

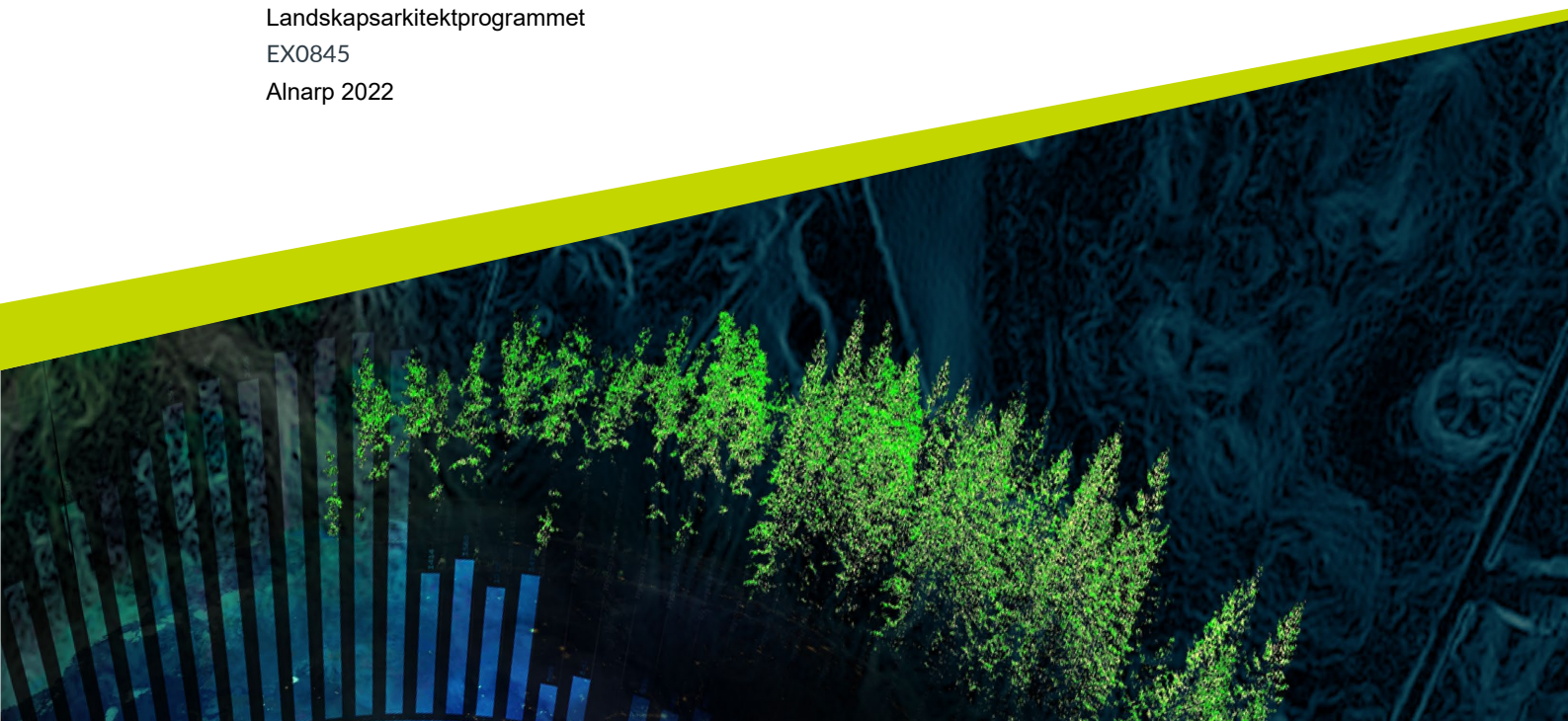


Lärdomar från den forntida ökenstaden Petras dagvattenhanteringssystem

Lessons from the ancient desert city of Petra

Emelie Jonsson

Examensarbete/Självständigt arbete 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning
Landskapsarkitekturprogrammet
EX0845
Alnarp 2022



Lärdomar från den forntida ökenstaden Petras dagvattenhanteringssystem

Lessons from the ancient desert city of Petra

Emelie Jonsson

Handledare: Stefan Lindberg, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Examinator: Åsa Bensch, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i Landskapsarkitektur

Kurskod: EX0845

Program/utbildning: Landskapsarkitektprogrammet

Kursansvarig inst.: Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2022

Nyckelord: Dagvattenhanteringssystem, rörsystem, dagvatten, torka, översvämning, Nabaté, wadi, vattenhanteringsstrategi

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

Sammanfattning

Enligt SMHI kommer Sverige att utsättas för mer extrema perioder av torka och mer frekventa översvämningar på grund av högre, i genomsnitt, årliga temperaturer. Svenska dagvattensystem är redan idag känsliga för dessa väderfenomen (SMHI,2021). Den här undersökningen har sammanställt information om en forntida stad som existerade i en miljö där den utsattes för extrem torka och översvämningar med syfte att inspirera de som designar moderna dagvattenhanteringssystem att utveckla lösningar på svenska problem. Staden som har undersökts var Petra. Undersökningen består av en litteraturstudie om Petras dagvattenhantering samt om moderna dagvattenhanteringssystem och de utmaningar som svenska system står inför. Petra var en stad i Jordaniens öken som byggdes ca 300 f.kr. Stadens 30 000 invånare kunde odla, bygga monumental arkitektur och ornamenterade sin stad med vatten trots det torra klimatet och tack vare ett extremt välutvecklat vattenhanteringssystem. Petras terräng var bergig och korsades av kanjoner som plötsligt kunde översvämmas så de utvecklade också ett komplicerat översvämningsskydd. Undersökningen har funnit att Petras dagvattenhanteringssystem konstruerades av rör, kanaler, akvedukter, dammar, terrasser, cisterner och murar. Det senaste inom modern dagvattenhantering använder liknande komponenter. Ett nabateiskt verktyg som inte används i svensk dagvattenhantering är terrassering, så det är ett verktyg som moderna planerare kan implementera. Terrassering i modern dagvattenhantering skulle kunna användas för att skapa fördröjning i dagvattenhanteringssystemet under stora skyfall. Detta i städer som har höjdskillnader i.

Den största skillnaden undersökningen har funnit mellan modern och nabateisk dagvattenhantering är i invånarnas och planerarnas attityder till frågan. I modern dagvattenhantering ses dagvatten som ett problem som ska föras bort och dagvatten används inte för att motverka effekten av långa torrperioder. Majoriteten av den vanliga befolkningen bryr sig inte om dagvatten och frågan prioriteras inte av de flesta aktörer inom stadsplanering. Byråkratin kring dagvatten är otydlig och komplicerad. Det nabatéenska folket hade däremot stor respekt för vatten i alla dess former. Vatten utgjorde en viktig del av deras religion och var en maktsymbol. Vanliga människor var troligen involverade i att samla regnvatten, då alla ytor användes till det ändamålet. Ökat intresse för dagvatten, att frågan prioriteras tidigare i planeringsprocessen, bättre samordning och tydligare byråkrati skulle göra svenska dagvattenhanteringssystem mer recilianta mot torka och översvämningar.

Nyckelord: Dagvattenhanteringssystem, rörsystem, dagvatten, torka, översvämning, Nabaté wadi, och vattenhanteringsstrategi,

Abstract

According to SMHI, Sweden will be facing longer periods of drought and more frequent floods through average higher yearly temperature. Swedish Stormwater systems are already at risk from these weather phenomena. To enable solutions to these problems this paper has gathered information about an ancient city with similar problems, Petra. This paper consists of a literature study about Petras stormwater management, as well as modern storm water management and the challenges they face. Petra was a city in the desert of Jordan that was built ca 3000 B.C. The city's 3000 inhabitants could farm, build monumental buildings and ornamented their city with water. Despite or thanks to a well developed water management Petras terrain consisted of bedrock and had many canyons which could flash floods suddenly. This resulted in producing a complex stormwater production management system.

The study shows that Petras stormwater management was constructed of pipes, channels, dams, terraces, cisterns and walls. The latest in stormwater management uses similar components. Something that is not used are terraces so that is a nabataean tool that modern planners can implement to create retardation in the water management system during severe rain storms in cities that have sufficient topographical differences

The biggest difference that this study has found between modern and nabateans stormwater management is in the inhabitants and planners attitude to the question. In modern storm water management, storm water is a problem that should be removed and storm water is not used to mitigate the effects of drought. The majority of the population do not care about stormwater and the question is not precipitate among the majority of planners. The bureaucracy around stormwater is unclear and complicated. The Nabatéans, on the other hand, had great respect for water in all its shapes. Water was an important part of their religion and was a symbol of power. Ordinary people were likely involved in rainwater collections as all surfaces were used for this purpose. An increased intresse for stormwater earlier in the planning process, better cooperation and clear bureaucracy would make Swedish stormwater management more resilient against drought and flooding.

Keywords: storm water management, storm water, pipe system, flash flood, wadi, Nabatean, drought and wadi

Innehållsförteckning

1. Bakgrund	7
2. Syfte	9
3. Frågeställning.....	10
4. Material och metod	11
5. Avgränsningar.....	13
6. Begrepp och definitioner	14
7. Nabatéerna och deras relation till, samt användning av vatten	17
7.1. Det nabatéenska imperiet	17
7.2. Staden Petra.....	18
7.3. Hur geografi och ekologi påverkade Petras vattentäkt.....	19
7.4. Hur det nabatéenska samhället och deras religion förhöll sig till vatten.....	20
7.5. Petras vattensystem	22
8. Dagvattenhantering i Sverige.....	29
8.1. Svenska städers dagvattenhantering	29
8.2. Framtiden	31
8.3. Sammanfattning av intervju med Roger Rohdin	32
9. Diskussion	35
9.1. Likheter och skillnader i tekniska lösningar	35
9.2. Olika attityder till vattenhantering	37
10. Slutsatser.....	39
11. Framtida forskning	41
12. Referenser	42
Figurförteckning	48

1. Bakgrund

Världen står inför stora utmaningar på grund av förändringar i vårt klimat. Sverige kommer att utsättas för längre och varmare perioder av torka samt mer frekventa och kraftiga regn (skyfall). Det mer extrema vädret har redan orsakat problem, såsom låga grundvattennivåer under torkan 2018 (Stensen et al. 2019) och översvämningar i bl. a. Götaland och Svealand (SMHI, 2021). Torka och översvämningar orsakar stora ekonomiska, sociala och ekologiska skador. För att bemöta de ovan nämnda utmaningarna så måste vi identifiera vad som skapar problem och sedan hitta strategier som vi kan använda för att bemöta dem. Enligt Stensen (2019) som skriver för SMH kan de flesta faktorer som leder till torka och översvämning sammanfattas i tre kategorier: klimat, magasinerande förmåga och vattenanvändning.

Klimat: Klimatet påverkar tillgången på vatten genom mängden nederbörd och avdunstning. Högre genomsnittstemperatur under sommaren förväntas orsaka ökad avdunstning och mildare vintrar leder till mer nederbörd under den årstiden. Skyfall förväntas då öka i Sverige (SMHI 2019; Stensen et al. 2019).

Magasinerande förmåga: Landskapet magasinerar vatten i mark, våtmark, sjöar och vattendrag. Det agerar som en buffert mot säsongsvariationer i vädret (blöt- och torrperioder) vilket förhoppningsvis säkerställer vattentillgången i Sverige året runt. Högst risk för vattenbrist har, generellt ,områden med liten magasinerande förmåga eftersom de är mer utsatta för väderväxlingar (Stensen et al. 2019).

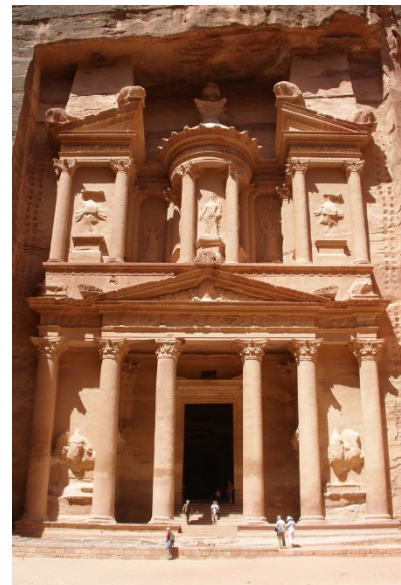
Vattenanvändning: Hur mycket vatten som används (Stensen et al. 2019). Exempel på vattenanvändning är dricksvatten och bevattning av jordbruk. Sverige använder i genomsnitt 140 liter vatten/person/dygn (enligt statistik från vattenmätare över hela Sverige) (svensktvatten, 2021) och ca 48 miljoner kubikmeter vatten till bevattning av jordbruk per år (baserat på data av användningen år 2015) (Jordbruksverket, 2018)

Sverige är ett vattenrikt land men vattentillgången kan inte tas för given. Många av våra vattendrag och sjöar har problem med föroreningar och övergödning. Grundvattnet är ofta förorenat och överexploaterat (WWF, 2019). Som landskapsarkitektstudent och som skötselarbetare i Lunds kommun (sommarjobb) har jag märkt bristen på vatten tydligt. De senaste åren har jag hört mycket prat om låga grundvattennivåer men även mer frekventa översvämningar. I utbildningen har det tagits upp att sättet vi hanterar vatten på i våra städer är

otillräckligt för att klara av det mer extrema vädret som klimatförändringarna innebär.

