

KALKSTENSTÄKT KLINTHAGEN

HYDROLOGISK UTREDNING – VATTENBALANSREVIDERING

2023-02-07



KALKSTENSTÄKT KLINTHAGEN

HYDROLOGISK UTREDNING – VATTENBALANSREVIDERING

KUND

Nordkalk AB

KONSULT

WSP Earth and Environment

Box 13033

402 51 Göteborg

Besök: S:t Larsgatan 3

Tel: +46 10 7225000

www.wsp.com

KONTAKTPERSONER

Jan Pietron

Mail: jan.pietron@smhi.se

UPPDRAGSNAMN

Vattenbalansrevidering för Klint-
hagenbäckens avrinningsom-
råde, Gotland

UPPDRAGSNUMMER

10334727

FÖRFATTARE

Jan Pietron

DATUM

2022-06-03

ÄNDRINGSDATUM

2023-02-07

Granskad av

Patrik Lissel

Godkänd av

Patrik Lissel

INNEHÅLL

1	BAKGRUND	4
1.1	Vattenhantering	4
1.2	Områdesbeskrivning	5
2	METOD	6
2.1	Vattenbalansberäkningar för referensavrinningsområde	6
2.2	Vattenbalansberäkningar för Klinthagens täktområde	8
3	RESULTAT	10
3.1	Vattenbalansresultat för naturområden – referensavrinningsområde	10
3.2	Vattenbalansresultat för Klinthagens täktområde	13
3.2.1	Vattenflöde från naturområden (Q_{nat})	13
3.2.2	Vattenflöde från täktområde och grundvattenströmning ($Q_{täkt}$ och Q_{GV})	14
3.2.3	Vattenbalans under hydrologiskt år	17
3.2.4	Vattenflöde efter utvidgning (III) av täkten	18
4	SAMMANFATTNING	19
5	REKOMMENDATIONER	20
6	LITTERATUR	21

1 BAKGRUND

Nordkalk AB ämnar söka tillstånd för utökad brytning i kalksten inom fastigheten Lärbro Stora Vikers 1:94, söder om Kappelshamnsviken på norra Gotland. Brytning av kalksten har utförts på fastigheten sedan 1980-talet.

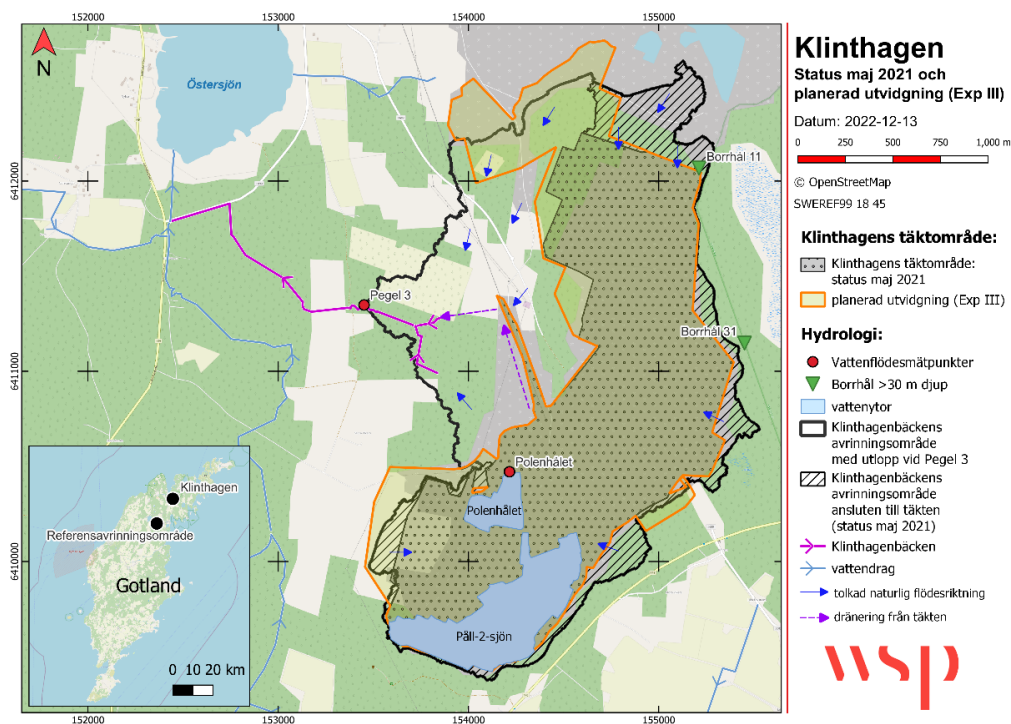
WSP har på uppdrag av Nordkalk AB tagit fram här presenterad hydrologisk utredning med syfte att:

1. Formulera en metod för att uppskatta detaljerad vattenbalans för Klinthagens täktområde och Klinthagenbäckens avrinningsområde.
2. Uppskatta grundvatteninflödet till Klinthagens täktområde.
3. Bedöma den avrinning som förväntas uppkomma till följd av utvidgning av täkten.

Den planerade brytningen avser ett område inom fastigheten Lärbro stora Vikers 1:94 söder om Kappelshamnsviken. Brytningen kommer till stor del ske inom den befintliga täkten, men tre av de nya brytområdena kommer till viss del att utvidga täktens yta.

1.1 VATTENHANTERING

Det täktvatten som bildas på fastigheten tas omhand i två täktsjöar som benämns *Pall 2-sjön* samt *Polenhålet*. Täktvatten samlas först upp i Pall 2-sjön via en dikesringled. I Pall 2-sjön sker en sedimentering och mellanlagring av vattnet. Från Pall 2-sjön bräddar vattnet naturligt över till den mindre täktsjön som kallas för Polenhålet. För områden som ligger strax norr om och i närheten av Polenhålet leds vattnet direkt till Polenhålet utan att först passera Pall 2-sjön. Från Polenhålet pumpas vattnet ut via ca 450 m lång rörledning som går ned i vattenspegeln och sedan passerar pumphus. Därefter vattnet riktas vidare ut till Klinthagenbäcken. Utgående ledning från pumpgropen utgör det enda utgående vattnet från täktområdet. Täktvattnet leds via ett dike till ett översilningsområde med våtmarksväxter innan det rinner till ett jordbruksdike som så småningom ansluter till Klinthagenbäcken (se de lila pilarna i Figur 1).



Figur 1. Klinthagens täktområde (maj 2021) med planerad utvidgning (Exp III) och Klinthagenbäckens avrinningsområde med utlopp vid Pegel 3.

1.2 OMRÅDESBESKRIVNING

Det täktvatten som bildas i kalkstenstäkten i Klinthagen hamnar så småningom i Klinthagenbäcken som utgör recipient. Vattnet i Klinthagenbäcken kommer dock inte uteslutande från täkten, utan avrinningsområdet inkluderar även områden som utgörs av ängsmark och skog nedströms täkten. Bäckens avrinningsområde samt taktens nuvarande och planerade utbredning illustreras i Figur 1 (se också WSP, 2021). Klinthagenbäckens ytavrinningsområde har bestämts genom analys av höjddata med upplösning 1,0 m i ArcMap 10.7.1 (WSP, 2021). Grundvattentillrinning kan ske från områden utanför avgränsningen, särskilt i de områden där avrinningsområdets gräns ligger nära täktgränsen. Enligt den utförda analysen är bäckens avrinningsområde, med utlopp vid Pegel 3 (4,09 km²). Med hjälp av höjddataanalys tolkas flödesriktningen inom avrinningsområdet som generellt presenteras av blå pilar i Figur 1.

En stor del av den planerade framtida brytningen inom *utvidgning (Exp III)* kommer att ske inom befintligt brytområde. Några mindre nya markområden kommer dock att tas i anspråk. En del av dessa tillkommande områden bidrar i dagsläget inte till vattenföringen i Klinthagenbäcken (ca 0,26 km²). Efter utvidgning av täkten kommer dock nettonederbörd från dessa områden samlas upp i täkten och ledas ut via Polenhålet och så småningom hamna i Klinthagenbäcken. Därmed kommer utvidgningen innebära att avrinningsområdets area ökar något jämfört med dagens utbredning.

2 METOD

I princip kan vattenflödet från ett område, utan externa in- eller utflöden, uppskattas med hjälp av en vattenbalanskvation:

$$R = P - ET - \Delta S \quad \text{formel 1}$$

där: för en period t (till exempel år eller månad): avrinning R [$\text{mm/t} = \text{l}/(\text{m}^2 \text{ t})$] är ett områdesnormaliserat vattenflöde Q [m^3/s], P [mm/t] är nederbördssummor, ET [mm/t] är evapotranspirationssummor och ΔS [mm/t] är en förändring av lagringen under den period balansen avser.

När det gäller ett bergtäktsområde, där det misstänks att dess påverkan på grundvattennivåerna överskrider gränsen för dess definierade ytavrinningsområde, kan vattenbalanskvationen uttryckas som:

$$R = P - ET - \Delta S + Q_{GV} \quad \text{formel 2}$$

där: Q_{GV} i ovanstående ekvation uttryckt i mm/t är områdesnormaliserat grundvattenströmning till tälkten.

