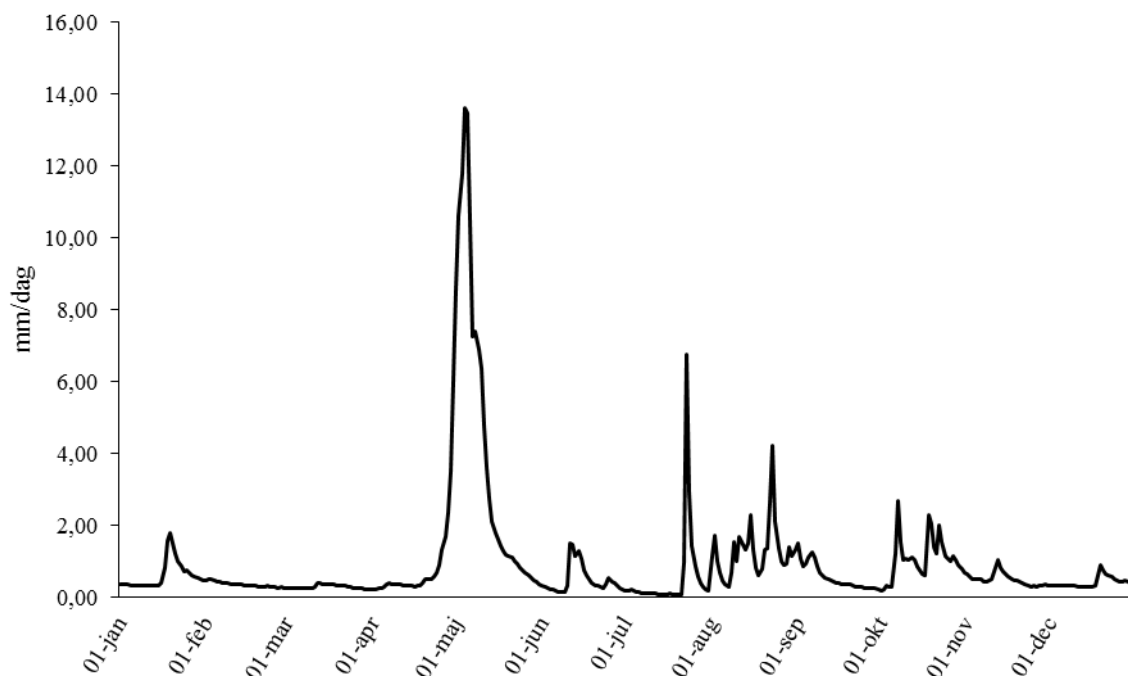


Förändring av vinterns längd och vårflod i ett borealt skogslandskap i norra Sverige

Changes in winter length and spring flood in a boreal forest in northern Sweden



Johannes Larson & Arvid Svensson



Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap,
Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet/Unit	Institutionen för skogens ekologi och skötsel / <i>Department of Forest Ecology and Management</i>
Författare/Author	Johannes Larson & Arvid Svensson
Titel, Sv	Förändring av vinterns längd och vårflood i ett borealt skogslandskap i norra Sverige.
Titel, Eng	<i>Changes in winter length and spring flood in a boreal forest in northern Sweden.</i>
Nyckelord/ Keywords	basflöde, vattenflöde, snösmältning, klimatförändring, Krycklan / <i>peak flow, onset, snowmelt, climate change, Krycklan</i>
Handledare/Supervisor	Tord Magnusson Institutionen för skogens ekologi och skötsel/ Department of Forest Ecology and Management
Examinator/Examiner	Tommy Mörling Institutionen för skogens ekologi och skötsel/ Department of Forest Ecology and Management
Kurstitel/Course	Kandidatarbete i skogsvetenskap Bachelor Degree in Forest Science
Kurskod	EX0592
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2016

FÖRORD

Detta kandidatarbete i skogsvetenskap skrevs våren 2016 vid Sveriges Lantbruksuniversitet i Umeå. Vi vill ge vår handledare, Universitetslektor Tord Magnusson vid institutionen för skogens ekologi och skötsel ett stort tack för att han har hjälpt oss genom hela arbetets gång, med konstruktiv kritik och goda idéer. Ett stort tack riktas även till Hjalmar Laudon som gav oss idén till arbetet och bidrog med sin kunskap. Tack Anders Muszta för din ovärderliga hjälp med statistiken.

Umeå, april 2016

Johannes Larson & Arvid Svensson

SAMMANFATTNING

Jordens klimat förändras, atmosfären och haven blir allt varmare. Dessa förändringar påverkar vattenbalansen. Kandidatarbetets syfte har varit att undersöka huruvida det skett förändringar i vinterns längd och basflöde samt vårflodens tidpunkt, högsta flöde och volym i Krycklans försökspark under perioden 1981-2015. Daglig vattenflödesdata från Krycklans Site 7 laddades ned från Krycklans öppna databas. Snödata användes för att kunna definiera vinterns början. För att upptäcka eventuella trender i datat utfördes en regressionsanalys och ett Mann-Kendall test. Resultatet från regressionsanalysen och Mann-Kendall testet visade på en signifikant trend mot kortare vintrar, lägre högsta flöde och att vårfloden startar tidigare. Ingen av analyserna visade på någon signifikant förändring i vårflodens volym, vinterns basflöde och tidpunkt för högsta flöde. Vinterns basflöde visade inte på någon förändring vilket skulle kunna bero på definitionen av vinter som användes. Studiens definition av vinter var tiden mellan snön har lagt sig till vårflodens början. Vinterbasflödet var det dagliga flödets medelvärde under vintern. Genom att studera tiden på vintern då flödet är som lägst skulle eventuellt en förändring av vinterbasflödet upptäckas. Den relativt korta period mellan 1981-2015 som studerats här kanske inte är tillräcklig för att upptäcka förändringar i ett Svenskt klimat på lång sikt.

