



UPPSALA
UNIVERSITET

W 24 038

Examensarbete 30 hp

Juni 2024

Analys av grundvattnets avklingning

Hur växters djupa vattenupptag skapar dygnsvariationer
i grundvattennivån

Klara Friberg



UPPSALA
UNIVERSITET

**Analysis of groundwater table decline
- How deep water uptake by vegetation causes diurnal fluctuations**

Klara Friberg

Abstract

In order to calculate the groundwater level it takes a well-adjusted model and understanding of the processes affecting the groundwater level. The general assumption that all-ready-formed groundwater won't be affected by water uptake by vegetation was questioned when diurnal fluctuations in groundwater levels were observed during dry summer months in a few locations. The aim of this work was to prove that the origin to the diurnal fluctuations in groundwater level was water uptake by vegetation, and that this also influences the speed by which the groundwater level declined. The diurnal fluctuations in the groundwater level were observed in a small selection of measuring stations for measuring groundwater levels, all placed in till. Using spectral analysis, it was established that the diurnal fluctuations had the same periodicity as the water uptake by vegetation. The groundwater level declined during the day when vegetation consumes water, and increased again during the night when the consumption of water by vegetations reduces.

Calculations performed in this study also indicated that the water uptake by vegetation increases the speed of with the groundwater lever declines. During periods of diurnal fluctuations in the groundwater level, the overall reduction of the groundwater level increased by an average of 20% compared to during a similar period but without diurnal groundwater level fluctuations. The result is location specific and not a general groundwater level decline but is distinct for the measuring stations selected for this work. The selected stations showed signs of diurnal fluctuations in the groundwater level during dry summer periods and were placed in till. In summary this indicates that vegetation uses water from deeper down in the ground than what normally is assumed, and that reduction of groundwater level is not only a result of decreases in groundwater discharge but also a vertical transport up into the soil because of water uptake from vegetation.

Keywords: groundwater level, diurnal fluctuations, vegetation, water uptake

*Department of Earth Sciences, Geocentrum, Villavägen 16, 752 36 Uppsala
ISSN 1401-5765*

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala/Visby

Handledare: Bo Thunholm SGU Ämnesgranskare: Roger Herbert

Examinator: Fritjof Fagerlund

Referat

Analys av grundvattennivåns avklingning

Hur växters djupa vattenupptag skapar dygnsvariationer i grundvattennivån

Klara Friberg

För att kunna beräkna grundvattennivåer krävs väl anpassade beräkningsmodeller och förståelse för de processer som påverkar grundvattennivån. Det generella antagandet att bildat grundvatten inte påverkas av växters vattenupptag ifrågasattes när dygnsvariationer i grundvattennivån iaktogs under torra sommarperioder vid ett fåtal mätstationer. Syftet med arbetet var att påvisa att fluktuationerna i grundvattennivån orsakades av växters vattenupptag, och att detta även orsakade en kraftigare reduktion i grundvattennivån än när dessa dygnsvariationer inte påvisas. Dygnsvariationerna i grundvattennivån påvisades i ett fåtal mätstationer placerade i moränmark. Genom spektralanalys av grundvattennivåernas tidsserier gick det att fastslå att dygnsvariationerna följde samma periodcykel som växternas vattenupptag, där grundvattennivån sjönk under dagtid när växterna är aktiva, för att stiga under natten när växterna var inaktiva. Beräkningar visade även att växternas vattenupptag påverkar hastigheten med vilken grundvattennivån sjunker. Under en period med synliga dygnsvariationer i grundvattennivån, sjunker grundvattennivån i snitt 20% snabbare än under likvärdiga perioder utan att dygnsvariationer syns. Resultatet är platsspecifikt och antas inte vara generellt gällande för alla jordarter eller platser, men var entydigt för de utvalda mätstationer som alla uppvisade dygnsvariationer i grundvattennivån under torra sommarperioder utan nederbörd.

Sammanfattningsvis indikerar studien att växternas vattenupptag påverkar vattenhalten djupt nere i marken inte bara genom reduktion av grundvattenbildning utan även genom upptag av grundvatten.

Nyckelord: Grundvattennivå, avklingning, dygnsvariationer, växtupptag

Institutionen för geovetenskaper, Geocentrum, Villavägen 16, 752 36 Uppsala

Förord

Detta arbete är utfört som examensarbete inom civilingenjörsprogrammet i Miljö- och vattenteknik, ett samarbete mellan Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet, och motsvarar 30 högskolepoäng. Examensarbetet utfördes våren 2024 i samarbete med Sveriges geologiska undersökning – SGU.Handledaren har varit Bo Thunholm, statsgeolog vid SGU, Mark och Grundvatten. Ämnesgranskaren till arbetet har varit Roger Herbert, universitetslektor i hydrologi vid institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet.

Jag vill börja med att tacka min handledare Bo för det engagemang och den tid du dedikerat till mig under utförandet av det här arbetet. Du har delat med dig av kunskap och tankar som har varit ovärderliga för att arbetet ska ha gått i mål. Du har peppat och hjälpt till när det varit kämpigt och alltid hittat lösningar när jag har varit i behov av hjälp. Och tänk, idag har även jag en favoritmätstation! Ett stort tack till Roger för hjälpen med att få rapporten i rätt riktning och den tid du lagt ner för att få den i bästa möjliga skick. Men framför allt, tack för chansen att ge mig ut i examensarbetets (djupa)vatten. Vidare vill jag tacka medarbetarna på SGU som redan från de första dagarna fick mig att känna mig välkommen och som en del av gänget, och som har gjort att varje dag på kontoret har varit lärorik och rolig, ni har fått den här våren att passera i rekordfart! Speciellt vill jag rikta ett tack Carl-Erik Hjerne på SGU för din hjälp med datahanteringen och det intresse du har visat för projektet, båda har varit lika viktiga för mig. Slutligen, det största och varmaste tacket till David och Emil, för att ni alltid stöttade och hejade på. Utan er hade det här aldrig gått.

Klara Friberg
Uppsala 2024.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Analys av grundvattennivåns avklingning i förhållande till växternas vattenupptag

Klara Friberg

Att kartlägga och beräkna grundvattennivåer är en viktig del i arbetet att säkerställa dricksvattenförsörjningen och lokalisera potentiella bristområden. När beräkningsmodellen för grundvattennivåer visade sig inte kunna förutspå tillräckligt grunda grundvattennivåer på ett par platser i Sverige, under perioder av långvarig torka, infördes en funktion som vid dessa torra perioder reducerade grundvattenmängden genom ett uppåtriktat utflöde. Generellt anses denna typ av uppåtriktade flöde inte existera på det djup i marken som grundvattnet befann sig på, men vid närmare undersökning av grundvattennivåerna på en av dessa platser fanns tecken som stöttade införandet av det djupt uppåtriktade flödet. Grundvattennivån på platsen sjönk och steg inom 24 timmar under sommaren, när den annars antogs endast sjunka. Tanken väcktes att det uppåtriktade utflöde av grundvatten som införts i beräkningsmodellen återspeglar en förbisedd markprocess som får grundvattnet att både variera i djup under ett dygn, som även får det att sjunka längre än förväntat. Den ledande teorin om vad som orsakade dygnsvariationerna och den oväntat låga grundvattennivån var att omkringliggande växtlighet med djupgående rötter sög upp vatten dagtid, vilket fick grundvattennivån att sjunka, men under natten var inaktiva vilket fick grundvattennivån att stiga så smått. Det innebar att för att bekräfta den teorin, skulle det generella antagandet om att växter *inte* kan tillgodose sig av grundvatten behöva motbevisas. Syftet med detta arbete blev därmed att påvisa att dygnsvariationerna i grundvattennivån och den oväntat djupa grundvattennivån båda hade samma ursprung. Detta genom att identifiera tidsskillnader i hur växternas vattenupptag påverkade grundvattennivån under ett dygn såg ut jämfört mot hur gravitationen från månen och solen påverkade grundvattennivån under samma tid. Vidare skulle arbetet beräkna hur stor påverkan växternas vattenupptag hade på grundvattennivån, det vill säga hur mycket snabbare sjönk den jämfört med om växterna inte tillgodosåg sig av grundvattnet.

Detta genomfördes genom att separera den dagliga variationen i grundvattennivån som orsakades av växters vattenupptag, från hur grundvattennivån varierade som resultat av solen och månens gravitationskraft för att kunna utesluta den sistnämnda. Vidare beräknades hur snabbt grundvattennivån sjönk under perioden den antogs påverkas av växters vattenupptag, jämfört med hur snabbt den sjönk när den verkade opåverkad.

Resultatet blev att för specifika platser där går det att särskilja när en grundvattennivå påverkas av växters vattenupptag samt när den påverkas av solen och månens gravitationskraft. Växternas vattenupptag sänker och höjer grundvattennivån en gång under 24 timmar, jämfört med solen och månen som får grundvattennivån att höja och sänkas två gånger under samma period. Hastigheten med vilken grundvattennivån sjunker visades öka när växterna under torra sommarperioder tillgodoser sig av grundvattnet. Grundvattennivån sjönk upp till en femtedel snabbare än när växterna inte antogs interagera med grundvattnet. Slutsatsen som drogs av arbetet är att växter påverkar grundvattennivån i större utbredning än vad som i dag antas men att påverkan är platsberoende.

Ordlista

Avklingning - minskning, reducering

asl - above sea level (över havsnivå)

Ebb - lågvatten

Evaporation - avdunstning från ytor

Evapotranspiration - summeringen av evaporation och transpiration

Flod - högvatten

Flöde - mått på mängd vatten som passerar genom en yta per tidsenhet, anges i $[\frac{m^3}{s}]$ (volym) eller $[\frac{kg}{s}]$ (massa)

Freatofyter - växter med djupgående rotsystem

Hydraulisk konduktivitet – markens genomsläpplighet

Höjdpotential – arbetet att lyfta en kropp från ett referensläge till ett nytt läge

Nipflod - när skillnaden mellan ebb och flod är som minst

Perkolation - lodrät transport av vatten i marken

SGU - Sveriges geologiska undersökning

Springflod - när skillnaden mellan ebb och flod är som störst

Strömning- mått på mängd vatten genom en enhetsyta per tidsenhet, ofta kallat *specifikt flöde*, anges i $[\frac{m}{s}]$

Tidaleffekten - cyklisk variation av storleken på gravitationspotentialen

Transpiration – växters avgivande av vattenånga genom klyvöppningar

Tryckpotential – tryckenergi jämfört med atmosfärens tryck

Innehållsförteckning

1 Inledning.....	6
1.2 Hypotes.....	7
1.3 Mål och syfte	7
1.4 Frågeställning	8
1.5 Övergripande metod för genomförande	8
2 Bakgrund	9
2.1 Vatten i marken.....	9
2.1.1 Morän	9
2.1.2 Mark- och grundvatten	9
2.1.3 Grundvattenbildning.....	10
2.1.4 Grundvattenförekomster.....	10
2.1.5 Vattenströmning i marken	11
2.1.6 Tryckfortplantning.....	12
2.1.7 Växters vattenupptag	12
2.1.8 Linjära och icke linjära magasin	13
2.2 Förändringar i grundvattennivåer	15
2.2.1 Förändring av grundvattennivån på lång sikt.....	15
2.2.2 Cykliska variationer i grundvattennivån	15
2.2.3 Tidalkraften	15
2.3 Mätning och beräkning av grundvattennivåer.....	18
2.3.1 Mätning av grundvattennivåer	18
2.3.2 Beräkning av grundvattennivåer med SGU- HYPE.....	18
2.3.3 Recessionskoefficient.....	21
3 Metod	23
3.1 Litteraturstudie	23
3.2 Data	23
3.2.1 Stationsurval.....	23
3.3 Beräkningar	25
3.3.1 Spektralanalys	25
3.3.2 Beräkning av recessionskoefficient.....	26
3.3.3 Känslighetsanalys.....	28
4. Tidigare arbeten.....	29
4.1 Tideffektens påverkan på grundvattennivån.....	29
4.2 Interaktion mellan växter och grundvattennivån.....	29

4.3 Växters dygnsrykliska påverkan på grundvattennivån	30
5. Områdesbeskrivning.....	31
5.1.1 Huddinge 2	31
5.1.2 Lagga 2	31
5.1.3 Moheda 2.....	31
5.1.4 Tärnsjö 32.....	32
5.1.5 Vetlanda 2	32
5.1.6 Kallåsbäcken 1	32
5.1.7 Emmaboda 3.....	32
6 Resultat.....	33
6.1 Spektralanalys	33
6.1.1 Huddinge 2	34
6.1.2 Lagga 2	35
6.1.3 Moheda 2.....	36
6.1.4 Tärnsjö 32.....	37
6.1.5 Vetlanda 2	38
6.1.6 Emmaboda 3.....	39
6.1.7 Spektralanalys för samtliga stationer	40
6.2 Beräkning av recessionskoefficient.....	40
6.2.1 Generell recessionskoefficient	40
6.2.2 Huddinge 2	41
6.2.3 Lagga 2	41
6.2.4 Moheda 2.....	42
6.2.5 Tärnsjö 32.....	42
6.2.6 Kallåsbäcken 1	43
6.2.7 Recessionskoefficienten för alla mätstationer	43
6.3 Känslighetsanalys.....	44
7 Diskussion	46
8 Slutsatser	51
9 Referenser.....	52
Bilagor.....	55

1 Inledning

Sverige har 16 miljökvalitetsmål som är en del i arbetet för att uppnå den miljömässiga dimensionen av hållbar utveckling, där ett av dessa mål är *Grundvatten av god kvalitet*. Miljömålet definieras av riksdynen som ”*Grundvattnet ska ge en säker och hållbar dricksvattenförsörjning samt bidra till en god livsmiljö för växter och djur i sjöar och vattendrag*.”. Det innebär kortfattat att grundvatten av god kvalitet ska finnas tillgängligt för kommande generationer, även när efterfrågan förväntas öka (Sveriges miljömål 2023). Ansvaret för att de 16 olika svenska miljökvalitetsmålen är fördelade mellan åtta nationella myndigheter där ansvaret för miljökvalitetsmålet *Grundvatten av god kvalitet* är tilldelat Sveriges geologiska undersökning (SGU) (Naturvårdsverket 2023).

Ansvaret som SGU har innebär bland annat att tillhandahålla insamlade och beräknade data rörande grundvatten som är av betydelse för att miljökvalitetsmålet skall kunna uppfyllas och en säker dricksvattenförsörjning skall vara möjlig för kommande generationer (SGU 2022). Att kunna beskriva de rumsliga och tidsenliga variationerna i grundvattennivåer över hela landet är en viktig del i arbetet med miljökvalitetsmålet. Aktuella nivåer behöver beräknas på platser som saknar stationer för mätning av grundvattennivån, och framtida grundvattennivåer behöver beräknas och där igenom förutse grundvattentillgångar och potentiella risker för grundvattenbrister (SGU 2023b).

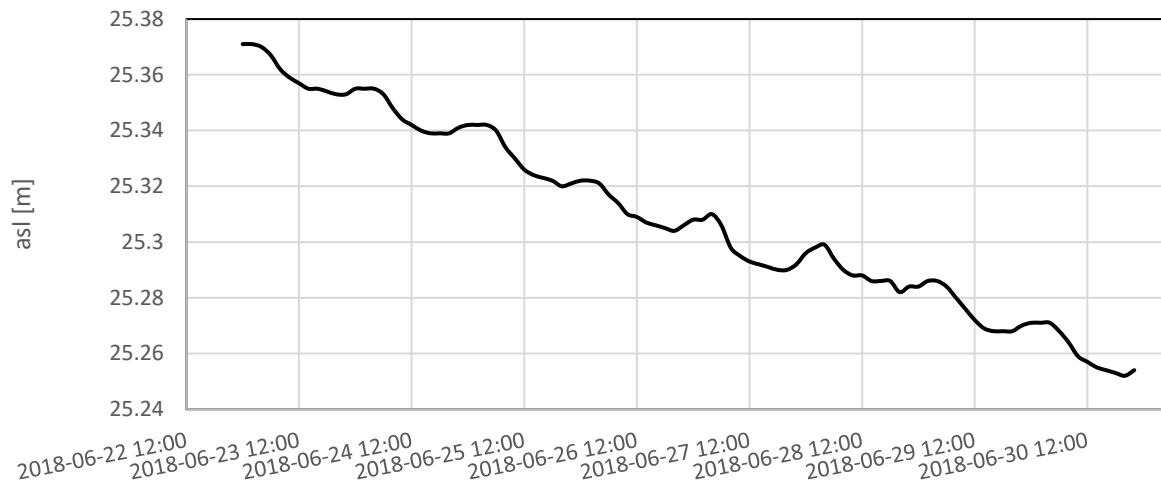
För beräkningar av nationella grundvattennivåer i Sverige används datormodellen SGU-HYPE, vilket är en omarbetad version av S-HYPE som modifierats för att beräkna grundvattennivåer (SGU 2021b). En av justeringarna som gjorts från ursprungsmodellen innebär inkluderingen av ett vertikalt flöde av markvatten uppåt i en jordprofil i motsats till att tidigare endast innehålla ett vertikalt flöde nedåt. Behovet av tillägget uppstod när den beräknade grundvattennivån översteg den uppmätta grundvattennivån, under de mer frekvent förekommande torrperioderna under sommarhalvåret (SGU u.å.)

I den förenklade bilden hur avrinningen för grundvatten ser ut, är växternas vattenupptag försummad och reducerad till endast minska tillförseln av nybildande grundvatten. Växter tillgodoser sig av vatten i marken genom suga upp vattnet via sina rötter. Under fotosyntesen när växterna tar upp koldioxid ur luften exponeras den fukt som finns i växtens blad mot atmosfären och förångas. Förångningen medför ett undertryck inom växten som fortplantar sig ner i dess rötter som suger upp vatten för att jämna ut trycket och på så vis återför vatten till växten. Vattnet i marken som växter kan tillgodo se sig av genom sina rötter kan inte vara hårdare bundet till marken än det undertryck som skapas av förångningen vid bladen (Grip & Rodhe 2016). Växters upptag av markvatten reducerar alltså grundvattenbildningen under sommarhalvåret, men anses som tidigare nämnt inte kunna tillgodose sig av, och därmed inte kunna påverka, redan bildat grundvatten. Även om detta är ett korrekt antagande från höst till vår finns det studier som visar på att växters vattenupptag kan påverka grundvattnets avrinning under sommaren (Grip & Rodhe 2016).

I linje med det adderade uppåtriktade vertikala utflöde av grundvatten i beräkningsmodellen, iakttog anställda på SGU ett mönster på uppmätta grundvattennivåer under torra sommarperioder. Dynsvariationerna i grundvattennivån iaktogs uppstå¹ under sommarhalvåret, när grundvattennivån sjönk, i mätstationer i moränmark med växtlighet.

¹ Bo Thunholm, Statsgeolog, SGU, 2024

Under sommarperioder där grundvattenbildningen var frånvarande gick det att urskilja en dygnsvariation i grundvattennivån utan omedelbar förklaring, liknande den som syns i Figur 1.



Figur 1. Dygnsvariationer i grundvattennivån under en period utan grundvattenbildning för mätstationen Lagga 2, utanför Uppsala, under sommaren 2018. Avrinningsbilden avviker från den förväntade avklingningen.

1.2 Hypotes

Utifrån nuvarande data från SGU:s grundvattennätverk indikerar det att växters vattenupptag kan påverka grundvattennivån även vid utebliven grundvattenbildning. Studien ska därför utforska hypotesen att de variationer i grundvattennivån som återkommer med en 24 timmars cykel är ett resultat av växters vattenupptag.

I fallet att en påverkan på grundvattennivån från växtupptag kan urskiljas är hypotesen vidare att detta även skulle påverka grundvattennivåns minskning. Grundvattennivåns minskning, fortsättningsvis kallad avklingning, bör rimligtvis öka, något som skulle innebära en större sänkning av grundvattennivån när dygnsvariationerna i grundvattennivån syns, jämfört med när de inte syns.

1.3 Mål och syfte

Projektets syfte är att utreda om det finns en kvantifierbar och mätbar påverkan från växters vattenupptag på grundvattennivån under perioder av låg till ingen grundvattenbildning, när små dygnsvariationer i grundvattennivån är uppmätta. Detta genom att identifiera dygnsvariationernas ursprung och dess påverkan på grundvattennivåns avklingning.

1.4 Frågeställning

För att rapporten skulle vara i linje med arbetets mål och syfte skapades frågeställningar att besvara, enligt nedan.

- Hur skiljer sig påverkan av tidaleffekten respektive växters upptag av markvatten på grundvattennivån under perioder vid låg till ingen grundvattenbildning.
- Hur stor påverkan har växters upptag av markvatten på grundvattennivåns avklingning under perioder av ingen grundvattenbildning.

1.5 Övergripande metod för genomförande

Den övergripande metoden av genomförandet för att besvara på frågeställningen i rapporten blev följande.

Fyra mätstationer med mätserier som uppvisar fenomenet med dygnliga dygnsvariationer under sommaren ska väljas ut för att studera närmare. För att kunna påvisa vilken periodcykel som variationerna har och på så sett kunna särskilja mellan tidaleffekten och ett eventuellt resultat av växters upptag av vatten behöver en spektralanalys av tidsserien med mätresultat utföras. Signalfrekvenserna för de olika stationerna kan då jämföras för att avgöra ursprunget av påverkan. Resultaten för de fyra utvalda stationerna ska jämföras med resultat från stationer där tidaleffekten är tydligt närvarande samt där ingen typ av dygnspåverkan uppvisats i grundvattennivåerna.

Vidare ska grundvattennivåns avklingning beräknas för stationerna under en begränsad period utan grundvattenbildning, med och utan synliga dygnsvariationer i grundvattennivåerna, för att visa på eventuell skillnad i avklingningen. Detta för att avgöra om dygnsvariationerna påverkar grundvattennivåns avklingning med en kvantifierbar storlek representerad i procentuell ökning eller minskning.

2 Bakgrund

I följande underavsnitt presenteras bakgrund och information av relevans för kommande arbete med rapporten.

2.1 Vatten i marken

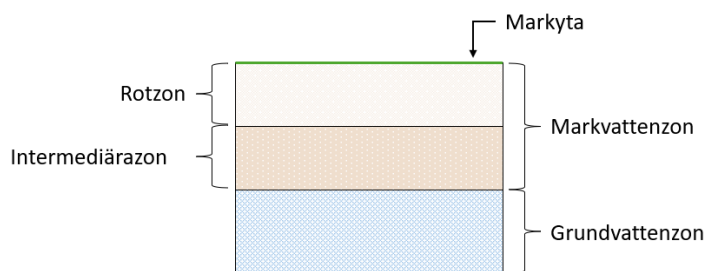
Vattens förekomst och rörelse i marken varierar och skiljer sig utifrån olika geologiska förhållanden. Processer och beskrivningar av vikt för rapporten presenteras kortfattat i avsnitten nedan.

2.1.1 Morän

Morän är Sveriges vanligaste jordart och täcker uppskattningsvis 75 % av landets yta. Jordarten är ett resultat av inlandsisens framfart över norra Europa under istiden, och består av en varierande blandning av kornstorlekar från de största block ned till de minsta lerpartiklar. Även om moränen vanligtvis är osorterad förekommer även skikt med sorterat sediment. (SGU 2000). Moränens generella osorterade struktur medför att den hydrauliska konduktiviteten varierar kraftigt där spannet exempelvis sträcker sig mellan $1 \cdot 10^{-11} \frac{m}{s}$ för moränlera till $1 \cdot 10^{-5} \frac{m}{s}$ för grusig morän (Grip & Rodhe 2016). I svenska moräner förekommer ofta en tydlig förändring i den hydrauliska konduktiviteten vid cirka en meters djup, där en minskning av den hydrauliska konduktiviteten vid ökat djup kan förklaras med minskad porositet. Moränens generellt låga hydrauliska konduktivitet och varierande vattenhållningsförmåga gör att grundvattennivån ofta är marknära, ju mer ler en morän innehåller, desto närmare markytan befinner sig grundvattennivån (Sparrenbom & Jeppsson 2022).

2.1.2 Mark- och grundvatten

En markprofil delas upp i två huvudsektioner, där det övre lagret kallas *markvattenzonen* och det under lagret för *grundvattenzonen*. Markvattenzonen (även kallad *omättade zonen*) är ett omättat marklager där porer vanligtvis är fyllda med både luft och vatten, och det vatten som befinner sig i markvattenzonen benämns som markvatten. Markvattenzonen delas i sin tur upp i ytterligare två lager, rotzonen samt den intermediära zonen, där samtliga uppdelningar illustreras i Figur 2 nedan.



Figur 2. Markprofilens indelning i de olika zonerna.

I en svensk skogsmark antas det att upp till 90 % av rötterna befinner sig inom en halvmeter från markytan där majoriteten av dessa inte anses nå djupare än de första två decimetrarna och därmed befinner sig nästan uteslutande i rotzonen (Sparrenbom & Jeppsson 2022).

Under rotzonen och i anslutning till grundvattenzonen ligger den *intermediära zonen* (även kallad *kapillära zonen*) som även den är omättad och har porer som är fyllda av både luft och vatten (Sparrenbom & Jeppsson 2022).