Flera artiklar, skrivna av olika författare beskriver varför vi behöver ändra hur vi behandlar regnvatten. Regnvatten från ytan behövs för att fylla på våra vattenmagasin, speciellt grundvattnet. Ökad urbanisering har lett till att antalet hårda ytor har ökat, vilket leder till att mängden regnvatten som tar sig ner i marken och fyller på grundvattnet har minskat i de områdena. Vatten från regn transporteras istället bort till reningsverk eller närliggande vattendrag och sjöar via grå vattensystem (Dhakal & Chevalierb, 2017; Qiao X Liu, Kristoffersson, Randrup T, 2019; Stensen et al. 2019) De ökade vattenmassorna i det grå vattensystemet har lett till att systemets maxkapacitet nås oftare och antalet översvämningar har ökat (Dhakal & Chevalierb, 2017; Qiao X Liu et al. 2019; Arheimer & Lindström, 2015).

Inför mitt kandidatarbete började jag fundera på hur vi kan förbereda våra dagvattenhanteringssystem så att de kan möta de problem som klimatförändringar innebär och kom då att tänka på frasen “att inte uppfinna hjulet igen”. För att finna strategier som kan lösa dagens utmaningar är det rimligt att titta tillbaka på och bli inspirerad av civilisationer som existerade under liknande eller svårare förhållanden än de vi förutspås ställas inför. Den här undersökningen kommer därför att undersöka den forntida staden Petras dagvattenhanteringssystem. Petra är av speciellt intresse då invånarna byggde och underhöll en frodande stad i en av världens svåraste miljöer, öknen. Regnmängden var sällan mer än 100 mm/år (Mithen, 2010) till ca 150 mm/år (Bedal, 2018). Trots den minimala nederbörden gjorde den bergiga terrängen att det ofta kom plötsliga översvämningar i de naturliga ravinerna och dalarna som går genom området. De svåra förhållandena där staden låg tyder på att invånarna, nabatéerna, klarade av att transportera och förvara vatten på ett effektivt sätt.



Figur 1. Treasury, välkänt monument i Petra

2. Syfte

Syftet med detta arbete är att sammanställa litteratur och kunskap om Petras dagvattenhanteringssystem som kan inspirera till att utveckla lösningar på dagens problem med dagvatten (torka och översvämningar). De texter som har lästs i förberedelse för denna litteratursammanställning om Petras dagvattenhanteringssystem visar att tidigare undersökningar på Petras dagvattenhanteringssystem har främst gjorts från ett arkeologiskt perspektiv. I den här undersökningen kommer systemet beaktas utifrån ett landskaps- och stadsbyggnadsperspektiv. Genom att tillhandahålla information om Petras dagvattenhanteringssystem på ett enkelt och överskådligt sätt samt informera om utmaningar som moderna svenska dagvattenhanteringssystem står inför hoppas jag inspirera de som utformar och underhåller dagens system.

Texten riktar sig till studenter och verksamma inom konstruerande, byggande och underhåll samt drift av dagvattensystem

3. Frågeställning

1. Hur samlade och förvarade nabatéerna regnvatten i Petra?
2. Vilka tekniska lösningar och kulturella faktorer gjorde Petras dagvattenhanteringssystem robust mot torka och översvämningar?
3. Kan det nabatenska sättet att hantera vatten hjälpa de som planerar svensk dagvattenhantering att hitta lösningar på liknande problem?

4. Material och metod

Uppsatsen bygger på en litteraturstudie. Källor har funnits via sökmotorer, Google, Google Scholar och Databaser, Web of Science, Scopus och på SLU's bibliotek. I första hand har Web of Science, Scopus och SLU's bibliotek används eftersom de har mer granskad litteratur än Google och Google Scholar. Information har hämtats från vetenskapliga publikationer kopplade till studiens ämnesområde samt hemsidor kontrollerade av pålitliga organisationer, statliga myndigheter eller arkeologiska institutioner. I de fall där källan är utgiven av en organisation har hänsyn tagits till om utgivaren har vinklat texten till sitt ändamål, text som misstänks vara vinklad har inte använts. För att källorna ska vara relevanta har källor äldre än 25 år inte använts. När information kommer från en webbplats eller studentarbete har trovärdigheten på källor utvärderas enligt de kriterier som beskrivs tidigare beskrivs ovan. Information som är tagen från en dokumentärfilm bedöms vara trovärdig eftersom den sägs av Charles R. Ortloff som är författare till flera vetenskapliga artiklar om historisk vattenhantering, där ibland Petra. I källorna finns citat från personer som levde under samma tid som när staden Petra var befolkad. Dessa citat, trots att de ligger närmare i tid än mer moderna informationskällor, kan fortfarande vara svårbedömda då det inte går att bedöma källans subjektivitet och objektivitet. Eftersom de är inkluderade i vetenskapliga publikationer används de i den här uppsatsen.

För att undersöka relevansen av det litteraturstudien har en intervju utförts med en person som är kunnig inom modern dagvattenhantering, Roger Rohdin avdelningschef på Tekniska kontoret, VA-avdelning, Jönköpings kommun. Intervjun genomfördes på ett semistrukturerat sätt. Frågor var förberedda i förväg som används för att leda en diskussion kring ämnet. Intervjun utfördes efter att större delen av litteraturstudien var komplett så att frågor kunde baseras på information från litteraturen. Ett utkast av arbetet skickades till Rohdin innan mötet. Intervjuns syfte var att bedöma relevansen av det historiska materialet, inte hur det kan användas, därför har inte flera intervjuer utförts.

Disposition av litteraturstudien: Litteraturstudien är uppdelad i två delar. Den första delen sammanställer information från arkeologiska undersökningar med ett fokus på nabatéernas tekniska lösningar angående hantering av regnvatten. Det större vattenhanteringssystemet i Petra förklaras övergripande. Texten förklarar i vilken socio-ekonomisk, kulturell, ekologisk och geofysisk kontext vattenhanteringssystemet byggdes. Detta görs eftersom det är viktigt för läsaren att förstå de omkringliggande faktorer som styr utformning och användning av dagvattenhanteringssystem i Petra. Den andra delen av litteraturstudien är en

summering av hur svenska dagvattenhanteringssystem fungerar och de utmaningar de står inför.

5. Avgränsningar

Sverige som land har variationer i hur dagvatten behandlas i olika områden men det här arbetet tar bara upp de största utmaningarna som svensk dagvattenhantering, generellt, står inför. Om arbetet används för att inspirera utformning av moderna dagvattenhanteringssystem så bör ytterligare undersökningar göras för att bedöma om det är lämpligt att använda nabatenska lösningar i den lokala kontexten.

Arbetet går inte utförligt in på tekniska detaljer såsom exakt konstruktion och material av svenska eller nabatenska dagvattenhanteringssystem.

6. Begrepp och definitioner

Aktör

Benämning på den person, institution etc. som agerar, handlar (Nationalencyklopedin, u.å).

Agrikultur

Åkerbruk, jordbruk (Nationalencyklopedin, u.å)

Avrinningsområde

Ett område där regn och smältvatten samlas in, begränsas av höjdryggar, vilka delar flödet från regn och smältvatten åt olika håll (SMHI,2019)

Baetylus

Heliga stenar (Encyclopedia Britannica, 2022)

Dagvatten

Dagvatten kan förenklat definieras som regn och smältvatten som rinner av från byggnader, infrastruktur och andra hårdgjorda ytor (Persson, Gallardo, Kallioniemi & Foltyn, 2008) Dagvatten kan också vara tillfälligt framträngande grundvatten. Dagvatten är alltså inte allt ytvatten såsom vattendrag, sjöar och våtmarker. Dagvatten är tillfälligt, medan de flesta ytvatten är permanenta (Göteborgs stad, u.å)

Gråvatten

Bad, disk och tvättvatten (ej vatten från toalett) (avloppscenter, u.å).

Gröna tak

Vegetation på tak (Nicholaus D, 2005)

Grön infrastruktur

Nätverk av natur som bidrar till fungerande livsmiljöer för djur och växter samt bidrar till människans välbefinnande (Naturvardsverket, u.å).

Hydrologi

Läran om vattnet på jordens landområden, dess kretslopp, förekomst, fördelning och beskaffenhet (Nationalencyklopedin, u.å)

Hydrologiska objekt

Terrasser, dammar, cisterner, kanaler (Berenfeld et al. 2016; Knodell et al. 2017; Plekhov, 2021)

Kanjon

Trång och djup dalform med branta sidor (Nationalencyklopedin, u.å)

Klimatanpassning

Samhället ska byggas på ett sådant sätt att det kan hantera de kommande klimatförändringarna (Boverket, 2010)

Servisledning

Ledning för ex. el, vatten, gas eller avlopp mellan fördelningsnätet och den enskilda abonnenten (Nationalencyklopedin, u.å).

Skyfall

Är ett mycket häftigt regn där det oftast faller mer än en millimeter regn per minut (Nationalencyklopedin, u.å)

Slutna system

Bortledning av vatten i ledningar (Vänersborg kommun, u.å)

Spillvatten

Vattentoaletter, tidigare vanligen kallat svartvatten och från disk, bad och tvätt, tidigare kallat gråvatten (Nationalencyklopedin, u.å).

Svackdike

Ett system för att fördröja och avleda dagvatten från hårdgjorda ytor. Utformas som ett svagt sluttande skålformat och gräsbeklätt dike. (Va-guiden, U.å)

Torka

En tydlig definition finns inte av begreppet torka enligt SMHI, men med torka menas ofta något av följande: låg markvattenhalt, långvarig period med lite nederbörd, låga grundvattennivåer, låga nivåer i sjöar och vattendrag I den här undersökningen syftar begreppet torka på: Långvarig period med lite nederbörd, låg markvattenhalt och låga grundvattennivåer (SMHI, 2019).

Papyr

Skrivmaterial gjort av växtarten papyrus (Nationalencyklopedin, u.å)

Reservoar

Behållare, förvaringskärl (Nationalencyklopedin, u.å)

Vattenföring/vattenflöde

Ett mått på hur många kubik vatten som rinner i ett vattendrag under en viss tid (kubikmeter per sekund eller liter per sekund)(SMHI,2019).

Recipient

I miljösammanhang hav, sjö och vattendrag som är mottagare av restprodukter (Nationalencyklopedin, u.å).

Vattentäkt

Bortledning av yt- eller grundvatten för vattenförsörjning (SMHI,2019).

Vattenmagasin

Regleringsmagasin, vattenreservoar, är i regel en konstgjord vattensamling som dämts upp i en flod eller i en mindre å för att magasinera vatten en längre eller kortare tid (Nationalencyklopedin, u.å)

Våtmarker

Mark som är vattenmättad under en stor del av året (Nationalencyklopedin, u.å)

Waid

Flodfåra i torra områden som är torr utom vid stor vattentillförsel (Nationalencyklopedin, u.å)

Öppna dagvattensystem

Dagvattenlösningar där vattnet är synligt (Ludzia, Larsson & Aguayo, 2004)

Översilningsytor

En gräsbevuxen sluttande yta som dagvattnet ksn flöda ut över och infiltreras ned i (Boverket, 2010).

7. Nabatéerna och deras relation till, samt användning av vatten

För att kunna dra nytta av nabateisk kunskap krävs en förståelse för hur deras historia, kultur, ekonomi och sociala struktur samt områdets geografi och ekologi påverkade och formade utveckling och användning av deras dagvattenhanteringssystem. Detta är viktigt eftersom vi inte bara kan kopiera in deras lösningar i vår egen kontext utan behöver förstå den lokala och historiska kontext som dessa lösningar uppstod i för att eventuellt kunna anpassa kunskapen till svenska system.