Nyckelord: *Basflöde, vattenflöde, snösmältning, klimatförändring, Krycklan*

ABSTRACT

The Earth's climate is changing, the atmosphere and oceans are getting warmer. These changes affect the water balance. The aim of this thesis have been to investigate whether there has been any changes in winter length and winter base flow as well as in spring flood timing, maximum flow and volume in the The Krycklan catchment study area during the period of 1981-2015. Daily water flow data from Site 7 in Krycklan was downloaded from Krycklans open database. Snow data was downloaded to help define the start of winter. A regression analysis and a Mann- Kendall test was performed to reveal any trends in investigated parameters. The results from the regression analysis and Mann-Kendall test showed a significant change towards shorter winters, lower maximum flows and earlier spring flood onset. There was no significant change in spring flood volume, winter base flow or timing of maximum flow in any of the statistical analysis. The winter base flow did not show any trend which might be due to the definition of winter that was used. In this study winter is defined as the time between snow arrival and spring flood onset. The winter base flow was defined as the average daily flow during the winter. A trend might be detected by only studying the time during winter where the base flow is at its lowest. The relatively short period 1981-2015 that was used in this study might not be a long enough time scale to show long term changes in a Swedish climate.

Keywords: Peak flow, onset, snowmelt, climate change, Krycklan

INLEDNING

Introduktion

Att klimatet globalt sett förändras går inte att förneka. Atmosfären och haven blir allt varmare, Mängden snö och is har minskat, havsnivån stiger och koncentrationen av viktiga växthusgaser såsom koldioxid, metan och dikväveoxid har ökat. De tre senaste decennierna har det varit varmare vid jordytan än något decennium sedan 1850. På norra halvklotet så var perioden 1983-2012 förmodligen den varmaste perioden under de senaste 1400 åren (IPCC 2013).

En stor del av världens skogar finns i den boreala regionen. En viktig del i de boreala ekosystemen är vattenbalansen och de pågående och förväntade klimatförändringarna antas påverka dessa ekosystem (Callaghan m.fl. 2010). Vårfloden har inverkan på boreala ekosystem. Under vårfloden sker exempelvis en puls av pH-minskning i bäckarna (Buffam & Laudon 2008). Vårfloden och snösmältningen påverkar vattenkvaliteten som i sin tur påverkar djur i systemet (Mellander m.fl. 2005, Laudon m.fl. 2005).

Avrinning är det vattenflöde som orsakas av regn eller snösmältning. Det vinns en variation i avrinningen under året och variationen ser olika ut för olika delar av landet. I norr kan upp till hälften av årsavrinning komma från snösmältningen. Vårflodens början varierar även i Norrland. I fjällen inträffar vårfloden under juni och juli och redan så tidigt som i maj i skogsälvarna. Södra Sveriges nederbörd är inte lika snödominerad och snösmältningen kan ske under flera tillfällen. I nästan hela Sverige förekommer höga flöden under sommaren eller hösten som följd utav nederbörd i form av regn (SMHI 2002, Mellander m.fl. 2005).

Det finns gott om bevis för att det i Nordamerika och norra Eurasien har skett hydrologiska förändringar. Vårflodens högsta flöde sker allt tidigare och att det har skett en ökning i vinterns basflöde. Förändringarna i dessa områden följer regionala temperaturförändringar (Rosenzweig m.fl. 2007).

I Sverige är temperaturen den mer drivande klimatfaktorn jämfört med nederbörd för ökade flöden i vattendrag. Höga flöden är i Sverige i huvudsak relaterade till snösmältning. Det finns en distinkt gräns mellan snödrivna flöden i centrala Norrland och regndrivna flöden i södra delen av landet. Denna gräns förväntas i framtiden att röra sig högre upp i landet på grund av mindre snö i söder samt på lägre altitud. Generella trender i flöden de senaste 100 åren går inte att se för hela Sverige, men för enskilda vattendrag finns tydliga trender (Arheimer & Lindström 2015). I områden där nederbörd under vintern faller som snö finns det bevis för kortare period med snötäcke samt tidigare vårflod (Dahlke m.fl. 2012, Stewart m.fl. 2005, Cayan m.fl. 2001, Kellomäki m.fl. 2010). Burn m.fl. (2010) fann trender i minskat högsta flöde och tidigare snösmältning men påpekade att studieområdets geografiska belägenhet och avrinningsområdets egenskaper kan ge varierande utslag.

För att bättre tolka eventuella förändringar i tidsserier från observerad data är det vanligt, speciellt i hydrologiska sammanhang att man använder sig av trendanalyser (Hannaford m.fl. 2013). Mann-Kendall test är ett statistiskt test som är används när man vill undersöka trender i tidsserier inom bland annat hydrologi. För att upptäcka trender i data som är oberoende är det möjligt att använda regressionsanalys.

Syfte

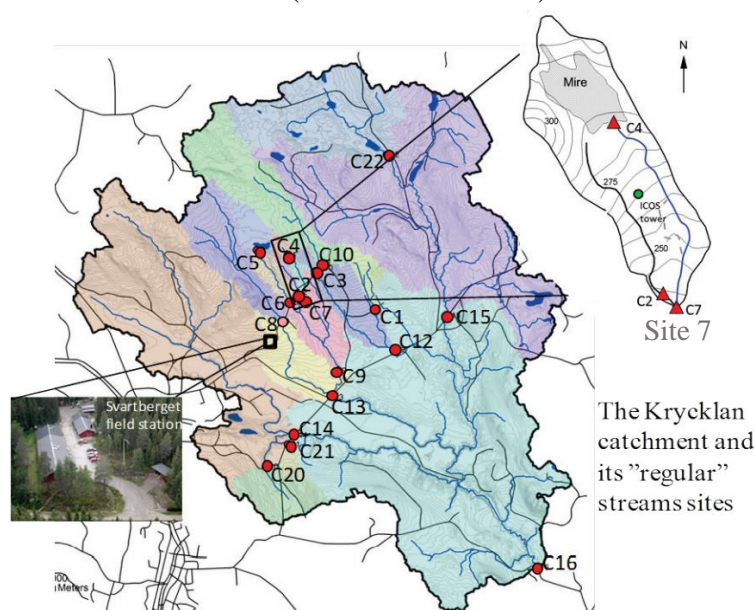
Denna studie tittar konkret på förändring i hydrologiska observationer under vinter och vår i ett borealt skogslandskap i norra Sverige. Statistiska analyser av vinterns längd och genomsnittliga basflöde samt vårfloedens början, slut, högsta flöde och volym utfördes för åren 1981-2015. Tidigare studier ger en generell bild för väldigt stora områden, såsom hela norra Sverige. Det enskilda avrinningsområdet kan skilja sig från den generella bilden på grund av geografiska läget samt lokala förhållanden. Förändringar över tiden i Krycklans hydrologi kan fylla en kunskapslucka för denna viktiga lokal med tanke på den forskning som bedrivs där.