I ovanstående ekvationer kommer nederbördssummor P oftast från direkta mätningar. Evapotranspiration ET på grund av svårigheter relaterade till dess mätning och dess tillämpning över ett helt avrinningsområde kan närmas med hjälp av empiriska ekvationer baserade huvudsakligen på klimat- och väderdata. Om flödesmätningar och information om lagringsförändringar ΔS finns tillgänglig är det också möjligt att approximera ET från vattenbalanskvationen. Lagringsförändringar i t.ex. snötäcke, sjöar och grundvatten, anses vanligtvis vara nära noll i början av ett hydrologiskt år. Standarden för årliga beräkningar i denna studie är alltså ett svenskt hydrologiskt år som börjar den första oktober och avslutar den trettionde september (SMHI, 2022).

Den första delen av studien fokuserar på att testa olika metoder för att uppskatta det mest exakta, plats specifika vattenflödet från ett naturområde med hjälp av tillgängliga hydrologiska och klimatiska data (Avsnitt 2.1). Därefter används den information och metod från Avsnitt 2.1 som anses bäst för beräkningar av vattenbalans för Klinthagens avrinningsområde (Avsnitt 2.2).

2.1 VATTENBALANSBERÄKNINGAR FÖR REFERENS AVRINNINGSOMRÅDE

Den första delen av studien fokuserar på att testa olika metoder för att uppskatta det mest exakta, plats specifika vattenflödet från ett naturområde med hjälp av tillgängliga hydrologiska och klimatiska data. För att uppnå detta används olika vanliga metoder för att uppskatta platsspecifik evapotranspiration ET för ett referensavrinningsområde. Dessa resultat och observerad nederbörd används i formel 1 för att uppskatta avrinning R , som senare jämförs med det observerade R för referensavrinningsområdet (aro-ID 640197-167093 med mätstations-ID 2304). Referensavrinningsområdet ligger cirka 14 km sydväst om Klinthagensområde (se Figur 1) och har liknande storlek ($2,58 \text{ km}^2$), geologi, klimatförhållanden och vegetation (ca 70% skog) som naturområdena kring Klinthagentälkten. Jämförelsen av resultat görs för ett hydrologiskt år, för vilket ΔS antas vara noll. De använda evapotranspirationsekvationerna, data och referenser till metoderna presenteras i Tabell 1.

De nederbörds- och temperaturdata som finns tillgängliga för perioden 1971-2022 hämtades från SMHI (2022c) station Hejnum (78420) belägen cirka en kilometer sydväst om referensavrinningsområdet. Uppskattningarna av årliga och månatliga mätdata för nederbörd korrigerades för felkällor baserat på Alexandersson (2003). Luftfuktighet och vindhastighetsdata har hämtats från station Visby Flygplats (78420), belägen ca 20 km från referensavrinningsområdet. Data var här tillgänglig för perioden 2013-2022.

Tabell 1. Metoder som används för att uppskatta evapotranspiration ET.

GRUPP	NAMN	BESKRIVNING	BERÄKNINGS- INTERVALL	NÖDVÄNDIG DATA	REFERENSER
PET (POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION) BASERAD	Langbein-Turc	Potentiell evapotranspiration (PET) uppskattad med Langbein-ekvationen och evapotranspiration (ET) med Turc-ekvationen.	Årlig	Lufttemperatur (årlig medel) Nederbördssummor (årlig)	Langbein, 1949 Turc, 1954
	Oudin-Turc	PET uppskattad med Oudin-ekvationen och ET med Turc-ekvationen.	Årlig (PET dagligt)	Lufttemperatur (daglig medel) Nederbördssummor (årlig)	Oudin et al., 2005 Turc, 1954
	Thornthwaite-Turc	PET uppskattad med Thornthwaite -ekvationen och ET med Turc-ekvationen.	Årlig (PET månad)	Lufttemperatur (månads medel) Nederbördssummor (årlig)	Thorn hwaite, 1948 Turc, 1954
	Oudin-Budyko	PET uppskattad med Oudin-ekvationen och ET med Budyko-ekvationen.	Årlig (PET dagligt)	Lufttemperatur (daglig medel) Nederbördssummor (årlig)	Oudin et al., 2005 Budyko, 1874
PANNMAN	Penman-Monteith	FOA-56 Penman-Monteith formel för referensgröda baserad på Penman (1948) formel.	Dagligt	Lufttemperatur (daglig medel, min och max) Nederbördssummor (daglig) Luftfuk ighet (min och max) Vindhastighet (dagligt medel)	Allen et al. 1998
	AA-modell	"Advection-aridity model" – ET baserat på energibudgeten och överföring av vattenånga i Penman (1948).	Dagligt	Som Pannman-Monteith	Brutsaert och Stricker, 1979
	GG-modell	Modifierad form av Penmans (1948) ekvation för att uppskatta den faktiska evapotranspirationen från olika icke-mättade områden.	Dagligt	Som Pannman-Monteith	Granger, 1989
ÖVRIG	Oudin-Zhou	PET uppskattad med Oudin-ekvationen och ET med Zhou-ekvationen för skogsområde	Dagligt	Lufttemperatur (daglig medel) Nederbördssummor (daglig) Luftfuk ighet (dagligt medel)	Oudin et al., 2005 Zhou et al., 2008

Ovanstående metoder, som huvudsakligen baseras på väderdata, ger en rimlig approximation av hur klimatet och dess förändringar påverkar avrinningen (Jaramillo et al., 2013). Antagandet att ΔS är lika med noll är dock inte giltigt för varje hydrologiskt år, vilket är en felkälla vid uppskattning av den sanna ET med hjälp av vattenbalansen och uppmätta P - och R -data. I kalkstensområden (som Gotland) kan påverkan av interårlig ΔS vara stark beroende på uppbyggnaden och förlusten av vatten som lagras i jordar och berg. Därför testas ytterligare vattenbalansmodell – icke-linjär hysteretisk modell utvecklad av Tritz et al., (2011) i denna studie. Denna metod tar hänsyn till dagliga förändringar i lagring av grundvatten i jord och berg och den kan enkelt kalibreras med hjälp av uppmätta vattenflödesdata. Indata till modellen är data om daglig nederbörd och potentiell evapotranspiration. I denna studie hämtades data för nederbörd och lufttemperatur från Hejnum stationsområde. Daglig potentiell evapotranspiration uppskattas med Oudin et al. (2005).

För att jämföra noggrannheten hos de testade metoderna för beräknad avrinning jämfördes resultaten av årlig och månatlig avrinning R mot uppmätta årliga R -data med hjälp av genomsnittlig absolut avvikelse:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |R_{uppmätt_i} - R_{modellerad_i}|}{n} \quad \text{formel 3}$$

där: MAE är den genomsnittliga absoluta avvikelsen mellan $R_{uppmätt}$ och $R_{modellerad}$ för år eller månad och n är totalt antal betraktade hydrologiska år eller månader.

Den hysteretiska modellen kalibrerades i programvaran R-Studio med hjälp av "Monte Carlo"-metoden och 5000 slumpmässigt parametriserade modellberäkningar för att uppnå lägsta möjliga MAE för perioden oktober 1989 – september 2021. Årligt genomsnittligt R -data baserat på uppmätta vattenflöde för referensavrinningsområde (SMHI, 2022b) användes vid kalibreringen. På grund av okända initiala lagringsförhållanden i modellen antogs ΔS initialt vara noll. Därför betraktades de första tio hydrologiska åren av modellering (oktober 1979 – september 1989) som en inledande beräkningsperiod för att erhålla ΔS för senare beräkningar.

2.2 VATTENBALANSBERÄKNINGAR FÖR KLINTHAGENS TÄKTOMRÅDE

Vattenbalansen för täktområdet, med utloppet vid pumpstationen från Polenhålet, (Figur 1) kan formuleras som summan av olika vattenflöden:

$$Q_{ut} = Q_{nat} + Q_{täkt} + Q_{Gv} - \Delta S_{sjö} \quad \text{formel 4}$$

där, för period t : Q_{ut} [m^3/t] är den totala vattenvolymen som pumpas ut ur täktområdet vid Polenhålet, Q_{nat} [m^3/t] är vattenflöde från naturliga uppströms liggande avrinningsområden, $Q_{täkt}$ [m^3/t] är flöde från täktområde som utgörs av krossmaterial och således, Q_{Gv} [m^3/t] är grundvattenströmning till täkten och $\Delta S_{sjö}$ [m^3/t] är lagringsändringen inom de i täkten belägna täktsjöarna, vilket kan formuleras som:

$$\Delta S_{sjö} = V_{sjö\ t} - V_{sjö\ t-1} + (P - ET_{sjö}) \times A_{sjö} \quad \text{formel 5}$$

där: $V_{sjö\ t}$ och $V_{sjö\ t-1}$ [m^3] är täktsjöarnas volym i slutet och början av den betraktade perioden t , P [mm/t] är nederbördssumma, $ET_{sjö}$ [mm/t] är avdunstning från täktsjöarna och $A_{sjö}$ är täktsjöarnas totala yta [m^2]. Täktsjöarnas volymer härleds från täktsjöarnas ytor och uppmätta vattennivå och för perioden 2017-10-01 till 2022-09-30 (fem hydrologiska år). $ET_{sjö}$ uppskattades med hjälp av Thorntwaite (1948) potentiella evapotranspirationsmetod och månatliga lufttemperaturdata. Enligt litteraturen fungerar denna metod bra i jämförelse med mer komplicerade och datakrävande metoder för våtmarks- och sjöavdunstning (Rosenberry et al., 2004).