Grundvattenzonen är till skillnad från markvattenzonen en vattenmättad zon där alla porer är vattenfyllda, och där vattnet benämns som *grundvatten* (Grip & Rodhe 2016). Definitionen av grundvatten är allt vatten som finns under markytan i den mättade zonen (SFS 2004:660). Grundvattennivåns nivå varierar i en jordprofil utifrån markprofilens vattenmättad, och grundvattennivåns vattentryck är lika med, eller större, än atmosfärstrycket (Svensson 1984).

2.1.3 Grundvattenbildning

Tillförsel av grundvatten kallas grundvattenbildning och sker när markvatten rör sig nedåt från markvattenzonen som respons på gravitationen, en process som benämns som perkolation (Svensson 1984). Mängden markvatten som infiltreras och bildar grundvatten beror dels på markens struktur och genomsläpplighet, dels på storleken hos växternas vattenupptag i den aktuella markprofilen (Grip & Rodhe 2016). I Sverige är genomsläppligheten generellt hög och grundvattenbildningen är som ett resultat av detta stor vid perioder av stora mängder nederbörd och/eller snösmältning (Grip & Rodhe 2016).

2.1.4 Grundvattenförekomster

Utöver mineralet och organiskt material utgörs en jordprofil av porer och sprickor som kan fyllas av varierande mängder vatten eller luft. När förekomsten av vattenfyllda porer ökar i en begränsad markprofil benämns förekomsten som en akvifer. En akvifer definieras som *”ett lager av geologiska material som är tillräckligt porösa och genomsläppliga för att medge ett betydande flöde eller uttag av grundvatten”* (SFS 2004:660 3 §) och kan delas in i tre kategorier; *sluten*, *öppen* samt *läckande*. Och det är de två tidigare typerna som vidare beskrivs i rapporten. En sluten akvifer skiljs från atmosfären av ett lager med reducerad till ingen genomsläpplighet och saknar därför kontakt med atmosfären. Grundvattnet i en sådan akvifer kan därmed befinna sig under ett tryck högre än atmosfärstrycket. Det innebär att en sluten akvifer inte anses ha någon grundvattennivå utan i stället har en tryckyta, och att tryckytan definieras som den nivå där grundvattennivån hade legat om det varit en fri vattenyta som inte utsatts för något tryck (SGU 2020a). En öppen akvifer saknar ett ogenomsläppligt övre jordlager och har i stället kontakt med atmosfären, så grundvattennivån anses vara den övre gränsen för den öppna akviferen. Det hydrostatiska trycket vid just grundvattennivån i en öppen akvifer är därför detsamma som atmosfärstrycket och att dess nivå motsvarar trycknivån i akviferen själv. Öppna akviferer förekommer främst ytligt i sand- och grusavlagringar men kan även förekomma i morän (SGU 2020a). Oavsett typ så begränsas en akvifer av geologiska variationer beskrivna med geologiska termer. Vidare kan en akvifer vara indelad i ett eller flera grundvattenmagasin. Vad som skiljer ett grundvattenmagasin och en akvifer åt är dess förutsättning att generera en användbar mängd vatten, samt att ett magasin gränser inte behöver utgöras av geologiska gränser. Grundvattenmagasin i morän är vanligtvis små som resultat av den osorterade strukturen (Sparrenbom & Jeppsson 2022). Ett litet grundvattenmagasin har generellt få och små porer och kan som resultat endast lagra en liten mängd vatten. Det innebär att ett litet grundvattenmagasin är snabbreagerande vid torka eller nederbörd vilket medför att höjdvariationen i grundvattennivån i ett litet magasin kan vara stor under ett år. Små grundvattenmagasin är frekvent förekommande i morän och urberg, och är därmed generellt mycket vanliga i svensk mark. I motsats till små grundvattenmagasin har stora grundvattenmagasin en större mängd porer att fylla med vatten. Dessa magasin reagerar mer

långsamt på förändringar i vattentillförsel och bibehåller en mer konstant grundvattennivå på kort sikt. Dessa typer av magasin förekommer mer sällan då de förknippas med exempelvis rullstensåsar eller andra sand- och grusavlagringar. I likhet med en akvifer klassificeras grundvattenmagasin som öppet eller slutet baserat på samma bedömningsgrunder (SGU 2021a).

Oavsett om magasinet är öppet eller slutet syftar begreppet *grundvattennivå* i den här rapporten på den nivå som grundvattnet antar i ett rör som perforerar magasinet. Grundvattennivåns position mäts med avseende på höjd över havsytan, som i rapporten förkortas som *asl* – above sea level. För ett öppet magasin är grundvattennivån nivå i magasinet desamma som i röret, men för ett slutet grundvattenmagasin kan grundvattennivån i röret ligga ovanför magasinets trycknivå (SGU 2020a).

2.1.5 Vattenströmning i marken

Vattnets flöde i marken definieras som mättat eller omättat, och i likhet med markzonerna syftar detta på om flödet sker i mark som är vattenmättad eller icke vattenmättad (Grip & Rodhe 2016). Vattenströmning i marken drivs av krafterna tryck och gravitation, och riktningen på strömningen bestäms av totalpotentialen, som är den sammanlagda kraften av de båda. Matematiskt uttryck beskrivs detta genom ekvation (1) nedan.

$$\Phi = \psi + z \quad (1)$$

Φ = totalpotentialen [m vattenpelare]

ψ = tryckpotentialen [m vattenpelare]

z = lägespotentialen [m vattenpelare]

Där lägespotential är arbetet att förflytta massenhet från en referenshöjd till aktuell höjd och tryckpotentialen är vattnets tryck i vattenpelare i relation till atmosfärens. I markvattenzonen är tryckpotentialen negativt men i grundvattenzonen är den positivt. Strömningen sker från högre till lägre totalpotential, och saknas det en potentialskillnad blir vattnet stillastående (Grip & Rodhe 2016).

Henri Darcy beskrev grundvattenflöde som att flödet mellan två punkter i en markprofil är proportionerligt mot den *hydrauliska potentialskillnaden* som finns mellan de två punkterna, där flödets riktning är mot den punkten med lägre hydrauliskpotential (Grip & Rodhe 2016).

I markvattenzonen är flödet generellt vertikalt och drivs av gravitationskraften i riktning mot en lägre lägespotential. I grundvattenzonen, den mättade zonen, anses majoriteten av flödet vara horisontellt och kunna beskrivas i matematisk form med hjälp av Darcys lag med Dupuits antagande:

$$Q = -K * A * \frac{dh}{dx} \quad (2)$$

Q = vattenföring [$\frac{m^3}{s}$]

K = hydraulisk konduktivitet [$\frac{m}{s}$]

A = jordprofilens tvärsnittsarea [m^2]

dh/dx = grundvattennivåns lutning [-]

Där Dupuits antagande avser att grundvattenflödet och grundvattennivåns lutning är ungefär proportionerliga. Det innebär att eventuella vertikala skillnader i totalpotential ignoreras och flödet kan därför anses vara horisontellt (Grip & Rodhe 2016).

2.1.6 Tryckfortplantning

För att förklara hur tryckfortplantning i marken fungerar fokuserar kommande avsnitt på tryck och tryckpotential. Vatten i markens porer är bundna via adsorptiv bindningskraft och kapillär bindningskraft. Adsorptivt bundet vatten utgör ett tunt lager runt mineralkorn medan kapillärt bundet vatten är bundet till porer i omättad jord. Båda bindningskrafterna utgör ett negativt tryck, ett undertryck. För att tömma en por på detta vatten behövs ett undertryck som överstiger dessa bindningstryck. En högre vattenhalt innebär att ett lägre undertryck behövs för att tömma porerna på vatten, och omvänt ger det att ett högre undertryck behövs för att tömma porer i morän vid låga vattenhalter (Grip & Rodhe 2016).

När markytan och den övre delen av en markprofil torkar skapas ett uppåtriktat undertryck vid markytan som ger vattnet i markvattenzonen ett vertikalt flöde uppåt som resultat. Vid regn och snösmältning ökar vattenhalten vid markytan och det övre jordlagret, och det vertikala flödet av markvatten blir nedåtriktat i markprofilen. Dessa kapillära krafter som ger markvatten en vertikal strömning återfinns inte grundvattnet där vattnet befinner sig i ett övertryck. Hastigheten med vilken tryckutjämningen sker är beroende av jordens vattenhållningsförmåga. För en jord med en liten vattenhållningsförmåga sker tryckutjämningen med högre hastighet, men i morän som generellt har högre vattenhållningsförmåga sker tryckutjämningen långsammare (Grip & Rodhe 2016).

2.1.7 Växters vattenupptag

Växstsäsong är den tid på året från att växters knoppar spricker under våren och försommaren till dess att löven byter färg på hösten. Längden på växstsäsongen eller när den börjar eller slutar, varierar från norr till söder i Sverige, och tenderar att bli allt längre som ett resultat på ett varmare klimat (SLU 2023).

Under växstsäsongen tillgodoser växters sitt vattenbehov genom att suga upp vatten ur marken. Vattenupptaget är ett resultat av undertryck som skapas genom att växternas klyvöppningar öppnas för att ta vara på koldioxid i atmosfären, en del av fotosyntesen, vilket får vatten i växten att förångas vid kontakt med luften. Undertrycket fortplantas från bladen, genom växten ner till rötterna i marken, där det resulterar i ett upptag av vatten. Processen kallas transpiration och är till viss del styrd av solen så växterna kräver energi för fotosyntesen (Grip & Rodhe 2016).

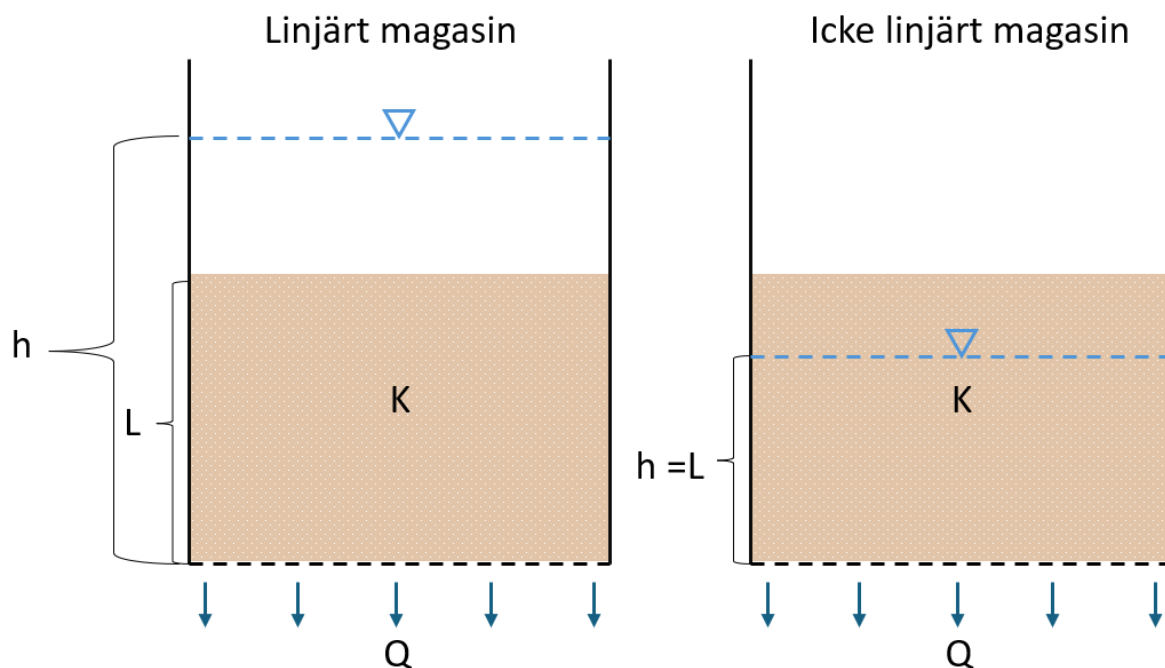
Majoriteten av växters rötter befinner sig i de översta två decimetrarna av en markprofil och under växstsäsongen tillgodoser sig rötterna av det tillgängliga vattnet i marken som sen till stor del transpireras tillbaka till atmosfären. Mängden vatten som växterna kan suga upp begränsas av markens vissningsgräns, som är den vattenhalt där vattnets bindning till marken är för stark för att växterna ska kunna tillgodose sig av det. Rötternas upptag av markvatten har en betydande påverkan på hur mycket grundvatten som bildas under växstsäsongen (Grip & Rodhe 2016).

Evapotranspiration är summeringen av evaporation, ytaavdunstning, och transpiration och är en process som kräver energi vilken majoriteten av denna tas från nettostrålning. Nettostrålningen är differensen mellan inkommande- och utgående strålning från solen. Framåt hösten när evapotranspirationen minskar ökar grundvattenbildningen igen och därmed stiger

grundvattennivån (Grip & Rodhe 2016). I och med evapotranspirationens beroende av solens energi är dess storlek som störst på dygnet och som minst på natten, och alltså har en period på 24 timmar (Sparrenbom & Jeppsson 2022).

2.1.8 Linjära och icke linjära magasin

Avrinningen av grundvatten i ett magasin delas upp i två typer av system, linjärt eller icke linjärt (Grip & Rodhe 2016), båda typerna illustreras i Figur 3 nedan.



Figur 3. Modell av ett linjärt samt ett icke linjärt magasin. I båda figurerna markeras grundvattennivån med den blå streckade linjen.

I ett magasin med linjär avrinning är utflödet ur magasinet proportionellt mot vattenytans höjdnivå, och för att enkelt beskriva systemet går det att jämföra med en behållare med ett utflöde i botten. Behållaren är delvis fylld med jord, och vattenytan befinner sig ovan för jorden (Sundén 2009). Magasinet klassas som linjärt så länge vattenytan befinner sig över jordmassan då utflödet är proportionellt mot vattenytans nivå, och utflödet kan beskrivas genom ekvation (3).

$$Q = -K * A \frac{h}{L} \quad (3)$$

A = area [m^2]

h = vattenytans höjdläge [m]

L = längden på jordmassan [m]

Med kontinuitetsvillkor kan flödet skrivas också som:

$$Q = A \frac{dh}{dt} \quad (4)$$

$t = \text{tid [h]}$

och genom att föra samman ekvation (3) och (4) ger det att

$$-K * A \frac{h}{L} = A \frac{dh}{dt} \quad (5)$$

som sen integreras för att få fram grundvattennivån.

$$h = e^{-\frac{K}{L}t} * e^c \quad (6)$$

$c = \text{konstant}$

när $t = 0$ ger det att $h = h_0$ vilket i sin tur leder till att

$$h = h_0 * e^{-\frac{K}{L}t} \quad (7)$$

där K/L är recessionskoefficienten.

Motsatsen till ett linjärt magasin är ett icke linjärt magasin, där vattenytan i stället befinner sig inuti jordmassan (Figur 3). I ett sådant fall blir vattenytans höjdläge lika med längden på den del av jorden som är vattenmättad (Sundén 2009), och flödet beskrivs i stället genom ekvation (8) nedan.

$$Q = K * A \frac{h}{L} \quad (8)$$

kombinerat med att $h = L$ (se Figur 3) ger det att det icke linjära flödet kan skrivas om till

$$Q = K * A \quad (9)$$

Det icke linjära flödet kan också uttryckas med kontinuitetsvillkor (ekvation 3) och kombineras med ekvation 9:

$$Q = A * M \frac{dh}{dt} \quad (10)$$

$M = \text{magasinskoefficient}$

Magasinskoefficienten anger volymandelen vatten som dräneras ur magasinet när grundvattennivån sjunker (Grip & Rodhe 2016).
ekvation (7) och (9) tillsammans ger då på liknande sätt som ekvation (5) i stället

$$h = -\frac{K}{M}t \quad (11)$$

som vid $t = 0$ ger

$$h = h_0 - \frac{K}{M}t \quad (12)$$

Där ekvation (12) visar hur grundvattennivån i ett icke linjärt magasin sjunker linjärt med tiden (Grip & Rodhe 2016).

2.2 Förändringar i grundvattennivåer

Grundvattennivån varierar över tid som ett resultat av snabba och mer långsamverkande processer. Hur grundvattennivån varierar och några av de faktorer som påverkar detta beskrivs i nästkommande underavsnitt.

2.2.1 Förändring av grundvattennivån på lång sikt

Grundvattennivåns nivå varierar under året och når, i Sverige, generellt sin lägsta nivå under stabila vintrar då nederbörd faller i form av snö som ackumuleras på ytan. Till våren när snösmältningen startar ökar grundvattenbildningen och grundvattennivån når sin högsta nivå. Under sommaren minskar grundvattenbildningen igen till följd av ökad evapotranspiration vilket reducerar mängden markvatten som perkolerar ned till grundvattenzonen (Grip & Rodhe 2016).

Under perioder med låg grundvattenbildning, så som vinter eller sommar, sker en avklingning i grundvattennivån. Under dessa perioder antas grundvattennivån avta, och sjunka mot en så kallad referensnivå, vilket är den lägsta nivå grundvattnet antas kunna nå vid den specifika platsen. Denna avklingning av grundvattennivån kan beskrivas med hjälp av en recessionskoefficient. Ingående förklaring av recessionskoefficienten förklaras senare i rapporten, i avsnitt 2.2.3. Avklingningen av grundvattennivån ser olika ut under vinter respektive sommarperioden vilket innebär att recessionskoefficienten varierar för de olika årstiderna (Sundén 2009).

2.2.2 Cykliska variationer i grundvattennivån

Utöver variationen på grundvattennivån under ett år förekommer även variationer under kortare tidsintervall. Evapotranspirationen, som tidigare nämnts, drivs av nettostrålning. Nettostrålningens storlek varierar cykliskt under både ett dygn och ett år, där den under ett år är som störst under perioden maj-september (Sparrenbom & Jeppsson 2022), samt under ett dygn är som störst på eftermiddagen (Grip & Rodhe 2016). Samma dygnsrytmiska trend kan anas på mätserier över grundvattennivåns höjdnivå i mätstationer med rätt förutsättningar, som alltså återspeglar samma typ av dygnsvariation för grundvattennivån som för evapotranspirationen i både storlek och periodlängd (Sparrenbom & Jeppsson 2022).

Ytterligare en påverkan som har en cyklisk effekt på grundvattennivån är tidalkraften, något som förklaras närmare i nästa avsnitt.

2.2.3 Tidalkraften

“About the nature of bodies of water a great deal has been said. But the rise and fall of the tides of the sea is extremely mysterious, at all events in its irregularity; however, the cause lies in the sun and moon.” Plinius den äldre

Varje punkt på både jordens yta och i dess inre påverkas av gravitationskraften, en kraft som beskrivs av *Newtons gravitationslag*:

$$F = - \frac{G(m_1*m_2)}{r^2} \quad (13)$$

F = gravitationskraften [$\frac{m}{s^2}$]

G = gravitationskonstant [$\frac{m^3}{kg*s^2}$]

m_1 = massa kropp 1 [kg]

m_2 = massa kropp 2 [kg]

r = radien mellan kropparna [m]

Gravitationskraften som jorden utsätts för av både månen och solen varierar med kropparnas position i förhållande till varandra och följer jordens rotation kring solen samtidigt som månens rotation kring jorden. För en specifik punkt på jorden påverkar även jordens rotation kring egen axel hur stor påverkan från solen respektive månen kommer att bli. Solens påverkan via gravitationskraften är ca 45 % av månens (University of Calgary u.å.).

Storleken på den kraft en punkt på jorden utsätts för är alltså beroende på avståndet till de andra två kropparna, och resultatet av den gemensamma kraftpåverkan benämns i det här arbetet fortsättningsvis som *tidalkraften* och dess påverkan som *tidaleffekten*. Tidalkraften är skillnaden mellan gravitationsfältets front (den punkt som är närmast månen) och mittpunkten i gravitationsfältet, den punkt på jorden som åsyftas (University of Calgary u.å.). För att beräkna tidalkraften används ekvation (13) på följande vis:

$$\Delta F = F_{front} - F_{mitt} \quad (14)$$

$$\Delta F = \frac{G(m_1*m_2)}{(r-\Delta r)^2} - \frac{G(m_1*m_2)}{r^2} \quad (15)$$

Δr = jordens radie [m]

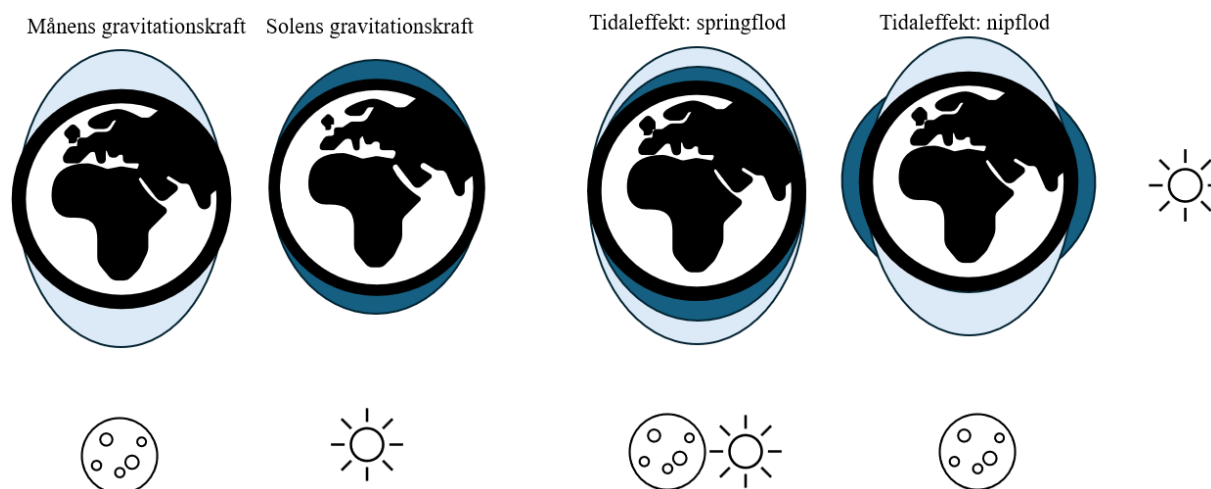
$$\Delta F = G(m_1 * m_2) \frac{(r^2 - (r - \Delta r)^2)}{r^2(r - \Delta r)^2} \quad (16)$$

$$\Delta F = \frac{G(m_1*m_2) \Delta r}{r^2} \quad (17)$$

Effekten av tidalkraftens påverkan på jorden blir fenomen kallat ebb och flod, då havet stiger och sjunker två gånger under ett dygn. På samma vis som havsnivån varierar, fluktuerar även grundvattennivån under ett dygns 24 timmar som ett resultat av tidaleffekten. Tidaleffekten följer ett så kallat måndygn, vilket är ungefär 24 timmar och 50 minuter. För en punkt positionerad i Sverige hinner cykeln rotera två gånger under ett måndygn och det blir ebb och flod två gånger med 12 timmar och 25 minuters mellanrum (SMHI 2024).

Störst påverkan på fluktueringarna blir det vid ny- och fullmåne då sol och måne verkar i samma riktning och krafterna adderas till varandra. Vid dessa perioder är höjdskillnaden mellan ebb och flod som störst, och kallas för springflod (Nilsson 1977). När solen och månen i stället befinner sig 90° ifrån varandra motverkar krafterna varandra och skillnaden mellan ebb och

flod blir som lägst. Perioden kallas då för nipflod (University of Calgary u.å.). Hela scenariot illustreras nedan i Figur 4.



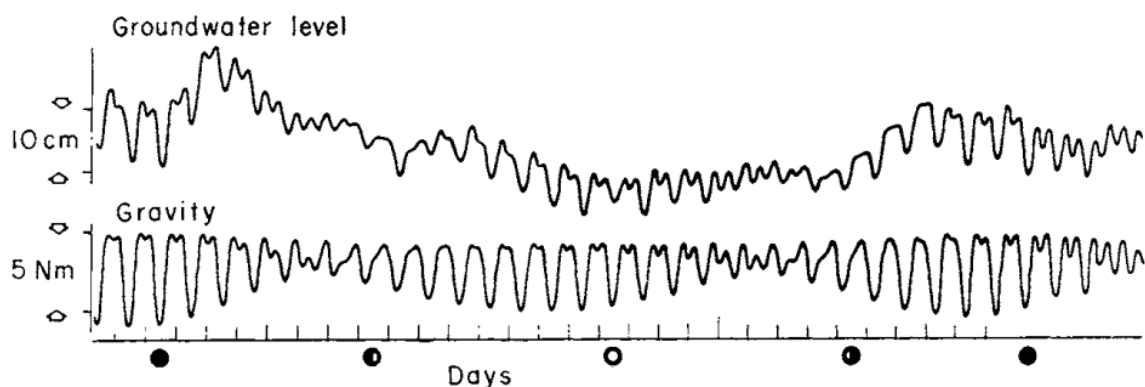
Figur 4. Månen och solens separata samt gemensamma kraftpåverkan på jorden. (Efter University of Calgary u.å.)

Spring- och nipflod har en cykel på 14 till 15 dygn vilket resulterar i ett månadsvis mönster där amplituden för flod och ebb ökar och minskar under två veckor, samtidigt som flod och ebb inträffar två gånger per dygn (University of Calgary u.å.).

