



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 21034

Examensarbete 30 hp
Juni 2021

Möjligheter för regnvatteninsamling i industri

Fallstudie på Sandvik AB:s industriområde
i Sandviken

Tove Engvall

REFERAT

Möjligheter för regnvatteninsamling i industri – Fallstudie på Sandvik AB:s industriområde i Sandviken

Tove Engvall

Regnvatteninsamling för olika syften är väl utbredd världen över och har blivit allt mer populärt i takt med ett förändrat klimat. Idag används regnvatten på många håll till hushållsanvändning men intresset har även ökat inom industrisektorn. Syftet med examensarbetet var att undersöka möjligheterna för att samla in och lagra regnvatten samt ersätta dricksvatten i Sandvik AB:s kylsystem. Detta genomfördes dels genom att undersöka vilka tillstånd som krävs för att samla in regnvatten, dels genom att föreslå en magasinutformning, storlek samt lokalisering av denna utifrån flödesberäkningar och dels genom att undersöka hur temperaturen förändras hos regnvatten i ett magasin för att bedöma dess funktion som kylvatten. I studien har först flödesberäkningar med avseende på effektivitet (hur mycket regnvatten som kan ersätta dricksvatten) simulerats för en nederbördsfattig, nederbördsrik respektive genomsnittlig tidsperiod. Därefter konstruerades två modeller i HYDRUS-1D, vilka representerade regnvattenmagasin med omgivande jord vid en lodrätt och en horisontell värmetransport. Enligt studien bedöms verksamheten idag ha alla tillstånd som krävs och behöver inte några ytterligare tillstånd. Valet av magasin blev ett avsättningsmagasin under mark med hänsyn till lokala förutsättningar. Hela anläggningen kan maximalt nå en effektivitet på 44 % under ett nederbördsrikt år med dagens totala förbrukningsdata för dricksvatten i kylsystemet samt totala takytan. Jämförelsen mellan olika lokaliseringar inom anläggningen ledde till att Stålverk 64 föreslogs samt presenterades närmare och utifrån dess effektivitet valdes magasinstorleken 1500 m³ för de 30 000 m² som Stålverk 64 har i takyta. Effektiviteten för Stålverk 64 blev under ett nederbördsrikt år 77 %, ett genomsnittligt år 64 % och under ett nederbördsfattigt år 54 %. Värmesimuleringarna visade på att det är ytterst få dygn om året som regnvatten som lagras i ett avsättningsmagasin riskerar att vara för varmt för att användas som kylvatten. Slutsatsen är att Sandvik AB har goda möjligheter att samla in regnvatten för att ersätta dricksvatten i kylsystemet men behöver utveckla större lagringsmöjligheter för att uppnå en ännu högre effektivitet.

Nyckelord: Regnvatteninsamling inom industri, dagvattenmagasin, nederbörd, temperaturflöden i mark, kylsystem, kylvatten, vattenkvalitet, värmetransport

Institutionen för geovetenskaper, Uppsala Universitet, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala

ABSTRACT

Opportunities for rainwater harvesting within industry - A case study of Sandvik AB:s site in Sandviken

Tove Engvall

Rainwater harvesting is used for different purposes all over the world and has increased in popularity in line with climate change. Rainwater is today widely used for households, but interest has also increased within the industrial sector. The aim with this thesis was to investigate rainwater harvesting as a substitute for the use of drinking water in Sandvik's cooling system. This was examined by investigating legislation concerning rainwater harvesting, different designs and sizes of storage systems and locations that would be suitable for storing rainwater. Also, temperature changes in a rainwater storage system were examined to estimate rainwater's use for cooling. Firstly, calculations of water flow were simulated with respect to efficiency (how much rainwater that can substitute for drinking water) for three periods with different amounts of precipitation. Secondly, two models were implemented in HYDRUS-1D to represent a storage system for rainwater with surrounding soil with a vertical and horizontal heat transport. The results indicate that the industry has required permits for rainwater harvesting. Taking local conditions into account, an underground storage was chosen to store the rainwater. The entire facility can have a maximum efficiency of 44 % during a year with a high amount of precipitation with the total roof area and today's consumption of drinking water in the cooling system. A comparison between different locations within the facility resulted in a more specific presentation of Stålverk 64 with respect to its efficiency; 1500 m³ was proposed as the storage size for the roof area of 30 000 m². The efficiency for Stålverk 64 varied between 54-77 % for years with different amounts of precipitation. Simulated heat transport demonstrated that the risk for excessive water temperatures in an underground storage was low and with elevated temperatures occurring only a couple of days per year. The conclusion is that Sandvik AB has good opportunities for rainwater harvesting to substitute drinking water in the cooling system but need to develop higher capabilities for storage systems to achieve higher efficiency.