7.1. Det nabatéenska imperiet

Det nabatéenska imperiet existerade mellan (ca) 168 f.Kr. till 106 e.Kr. (Mays, 2019; Bedal, 2018). Hur stort imperiet var är inte känt men Mays (2019) hävdar att vissa historiker tror att det kan ha sträckt sig mellan moderna Yemen till Damaskus och från västra Irak in i Sinaiökn. Författaren skriver också att andra historiker hävdar att imperiet innehöll Jordanien och Hawran i södra Syrien, Sinai, Negev och en stor del av Hijaz i nordvästra Arabien samt under en kort tid också Damaskus, se figur 2. Vad som är känt är att imperiet visar kulturella influenser från Egypten, Assyrien och Babylonien. Imperiet visar spår av helinistiska, islamska och bysantinska influenser i sin arkitektur (Al-Nasarat, 2019; Shqiarat, 2019)



Figur 2. Kartan visar platser som Mays (2019) hävdar var del av det nabatéenska imperiet samt visar var Petra och Beidha ligger

I början av nabatéernas historia var de helt nomadiska enligt Al-Nasarat (2019) som hänvisar till den grekiska historikern Diodorus från Sicilien. Diodorus skrev under sista århundradet f.Kr att nabatéerna *‘varken planterar sädesslag, planterar fruktträd, använder vin eller bygger hus ...’* [egen översättning]. Arkeologiska utgrävningar har däremot hittat spår av bofasta människor i området mycket tidigare (Knodell et al. 2017). Diodorus refererar möjligen till när det nabaténska folket började utveckla mer monumental arkitektur. Enligt Shqiarat (2019) byggdes monumenten i huvudstaden Petra och andra nabateiska städer huvudsakligen mellan det sista århundradet f.Kr. och det 1:a århundradet e.Kr. Han kallar den här tiden för Nabatéernas glansålder. Nabatéerna fortsatte sina nomadiska levnadsvanor genom karavanhandel även efter att de blev bofasta men odlade också grödor och hade boskap (Al-Nasarat, 2019). Grödorna och boskapen var bland de varor som såldes i handeln. Efter att allt fler nabatéer bosatte sig började en central maktstruktur framträda med Petra som sitt centrum, vilket var väldigt viktigt för jordbruk och handel (ibid.). Al-Nasarat (2019) citerar en grekisk historiker, Strabo, som skriv under 63 f.Kr. - 24 e.kr att *“husen är magnifika och av sten... en stor del av landet är fertilt ...”* [egen översättning. År 106 e.Kr blev imperiet en del av det romerska imperiet och kom sen att tillhöra det bysantinska imperiet när Rom föll (Knodell et al. 2017).

7.2. Staden Petra

Petra ligger på koordinaterna 30°19’N, 35°28’E vilket placerar staden ca 80 km söder om Döda havet i Jordanien (Bedal, 2018), se figur 2. Tecken på bofasta grupper har hittats för 15700–10000 år sen (Knodell et al. 2017). Staden tros ha anlagts runt år 300 f.K. (Ortloff, 2005) När det nabaténska imperiet existerade var Petra huvudstaden (Beda, 2002) Under sin glansålder hade staden ca 30 000 invånare. Petras utveckling till ett viktigt centrum för politik, ekonomi och kultur berodde på stadens strategiska läge vid knutpunkten av flera viktiga handels- och kommunikationsvägar (Plekhov, 2020; Al-Nasarat, 2019; Bedal, 2018). Ökning av handel drev stadsutveckling och därmed utvecklingen av vattenhanteringsystemet (Ortloff, 2005). När romarna tog över det nabaténska imperiet minskade handeln med karavaner men den fortsatte att utgöra ryggraden för Petras ekonomi långt efter att stadens glansdagar var över. Under den romerska perioden av stadens historia finns det referenser till handel med södra Jordanien, Egypten och Persiska viken (Al-Nasarat, 2019). Mays hävdar att Petra kollapsade år 363 e.Kr p.g.a av en jordbävning (2019). Däremot har dokument hittats i Petras kyrka som visar på att livet fortsatte efter jordbävningen. Referenser till Petras rikedom finns i texter skrivna så sent som 600 e.kr enligt Al-Nasarat (2019; 2021). Plekhov (2021) skriver att det finns referenser till aktivitet i

staden så sent som på 1100- till 1500-talen e.Kr. Även om staden, till slut, blev en ruin så har människor fortsatt att bo i området (Teutonico, 2002)

7.3. Hur geografi och ekologi påverkade Petras vattentäkt

Petra ligger på de västra sluttningarna av bergskedjan Sharā, en del av det Östafrikanska riftsystemet på den arabiska öknen (Bedal, 2018). Petra byggdes i en öppen dal omgiven av rödbruna berg (Mays, 2019) som består av sandsten, med hållar av kalksten (Bedal, 2018). Marken är ojäm och korsas av djupa raviner, se figur 3 (Shqiarat, 2019) och området är utsatt för jordbävningar. (Plekhov, 2021). Under vintern kom det små mängder regn (Shqiarat, 2019; Mays, 2019), de uppgifter som finns pendlar mellan 100 mm/år (Mithen S, 2010) till 150 mm/år (Bedal, 2018). Bedal (2018) skriver att minst 300 mm per år anses nödvändigt för hållbar agrikultur. Trots de små mängderna regn gjorde geografin att dalen där Petra byggdes var väldigt sårbar för plötsliga översvämningar. Berget Sharah i öster (1600 meter över havet) sluttade över en sträcka på 6 km ner mot Petra (900 meter över havet), se figur 2. Sluttningen hade ett löst jordtäcke och få växter så vattnet kunde naturligt flöda fritt mot staden innan nabateerna byggde regnvattenkontrollsystem. Utöver det samlades regn ofta i raviner, kanjoner och dalar, på grund av den bergiga terrängen, vilket skapade drastiska ökningar i vattenföringen (plötsliga översvämningar) (Shqiarat, 2019; Abdelal, et al. 2021). Detta var farligt då ravinerna och kanjonerna fungerade som transportrutter in och ut ur staden samt innehöll jordbruksfält (Berenfeld, Dufton & Rojas, 2016).



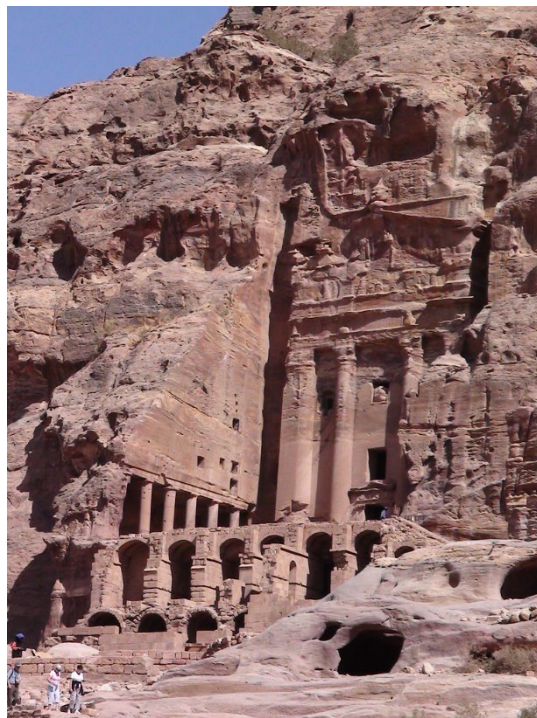
Figur 3 Längs med kanjonens sidor syns en kanal för vatten.

Nabateerna formade landskapet för att kontrollera och leda vattnet dit det gjorde nytt, a istället för skada (Shqiarat, 2019; Plekhov, 2021). Trots det torra och karga klimatet i dalen där Petra byggdes hade nabateerna fält för grödor som korn, vete, druvor, baljväxter, fikon och dadlar tack vare ett välutvecklat vattenhanteringssystem (Al-Nasarat, 2019; Shqiarat, 2019). Bedal (2018) menar att det mesta av Petras fält låg i wadis där jorden var speciellt god för agrikulturellt bruk (2018) En arkeologisk undersökning har hittat exempel på att

nabatenska fält finns i kanjonerna Wadi Ma'aysra East och Wadi Ma'aysra West i stadens norra del, se figur 2. Fälten här är av mindre storlek och knöt ihop stadskärnan med större agrikulturella områden längre norrut (Berenfeld et al 2016). Bredvid stadens tempelkomplex fanns ett stort pool- och trädgårdskomplex, se figur 2. Terrassen som trädgården låg på hade vattenkanaler. I trädgården har trädgropar och fragment av planteringskrukor i keramik hittats. Några växter som troligen fanns i trädgården var Ficus, vinrankor, dadlar, olivträd och Phoenix enligt Ramsay & Berdal (2015). Det finns tecken på att en förödande jordbävning år 363 e.cKr skadade vatteninfrastrukturen allvarligt (Plekhov, 2021) och efter vilken det finns spår av förödande översvämningar (Abdelal et al. 2021).

7.4. Hur det nabatenska samhället och deras religion förhöll sig till vatten

Al-Nasarat (2018) hänvisar till den grekiska historikern Strabo (63 f.Kr. - 24 e.kr) för att beskriva det nabatenska folket, Strabos åsikt är att *“Nabatéer är förnuftiga folk som värdesätter materialistisk rikedom så mycket att de ger ut böter till dom som minskar deras rikedom och ärar de som ökar deras rikedom”* [egen översättning]. Han säger också att de ber till solen och att de har ett altare på taket där de offrade rökelse samt någon form av dryck till dagligen. När nabatérna först slog sig ner i området ärade de gudarna som fanns på den Arabiska halvön med storslagna tempel och annan religiös konst (Al-Nasarat, 2018). Under den



bysantinska epoken, 324–636 e.Kr blev kristendomen den dominerande religionen (ibid). Området vid Petra spelar en viktig roll i kristendomen då det är här Moses kallade fram sin berömda källa, Ain Mousa (Ortloff, 2005).

Vattenanvändning både påverkas av och påverkar socio-politik i en stad. På grund av hur lite vatten det fanns naturligt i Petras klimat var vatten en stor symbol av makt och prestige för staden och dess elit (Plekhov, 2021). Strabo beskrivning av

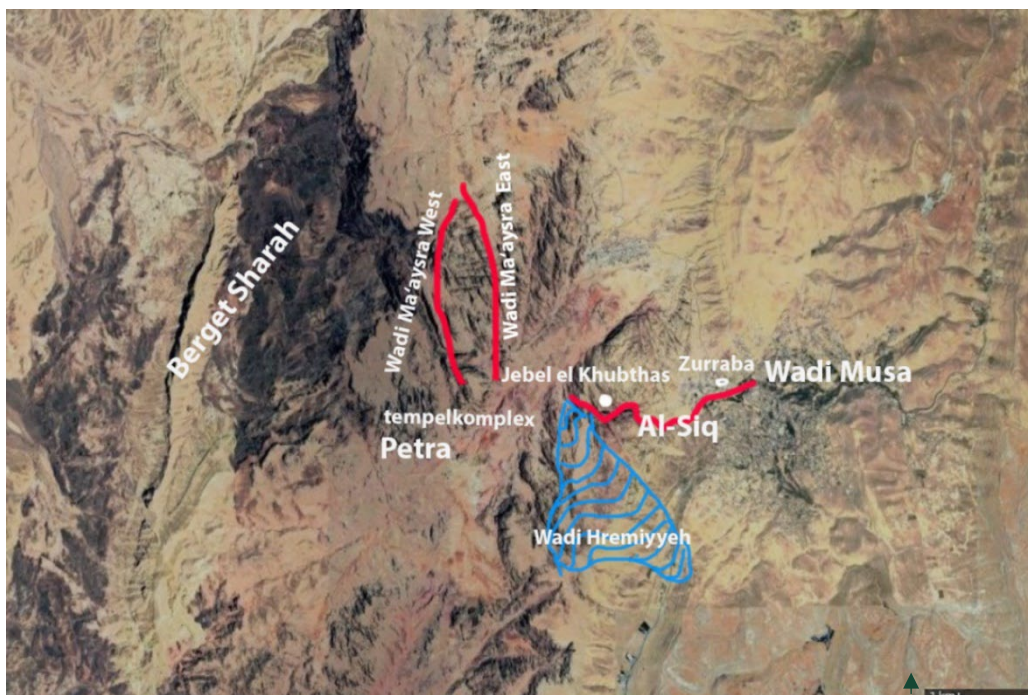
staden, skriver Al-Nasarat (2018) var att den var prydd av fontäner och bassänger. Flera naturliga och artificiella vattenfall dekorerade staden under regnsäsongen (Bedal L, 2002). Vatten användes till badhus och trädgårdar. Vattenverk, som fontäner och allmänna pooler var en central del av gemensamma aktiviteter (Shqiarat, 2019; Plekhov, 2021; Bedal, 2002). Vatten återfanns vid ingångar till teatrar, samlingssalar och tempel samt vid viktiga korsningar. Rikedomerna av vatten påminde invånarna och besökare om hur generösa och rika deras lokala ledare var (Bedal, 2002). Enligt Plekhov (2021) var delar av vattenhanteringssystemet troligen byggt av privatpersoner på lokal nivå efter behov och inte styrt av en centralmakt. Han skriver att trots det att någon form av översyn från kungamakten även om han menar att bevis för en centraliserad beslutskedja angående vattendistributionen är otillräcklig. I slutdissektionen av artikeln *The social dimensions of water management at Petra, Jordan* drar Plekhov (2021) slutsatsen att beslut om Petras vatten distribution, i den urbana kärnan så väl som i landsbygden runt staden, från någon form av central makt kan bara ha varit en del av de många formella och informella organisationerna som styrde distributionen av vatten. Lokala markägare, menar Plekhov (2021), hade stor makt. Han nämner också att decentraliserade system oftast är mer effektiva och hållbara. I papyrer från den kristna perioden av Petras historia finns det dokumenterat att diakoner, biskopar och präster hade viss kontroll över distributionen av vatten (Plekhov, 2021).