Beräkningar av Q_{nat} i formel 4 är baserade på metoden från Avsnitt 2.1 som har den lägsta MAE för referensavrinningsområdet och de betraktade perioderna. Meteorologiska data för att uppskatta Q_{nat} togs från IDW-interpolation mellan de närmaste SMHI-mätstationerna. IDW-metoden kalibrerades med hjälp av rutin beskriven av Chen och Liu (2012) och mot nederbördsdata för station Austers D (78480) som ligger mellan stationerna Visby Flygplats (78400), Hejnum (78420) och Fårösund Ar A (78550). Sedan användes den kalibrerade IDW-metoden för att uppskatta nederbörden för Klinthagenområdet med hjälp av stationer: Austers D (78480), Hejnum (78420) och Fårösund Ar A (78550). Temperaturdatainterpolation utfördes med stationerna Fårösund Ar A (78550) och Visby Flygplats (78400). Den totala perioden för nederbörds- och temperaturdata var mellan 2004-01-01 och 2022-10-01.

De variabler i formel 3 som är föremål för störst osäkerhet är $Q_{täkt}$ och Q_{Gv} . Det finns inga uppmätta pumpdata inom täktområde som skulle möjliggöra bättre uppskattning eller kalibrering av metoder för att uppskatta dessa variabler. Enligt (Harrison et al., 1992) kan avrinning från ett brytområde inom ett karstområde vara större än motsvarande avrinning från ett icke kartsområde. Här anges värden från 1,08 (Norra Storbritannien) till 1,40 (Södra Storbritannien) av den effektiva nederbörden för övriga naturmarksområden. Därför övervägs här två scenarier:

- Scenario S1 där: $Q_{täkt} = 1.08 \times R_{nat} \times A_{täkt}$ (formel 6)
- Scenario S2 där: $Q_{täkt} = 1.40 \times R_{nat} \times A_{täkt}$ (formel 7)

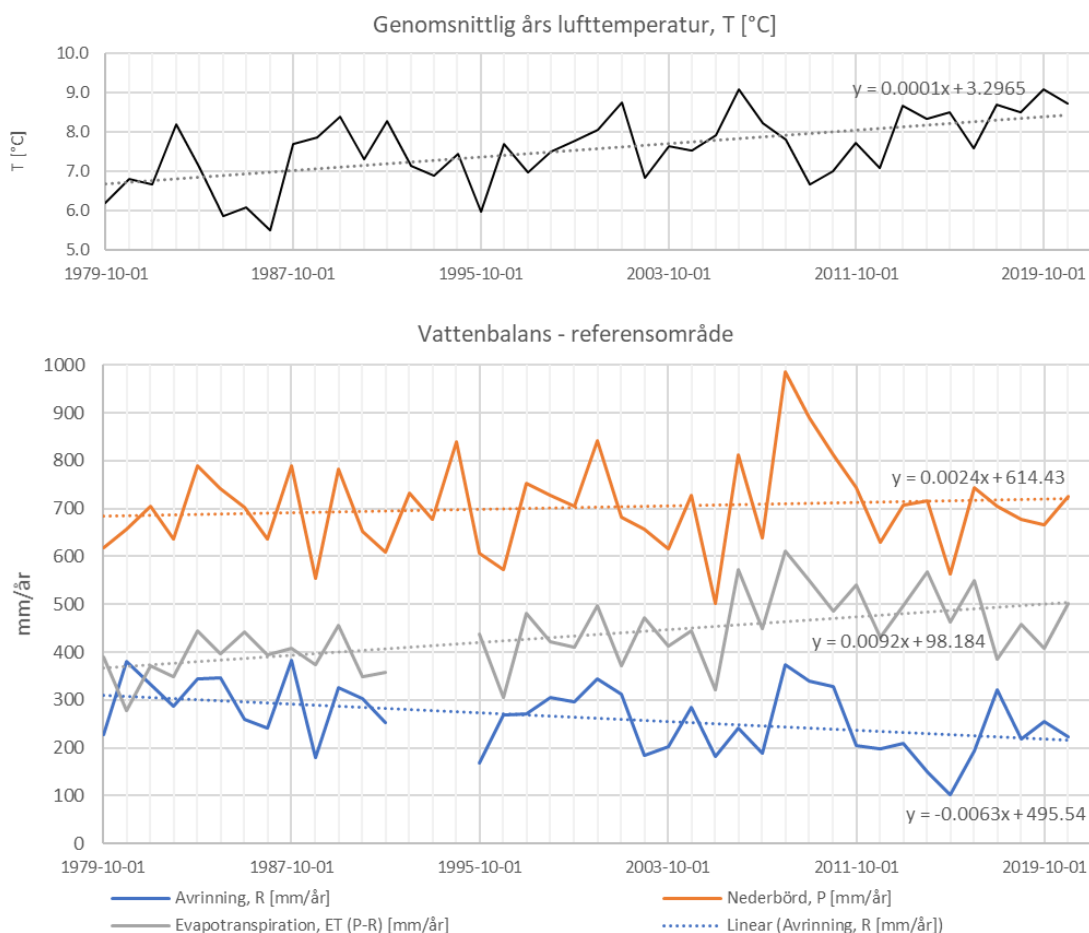
där: R_{nat} [mm/t] är områdesnormaliserat Q_{nat} och $A_{täkt}$ [m²] är täktområdet som utgörs av krossmaterial och således.

Sedan kan den sista kvarvarande variabeln Q_{GV} uppskattas med hjälp av de uppmätta pumpvolymerna vid Polenhålet Q_{ut} och formel 4:

$$Q_{GV} = Q_{ut} - (Q_{täkt} + Q_{nat} - \Delta S_{damm}) \quad \text{formel 8}$$

3 RESULTAT

3.1 VATTENBALANSRESULTAT FÖR NATUROMRÅDEN – REFERENSAVRINNINGSOMRÅDE

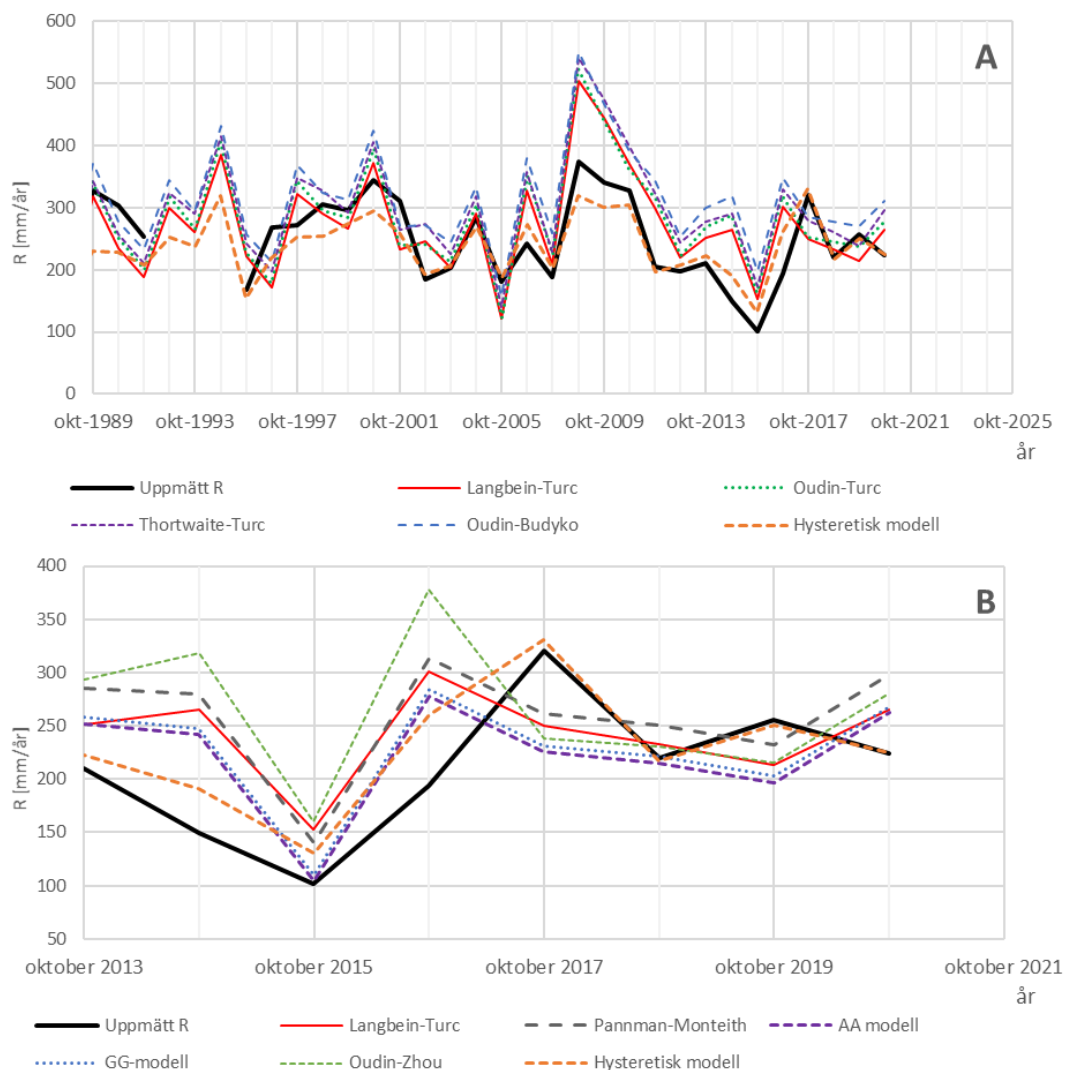


Figur 2. Uppmätt medellufttemperatur, nederbördssummor och avrinning samt vattenbalansbaserad evapotranspiration för referensområdet för hydrologiska år mellan 1979-2021