Keywords: Rainwater harvesting within industry, stormwater reservoir, precipitation, temperature flow, cooling system, cooling water, water quality, heat transport

Department of Earth Sciences, Uppsala University, Villavägen 16, SE-752 36 Uppsala, Sweden

FÖRORD

Detta examensarbete omfattande 30 högskolepoäng avslutar mina fem års studier på Civilingenjörsprogrammet i Miljö- och Vattenteknik vid Uppsala Universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet. Projektet genomfördes i samarbete med Sandvik AB under vårterminen 2021 med Susanne Lindqvist som handledare. Vid institutionen för geovetenskaper har Roger Herbert varit ämnesgranskare och Erik Sahlée har varit examinator.

Stort tack till min handledare Susanne Lindqvist och andra medarbetare på Sandvik som varit till hjälp under det lärorika arbetet; Mats W Lundberg, Magnus Magnusson, Katarina Johansson, Haidi Bergqvist, Tord Hedman och Per Falck. Jag har lärt mig otroligt mycket under den här perioden och jag är tacksam för ert engagemang. Även tack till min ämnesgranskare Roger Herbert som fungerat som bollplank och stöd under arbetets gång. Jag vill också tacka Lars-Gunnar Sjölund vid mark- och miljödomstolen i Östersund för hjälp angående lagstiftning. Tack till alla mina nära och kära som gett mig stöd under hela studietiden, alla nya vänskaper är jag också evigt tacksam för. Till sist vill jag rikta ett stort tack till min sambo Henrik och till min vän Moa som funnits där varje dag och peppat mig under hela studietiden.

Tove Engvall,
Uppsala 2021

Copyright © Tove Engvall och Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten- och landskapslära, Uppsala universitet.

UPTEC W 21034, ISSN 1401–5765

Digitalt publicerad i DiVA, 2021, genom institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet. (<http://www.diva-portal.org/>)

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

I samband med klimatförändringarna ökar risken för torka och översvämningar. Vattenanvändningen har under den senaste tiden kommit allt mer på tal med tanke på de senaste årens vattenbrist. Vatten är en viktig resurs som vi inte bör använda i onödan, speciellt inte dricksvatten som krävt energi för att bli tillräckligt rent. Därför har regnvatteninsamling diskuterats för att ersätta användningen av dricksvatten. I Sverige finns idag ett fåtal byggnader som använder regnvatten till toalettspolning men det planeras för allt fler. I enskilda hushåll är det vanligare med regnvatten vid bevattning, många använder regntunnor vid stuprör för att samla upp regnvatten och sedan vattna trädgården. Stora volymer av dricksvatten går också åt i industrier, vilket gör det till ett väl tillämpligt område för regnvatteninsamling.

På industriområdet i Sandviken där Sandvik AB bedriver stålindustri har problem identifierats med för mycket och för lite vatten i framtiden. Idag sker återkommande översvämningar på industriområdet på grund av för mycket regn jämfört med vad dagvattennätet klarar av. Dessutom finns problem med den kyldamm som används för att cirkulera vatten i kylsystemet. Under sommaren blir vattnet i kyldammen för varmt vilket gör att verksamheten antingen måste använda större volymer vatten från kyldammen, eller byta ut vattnet mot dricksvatten istället. Därför har denna studie undersökt möjligheten att samla in regnvatten med hänsyn till lagstiftning kring dagvatten och studien har givit förslag på utformning, storlek och lokalisering av magasin. Insamling av regnvatten innebär att regnvatten samlas upp från takytor och leds ned till ett magasin, där det lagras och sedan förs vidare ut i verksamhetens kylsystem vid behov. För att få en aning kring huruvida regnvattnet kan fungera som kylvatten eller inte med hänsyn till temperatur, undersöktes också hur temperaturen hos regnvatten förändras i en lagring.

För hela anläggningen är effektiviteten, andelen regnvatten som kan ersätta dricksvatten, i genomsnitt 44 % under ett nederbördsrikt år när alla takytor och all dricksvattenförbrukning i industriprocesser använts i simuleringarna. Stålverk 64 blev den industriprocess som presenterades närmare och föreslogs som lokalisering, där ett så kallat avsättningsmagasin med en storlek av 1500 m³ föreslogs till en kostnad på minst 11 miljoner kr. Effektiviteten för Stålverk 64 med takytan 30 000 m² varierade mellan 54-77 % beroende på tidsperiod. Temperaturförändringarna hos regnvatten i ett magasin visade på att ett extremt varmt sommarväder ger för hög temperatur för att vattnet ska

kunna användas till kylning, men det visade sig också att dessa varma dygn enbart sker några få gånger per år och enbart vid flera varma dygn i rad. Därmed är risken liten för att regnvatten inte ska kunna användas som kylvatten.