Studien huvudmål var att undersöka:

- Finns det trender för vinterns längd och basflöde?
- Inträffar vårfloeden tidigare?
- Har högsta flödet förändrats?
- Finns det trender i vårfloedens volym?

MATERIAL OCH METOD

Svartbergets försökspark som tillhör Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) är en del av Krycklan. Landskapet är typiskt för det boreala bältet, en blandning av skog, myr, sjöar och vattendrag. Inom området finns avancerade och långvariga fältstudier. De pågående fältaktiviteterna innefattar över 50 forskningsprojekt, som involverar flera hundra forskare från alla de stora universiteten i Sverige och 30 andra länder. Sedan Svartberget försökspark anlades 1910 har över 1000 publikationer med resultat från området publicerats (SLU 2014). Krycklans avrinningsområde är beläget ungefär 5 mil nordväst från Umeå i norra Sverige (64, 140N, 19460E). Krycklan består av ett 6790 ha stort område, Svartbergets försökspark är en del av Krycklan, beläget i de övre delarna av Krycklans avrinningsområde. Site 7 i Svartbergets Försökspark är källan till det dagliga vattenflödesdata och snödata som har använts i detta arbete (Laudon m.fl. 2013).



Figur 1. Karta över Krycklans försökspark och dess avrinningsområde (SLU 2014).

Figure 1. Map over The Krycklan catchment study area (SLU 2014).

Datainsamling

Insamling av snödata i Svartbergets försökspark följde riktlinjerna enligt WMO (2015). På samma yta på 30×30 m observerades manuellt och noterades datumet för snöns ankomst då snötäcket var över 50 % av den undersökta arean och stannade permanent hela vintern. Snöns försvinnande noterades på samma yta då 50 % av arean blev fri från snö på våren. Fem stavar för att mäta snödjup fanns placerade i en halvcirkel med en radie av ca 5 m. Under mätning av snödjup stod observatören i mitten av cirkeln. Medeldjupet från de fem snödjupstavarorna registrerades. Mätningarna utfördes då första snön ackumulerats och mättes frekvent under första snöns ankomst och vid snösmältning tills snön försvann. Under vintern togs mätningar ungefär veckovis. Mätningarna startade vintern 1980/81. I genomsnitt skedde mätningarna var fjärde dag i undersökningens 35 år (Laudon & Ottoson- Löfvenius 2016).

Avrinningen i Site 7 beräknades från vattennivåmätningar vid en fördämning bestående av en tunn metallskiva med en 90 graders v-skåra. Mätningarna gjordes kontinuerligt med trycksensorer som mätte vattennivån genom vattentrycket. Mätningarna loggades en gång per timme, enheten är mm/dag. För att kalibrera de loggade värdena gjordes manuella mätningar vid fördämningen med jämna mellanrum i samband med vattenkemisk provtagning. De manuella mätningarna gjordes enligt “the bucket method” med jämna mellanrum i samband med vattenkemisk provtagning. De manuella mätningarna gjordes för att kontrollera de loggade värdena och för att kunna rätta till hur mycket de loggade värdena avvek från det verkliga flödet (Karlsen m.fl. 2016, Laudon m.fl. 2002).

Definitioner

Vinterns början definierades som när snön lägger sig i slutet av hösten eller början av vintern. Snötäcket måste ligga minst 45 dagar efter starten på vintern. Vinterns slut sker då vårfloden sätter igång. Datum har översatts till dag på året eller day of year (DOY) för att undvika problem med skottår. Vinterns genomsnittliga basflöde togs ut som parameter för trendanalys. Generellt sett ses vårfloden som ett resultat av snösmältning och tjällossning. Genom att endast titta på data för snödjup och vattenflöde kan man inte skilja ifall ökning i flöde endast beror på snösmältning och inte nederbörd i form av regn. I denna studie ansågs vårfloden vara ett högt flöde som inträffar tidigt under året. Utifrån definitionen är vårfloden ett högt flöde som inträffar under våren oavsett om det är regn eller snö som orsakar den. Vårflodens början definierades av algoritmen för “spring pulse” utvecklat av Cayan m.fl. (2001).

$$\bar{y}_t = \bar{y} + (x_t - \bar{x}) \quad (1)$$

Uträkningen av kumulativa medelvärdet (Figur 2b) utfördes enligt ekvation (1) där \bar{y}_t är det kumulativa medelvärdet, \bar{x} det årliga medelflödet, x_t det dagliga flödet och \bar{y}_{t-1} gårdagens kumulativa medelvärde. Början på vårfloden togs fram genom att subtrahera det dagliga flödet från årliga medelflödet samt ackumulera dessa värden genom att addera \bar{y}_{t-1} . Den dag då värdet var mindre än föregående dag identifieras som första dagen på vårfloden.

För att undvika att få med vissa avvikande flöden under vintern sattes ett kriterium upp för när vårfloden tidigast kan inträffa 11 mars. Viktigt att påpeka är att uträkningen av “vårflodens början” börjar från 1 januari varje år och inte vid denna studies definition på vinter. Vårflodens maximum är dagen då det högsta värdet på flödet sker efter vårflodens början, dock max 15 dagar efter snötäcket är borta. Amplituden på vårens högsta värde togs ut för vidare analys. Vårfloden tar slut när det dagliga vattenflödet igen går under det vattenflödet som var i bäcken vid dagen av vårflodens början eller då det har gått 30 dagar sedan vårflodens maximum (Figur 2a).