Den första skriftliga notering om att grundvattennivån stiger och sjunker likt tidvatten återfinns i Plinius den äldres skrifter *Natural History*, där Plinius noterar hur vattenspegeln i en brunn stiger och sjunker om vart annat inom ett dygn (Nilsson 1977). Jordens elastiska egenskaper gör att även berggrunden fluktuerar som ett resultat av påverkan från tidaleffekten. Sprickor i berget stängs och utvidgas som resultat av den konstanta rörelsen i urberget och det leder i sin tur till ständig påverkan i tryck, en förändring som kan mätas genom grundvattennivåns nivåförändring. Fenomenet förekommer allmänt i svenskt urberg, och av alla borrhål som varit föremål för undersökning är det endast ett fåtal som inte har visat resultat av tidaleffekten (Nilsson 1977).

Vid nipflod när påverkan från tidalkraften minskar, uppvisar en tidsserie över tidalkraftens styrka en tvåtoppighet. Detta utseende kan återfinnas i tidsserier över grundvattennivåns nivå i stationer placerade i sprickigt berg, och de korrelerande tidsserierna mellan tidalkraften och grundvattennivån är en tydlig indikation på att grundvattennivån på den specifika platsen är påverkat av tidaleffekten. (Nilsson 1977).

Den fulla cykeln för tidaleffekten och dess påverkan på grundvattennivån ses i Figur 5 nedan, tagen ur rapporten Nilsson (1968).



Figur 5. Visar variationer i grundvattennivån under ett månvarv jämfört med tideffekten under samma tidsperiod (Nilsson 1968).

2.3 Mätning och beräkning av grundvattennivåer

I kommande avsnitt behandlas grundvattennivåer och hur de mäts, beräknas, modelleras samt avklingar.

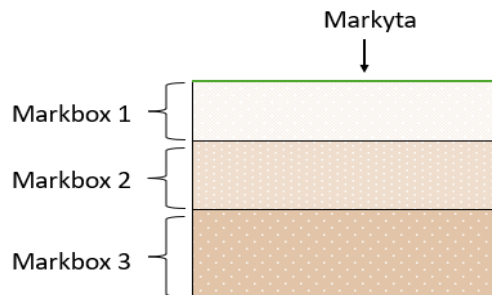
2.3.1 Mätning av grundvattennivåer

Grundvattennivåerna i Sverige mäts och övervakas sen 1966 av SGU, där nivåövervakningen sker med hjälp av fler än 600 mätstationer utplacerade runt om i Sverige (SGU 2023a). Majoriteten av stationerna mäter grundvattennivåns nivå i grundvattenrör placerade i jord, även om både handgrävda jordbrunnar samt bergborrade brunnar förekommer (Nordberg & Persson 1974). Historiskt sett har mätningarna genomförts manuellt en eller ett par gånger per månad, men sen 2018 har en succesiv uppgradering av mätstationerna skett som utrustats med teknik för automatiska mätningar flertalet gånger per dygn. Mätningen sker med tryckgivare (fortsättningsvis kallade för *automatlogger*) som direkt skickar mätdata till SGU för publicering (SGU 2023a). Användningsområdet för mätresultaten är många, och övervakningen av Sveriges grundvattennivåer är en viktig del av miljömålet *Grundvatten av god kvalitet*. För att kunna uppskatta grundvattennivån även på platser som inte är bevakad av en mätstation, samt för att kunna uppskatta framtida grundvattennivåer, stöttas mätningarna upp med beräkningar om aktuella och potentiella grundvattennivåer (SGU 2023a).

2.3.2 Beräkning av grundvattennivåer med SGU- HYPE

För att beräkna grundvattennivåer på platser som inte bevakas utav grundvattenstationer, eller för att beräkna potentiella framtida grundvattennivåer använder SGU en datormodell kallad SGU-HYPE. Den hydrologiska modellen är en vidareutveckling av det programverktyg som SMHI utvecklade vid namn S-HYPE, vars funktion är beräkna hur stor påverkan nederbörd och temperatur har på vattenflöden och avrinning i svenska vattendrag (SGU 2020b). S-HYPE grundar sig på den nationellt spridda HBV-modellen (SGU u.å.). SGU-HYPE delar

alltid upp en markprofil i tre lager på samma sätt som en jordprofil delas upp, men i SGU-HYPE modellerna benämns de separata delarna som *markboxar*, se Figur 6.



Figur 6. Jordprofilens uppdelning benämns som markboxar i SGU- och S-HYPE.

S-HYPE (och därmed även SGU-HYPE) är baserad på grundvattenbalansen, se ekvation (18) nedan, som kortfattat beskriver hur nederbörden ska vara summan av avdunstning, avrinning och lagring summerat.

$$P = E + R + \Delta S \quad (18)$$

P = nederbörd

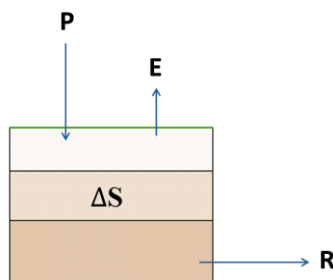
E = evapotranspiration

R = avrinning

ΔS = förändring markvattenhalt och grundvattennivå

När fokus i stället ligger på grundvattenavrinningens storlek för en markprofil beskrivs den genom ekvation 18, och med en enkel modell illustrerad i Figur 7.

$$R = P - E - \Delta S \quad (19)$$



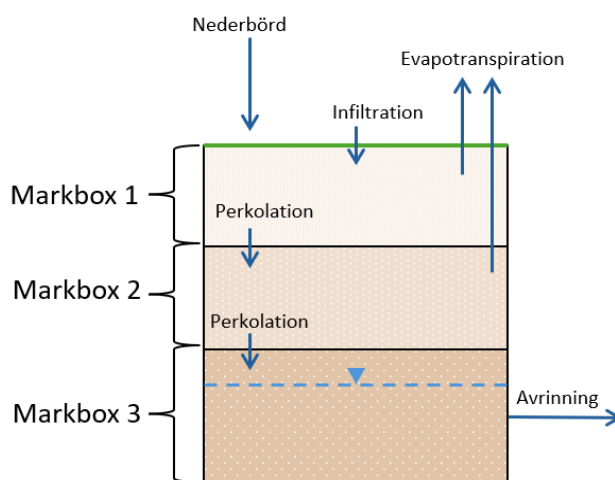
Figur 7. Förenklad beskrivning av avrinningen i en jordprofil indelad i tre markboxar

Den stora skillnaden mellan S-HYPE och SGU-HYPE är att i S-HYPE tillåts vatten ha ett horisontellt flöde mellan beräkningsenheter, och att modellen beskriver samt kalibrerar mot flöden, medan SGU-HYPE endast tillåter vertikala flöden mellan markboxar, och beskriver samt kalibrerar mot grundvattennivåer. I SGU-HYPE är det grundvattennivåns variation över tid som är av intresse, och modellen kan anses svara på frågan "hur varierar

grundvattennivåerna i ett typiskt grundvattenmagasin (stort eller litet) på den här platsen med det här vädret” (SGU u.å.).

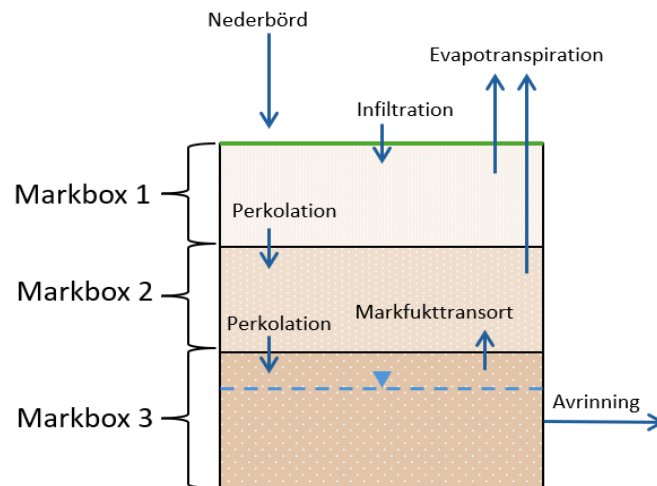
Vid beräkning av grundvattennivåer är meteorologiska faktorer som varierar mest. Temperatur och nederbörd styr grundvattenbildningen men geologiska faktorer påverkar systemets tröghet och kapacitet. Men även den aktuella grundvattennivån spelar roll i prediktionen av framtida grundvattennivåer, eller nivåer på intilliggande plats (SGU 2020b).

SGU-HYPE beskriver generellt ett *inströmningsområde* då modellen inte tillåter ett horisontellinflöde från intilliggande markboxar, vilket syns i Figur 8. Även om syftet med modellen är inte att exakt förutspå grundvattennivåer utan att uppskatta en potentiell grundvattennivå, så kalibreras den oavsett för att på bästa sätt återge den verkliga situationen.



Figur 8. Förenklad konceptuell beskrivning av SGU-HYPE modellen sommardag (efter Hellstrand et al. 2024).

Under torrperioden sommaren 2018 (SMHI 2019) noterades det att SGU-HYPE inte lät grundvattennivån sänkas till de låga nivåer som uppmättes ute i fält via mätstationerna. Detta tydde på ett större utflöde av grundvatten än vad modellen beräknade avrinningen till. För att anpassa modellen utefter längre perioder med utebliven grundvattenbildning sommardag adderades en funktion till modellen som kallades för *markfuktstransport* vars syfte var att tillåta ett vertikalt utflöde ur markbox tre, se Figur 9. Funktionen *markfuktstransport* simulerar ett omättat flöde ur markbox 3 vidare upp i modellen. Flödet antas vara den sammanslagna summan av kapillär stigning, diffusion samt växtupptag. SGU-HYPE tillåter därmed evapotranspiration från de två översta markboxarna samt markfuktstransport från markbox 3 uppåt i jordprofilen.



Figur 9. Den förenklade konceptuella beskrivningen av SGU-HYPE modellen sommartid, med adderingen av markfukttransport (efter Hellstrand et al 2024).

2.3.3 Recessionskoefficient

Vid perioder med utebliven grundvattenbildning sjunker grundvattennivån mot dess referensnivå. Denna avklingning av grundvattennivån beror på hydrologiska faktorer som kan variera under årstider. Avklingningen ser även olika ut beroende på om magasinet är linjärt eller icke linjärt. Hastigheten för vilken magasinet töms och grundvattennivån avklingar går att beskriva med hjälp av en recessionskoefficient som är en beskrivning på avklingningen per tidsenhet och benämns i litteratur som k med enheten [dag^{-1}] som sett i ekvation (7). En positiv recessionskoefficient innebär att magasinet töms, och ju större värdet är desto snabbare sker avklingningen. Ett negativt värde på recessionskoefficienten skulle i motsatts innebära att grundvattennivån i magasinet stiger.

I tidigare publicerade arbeten varierar det generella värde som recessionskoefficienten anges ha, alltså ett värde som beräknas över en längre tid och inte endast under en säsong eller tidsperiod. Vid en simulering i S-HYPE utförd av Sandqvist (2021) användes recessionskoefficienten 0.004 dygn^{-1} i markbox 3 (se Figur 9) för en skogsklädd moränmark eller jordbruk på morän, vid ungefär en meter under markytan. Värdet var kalibrerad baserad på blötaste året i simuleringen (Sandqvist 2012). Högre upp i en jordprofil bör recessionskoefficienten vara något högre än längre ner som resultat av bland annat maskgångar och rötter (Grip & Rodhe 2016), och markbox 2 bör därför ha ett högre värde på recessionskoefficienten jämfört med markbox 3. För markbox 2 använder sig SGU-HYPE av värden med en median på 0.0031 dygn^{-1} (SGU u.å.). Rodhe et al. (2007) anger värdet 0.0065 dygn^{-1} för vad som anges vara ett undre magasin, även det i moränmark. Med undre magasin syftar rapporten till två på varandra liggande grundvattenmagasin där det djupare belägna magasinet definieras som det undre magasinet. Utöver att geologi och årstid kan påverka värdet på recessionskoefficienten har även beräkningsmetoden med vilken den räknas ut en inverkan. I rapporten *Hydrogeologiska faktors påverkan på grundvattennivåns avklingning* (Sundén 2009) jämförs tre olika metoder för att beräkna recessionskoefficienten där resultatet skiljer sig åt mellan metoderna. Metoderna som används i Sundéns rapport är baserade på undersökningar av Olin (1995) för recessionskoefficienten i olika jordar, Langbeins

(1938) beräkningar av sambandet mellan grundvattennivåer vid två på varandra följande mättillfällen, samt ett semi-logaritmiska kod skrivet av Posavec (2006) där en logaritmerad grundvattennivå plottas mot tiden. Koden är baserat på den modell som togs fram av Barnes (1939). I rapporten tas ett medianvärde för recessionskoefficienten i morän fram, och i Tabell 1 nedan presenteras de olika recessionskoefficienternas värde i morän för de olika modellerna samt rapporterna.

Tabell 1. Värden för recessionskoefficienter i tidigare arbeten.

	<i>Olin (1995) (median)</i>	<i>Langbein (1938) (median)</i>	<i>Barnes (1939) (median)</i>	<i>Rodhe m.fl. (2008) (median)</i>	<i>Sandqvist (2012) (kalibrerat)</i>	<i>SGU-HYPE (u.å.) (median)</i>
k [dygn ⁻¹ .]	0.0175	0.0220	0.0081	0.0065	0.004	0.0031

3 Metod

För att uppnå projektets syfte att kvantifiera en skillnad mellan tidaleffekten och växters vattenupptag, samt undersöka storleken på grundvattennivåns avklingning innan respektive med dygnsvariationer som resultat av växters vattenupptag, inleddes arbetet med en litteraturstudie för bredda kunskapen om hur tidaleffekten påverkar grundvattennivån, samt hur relationen mellan växters vattenupptag och bildat grundvatten förhåller sig.

Vidare skedde in insamling av relevant data från utsorterade mätstationer för mätningar av grundvattennivåer som bearbetades med beräkningar för att få ett resultat som kan besvara rapportens frågeställning. De metoder som användes i rapporten för att nå arbetets syfte och mål presenteras i avsnitten nedan.

3.1 Litteraturstudie

För att få en bredare förståelse om hur växter påverkar grundvattennivåns avklingning vid utebliven grundvattenbildning utfördes en litteraturstudie i ämnet. Tidigare rapporter och arbeten som berörde ämnena växtupptag av grundvatten selekterades fram med hjälp av relevanta sökord som presenterats i början av rapporten. Syftet med litteraturstudien var en ökad förståelse om ämnet för att på ett bättre sätt kunna tolka och förstå de resultat som beräkningarna gav. De resultat som litteraturstudien gav presenteras senare i rapporten under rubriken *Tidigare arbeten*, och resultaten ska ses som en redovisning av sekundära data, det vill säga data som redan existerade.

3.2 Data

Den data rörande både mätstationer samt deras tidsserier över grundvattennivån är tillhandahållna av SGU i form av information som går att hitta på deras hemsida samt via internt material.

3.2.1 Stationsurval

När denna rapport skrevs hade SGU ungefär 600 aktiva mätstationer för grundvattennivåer placerade runt om i Sverige. Dessa har genom åren uppdaterats från att mäta grundvattennivåerna manuellt till att utrustas med dataloger för automatisk mätning. Detta har inneburit att mättillfällena har gått från en till två mätningar per månad till att utföras flertalet gånger per dygn (SGU 2024). För att selektera ut fyra stationer av intresse togs en lista med kriterier fram för de potentiella mätstationerna för grundvattennivåer.

Följande kriterier användes för att välja ut de fyra mätstationerna att huvudsakligen undersöka i rapporten:

Brunnar placerade i jord

En brunn kan vara placerad i antingen jord eller berg. Brunnar placerade i berg har generellt en grundvattennivå som reagerar snabbare vid grundvattenbildning eller avklingning jämfört med brunnar placerade i jord. Även om ett snabbt reagerande grundvattenmagasin kan vara till fördel för syftet med att se tydliga dygnsvariationerna, ansågs de vara för snabbt reagerade vilket skulle kunna ge missvisande svar. Där av ansågs det mer lämpligt att använda stationer med grundvattenmagasin placerade i jord för att kunna visa på en eventuell påverkan från växtupptag.

Brunnar placerade i morän

Morän är den vanligaste jordarten i Sverige vilket öppnar upp för möjligheten att hitta ett större antal lämpliga mätstationer att kunna arbeta med under projektet. Moränens generellt ytliga grundvattennivå ansågs kunna vara till fördel för att se fluktuationer i densamma och dessa variationers eventuella koppling till växters vattenupptag.

Brunn av typen spets

Mätstationerna har en av tre typer av brunnar som de utför grundvattennivåmätningarna i, jordbrunn, schaktbrunn eller en brunn av typen Spets. Brunnstyp spets valdes för att få mer snabbreagerande resultat.

Opåverkad plats

Majoriteten av alla mätstationer av grundvattennivåer som SGU ansvarar för är placerade på platser som anses opåverkade. Det innebär att platsen inte ska ha onaturlig påverkan på grundvattenbildningen, grundvattenavrinningen eller på annat sätt generera en grundvattennivå som inte är representativ för platsen och tiden. Men även om målet är att stationen ska vara opåverkad finns det stationer som under årens gång har utsatts för mänsklig påverkan så som omfattande skogsavverkning, byggnationer eller ökade uttag av grundvatten i närliggande områden, och dessa stationer selekterades bort.

Automatlogger

Beräkningarna krävde tidsserier med frekvent mätdata uppmätta med jämna tidsintervaller. För att försäkra om att de utvalda mätstationerna kunde tillhandahålla detta sattes kravet på att de skulle vara utrustade med en automatlogger senast under året 2020.

Stationer med pålitliga data

Stationer som på olika vis uppvisade opålitliga mätresultat i sina tidsserier, så som betydande avbrott i mätserier eller som under fysiska kontroller noterats med omständigheter som ansågs kunna påverka deras tillförlitlighet i projektet sorterades bort. Till den gruppen hör mätstationer som genomgått en markant förändring i markanvändning inom den aktuella perioden, stationer som uppvisade tecken på att inte längre kunna anses opåverkade eller stationer som ofta fick avvikande värden.

Visuell bedömning av grafer över grundvattennivåernas tidsserier

Nästa steg för att sälla ut lämpliga stationer att arbeta med under projektet var en granskning av utseendet på graferna för grundvattennivån för de potentiella mätstationerna under perioden april till juli år 2023. Perioden valdes med förväntan om att kunna se hur dygnsvariationer i grundvattennivåns nivå växte fram och ökade i storlek från det att dygnsvariationerna startade. Graferna studerades och sorterades utifrån om de uppvisade den karaktäristiska 24-timmars dygnsvariationen i grundvattennivån.

Geografisk bedömning

Sista steget i selekteringen av potentiella mätstationer att undersöka blev en selektering baserad på geografiskt icke önskvärda platser. Stationer geografiskt placerade så att deras sommar- eller vintersäsong var kraftigt reducerad, förskjuten, eller kunde antas ha andra starka avvikelser baserade på sin placering plockades i detta steg bort. Norra Norrland har reducerad längd på växtsäsong jämfört med resterande delar av Sverige och stationer placerade i norr sorterades därför bort (SMHI 2022).

Vidare valdes ytterligare tre stationer som under arbetet skulle komma att användas som referenser att jämföra de fyra ursprungligt utvalda stationerna mot. Dessa stationer bestod av en mätstation placerad i berg som tydligt uppvisade hur grundvattennivån påverkades av tideffekten, en station som uppfyllde samma kriterier som de utvalda fyra, men som i motsats till dessa, helt saknade dygnsvariationer i grundvattennivån, och slutligen valdes en station som var föremål för den liknande undersökningen i P-O Johanssons rapport från 1986.

3.3 Beräkningar

I kommande underavsnitt beskrivs de olika typer av beräkningar som skedde under arbetet med rapporten. Till en början genomförs en spektralanalys för att identifiera vilken typ av cyklisk påverkan en mätstations grundvattennivå utsattes för. Därefter beräknades det vad för effekt dygnsvariationerna i grundvattennivån kunde tänkas ha på grundvattennivåns avklingning. Avslutningsvis utfördes en känslighetsanalys för att validera resultaten gällande grundvattennivåns avklingning.

3.3.1 Spektralanalys

Första steget i en undersökning av dygnsvariationerna var att identifiera om påverkan på grundvattennivån orsakades av tideffekten eller av växters vattenupptag.

Detta ska utföras genom en spektralanalys. En spektralanalys är en matematisk metod för att omvandla en signal från tidsspektrumet till frekvensspektrumet, och i det här arbetet användes fouriertransformering. Syftet var att signaler som sker vid upprepande tidsintervaller skulle tydliggöras på en graf med frekvensdomän genom en ökad amplitud. Genom att låta tidsserierna för grundvattennivåerna genomgå en fouriertransformering bör de ge en mer tydlig bild över vilken periodlängd de yttre faktorernas har. En särskiljning i periodlängd förmodades kunna hjälpa till vid en bedömning av ursprunget till den kraft som påverkar grundvattennivån. Detta ska ligga som grund för att kunna besvara frågeställningen hur påverkan från växters vattenupptag skiljer sig från tideffektens påverkan. Då dessa antas ha separerade tidsperioder går dessa signaler att särskilja vid ett frekvensdiagram över signaler som påverkar grundvattennivån. En fouriertransformering av en tidsserie beräknas enligt ekvation (20).

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-\omega t} dt \quad (20)$$

Fouriertransformering går mellan tidsdomän ($t = \text{tid}$) till frekvensdomän ($\omega = 2\pi f$, $f = \frac{1}{\text{tid}}$). En regelrätt Fouriertransformering är en tung matematisk modell att genomföra även med moderna beräkningsprogram och i stället används den enklare varianten Fast Fouriertransformering, FFT, i rapporten (Sollervall & Styf 2006).

Tidsserierna för grundvattennivåerna vid mätstationerna omvandlas från tidsdomän till frekvensdomän med hjälp av FFT, och resultatet sammanställs och plottas mot frekvensen för att påvisa vilken periodlängd signalerna hade. Tideffekten har en periodlängd på tolv timmar och 25 minuter, (två gånger per måndygn) och transpirationen, växternas vattenupptag har en periodlängd på 24 timmar. Detta förväntas återspeglas i de resulterande graferna från FFT beräkningarna och används för att särskilja tideffekten från effekt av växters vattenupptag.

För att fastställa hur en mätstation kan antas vara påverkad av tideffekten eller växters vattenupptag behöver en sommarperiod jämföras med en vinterperiod. Mer över behöver den även jämföras med en station där påverkan från tideffekten är tydlig, samt en station som inte alls uppvisar denna typ av dygnsvariation i grundvattennivån. Detta för att kunna separera

påverkan från växters vattenupptag från påverkan från tideffekten, samt för att påvisa att en station utan de dygnliga fluktuationerna i grundvattennivå helt saknar cyklisk påverkan från båda dessa. Tidsperioderna när data granskades från mätstationerna för sommar respektive vinter presenteras nedan i Tabell 2. Spektralanalysen ska utföras för ett år.

Tabell 2. Start och slutdatum för perioderna sommar samt vinter för spektralanalys.

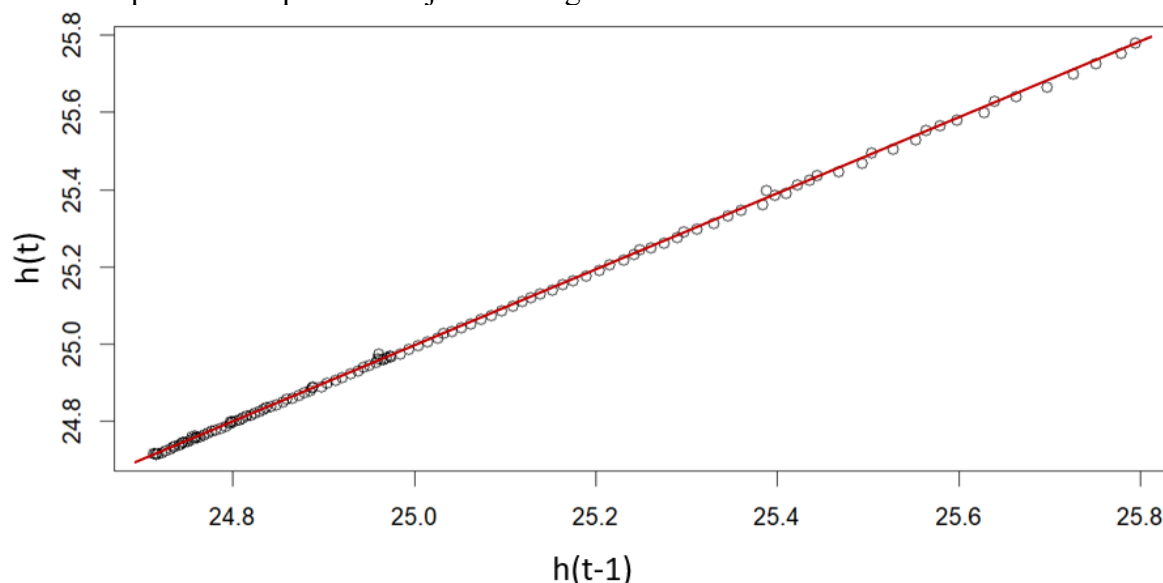
tidsperiod	startdatum	slutdatum
sommar	1/6	30/9
vinter	1/11	28/2

Koden för spektralanalysen i form av fouriertransformeringar återfinns i Bilaga 1.