Den uppmätta avrinningen (R) för referensavrinningsområdet visar att det genomsnittliga årsflödet har en generell avtagande trend (Figur 2). Detta överensstämmer med en samtidigt ökande årlig medeltemperatur (T), som i allmänhet är proportionell mot ökande evapotranspiration (Jaramillo et al., 2013). I vattenbalansen härledd evapotranspiration (ET) bekräftar denna trend.

Vattenbalansresultat för olika ET -modeller visar att alla modeller från PET-gruppen (potentiell evapotranspiration) följer liknande trend (Figur 3A). Detsamma observeras för modeller i Penman-gruppmoeller (Figur 3B). Av den PET-baserade gruppen presterar Langbein-Turc ET -modellen bäst för båda perioderna 1989-2021 och 2013-2021, vilket resulterar i MAE lika med 55 respektive 60 mm/år (Tabell 2). Denna modell är också den enklaste av alla testade. Av Penman-gruppen presterar AA-modellen bäst för perioden 2013-2021 med MAE = 52 mm/år. Av alla testade metoder fungerar dock hysteretisk modell bäst för båda perioderna med

MAE lika med 29 och 21 mm/år. Denna modell följer trenden för uppmätt avrinning väl, till skillnad från andra modeller som ofta resulterar i motsatta trender till den uppmätta avrinningen (Figur 3).



Figur 3. Jämförelse mellan uppmätt avrinning och avrinningsresultat baserat på modellerad evapotranspiration: A – från PET-baserad grupp och B – Penman-grupp (och Oudin-Zhou). Hysteretiska modellresultat visas i båda figurerna.

Tabell 2. MAE för årsresultat

GRUPP	ET MODELL/METOD	MAE 1989-2021 [MM/ÅR]	MAE 2013-2021 [MM/ÅR]
PET (POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION) BASERAD	Langbein-Turc	55	60
	Oudin-Turc	60	69
	Thorntwaite-Turc	66	74
	Oudin-Budyko	75	88
PENMAN	Penman-Monteith	-	69
	AA-modell	-	52
	GG-modell	-	54
ÖVRIGT	Oudin-Zhou	-	86
HYSTERETISK	Hysteretisk model	29	21

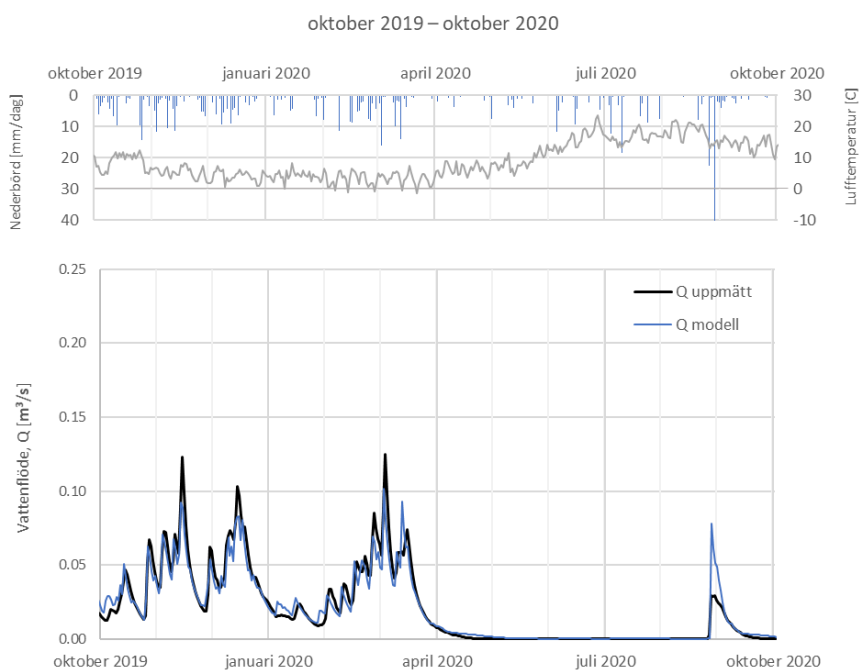
Enligt resultaten för olika månader inom perioden 2013-2021 presterar hysteretisk modell mycket bra generellt i jämförelse med Penman-gruppmodellerna (Tabell 3). Under den varma perioden presterade Penman-baserade modeller och Oudin-Zhou modell generellt lika bra som den hysteretiska modellen eller ännu bättre.

Tabell 3. MAE för månadsresultat

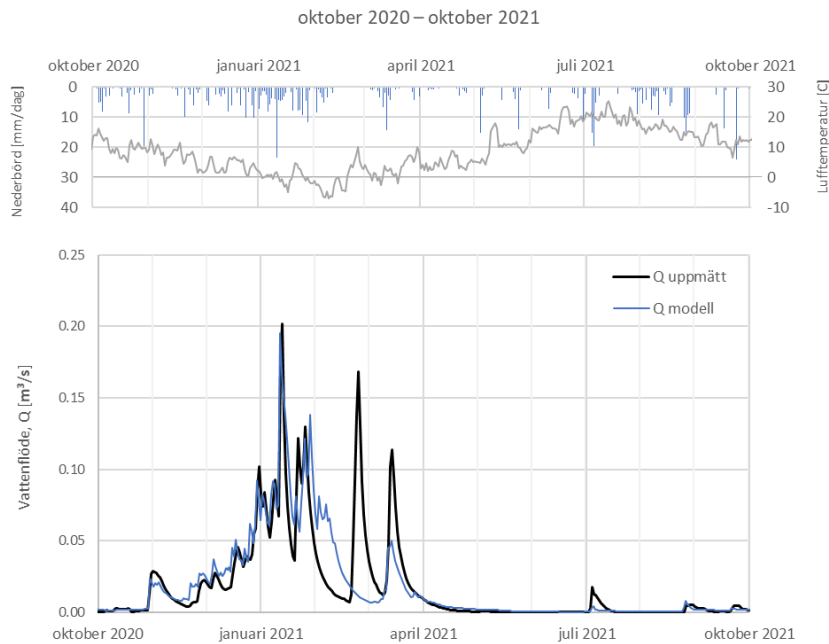
MÅNAD	OKT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	
MEDELMÄTT R [MM/MONTH]	17,6	33,4	41,3	36,8	32,3	26,8	7,5	2,0	0,6	0,4	2,5	7,2	
MAE [MM/MÅNAD]	Penman-Monteith	49,4	22,7	21,7	26,5	15,2	12,2	5,5	1,8	0,6	0,6	30,4	26,9
	AA-modell	48,7	22,3	21,3	26,2	15,2	12,4	6,1	2,0	0,6	0,4	26,4	25,3
	GG-modell	49,2	22,7	21,8	26,6	15,1	12,5	6,0	2,0	0,6	0,4	26,7	25,6
	Oudin-Zhou	47,4	26,0	26,8	31,0	16,1	12,7	7,7	2,2	0,3	0,4	23,1	23,2
	Hysteretisk modell	4,7	4,1	5,9	7,0	6,6	4,8	3,2	2,0	1,3	1,1	1,5	4,7

En felkälla vid uppskattning av detaljerat vattenflöde mellan månader är, för alla metoder, relaterad till snölagring och avrinning av snösmältning, vilket inte beaktas i beräkningen. Detta kan observeras när vi jämför resultaten av hysteretisk modell för två år: (1) september 2019-oktober 2020 – år utan snötäcke (Figur 4), och (2) september 2020-oktober 2021 – år med snötäcke (Figur 5). Det kan ses att under år 1 resulterar alla nederbördshändelser i flödesändring, vilket är väl återgivet av den hysteretiska modellen. År 2, mellan februari och mars, resulterar inte alla nederbördshändelser i uppmätta flödesändringar, men Q ökar när temperaturen ökar. Modellen tar dock inte hänsyn till snölagringen, varför den inte heller skapade snösmältningsvattenflöden.

