre tidsserier

Bubbeldiagrammet i figur 3 visar hur siktdjupet utvecklats vid tre provplatser i Söderhamnsfjorden i Bottenhavets kustvatten. Data har registrerats under totalt 27 år (1992-2018), vilket betyder att man i princip kan jämföra siktdjupsdata för 351 par av år; antalet par är  $n(n-1)/2$  där  $n$  står för antalet år. Eftersom en av tidsserierna är betydligt kortare än de andra saknas dock data från den provplatsen för åtskilliga par av år.

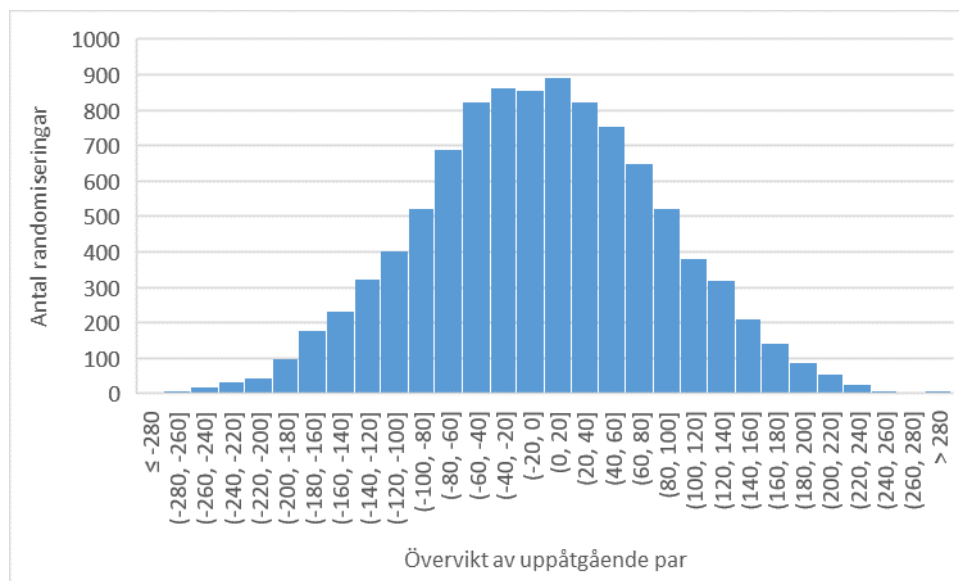
Vi ska nu testa om det finns en gemensam uppåt- eller nedåtgående trend i siktdjupet i Söderhamnsfjärden och börjar med att skapa den gula matrisen i tabell 1-2. Denna tabell visar för de



Om vi låter  $X$  beteckna den gula matrisen,  $X'$  den gula matrisen efter transponering och  $U$  den gröna matrisen så kommer matrisprodukten

$$W = X' * U$$

att bli en matris med fyra kolumner och 10000 rader. Varje kolumn i denna matris visar skillnaden mellan antalet uppåt- och nedåtgående par vid de olika randomiseringarna. Histogrammet i figur 3 visar hur mycket övervikten för uppåtgående par kan variera när data för hela Söderhamnsfjärden randomiseras. Den observerade övervikten (276 enligt Tabell 1) var uppenbarligen så stor att det är mycket osannolikt att den skulle uppstå av en ren slump. Den uppnådda signifikansnivån (p-värdet) var alltså mycket låg.



Figur 3. Histogram för övervikten av uppåtgående par i siktdjupsdata från Söderhamnsfjärden när 10000 randomiseringar av årtalen utfördes.

Trendanalysen avslutas med att de observerade skillnaderna mellan antalet uppåt- och nedåtgående par (testvariablerna) och tillhörande p-värden sammanfattas i en färgkodad tabell (tabell 3). Varma färger (olika nyanser av gult och rött) står för statistiskt säkerställda uppåtgående trender. Om det i det aktuella exemplet hade förekommit nedåtgående trender, så hade de markerats med kalla färger (olika nyanser av blått).

Variabel	Vattenförekomst	Provplats	År med data	Testvariabel	p-värde	Signifikans
Siktdjup	Söderhamnsfjärden	K338 / I	27	147	0.0017	
Siktdjup	Söderhamnsfjärden	K337 / H	12	22	0.1465	
Siktdjup	Söderhamnsfjärden	K336 / G	27	107	0.0259	
Siktdjup	Söderhamnsfjärden	Alla		276	0.0016	

Tabell 3. Sammanfattning av tester för monoton trend i siktdjup i en vattenförekomst (Söderhamnsfjärden) med tre stationer (provplatser). Beräkning av p-värden för monoton trend har skett genom randomisering av årtalen.

### Beräkningstekniska frågor och hantering av saknade värden

Histogrammet i figur 3 har en form som är anmärkningsvärt lik en normalfördelning centrerad kring noll. Detta är ingen tillfällighet utan en följd av grundläggande sannolikhetsteori. Ända sedan en generell teori för multivariata Mann-Kendalltester utvecklades på 1980-talet (Hirsch & Slack, 1983) har man därför vanligen utfört dessa tester genom att uppskatta testvariablernas varians med hjälp av observerade data och sedan beräkna p-värden med hjälp av en normalfördelning. Att som i ovanstående exempel utföra Mann-Kendalltesterna som randomiseringstester har inte ansetts ge några fördelar utan bara leda till längre beräkningstider. Arbetet inom Sveriges vattenmiljö har dock visat att randomiseringsmetoden är att föredra om de tidsserier som ska analyseras är olika långa eller har många saknade värden.

Huvudorsaken till att de båda beräkningsmetoderna för Mann-Kendalltester kan ge olika resultat är att saknade värden i tidsserierna hanteras på olika sätt. Randomiseringsmetoden låter de saknade värdena vara kvar, medan metoden med normalapproximation fyller ut luckorna med imputerade värden. Närmare bestämt ersätts de saknade värdena i varje tidsserie med en konstant som inte påverkar skillnaden mellan antalet uppåtgående och nedåtgående par av årsvärden. Imputationen ökar dock testvariabelns varians vilket kan leda till att monotona trender inte upptäcks. Om man jämför tabell 3 och 4 kan man till exempel se att den gemensamma uppåtgående trenden i siktdjup inte blir alls lika statistiskt säkerställd till följd av imputationen.

Variabel	Vattenförekomst	Provplats	År med data	Testvariabel	p-värde	Signifikans
Siktdjup	Söderhamnsfjärden	K338 / I	27	147	0.0017	
Siktdjup	Söderhamnsfjärden	K337 / H_imputed	27	22	0.6161	
Siktdjup	Söderhamnsfjärden	K336 / G	27	107	0.0259	
Siktdjup	Söderhamnsfjärden	Alla		276	0.0101	

Tabell 4. Sammanfattning av tester för monoton trend i siktdjup i en vattenförekomst (Söderhamnsfjärden) med tre stationer (provplatser). Beräkningen av p-värden för monoton trend har innefattat imputation av saknade värden och normalapproximation av testvariablerna.

Något oväntat har randomiseringsmetoden också visat sig kunna minska den totala beräkningstiden om man ska genomföra ett stort antal trendtester. Detta gäller speciellt om det finns data från flera stationer per vattenförekomst.