3.3.2 Beräkning av recessionskoefficient

För att kunna studera dygnsvariationerna i grundvattennivå är det lämpligt att kunna jämföra recessionskoefficienten för perioder *innan dygnsvariationer* samt perioder *med dygnsvariationer*. Båda dessa ska vara perioder utan grundvattenbildning. Detta för att tydliggöra eventuella skillnader mellan periodernas påverkan på grundvattennivåns avklingning.

För att hitta recessionskoefficienten k ska Langbeins (1938) metod användas. Metoden är utformad för att passa mätserier med jämna tidssteg vilket är fallet för SGU:s mätningarna av grundvattennivåer, och används genom att plotta grundvattennivåer med en konstant tidsintervall mellan mätningarna mot varandra, ett exempel visas i Figur 10. En linjärregression av dessa punkter skapas och linjens lutning används för att beräkna recessionskoefficienten.



Figur 10. Grundvattennivå $h(t)$ plottad mot grundvattennivå vid föregående mättillfälle $h(t-1)$. Den röda linjen visar den linje vars lutning som beräkningarna av recessionskoefficienterna utgår ifrån.

Under perioder med ingen eller väldigt liten grundvattenbildning kan avsänkningen av grundvattennivån beräknas enligt ekvation (21) nedan som i likhet med ekvation (7) möjliggör att beräkna nuvarande grundvattennivå med hjälp av den föregående:

$$h(t) - h_{\text{ref}} = (h_0 - h_{\text{ref}})e^{-kt} \quad (21)$$

h_{ref} = grundvattennivåns referensnivå

$h_0 = h(t_0)$

k = recessionskoefficienten

Fortsättningsvis antas att $h_{\text{ref}} = 0$, (0 meter över havet) och ekv. (20) kan skrivas om till

$$h(t) = (h_0)e^{-kt} \quad (22)$$

För att kunna använda Langbeins metod behöver grundvattnets höjdnivåer vara mätta med jämna tidsintervaller. Om magasinet dessutom anses linjärt kan grundvattennivåns höjdläge beräknas genom:

$$h_{t_i} = (h_0)e^{-kt_i} \quad (23)$$

$$h_{t_{i-1}} = (h_0)e^{-kt_{i-1}} \quad (24)$$

Ekvation 23 divideras med ekvation 24:

$$\frac{h_{t_i}}{h_{t_{i-1}}} = \frac{(h_0)e^{-kt_i}}{(h_0)e^{-kt_{i-1}}} = e^{-k\Delta t} \quad (25)$$

$$h_{t_i} = e^{-k\Delta t} * h_{t_{i-1}} \quad (26)$$

där $e^{-k\Delta t}$ är lutningen på den linje som genereras genom att plotta $h(t)$ mot $h(t-1)$ (se Figur 10) och kan skrivas om till:

$$e^{-k\Delta t} = \lambda \rightarrow \ln(\lambda) = -kt \quad (27)$$

$$k = -\frac{\ln(\lambda)}{\Delta t} \quad (28)$$

För att applicera metoden på tidsserier med periodvis varierande antal mättillfällen per dygn skapas en tidsserie med medelvärden för grundvattennivåns nivå för varje dygn i den kod som användes för beräkningarna av recessionskoefficienten. Koden för beräkningarna återfinns i Bilaga 2.

Metoden kräver att tre typer av recessionskoefficienter beräknas. Den första är en *generell recessionskoefficient* som beräknas för varje station med syfte att jämföra mot de värden som angivits i Tabell 1, värden från tidigare arbeten. Genom att jämföra storleken på resultaten för de *generella recessionskoefficienterna* är förhoppningen att kunna uppskatta om beräkningsmetoden är användbar. Beräkningarna av de *generella recessionskoefficienterna* tar inte hänsyn till grundvattenbildning utan sträcker sig från startdatumet 1/11 år 2020 fram till slutdatumet 28/2 år 2024 för samtliga utvalda mätstationer.

Vidare så beräknas ytterligare två typer av recessionskoefficienter, en för tidsperioden *innan dygnsvariationer* uppstår, och en för perioden *med dygnsvariationer*. Dessa båda tidsperioder hänvisar till en 15 dygns period med låg till ingen grundvattenbildning, som infaller innan respektive under den period som dygnsvariationerna är synliga. En enkel sammanställning av tidsperioderna och dess längd för de olika recessionskoefficienterna redovisas i Tabell 3. Valet av en tidsperiod på 15 dygn motiveras i avsnitt 3.4.3 känslighetsanalys. Generellt infaller en period representativ för innan dygnsvariationeras start under våren eller tidig sommar, medan en period med dygnsvariationer mäts upp i slutet av sommaren. För mätstationen Kallåsbäcken 1 som inte uppvisar denna typ av dygnsvariation i sina mätningar av grundvattennivåer används period som motsvara de andra i datum. Beräkningarna av dessa två recessionskoefficienter sker under flera år, och en total sammanfattning av de datum som använts för att beräkna recessionskoefficienterna återfinns i Bilaga 4.

Tabell 3. Tidsperioder i datum eller längd för beräkningarna av de tre separata recessionskoefficienterna

<i>generell recessionskoefficient</i>	<i>recessionskoefficient innan dygnsvariationer</i>	<i>recessionskoefficient med dygnsvariationer</i>
01-11-2020 → 28-02-2024	15 dygn	15 dygn

3.3.3 Känslighetsanalys

För att få en insikt i hur känsliga beräkningarna är för små ändringar i tidsperioder, och hur detta påverkar den beräknade recessionskoefficienten behöver en känslighetsanalys utföras.

För att undersöka hur recessionskoefficienten varierar beroende på längden på tidsperioden sker en analys över dess spridning för fem olika tidslängder från två upp till 30 dygn. Dessa beräkningar upprepas tio gånger för på varandra följande datum. Resultatet av detta var tänkt att påvisa hur stabilt eller instabilt den beräknade recessionskoefficienten kan antas vara för olika längd på tidsperioden. Vidare behöver det undersökas hur de specifikt utvalda datumen för tidsperioderna kan tänkas påverka resultatet. Detta utförs på ett likvärdigt sätt för tre tidsintervall för 29 på varandra följande datum. Samtliga beräkningar kommer att använda mätstationen Lagga under sommar 2018 som underlag eftersom det var en torr sommar med lång period med kontinuerligt sjunkande grundvattennivå. Koden för känslighetsanalysen återfinns i Bilaga 3 samt en fullständig tabell över datum och perioder i Bilaga 5.

4. Tidigare arbeten

För att få en bättre insikt i hur dygnsvariationerna i grundvattennivån fungerar och hur de påverkas av yttre faktorer utfördes en litteraturstudie. Syftet var att undersöka hur relationen mellan växtlighet och grundvatten ser ut, hur tidalkraften påverkar grundvattennivån samt hur tidigare undersökningar har förhållit sig till liknande dygnsvariationer i grundvattennivåer. Resultatet av denna studie presenteras i kommande underavsnitt

4.1 Tideffektens påverkan på grundvattennivån

Inledningsvis undersöktes hur relationen mellan grundvatten och tideffekten förhåller sig.

Nilsson (1968) studerade hur tideffekten påverkar grundvattennivån i sprickiga berg. Där beskrivs det hur tideffekten komprimerar berget vilket resulterar att de sprickor och porer som grundvatten befinner sig i pressas samman och trycket ökar. Även om effekten uppmätt i grundvattenrör kan ha en viss fördröjning så anser Nilsson att sambandet är tydligt och att grundvattennivån i sprickigt berg tydligt följer tideffektens cykler.

Vidare undersöktes hur fouriertransformering kunde användas för att identifiera ursprunget till en återkommande yttre påverkan på grundvattennivåer. I rapporten av Tawfiq och Jabber (2017) använder fouriertransformering för att kunna identifiera orsaken till en dygnsbaserad nivåförändring i grundvattennivån i kustnära områden. vilket ligger i linje med den metod som valdes i det här arbetet för att kunna identifiera och särskilja dygnsvariationerna i grundvattennivån som kan ha orsakats av växters vattenupptag, från den påverkan tidalkraften har på grundvattennivån. I likhet med Nilssons (1968) rapport visar resultatet av Fouriertransformering på ett tydligt sammanband mellan tideffekten frekvens och den frekvens med vilken grundvattennivån fluktuerar på den plats som Tawfiq och Jabber undersöker. En återkommande stigning i grundvattennivåns nivå två gånger per dygn, vilket var samma resultat som rapporten av Kim et al (2005) gav, som även den använde tidsserier för att identifiera tideffektens påverkan på grundvattennivåer i kustnära områden.

4.2 Interaktion mellan växter och grundvattennivån

I rapporten av Le Maitre et al (1999) vänds fokuset ifrån fouriertransformering och tideffekten, och rapporten behandlar hur det i Sydafrika, ur en hydrologisk synvinkel, ses på markvatten och grundvatten som två separata system. Implementering av nya grundvattendirektiv i Sydafrika gav upphov till ett behov att bättre förstå interaktionen mellan växter och låga grundvattennivåer, vilket var syftet med rapporten. Detta ansågs vara av intresse för att bättre förstå hur relationen mellan bildat grundvatten och växters vattenupptag ser ut. Slutsatsen som arbetet ledde till vara att det fanns två typer av interaktioner mellan grundvatten och växter, antingen när växters vattenupptag reducerar grundvattenbildning, eller genom extraktion av grundvatten genom djupa rötter eller genom placering i närheten av grundvattenutflöden. Djupa rötter och dess påverkan på grundvatten är något som återkom senare i litteraturstudien.

Interaktionen mellan växter och grundvatten i torra klimat undersöks i rapporten av Huang et al (2019). Syftet med rapporten var att bidra med kunskap om hur relationen mellan växter och grundvatten ser ut för att bidra till en hållbar utveckling för hantering av grundvattenresurser. Studierna belyser att interaktionen mellan växters vattenupptag och grundvatten består av två delar, dels i en reduktion av grundvattenbildningen via vattenupptag i markvattenzonen, dels genom direkt upptag av grundvatten via djupgående rötter. Buskar av arten *Tamarix* visades tillfredsställande kunna tillgodose sig av grundvatten vid djupet 9.4 meter under markytan. När grundvattennivån sjönk till 14.8 meter under markytan begränsades dock buskarnas

vattenupptagförmåga och grundvattnet utgjorde inte längre en tillförlitlig vattenkälla för Tamarix buskarna. Vidare diskuterar rapporten hur växter med djupgående rötter kan spela en viktig roll i att förse växter med ytligare rotsystem med vatten, detta genom att transportera upp vatten från grundvattnet. Resultatet visade dock att hur interaktionen mellan grundvatten och växter såg ut var platsspecifikt och berodde på flertalet parametrar så som syrebrist, salthalt, topografi samt klimat.

4.3 Växters dygnsrytmiska påverkan på grundvattennivån

White (1932) beskrev hur en dygnsvariation i grundvattennivån gick att notera i mätstationer i Utah, under växtsäsongen. Det White noterade i sina studier var att grundvattennivån sjönk dagtid när evaporationen var som störst. Grundvattennivån började sjunka ungefär klockan tio på förmiddag och nådde sin lägsta punkt runt klockan 18 på kvällen. Därefter steg grundvattennivån för att nå sin högsta nivå strax innan tio på morgonen, då cykeln upprepades igen. Den största nivåskillnad som uppmättes under en dygnsperiod var tio cm, mätt i en mätstation omgiven av pilträd under den tid på året då tillväxten hos träden var som störst. Storleken hos den dygnsliga fluktuationen verkade även styras av temperatur, vind och solens intensitet, och följde mer eller mindre hur evaporation av öppna vattenytor förhöll sig, där varma blåsigas dagar genererade den största förändringen i nivån.

I arbetet utfört av Butler et al (2005) definieras begreppet *freatofyter*, ett samlingsnamn för växter med stora djupgående rotsystem med kapacitet att tillgodose sig av vatten ifrån den mätade zonen. I rapporten utvärderas med hjälp av Whites metod hur dessa typer av växter påverkar grundvattennivån med sitt vattenupptag och hur det i längden påverkar vattenbudgeten i grundvattenmagasinen. Whites metod använder sig av nettoinflödet beräknat via grundvattennivåns återhämtning nattetid (som tidigare nämndes i rapporten av White, 1932) då det inte antas förekomma någon transpiration. Förändringen i grundvattennivån kan då hjälpa till att bestämma den specifika avkastningen för att på så vis kunna bestämma evapotranspirationen. Slutsatsen som drogs av arbetet med rapporten blev att freatofyternas grundvattenkonsumtion gick att analysera med Whites metod och att denna kunskap var av vikt för de grundvattenpolicys som implementeras världens över.

I rapporten av Johansson (1986) behandlas grundvattennivåns dygnsfluktuation under sommarmånader i sandig morän. Sammanfattningsvis kopplades dessa variationer i grundvattennivån till evapotranspirationens tidscykel på 24 timmar, och att de iaktogs även på djup längre än två meter under markytan i svenska mätstationer. Vidare undersöker rapporten om det är direkt rotupptag av grundvatten som är orsaken till fluktuationerna eller om det sker via kapillär transport av grundvatten som resultat av vattenupptag högre upp i jordprofilen. Resultatet av en endimensionell simulation blev att dygnsvariationerna uppstod även om rötterna inte hade direkt kontakt med grundvattnet, men att det var starkt beroende av jordens vattenhållande egenskaper. En av de mätstationer som data hämtades från under arbetet med Johanssons rapport var mätstationen 5_3, Emmaboda 3, som även denna rapport valde att undersöka.

Grip och Rodhe (2016, s 101) beskriver hur evapotranspirationen har påvisats ha en påverkan på grundvattennivån. Evapotranspirationens dygnsvariationer återspeglades genom att vatten reducerades från avrinningen i både ut- och inströmningsområden. Vidare beskrivs det hur grundvattennivån har en snabbare avklingning sommartid jämfört med vintertid. Orsaken beskrivs vara evaporation från fria vattenytor men även transpiration där vatten tas från både den mätade och den omätade zonen.

Slutligen behandlar rapporten av Luo (2016) hur markvatten rör sig uppåt under torra förhållanden, och tillgängliggör vatten i rotzonen för växter genom hydraulisk omfördelning. Rapporten visar genom modellering att i homogena jordprofiler finns ett uppåtriktat flöde av vatten genom marken som tillgängliggörs för växter.

5. Områdesbeskrivning

De utvalda mätstationerna för arbetet beskrivs i avsnitten nedan.

5.1 Utvalda stationer

Fyra mätstationer valdes ut som alla hade uppvisat det uppmärksammade karaktäristiska dygnsvariationerna i grundvattennivå under torra sommarperioder. Dessa fyra stationer kommer rapporten fokusera på att undersöka. Vidare valdes ytterligare tre stationer för att jämföra resultaten med förhoppning om att kunna fastställa typ och storlek av påverkan på grundvattennivån i de fyra huvudmätstationerna. Samtliga stationer redovisas i tabell 4 nedan.

Tabell 4. Utvalda mätstationer att undersöka dygnsvariationer samt gråmarkerade mätstationer att jämföra mot.

mätstation	stationsnummer	magasin	magasinslutenhet	strömningsområde
Huddinge 2	171_2	jord	sluten	mix
Lagga 2	95_2	jord	öppen	utströmning
Moheda 2	142_2	jord	öppen	inströmning
Tärnsjö 32	23_32	jord	sluten	inströmning
Vetlanda 2	113_2	berg	öppen	inströmning
Källsbacken 1	99_1	jord	öppen	inströmning
Emmaboda 3	5_3	jord	öppen	inströmning

Sammanlagt innebär det att sju mätstationer kommer att användas i arbetet som samtliga beskrivs närmare i kommande underavsnitt.

5.1.1 Huddinge 2

Station Huddinge 2 (Figur 11) har varit aktiv med mätningar utfört av automatlogger sen början av år 2020 och är en brunn av spetstyp placerad i ett slutet magasin, i jord. Röret är klassat som opåverkat och ligger intill ett smalt vattendrag omgivet av öppna fält och skogbeklädd mark (SGU 2024). Grundvattennivån varierar mellan att ligga ett par decimeter under markytan när den är som högst, till att sjunka till ett djup av ungefär 1.5 meter när den är som lägst.

5.1.2 Lagga 2

Ett par mil sydöst om Uppsala stad, i Knivsta kommun ligger mätstationen Lagga 2, se Figur 11. Stationen var bland de första att bli utrustad med en automatlogger redan år 2011 och har sen dess registrerat grundvattennivån upp till tolv timmar per dygn. Platsen mätstationen är klassificerad som opåverkad och det direkta närområdet består mestadels av skogbeklädd mark och åkrar, dock utfördes en skogsavverkning i närheten av röret i maj 2016. Jordarten på platsen är morän och dess topografiska läge gör det till ett utströmningsområde. Observationsröret är av spetstyp och är placerad i ett slutet magasin i jorden. Grundvattennivån vid mätstation Lagga 2 varierar mellan att vara nästan i höjd med marknivån under våren när grundvattennivån står som högst, till att sjunka nästan tre meter under markytan när den står som lägst. (SGU 2024).

5.1.3 Moheda 2

Beläget i en skogklädd dunge i södra Sverige ligger station Moheda 2, se Figur 11. Platsen är klassificerad som opåverkad, är ett inströmningsområde i morän. Grundvattenmagasinet



Figur 11. Karta över Sverige med de sju aktuella mätstationerna markerade. 1. Huddinge 2. Lagga 3. Moheda 4. Tärnsjö 5. Vetlanda 6. Kallåsbäcken 7. Emmaboda

spetsen är placerad i är ett öppet magasin i jord. Stationen blev utrustad med automatlogger under slutet av år 2019. Grundvattennivån vid Moheda 2 når aldrig riktigt upp till markytan men kan sjuka så lågt som närmare fyra meter under när den är som lägst under sommaren. (SGU 2024).

5.1.4 Tärnsjö 32

Tärnsjö 32 är beläget i Heby kommun, se Figur 11, och har mätt grundvattennivå med manuella mätningar sen 1987. Under 2017 installerades det automatlogger på stationen som är placerad på opåverkad mark i tät skog. Observationsröret är beläget i ett inströmningsområde, och grundvattenmagasinet som spetsen är placerad i är ett öppet magasin i jord. Djupet på grundvattennivån vid stationen i Tärnsjö varierar stort under året och når sällan högre än fyra decimeter under markytan, men kan nå så djupa nivåer som mer än tre meter under markytan under sommaren (SGU 2024).

5.1.5 Vetlanda 2

Till skillnad från de andra stationerna i rapporten är station Vetlanda 2 inte placerad i jord utan i berg. Jordarten på platsen är morän och grundvattenmagasinet är öppet men stationens spets är placerad i berg till skillnad från övriga stationer. Mätstationen är placerad i södra Sverige (Figur 11) och platsen är ett opåverkat inströmningsområde i ett skogsbeklätt område angränsande jordbruksmark. Mätningar med automatlogger har utförts på stationen sedan början av år 2020 (SGU 2024).

5.1.6 Kallåsbäcken 1

Mätstationen ligger strax utanför Tierp (Figur 11), i anknytning till ett skogsbeklätt parti i ett annars öppet jordbrukslandskap. Magasinet är ett öppet grundvattenmagasin där spetsen till grundvattenröret är placerad i jord. Jordarten är morän och platsens status som in- eller utströmningsområde är inte angiven. Mätningarna på stationerna har pågått sedan slutet av sommaren år 2011 (SGU 2024).

5.1.7 Emmaboda 3

Mätstationen 5_3 i Emmaboda är inaktiv sen augusti 2019. Stationen är dock ändå användbar då den fram till sin avstängning var utrustad med automatlogger som mätte grundvattennivån flertalet gånger per dygn mellan åren 2016–2019. Intresset med stationen är att den var föremål för liknande undersökningar Johansson (1986). Stationen är belägen i södra Sverige (Figur 11) strax norr om Emmaboda intill ett järnvägsspår, där omkringliggande mark är dels jord, dels skogsbeklädd mark (SGU 2024).

6 Resultat

I kommande avsnitt presenteras resultatet av Fouriertransformeringarna av mätstationernas tidsserier över grundvattennivån för de separata mätstationerna, samt de resultat som beräkningen av recessionskoefficienten gav för de olika tidsperioderna. Avslutningsvis presenteras resultatet av den känslighetsanalys som utfördes över metoden för recessionskoefficients beräkningarna.

6.1 Spektralanalys

I kommande underkapitel presenteras resultaten av, spektralanalyserna utförda med fouriertransformering. Resultaten för mätstationernas sommar samt vintertidsserier presenteras i separata grafer. För att underlätta avläsningen av graferna är timmarna tolv samt 24 markerade med vertikala röda linjer. Dygnsvariationer orsakade av växters vattenupptag visar på en signal vid 24 timmar sommartid, och ingen signal under vintern. För en station vars grundvattennivåer är påverkade av tideffekten finns signaler vid både 12 och 24 timmar under både sommar och vinter.

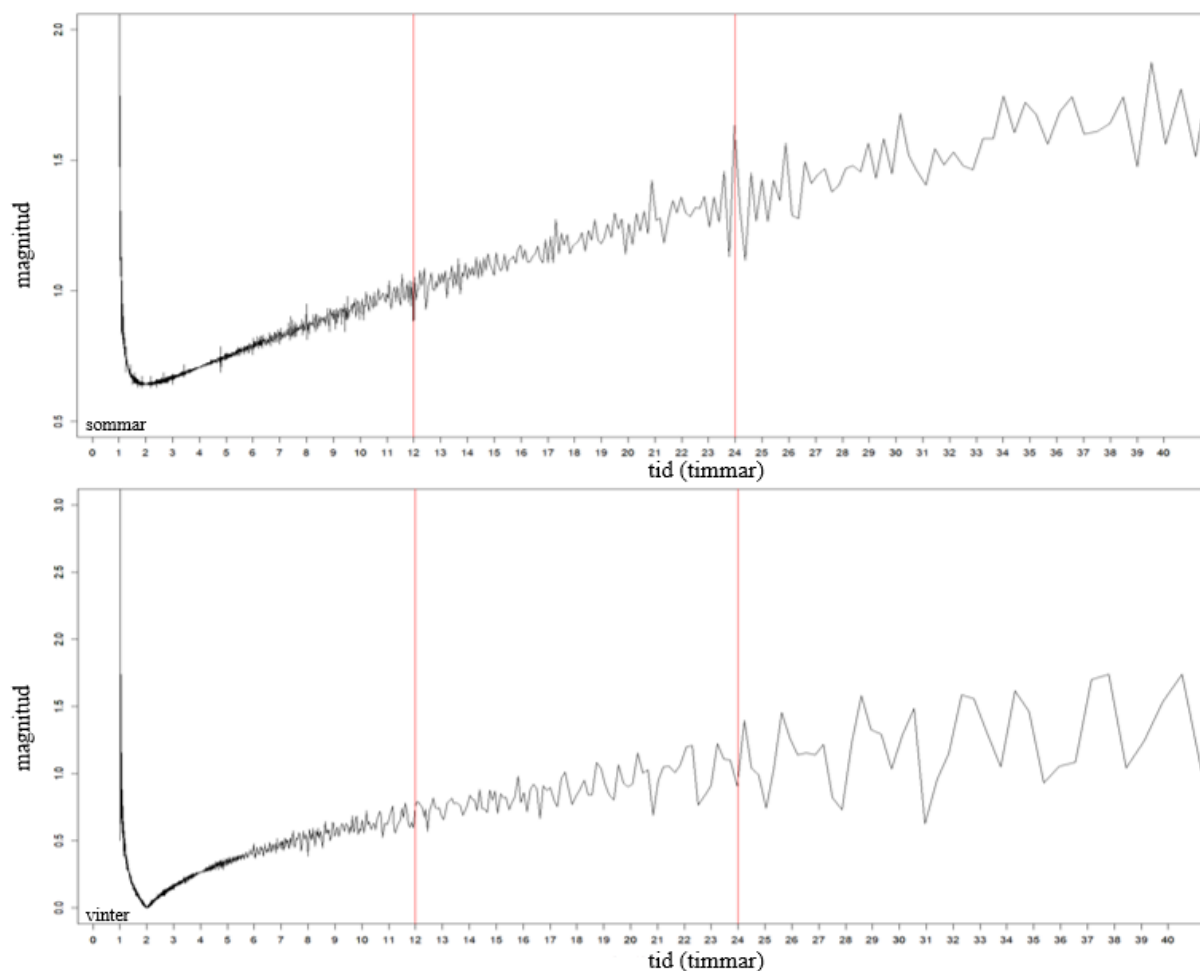
I Tabell 5 nedan presenteras de mätstationer som var fokus för spektralanalysen med datum för respektive tidsperiod samt mätstationens syfte

Tabell 5. Mätstationernas datum för vinter- respektive sommarperiod för spektralanalys, samt mätstationernas syfte i rapporten.