Den hysteretiska modellens goda förmåga att beräkna avrinningen beror på dess rutin för simulering av förändringar i grundvattenlagring, vilket spelar en betydande roll i det betraktade referensavrinningsområdet. Det gäller inte bara för månatliga intervall utan även för längre perioder, såsom hydrologiska år. Därför är denna metod vald för att uppskatta Q_{nat} för Klinthagenområdet.



Figur 4. Uppmätt dygnsmedellufttemperatur, nederbördssummor och vattenflöde samt vattenflöde modellerat med hysteretisk modell för referensområdet och hydrologiskt år 2019-2020 (utan snötäcke)



Figur 5. Uppmätt dygnsmedellufttemperatur, nederbördssummor och vattenflöde samt vattenflöde modellerat med hysteretisk modell för referensområdet och hydrologiskt år 2020-2021 (med snötäcke)

3.2 VATTENBALANSRESULTAT FÖR KLINTHAGENS TÄKTOMRÅDE

3.2.1 Vattenflöde från naturområden (Q_{nat})

Det uppskattade bidraget från naturområden är i genomsnitt 1,9 l/s (ca 60 000 m³/år) vilket är 7 % av det totala vatteninflödet till täktsjöarna ($Q_{ut} - \Delta S_{sjö}$). Denna volym skiljer sig för olika hydrologiska år från 1,6 l/s till 2,5 l/s och dessa värden är inte direkt proportionella mot storleken på den observerade nederbörden för respektive hydrologiska år. Resultatet beror delvis på att den hysteretiska modell som används för att uppskatta Q_{nat} antar att grundvattenlagringen förändras mellan åren. Resultatet beror också på den årliga fördelningen av nederbördssummorna.

Om hela det nuvarande täkt- och täktsjöområdet betraktades som naturområden, skulle det genomsnittliga vattenflödet för den betraktade perioden vid pumpning ut från Polenhålet (för Q_{ut}) vara 9,5 l/s. Det genomsnittliga uppmätta flödet (för perioden: oktober 2017 till september 2021) vid Q_{ut} är 28,7 l/s, vilket är cirka 3 gånger större än det hypotetiska beräknade värdet och indikerar att 19,2 l/s "extra vatten" tillförs Klinthagenbäcken.

Det finns två hydrologiska år (2019-2020 och 2020-2021) med uppmätt vattenflöde vid Pegel 3 (Figur 1). Enligt dessa uppgifter är det årliga medelvattenflödet i denna mätpunkt 61,9 l/s för år 2019-2020 och 50,5 l/s för år 2020-2021, vilket innebär att flödet mellan Polenhålet och Pegel 3 nästan fördubblas. Vidare innebär detta att avrinningen från avrinningsområdet mellan mätpunkterna behöver vara större än nederbörden över området. Härav kan man dra slutsatsen att de uppmätta flödena sannolikt är felaktiga och att metoden att härleda vattenflödet från uppmätta ytvattennivåer måste ses över. Alternativt pekar värdena på att det finns ett betydande läckage (via grundvatten) till bäcken från t.ex. täktsjöarna (vilket är mindre troligt med tanke på att grundvattenflödet skulle begränsas av bergets hydrauliska konduktivitet).

Om området mellan Polenhålet och Pegel 3 modelleras med en hysteretisk modell och det beräknade flödet läggs till Q_{ut} vid Polenhålet, blir det beräknade flödet vid Pegel 3 ca 37,1 l/s respektive 31,1 l/s för åren 2019-2020 respektive 2020-2021.

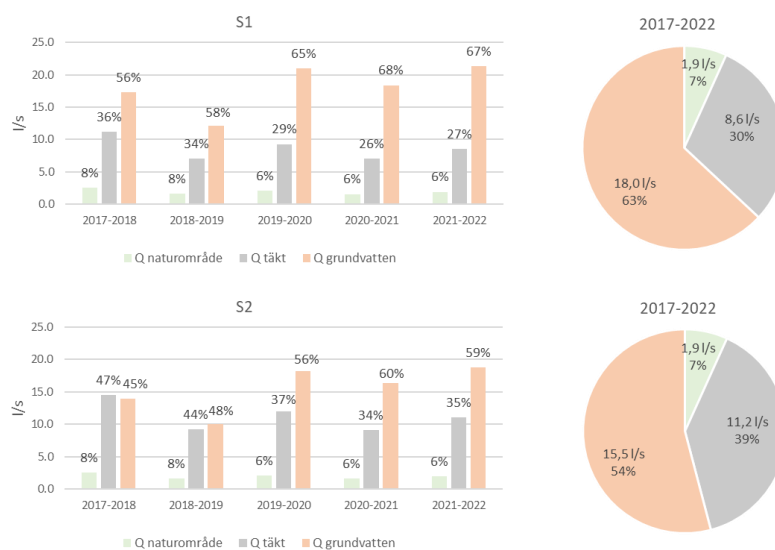
Begränsande förhållande vid skattning av Q_{nat} med den hysteretiska modellen är att utflöde av grundvatten kan ske snabbare än i referensavrinningsområdet. Detta beror på att modellen kalibrerades mot ett utlopp från ett naturavrinningsområde. Med naturområdenas bidrag till täktområdet fördelas vattenflödet längs täktområdets gränser. Osäkerheter vid användning av referensområdet och den hysteretiska modellen kan också komma att modellen kalibrerats för området med större årliga nederbördssummor.

Tabell 4. Vattenbalansresultat för Klinthagen bergtäkt, nuvarande utbredning: P [mm/år] – nederbördssummor, T [°C] – genomsnittlig lufttemperatur, Q_{ut} [l/s] – den totala vattenvolymen som pumpas ut ur täktområdet vid Polenhållet, $Q_{ut}-\Delta S_{sjö}$ [mm/år] vatteninflödet till täktsjöarna, Q_{nat} [l/s] – vattenflöde från naturliga uppströms liggande avrinningsområden, $Q_{täkt}$ [l/s] – flöde från täktområde som utgörs av krossmaterial och således, Q_{Gv} [l/s] – grundvattenströmning till täkten. $Q_{täkt}$ och Q_{Gv} presenteras för Scenario 1 och 2 (S1 respektive S2).

Hydrologiskt år	P [mm/år]	T [°C]	Q_{ut} [l/s]	$Q_{ut}-\Delta S_{sjö}$ [l/s]	Q_{nat} [l/s]	$Q_{täkt}$ [l/s]	Q_{gv} [l/s]
2017-2018	609	9,0	35,9	31,0	2,5	11,2 (S1) 14,5 (S2)	17,3 (S1) 14,0 (S2)
2018-2019	590	8,9	19,6	20,8	1,6	7,1 (S1) 9,2 (S2)	12,1 (S1) 10,0 (S2)
2019-2020	625	9,4	31,8	32,3	2,1	9,3 (S1) 12,0 (S2)	21,0 (S1) 18,2 (S2)
2020-2021	616	9,1	27,6	27,0	1,6	7,0 (S1) 9,1 (S2)	18,4 (S1) 16,3 (S2)
2021-2022	650	8,9	32,1	31,7	1,9	8,5 (S1) 11,0 (S2)	21,3 (S1) 18,8 (S2)
MEDEL FÖR 2017-2022	618	9,1	29,4	28,6	1,9	8,6 (S1) 11,2 (S2)	18,0 (S1) 15,5 (S2)

3.2.2 Vattenflöde från täktområde och grundvattenströmning ($Q_{täkt}$ och Q_{Gv})

Resultaten av vattenbalansen för fyra olika hydrologiska år och med hänsyn tagen till två olika scenarier, S1 och S2 med olika storlek på avrinning från täktområde som utgörs av krossmaterial och således ($Q_{täkt}$), presenteras i Figur 6 och Tabell 4. Beroende på scenario uppskattas $Q_{täkt}$ till i genomsnitt 8,6 till 11,2 l/s (ca 270 000 till 350 000 m³/år), vilket är 30% till 39% av det totala vatteninflödet till täktsjöarna.



Figur 6. Vattenbalans för Klinthagens täktområde för två olika scenarier S1 och S2.

Resultaten visar att andelen grundvatten (Q_{GV}) av totalflöde täktsjöarna uppgår till 63 % (56-68 % för olika år) för scenario S1 och 54 % (45-60 % för olika år) för scenario S2, se Figur 6. Dessa siffror avser genomsnittlig Q_{GV} på 18,0 l/s (ca 570 000 m³/år) för S1 och 15,5 l/s (ca 490 000 m³/år) för S2.