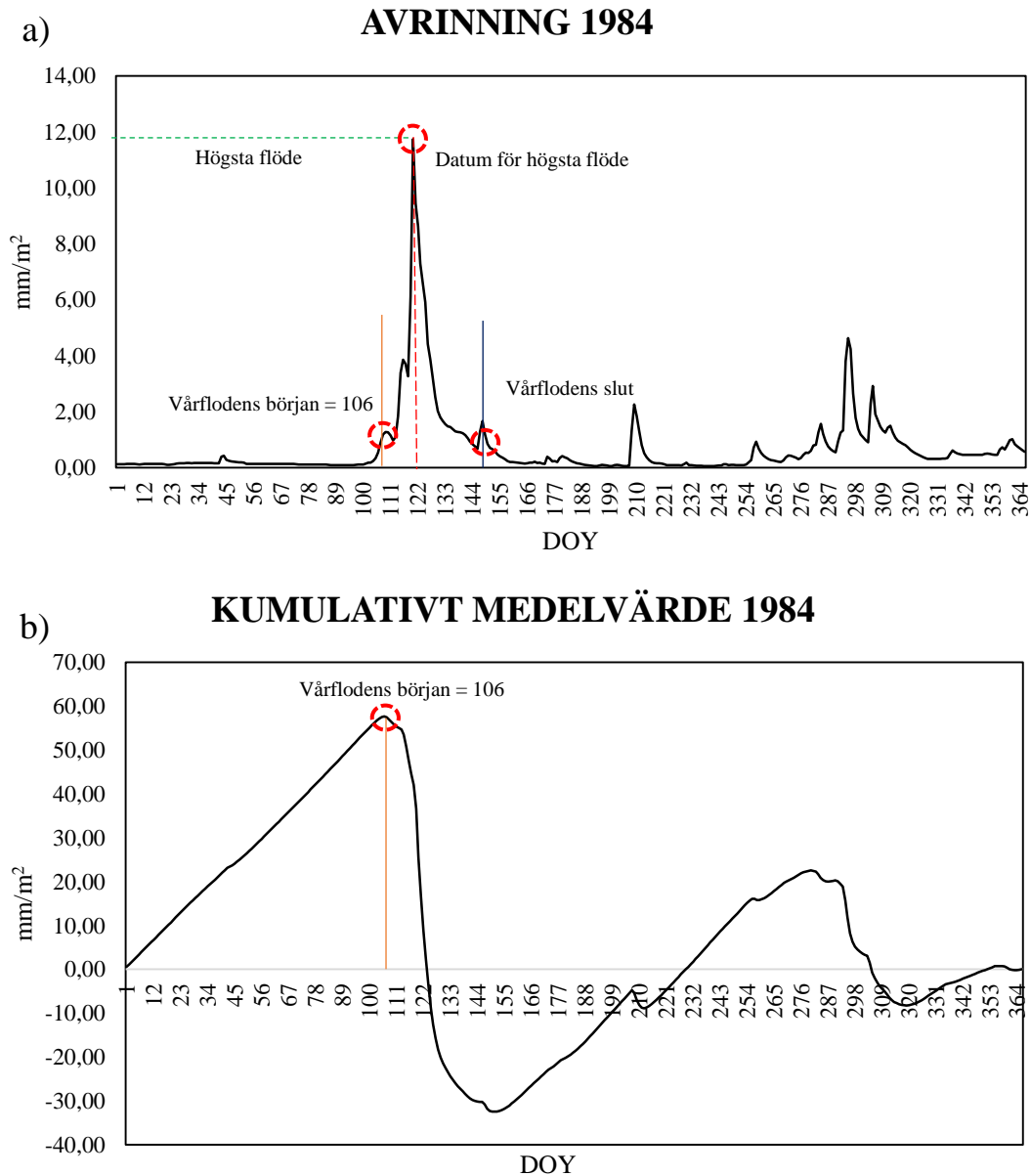


Figure 2 a) Årliga avrinningen för år 1984 med parametrarna som behandlas i denna studie. Vårflodens magnitud representerar vårflodens maximala flöde och datum för maximala flödet. DOY är förkortning för “day of year” nummer på dagen efter kalenderåret. Start och slut på vårfloden är markerade enligt definitionerna för denna studie. **b)** Visualisering av uträkningen för vårflodens början. Första dagen av vårfloden definieras som den första dagen då det kumulativa medelvärdet når sitt maximum. Modifierat efter Cayan m.fl. (2001).

Figure 2 a) The annual discharge for year 1984 including parameters handled in this thesis. Peak magnitude and day for peak maximum spring flood. DOY stands for “day of year” from the first day of the Julian calendar. Spring flood onset and offset are marked out according to their definitions in this thesis. **b)** Visualisation of calculation for spring flood onset. Onset is defines as the day when the accumulated average reaches its maximum. Modified according to Cayan m.fl. (2001).

Databearbetning

Det insamlade rådatat med snödjup och dagliga vattenflöden laddades ner från Krycklans öppna databas. Datat sorterades upp för att kunna få en överblick. När definitionerna var fullständiga började arbetet med att plocka ut intressanta parametrar som var relevanta för vår frågeställning. Följande data plockades ut med hjälp av utarbetade definitioner: vinterns längd, vinterns basflöde, vårflodens början, datum för högsta flöde, högsta flöde och vårflodens volym. För att få en överblick i hur de utvalda parametrarna hade förändrats över tid och för att se ifall en regressionsanalys var möjlig gjordes en scatterplot, en partiellautokorrelation och en residualplot med tillhörande grafer. Två separata statistiska analyser utfördes för att se eventuella trender i undersökta parametrar, en regressionsanalys samt en tidsserieanalys i form av ett Mann-Kendall test.

Regressionsanalys

Eventuella trender undersöktes med regressionsanalys. Regressionsanalys är en statistisk metod för att analysera sambandet mellan en responsvariabel y och en eller flera förklarande x -variabler. Regressionsanalys är ett av de vanligast använda statistiska analysverktygen för att analysera data. Resultatet av analysen uttrycker variablernas samband i form utav en ekvation eller en modell. För att kunna utföra en regressionsanalys ska tre förutsättningar vara uppfyllda. Datat måste vara oberoende, ha en konstant varians och vara normalfördelat. Om bruset inte är oberoende så bör en tidsserieanalys utföras (Chatterjee and Hadi 2006).