<i>mätstation</i>	<i>vinter</i>	<i>år</i>	<i>sommar</i>	<i>år</i>	<i>mätstationens syfte</i>
Huddinge 2	1/11 – 28/2	2020/2021	1/6 – 30/9	2021	undersöka potentiellt växtupptag
Lagga 2	1/11 – 28/2	2018/2019	1/6 – 30/9	2018	undersöka potentiellt växtupptag
Moheda 2	1/11 – 28/2	2020/2021	1/6 – 30/9	2021	undersöka potentiellt växtupptag
Tärnsjö 32	1/11 – 28/2	2020/2021	1/6 – 30/9	2021	undersöka potentiellt växtupptag
Vetlanda 2	1/11 – 28/2	2021/2022	1/6 – 30/9	2022	referens för tideffekten
Emmaboda 3	1/11 – 28/2	2016/2017	1/6 – 30/9	2016	referens för tidigare dygnsvariation

6.1.1 Huddinge 2

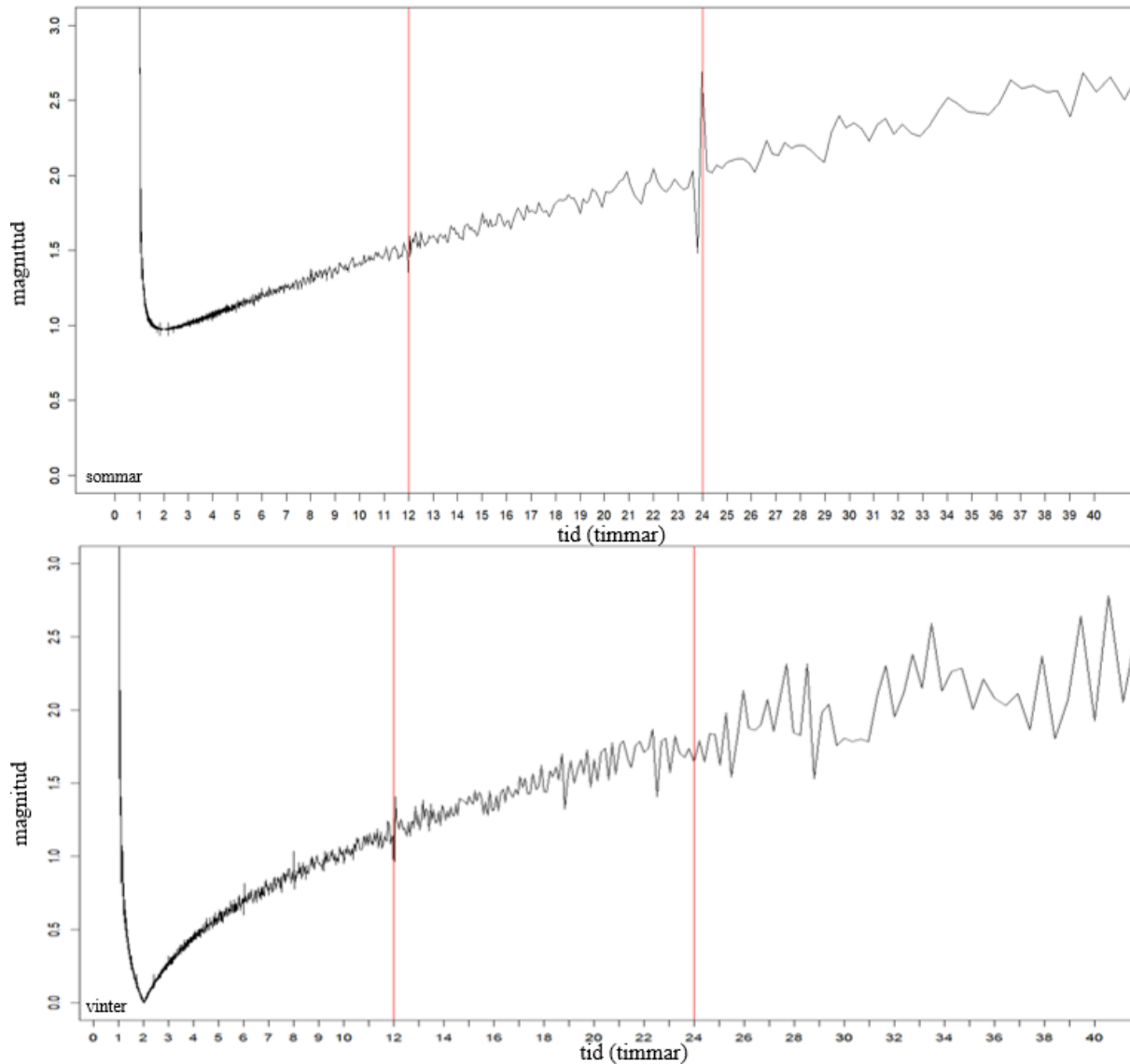
Figur 12 nedan avser spektralanalysen av grundvattennivåerna för mätstation Huddinge 2 sommartid samt vintertid. Sommartid visar resultatet på en signal vid 24 timmar men saknar signal vid både tolv och 24 timmar vintertid. Resultatet tyder på att de dygnsvariationer som uppstår i Huddinge 2 under sommaren är ett resultat av växters vattenupptag.



Figur 12. Spektralanalys för Huddinge 2 sommar (övre) och vinter (undre). För sommaren finns en signal vid 24 timmar. För vintern saknas återkommande signal.

6.1.2 Lagga 2

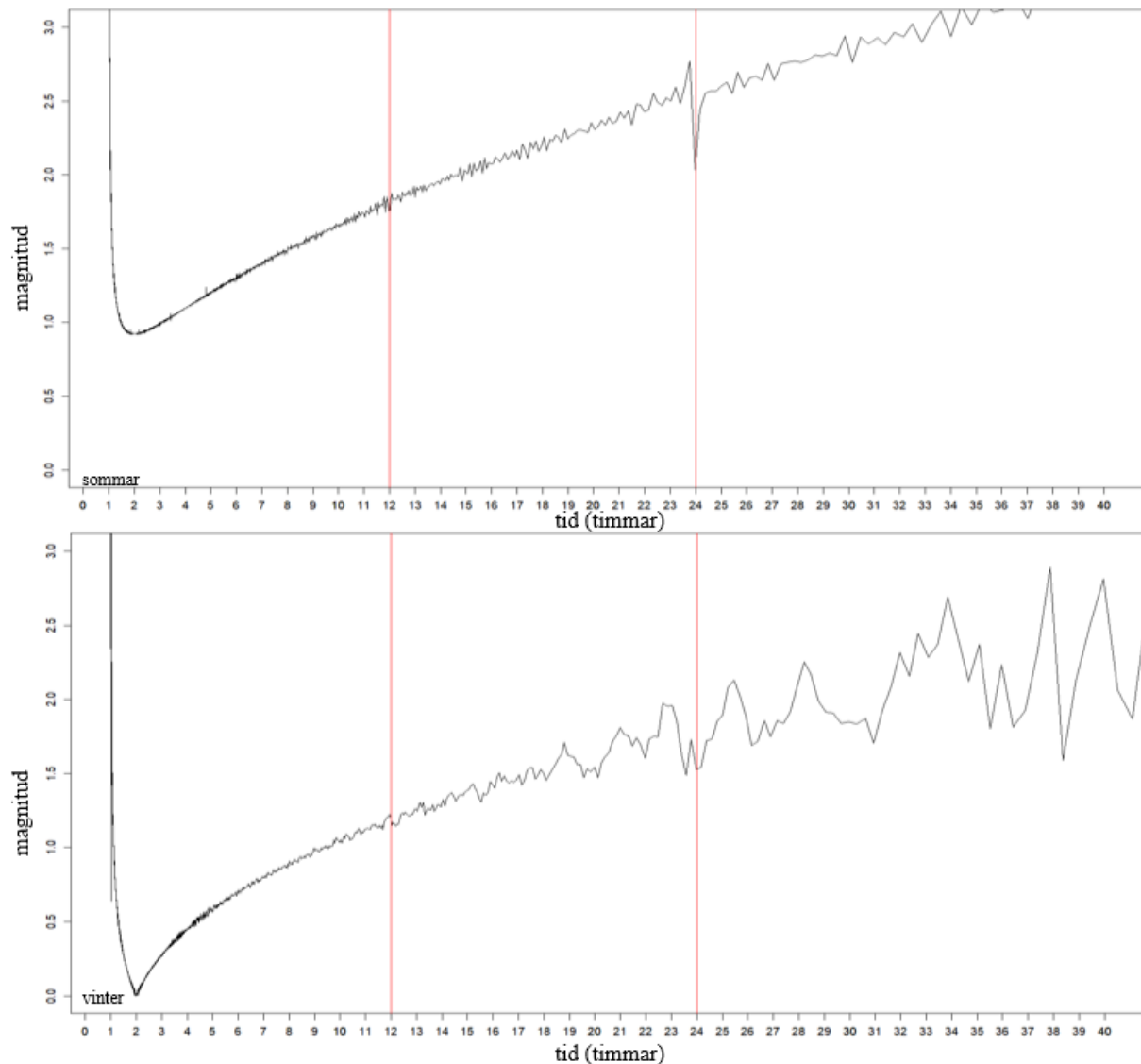
Resultaten för Lagga 2 presenteras i Figur 13 nedan. För Lagga 2 under sommaren syns en tydlig signal vid endast 24 timmar. Vintertid går det inte att identifiera någon återkommande signal vid tolv eller 24 timmar, både dessa resultatet tyder på en påverkan på grundvattennivån under sommaren från växternas vattenupptag.



Figur 13. Lagga 2 sommar (övre) samt vinter (undre). Spektralanalysen visar på en signal vid 24 timmar under sommaren, men en avsaknad av signalvintertid.

6.1.3 Moheda 2

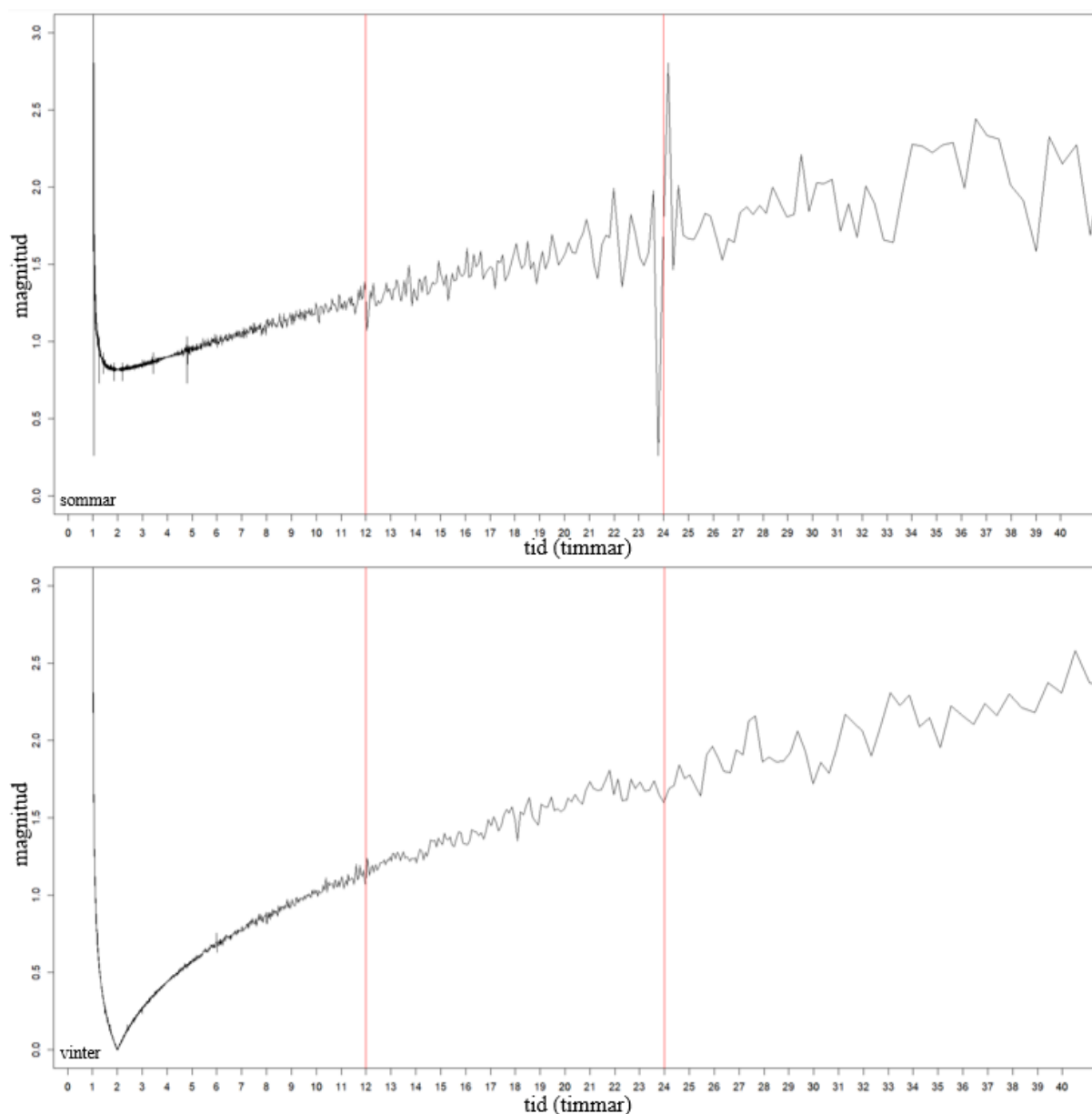
Figur 1 nedan avser resultatet av Fouriertransformering av grundvattennivåns tidsserie för Moheda 2. Under sommaren som visas i övre delen av Figur 14 finns en svag respons vid markeringen för 24 timmar. Vintertid går det inte att notera en signal vid vare sig tolv eller 24 timmar. Resultatet överensstämmer med det förväntade resultatet för en mätstation där dygnsvariationer sommartid är ett resultat av växters vattenupptag.



Figur 14. Resultatet av Fouriertransformeringar av grundvattennivåer för Moheda 2 sommar (övre) samt vinter (undre). Under sommaren visas en signal vid 24 timmar, men under vintern saknas det återkommande signaler vid både tolv och 24 timmar.

6.1.4 Tärnsjö 32

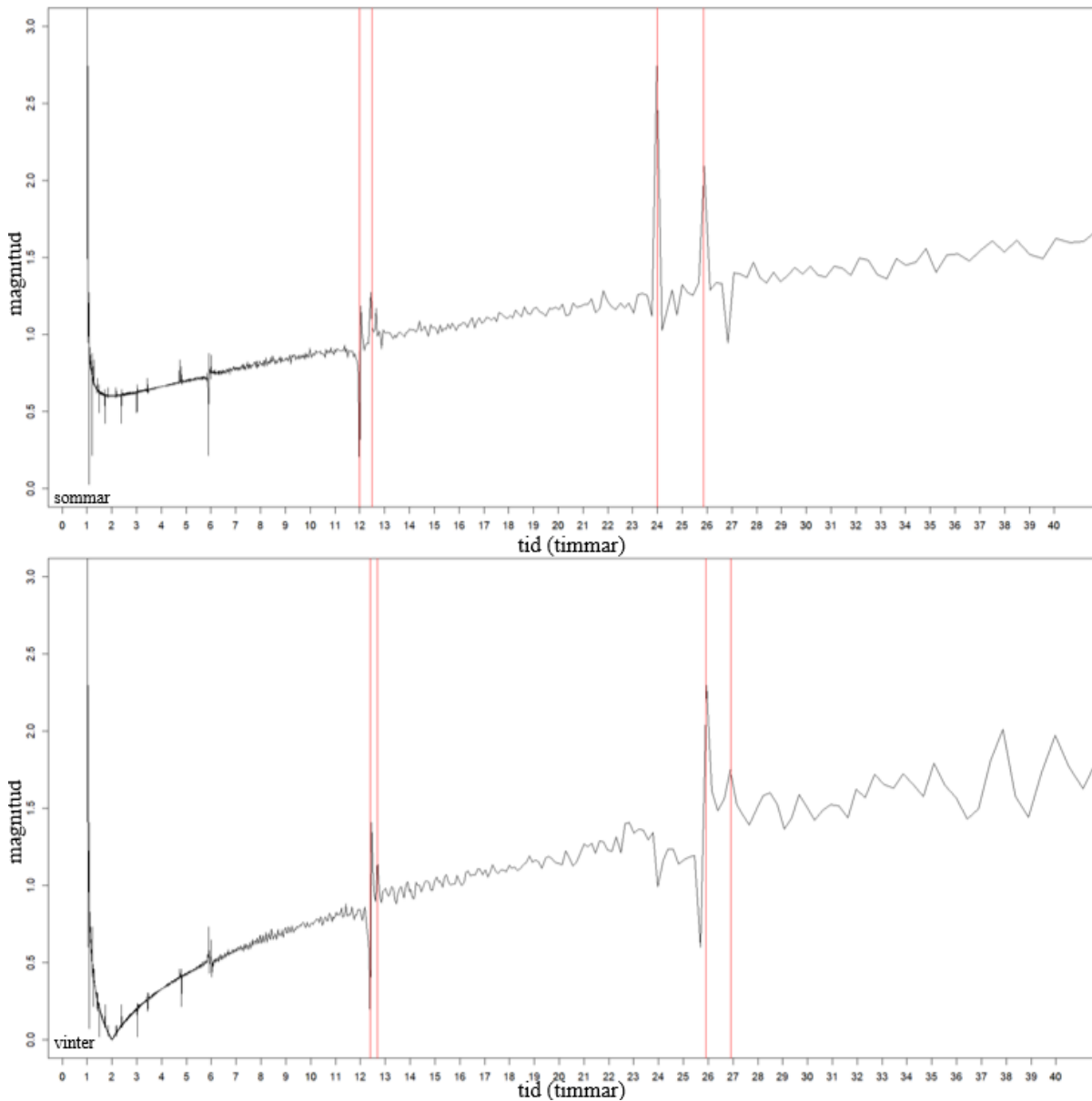
I Figur 15 nedan visas resultatet av spektralanalysen för mätstation Tärnsjö 32. I den övre delen av figuren ses resultatet för sommaren där stationens grundvattennivåer visas vara påverkade av en signal vid 24 timmar. För vinterperioden som visas i den undre delen av Figur 15 saknas det återkommande signaler vid både tolv och 24 timmar. Båda resultaten tyder på att dygnsvariationerna grundvattennivån sommartid i Tärnsjö 32 är ett resultat av växternas vattenupptag.



Figur 15. Spektralanalysen av grundvattennivåernas tidsserie för Tärnsjö 32. I övre delen ses en signal vid 24 timmar återkomma sommartid, och i den undre delen saknas det signal vid både tolv och 24 timmar vintertid.

6.1.5 Vetlanda 2

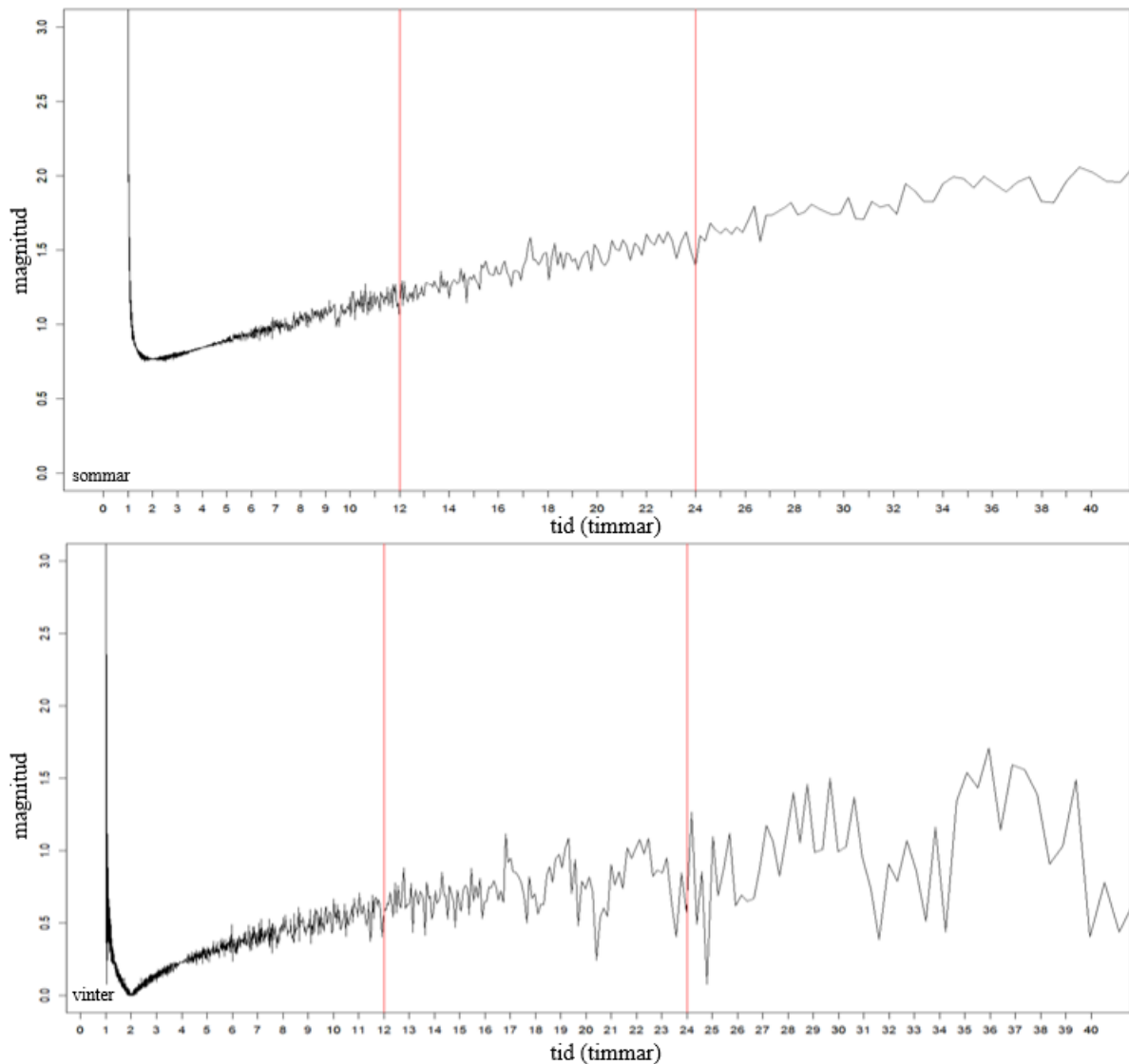
Vetlanda 2 mätstation blev utvald för den tydliga påverkan tidalkraften hade på mätstationens grundvattennivå. Till skillnad från de andra mätstationernas grafer är Vetlanda utrustad med fyra vertikala röda linjer, vilket syns i Figur 16. Detta är för att tydligt markera de dubbla toppar som tidigare beskrivits i rapporten, samt tideffektens svaga förskjutning på tolv timmar och 25 minuter. De första topparna i grafen vid ungefär tolv och 24 timmar är högre än den strax efterföljande toppen vid samma tid. Under sommaren noteras signalerna vid tolv och nästan 13 timmar, samt vid 24 och 26 timmar. Under vintern noteras signalerna vid ungefär tolv och en halv timme samt nästan 26 och 27 timmar.



Figur 16. Mätstation Vetlanda 2 med tydliga signaler från tideffekten. För både sommar (övre) och vinter (undre) syns dubbla signaler vid både ungefär tolv timmar och vid ungefär 24 timmar. Tidsförskjutningen är ett resultat av tideffektens periodlängd på 24 timmar och 50 minuter.

6.1.6 Emmaboda 3

Emmaboda 3 station valdes ut för att den varit del av undersökningen som Johansson (1986) utförde. Johanssons rapport visade Emmaboda mätstation 3 en tydlig dygnsvariation i grundvattennivåns nivå under torra sommarperioder, något som dock inte avspeglas i den övre delen av Figur 17. Resultatet diskuteras vidare i avsnitt 7.1. Vintertid (nedre delen Figur 17) uppvisar mätstationen inga återkommande signaler som påverkar grundvattennivåns nivå. Bristen på signaler innebär att Emmaboda 3 inte uppvisar någon återkommande påverkan från växternas vattenupptag på grundvattennivån för det undersökta året 2018.



Figur 17. Emmaboda 3 uppvisar inga signaler sommartid (övre) eller vintertid (undre) under året 2018.

6.1.7 Spektralanalys för samtliga stationer

Nedan i tabell 6 presenteras en sammanställning av resultatet för samtliga stationers signaler som presenterats i tidigare avsnitt. I tabellen går det att se att samtliga fyra utvalda huvudstationer uppvisar resultat som tyder på att deras dygnsvariationer sommartid är ett resultat av växters vattenupptag.

Tabell 6. Sammanställning av mätstationernas signaler.

<i>mätstation</i>	<i>påverkan från växtupptag</i>	<i>påverkan från tidaleffekten</i>
Huddinge 2	✓	–
Lagga 2	✓	–
Moheda 2	✓	–
Tärnsjö 32	✓	–
Vetlanda 2	–	✓
Emmaboda 3	–	–

6.2 Beräkning av recessionskoefficient

Nedan presenteras de resultat som beräkningarna av recessionskoefficienterna gav och hur de skilde sig för perioden *innan dygnsvariationer* uppstod jämfört med perioden *med dygnsvariationer* i grundvattennivåerna för de utvalda mätstationerna. Resultatet presenteras i form av boxdiagram där medelvärde är markerat med x, medianen är markerad med ett horisontellt streck igenom diagrammets box samt där min- och maxvärden är markerade med whiskers.

6.2.1 Generell recessionskoefficient

Tabell 7 nedan visar sammanställningen av den *generella recessionskoefficienten* som inte tog hänsyn för grundvattenbildning, för mätstationerna. Resultatet används för att jämföra med värden av recessionskoefficienten i morän från tidigare arbeten för att validera den valda beräkningsmetoden. Med undantag för mätstationen Moheda 2 är den *generella recessionskoefficienten* för samtliga mätstationer av samma storleksordning som recessionskoefficienterna för morän presenterade i tidigare arbeten, med undantag för recessionskoefficienterna beräknade med metoderna av Olin och Langbein.