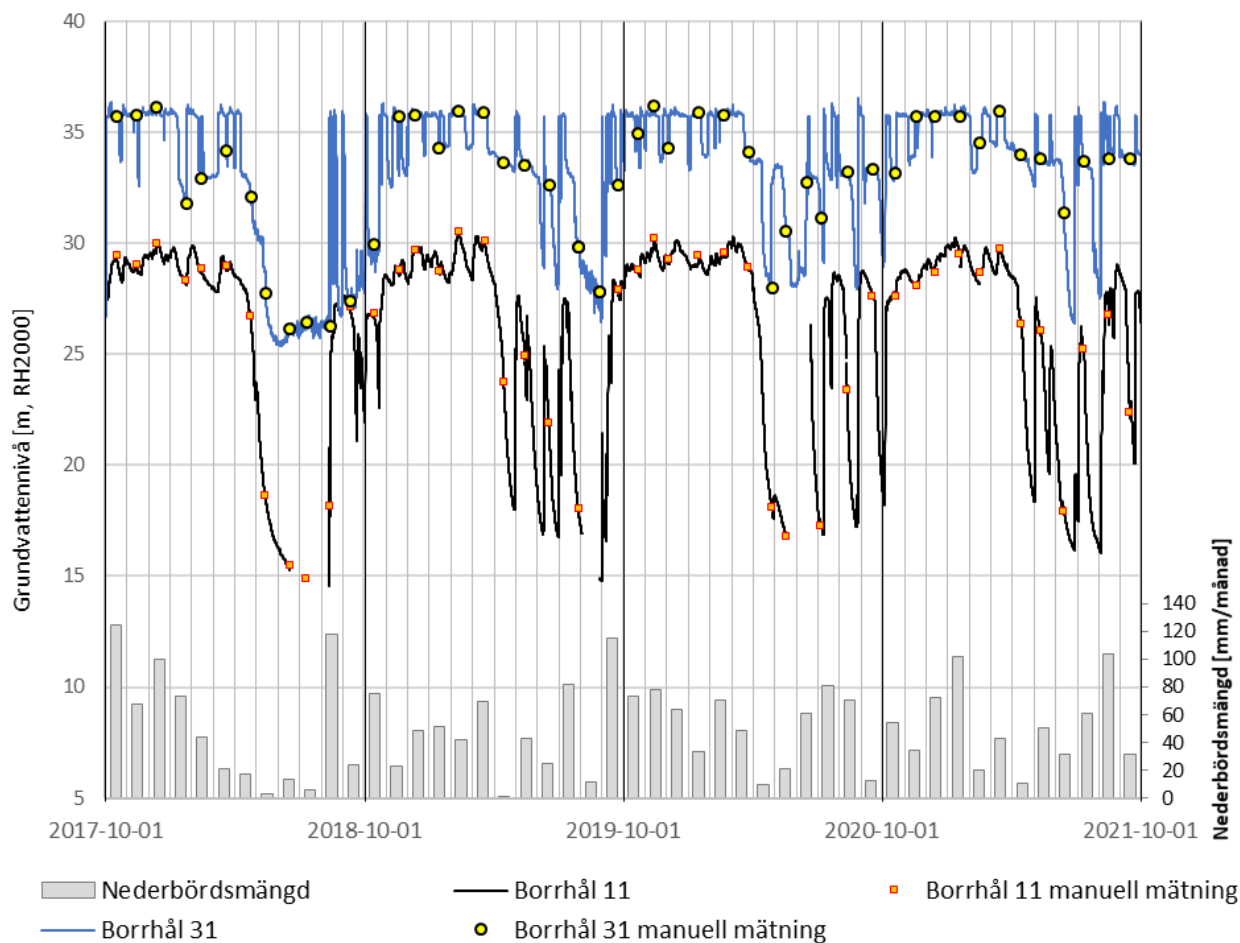
Av de två scenarierna anses scenario S2 vara mest sannolikt för Klinthagens täktområde. Det beror på att den valda ökningen av R bättre överensstämmer med klimatet i exemplet från litteraturen (Harrison et al., 1992). Det överensstämmer också bättre med de antaganden som använts i de tidigare rapporterna för Klinthagen, som ansåg att den effektiva nederbörden (avrinning) från täkten är cirka 40 % (IVL, 2014) eller till och med 75 % (WSP, 2021) högre än den effektiva nederbörden i naturområdena. Den senare referensen antog dock att Q_{GV} var lika med noll, vilket är osannolikt.

Resultaten visar dock att för scenario S2 är de årliga evapotranspirationssummorna för täktområden i genomsnitt endast 11 % lägre än i naturområden. Detta innebär att 11 % är transpirationsdelen av evapotranspirationen i naturområdena - eftersom täktområde saknar vegetation. Detta tal är litet i jämförelse med t.ex. modellstudier som innebär att transpirationen i Östersjöområdet bör vara närmare 60 % av evapotranspiration (Mianabadin, et al., 2019). Liknande antagna värde användes i WSP (2021). Transpirationen kan sannolikt vara mindre än 60% av ET för naturmark inom aktuellt område, men inte så lite som 11%. Om transpirationen antas större än 11% blir Q_{GV} mindre än nu uppskattat. Men med tanke på att uppskattningsvis 11 % här är för litet, kan $Q_{täkt}$ följaktligen underskattas och Q_{GV} överskattas i denna studie.

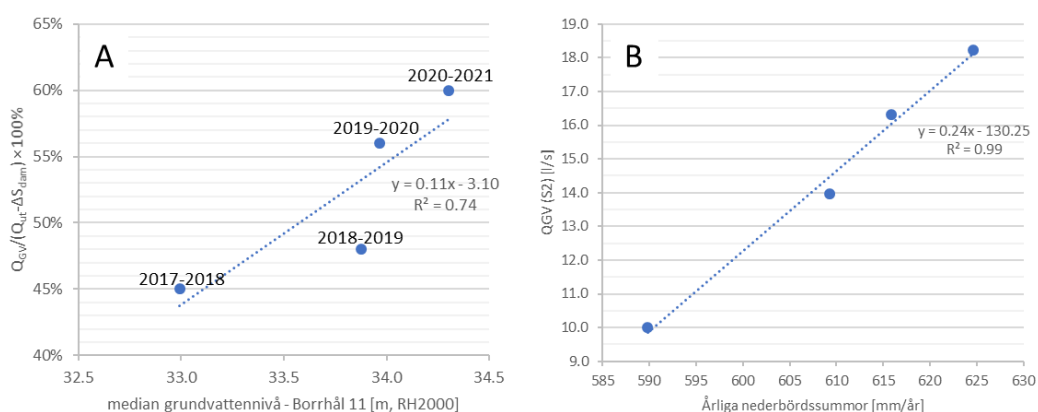
Oberoende av scenario beräknas det årliga bidraget från Q_{GV} till det totala vatteninflödet till täktsjöarna öka successivt, t.ex. från 45 % till 60 % för S2, under perioden 2017-2021 (Figur 6). Jämförs detta resultat med de observerade grundvattennivåerna i Borrhål 31 (Figur 1 och Figur 7) strax utanför täktens brytområde, ökar mediangrundvattennivån från 33,0 m RH2000 till 34,3 m RH2000 (Figur 7 och Figur 8A). Båda tidsserierna ökar därför proportionellt. Denna jämförelse kan bekräfta att den här uppskattade variationen av Q_{GV} och dess bidrag till de totala flödena speglar de faktiska förändringarna av grundvattenströmning till täkten, som styrs av grundvattenlagret, dess utveckling och bergakviferens transmissivitet.

Nederbördsdata och den uppskattade Q_{GV} korrelerar väl (Figur 8B). Datauppsättningarna är dock inte oberoende eftersom nederbörd användes för att uppskatta Q_{GV} . Den påvisade korrelationen innebär också att för årliga summor lägre 540 mm/år är Q_{GV} negativ, vilket är osannolikt.

Den här använda metoden antar att $Q_{täkt}$ är direkt proportionell mot Q_{nat} . $Q_{täkt}$ kan dock utvecklas under året annorlunda än det naturliga vattenflödet. Månadsutvecklingen kan skilja sig från hur den naturligt uppstår på grund av frånvaro av jordtäcke och vegetation, vilket i sin tur minskar avdunstning och lagringskapacitet av det ytliga grundvattnet. Begränsande faktor är också en diffus karaktär av grundvattenströmningen, som är svår att mäta. Den totala årliga $Q_{täkt}$ och Q_{GV} skulle dock kunna bedömas genom att använda t.ex. "nested catchment approach" (se Pietroni et al., 2017) om vattenflödet inom stenbrottsområdet också mättes (t.ex. uppströms täktsjöarna). Resultaten av en sådan metod skulle kunna användas vidare för att kalibrera den här användas hysteretiska modellen för täktområdet som utgörs av krossmaterial.



Figur 7. Uppmätta grundvattennivåer i djupa (> 30m) borrhål 11 och 31 (se Figur 1; data: Bergab, 2022) och interpolerade månatliga nederbördssummor för Klinthagen.