Lagstiftning, utformning och kostnader bedömdes utifrån litteraturstudien. Effektiviteten beräknades med hjälp av nederbörds- och lufttemperaturdata och en massbalans för hela anläggningen samt för specifika industriprocesser under en nederbördsfattig, genomsnittlig och nederbördsrik tidsperiod. Värmesimuleringen genomfördes i två olika fall för lodrät värmetransport från regnvatten till sin omgivning och horisontell värmetransport från regnvatten till sin omgivning med temperaturer från ett extremt varmt sommarygn.

Med hjälp av det här resultat ges en fingervisning kring hur ett förslag på regnvatteninsamling skulle kunna fungera hos Sandvik AB och vilken effektivitet det skulle utgöra med hänsyn till att byta ut dricksvatten mot regnvatten i kylprocessen. Resultatet visar att potentialen för att samla in regnvatten är god, både med hänsyn till kvalitet, temperatur och lagringsmöjligheter. För att höja effektiviteten ytterligare med hänsyn till att byta ut dricksvatten krävs dock ännu fler lagringsmöjligheter. I framtiden kommer regnvatten kunna fördröjas vid stora regnvattenmängder och lagras vid färre regntillfällen vilket gör att verksamheten inte behöver använda dricksvatten i lika hög grad och dessutom minskar riskerna angående för lite och för mycket vatten i framtiden.

Innehåll

1	INLEDNING	1
1.1	SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR.....	2
1.2	AVGRÄNSNINGAR.....	2
2	TEORI	3
2.1	REGNVATTENINSAMLING.....	3
2.1.1	System för insamling och lagring.....	3
2.1.2	Kvalitet på regnvatten.....	6
2.1.3	Tidigare studier om regnvattnets potential i kylsystem och regnvattnets funktion för att minska översvämningsrisker.....	7
2.2	TEMPERATURFLÖDEN I MARK OCH VATTEN.....	8
2.3	LAGSTIFTNING KRING VATTEN.....	9
2.3.1	Lagstiftning.....	9
2.3.2	Myndigheter med ansvar för vattenfrågor.....	10
2.3.3	Definition av dagvatten.....	10
3	FALLSTUDIE SANDVIK.....	11
3.1	VERKSAMHETEN.....	11
3.2	OMRÅDESBESKRIVNING.....	11
3.2.1	Geografi.....	11
3.2.2	Mark- och vattenförhållanden.....	12
3.2.3	Industriområdet.....	13
3.3	INDUSTRISYSTEM.....	13
3.3.1	Ledningsnät och reningsverk.....	13
3.3.2	Kylvattnets temperatur, kvalitet och rening.....	14
3.4	FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR REGNVATTENINSAMLING OCH LAGRING.....	15
4	METOD	17
4.1	LITTERATURSTUDIE.....	17
4.2	TILLVÄGAGÅNGSSÄTT FÖR VAL AV MAGASIN OCH LÄMPLIG LOKALISERING.....	18
4.3	DATAINSAMLING.....	18
4.3.1	Val av data.....	18
4.3.2	Sammanställning av data.....	19
4.4	FLÖDESBERÄKNINGAR.....	22
4.4.1	Ekvationer och flödesschema.....	22
4.4.2	Simuleringar.....	24
4.5	VÄRMETRANSPORTSIMULERINGAR.....	24
4.5.1	Uppbyggnad av modell.....	24
4.5.2	Antaganden.....	27
4.5.3	Simuleringar.....	28