Vatten sågs som heligt. Talrika mängder ikoner, inskriptioner och helgedomar ligger i anknytning till källor. Det finns många exempel på dekorativa vattenverk som är kopplade till religiösa ändamål. (Shqiarat, 2019; Plekhov, 2021; Franchi et al 2009). Det finns spår av religiös aktivitet även i kanjoner såsom Wadi Ma'aysra öst och Wadi Ma'aysra väst. I kanjonerna gick vattenkanaler och murar. Här hittas Baetyls (heliga stenar) och de nischer som de har stått i. Vilket visar att dessa transportsystem hade mer än bara en praktisk roll. De hade också betydande symbolisk mening (Berenfeld et al 2016). Modifikationer och inskriptioner av källor tyder på att ritualer tog plats där (Plekhov, 2021).

Vattnet var så viktigt att det är refererat till i deras nabatérnas namn, Nabaté kommer från det arabiska ordet nabat vilket betyder "att sippra upp från underjorden" (Mays, 2019)

7.5. Petras vattensystem

Vatten fanns naturligt i området från källor och genom regn (dagvatten) som föll under vintern (Shqiarat, 2019; Mays, 2019). Staden tog framförallt vatten från omkringliggande källor (Ortloff, 2005). Vattnet från källorna var av god kvalite och kunde drickas (Al-Farajat & Salameh, 2010). De tidigaste spåren på regnvatteninsamling finns i Negev, (ca 50km från Petra) från 1000–539 f.kr men det var först under de nabateiska and romerska perioderna som regnvattensystemet nådde sin största utbredning. Utspritt i och runt Petra täckte vattenhanteringssystemet ca 4000 hektar (Shqiarat, 2019). Mansour Abed al zeez Shqiarat uppskattar att systemet levererade minst 10 till 20 liter per person per dag utöver vad som behövdes för att odla grödor. Systemet förvarade vatten från regn under torrperioden, 12 till 24 månader (2019).



Figur 5 Karta över Petra, där det blåmarkerade området visar ett avrinningsområde Wadi Hremiyyeh och de röda linjerna visar kanjoner.

Utöver förvaring och transport av vatten var en viktig funktion av systemet att begränsa och kontrollera vattenflödet så att det inte utvecklades till översvämningar (Mays, 2019; Shqiarat, 2008). Analys av vattensystemet visar att designen fokuserar på att skapa stabila vattenflöden (Ortloff, 2005). Nabatéerna tog lärdom från många externa influenser. Vattensystemet reflekterar därför det bästa av civilingenjörskap från granncivilisationerna som t ex Egypten, Rom och Mesopotamien. Nabatéerna var också tvungna att komma på sina egna lösningar (Ortloff, 2005). Systemet konstruerades för att skapa en balans mellan

förvaringskapacitet i reservoarer och ett kontinuerligt flöde genom ledningar för att säkra vattentillgången året runt (Ortloff, 2005).

Enligt Mays (2019) är det unika med Petras system att “...*Nabatéerna använde varje sluttning och yta som ett sätt att samla regnvatten och förvarade varje droppe...*” [egen översättning]. Alla ytor användes för insamling av vatten (Ortloff, 2005; Mays, 2019). Regnvatten samlades från gator och tak (Shqiarat, 2008). Fukt från dimma och dagg samlades under natten från väggar genom kondensation som fick droppa ner i uppsamlingskärl och kanaler som sen förde vattnet till bassänger (Mays, 2019). Vatten från raviner och dalar reglerades med hjälp av dammar (Abdelal et al 2021) se figur 6. Dammarna byggdes mellan kanjonernas klippsidor och ankrades genom att stenar passades in i skårar hugna i klippsidorna (Documentary, 2015) Majoriteten av dammar, cisterner och terrasser fungerar som en del av ett större system som blockerar och saktar ner vattenflödet samt förvarar vattnen (Plekhov, 2021). En stor andel av de dammar, terrasser, cisterner och murar som finns i och runt Petra byggdes för att skapa och reglera avrinningsområden (Abdelal, 2021).



Figur 6 Nabateisk damm

Avrinningsområden kunde vara stora. Avrinningsområdet Wadi Hremiyyeh, se figur 5, som ligger efter kanjonen Al-siq är bara en del av ett större avrinningsområde men täcker trots det en area på 1.1 km², med en max elevation på 1378 m.ö.h och lägsta elevation 1012 m ö h. Vattnet i avrinningsområdet flödade ner mot Petras centrum över bergig terräng med en lutning på 0.27 %. Wadi Hremiyyeh kunde samla stora flöden av vatten. Tillsammans med vatten från en bäck som gick genom kanjonen Al-siq skapade avrinningsområdet fler översvämningar än någon annanstans i Petra. Flest strukturer för att kontrollera översvämningar kan hittas i det här området (Al Qudah et al. 2016).

Kanjonen Al-Siq (se figur 5) är ett exempel på hur översvämningsskydd skapades. Tidigt i stadens urbana utveckling var invånarna beroende av en öppen kanal som gick från källan Ain Mousa genom Al-Siq (Ortloff, 2005). Kanjonen Al-Siq är en av Petras tre ingångar. Al-Siq var huvudpassagen in i staden och låg i öster (de andra ingångarna låg i norr och väster. Det är en lång passage på 1216 km som ibland inte är bredare än 2 m och går genom klippor upp till 100 m höga (Shqiarat, 2019). Den här passagen svämmade ofta över innan Nabatéerna grävde

en tunnel som förde bort vattnet (Shqiarat, 2019; Ortloff, 2005). Efter att tunneln grävdes fortsatte vatten att transporteras från källan Ain Musa till staden men det gjordes nu via 2 akvedukter. Den första var Khubtha North som gick runt den norra delen av berget Khubtha (se figur 5) och slutade längst den östra sidan av dalen där Petra låg. Den andra var Siq akvedukten som fortfarande gick genom Siq ravinen och in i stadens centrum (Bedal, 2018). Skillnaden var att vattnet nu rann i ett rör och en täckt kanal som gick längst med bergssidorna. En damm, Zurraba byggdes mellan tunneln och källan Wadi mosa för att förhindra för höga vattenflöden (May, 2009). Romarna fortsatte senare att underhålla tunneln och dammen samt utökade dammens kapacitet. Den nya dammen var 88 m lång och 6 m bred (Franchi et al 2009; Mays, 2019).

En uppfattning om mängden enskilda hydrologiska objekt som nabatéerna byggde för att kunna skapa dagvattenhanteringssystemet kan fås utifrån resultaten på två arkeologiska projekt, som visar på hur utförligt och noggrant invånarna anpassade den naturliga terrängen. Den ena gjordes av Brown universitet Archaeological Project (BUPAP). De dokumenterade 1100 unika agrikulturella och hydrologiska objekt i ett område på 11 km², 5 km norr om Petra mellan 2010 och 2012 (Berenfeld et al. 2016; Knodell et al. 2017; Plekhov, 2021). Det andra projektet, finska Jabal Hārūn projektet (FJHP) utfört av Finska Vetenskaps-Societeten, utförde en undersökning på ett område av 11 km² mellan 1997 och 2005 som ligger 5 km söder om Petra. De hittade 660 individuella spår av murar som tillhörde det agrikulturella- och hydrologiska systemet (Kouki & Lavento, 2013).

Det byggda vattenhanteringssystemet var vävt på ett organiskt sätt in i den naturliga terrängen. Avrinningsområden bestod av både naturligt formade och bearbetade ytor som ledde vatten genom rör till naturligt formade kanaler som sen lät vattnet rinna ner i cisterner och bassänger via ytterligare ledningar (Plekhov, 2021). Många terrasser har hittats, vars funktion var att hindra erosion av jord, reducera höga flöden av vatten och hindra formationen av nya ravinner (Abdelal et al. 2021). Detta visar Abdelal et al (2021) på i en undersökning där fyra mindre terrasser (se figur 7) (i undersökningen även kallade dammar) restaurerades och sen användes i datamodeller av vattenflöden.



Figur 7 Terrasser för odling och vattenfördjning

En markant minskning i hastigheten på flödet och mängden vatten som tog sig igenom terrasserna uppmättes. Tiden det tog för vattenmassorna, från ett skyfall, att ta sig ner för slutningen ökade med ca 25 min jämfört med mätningar tagna innan terrasserna restaurerades. Mängden vatten som tog sig igenom systemet reducerades med 13%. Systemet som undersöktes var ett litet regnvattensamlingsystem som hette Wadi Hremiyyeh och har sitt utlopp vid den centrala plasan. Modelleringen av en större damm visade en reduktion av flöde på 30.5% vid max flöde men bara en reduktion på 14 min. Lerkärl hittade vid terrasserna visar att de byggdes, utnyttjades och underhålls kontinuerligt under de nabateiska- romerska- och bysantinska epokerna. En annan undersökning, gjord av Al Qudah et al (2016), modellerade 6 olika terrasser visade kan terrasserna minimera flödet med ett snitt på 28% med värden så höga som 90% i vissa fall. Terrasser, murar och dammar reducerade vattenflödets hastighet genom att samla vatten bakom muren tills det hade nått en viss höjd (Al Qudah et al. 2016) eller genom att tvinga vattnet att ta en längre väg genom att ändra dess riktning (ibid). Vattenmängden reducerades också något genom att det infiltrerade och stannade i sediment som byggdes upp bakom murar och terrasser (Abdelal et al. 2021).

Genom att kontrollera och sakta ner flödet på vattenmassorna kunde invånarna förhindra erosion av sediment. I många dagvattenhanteringssystem är sedimentering ett problem men för invånarna i Petra var det främst en tillgång (Farahani, 2018). Murar som projektet FJHP fann kontrollerade flödeshastighet

längst med många wadis (Shqiarat, 2008). Murar byggdes där slutningsgradienten varierade i uppsamlingsområdet (Abdelal et al. 2021). På högre elevation användes stabila murar/terrasser kallade gabioner. En gabion var designad att fånga större löst material och hindra det från att spolans nerströms (Al Qudah et al., 2016; Hamarneh, 2020). Längre ner på sluttningarna fick murarna en mer konkav form som hjälpte till att sakta ner vattnet som rann ner för sluttningar. Murarna ändrade riktningen på flödet i sidled för att låta vattnet nå andra wadies eller förvaringskärl (Abdelal et al. 2021). Murarna hade också funktionen att samla vatten och näring för agrikultur. Detta skedde via sedimentering. Sediment tilläts byggas upp mot sluttningarna av murar och dammar (Abdelal et al. 2021). Detta hindrade det sedimentet från att ta sig in i cisterner och kanaler vilket skyddade dagvattenssystemet (Al Qudah et al. 2016). Sedimenteringen ledde med tiden till att murar och dammar förändrades till terrasser. När terrassen hade nått en viss storlek användes den för jordbruk. I vissa fall fortsatte bönderna att höja murarna så att de fick en djupare och större terrass (Beckers et al. 2013). Undersökningar gjorda vid Beidha, se figur 2, visar att lager av sediment som deponerades fick olika kvalitéer beroende på när de avlagrats. Jordlager på mer än en meter har avlagrats här. Texturen på jorden är lättlera till lerig siltsjord (ler 11%, silt 52%, sand 37%). Högre halt av lera längre ner, från mindre än 10 % på toppen till 20 % på 70 cm djup. Jorden har en svag struktur och blir hårdare med ökat djup. Den här typen av lageruppbyggnad antyder att omflyttning av lermaterial har skett över en lång period vilket tyder på en lång tid av jordbildning (Al Qudah et al. 2016). Varje terrass möjliggjorde infiltration av vatten i de avlagda sedimenten vilket ökade volymen av vatten tillgängligt i jordens porer. På det sättet möjliggjordes plantering (av plantor och sådd) (Al Qudah et al. 2016). Vissa av terrasserna som byggdes används än idag av den lokala befolkningen, Bedouins (Beckers, 2013). Plekhov (2021) spekulerar att vattenhanteringssystemet prioriterade vattentillgång till agrikulturella behov som behövdes för att föda befolkningen över annan användning (Al Qudah et al. 2016).

Vatten för domestik användning och till trädgårdar förvarades i dammar och cisterner (Al Qudah et al. 2016). Cisternerna var karvade ur sandsten och genom att täcka insidan av cisternerna med krita (kalksten) blev de vattentäta (Shqiarat, 2008). Kritan varade i 15 till 30 år efter vilket den behövde ersättas (Shqiarat, 2008). Storleken på cisternerna varierade från små bassänger till rektangulära cisterner, stora som rum. De små cisternerna var bällformade (Mays, 2019). Se figur 7 på s 37 i boken *Cura Aquarum in Jordanien* för en illustration på en cistern (Shqiarat, 2008). De placerades högt upp för att fånga all avrinning av regnvatten. De större rum liknande cisternerna låg i naturliga lågpunkter i landskapet. Exempel på den här typen av cisterner är Bir Huweimel som ligger i en naturlig flodbädd och samlar vatten, som skulle kunna ha översvämmat annars,

i ett stort underjordiskt rum som går ner 9 m i marken (Mays, 2019). I början var cisternerna öppna men det skapade problem med föroreningar, algblomning och säkerhet. Människor riskerade att falla i så Nabatéerna började täcka sina cisterner med stentak (Shqiarat, 2008). Tak minskade också avdunstning under sommaren (Shqiarat, 2019). Vatten från de stora cisternerna kunde nås via trappa och via brunn (Mays, 2019). Visa större cisterner från den nabateiska tiden används än idag eftersom de kan hålla vatten långt in på sommarmånaderna. Cisterner underhålls inte längre och majoriteten är inte i användning (Berenfeld et al. 2016).