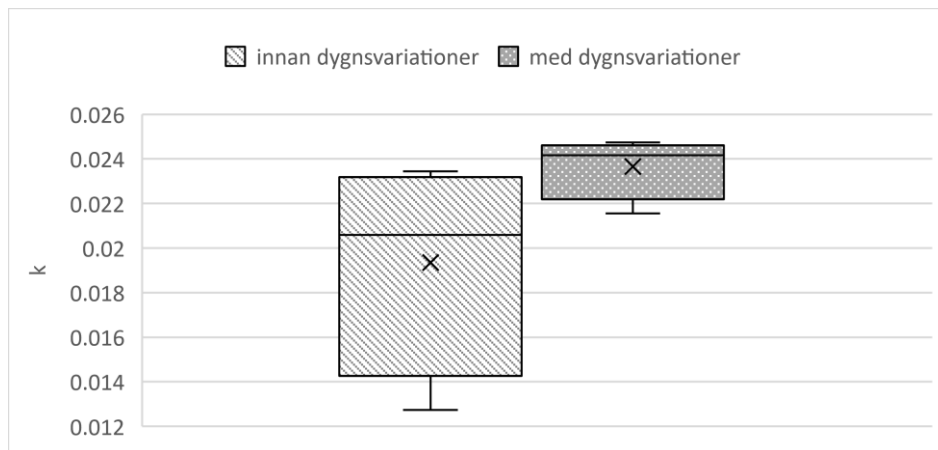
Tabell 7. Sammanställning av mätstationernas generella recessionskoefficient. Den generella recessionskoefficienten tar inte hänsyn till grundvattenbildning.

<i>Mätstation</i>	<i>generell recessionskoefficient [dygn^{-1}]</i>	<i>år</i>
Huddinge 2	0.0042	2020–2024
Lagga 2	0.0025	2020–2024
Moheda 2	0.0006	2020–2024
Tärnsjö 32	0.0011	2020–2024
Kallåsbäcken 1	0.0029	2020–2024

<i>författare/metod</i>	<i>recessionskoefficient</i>
Sundén (2009)/Olin (1995)	0.0175
Sundén (2009)/Langbein (1938)	0.0220
Sundén (2009)/Barnes (1939)	0.0081
Rodhe m.fl. (2008)	0.0065
Sandqvist (2012)/kalibrerad	0.004
SGU-HYPE	0.0031

6.2.2 Huddinge 2

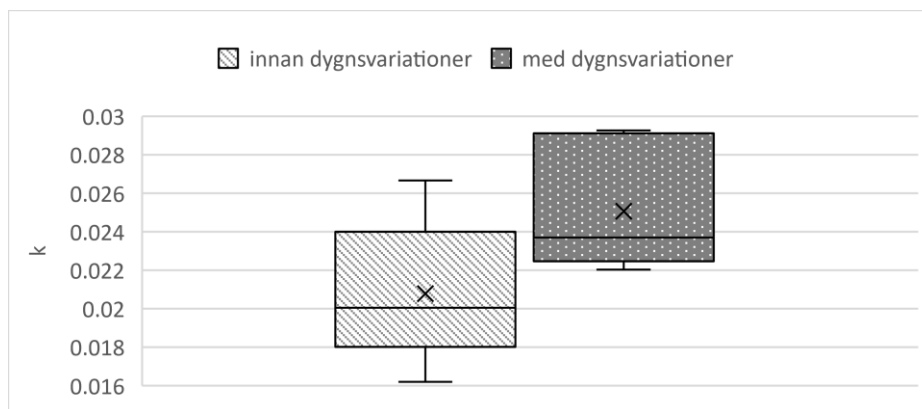
Figur 18 visar statistik för recessionskoefficienterna under åren 2020–2023 för Huddinge 2 innan samt med dygnsvariationer i grundvattennivån. Skillnaden mellan min- och maxvärdet är större innan dygnsvariationerna startar, likväl är både medel och medianvärdet lägre än det när dygnsvariationerna är aktiva. Recessionskoefficientens medelvärde stiger från 0.193 dag^{-1} innan dygnsvariationerna uppträder i grundvattennivån, till 0.237 dag^{-1} när dygnsvariationerna är synliga i tidsserien för grundvattennivån, en ökning på 22 %.



Figur 18. Resultatet för Huddinge 2 recessionskoefficient innan dygnsvariationerna startat respektive när de är aktiva, för de undersökta åren 2020–2023.

6.2.3 Lagga 2

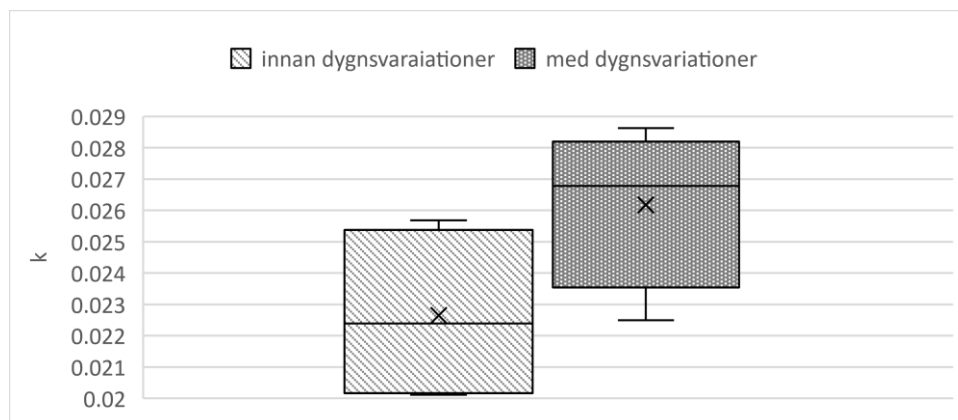
Figur 19 visar variansen av recessionskoefficienten för Lagga innan samt med dygnsvariationer i grundvattennivån. Resultaten åsyftar åren 2018–2023 och visar att medianvärdet för recessionkoefficienten för perioden med dygnsvariationer är av samma storlek som det övre kvartilvärdet för perioden innan dygnsvariationer. Vidare så ökar medelvärdet för recessionskoefficienten från 0.0208 dag^{-1} innan dygnsvariationerna startat, till 0.0251 dag^{-1} när de har startat. Skillnaden mellan medelvärdet för perioderna är närmare 0.005 dygn^{-1} vilket innebär en ökning på 21 %.



Figur 19. Laggas recessionskoefficient innan dygnsvariationer respektive med dygnsvariationer för de undersökta åren 2018 – 2023.

6.2.4 Moheda 2

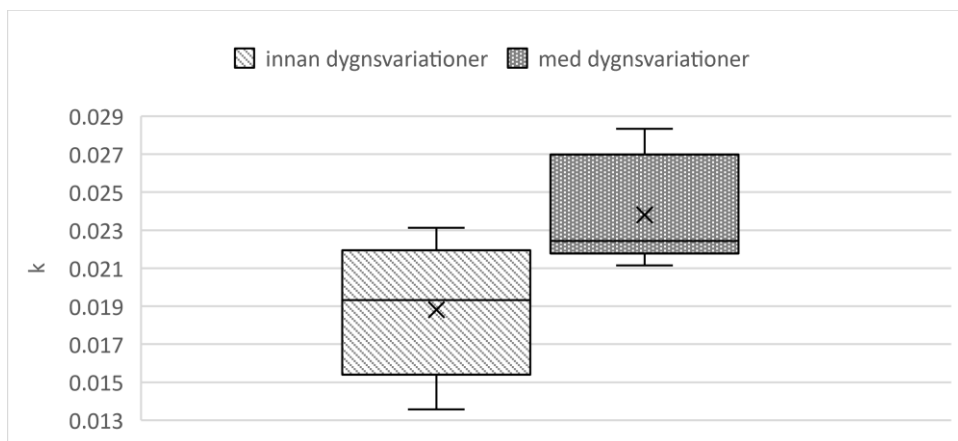
För Moheda 2 är medelvärdet för recessionskoefficienten 0.0226 dag^{-1} innan det att dygnsvariationerna startat, och ökar till 0.0262 dag^{-1} när de är närvarande. Det är en ökning som motsvarar 16 %. Denna ökning går att se i Figur 20 nedan som visar resultaten av beräkningarna av recessionskoefficienterna för åren 2020–2023.



Figur 20. Moheda 2, recessionskoefficient innan dygnsvariationer samt med dygnsvariationer för åren 2020–2023.

6.2.5 Tärnsjö 32

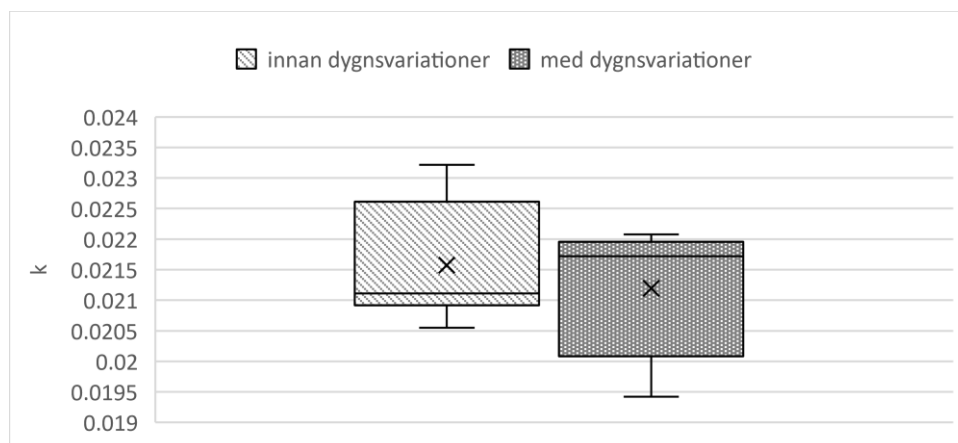
För Tärnsjö 32 skiljer sig medel samt medianvärdet för recessionskoefficienten för den period som dygnsvariationerna är synliga, se Figur 21. Medelvärdet för de två perioderna är mer åtskilda än dess medianvärden, där perioden med dygnsvariationer har ett medianvärde som överstiger det övre kvartilvärdet för perioden innan dygnsvariationerna har startat. Vidare stiger medelvärdet från 0.0188 dygn^{-1} till 0.0247 dygn^{-1} i och med det att dygnsvariationerna startar, en ökning på 27 % beräknat för åren 2018–2023.



Figur 21. Recessionskoefficienterna för Tärnsjö 32 innan dygnsvariationer samt med dygnsvariationer för åren 2018 – 2023.

6.2.6 Kallåsbäcken 1

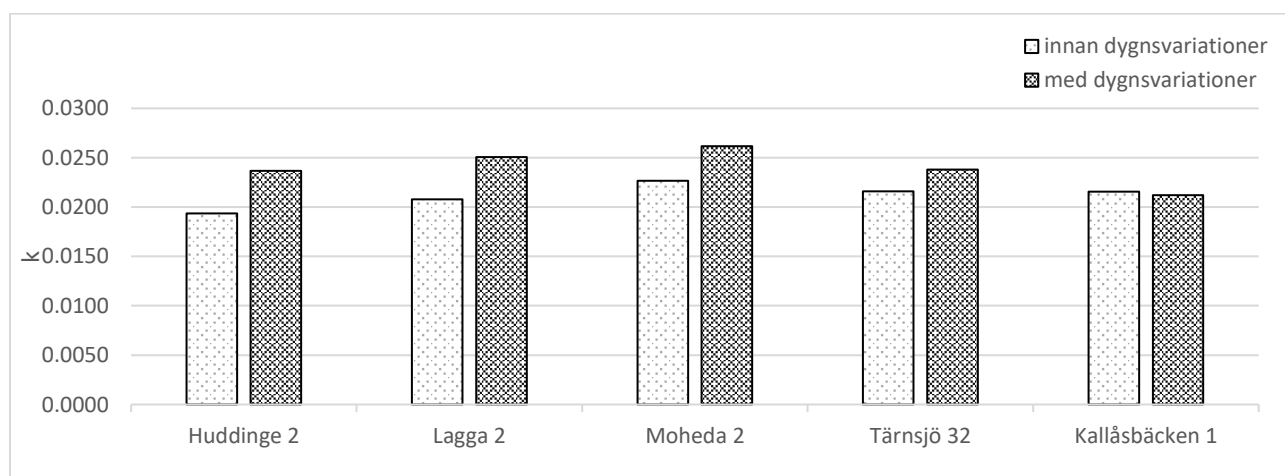
Kallåsbäcken 1 var mätstationen som valdes ut baserat på sin brist på dygnsvariationer. I Figur 22 syns det att i motsatts till de tidigare redovisade mätstationerna hur recessionskoefficienten sjunker från den period som kan antas motsvara *innan dygnsvariationer* till den perioden som kan antas motsvara *med dygnsvariationer*. Värdet på recessionskoefficienten för den period som antagits motsvara *innan dygnsvariationer* är 0.0216 och sjunker sen till 0.0212 för den period som antogs motsvara *med dygnsvariationer*, en minskning motsvarande 2 % för åren 2018–2023. Det innebär att hastigheten med vilken grundvattennivån avklingar för den tidsperiod som övriga stationers avklingning har ökat.



Figur 22. Kallåsbäcken 1, recessionskoefficient för perioderna innan dygnsvariationer samt med dygnsperioder, under åren 2018 – 2023.

6.2.7 Recessionskoefficienten för alla mätstationer

Figur 23 sammanställer recessionskoefficientens medelvärde för perioderna innan dygnsvariationer samt med dygnsvariationer, för de mätstationer som recessionskoefficienten beräknades för. Figur 23 visar hur recessionskoefficientens medelvärde ökar när dygnsvariationerna är närvarande för de fyra utvalda stationerna med tydliga dygnsvariationer i grundvattennivån, men att det har motsatt effekt på medelvärdet för recessionskoefficienten för samma tidsperiod i mätstationen Kallåsbäcken 1 som saknade dessa dygnsvariationer.



Figur 23. Jämförelse av recessionskoefficienterna innan samt med dygnsvariationer.

Sammanställningen av medelvärdena *innan* samt *med dygnsvariationer* för samtliga år och mätstationer finns i Tabell 8 nedan. Tabell 8 visar även den procentuella förändring som sker mellan perioderna för mätstationerna.

Tabell 8. Recessionskoefficientens medelvärde för mätstationerna och hur denna förändras mellan perioderna innan samt med dygnsvariationer.

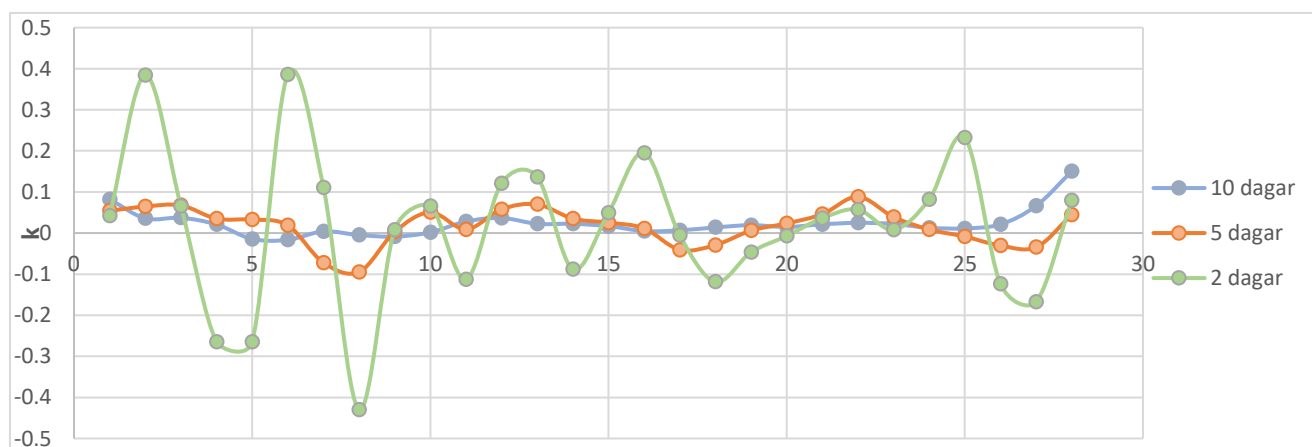
Mätstation	innan dygnsvariationer	med dygnsvariationer	förändring i % när dygnsvariationer uppträder
Huddinge 2	0.0193	0.0237	+ 22 %
Lagga 2	0.0208	0.0251	+ 21 %
Moheda 2	0.0226	0.0262	+ 16 %
Tärnsjö 32	0.0188	0.0238	+ 27 %
Kallåsbäcken 1	0.0216	0.0212	- 2 %

Den genomsnittliga förändringen för recessionskoefficienten i % hamnar på 21.5 % för de fyra utvalda mätstationerna. Förändring avrundas och presenteras som en platsspecifik ökning av recessionskoefficienten på ungefär 20 % när dygnsvariationerna i grundvattennivåerna blir synliga.

6.3 Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen visar hur osäkerheten i det beräknade värdet för recessionskoefficienten ökar när tidsperiodens längd minskar för mätstation Lagga 2 sommaren 2018.

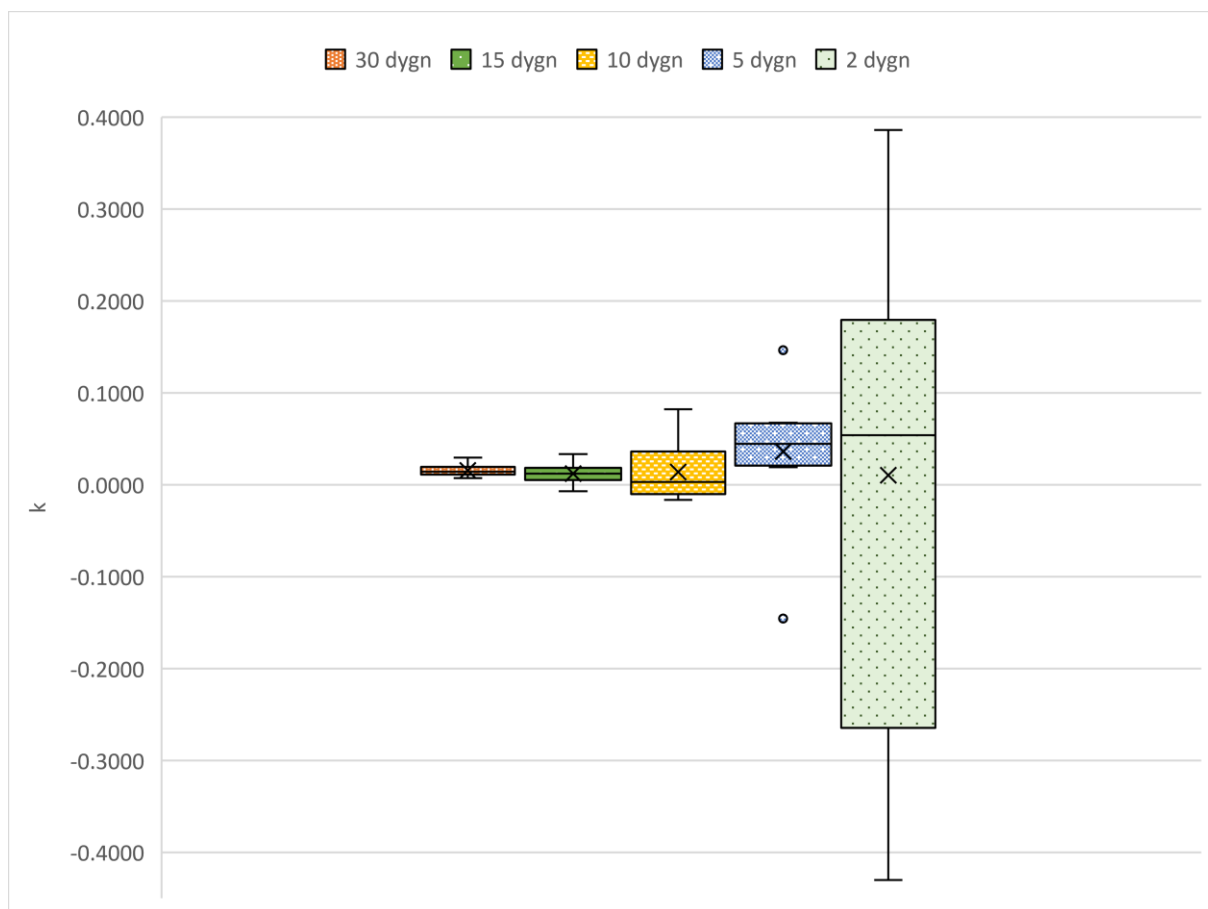
I Figur 24 nedan går det att se hur värdena för recessionskoefficienten rör sig över och under vad som kan antas bli ett medelvärde för den valda längden på tidsperioden. Det syns hur en recessionskoefficient beräknad under ett kortare tidsintervall har större variation än en beräknad för en längre tidsintervall. Med en ökad längd på tidsintervallet avtar variationen i värdet för recessionskoefficienten, och värdet stabiliserar sig mot ett medelvärde.



Figur 24. Variationen för recessionskoefficientens beräknade värde med avseende på tidsperiodens längd. Grafen visar hur variationen minskar med ökad tidsperiod och för 10 dagar har resultaten börjat närmast sig ett medelvärde. Den blå linjen visar resultatet för beräkningarna av en tio dygn lång tidsperiod den orangea linjen för en tidsperiod på fem dygn samt den gröna linjen visar resultaten för en två dygn lång tidsperiod.

Tidsperioderna 30 respektive 15 dygn har en liknande spridning, men den korta tidsperioden på bara två dygn har en i jämförelse med de övriga perioderna, en större spridning, något som går att se i Figur 25. Resultatet för tidsperioden med längden två dygn visar på stora variationer och

en låg säkerhet. Resultatet visar hur perioden med fem dygns längd har två extrempunkter, något som tyder på en stor osäkerhet även vid tidsperiodslängden fem dygn. Resultatet visar att valet av tidsperioder med 15 respektive 30 dygn ger tillförlitliga resultat för de beräknade recessionskoefficienterna presenterade i underavsnitten till 6.2.



Figur 25. Spridningen av recessionskoefficientens värden med avseende på tidsperiodens längd. För 30 samt 15 dygn har resultaten låg variation. Variationen i resultaten ökar när tidsperioderna blir kortare.

7 Diskussion

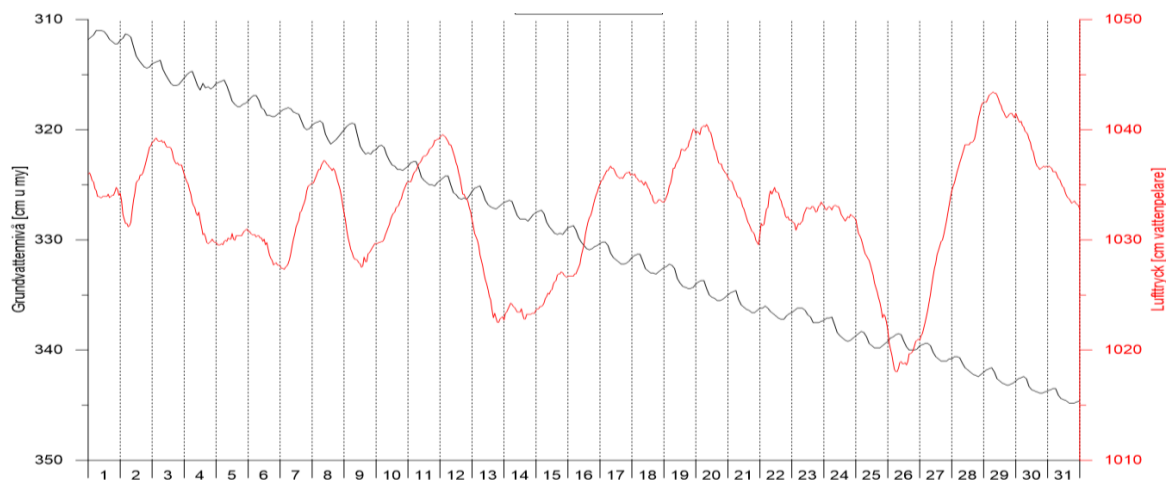
I följande avsnitt förs en diskussion om de resultat som arbetet resulterat i och hur dessa resultat kan antas besvara rapportens syfte och frågeställning. Rapportens för och nackdelar diskuteras, samt hur antaganden kan ha påverkat resultatet. Slutligen förs diskussion om förslag på framtida studier inom ämnet växters påverkan på grundvattennivåns avklingning.