Mann-Kendall test

För att undersöka eventuella trender i de tidsserier som behandlas utfördes även ett Mann-Kendall test på de olika parametrarna. Mann-Kendall test är ett icke-parametriskt statistiskt test som är vanligt förekommande när man vill utvärdera om det finns en signifikant trend i tidsserier som rör hydrologi och meteorologi (vattenflöden, vattenkvalitet, temperatur och nederbörd) (Yue m.fl. 2002). För att uppskatta lutningen av eventuell trendlinje används Theil-Sen metoden (Theil 1950, Sen 1968). Bristande kunskap och tid hos författarna gör att denna studie inte bearbetar lutningen på trendlinjen från Mann-Kendal test utan använder det endast som ett verktyg för att se om det finns en signifikant trend eller inte. För detaljerad information rörande de statistiska beräkningar som utförs i Mann-Kendall testet och Theil-Sen metoden kan man läsa Yue m.fl. (2002).

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2-5)}{5} \quad (2)$$

I den här studien har en modifierad form av Yue m.fl. (2002) formel används (2) för att räkna ut variansen där man inte tar hänsyn till att olika värden kan vara exakt lika. Från formeln får man variansen (V) för S och n är antalet observationer.

RESULTAT

Under den undersökta perioden 1981-2015 låg vinterns längd i Krycklan mellan 132-198 dagar. Vårflodens början inträffade mellan 12 mars (DOY 71) och 8 maj (DOY 128). Dagen för högsta flöde varierade från 13 april (DOY 103) till 23 maj (DOY 143). Det högsta flödet under vårfloden låg mellan 1,1 och 16,6 mm/dag. Vårflodens slut inträffar mellan 5 maj (DOY 125) och 14 juni (DOY 165). Volymen för vårfloden låg mellan 16,6 till 132,7 mm.

Regressionsanalysen på vinterns längd gav en signifikant negativ trend med ett p-värde på 0,000 (Tabell 1). En negativ trend innebär att vinterns längd under perioden 1981-2015 har blivit kortare (Figur 3). Trendlinjens lutning innebär att vintern blir 1,155 dagar kortare för varje år under den undersökta perioden. Det utförda Mann-Kendal testet visade även på en signifikant negativ trend med p-värde 0,000 (Tabell 2). Nollhypotesen kunde i båda analyserna förkastas.

Vinterns basflöde gav i regressionsanalysen en mycket svagt positiv trend men utan signifikans då p-värdet låg på 0,718 (Tabell 1). Mann-Kendal testet resulterade i en positiv trend med p-värde 0,859 och var inte signifikant. Ingen förändring kunde påvisas.

Datomet för vårflodens början gav i regressionsanalysen en negativ trend med p-värde på 0,017 (Tabell 1). Regressionsekvationen innebär att vårfloden börjar 0,449 dagar tidigare för varje år under perioden 1981-2015 (Figur 4). Mann-Kendal testet visade inte på en signifikant negativ trend med ett p-värde på 0,058 (Tabell 2). Nollhypotesen att vårflodens början inte är förändrad kunde förkastas i regressionsanalysen men inte i Mann-Kendall testet.

Vårflodens högsta flöde gav i regressionsanalysen en negativ trend med ett p-värde på 0,049 (Tabell 1). Regressionsanalysen gav en trendlinje som innebar en minskning på 0,1146 mm för varje år (Figur 5). Även Mann- Kendall testet gav en signifikant negativ trend med ett p-värde på 0,033. Nollhypotesen för båda analyserna kunde förkastas (Tabell 2).

Datomet för högsta flödet under vårfloden visade ingen signifikant trend med varken regressionsanalys eller Mann-Kendall testet med p-värden på 0,195 respektive 0,155 (Tabell 1, Tabell 2). Regressionsanalys på vårflodens volym gav en negativ trend men utan signifikans. P-värdet låg på 0,287 (Tabell 1). Mann-Kendall visade inte heller någon signifikant trend med ett p-värde på 0,182 (Tabell 2) och båda analysernas nollhypoteser kunde förkastas.

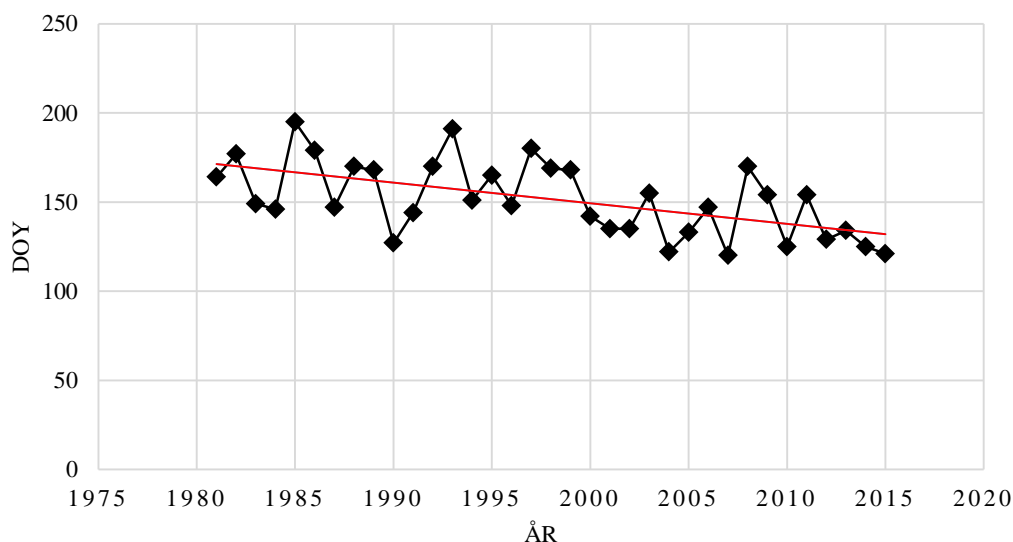
Tabell 1. Sammanställning av utförda Mann-Kendall trend test med 95 % konfidensintervall**Table 1.** Compilation of Mann-Kendall trend test with 95 % confidence interval

Mann-Kendall trend test	Vinterns längd	Vinterns basflöde	Vårflodens början	Datum för högsta flöde	Högsta flödet	Vårflodens volym
P-värde	0,000	0,859	0,058	0,155	0,033	0,182
alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
S	-241	13	-129	-97	-145	-91