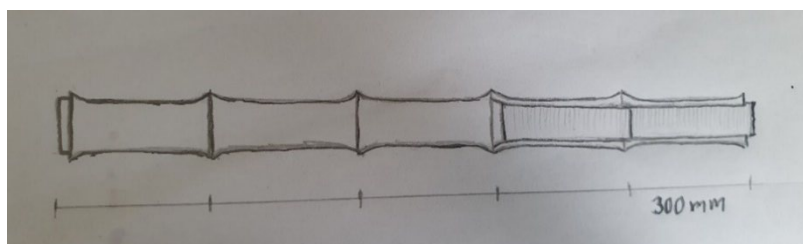
Ett exempel på hur sedimentering i cisterner undveks kan ses vid Bir Huweimel där vatten först samlades i en cistern efter att det hade flödat över en 9 m djup bassäng designad för att tillåta sedimentering. Sediment som sen kan tas bort. Igenfyllning av dammar och cisterner tros ha skett efter en befolkningsminskning i slutet av den nabateiska perioden. Cisternen vid Bir Huweimel är också designad så att vattnet inte kunde ha ett högt flöde när det strömmade in. Eftersom mer långsamt flödande vatten innehåller mindre sediment byggde sedimenteringen i cisternen upp långsammare (Kondolf & Farahani, 2018) Genom de större rumsliknande cisternerna gick ett komplext system av rör och kanaler (Ortloff, 2005)

Rör och öppna kanaler korsade stora delar av Petraområdet och knöt samman systemet enligt en undersökning av Ortloff (2005). Rören var ibland lagda i spår som högs ut från berggrunden (Al-Farajat & Salameh, 2010) Öppna kanaler användes för uppsamling av regnvatten. De högs ibland utt väldigt nära varandra för att samla så mycket av regnvattnet som möjligt (ibid.). De använde sig av öppna vattenkanaler vid strategiska punkter längst rörsystemet för att undvika läckage associerat med trycksatt, slutna system (Ortloff, 2005). Till att börja med använde nabaterna segmenterade, ihopkopplade, terrakottarör (se figur 8) (Ortloff, 2005; Bedal, 2018) ca 35 cm i längd (Ortloff, 2008). Inspirerade av Egypten, Minoerna, Grekerna och Mesopotamien senare under den romerska eran användes också rör av bly som sattes ihop med sten segment (Ortloff, 2005). I fall när vatten behövde föras över raviner byggdes akvedukter som stod på bågar skriver Bedal (2002). Se figur 7 på s 37 i boken *Cura Aquarum in Jordanien* (Shqiarat, 2008). Kondolf och Farahani (2018) lägger till att broar också användes utöver akvedukter. Kanaler kunde vara både ovan och under mark- Ett exempel på en underjordisk kanal är Humeima, en 27 km lång underjordisk kanal. Huweimel är bevis på att det fanns kunskap om imätningsteknik som lät dem konstruera slutningar med låg luting, möjligen lånad från romerska eller grekiska byggteknik (Ortloff, 2005)

Ortloff (2005) har identifierat 4 kriterier som nabatéerna var tvungna att ta hänsyn till när de byggde sina rör och kanalsystem.

- Vilket det maximala flöde är som kan skapas i rörsystemet utan turbulens. Modulering av flöde på rörsystemet i Al-siq visar en flödeshastighet på mellan 1.0 till 3.05 m/s)
- Ett jämt flöde in och ut ur vattenkärl.
- Ett tillräckligt högt flöde för att tillgodose befolkningen, max 30 000 människor
- Reducering av läckage genom segment av öppen kanal i slutna system som hindrar uppbyggnad av tryck när maximal flödeskapacitet uppnås.

Modulering av kanjonen Siq av Ortloff (2005) visar att de lyckades med att nå dessa kriterier genom en grundlig förståelse för de fenomen som vatten uppvisar när det rinner i ett rörsystem. För att leverera vatten snabbt med bara gravitationen som hjälp krävs en hög lutning men det leder till turbulens i systemet. I rörsystemet som går genom Siq har en lutning på 4% används. Det låter luft finnas i den övre delen av röret och hindrar turbulens (Documentary, 2015). Ortloff (2005) har också funnit att rör med en slät insida ytterligare minskade risken för turbulens i systemet vid höga flöden.



Figur 8 Nabatéenskt rör (Emelie Jonsson, 2020).

Ytterligare fördelar med rörsystemet är, som nämnt tidigare, att sedimentära partiklar stannar i terrasser och dammar, vilket hindrar rör från att blockeras. Det är speciellt viktigt i de rörsystem som är placerade högt uppe på klippor, exempelvis ett rörsystem som kan hittas 25 m över marken på berget Jebel el Khubthas nästan vertikala sidor, vilket gör det nästan omöjligt att rengöra. Detta visar att invånarna tog hänsyn till att systemet skulle vara hållbart över tid (Ortloff, 2005). Vattenhanteringssystemet visar spår av renovering och upprustning (Shqiarat, 2008).

8. Dagvattenhantering i Sverige

För att kunna diskutera informationen som presenterats i tidigare kapitel utifrån hur det skulle kunna användas av de som designar dagens dagvattensystem behövs kunskap om moderna, svenska dagvattensystem, utmaningar de står inför och Sveriges strategi för dagvatten.

8.1. Svenska städers dagvattenhantering

Stadsmiljöer består traditionellt till stor del av hårdgjorda ytor vilket gör att den naturliga fördröjningen och infiltrationen av dagvatten inte kan ske och måste ersättas av tekniska dagvattensystem. Resultatet blir att dagvatten får en mycket snabb avrinning (Stockholms stad, 2015; Göteborg, u.å.).

Dagens sätt att hantera dagvatten har en gemensam historia med avloppsnätet. Avloppsnätet har byggts upp i lite mer än 100 år. Under 1800-talet var de sanitära förhållandena i städer mycket dåliga. Smuts och föroreningar transporterades orenat med hjälp av rännstenar, avloppstrummor och diken till närmaste vattendrag. På 1800-talets andra hälft började allmänna vatten- och avloppsledningar byggas under jord (Svenskt Vatten, 2016). Deras syfte var att skapa sanitära, torra och rena städer utan dålig lukt (Cettner, Söderholm, & Viklander, 2012). Detta ledde till att dagvattenhanteringssystem kombinerades med grävattensystem (Naess, 2006). I det kombinerade avloppsledningssystemet användes en ledning för att avleda spill-, dag- och dränvatten tillsammans. Cettner, Söderholm och Viklander (2012) hävdar att det på 1950 – 60 - och 70 - talet fanns en tro på att underjordiska och därför osynliga vattenhanteringssystem inte bara var en teknisk fungerande lösning utan också ett tecken på ett modernt och moraliskt rent samhälle. System som delade på dag- och spillvatten kom redan under 1950- talet men började användas i större utsträckning under 1990-talet (Svenskt Vatten, 2016).

Idag har Sverige 190 000 km rör (WSP, u.å) och många av de gamla ledningarna är underdimensionerade för dagens vattenmassor och riskerar därför att översvämmas (Naturvårdsverket u.å.) En del av de rören är fortfarande en del av kombinerade system. I boken *Avledning av dag-, drän- och spillvatten* uppskattas att ca 13 % av Sveriges dagvattenhantering fortfarande består av kombinerade ledningar räknat som rörgravslängd. Ett annat system som används idag är det duplikata systemet där spillvatten och dagvatten leds i skilda ledningar. Dagvatten leds till en recipient eller ett reningsverk (Svenskt Vatten, 2016), vilket leder till

att föroreningar i stället tillförs och belastar mottagande sjöar och vattendrag (Stockholmsstad, 2015). Föroreningar i dagvatten kan vara farliga (Blecken G, 2016). En hel del dagvatten hanteras också lokalt genom ex fördröjning och/eller infiltration (Naess, 2006).

Idag finns en trend mot mer dagvattenhanteringssystem som efterliknar naturen. I dessa system är det viktigt med fördröjning (Bohman A, Glaas E och Martin Karlson. 2020). Fördröjning byggs in i ett system på två sätt, slutna system och öppna system. I slutna system byggs magasineringsskär i in i rörsystemet för att minska flöden (Hagelin, 2015). I öppna system används en variation av naturliga och tekniska lösningar som dammar, gröna tak, översilningsytor, genomsläppliga beläggningar, gräsytor, växtbäddar, våtmarker, svackdiken, kanaler, diken, sjöar och bäckar för att skapa fördröjningssystem i flera steg (Ludzia, Larsson & Aguayo, 2004). De nya lösningarna klarar av kraftiga skyfall bättre och renar även vattnet. Implementering av den här typen av system hindras inte av otillräcklig teknik utan av problem med planeringsprocessen (Bohman et al. 2020). Det finns flera barriärer mot öppen och synlig dagvattenhantering i dammar och kanaler. Ett traditionellt centraliserat system med rör kan oftast planeras av det lokala styret men för planering av vatten men öppna hållbara system krävs samarbete mellan många professioner med olika intressen och mål såsom planerare, arkitekter, landskapsarkitekter och ingenjörer (Cettner et al, 2012).

Byggandet av dagvattensystem är ett samarbete mellan olika aktörer, såsom den kommunala va-huvudmannen, verksamhetsutövare som byggföretag, fastighetsägare, väghållare och järnväghållare men samarbetet behöver förbättras och utvecklas. Detta gäller för all dagvattenhantering (Naturvårdsverket, u å). Svenskt Vatten (2016) skriver att ansvaret för en hållbar dagvattenhantering delas av flera aktörer i samhället.

Inom VA-ledningssystemen är ansvaret för dagvatten uppdelat på flera parter. Innanför den så kallade förbindelsepunkten på en fastighet ansvarar fastighetsägarna för servisledningarna. Utanför förbindelsepunkten ligger ansvaret på en VA-organisation (kommun, kommunalt bolag) (Svenskt Vatten, 2016). Hur ansvaret ska fördelas ska förtydligas i ABVA, *Allmänna bestämmelser för användande av kommunens allmänna vatten- och avloppsanläggning* som skapas av varje kommun. Miljöbalken (MB) räknar dagvatten som avloppsvatten när det avleds från samlad bebyggelse. Huvudansvaret för att genomföra konkreta åtgärder ligger på kommuner och enskilda fastighetsägare (Svensk Försäkring 2015).

Varje kommun sköter sitt eget dagvatten som sköts via en översiktsplan och en detaljplan för varje område (inte alla områden har en detaljplan) (Svenskt Vatten, 2016). Enligt återskottering från 2019 av vattenmyndigheterna har knappt hälften av landets kommuner en plan, strategi, policy eller liknande för att hantera dagvatten (Naturvårdsverket, u.å.). En nationell strategi och handlingsplan för arbetet med klimatanpassning saknas helt har Svenskt Vatten (2016) konstaterat. Trots att många departement och myndigheter är involverade så har ingen ett övergripande ansvar för klimatanpassningen (Svenskt Vatten, 2016). På hemsidan Sverigesmiljömål.se som drivs av Naturvårdsverket i samarbete med Boverket, Havs- och vattenmyndigheten, Jordbruksverket, Kemikalieinspektionen, Skogsstyrelsen, Sveriges geologiska undersökning, Strålsäkerhetsmyndigheten samt länsstyrelserna förklaras Sveriges 16 miljömål och etappmålet *Dagvattenhantering i befintlig bebyggelse* nämner inte hantering av torka under ärmebjör (Naturvårdsverket, u. å.). Ytterligare undersökning, i form av stickprov, på 5 kommuners dagvattenhanteringsstrategi: Stockholm (antagen 2015), Vimmerby (2020) Falköping (2021), Örebro (2005) och Hässleholm (2020) visar att ingen av dessa kommuner har strategier för att hantera längre och allvarigare torrperioder. Dagvattenhanteringsstrategin för dessa städer har strategier för att klara av större dagvattenvolymer och rening. På Sverigesmiljömål.se står det att en kartläggning ska göras och handlingsplaner ska tas fram för en hållbar dagvattenhantering tills senast 2025 samt genomförandet av planerna ska ha börjat.

”Många kommuner arbetar redan i dag aktivt med dagvattenfrågor i den kommunala planeringen. Bland annat ska de, i enlighet med vattenförvaltningens åtgärdsprogram, utveckla planer för hur dagvatten ska hanteras hållbart inom kommunen med avseende på kvantitet och kvalitet. Flera kommuner har också redan infört beredskapsplaner för skyfall för att beräkna negativa effekter av kraftiga regn och skyfall samt hur dessa kan undvikas genom förändringar i stadsmiljö”.

Här syftar hållbar dagvattenhantering till en hantering som reducerar dagvattenavrinningen i samhället på ett ändamålsenligt sätt. Detta görs genom mindre hårdjorda ytor i staden och att vattnet fördröjs och vid behov renas så nära källan som möjligt (Naturvårdsverket, u. å.).