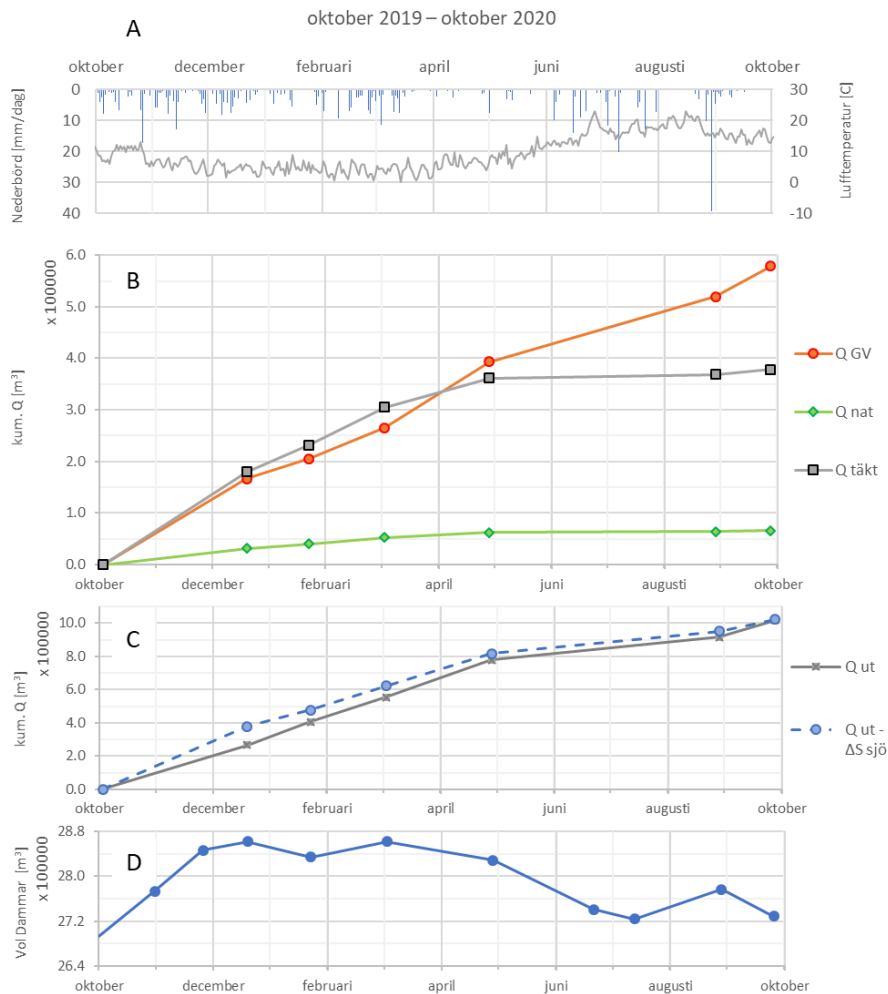
Figur 8. Samband mellan: A - uppmätt mediangrundvattennivå (Borrhål 31) för hydrologiska år mellan 2017-2021 och motsvarande uppskattade andel grundvattenströmning (Q_{GV}) av det totala vatteninflödet till täktsjöarna; och B – uppmätt årliga nederbördssummor och grundvattenströmningen (Q_{GV}) (S2).

3.2.3 Vattenbalans under hydrologiskt år

Till skillnad från resten av de övervägda hydrologiska åren överensstämde uppmätta data för täktsjönivåer och pumpningen från Polenhålet väl för vissa datum inom år 2019-2020. Därför var det möjligt att använda metoderna för uppskattning av vattenbalanskomponenter inom det valda hydrologiska året. Dessutom förekom under detta år ingen snöackumulering och den hysteretiska modellen korrelerar väl med observationsdata under detta år för referensavrinningsområdet (Figur 4).

Resultaten av de årliga flödena från naturområdena, täktområdet som utgörs av krossmaterial och således och grundvattenströmning presenteras i Figur 9. Det kan noteras att kumulativa vattenflöden [m^3] för Q_{nat} och $Q_{täkt}$ har högsta ökning fram till mars, sedan har Q_{nat} och $Q_{täkt}$ lägre ökning fram till maj och slutligen mycket lite ökning fram till september. Denna sänkning av de kumulativa Q_{nat} och $Q_{täkt}$ -kurvorna motsvarar väl de första lägsta nivåerna i Borrhål 11 och 31 (Figur 7). Detta tyder på att vattenutsläpp och evapotranspiration överstiger grundvattenbildning från och med mars med sjunkande nivåer till åtminstone slutet av augusti.

Den kumulativa Q_{GV} minskar något under sommaren, men bidrar likväl med ett kontinuerligt tillflöde till täkten. Q_{GV} tillförs stadigt av den minskande grundvattenlagringen i berg och begränsas huvudsakligen av genomsläppligheten av bergakvifären.



Figur 9. Uppmätta data och resultat för hydrologiskt år 2019-2020: A uppmätt lufttemperatur och nederbörd; B - resultat av beräknade kumulativa Q_{nat} , $Q_{täkt}$ och Q_{GV} ; C – Uppmätt kumulativ vattenpumpning från Polenhålet (Q_{ut}) och beräknat kumulativt totalt vatteninflöde till täktsjöarna ($Q_{ut} - \Delta S_{sjö}$); D - Uppmätt förändring av vattenvolymer i täktsjöar.

3.2.4 Vattenflöde efter utvidgning (III) av tälkten

Vattenflöden för den framtida utvidgningen (III) uppskattas med de bedömda områdena i WSP (2021) med undantag för de totala Klinthagenbäckens avrinningsområden som denna studie har utflödespunkten vid Pegel 3 (Figur 1). Delområden inom Klinthagenbäckens avrinningsområde före och efter utvidgning av tälkten i redovisas Tabell 5.

Resultaten från den hysteretiska modellen används för att uppskatta Q_{nat} för hydrologiska år mellan oktober 2004 och september 2021 (17 hydrologiska år). $Q_{tälkt}$ baserades på resultaten av areanormaliserad Q_{nat} och antagande enligt scenarier S2. Q_{GV} antas vara konstant 54 % av det totala vatteninflödet till tälktsjöarna för varje hydrologiskt år (denna andel varierar dock sannolikt mellan olika år). Flödet vid tälktsjöarna ($Q_{sjö}$) uppskattades med hjälp av formel 5, där $V_{sjö\ t} - V_{sjö\ t-1} = 0\text{ m}^3$.

Ovanstående metod anser inte djupet av tälkten som en variabel.

Tabell 5. Delområden inom Klinthagenbäckens avrinningsområde före och efter utvidgning av tälkten.

DELOMRÅDE	OMDRÅDE [KM ²]		
	Klinthagen, maj 2021	Efter utvidgning III	Förändring efter utvidgning III
AREA UPPSTRÖMS KLINTHAGENTÄKTEN FRÅN VILKEN VATTNET AVRINNER MOT TÄKTOMRÅDET (A_{nat})	0,49	0,38	-0,10
TÄKTOMRÅDE SOM UTGÖRS AV KROSSMATERIAL OCH SÅLEDES ($A_{tälkt}$)	2,00	2,62	+0,61
ÖPPNA VATTENSPEGLAR INOM TÄKTEN ($A_{sjö}$)	0,37	0,37	-
DEN TOTALA AREAN AV AVRINNINGSMRÅDET SOM BIDRAR TILL FLÖDE FRÅN TÄKTEN (A_{ut})	2,86	3,37	+0,51
AREAN MELLAN TÄKTEN OCH PEGEL 3 (A_{ned})	1,23	0,97	-0,26
DEN TOTALA AREAN AV AVRINNINGSMRÅDE VID PEGEL 3 ($A_{Pegel\ 3}$)	4,09	4,34	+0,25

Tabell 6. Flöden inom Klinthagenbäckens avrinningsområde före och efter utvidgning av tälkten.

DELFLÖDE	FLÖDE [L/S]		
	Klinthagen, maj 2021	Efter utvidgning III	Förändring efter utvidgning III
AREA UPPSTRÖMS KLINTHAGENTÄKTEN FRÅN VILKEN VATTNET AVRINNER MOT TÄKTOMRÅDET (Q_{nat})	1,76	1,39	-0,37
TÄKTOMRÅDE SOM UTGÖRS AV KROSSMATERIAL OCH SÅLEDES ($Q_{tälkt}$)	10,2	13,3	+3,12
GRUNDVATTENSTRÖMMNING (Q_{GV})	14,0	17,3	+3,23
ÖPPNA VATTENSPEGLAR INOM TÄKTEN ($Q_{sjö}$)	0,54	0,54	-
TOTAL FLÖDE FRÅN KLINTHAGEN TÄKTEN (Q_{ut})	26,5	32,5	+5,98
AREAN MELLAN TÄKTEN OCH PEGEL 3 (Q_{ned})	4,47	3,53	-0,94
FLÖDE VID PEGEL 3 ($Q_{Pegel\ 3}$)	30,4	35,4	+5,04

Resultat i Tabell 6 visar att flödet ut från tälkten förväntas öka med nästan **6,0 l/s** till följd av utvidgningen av tälkten (Q_{ut}). Eftersom tälkten förväntas expandera till områden som tidigare legat nedströms tälkten kommer det genomsnittliga flödet längre nedströms i Klinthagenbäcken vid Pegel 3 dock endast öka med ca **5,0 l/s** (differensen mellan Q_{ut} och Q_{ned}).

4 SAMMANFATTNING

Flera metoder för att uppskatta vattenbalansen för platsspecifika naturområden testades för ett naturligt referensavrinningsområde belägen 14 km från Klinthagens täkten. Av alla testade metoder var den mest överlägsna en hysteretisk modell som, till skillnad från andra metoder, gör det möjligt att simulera grundvattenlagring. Detta resultat visar att det i framtida uppskattningar av vattenbalansen för detta område är viktigt att ta hänsyn till förändringar i grundvattenlagringen för både årliga och månatliga uppskattningar. Den identifierade nackdelen med modellen är att den inte simulerar vattenlagring och flöde relaterat till snötäcke, vilket är en källa till inexacthet i modellen för de kalla perioderna under vissa år.