4.6	KOSTNADER	28
5	RESULTAT	28
5.1	VAL AV MAGASINUTFORMNING OCH DESS KOSTNADER.....	29
5.2	FLÖDESBERÄKNINGAR.....	30
5.2.1	Stålverk 64.....	30
5.2.2	Effektivitet vid begränsad tillgång till lagring	35
5.2.3	Effektivitet vid obegränsad tillgång till lagring	36
5.3	VÄRMESIMULERINGAR	37
6	DISKUSSION.....	39
6.1	VERKSAMHETENS MÖJLIGHETER ATT SAMLA IN REGNVATTEN MED HÄNSYN TILL LAGSTIFTNING	39
6.2	LÄMPLIG UTFORMNING, LOKALISERING OCH STORLEK AV MAGASIN	40
6.2.1	Val av magasinutformning	40
6.2.2	Val av lokalisering.....	40
6.2.3	Val av magasinstorlek	41
6.2.4	Variation i effektivitet - Stålverk 64.....	42
6.2.5	Variation i effektivitet - Hela anläggningen	42
6.3	REGNVATTNETS MÖJLIGHET ATT ERSÄTTA DRICKSVATTEN I VERKSAMHETENS KYLSYSTEM MED HÄNSYN TILL TEMPERATUR OCH KVALITET	43
6.4	OSÄKERHETER.....	44
6.5	REKOMMENDATIONER FÖR IMPLEMENTERING AV REGNVATTENINSAMLING	46
7	SLUTSATSER	47
	REFERENSER	49
	BILAGA 1	54
	BILAGA 2	55

1 INLEDNING

Människor har sedan flera tusen år tillbaka i historien använt sig av den enkla principen att samla in regnvatten från hushållstak som förberedelse inför torrperioder (Antoniou et al. 2014). Idag ökar risken för torka och översvämningar på fler platser än tidigare i och med klimatförändringarna och till följd av detta har intresset för regnvatteninsamling ökat även inom industrisektorn (Europeiska miljöbyrå 2020, Campisano et al. 2017). I industrier skiljer sig dock intresset för användningen av regnvattnet från hushåll. Istället för att bevattna trädgården eller spola toaletter, nämns i flera studier vilken potential regnvattnet har för användning i olika typer av kylsystem (Koenig 2014, Thomé et al. 2019). Genom att substituera dricksvatten med regnvatten behöver inte lika stor mängd dricksvatten förbrukas för kylning. SMHI (2015) förutspår att det i slutet av seklet kan ha skett en temperaturökning på 3-5 °C vilket kommer öka behovet av kylvatten, samtidigt som årsmedelvärdet för nederbörd kan öka med 20-30 % vilket skapar goda förutsättningar för att substituera dricksvatten med regnvatten för kylning.

En verksamhet som uppmärksammat regnvatteninsamling är Sandvik AB, som bedrivit stålindustri i Sandviken sedan 1860-talet. Sandvik har genom en riskbedömning kopplat till klimatförändringar identifierat att det i framtiden kommer bli problem med för mycket och för lite vatten i sin omgivning. Idag finns återkommande problem med översvämningar på industriområdet i Sandviken och i framtiden eventuellt också torka som orsakar kylvattenbrist.¹ För närvarande används dricksvatten till vissa industriprocesser för kylning, bland annat på grund av för höga temperaturer hos naturligt kylvatten under vissa perioder. Med orsak av att regnvatteninsamling hos industrier inte är ett särskilt vanligt fenomen i Sverige, så finns bristande kunskap kring vilken lagstiftning som är relevant, vilken storlek och typ av magasin som kan vara lämplig samt hur temperaturen på regnvattnet förändras vid lagring och vad det ger för konsekvenser på att använda regnvattnet som kylvatten. I framtiden kommer antagligen behovet av att samla in regnvatten öka för allt fler industrier, där kylning med regnvatten kan vara ett viktigt användningsområde som behöver utvecklas och undersökas vidare.

¹ Susanne Lindqvist, personligt meddelande, 2021-01-21

1.1 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Syftet med examensarbetet var att undersöka möjligheterna för att samla in regnvatten och ersätta dricksvatten i kylsystemet hos Sandvik AB, vilket skulle genomföras med hjälp av att studera hur ett regnvattenmagasin kunde utformas samt vilka tillstånd som krävdes. Utifrån nederbörds- och lufttemperaturdata för en nederbördsfattig, genomsnittlig respektive nederbördsrik tidsperiod skulle det undersökas hur mycket regnvatten det är möjligt att samla in på industriområdet i Sandviken och hur stor andel av dricksvattenanvändningen för kylning det skulle ersätta. Med hjälp av flödesberäkningar var syftet att föreslå en lämplig lokalisering och storlek av magasin för att kunna ersätta så hög andel dricksvatten som möjligt hos en specifik industriprocess. Värmetransport simulerades med syfte att undersöka temperaturvariationer hos regnvatten i ett magasin och därmed säkerställa vattnets funktion som kylvatten.

Insamling och lagring av regnvatten innebär genom hela rapporten även insamling och lagring av smält snö under perioder när det är relevant. När dagvatten nämns innebär det med hänsyn till förutsättningarna i denna rapport samma typ av vatten som regnvatten.