8.2. Framtiden

Naess (2006) menar att ökad kritik mot central vattenhantering har lett till ett större intresse i lokal hantering. Han tycker att för att skapa bättre dagvattenhanteringssystem behöver frågorna beaktas tidigare i planeringsprocessen. Svenska beslutsfattare måste inse att regnvatten och

smältvatten är stora resurser för våra städer skriver Naess (2006). Nya dagvattenhanteringssystem ska reducera och stabilisera vattenflödet till reningsverk genom att först ta hand om vattnet lokalt (Naess, 2006). Svenskt Vatten (2016) skriver att eftersom dagvattenfrågan styrs av många aktörer men ingen har egen rådighet är det av yttersta vikt att de samverkar. Det är också nödvändigt att både enskilda fastighetsägare och kommersiella fastighetsägare deltar i arbetet med klimatanpassning (Svenskt Vatten, 2016). Ökad investering krävs enligt Svenskt vatten samt att rening av vatten måste förbättras och effektiviseras. Barriärer för implementering av grön infrastruktur (växter), som tar hand om vattnet lokalt och skapar hållbar vattenhantering, behöver försvinna. Allmänhetens kunskap, lokal information, lokala politikers prioriteringar och tillit i SSM- system (sustainable stormwater management) är viktiga för dess implementering enligt Qiao et al (2019).

8.3. Sammanfattning av intervju med Roger Rohdin

En intervju med Roger Rohdin, Avdelningschef på Tekniska kontoret VA-avdelning i Jönköpings kommun har genomförts för att undersöka användbarheten av litteraturstudien. Rohdin har jobbat med dagvattenhantering i 17 år, i tre olika kommuner, Östhammars kommun, Jönköpings kommun och Tierps kommun. Innan dess var han driftingenjör och energiingenjör. Han ser många likheter mellan Petras dagvattenhanteringssystem och sättet som dagvatten hanteras på idag.

Rohdin berättar att Jönköpings kommun började ändra hur de byggde dagvattenledningar redan på 1950 - 60 - talet. Från kombinerade ledningar till separata system där dagvatten släpps direkt ut i en recipient (sjö, vattendrag mm). Idag är bara ca 15% kvar av det gamla kombinerade systemet. Jönköpings kommun har inte varit så noggranna med regler om rening så dagvattnet får än idag, ibland, rinna orenat ut i en recipient men på senare år har rening blivit allt viktigare så det kommer att förändras. Vanliga lösningar för rening av dagvatten är via dagvattendammar, våtmarker och ecofilter (filter som renar dagvatten gjort av företaget Ecovolt). Exempelvis, ska 3 dammar byggas i ett nytt industriområde i Jönköping som är sammankopplade och tillsammans tar hand om lokalt dagvatten. Olika typer av reningslösningar tillsammans med rörledningar och fördröjningsvolymmer ser Rhodin som de viktigaste delarna i ett modernt dagvattenhanteringssystem.

Rhodin betonar att det stora problemet för bra hållbar dagvattenhantering är juridiskt. Rhodin ser ett stort problem med att lagstiftning kring dagvattenhantering inte är tydlig och ansvaret för dagvatten ligger på många aktörer som alla vill olika saker. I Jönköping är hans avdelning, tekniska kontoret

VA-avdelning, ansvarig för att ta hand om regnvatten upp till så kallade 30 års regn, ett regn som enligt statistiken, förekommer i snitt en gång vart 30 år. Andra avdelningar i kommunen ansvarar för större regn som 100 års regn. VA-avdelningen gör skyfallskateringar som används för att beräkna möjliga avrinningsvägar vid kraftiga regn och för att se var dagvattensystemet riskerar att brista. Torrperioder är däremot inte något som Jönköping har så många problem med då de har tillgång till Vättern och goda grundvattennivåer. När Rhodin var i Östhammar var torka ett större problem. Där kunde de få ge ut bevattningsförbud vartannat år och i svåra torrperioder åka ut med tankbil. Inget har, vad Rhodin vet, gjorts i Jönköping eller Östhammar för att själva systemet ska bli mer torktåligt förutom att de ofta kollar efter möjliga läckor. Dagvatten ses främst som ett problem. Dagvatten är inte en resurs i det flesta fall som det var för nabatéerna, eftersom vatten oftast kan tas från grundvatten eller vattendrag. Vattenspeglar av dagvatten kan ibland ses som en resurs för allmänheten. Anledningen till att dagvatten oftast ses som ett problem är främst de motstridiga intressen som finns hos beslutsfattare. Ett exempel är om ett nytt område exploateras så vill exploatören ha så många bostäder som möjligt, vilket inte lämnar tillräckligt med plats för öppen vattenhantering och då blir det komplicerat att få dagvatten att ses som en resurs. Allmänheten är ofta dåligt informerad och Rohdin upplever att majoriteten inte har någon åsikt om dagvatten, det är ingenting de tänker på. En minoritet har drabbats av skador på grund av dålig dagvattenhantering och ser det som ett problem. Dagvattendammar är ofta uppskattade även om många privatpersoner inte vet att dagvattenhantering är deras funktion. Rohdin håller med om att allmänheten skulle kunna informeras mer. Privatpersoner, har trots det, makt över hur dagvatten hanteras på deras egen tomt, vilket kan leda till problem ex när de hårdgör hela sin infart som sluttar ner mot huset. I Östhammar kommun, reflekterar Rohdin, såg det lite annorlunda ut. Där hade de flesta hus en tunna under stuprören som samlade vatten på varje tomt, vilket är något Jönköping skulle kunna tänkas implementera. Detaljplaner skulle kunna upprättas för att kontrollera användning av privatmark men det är juridiskt svårt att implementera.

Angående Petra så säger Rohdin att han var förvånad över hur avancerat Petras dagvattenhanteringssystem var och hur många åtgärder de tog. Rhodin känner igen, i stort sett, allt som de gjorde och la också till att det är ett dagvattensystem som fungerar på liknande sätt som Petras vilket Jönköpings kommun nu strävar efter att skapa (lokal omhändertagning och fördröjning i flera steg). Problematiken ligger dock med krav på fastighetsägare och plats. Petras läge lät invånarna förlita sig på att tyngdlagen för transport av vattnen men situationen är annorlunda i Jönköping. Jönköpings kommun försöker, så ofta det går, att använda tyngdlagen för att föra dagvattnet till recipienter men måste ibland använda pumpstationer vid enskilda viadukter. I gamla låglänta områden nära

sjöar krävs ibland stora pumpstationer då ytan på sjön bestämmer höjd på frifall. Om möjligt så anpassas de äldre systemen i gamla områden med ex dagvattendammar som fördröjer och renar vattnet. Nya områden har oftast någon form av central damm. Terrängens utformning är viktig för hur nya system anläggs. Ett problem som moderna planerare av dagvattensystem står inför, enligt Rohdin, är att vattnet ofta är förorenat och systemen måste därför kunna rena vattnet innan det släpps ut i en resipient, vilket inte var ett stort problem för nabatéerna då deras vatten redan var av god kvalitet. Ett verktyg som Rhodin använder, vilket han anmärkte att nabatéerna inte använde, är rening med hjälp av växter. I det fallet är våtmarker extra användbara. Krav på rening blir allt striktare.

Många delar av Petras system används också idag. Till exempel så kommer ett system av dammar byggas i nästa industriområde som byggs i Jönköping. Där vattnet får flöda mellan dammarna. Cisterner används inte idag men Rhodin ser användning för dem. Terrasser använder dom sig inte heller av men han tog upp ett exempel från Växjö där de har byggt något liknande. Växjö har använt "skräpig parkmark" för att gräva dammar som bara fylls vid skyfall. På andra ställen nämnde han att översilningsytor har använts där vatten förs över en sluttning där det finns gräs och annan växtlighet.

Som avslutning spekulerade vi i vad man skulle kunna utveckla för metoder för att hantera torka och översvämningar, baserat på Petras system. Rohdin tror det kan vara tekniskt möjligt att anlägga moderna bostadsområden inspirerat av Petras terrasssystem. Där tomterna ligger på en sluttning som terrasseras och varje terrass/tomt har en beräknad vatteninfiltrationsmängd. Under skyfall kan vattnet flöda genom systemet av terrasser innan det når dagvattenbrunnar. Varje terrass tar hand om och fördröjer en viss mängd vatten vilket gör att vattenflödet till dagvattenbrunnar saktas ner och det större dagvattensystemet får mer tid på sig att föra bort vattenmassorna. Ytterligare fördröjning kan skapas via underjordiska cisterner som också förvarar en viss mängd vatten för senare bruk. Han tror dock att det skulle juridisk vara svårt att konstruera ett sådant system. Vad som skulle krävas för att bygga ett sådant terrasssystem eller liknande kan vara en framtida studie.

9. Diskussion

Litteraturstudien har visat att Petra hade ett komplext och välutvecklat dagvattenhanteringssystem. Det är tydligt att nabatèerna var mästare på hydraulik. Deras historia visar hur de kunde bli så duktiga. Shqiarat (2019) skriver att det finns spår av dagvattensystemet så långt tillbaka som 1000–539 f.kr vilket innebär att teknologin som användes i Petra hade utvecklats under lång tid. Nabatèernas tidiga historia som nomader, beskrivet av Shqiarat (2019), och deras stora handelsnätverk som, enligt både Al-Nasarat (2019) och Shqiarat (2019) lät dem komma i kontakt med många civilisationer, möjliggjorde att de kunde samla, lära sig av och vidareutveckla kunskap från en variation av hydrologiska innovationer. Dagvattensystemet hade kapacitet för att förvara nog med regnvatten och kunde, på ett hållbart sätt, transportera vatten från källor för att möta invånarnas behov. Invånarna i Petra hade ett annat behov av vatten än vad svenskar har idag. Enligt Shqiarat (2019) använde nabatèerna bara ca 10 till 20 liter/person/dag till dricksvatten och andra behov (utöver jordbruk), vilket är i skarp kontrast till de 140 liter/person/dygn som svenskar använder (exklusive till jordbruk) (Svenskt vatten, 2021).

9.1. Likheter och skillnader i tekniska lösningar

Något förvånande är att finna hur lika komponenter och principer de två är uppbyggda av. Svensk stadsmiljö efterliknar Petras landskap på så sätt att det finns många hårda ytor. Likheterna mellan det nabateiska och det svenska systemet är att de använder rör, dammar, cisterner och kanaler. Gröna tak, översilningsytor, diken, våtmarker, svackdiken, sjöar och bäckar är däremot verktyg som inte användes i Petra. Här kan det vara värt att nämna att det exempel på dammbyggande, som tas upp i litteraturen om Petra, inte är byggt på ett sätt som passar det svenska landskapet. Enligt en dokumentär om Petra byggdes dammarna mellan klippsidor i kanjoner och ankrades in i klipporna (Documentary, 2015) Översilningsytor har en liknande funktion som nabateiska terrasser men skiljer sig i konstruktion.

Syftet med utformningen av dagvattenhanteringssystemen i Petra och Sverige är däremot olika. Petra hade brist på vatten och behövde därför förvara samt, på grund av risk för översvämningar när regnen föll, kontrollera dagvatten medans Sverige är ett vattenrikt land och därför främst behöver föra bort dagvatten från våra städer på ett kontrollerat sätt. Behovet av att kontrollera dagvatten är liknande

det i Petra även om vattnet inte behöver förvaras i Sverige på samma sätt som i Petra men med tanke på de mer frekventa torrperioderna och låga grundvattennivåer, som förespås av SMHI, så är det kanske dags att även Sveriges dagvattenstrategi inkluderar förvaltning av lokalt vatten.

Det nabateiska vattenhanteringssystemet fokuserade på lokal hantering och fördröjning, vilket Naess (2006) menar är något som blir allt viktigare i modern planering. Sättet som moderna konstruktörer designar slutna system och öppna system idag liknar det litteraturen beskriver om Petras system. Hagelin (2015) skriver att slutna system byggs med magasineringskärl, vilket får en liknande funktion som Petras cisterner och fördröjningsmagasin genom att minska flödet in i rörsystemet. Komponenterna i öppna system, skriver Ludzia, Larsson och Aguayo (2004), använder en variation av naturliga och tekniska lösningar som dammar, genomsläppliga beläggningar, gröna tak, gräsytor, våtmarker, svackdiken, kanaler, diken, sjöar, bäckar och översilningsytor, för att skapa fördröjningssystem i flera steg. Detta påminner om hur nabatèerna skapade sätt att kontrollera flödes hastigheten i uppsamlingsområden. Terrängens utformning är viktig för hur dagvattensystem anläggs enligt Rhodin. På grund av att Petra låg vid bergskedjan Sharā hade invånarna möjlighet att jobba med tillräckligt fall på alla delar av sitt system så att de kunde räkna med bara tyngdlagen för att leverera sitt vatten. Denna möjlighet finns inte i alla svenska städer. I Jönköping exempelvis, försöker de förlita sig på tyngdlagen så långt det går, säger Rohdin men i gamla låglänta områden nära sjöar krävs ibland stora pumpstationer, då ytan på sjön bestämmer höjd på frifall. Om möjligt så anpassas de äldre systemen i gamla områden med ex dagvattendammar som fördröjer och renar vattnet. Nya områden har oftast någon form av central damm. Petras bergiga, sluttande terräng gjorde också att de behövde bygga terrasser för att skapa jord som var stabil och djup nog att odla på men i Sverige har vi ett plattare landskap på många platser med bördig jord där vi kan odla.