Tabell 2. Sammanställning av utförda regressionsanalyser med 95 % konfidensintervall**Table 2.** Compilation of regression analysis with 95 % confidence interval

Regressions analys	Vinterns längd	Vinterns basflöde	Vårflodens början	Datum för högsta flöde	Högsta flödet	Vårflodens volym
P-värde	0,000	0,718	0,017	0,195	0,049	0,287
alfa	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
R-sq	32,55 %	0,40 %	15,97 %	5,04 %	11,21 %	3,43 %
R-sq (adj)	30,50 %	0,00 %	13,43 %	2,16 %	8,52 %	0,50 %
Coef (Constant)	2460	-1,62	1004	531	238	2009
Coef (År)	-1,155	0,00095	-0,449	-0,204	-0,1146	-0,940

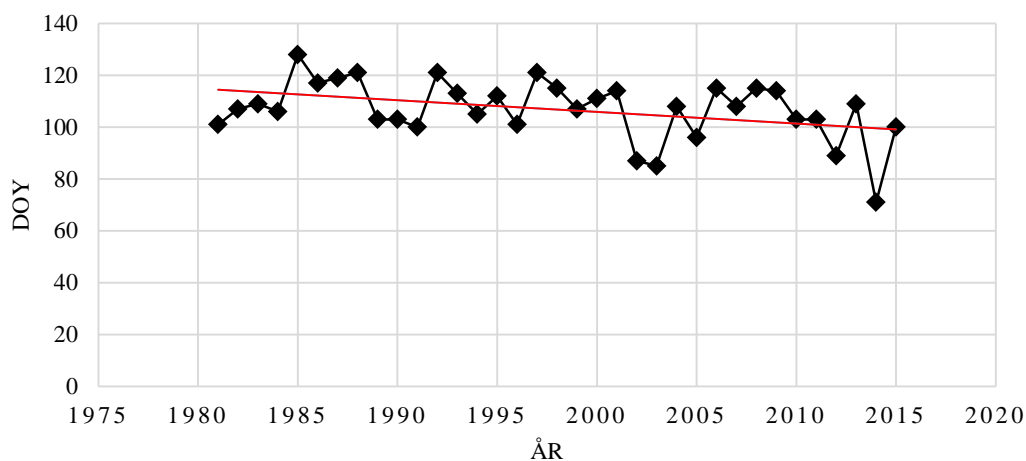
VINTERNS LÄNGD

**Figur 3.** Observerade antal dagar av vinter (1981-2015). Trendlinje med en negativ trend innebär kortare vinterlängd. Regressionsanalysen resulterade i ett P-värde = 0,000 och R-sq = 32,55%.

Regressionskvation: Vinterns längd = 2460 - 1,155 År

Figure 3. Observed days of winter (1981-2015). A negative trend line meaning a decrease in days of winter. The regression analysis resulted in a P-value = 0,000 and R-sq = 32,55%. Regression equation: Winter length = 2460 - 1,155 Year

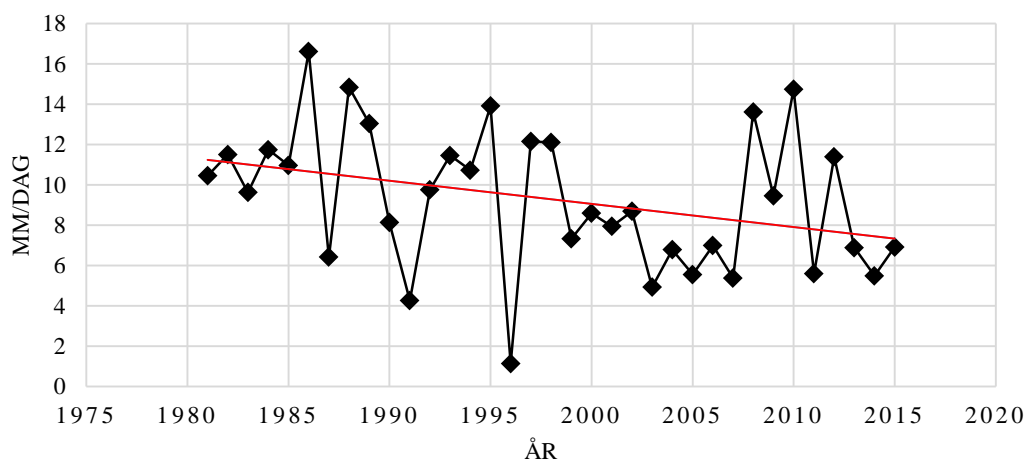
VÅRFLODENS BÖRJJAN



Figur 4. Observerade datum för vårfloedens början (1981-2015). DOY är "dag på året" räknat från årsskiftet. Trendlinje med en negativ lutning innebär en tidigare vårfloed. Regressionsanalysen resulterade i ett P-värde = 0,017 och R-sq = 15,97%. Regressionsekvation: Vårfloedens början = $1004 - 0,449 \text{ År}$

Figure 4. Observed date for spring flood onset (1981-2015). DOY is "day of year" from start of calendar year. A negative trend indicating an earlier spring flood onset. The regression analysis resulted in a P-value = 0,017 and R-sq = 15,97%. Regression equation: Spring flood onset = $1004 - 0,449 \text{ Year}$

HÖGSTA FLÖDET



Figur 5. Observerade data på högsta flödet under vårfloeden mätt i mm/dag i perioden (1981-2015). Trendlinje med negativ lutning innebär minskat högsta flöde. Regressionsanalysen resulterade i ett P-värde = 0,049 och R-sq = 11,21%. Regressionsekvation = $238 - 0,1146 \text{ År}$

Figure 5. Observed data peak flow magnitude (1981-2015). A negative trend indicating a decrease in peak flow magnitude. The regression analysis resulted in a P-value = 0,049 and R-sq = 11,21%.