För att besvara frågeställningen hur påverkan av tidaleffekten respektive växters upptag av markvatten på grundvattennivån skiljer sig behöver resultatet av spektralanalysen granskas. Resultatet av spektralanalysen på grundvattennivåernas tidsserier skapade en tydlig separering kring hur stationerna var påverkade av tidaleffekten eller från växternas vattenupptag. Alla de fyra utvalda mätstationer som uppvisade dygnsvariationer på grundvattennivån när grundvattenbildning var frånvarande sommartid fick resultatet att de helt saknade periodisk påverkan vintertid. Som Nilsson (1968) nämner påverkar tidalkraften grundvattnet hela året, i kontrast till växter som endast är aktiva under växtsäsongen. Växternas vattenupptag följer evapotranspirationens tidscykel under både ett år och under ett dygn, i likhet med det som presenterades av Grip och Rodhe (2016), med utebliven signal vintertid och en periodlängd på 24 timmar sommartid (när dygnsvariationerna syns) vilket anses vara helt i linje med vad som behövs för att kunna utesluta en påverkan från tidalkraften på de undersökta mätstationerna. Det här innebär att rapportens frågeställning om hur påverkan av tidaleffekten respektive växters upptag av markvatten på grundvattennivån skiljer sig är tydligt besvarad.

Ett oväntat resultat från spektralanalysen av grundvattennivåernas tidsserier var den totala avsaknaden av signal sommartid för mätstationen Emmaboda 3. Mätstationen Emmaboda 3 var en av de stationerna som uppvisade den efterfrågade dygnsvariationen i Johanssons rapport från 1986. I rapporten uppvisade mätstationen dygnsvariationer väl sammankopplade med evapotranspirationens dygnsvariationer mellan 11–19 augusti 1973. Men vid undersökning av dess signalfrekvens för mätdata genererad 2016 påvisades ingen periodisk påverkan. En förklaring till det oväntade resultatet kan vara att platsen under åren har hunnit förändrats, och där Johansson beskrev den som ”omgiven av lövskog” finns i dag en mindre mängd växter kvar och området har i stället ersatts med grusvägar och ytor med låg växtlighet. Även om resultatet inte var väntat, blev det oavsett ytterligare en indikation på hur freatofyter, växter med djupa rotsystem, påverkar grundvattnets avklingning.

En signal vid endast 24 timmar är inte nödvändigtvis evidens nog att det är just växters vattenupptag som är källan till signalen. En potentiell orsak till signalen vid 24 timmar skulle kunna vara variationer i lufttrycket som följd av temperaturförändringar. Figur 26 jämför data från SMHI (u.å.) över det lufttrycket i Uppsala under juli månad år 2022 med grundvattennivån

i mätstationen lagga 2 vid samma tid går det dock inte att se en korrelation. SGU:s automatloggers räknar bort barometriskt trycket i mätningarna av grundvattennivåerna,



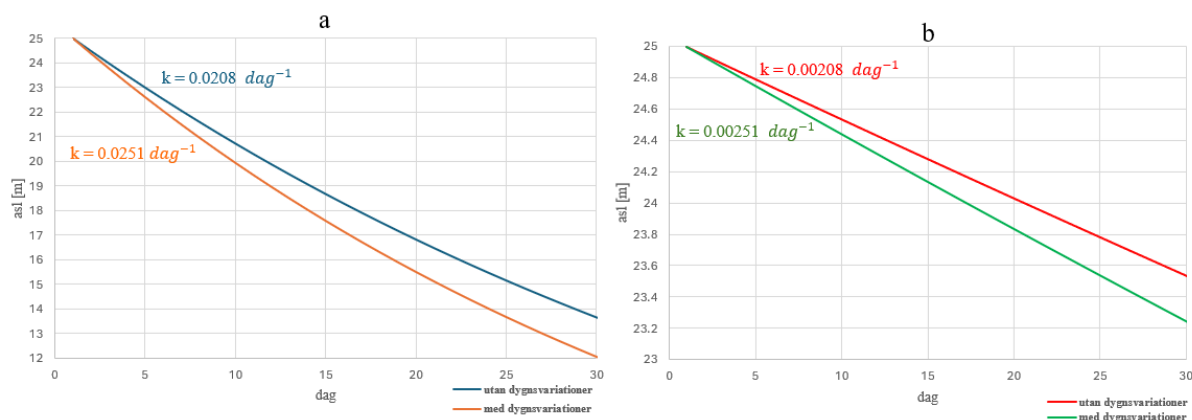
Figur 26. Diagram över variationer i grundvattennivån i mätstation Lagga 2 samt variationer i lufttryck i Uppsala under juli månad år 2022. Tidsserier visar hur lufttrycket mätt i enheten cm vattenpelare varierar under samma tidsperiod som grundvattennivån, mätt i cm under markytan

Vad som samtidigt kan vara av vikt att komma ihåg är att en station som är påverkad av tidalkraften även kan ha påverkan av växters vattenupptag sommartid. Detta är något som kan anas vid närmare granskning av Figur 16, resultatet av spektralanalysen av Vetlanda 2. Vid påverkan av både tidalkraften och växters vattenupptag skulle resultatet kunna förväntas bli att stationen dels visar upp tecken av påverkan från tidaleffekten vintertid, dels att storleken för signalen vid 24 timmar skulle öka sommartid, då påverkan från växternas vattenupptag skulle adderas. Detta kan vara orsaken till att signalen vid 24 timmar under sommaren är något större än under vintern.

Vid frågan om hur stor påverkan har växters upptag av markvatten på grundvattennivåns avklingning är det resultatet av beräkningarna för recessionskoefficienterna som ger svaret. Resultatet av beräkningarna visar att för de fyra utvalda mätstationer som uppvisar dygnsvariationer i grundvattennivån ökar recessionskoefficienten med omkring 20 % för perioden när dygnsvariationerna är närvarande. En ökad recessionskoefficient innebär en ökad avklingning av grundvattennivån, och resultatet är i linje med vad Grip och Rodhe (2016) presenterar om hur transpiration från både mark och grundvattenzonen reducerade grundvattennivån, något som även återskapades i modellsimuleringar. Liknande dygnsvariationer i grundvattennivån återskapades i Johanssons simulering (Johansson 1968) när transpiration skedde vid två meter eller djupare, under markytan. I Johanssons modellsimulering var resultatet med tydliga dygnsvariationer i grundvattennivån beroende av både rotdjupet och markens vattenhållande egenskaper. Detta stämmer överens med hur dygnsvariationerna inte uppstår i alla mätstationer med likvärdiga geologiska förutsättningar, utan att majoriteten av mätstationerna saknar dessa fluktuationer. Utöver hur Emmaboda 3 visar på hur vegetation kan antas vara en viktig faktor för att dygnsvariationerna ska uppstå, visar även den stora mängd mätstationer som saknar dygnsvariationerna på att det finns någon form av optimal förutsättning som krävs. Om detta är rätt storlek på den vattenhållande egenskapen

eller någon annan faktor anstår inte det här arbetet att besvara, utan här får det vara nog att konstatera att resultaten är platsspecifika.

Att resultatet som rapporten lett fram till är av betydelse bekräftas till en början av SGU:s behov av att införa en markfuktstransport i SGU-HYPE för att modellen skulle kunna sänka grundvattennivån tillräckligt lågt vid torra sommarperioder (Hellstrand et al. 2024). Men för att avgöra signifikansen i resultatet behöver det simultant göras en jämförelse av de beräknade resultaten mot de resultat som angetts i tidigare arbeten. Figur 27 nedan visar hur grundvattennivån sjunker under 30 dagar med angivna recessionskoefficienter som återspeglar medelvärdena för de beräknade recessionskoefficienterna för mätstationen Lagga 2 från denna studie. Figur 27a visar hur grundvattennivån sjunker nästan två meter djupare med den beräknade recessionskoefficienten *med dygnsvariationer* jämfört med hur grundvattennivån sjunker med den beräknade recessionskoefficienten *utan dygnsvariationer*. Men att grundvattennivån sjunker mer än 10 meter under 30 dagar är inte rimligt för den typen av moränmark som finns vid Lagga 2, oavsett dygnsvariationer eller ej, och tyder på att det beräknade värdet för recessionskoefficienten är för högt. Vid jämförande av storleken på resultaten för recessionskoefficienterna från beräkningarna i denna rapport, jämfört med de resultat som presenteras av Rodhe m.fl. (2008) för morän (se Tabell 1), är resultaten presenterade i den här rapporten av större storlek. Figur 27 b visar därför hur grundvattennivån sjunker under 30 dagar när värdena på recessionskoefficienterna minskas med en tiopotens för att ligga i samma storleksordning som Rodhe m.fl. (2008) för morän. I Figur 27b sjunker grundvattennivån mindre än två meter under 30 dagar för båda linjerna, och *med dygnsvariationer* hamnar den nästan tre decimeter lägre.



Figur 27. a. Grundvattenavklingning baserat på resultat av rapportens beräkningar. Blått streck visar hur grundvattennivån sjunker under 30 dagar med en recessionskoefficient motsvarande utan dygnsvariationer. Orange streck visar hur grundvattennivån sjunker under 30 dagar med en recessionskoefficient motsvarande med dygnsvariationer.

b. Grundvattenavklingning baserat på resultat av rapportens beräkningar med minskad tiopotens. Rött streck visar hur grundvattennivån sjunker under 30 dagar med en recessionskoefficient motsvarande utan dygnsvariationer. Grönt streck visar hur grundvattennivån sjunker under 30 dagar med en recessionskoefficient motsvarande med dygnsvariationer.

En orsak till att beräkningarna av recessionskoefficienten med Langbeins metod (1938) genererade ett påfallande högre resultat, kan vara antagandet om att den lägsta nivå som grundvattnet kan anta (referensnivån) skulle vara lika med havsnivån (asl = 0). Antagandet ger utrymme för att den beräknade recessionskoefficientens värde inte överensstämmer med den faktiska för platser där grundvattennivåns lägsta nivå är högre än havsytan. Med en högre

referensnivå skulle värdet för recessionskoefficienten minska, och de låga värdena presenterade av Rodhe m.fl. (2008) Sandqvist (2012), samt i SGU-HYPE (SGU u.å.) tyder på att antagandet inte överensstämmer med de verkliga förhållandena om grundvattnets lägsta nivå. Viktigt är dock att detta *inte* innebär att förhållandet mellan recessionskoefficienterna *innan* samt *med dygnsvariationer* är inkorrekt, utan ökningen på 20% är fortsatt representativ.

Det är av betydelse att poängtera att resultaten kan antas vara platsspecifika. Det innebär att även om en kvantifierbar påverkan av växternas vattenupptag har gått att bestämma för de aktuella mätstationerna, är vikten av denna typ av implementering i beräkningar inte fastställd. Med stor sannolikhet har växters upptag av grundvatten en generellt liten betydelse i hur grundvattennivån avklingar under torra sommarperioder med utebliven grundvattenbildning, men hur stor eller liten påverkan den har lämnas åt fortsatta studier att besvara.

Något som kan addera en viss typ av osäkerhet i bedömningen av recessionskoefficientens förändring var de två stationer som endast hade data från fyra år, Huddinge och Moheda. Det hade varit att föredra att ha längre samt lika långa tidsserier av mätdata för samtliga stationer, något som visade sig väldigt svårt med den hårda selektering av stationer som skedde. En möjlighet för att bredda antal mätstationer att utreda hade varit att förlita sig mer på den visuella bedömningen av grundvattennivåns nivå-tidsserie under aktuella perioder snarare än den grova selektion som skedde baserat på mätstationernas typ, placering eller liknande kriterier.

Det saknas en direkt förklaring till varför grundvattennivån stiger under natten trots utebliven grundvattenbildning. Fenomenet återskapas som innan nämnt även i Johanssons rapport (1986), men orsaken till nivåökningen inte är klarlagd. Det kan givetvis finnas flertalet orsaker till grundvattennivåns återhämtning, men en förklaring kan vara en ökad tillrinning av grundvatten från högre belägna markprofiler. När växterna även på dessa platser minskar sitt vattenupptag under natten möjliggör det att en större mängd av grundvattnet kan rinna ner till de platser där mätstationerna mäter grundvattennivån. En annan potentiell förklaring till en ökad grundvattennivå nattetid kan vara att vatten sjunker tillbaka till grundvattnet när undertrycket från växternas rötter avtar nattetid, och på så vis skapar en viss form av grundvattenbildning. Ytterligare en teori om vart vattnet kommer ifrån är i linje med det avtagande undertrycket från rötterna under natten, men åsyftar snarare en tryckutjämning som kommer nedifrån och är beroende av markens egenskaper att tryckutjämna. En jord som snabbt reagerar på tryckförändringar kommer att reducera dygnsvariationerna genom att direkt kunna kompensera för det undertryck som rötternas vattenupptag skapar. Men en jord med ”optimal” förmåga att tryckutjämna kommer tryckutjämningen vara förskjuten nog att det skapar ett fönster för grundvattnet att stiga under ett fåtal timmar under natten när rötterna är inaktiva.

Vidare kan typ av växter ha en stor påverkan för om dygnsvariationer i grundvattennivån uppstår eller inte. Resultatet gällande Emmaboda 3 styrks av Whites arbete (1932) men även Butler et al. (2005) som båda visar på att växter med djupa rotsystem *freatofyter*, har en viktig roll för att dygnsvariationerna i grundvattennivån ska uppstå.

Ytterligare en viktig punkt att diskutera kring rörande resultatens riktighet, är hur grundvattennivåns djup i jordprofilen påverkar recessionskoefficienten. Generellt är den hydrauliska konduktivitet större, längre upp i en jordprofil, och avtar med djupet. Orsaken till detta beror på variationer i egenskaper mellan olika djupintervall, så som porositet och genomsläpplighet. Det innebär att grundvattennivåns avklingning även beror på vilket djup grundvattennivån befinner sig på. För att undersöka hur stor påverkan djupet i en jordprofil har

på den beräknade recessionskoefficienten, vore det idealt att beräkningen av recessionskoefficienten alltid kunde ske på samma djup. Detta är något som kan vara svårt då majoriteten av mätstationernas grundvattennivå varierar mer än önskvärt under ett år. Ett förslag vore att studera mätstationen Torpshammar 29 mer ingående. Stationen påvisar en mild dygnsvariation i grundvattennivån likt de fyra utvalda mätstationer i rapporten, men särskiljer sig då grundvattennivåns nivå inte varierar med mer än en meter under ett år. Det innebär att Torpshammar ger möjlighet till att jämföra resultat med liknande förutsättningar på samma djupintervall. Resultatet skulle då kunna generera intressant information om hur grundvattennivåns djup kan tänkas påverka recessionskoefficienten, något som vore av god nytta för att bättre kunna förstå hur växternas vattenupptag påverkar densamme.

Slutligen vore det av intresse att undersöka vilka hydrogeologiska förutsättningar som har en betydelse för att växternas vattenupptag ska resultera i dygnsvariationer i grundvattennivån. Ett lämpligt tillvägagångssätt för detta vore att utöka omfattningen på undersökningen och låta den omfatta mätstationer som ligger utanför de kriterier som sattes för detta arbete.

8 Slutsatser

Slutsatsen som dras av arbetet som utförts i och med den här rapporten är att det med stöd av spektralanalys i form av fouriertransformering går att särskilja den dagliga påverkan på grundvattennivån som är orsakad av tideffekten jämfört med den påverkan som är orsakad av växters vattenupptag. Utöver en brist på signal under vintern för de stationer där dygnsvariation under varma nederbördsfria sommarperioder kan anas, har växtupptagets inverkan endast en periodlängd på 24 timmar där tideffekten har en periodlängd på tolv timmar och 25 minuter samt 24 timmar.

Vidare har beräkningarna i arbetet visat att växternas vattenupptag ökar grundvattennivåns avklingning, och att recessionskoefficienten för perioder utan grundvattenbildning men med aktiva dygnsvariationer under växtsäsong ökar. För de undersökta mätstationerna är recessionskoefficienten omkring 20% större för perioden med dygnsvariationer jämfört med perioden utan dygnsvariationer i grundvattennivån. Resultatet är platsspecifikt och gäller för de förhållanden som rådde vid de utvalda mätstationerna som kännetecknades av moränjord och växtlighet med djupa rötter.

9 Referenser

- Barnes B.S. (1939). *The structure of discharge recession curves*. *Trans. Am. Geophys. Union*. 20, 721-725
- Butler Jr J.J., Goreelick S.M., Loheide II S.P. (2005).
Estimation of groundwater consumption by phreatophytes using diurnal water table fluctuations: A saturated-unsaturated flow assessment. *Water Resources Research*, Vol 41.
doi:10.1029/2005WR003942
- Grip, H., Rodhe, A. (2016). *Vattnets väg från regn till bäck*. Hallgren & Fallgren ISBN 978-91-639-0456-1
<https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1047230/FULLTEXT01.pdf>
- Hellstrand, E., Hjerne, C., Retzner, A., Thunholm, B. (2024). *Klimatmodellering av grundvatten – grundläggande analys*. (2024:04). Sveriges geologiska undersökning.
<https://resource.sgu.se/dokument/publikation/sgurapport/sgurapport202404rapport/s2404-rapport.pdf>
- Huang, F., Zhang, D., Chen, X. (2019) *Vegetation Response to Groundwater Variation in Arid Environments: Visualization of Research Evolution, Synthesis of Response Types, and Estimation of Groundwater Threshold*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16:1849.
<https://doi.org/10.3390/ijerph16101849>
- Johansson. P-O. (1986). *DIURNAL GROUNDWATER LEVEL FLUCTUATIONS IN SANDY TILL - A MODEL ANALYSIS*. *Journal of Hydrology*, 87 p.125-134
[https://doi.org/10.1016/0022-1694\(86\)90118-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(86)90118-6)
- Kim, J-H., Lee, J., Cheong, T-J., Kim, R-H., Koh, D-C., Ryu, J-S, Chang, W-H. (2005).
Use of time series analysis for the identification of tidal effect on groundwater in the coastal area of Kimje, Korea. *Jurnal of Hydrology* 300 P.188-198
DOI: 10.1016/j.jhydrol.2004.06.006
- Langbein, W.B. (1938). *Some channel-storage studies and their application to the determination of infiltration*. *Trans. Am. Geophys Union*
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/TR019i001p00435>
- Le Maitre, D., Scott, D., Colvin, C. (1999). *Review of information on interaction between vegetation and groundwater*. CSIR Division of Water ISSN 0378-4738 = Water SA Vol. 25 No. 2 April 1999
<https://researchspace.csir.co.za/dspace/handle/10204/524>
- Luo, X., Liang, X., Lin, J-S. (2016). *Plant transpiration and groundwater dynamics in water-limited climates: impacts of hydraulic redistribution*. *Water Resources Research* (56)6 p.4416-4437.
<https://doi.org/10.1002/2015WR017316>
- Marine, W. (1975). *Water level fluctuations due to earth tides in a well pumping from slightly fractured crystalline rock*. *Water Resources Research* (11)1 p.165-173. ISSN0043-1397
<https://doi-org.ezproxy.its.uu.se/10.1029/WR011i001p00165>
- Naturvårdsverket. (2023). *Sveriges miljömål*.
<https://www.naturvardsverket.se/om-miljoarbetet/sveriges-miljomal/>
[05/13 2024]
- Nordberg, L., Persson, G. (1974). *The national groundwater network of Sweden*.
(nr. 48) Sveriges geologiska undersökning ISBN 91-7158-064-6
- Nilsson, L. (1968). Short-time variation of the groundwater and its reasons. *Ground Water Problems, Proceedings of the International Symposium Held in Stockholm*. Stockholm, Sweden. 57-72
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-003468-3.50008-2>
- Nilsson, L. (1977). *Korttidsvariationer i grundvattnets trycknivå*. (91) Kärnbränslesäkerhet samt

- Kungliga tekniska högskolan.
<https://skb.com/publication/2974>
- Olin M. (1995). *Estimation of Base Level for an Aquifer from recession rates of groundwater levels*. Hydrogeology Journal, v3 no. 2
- Posavec K. et al. (2006). *A visual basic spreadsheet Macro for recession curve analysis*. Ground Water v.44, no. 5, 764-767
- Rodhe, A., Lindström, G., Dahneé, J. (2007). *Grundvattennivåer i ett förändrat klimat*. (60-1642/2007) SGU
https://www.sgu.se/globalassets/grundvatten/grundvattennivaer-old/grundvattenbildning/rohde_mfl_2009.pdf
- Sandqvist, E. (2012) *Modellering av vattenflöden samt kväve- fosforkoncentrationer från Krycklans avrinningsområde med HYPW-modellen*. (ISSN 1401-5765) Uppsala universitet
 SFS 2004:660 *Vattenförvaltningsförordningen*. Klimat- och näringslivsdepartementet
- SGU. (2000). *Naturgrus eller morän*. per. Ubl. 2000:2
 ISSN 0283-2038
- SGU. (2019a). *Hydrogeologisk bakgrund*.
<https://www.sgu.se/anvandarstod-for-geologiska-fragor/bedomning-av-influensomrade-avseende-grundvatten/hydrogeologisk-bakgrund-forutsattningar/>
 [2/5 2024]
- SGU. (2020a). *Det menas med grundvattennivå*.
<https://www.sgu.se/grundvatten/grundvattennivaer/om-grundvattennivaer/det-menas-med-grundvattenniva/>
 [1/5 2024]
- SGU. (2020b). *Så beräknar SGU framtida grundvattennivåer*.
<https://www.sgu.se/grundvatten/grundvattennivaer/om-grundvattennivaer/sa-beraknar-sgu-framtida-grundvattennivaer/>
 [29/4 2024]
- SGU. (2021a) *Stora och små grundvattenmagasin*.
<https://www.sgu.se/grundvatten/grundvattennivaer/om-grundvattennivaer/stora-och-sma-grundvattenmagasin/>
 [2/5 2024]
- SGU. (2021b). *Så beräknar SGU aktuella grundvattennivåer*.
<https://www.sgu.se/grundvatten/grundvattennivaer/om-grundvattennivaer/sa-beraknar-sgu-aktuella-grundvattennivaer/>
 [2/5 2024]
- SGU. (2022). *Grundvatten av god kvalitet*.
<https://www.sgu.se/om-sgu/verksamhet/miljomal/grundvatten-av-god-kvalitet/>
 [13/4 2024].
- SGU. (2023a). *Så mäter SGU grundvattennivåer*.
<https://www.sgu.se/grundvatten/grundvattennivaer/om-grundvattennivaer/sa-mater-sgu-grundvattennivaer/>
 [11/4 2024]
- SGU. (2023b). *Risk för vattenbrist*.
<https://www.sgu.se/grundvatten/grundvattennivaer/risk-for-vattenbrist/>
 [16/5 2024]
- SGU. (2024). *Kartvisare och diagram för mätstationer*.
<https://www.sgu.se/grundvatten/grundvattennivaer/matstationer/>
 [2/3 2024]

- SGU. (u.å.). *Konceptuellbeskrivning av SGU-HYPE, dess tillämpningar på SGU samt parametervärden.*
[opublicerat material]
- SMHI (u.å.) *Ladda ner meteorologiska observationer*
<https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=airPressure,stations=core>
- SMHI. (2019). *Historiska torrperioder.*
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/historiska-torrperioder>
[26/4 2024]
- SMHI. (2022). *Klimatindikator – vegetationsperiodens längd.*
<https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/klimatindikator-vegetationsperiodens-langd-1.7887>
[31/5 2024]
- SMHI. (2024). *Tidvatten.*
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/oceanografi/vagor/tidvatten-1.321>
[26/4 2024]
- Sollervall, H., Styf, B. (2006). *Transformteori för ingenjörer*. 3. uppl., Lund, Studentlitteratur.
- Svensson, C. (1984) *Analys och användning av grundvattennivåobservationer*. Chalmers Tekniska Högskola & Göteborgs Universitet. Publ. A 49. ISSN 0348-2367
- SLU. (2023). *Växternas växtsäsong.*
<https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/svenska-fenologinatverket/indikator/>
[17/5 2024]
- Sparrenbom, C., Jeppsson, H. (red.) (2022). *Grundvattenboken*. 1a uppl, Studentlitteratur.
ISBN 9789144135922
- Sundén, G. (2009). *Hydrogeologiska faktorerers påverkan på grundvattennivåns avklingning*. (ISSN 1650-6553 Nr 182) Uppsala universitet.
- Sveriges miljömål. (2023) *Grundvatten av god kvalitet.*
<https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/grundvatten-av-god-kvalitet/>
[19/4 2024]
- Tacfiq, MNL., Jabber AK. (2017). *Solve the groundwater model equation using Fourier transforms method*. ISSN: 2347-2529 International Journal of Advances in Applied Mathematics and mechanics (nr 5)
- University of Calgary. (u.å). *Encyclopedia – Tidal force.*
https://energyeducation.ca/encyclopedia/Tidal_force
[29/4 2024]
- W.N. White. (1932). *A method of estimating groundwater supplies based on discharge by plants and evaporation from soil*. USGS, WSP 659-A
<https://doi.org/10.3133/wsp659A>