Litteraturen kring modern dagvattenhantering tog ofta upp problem med föroreningar från, bland annat, hårdjorda ytor och spillvatten medan litteraturen om Petra nämnde väldigt lite om föroreningar i dagvatten. Föroreningar från hushåll tas inte upp alls. Det kan spekuleras att det på den tiden inte producerades lika mycket avfall från hemmet, så det var inte ett problem. Vatten användes förmodligen inte heller för att ta hand om avfall och Al-Farajat (2010) hävdar att vattenkvaliteten i källorna var god. Viss rening behövdes ändå i Petra för att ta bort sediment i dagvattnet som, bland annat, skulle drickas. Dagvattnet renades från sediment i Petra med hjälp av terrasser och/eller murar som samlade in det. Sedimenteringen var något positivt för nabatèerna då det användes för att skapa fält där de kunde odla (Beckers B et al. 2013). Användandet av växter för att reglera och rena vatten, så som ses i moderna dammar och våtmarker, verkar inte

ha använts av nabatèerna, troligen eftersom vattenkvalitén i Petra redan var god och sediment var den enda typen av förorening som förekom. Petras vattensystem fokuserade på att ge vatten till växter, både för odling och nöje.

Rör riskerar att förstöras av högt tryck i båda systemen. I Petra var de noga med lutningen på röret, precis som idag, och använde öppna kanaler på strategiska punkter i systemet för att lätta på trycket. Däremot, i modern dagvattenhantering används backventiler och bräddavlopp. Nya system kombinerar ibland öppna och stängda system, vilket blir lika som att Petras system var uppdelat i flera steg.

Moderna system har möjligheter som inte användes i Petra. Det svenska landskapets naturliga magasineringsförmåga är högre än i Petra. Det svenska landskapet magasinerar vatten i mark, våtmark, sjöar och vattendrag. Petras bergiga terräng och varma klimat innebar att de inte hade tillgång till sjöar och våtmarker, som svenska planerare använder sig av, men intervjun med Rohdin visar att de kunde bli bättre på att använda dessa resurser.

9.2. Olika attityder till vattenhantering

Litteraturen visar att nabatèernas respekt för vatten var stor och uppenbar i alla delar av deras samhälle. Det extrema klimatet och den bergiga terrängen samt att de var beroende av raviner för transport och odling, som ofta översvämmades, är en trolig anledning till att vatten dyrkades i staden, i hemmet och på heliga platser. Utifrån vad Shqiarat (2008) och Mays (2019) skriver om hur dyrkan tillsammans med hur noggranna de var med insamlande av dagvatten kan det spekuleras i att varje hushåll var delaktigt i vatteninsamlingen. Detta skapar en tydlig kontrast av svenskarnas attityder till dagvatten som Rohdin berättade om, hur majoriteten av allmänheten idag inte har en åsikt om dagvatten, hur dagvatten har varit något att gömma, ett problem och hur det inte är en prioritering för många av de som påverkar planeringen. Svenskar har inte behövt bry sig mycket om dagvatten då vi har mycket vatten men med mer extrema torrperioder och översvämningar i framtiden kan det behöva ske en skiftning i hur vi förhåller oss till dagvatten. Litteraturen och intervjun visar båda att kommunikationen mellan olika aktörer behöver förbättras i Sverige, byråkratin förenklas och normer tydligare. Samordningen i Petra verkar också ha varit komplex, precis som idag, baserat på vad Plekhov (2021) funnit. Med formella och informella organisationer, privatpersoner, lokala aktörer och någon form av central auktoritet som alla hade makt över systemet. Skillnaden, som kan ha påverkat samarbetet, kan ha varit i just de observerade olika attityderna till dagvattenhantering. Utifrån hur utförligt nabbatèerna modifierade landskapet kring Petra, det stora antalet hydrologiska objekt i området och hur de hydrologiska objekten integrerade på ett

organiskt sätt och samspelade med den naturliga miljön verkar nabatéerna ha behandlat dagvattenhantering som en landskapsarkitektonisk fråga. I Petra var dagvatten en resurs som var en väsentlig del i nabatéernas landskapsplanering. Moderna system, däremot, behandlar dagvatten som ett problem som göms undan. Det framgår i texten skriven av Cettner et al (2012) att motståndet till öppna system i modern planering ligger i hur många olika discipliner som måste involveras för att bygga dem jämfört med ett mer traditionellt dagvattensystem. Byggandet av moderna dagvattenhanteringssystem skulle underlättas av större kunskap om hur viktig dagvattenhantering är, vilket kan leda till att dagvatten tillåts ta mer plats än det gör idag. Dagvatten behöver få en större roll i samhället med tydliga strategier för att hantera både översvämningar och torka så Sverige kan vara rustat för de högre temperaturer som Stensen et al(2019), i en rapport från SMHI, förutspår .

Nabatéerna förstod behovet av att anpassa användning efter tillgänglighet, vilket kan ses i att systemet prioriterade odling när vattnet var begränsat och hur vattenhanteringssystemen konstruerades för att skapa en balans mellan förvaringskapacitet och ett kontinuerligt flöde, så att det räckte året runt (Ortloff C. 2005).

10. Slutsatser

Resultatet av litteraturstudien visar att invånarna av staden ändrade hela området runt Petra för att kontrollera vatten och säkra sin vattentillgång. Nabatéerna säkrade sitt behov av vatten under torrperioder genom förvaring i cisterner, dammar och infiltration i terrasser. Vattnets flöde styrdes med hjälp av rör, öppna kanaler och murar. Dagvatten var en landskapsarkitektonisk fråga. Deras vattenhanteringssystem var recilianta på grund av antalet anpassningar de gjorde till landskapet som kunde fördröja och förvara vattnet. Eftersom hela dagvattenhanteringssystemet var uppbyggt av mindre system kopplade från olika källor och avrinningsområden så kunde delar av systemet fortsätta att fungera trots att andra delar kollapsade. Med tanke på hur länge området har bebotts växte vattenhanteringssystemet förmodligen fram naturligt under lång tid, allt eftersom behoven ökade. Medborgare hade stor respekt för vatten och var förmodligen involverade i systemets konstruktion, vilket gjorde att kapacitet, placering och utsträckning av systemet anpassas efter behov.

Behovet av vatten var mycket mindre så ett nabatienskt system hade inte kunnat tillgodose vattenbehovet för en svensk stad av samma befolkningsmängd som Petra med samma förutsättningar som den staden existerade i. Däremot så är tillgången på vatten högre i Sverige, så ett system som bygger på nabateiska principer, som att fördröja dagvattnet i långa steg, kan spekuleras vara ett sätt att bemöta problematiken med torka och översvämningar i framtiden.

Ett förvånande resultat av den här undersökningen är att modern dagvattenhantering kan förbättras genom att dagvatten får ta en viktigare roll i planeringsprocessen. Rutiner, ansvarsfördelning och lagar kring dagvatten bör förbättras. Allmänheten behöver informeras och dagvatten lyftas fram som en resurs, inte bara ett problem. Genom ett tydligare och mer lättnavigerad juridiskt system kan dagvatten i svenska städer gå från att vara ett problem till att vara en resurs. Strategier för dagvatten bör inkludera hur vi ska motarbeta konsekvenserna av torrperioder och hur vi ska bygga våra system så att de kan säkra vattentillgången. Modern dagvattenhantering håller på att förändras till en landskapsarkitektonisk fråga där öppen, lokal dagvattenhantering med inbyggd fördröjning används. Det moderna sättet att ta hand om dagvatten blir allt mer likt det nabateiska men moderna konstruktörer har tillgång till fler verktyg såsom våtmarker, gröna tak och gräsytor för infiltration. Tekniska lösningar som nabatéerna använde, vilket moderna planerare skulle kunna använda sig av, är terrasser. Landskapet i Sverige behöver inte terrasseras för att skapa åkermark men i delar av landet, där det finns mer kullar och berg, så skulle terrasser kunna

användas för att fördröja vattnet på ytan innan det rinner ner i dagvattenbrunnar. Hur mycket lutning som behövs för att skapa ett fungerande terrasssystem har inte gått att finna i litteraturen men Figur 6 visar en lutning som ser ut att vara ganska liten så det är möjligt att även små variationer i höjd på landskapet möjliggör byggandet av användbara terrasser.

11. Framtida forskning

Framtida studier kan utforska möjligheten att använda terrassering för att fördröja vatten. Det kan även vara intressant att fortsätta att undersöka hur forntida civilisationer skötte dagvattenhantering. Platser av intresse kan vara Teotihuacan (Mexiko), Rom under romarriket (Italien) och Machu Picchu (Peru) eftersom de tillhör civilisationer som hade välutvecklade dagvattenhanteringssystem innan modern tid.

12. Referenser

- Abdelal Q, Al-Rawabdeh A, Al Qudah K. Hamarneh C, Abu-Jaber N (2021). *Hydrological assessment and management implications for the ancient Nabataean flood control system in Petra, Jordan*. *Journal of Hydrology*, 601
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0022169421006302?token=98D57CB75120BC247BBD739C9D70773720CB168E4ADCC4D69A72132DD01F33B4FF864914273A906524CF5C1E43D1877E&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220210094746> [2020-01-24]
- Al-Farajat M och Salameh E (2010). *Vulnerability of the drinking water resources of the Nabataean of Petra Jordan*. *Journal of Civil engineer*, 4.
https://www.researchgate.net/publication/259177727_Vulnerability_of_the_drinking_water_resources_of_the_Nabataean_of_Petra
- Al-Nasarat M (2018). *From Paganism to Christianity. General Remarks on the Religious Changes in Petra 1st–6th Cent. AD*. *Studia Ceranea*, 8,
<https://doi.org/10.18778/2084-140X.08.12>.
- Al-Nasarat M (2019). *Petra, taxes and trade reconsidered in the light of the Petra Church archiv*. *Palestine Exploration Quarterly* 151(1) Volume 151, 2019 - Issue 1 doi:org/10.1080/00310328.2019.1569459
- Al Qudah K, Abdelal Q, Hamarneh C, Abu-Jaber N (2016). *Taming the torrents: The hydrological impacts of ancient terracing practices in Jordan*. *Journal of Hydrology* 542 913-922
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.09.061>
- 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* 19(2), 2015-02-04, Vol.19 (2), p.771-784.
https://primo.slu.se/discovery/fulldisplay?docid=cdi_proquest_miscellaneous_1660407747&context=PC&vid=46SLUB_INST:SLUB_V1&lang=sv&search_scope=MyInst_and_CI&adaptor=Primo%20Central&tab=Everything&query=any,contains,flood*%20and%20sweden&pfilter=rtype,exact,articles&offset=0
- Avloppscenter (u.å). BDT- Grävattenavlopp <https://www.avloppscenter.se/vara-produkter/bdt-och-gravattensystem-utan-wckl/> [2022-02-14]
- Beckers B, Schütt B, Tsukamoto S, Frechen M (2013). *Age determination of Petra's engineered landscape – optically stimulated luminescence (OSL) and radiocarbon ages of runoff terrace systems in the Eastern Highlands of Jordan*. *Journal of Archaeological Science*, 40(1) 333-348
<https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.06.041>.
- Bedal (2002) *Desert Oasis: Water Consumption and Display in the Nabataean Capital, Near Eastern Archaeology* 65(4) 225 The University of Chicago press journals. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.2307/3210851>