Regression equation: Peak flow magnitude = $238 - 0,1146 \text{ Year}$

DISKUSSION

Regressionsanalys och Mann-Kendall test visade på en signifikant negativ trend på vinterns längd. Regressionsanalysen resulterade i att vintern under 1981-2015 blev 1,155 dagar kortare per år. Nollhypotesen kunde förkastas. Viktigt att ha i åtanke vid tolkning av resultatet är denna studies definition av vinter. Studiens definition av vinter är tiden mellan snön lagt sig till vårflodens början. SMHI definierar ofta vinter som den period då dygnets medeltemperatur varaktigt är 0 grader eller lägre (SMHI 2013). I denna studie anses det vara mer relevant att jämföra antal dagar med snötäcke då vårfloden har sin början i snösmältningen. Under perioden 1990/91-2013/14 förekom en minskning i antalet dagar med snötäcke i Sverige jämfört med tidigare 30-årsperiod. I Götaland och Svealand fann man en signifikant minskning med minst 20 dagar men ingen signifikant minskning generellt sett för norra Norrland (Wern 2015). Tidigare studier har visat på ett minskat antal dagar med snötäcke i Fenoskandinavien och antal dagar med snötäcke antas att minska ytterligare i framtiden (Kellomäki m.fl. 2010). Minskningen av snötäcke kan kopplas ihop med varmare temperaturer under vinterhalvåret. Minskat snötäcke kan ha flera konsekvenser. Snön har en isolerande effekt på marken och minskat snötäcke kan leda till förändring i tjälbildning. En kortare vinter kan även innebära en längre vegetationsperiod vilket skulle kunna påverka ekosystem och markens produktionsförmåga.

Vinterns basflöde visade inte på någon trend varken för regressionsanalysen eller Mann-Kendall testet och nollhypotesen kunde inte förkastas. Resultatet kan bero på definitionen av vintern som används, då definitionen byggdes upp med hjälp av snötäcket. Då denna studie avser vinterbasflöde som basflödet under hela vintern blir medelvärdet ofta högre än en definition som skulle avse en den kortare perioden då flödet är som lägst under vintern. Genom att titta på de 7 dagarna med lägst flöde under vintern har en ökning i basflöde upptäckts i liknande system i Canada (Novotny & Stefan, 2007). Möjligtvis skulle denna studie resultera i liknande slutsats om deras definition användes.

Vårfloden inträffade enligt regressionsanalysen 0,449 dagar tidigare för varje år mellan 1981-2015. Mann-Kendall testet visade dock ingen signifikant trend i datumet för vårflodens början. En tidigare vårflod har upptäckts i flera andra studier (Stewart 2005, Cayan, 2001). Formeln som användes i denna studie för att räkna ut variansen i Mann-Kendall testet var modifierad och tog inte hänsyn till att värden kan vara exakt lika stora. Det ledde till att ett något högre p-värde räknades ut jämfört med om originalformeln från Yue m.fl. (2002) hade används. Med den modifierade formel som användes ställdes det högre krav på data för att en trend skulle kunna påvisas. Om datat visar på en trend med den modifierade formeln, kommer originalformeln från Yue m.fl. (2002) också att göra det. P-värdet för Mann-Kendall test var 0,058 och ligger nära gränsen för att kunna tolkas som signifikant trots att den modifierade formeln användes. Studien stämmer väl överens med liknande studier över Sverige där en tidigare vårflod observerats. Att vårfloden inträffar tidigare antas bero främst på ökade temperaturer och en tidigare snösmältning (Wilson m.fl. 2010).

Regressionsanalys och Mann-Kendall test på vårflodens högsta flöde visade båda på en signifikant trend. Högsta flödet har minskat under perioden 1981-2015 med 0,1146 mm för varje år. Av de variabler i resultatet som var signifikanta var högsta flödet det värde som var minst signifikant med ett p-värde på 0,049. Trender i minskat högsta flöde stämmer överens med tidigare studier (Cunderlik 2009, Burn m.fl. 2010). Klimatförändringarnas påverkan på vårflodens högsta flöde kan variera med lokalen. I avrinningsområdet Krycklan är vårfloden främst kopplad till snösmältning. Ökade temperaturer under vinter och vår leder till en minskning i snötäcke innan snösmältningen börjar, vilket i sin tur kan antas leda till en minskning av vårflodens högsta flöde. Ökade temperaturer leder även till tidigare vårflod (Burn m.fl. 2010).

För vårflodens volym upptäcktes ingen signifikant trend. Att kunna definiera ett tydligt slut på en vårflod var mycket svårt och kan ha varit en stor orsak till resultatet. Vissa år kan man se ett tydligt avslut på vårfloden men ibland inte. Denna studie gjorde ingen skillnad på flöde från snösmältning eller i form av regn. En minskad vårflodsvolym skulle möjligtvis kunna upptäckas då en kortare vinter innebär en minskad tid för snö att ackumuleras, men då behöver man skilja topparna i flöde från nederbörd i form utav regn.

För att upptäcka förändringar i klimatet över lång tid är det möjligt att den relativt korta period mellan 1981-2015 som studerats här inte är tillräcklig för att ge en fullständig bild. Den period med 50 år av observationer som Arheimer & Lindström (2015) använde i sin studie gav en stark trend mot ökande höstflöden i svenska vattendrag. När de använde 100 års observerad data försvann denna trend. Det visar enligt författarna att 50 år är en för kort tidshorisont för att kunna studera trender i ett svenskt klimat.

Både ett Mann-Kendall test och en regressionsanalys utfördes. Anledningen till detta var att kraven för en regressionsanalys inte ansågs uppfyllda vid början av arbetet. Datat antogs inte vara oberoende d.v.s. att de enskilda årens värden påverkade varandra. Ett Mann-Kendall test utfördes likt andra studier på området. Ganska sent i arbetets gång gjordes analyser av datats oberoende. Slutsatsen var att datat var oberoende och kraven för en regressionsanalys var uppfyllda. Därefter gjordes en regressionsanalys.

Våra slutsatser var att vintern har blivit kortare, vårfloden inträffar tidigare och högsta flödet under vårfloden har minskat. Förändringar i vinterns basflöde, vårflodens volym och datum för högsta flöde kunde inte påvisas. De resultat som studien visar på speglar de regionala förhållanden som råder i Krycklan-området.

REFERENSER

Arheimer, B.; Lindström, G. (2015). *Climate impact on floods: changes in high flows in Sweden in the past and the future (1911–2100)*. Hydrology and Earth System Sciences, 4 February 2015, Vol.19 (2), pp.771-784

Buffam, I., H. Laudon, J. Seibert, C.-M. Mörth, and K. Bishop. (2008). *Spatial heterogeneity of the spring flood acid pulse in a boreal stream network*. Science of the Total Environment 407: 708–722.