Den kalibrerade hysteretiska modellen för ett referensavrinningsområde användes som bas för att uppskatta vattenflöde från naturliga uppströms avrinningsområden, inom Klinthagenbäckens avrinningsområde, hydrologiskt förbundna med täkt och täktsjöar (Q_{nat}) och flöde från täktområde som utgörs av krossmaterial ($Q_{täkt}$). Dessutom, användes två scenarier som tog hänsyn till olika litteraturbaserade antaganden om storlek på ökad avrinning från täktyta som följd av bl.a. minskad transpiration (avsaknad av vegetation). Av dessa två scenarier ansågs S2 (där $Q_{täkt} = 1,4 \times Q_{nat}$) vara mer tillförlitlig och överensstämmande med de tidigare antaganden (IVL, 2014 och WSP, 2021). Scenariot S2 kan dock underskatta $Q_{täkt}$ och överskatta Q_{GV} . Detta kan huvudsakligen relateras till antaganden om skillnaden mellan evapotranspiration inom naturområden jämfört med täktområden, vilken för scenario S2 blir liten i jämförelse med andra studier (Mianabadi, 2019).

Enligt vattenbalansresultaten för Klinthagentäkten beräknas grundvattenströmning till täkten (Q_{GV}) till i genomsnitt **15,5 l/s** (490 000 m³/år) för fem hydrologiska år (2017-2022). Detta motsvarar cirka **54 %** av det totala flödet till täktsjöarna (28,6 l/s). Q_{nat} och $Q_{täkt}$ bidrar med 7 % (1,9 l/s eller 60 000 m³/år) respektive 39 % (11,2 l/s eller 350 000 m³/år) till det totala vatteninflödet till täktsjöarna. Grundvattenkomponenten varierade mellan 45 % och 60 % för olika studerade hydrologiska år.

Vattenavledning från Klinthagentäkten, till följd av den planerade utvidgningen (Exp III), beräknas öka med ca **6,0 l/s**. Flödesökningen vid Pegel 3 beräknas till ca **5,0 l/s**.

5 REKOMMENDATIONER

Några rekommendationer som kan förbättra framtida studier om vattenbalansen i stenbrottet har identifierats:

1. Vattenflödesobservationsmetoderna vid Pegel 3 (Figur 1) bör ses över – formel för att uppskatta vattenflöde från vattenstånd bör valideras med manuella mätningar under både höga och låga vattenflöden i bäcken.
2. Daglig mätning av vattennivåerna i täktsjöarna kan gynna mer exakta månatliga uppskattningar av vattenbalansen.
3. Det uppskattade flödet från täktområde som utgörs av krossmaterial ($Q_{täkt}$) baseras på ett overifierat antagande. Därför bör de här presenterade resultaten behandlas med försiktighet. $Q_{täkt}$ bör studeras vidare. Exempelvis kan vattenflödesmätning till täktsjöarna gynna uppskattningen av $Q_{täkt}$ och Q_{GV} . Genom att kombinera dessa data med metoder som "nested catchment approach" och den här presenterade hysteretiska modellen.
4. Den noterade linjära korrelationen mellan det uppskattade bidraget av grundvattenströmning (Q_{GV}) till totalt vattenflöde och mediagrundvattennivån i Borrhål 31 skulle kunna fungera som en metod för att uppskatta Q_{GV} . Dock baseras korrelationen på endast fyra datapunkter, vilket får anses statistiskt svagt. Det rekommenderas att ytterligare undersöka sambandet mellan uppskattat Q_{GV} och grundvattennivåerna för att validera denna observation. Jämförelse mot data från ett större antal borrhål kan också öka giltigheten av observationen.
5. Nederbörd- och lufttemperaturdata för den här använda metoden är baserade på IDW-interpolationen mellan närliggande SMHI-stationer. Data från SMHI visar också att det är stora skillnader mellan stationerna i uppmätta nederbördssummor på norra Gotland. Uppmätta data för Klinthagen skulle kunna gynna mer exakta uppskattningar av vattenbalansen och/eller hjälpa till att kalibrera IDW-interpolationen. Därför rekommenderas det att börja mäta nederbördssummor och lufttemperatur i Klinthagenområdet.

6 LITTERATUR

- Alexandersson, H. (2003). *Korrektion av nederbörd enligt enkel klimatologisk metodik*. SMHI.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, 300(9), D05109.
- Bergab (2022). Klithagens dagbrott – Resultat från utfört kontrollprogram 2021. Uppdragsnr: UG13015
- Brutsaert, W., & Stricker, H. (1979). An advection-aridity approach to estimate actual regional evapotranspiration. *Water resources research*, 15(2), 443-450.
- Budyko, M. I. (1974). *Climate and life*. Academic press.
- Chen, F. W., & Liu, C. W. (2012). Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. *Paddy and Water Environment*, 10(3), 209-222.
- Granger, R. J. (1989). An examination of the concept of potential evaporation. *Journal of Hydrology*, 111(1-4), 9-19.
- Harrison, D. J., Buckley, D. K., & Marks, R. J. (1992). *Limestone resources and hydrogeology of the Mendip Hills*. British Geological Survey.
- IVL (2014). Hydrologisk beskrivning av Klinthagenbäckens avrinningsområde, norra Gotland, MKB Klinthagentäkten Bilaga B:6. Författare: Erik Lidblom, Tony Persson och Marcus Liljeberg.
- Jaramillo, F., Prieto, C., Lyon, S. W., & Destouni, G. (2013). Multimethod assessment of evapotranspiration shifts due to non-irrigated agricultural development in Sweden. *Journal of Hydrology*, 484, 55-62.
- Langbein, W. B. (1949). *Annual runoff in the United States* (No. 52).
- Mianabadi, A., Coenders-Gerrits, M., Shirazi, P., Ghahraman, B., & Alizadeh, A. (2019). A global Budyko model to partition evaporation into interception and transpiration. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(12), 4983-5000.
- Oudin, L., Hervieu, F., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., Anctil, F., & Loumagne, C. (2005). Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model?: Part 2—Towards a simple and efficient potential evapotranspiration model for rainfall-runoff modelling. *Journal of hydrology*, 303(1-4), 290-306.
- Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 193 (1032), 120-145.
- Pietroń, J., Chalov, S. R., Chalova, A. S., Alekseenko, A. V., & Jarsjö, J. (2017). Extreme spatial variability in riverine sediment load inputs due to soil loss in surface mining areas of the Lake Baikal basin. *Catena*, 152, 82-93.
- Rosenberry, D. O., Stannard, D. I., Winter, T. C., & Martinez, M. L. (2004). Comparison of 13 equations for determining evapotranspiration from a prairie wetland, Cottonwood Lake area, North Dakota, USA. *Wetlands*, 24(3), 483-497.
- SMHI (2022a). Det hydrologiska året, URL: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/vattnets-kretslopp/det-hydrologiska-aret-1.280>.
- SMHI (2022b). Vattenwebb – Mätningar. Url: <https://vattenwebb.smhi.se/station/>. fått tillträde: 2022-03-10
- SMHI (2022c). Meteorologiska observationer. <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/>. fått tillträde: 2022-03-10

Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38(1), 55-94.

Tritz, S., Guinot, V., & Jourde, H. (2011). Modelling the behaviour of a karst system catchment using non-linear hysteretic conceptual model. *Journal of hydrology*, 397(3-4), 250-262.

Turc, L. (1954). The water balance of soils. Relation between precipitation, evaporation and flow. *Ann. Agron*, 5, 491-569.

WSP (2021). Kalkstenstäkt Klinthagen – Hydrologisk och VA-teknisk utredning, PM Rapport, Författare Jan Pietron och Joel Suokko, projekt: 10265990

Zhou, G., Sun, G., Wang, X., Zhou, C., McNulty, S. G., Vose, J. M., & Amatya, D. M. (2008). Estimating Forest Ecosystem Evapotranspiration at Multiple Temporal Scales With a Dimension Analysis Approach 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 44(1), 208-221.

VI ÄR WSP

WSP är ett av världens ledande analys- och teknikkonsultföretag. Vi verkar på våra lokala marknader med stöd av global expertis. Som tekniska experter och strategiska rådgivare har vi tillgång till ingenjörer, tekniker, naturvetare, planerare, utredare och miljöspecialister liksom professionella projektörer, konstruktörer och projektledare. Vi erbjuder hållbara lösningar inom Hus & Industri, Transport & Infrastruktur och Miljö & Energi. Med drygt 39 000 medarbetare på 500 kontor i 40 länder medverkar vi till en hållbar samhällsutveckling. I Sverige har vi omkring 4 000 medarbetare.
wsp.com

WSP Sverige AB
Box 13033
402 51 Göteborg
Besök: Ullevigatan 19

T: +46 10 7225000
Org nr: 556057-4880
Styrelsens säte: Stockholm
wsp.com