- Berenfeld M, Dufton A & Rojas F (2016) Green Petra: archaeological explorations in the city's northern wadis *The Journal of the Council for British Research in the Levant*, 48(1)
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00758914.2015.1107299>
- Blecken G. (2016) Kunskapssammanställning Dagvattenrening Svenskt Vatten AB svu-rapport_2016-05.pdf (svensktvatten.se)
- Bohman A, Glaas E, Karlson M (2020). "Integrating Sustainable Stormwater Management in Urban Planning: Ways Forward towards Institutional Change and Collaborative Action" *Water* 12, no. 1: 203.
<https://doi.org/10.3390/w12010203> Water | Free Full-Text | Integrating Sustainable Stormwater Management in Urban Planning: Ways Forward towards Institutional Change and Collaborative Action | HTML (mdpi.com)
- Boverket (2010). *Mångfunktionella ytor- Klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö i städer och tätorter genom grönstruktur*. Karlskrona: Boverket. <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2010/mangfunktionellaytor.pdf>
- Boverket, 2010. *Mångfunktionella ytor – Klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö i städer och tätorter genom grönstruktur*. Boverket
 Mångfunktionella ytor Klimatanpassning av befintlig bebyggd miljö i städer och tätorter genom grönstruktur (boverket.se)
- Cettner A, Söderholm_K, & Viklander M, (2012) *An Adaptive Stormwater Swedish Urban Water System*. *Journal of Urban Technology*, (13/8)
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10630732.2012.673058>.
- Dhakal K & Chevalierb L (2017). *Managing urban stormwater for urban sustainability: Barriers and policy solutions for green infrastructure application*. *Journal of Environmental Management*, 203(1) 171-181
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717307478>.
- Documentary (2015) Petra Documentary: *Lost City Of Stone*. [Video]
https://www.youtube.com/watch?v=6xQaEZbVras&ab_channel=DocumentaryHD) [2022-03-02]
- Encyclopedia Britannica. (2019) baetylus *Encyclopedia Britannica*, Encyclopaedia Britannica <https://www.britannica.com/topic/baetylus> [2020-02-24]
- Falköping kommun (2021). *Dagvattenplanen Delplan i VA-plan för Falköpings kommun som erbjuder vägledning för en hållbar dagvattenhantering*. KS 2018/00162. Falköping: kommunfullmäktige <https://www.falkoping.se/download/18.1adde54a17861a73b1e11b78/1626688606768/Dagvattenplan%20f%C3%B6r%20Falk%C3%B6pings%20kommun.pdf>
- Farajat M, Salameh E.(2010). Vulnerability of the drinking water resources of the Nabataean of Petra Jordan. *Journal of Civil engineer*, 4
https://www.researchgate.net/publication/259177727_Vulnerability_of_the_drinking_water_resources_of_the_Nabataean_of_Petra
- Franchi R, Savelli D, Colosi F, Drapp P, Gabrielli R, Moretti E, Peloso D. (2009). *Petra and Beida (Jordan): two adjacent archaeological sites up to*

- an exploitation of geomorphology-related topics for a cultural and touristic development Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, 16 LXXXVII (2009), pp. 77-90 figg. 16
<https://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00007100/7125-memdes-87-franchi.pdf>
- Göteborgs stad.(2010). *Dagvatten och skyfall - så här gör vi!* Göteborg:Göteborgs Stads kontaktcenter.
<https://goteborg.se/wps/portal/start/vatten-och-avlopp/dagvatten/dagvatten-och-skyfall-sa-har-gor-vi-> [2022-02-27]
- Hagelin R.(2015). *Fördröjning av dagvatten*. Examensarbete inom anläggningar för infrastruktur. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:859255/FULLTEXT01.pdf>
- Jordbruksverket. (2018). *Jordbrukets behov av vattenförsörjning* Rapport 2018:18
https://www2.jordbruksverket.se/download/18.6c309e13163f38127225024/1528806838383/ra18_18v2.pdf
- Knodell A, Alcock S, Tuttle C, Cloke C, Erickson-Gini T, Feldman C, Rollefson G, Sinibaldi M, Urban T & Vella C. (2017) *The Brown University Petra archaeological project: landscape archaeology in the northern hinterland of Petra; Jordan*. American Journal of archaeology Volume 121 number 4 Volume 621-83
https://www.ajaonline.org/sites/default/files/1214_Knodell_0.pdf
- Kondolf, G.M, Farahani, A. (2018). *Sustainably Managing Reservoir Storage: Ancient Roots of a Modern Challenge*. Water 10, 117.
<https://doi.org/10.3390/w10020117> <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/2/117#cite>
- Kouki, P. & Lavento, M.(2013). *Petra — The Mountain of Aaron. Volume III: The Archaeological Survey*. Helsinki: Societas Scientiarum Fennica.
https://www.researchgate.net/profile/Esa-Hertell/publication/337910734_Chapter_5_Lithics_Petra_-_The_Mountain_of_Aaron_The_Finnish_Archaeological_Project_in_Jordan_Volume_III_The_Archaeological_Survey/links/5df25558a6fdcc28371cfd9b/Chapter-5-Lithics-Petra-The-Mountain-of-Aaron-The-Finnish-Archaeological-Project-in-Jordan-Volume-III-The-Archaeological-Survey.pdf
- Ludzia A, Larsson R, Aguayo S (2004). Uvärdering av dagvattensystemets hållbarhet i Augustenborg, Malmö Evaluation of a sustainable urban drainage system in Augustenborg, Malmö. *Journal of Water Management and Research* 70 Lund Utvärdering av dagvattensystemets hållbarhet i Augustenborg, Malmö - PDF Free Download (dokodoc.com)
- Mays, L (2019). *Ancient Water Technologies*. Springer Nature. Switzerland. (<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-90-481-8632-7.pdf>)
- Naess, P (2006). *Urban Structure Matters: Residential Location, Car Dependence and Travel*. Routledge.

- https://books.google.se/books?id=6EZ_AgAAQBAJ&pg=PA252&lpg=PA252&dq=greywater+management+systems+Swedish+cities&source=bl&ots=dtOWtyIXx0&sig=ACfU3U3Na3Jl-ACDcmu_GQEbVAAEFHLqfQ&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwicnquU6-P1AhWVz4sKHcJ8CccQ6AF6BAGSEAM#v=snippet&q=storm&f=false.
- Nationalencyklopedin(NE)(2022)*Hydrologi*
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/hydrologi>
 [2022-02-24]
- Nationalencyklopedin(NE)(2022)*Papyrus*
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/papyrus> [2022-02-24]
- Nationalencyklopedin(NE)(2022)*Kanjon*
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/kanjon> [2022-02-24]
- Nationalencyklopedin(NE)(2022)*Servisledning*
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/servisledning> [2022-03-23]
- Nationalencyklopedin(NE)(2022)*Skyfall*
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/skyfall> [2022-02-24]
- Nationalencyklopedin(NE)(2022)*Vattenmagasin*
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/vattenmagasin> [2022-02-24]
- Nationalencyklopedin(NE)(2022)*Wadi*
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/wadi>
 [2022-02-24]
- Nationalencyklopedin(NE) (2022)*Recipient*
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/recipient>
 [2022-02-24]
- Naturvårdsverket (2021). *Dagvattenhantering i befintlig bebyggelse*.
<https://www.sverigesmiljomal.se/etappmålen/dagvattenhantering-i-befintlig> [2022-03-01]
- Nicholaus D. Vanwoert, D. Bradley Rowe, Jeffery A. Andresen, Clayton L. Rugh, R. Thomas Fernandez, (2005) *Green Roof Stormwater Retention*.
 Journal of Environmental Quality 34(3)
<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/jeq2004.0364>
- Ortloff C (2005). *The Water Supply and Distribution System of the Nabataean City of Petra (Jordan), 300 BC– AD 300*. Förlagsort Cambridge Förlag Cambridge University Press
<https://www.cambridge.org/core/journals/cambridge-archaeological-journal/article/water-supply-and-distribution-system-of-the-nabataean-city-of-petra-jordan-300-bc-ad-300/96C92EBE64E36A3DEB7574786AEB36FE>

- Ortloff C (2008). *Hydraulic Engineering in Petra*. Academia
https://www.academia.edu/24669192/Hydraulic_Engineering_in_Petra
- Plekhev D (2021). *The social dimensions of water management at Petra, Jordan: The Journal of the Council for British Research in the Levant*. 52(3) 321-336 <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00758914.2021.1879491?scroll=top&needAccess=true> .
- Qiao X-L, Liu L, Kristoffersson A & Randrup (2019). *Governance factors of sustainable stormwater management: A study of case cities in China and Sweden* <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31362172/>
- Ramsay J & Bedal L-A (2015). *Garden variety seeds? Botanical remains from the Petra Garden and Pool Complex*. Springer
<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00334-015-0520-4>
- Roger Rohdin, Avdelningschef på Tekniska kontoret VA-avdelning, Jönköpings, Intervju [2022-03-01]
- Shqiarat M (2008). *The Archaeology of Water Control in the Nabataean and Roman-Byzantine Periods in Jordan: Overview and Case Studies from Key Sites*. In book: *Cura Aquarum in Jordanien (pp.21-45)* Siegburg Chapter: 1 Editors: Ch. Ohlig (ed
https://www.researchgate.net/publication/315477582_The_Archaeology_of_Water_Control_in_the_Nabataean_and_Roman-Byzantine_Periods_in_Jordan_Overview_and_Case_Studies_from_Key_Sites
- Shqiarat M.(2019). *Water Management in Petra, Greece: An Overview of Nabataean Hydraulics 2 (2)*. Medwin Publisher.
https://www.researchgate.net/profile/Mansour-Shqiarat/publication/337902128_Water_Management_in_Petra_Greece_An_Overview_of_Nabataean_Hydraulics_Anthropol_Ethnol_Open_Access_Journals/5df1698ca6fdcc28371a2ef1/Water-Management-in-Petra-Greece-An-Overview-of-Nabataean-Hydraulics-Anthropol-Ethnol-Open-Acc-J.pdf
- SMHI (2021) *2021 - Sommaröversvämningar i östra Götaland och Svealand* <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/historiska-oversvamningar/2021-sommaroversvamningar-i-ostra-gotaland-och-svealand-1.175796>
- Stensen K, Krunegård A, Rasmusson K, Matti B, Hjerdt N(2019.) *Sveriges vattentillgång utifrån perspektivet vattenbrist och torka: – Delrapport 1 i regeringsuppdrag om åtgärder för att motverka vattenbrist i ytvattentäcker*. Hydrologi, ISSN 0283-7722.Diva. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1356718&dswid=1807>
- Stockholms Stad. (2015). *Dagvattenstrategi Stockholms väg till en hållbar dagvattenhantering*. Stockholm. Stockholms. kommunfullmäktige.
<https://miljobarometern.stockholm.se/klimat/klimatanpassning/hallbar-dagvattenhantering/>
- Svenskt Vatten(2016). *Avledning av dag - drän - och spillvatten*. http://vav.griffel.net/filer/P110_del1_web_low_180320.pdf

- Svenskt Vatten(2022). *Dricksvattenfakta*. [https://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/dricksvattenfakta/\[2022-02-03\]](https://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/dricksvattenfakta/[2022-02-03])
- Teutonico J(2002). *Management Planning for Archaeological Sites: An International Workshop* Getty Conservation Institute Loyola Marymoun University
https://books.google.se/books?hl=en&lr=&id=1NkxCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA98&dq=petra,+jordan+water+management&ots=NRGePtF_iu&sig=ISjeyXZi-CAwiUSgFrkN-ZqFCD4&redir_esc=y#v=onepage&q=petra&f=false
- Va-guiden (u.å). Svackdiken
<https://vaguiden.se/dagvatten/anlaggningswiki/svackdike/>
- Vimmerby kommun (2020). *Dagvattenstrategi Bilaga 2 till VA-plan. Vimmerby kommun: Stadshuset*
<https://www.vimmerby.se/download/18.38399fa21768410c03af1ab2/1610864850675/VA-plan%20Del%203%20Planering%20f%C3%B6r%20vatten>
- Vänersborg(u.å). Dagvatten och dräneringsvatten
<https://www.vanersborg.se/bygga-bo--miljo/kretslopp--vatten/vattentjanster/avloppsvatten/dagvatten-och-draneringsvatten.html>
- Örebro kommun (2005). *Dagvattenstrategi för Örebro kommun. (2002-736)*. Örebro kommun
<https://www.orebro.se/download/18.1d8f9a39155628f738416746/1467966299465/Dagvattenstrategi+f%C3%B6r+%C3%96rebro+kommun.pdf>

Figurförteckning

Figur 1. Petra Treasury (Argenberg) (CC BY NC ND 2.0) https://wordpress.org/openverse/image/1a278992-f2db-4d7f-811a-8c939a14a330	8
Figur 2. Visar platser som Mays (2019) hävdar var del av det nabatéenska imperiet samt visar var Petra och Beidha ligger [Kartografiskt material] (Emelie Jonsson, 2020) Bass lager: Imagery ©2020 TerraMetrics, Map data ©2020 8CHV+9P Uum Sayhoun, Jordan, Satelite.....	17
Figur 3 Petra. Längst med kanjonens sidor är en kanal för vatten. (Chris Yunker) (CC BY 2.0).....	19
Figur 4 Gravkammare och bysantinsk kyrka i Petra (Empretec pictures from around the world) (CC BY ND 2.0). https://wordpress.org/openverse/image/0da2b35d-54bf-4f83-af0b-fe526a9ce490/	20
Figur 5 Karta över petra [Kartografiskt material] (Emelie Jonsson, 2020) Bass karta: Bilder ©2020 CNES / Aribus, Landsat / Copernicus, Maxar Technologies, U.S. Geological Survey, Kartdata ©2020.....	22
Figur 6 Nabateisk damm (Gauis Caecilius) (CC BY NC ND 2.0) https://wordpress.org/openverse/image/9787b525-6980-4bdb-aa38-4f340f6f88d3/	23
Figur 7 Terrasser för odling och vattenfördröjning (Allison Mickel) (CC BY NC ND 2.0) https://wordpress.org/openverse/image/0c15ecfa-ab73-4409-ad3a-0d714380c352/	25
Figur 8 Nabatéenskt rör (Emelie Jonsson, 2020).....	28