Burn, Donald H.; Sharif, Mohammed ; Zhang, Kan. (2010). *Detection of trends in hydrological extremes for Canadian watersheds*. Hydrological Processes, 2010, Vol.24(13), pp.1781-1790

Callaghan, Terry V. Bergholm, Fredrik; Christensen, Torben R. Jonasson, Christer; Kokfelt, Ulla; Johansson, Margareta. (2010). *A new climate era in the sub-Arctic: Accelerating climate changes and multiple impacts*. Geophysical Research Letters, 2010, Vol.37 (14)

Cayan, D. R., Kammerdiener, S. A., Dettinger, M. D., Caprio, J. M. and Peterson, D. H. (2001). *Changes in the Onset of spring in the Western United States*. Bulletin of the American Meteorological Society. 82. 3. 399-415.

Chatterjee, S and Hadi, A (2006). *Regression analysis by example*. 4. uppl. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Cunderlik, Juraj M.; Ouarda, Taha B.M.J. (2009). *Trends in the timing and magnitude of floods in Canada*. Journal of Hydrology, 2009, Vol.375(3), pp.471-48

Dahlke, H. E., Lyon, S. W., Stedinger, J. R., Rosqvist, G. and Jansson, P. (2012). *Contrasting trends in floods for two sub-arctic catchments in northern Sweden – does glacier presence matter?* Hydrol. Earth Syst. Sci.. 16. 2123-2141. doi: 10.5194/hess-16-2123-2012.

Hannaford, J., Buys, G., Stahl, K., and Tallaksen, L. M. (2013). *The influence of decadal-scale variability on trends in long European streamflow records*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 17, 2717-2733, doi:10.5194/hess-17-2717-2013, 2013.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Karlsen R.H., J. Seibert, T. Grabs, H. Laudon, P. Blomkvist, K. Bishop (2016). *Supporting Information for The Assumption of Uniform Specific Discharge: Unsafe at Any Time?* doi: 10.1002/hyp.10877

Kellomäki S., Maajärvi M., Strandman H., Kilpeläinen A., Peltola H. (2010). *Model computations on the climate change effects on snow cover, soil moisture and soil frost in the boreal conditions over Finland*. Silva Fennica vol. 44 no. 2 article id 455.

Laudon, H., H. F. Hemond, R. Krouse, and K. H. Bishop. (2002). *Oxygen 18 fractionation during snowmelt: Implications for springflood hydrograph separation*, Water Resour. Res., 38(11), 1258, doi:10.1029/2002WR001510, 2002.

Laudon, H and Ottosson-Löfvenius, M. (2016). *Adding snow to the picture – providing complementary winter precipitation data to the krycklan catchment study database*. doi: 10.1002/hyp.10753

Laudon, H ; Poléo, A.B.S. ; Vøllestad, L.A ; Bishop, K. (2005). *Survival of brown trout during spring flood in DOC-rich streams in northern Sweden: the effect of present acid deposition and modelled pre-industrial water quality*. Environmental Pollution, 2005, Vol.135(1), pp.121-130

Laudon, H., I. Taberman, A. Ågren, M. Futter, M. Ottosson-Löfvenius, and K. Bishop (2013). *The Krycklan Catchment Study—A flagship infrastructure for hydrology, biogeochemistry, and climate research in the boreal landscape*. Water Resour. Res., 49, 7154–7158, doi:10.1002/wrcr.20520.

Mellander, P-E. Laudon, H. Ottosson-Löfvenius M. (2005). *Snödjup och marktemperatur i norrländska skogar idag och om 100 år*. Fakta skog nr. 14.

Novotny, E.; Stefan, H. (2007). *Stream flow in Minnesota: Indicator of climate change*, Journal of Hydrology. 2007. Vol.334 (3), pp.319-333

Rosenzweig, C., G. Casassa, D.J. Karoly, A. Imeson, C. Liu, A. Menzel, S. Rawlins, T.L. Root, B. Seguin, P. Tryjanowski. (2007): *Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems*. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 79-131.

Sen, P. K. (1968). *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau*. Journal of the American Statistical Association 63 (324): 1379-1389.

SLU (2012). *A guide to Krycklan*. [Online] Tillgängligt: http://www.slu.se/Global/externwebben/s-fak/skogens-ekologi-och-skotsel/krycklan/A%20guide%20to%20Krycklan_2012-08-22.pdf [2016-04-08]

SLU (2014). *The Krycklan Field Guide*. [Online] Tillgängligt: <http://www.slu.se/Global/externwebben/s-fak/skogens-ekologi-och-skotsel/krycklan/The%20Krycklan%20Field%20Guide%202014-09-09.pdf> [2016-03-14]

SMHI (2002). *Avrinningen i Sverige*. faktablad nr 12.

http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.6351!/faktablad_avrinning%5B1%5D.pdf

SMHI (2013). *Vinter*. [Online] Tillgänglig: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/vinter-1.22843/>

[2016-04-08]

Stewart, I. T., Cayan, D. R., and Dettinger, M. D. (2005). *Changes toward earlier streamflow timing across western North America*. *J. Climate*, 18, 1136–1155, 2005.

Theil, H. (1950). *A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis*. *Proceedings of the Royal Netherlands Academy of Sciences* 53: Part I: 386-392, Part II: 521-525, Part III: 1397-1412.

Wern, L. (2015). *Snödjup i Sverige 1904/05-2013/14*. SMHI, Meteorologi, nr 158.

Wilson, D ; Hisdal, H ; Lawrence, D. (2010). *Has streamflow changed in the Nordic countries? - Recent trends and comparisons to hydrological projections*.

Journal of hydrology. 2010. Vol.26(3), pp.334-346

WMO, World Meteorological Organization. (2015). *Manuals and Guides*. [Online] Tillgänglig:

<http://www.wmo.int/pages/prog/www/manuals.html> [2016-04-11]

Yue, S., Pilon, P. and Cavadias, G. (2002). *Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series*. *Journal of Hydrology*. 259. 254-271.