Bilagor

Bilaga 1: Kod R – Fouriertransformering

```
# FFT -----
# LOAD LIBRARY -----
library(tidyverse)
library(lubridate)
library(readr)

# LOAD DATASET -----

Lagga <- read_delim("Examensarbete/Examensarbetet/Utvalda/Lagga2/Lagga.csv",
                  delim = ";", escape_double = FALSE, trim_ws = TRUE)

# -----

# Renaming dataset to fit code
data <- Lagga

# -----

#Convert "date" column to Date format
data$date <- as.Date(data$date)

#convert "datetime" colum to date-time format
data$datetime <- as.POSIXct(data$datetime, format = "%Y-%m-%d %H:%M:%S")

# Check dataset by plotting
plot(data$datetime, data$H, type = "l", xlab = "År", ylab = "Grundvattennivå (asl)", main
= "Medel grundvattennivå")

# -----
#SUMMER
# -----

sommar <- data %>%
  filter(date >= as.Date("2021-06-01") & date <= as.Date("2021-09-30"))

# -----
# INTERPOLERING
#-----

#Interpolering of timeseries to get a value for each hour

Snew_time <- seq.POSIXt(min(sommar$datetime), max(sommar$datetime), by = "1 hours")
Sinterpolated_data <- approx(x = sommar$datetime, y = sommar$H, xout = Snew_time)

#Creating new dataframe of new interpolated data
Sinterpolated_df <- data.frame(time = Sinterpolated_data$x, H = Sinterpolated_data$y)

# -----

# PERFORM FAST FOURIERTRANSFORMATION
Sfft_result <- fft(Sinterpolated_df$H)

# Calculate the frequency values corresponding to the Fourier coefficients
Sn <- length(Sinterpolated_df$H)

sampling_rate <- (1) # Assuming uniformly sampled data sampled every hour due to
interpolering

#calculating frequency
Sfreq <- (0:( Sn - 1) * sampling_rate / Sn)

#converting frequency to time
Sfreqq <- 1/Sfreq
```

```

# -----

# Plot the FFT result against time

plot(Sfreqq, sqrt(Sfft_result), type = "l", xlab = "tid (timmar)", ylab = "magnitud ", main = "Lagga magnitud spectrum sommar", xlim = c(0,40), ylim = c(0,3))
axis(1, at = seq(0, 40, by = 1))
axis(2, at = seq(0, 3, by = 0.5))
abline(v=12, col = "red")
abline(v=24, col = "red")

# -----
# WINTER
# -----

vinter <- data %>%
  filter(date >= as.Date("2020-11-01") & date <= as.Date("2021-02-28"))

# -----
# INTERPOLATION -----

#Interpolation of timeseries to get a value for each hour

Vnew_time <- seq.POSIXt(min(vinter$datetime), max(vinter$datetime), by = "1 hours")
Vinterpolated_data <- approx(x = vinter$datetime, y = vinter$H, xout = Vnew_time)

#Creating new dataframe of new interpolated data
Vinterpolated_df <- data.frame(time = Vinterpolated_data$x, H = Vinterpolated_data$y)

# -----

## PERFORM FAST FOURIERTRANSFORMATION
Vfft_result <- fft(Vinterpolated_df$H)

# Calculate the frequency values corresponding to the Fourier coefficients
Vn <- length(Vinterpolated_df$H)
sampling_rate <- (1) # Assuming uniformly sampled data sampled every hour

#calculating frequency
Vfreq <- (0:( Vn - 1) * sampling_rate / Vn)

#converting frequency to hours
Vfreqq <- 1/Vfreq

# -----

# Plot the FFT result agains time

plot(Vfreqq, sqrt(Vfft_result), type = "l", xlab = "tid (timmar)", ylab = "magnitud ", main = "Lagga magnitud spectrum vinter ", xlim = c(1,40), ylim = c(0,3))
axis(1, at = seq(0, 40, by = 1))
axis(2, at = seq(0, 3, by = 0.5))
abline(v=12, col = "red")
abline(v=24, col = "red")

# -----
#BEFORE GROWING SEASON
# -----

innan <- data %>%
  filter(date >= as.Date("2021-04-01") & date <= as.Date("2021-04-30"))

# -----
## INTERPOLATION -----

```

```

#Interpolation of timeseries to get a value for each hour
inew_time <- seq.POSIXt(min(innan$datetime), max(innan$datetime), by = "1 hours")
iinterpolated_data <- approx(x = innan$datetime, y = innan$H, xout = inew_time)

#Creating new dataframe of new interpolated data
iinterpolated_df <- data.frame(time = iinterpolated_data$x, H = iinterpolated_data$y)

# -----

## PERFORM FAST FOURIERTRANSFORMATION
ifft_result <- fft(iinterpolated_df$H)

# Calculate the frequency values corresponding to the Fourier coefficients
ni <- length(iinterpolated_df$H)

sampling_rate <- (1) # Assuming uniformly sampled data sampled every hour

#calculating frequency
ifreq <- (0:( ni - 1) * sampling_rate / ni)

#converting frequency to time
ifreqq <- 1/ifreq

# -----

# Plot the FFT result againsts time
plot(ifreqq, abs(ifft_result), type = "l", xlab = "Time (hour)", ylab = "Magnitude ", main =
" Lagga magnitude spectrum innan växtsäsong ", xlim = c(1,40), ylim = c(0,5))
axis(1, at = seq(0, 40, by = 1))
axis(2, at = seq(0, 3, by = 0.5))
abline(v=12, col = "red")
abline(v=24, col = "red")

#-----
#DURING GROWING SEASON
# -----

under <- data %>%

  filter(date >= as.Date("2021-07-01") & date <= as.Date("2021-07-30"))

# -----

## INTERPOLATION -----

#Interpolation of timeseries to get a value for each hour
unew_time <- seq.POSIXt(min(under$datetime), max(under$datetime), by = "1 hours")
uinterpolated_data <- approx(x = under$datetime, y = under$H, xout = unew_time)

#Creating new dataframe of new interpolated data
uinterpolated_df <- data.frame(time = uinterpolated_data$x, H = uinterpolated_data$y)

# -----

## PERFORM FAST FOURIERTRANSFORMATION
ufft_result <- fft(uinterpolated_df$H)

# Calculate the frequency values corresponding to the Fourier coefficients
nu <- length(uinterpolated_df$H)

sampling_rate <- (1) # Assuming uniformly sampled data sampled every hour

#calculating frequency
ufreq <- (0:( nu - 1) * sampling_rate / nu)
#converting frequency to time
ufreqq <- 1/ufreq

```

```
# -----

# Plot the FFT result againsts time
plot(ufreqq, abs(ufft_result), type = "l", xlab = "Time (hour)", ylab = "magnitud", main =
"Lagga magnitudespectrum under växtsäsong ", xlim = c(1,40), ylim = c(0,5))
axis(1, at = seq(0, 40, by = 1))
axis(2, at = seq(0, 3, by = 0.5))
abline(v=12, col = "red")
abline(v=24, col = "red")
```

Bilaga 2. Kod R – Recessionskoefficient

```
#Ladda in paket
library(tidyverse)
library(lubridate)
library(dplyr)
library(readr)

# -----
# Välj dataset -----

Lagga <- read_delim("Examensarbete/Examensarbetet/Utvalda/Lagga2/Lagga.csv",
                   delim = ";", escape_double = FALSE, trim_ws = TRUE)

# Döp om dataset för att passa resten av koden
data <- Lagga #Döper om datasetet för att passa in i resten av koden

#Plotta mätdata för tidsserien
plot(data$datetime, data$H, type = "l", xlab = "Date", ylab = "Grundvattennivå
(asl)", main = "Grundvattennivå")

# -----

#Konvertera "date" kolumnen till datumformat
data$date <- as.Date(data$date)

#konvertera "datetime" kolumnen till datum-tid format
data$datetime <- as.POSIXct(data$datetime, format="%Y-%m-%d %H:%M:%S")

# -----
# DYGNSEDELVÄRDEN
#-----

# Gruppera baserat på datum och beräkna medel H(t) och lägg till H(t-1) kolumn
mean_tabel <- data %>% #skapar ny tabell
  group_by(date) %>% #grupperar H värden med samma datum
  summarize(mean_H = mean(H)) %>% #skapar medeldygnsvärde
  mutate(HmEtt = lag(mean_H)) #skapar kolumn för förra dygnets dygnsmedelvärde

#Plotta nya medeldata
plot(mean_tabel$date, mean_tabel$mean_H, type = "l", xlab = "Date", ylab = "Grundvattennivå
(asl)", main = "Medel grundvattennivå")

#Plotta H(t) ~ H(t-1)
plot(mean_tabel$HmEtt, mean_tabel$mean_H, type = "l", xlab = "meanH(t-1)", ylab =
"meanH(t)", main = "H(t) ~H(t-1)")

# -----
# BERÄKNINGAR AV RECESSIONSKOEFFICIENT -----
# -----

# -----
# GENERELL RECESSIONSKOEFFICIENT -----
# -----
# 2018 -----

# Filtrera data för önskat tidsspänn
sommar18 <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2018-11-01") & date <= as.Date("2024-09-28"))
```

```

# Skapa trendlinje för H(t) mot H(t-1)
S18lmH = lm(mean_H~HmEtt, data = sommar18) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
summary(S18lmH)
coefficients(S18lmH)
s18m <- coef(S18lmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
s18lambda <- s18m[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
s18k <- (-log(s18lambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# -----
# VÄXTSÄSONG -----
# -----

# INNAN -----
# 2018 -----

# Filtrera data för önskat tidsspann
dv18i <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2018-05-07") & date <= as.Date("2018-05-23"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
d18ilmH = lm(mean_H~HmEtt, data = dv18i) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
summary(d18ilmH)
coefficients(d18ilmH)
d18im <- coef(d18ilmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt
lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
d18ilambda <- d18im[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
d18ik <- (-log(d18ilambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# 2019 -----

#Filtering mean data for desired range
dv19i <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2019-04-24") & date <= as.Date("2019-05-09"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
d19ilmH = lm(mean_H~HmEtt, data = dv19i) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
summary(d19ilmH)
coefficients(d19ilmH)
d19im <- coef(d19ilmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt
lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
d19ilambda <- d19im[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
d19ik <- (-log(d19ilambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# 2020 -----

# Filtrera data för önskat tidsspann
dv20i <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2020-05-13") & date <= as.Date("2020-05-28"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
d20ilmH = lm(mean_H~HmEtt, data = dv20i) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
summary(d20ilmH)
coefficients(d20ilmH)
d20im <- coef(d20ilmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt
lutning

```

```

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
d20ilambda <- d20im[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
d20ik <- (-log(d20ilambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# 2021 -----

# Filtrera data för önskat tidsspann
dv21i <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2021-04-20") & date <= as.Date("2021-05-04"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
d21ilmH = lm(mean_H~HmEtt, data = dv21i) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
summary(d21ilmH)
coefficients(d21ilmH)
d21im <- coef(d21ilmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt
lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
d21ilambda <- d21im[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
d21ik <- (-log(d21ilambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# 2022 -----

# Filtrera data för önskat tidsspann
dv22i <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2022-05-01") & date <= as.Date("2022-05-16"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
d22ilmH = lm(mean_H~HmEtt, data = dv22i) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
summary(d22ilmH)
coefficients(d22ilmH)
d22im <- coef(d22ilmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt
lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
d22ilambda <- d22im[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
d22ik <- (-log(d22ilambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# 2023 -----

# Filtrera data för önskat tidsspann
dv23i <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2023-04-12") & date <= as.Date("2023-04-27"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
d23ilmH = lm(mean_H~HmEtt, data = dv23i) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
summary(d23ilmH)
coefficients(d23ilmH)
d23im <- coef(d23ilmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt
lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
d23ilambda <- d23im[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
d23ik <- (-log(d23ilambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# -----
#SUMMERING

dik <- (d18ik+d19ik+d20ik+d21ik+d22ik+d23ik)/6
diik <- c(d18ik, d19ik, d20ik, d21ik, d22ik, d23ik, dik)

```

```

diperiod <- c("Innan växtsäsong 2018", "Innan växtsäsong 2019", "Innan växtsäsong
2020", "Innan växtsäsong 2021" , "Innan växtsäsong 2022", "Innan växtsäsong 2023", "Innan
växtsäsong medel")
direcessionskoeficienter <- data.frame(diperiod, diik)
View(direcessionskoeficienter)
print(direcessionskoeficienter)
# -----

# UNDER -----
# 2018 -----

# Filtrera data för önskat tidsspann
dv18e <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2018-07-13") & date <= as.Date("2018-07-28"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
d18elmH = lm(mean_H~HmEtt, data = dv18e) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
summary(d18elmH)
coefficients(d18elmH)
d18em <- coef(d18elmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt
lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
d18elambda <- d18em[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
d18ek <- (-log(d18elambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# 2019 -----

# Filtrera data för önskat tidsspann
dv19e <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2019-08-05") & date <= as.Date("2019-08-20"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
d19elmH = lm(mean_H~HmEtt, data = dv19e) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
summary(d19elmH)
coefficients(d19elmH)
d19em <- coef(d19elmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt
lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
d19elambda <- d19em[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
d19ek <- (-log(d19elambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# 2020 -----

# Filtrera data för önskat tidsspann
dv20e <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2020-08-03") & date <= as.Date("2020-08-18"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
d20elmH = lm(mean_H~HmEtt, data = dv20e) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
summary(d20elmH)
coefficients(d20elmH)
d20em <- coef(d20elmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt
lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
d20elambda <- d20em[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
d20ek <- (-log(d20elambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# 2021 -----

```

```

# Filtrera data för önskat tidsspann
dv21e <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2021-07-15") & date <= as.Date("2021-07-25"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
d21elmH = lm(mean_H~HmEtt, data = dv21e) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
summary(d21elmH)
coefficients(d21elmH)
d21em <- coef(d21elmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt
lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
d21elambda <- d21em[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
d21ek <- (-log(d21elambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# 2022 -----

# Filtrera data för önskat tidsspann
dv22e <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2022-07-09") & date <= as.Date("2022-07-24"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
d22elmH = lm(mean_H~HmEtt, data = dv22e) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
summary(d22elmH)
coefficients(d22elmH)
d22em <- coef(d22elmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt
lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
d22elambda <- d22em[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
d22ek <- (-log(d22elambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# 2023 -----

# Filtrera data för önskat tidsspann
dv23e <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2023-07-05") & date <= as.Date("2023-07-20"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
d23elmH = lm(mean_H~HmEtt, data = dv23e) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
summary(d23elmH)
coefficients(d23elmH)
d23em <- coef(d23elmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt
lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
d23elambda <- d23em[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
d23ek <- (-log(d23elambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# -----
# SUMMERING

dek <- (d18ek+d19ek+d20ek+d21ek+d22ek+d23ek)/6
deek <- c(d18ek, d19ek, d20ek, d21ek, d22ek, d23ek, dek)
deperiod <- c("Under växtsäsong 2018", "Under växtsäsong 2019", "Under växtsäsong
2020", "Under växtsäsong 2021", "Under växtsäsong 2022", "Under växtsäsong 2023", "Under
växtsäsong medel")
derecessionskoefficienter <- data.frame(deperiod, deek)
View(derecessionskoefficienter)
print(derecessionskoefficienter)

```

```
# -----  
# Summering av k-växstsäsong -----  
  
vpk <- c(dik, dek)  
vaxtperiod <- c("innan","under")  
vaxtrecessionskoeficienter <- data.frame(vaxtperiod,vpk)  
View(vaxtrecessionskoeficienter)  
print(vaxtrecessionskoeficienter)
```

Bilaga 3. Kod R - Känslighetsanalys

```
#Ladda in paket
library(tidyverse)
library(lubridate)
library(dplyr)
library(readr)

# -----
# Välj dataset -----

Lagga <- read_delim("Examensarbete/Examensarbetet/Utvalda/Lagga2/Lagga.csv",
                   delim = ";", escape_double = FALSE, trim_ws = TRUE)

#Döp om dataset
data <- Lagga #Döper om datasetet för att passa in i resten av koden

# -----

#Konvertera datum och tid till rätt format
data$date <- as.Date(data$date)
data$datetime <- as.POSIXct(data$datetime, format="%Y-%m-%d %H:%M:%S")

# -----
# BERÄKNING AV RECESSIONSKOEFFICIENT -----
# -----
# DYGNSEDELVÄRDEN -----

# Grupperar baserat på datum och beräknar medelvärde
mean_tabel <- data %>% #skapar ny tabell
  group_by(date) %>% #grupperar H värden med samma datum
  summarize(mean_H = mean(H)) %>% #skapar medeldygnsvärde
  mutate(HmEtt = lag(mean_H)) #skapar kolumn för förra dygnets dygnsmedelvärde

# -----
#2018 -----

#a
# Filtrera för önskat tidsspann
ett <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2018-06-21") & date <= as.Date("2018-06-26"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
avlmH = lm(mean_H~HmEtt, data = ett) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
View(avlmH)
summary(avlmH)
coefficients(avlmH)
avm <- coef(avlmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
avlambda <- avm[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
avk <- (-log(avlambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# -----
#b

# Filtrera för önskat tidsspann
tva <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2018-06-22") & date <= as.Date("2018-06-27"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
bvlmH = lm(mean_H~HmEtt, data = tva) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
```

```

View(vlmH)
summary(bvlmH)
coefficients(bvlmH)
bvm <- coef(bvlmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
bvlambda <- bvm[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
bvk <- (-log(bvlambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# -----
#c

#Filtrera för önskat tidsspann
tre <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2018-06-23") & date <= as.Date("2018-06-28"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
cvlmH = lm(mean_H~HmEtt, data = tre) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
View(vlmH)
summary(cvlmH)
coefficients(cvlmH)
cvm <- coef(cvlmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
cvlambda <- cvm[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
cvk <- (-log(cvlambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# -----
#d

# Filtrera för önskat tidsspann
fyr <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2018-06-24") & date <= as.Date("2018-06-29"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
dvlmH = lm(mean_H~HmEtt, data = fyr) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
View(vlmH)
summary(dvlmH)
coefficients(dvlmH)
dvm <- coef(dvlmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
dvlambda <- dvm[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
dvk <- (-log(dvlambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# -----
#e

#Filtrera för önskat tidsspann
fem <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2018-06-25") & date <= as.Date("2018-07-30"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
evlmH = lm(mean_H~HmEtt, data = fem) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
View(vlmH)
summary(evlmH)
coefficients(evlmH)
evm <- coef(evlmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt lutning

```

```

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
evlambda <- evm[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
evk <- (-log(evlambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# -----
#f

#Filtrera för önskat tidsspann
sex <- mean_tabel %>%
filter(date >= as.Date("2018-06-26") & date <= as.Date("2018-07-01"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
fvlmH = lm(mean_H~HmEtt, data = sex) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
View(fvlmH)
summary(fvlmH)
coefficients(fvlmH)
fvm <- coef(fvlmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
fvlambda <- fvm[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
fvk <- (-log(fvlambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# -----
#g

# Filtrera för önskat tidsspann
sju <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2018-06-27") & date <= as.Date("2018-07-02"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
gvlmH = lm(mean_H~HmEtt, data = sju) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
View(gvlmH)
summary(gvlmH)
coefficients(gvlmH)
gvm <- coef(gvlmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
gvlambda <- gvm[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
gvk <- (-log(gvlambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# -----
#h

# Filtrera för önskat tidsspann
ott <- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2018-06-28") & date <= as.Date("2018-07-03"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
hvlmH = lm(mean_H~HmEtt, data = ott) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
View(hvlmH)
summary(hvlmH)
coefficients(hvlmH)
hvm <- coef(hvlmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
hvlambda <- hvm[["HmEtt"]] #lutningen för linje
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
hvk <- (-log(hvlambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# -----
#i

```

```

# Filtrera för önskat tidsspann
nio<- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2018-06-29") & date <= as.Date("2018-07-04"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
ivlmH = lm(mean_H~HmEtt, data = nio) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
View(ivlmH)
summary(ivlmH)
coefficients(ivlmH)
ivm <- coef(ivlmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
ivlambda <- ivm[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
ivk <- (-log(ivlambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten

# -----
#j

# Filtrera för önskat tidsspann
tio<- mean_tabel %>%
  filter(date >= as.Date("2018-06-30") & date <= as.Date("2018-07-04"))

# Skapa trendlinje för H mot HmEtt
jvlmH = lm(mean_H~HmEtt, data = tio) #skapar trendlinje mellan H(t) och H(t-1)
View(jvlmH)
summary(jvlmH)
coefficients(jvlmH)
jvm <- coef(jvlmH) #selektera ut endast koefficienterna ur lmH, interception samt lutning

#Beräkning av k - recessionskoefficienten
jvlambda <- jvm[["HmEtt"]] #lutningen för linjen
dt <- (1) #baserat på antal mätningar per dygn
jvk <- (-log(jvlambda)/(dt)) #k är recessionskoefficienten
# -----
# SUMMERING

sum <- c(avk, bvk, cvk, dvk, evk, fvk, gvk, hvk, ivk, jvk)

# -----

```

Bilaga 4. Datum för recessionskoefficientsberäkningar

Tabell 9. Datum för individuella beräkningar av recessionskoefficienter för de utvalda mätstationerna.

<i>mätstation</i>	<i>typ av recessionskoefficient</i>	<i>år</i>	<i>datum</i>
Huddinge 2	<i>generell innan dygnsvariation</i>	2020–2024	1/11–28/2
		2020	10/5–25/5
		2021	2/6–17/6
		2022	14/6–29/6
		2023	18/5–2/6
	<i>med dygnsvariation</i>	2020	5/8–20/8
		2021	11/7–26/7
		2022	15/6–30/6
		2023	14/7–29/7
Lagga 2	<i>generell innan dygnsvariation</i>	2020–2024	1/11–28/2
		2018	7/5–23/5
		2019	24/4–9/5
		2020	13/5–28/5
		2021	20/4–4/5
		2022	1/5–6/5
		2023	12/4–27/4
	<i>med dygnsvariation</i>	2018	13/7–28/7
		2019	5/8–20/8
		2020	3/8–18/8
		2021	15/7–30/7
		2022	9/7–24/7
		2023	5/7–20/7
Moheda 2	<i>generell innan dygnsvariation</i>	2020–2024	1/11–28/2
		2020	10/5–25/5
		2021	31/5–15/6
		2022	28/5–12/6
		2023	3/5–18/5
	<i>med dygnsvariation</i>	2020	5/8–20/8
		2021	16/7–31/7
		2022	8/11/8–26/8
		2023	5/7–20/7
Tärnsjö 32	<i>generell innan dygnsvariation</i>	2020–2024	1/11–28/2
		2018	23/4–8/5
		2019	1/5–16/5
		2020	24/5–8/6
		2021	16/4–1/5
		2022	17/4–3/5
		2023	19/6–2/7
	<i>med dygnsvariation</i>	2018	12/7–28/7
		2019	18/7–4/8
		2020	1/7–16/7
		2021	11/7–27/7
		2022	8/8–23/8
		2023	9/6–23/6
Kallåsbäcken 1	<i>generell innan dygnsvariation</i>	2020–2024	1/11–28/2
		2018	30/3–15/4
		2019	10/4–25/4
		2020	12/3–26/3
		2021	23/3–6/4
		2022	6/5–23/5

Kallåsbäcken 1	2023	8/5–23/5
<i>fortsättning</i>	2018	1/6–16/6
<i>med dygnsvariation</i>	2019	30/6–15/7
	2020	20/8–2/9
	2021	14/6–1/7
	2022	9/7–27/7
	2023	20/6–4/7

Bilaga 5. Känslighetsanalys - resultattabeller

Tabell 10. Tabellen avser de beräknade recessionskoefficienterna för de olika långa tidsperioderna. Tidsperioden avser den angivna mängden dygn och utgår från det för raden utsatta datumet år 2018 för mätstationen Lagga 2.

Startdatum	30 dygn	k [dag^{-1}]	
		15 dygn	5 dygn
21/6	0.0071	-0.0072	-0.1455
22/6	0.0182	0.0249	0.0212
23/6	0.0197	0.0335	0.1463
24/6	0.0143	0.0160	0.0666
25/6	0.0140	0.0123	0.0543
26/6	0.0127	0.0120	0.0646
27/6	0.0103	0.0057	0.0676
28/6	0.0111	0.0040	0.0349
29/6	0.0195	0.0120	0.0329
30/6	0.0294	0.0092	0.0189
Medel	0.0156	0.0122	0.0362
Median	0.0142	0.0120	0.0446

Tabell 11. Tabellen avser de beräknade recessionskoefficienterna för de olika långa tidsperioderna. Tidsperioden avser den angivna mängden dygn och utgår från det för raden utsatta datumet år 2018 för mätstationen Lagga 2.

startdatum	10 dygn	k [dag^{-1}]	
		5 dygn	2 dygn
25/6	0.0821	0.0543	0.0424
26/6	0.0358	0.0646	0.3839
27/6	0.0372	0.0676	0.0657
28/6	0.0209	0.0349	-0.2644
29/6	-0.0144	0.0329	-0.2644
30/6	-0.0166	0.0189	0.3859
1/7	0.0040	-0.0720	0.1111
2/7	-0.0048	-0.0947	-0.4301
3/7	-0.0087	0.0030	0.0082
4/7	0.0017	0.0505	0.0657
5/7	0.0281	0.0089	-0.1130
6/7	0.0367	0.0580	0.1211
7/7	0.0225	0.0699	0.1366
8/7	0.0225	0.0351	-0.0879
10/7	0.0168	0.0254	0.0494
11/7	0.0049	0.0113	0.1953
12/7	0.0066	-0.0408	-0.0056
13/7	0.0138	-0.0291	-0.1186
14/7	0.0191	0.0061	-0.0468
15/7	0.0148	0.0236	-0.0071
16/7	0.0212	0.0459	0.0362
17/7	0.0249	0.0885	0.0572
18/7	0.0221	0.0390	0.0079
19/7	0.0128	0.0087	0.0818
20/7	0.0114	-0.0086	0.2320
medel	0.0211	-0.0303	-0.1240
median	0.0662	-0.0345	-0.1670