Examensarbetet förväntades besvara följande frågeställningar:

- Hur ställer sig rådande lagstiftning i Sverige till insamling och lagring av stora mängder regnvatten? Vilka eventuella tillstånd krävs?
- Vilken utformning och storlek av magasin är lämplig för att hantera insamlat regnvatten utifrån flödesberäkningar samt lokala förutsättningar på Sandvik AB:s industriområde?
- Vilken påverkan visar värmesimuleringar att lagrat regnvatten får av ett varmt sommarväder och vilken konsekvens medför det på att använda vattnet i Sandvik AB:s kylsystem?

1.2 AVGRÄNSNINGAR

Examensarbetet innehåller inte någon analys av översvämningar eller var dessa sker, utan avgränsades till att undersöka detaljerat hur regnvatten i liten skala kunde samlas in, lagras och fungera som reserv vid brist på naturligt kylvatten från kyldammen. Hur systemet fungerar från tak via rör till magasin undersöktes inte närmare, utan istället har magasinet och dess kapacitet varit av störst intresse. Valet av magasinutformning bestämdes översiktligt och ett kostnadsförslag för valet angavs, mer detaljerade

specifikationer som form, färg, materialval, dess specifika kostnader och miljöpåverkan undersöktes inte närmare.

2 TEORI

För att ge en introduktion till ämnet inleds teoriavsnittet nedan med att redogöra för regnvatteninsamlingssystem genom att beskriva olika typer av magasinutformningar, föroreningars påverkan på regnvatten samt tidigare studiers resultat av att använda regnvatten i kylsystem och hur översvämningens risk minskar vid användandet av regnvatteninsamlingssystem. Därefter förklaras temperaturflöden i mark med syfte att skapa en förståelse för vilka termiska egenskaper som har betydelse för värmeöverföring. Till sist presenteras juridiken kring dagvatten, vilken lagstiftning som är relevant samt vilka myndigheter som har ansvar gällande dagvattenfrågor för att redogöra kring potentialen av att samla in regnvatten på industriområdet.

2.1 REGNVATTENINSAMLING

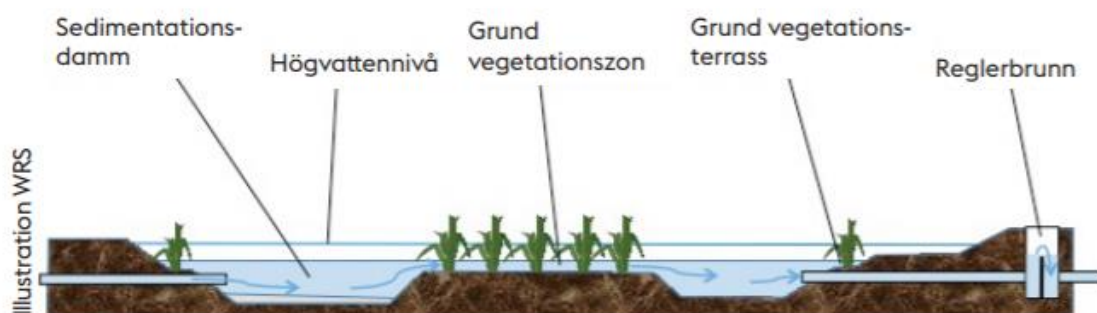
2.1.1 System för insamling och lagring

Regnvatteninsamling kallas på engelska "Rainwater harvesting (RWH)" och definieras som uppsamlandet och lagrandet av nederbörd från atmosfären. Regnvatteninsamling har många olika användningsområden; bevattning, tvätt och toalettspolning eller nyttjande i industri (Antoniou et al. 2014) är några exempel. Det finns tre olika typer av RWH system: "Domestic RWH" vilket betyder att den uppsamlade nederbörden består av avrinning från vägar samt tak, "In situ RWH" som innebär att nederbörden lagras i marken på den plats den faller ned och "External water harvesting" vilket innefattar uppsamlande av vatten på en area medan den lagras på en annan area vid sidan av (Helmreich och Horn 2008).

För att lagra regnvatten kan olika variationer på magasin utformas. Magasin kan vara i form av öppna magasin som dagvattendammar eller också kan de vara magasin under mark av olika utformningar som rörmagasin eller tankar (Svenskt vatten 2004, Helmreich och Horn 2008). Det finns även så kallade makadammagasin både ovan och under markyta där magasinet utformas och fylls med makadam eller sprängsten (Stockholm Vatten och Avfall[c] u.å). Gemensamt för de olika magasinutformningarna är att ledningar och magasin måste vara dimensionerade efter tillrinningsområdets flöde och utformas med någon typ av bräddningsfunktion för att ta hand om vattenvolym som inte

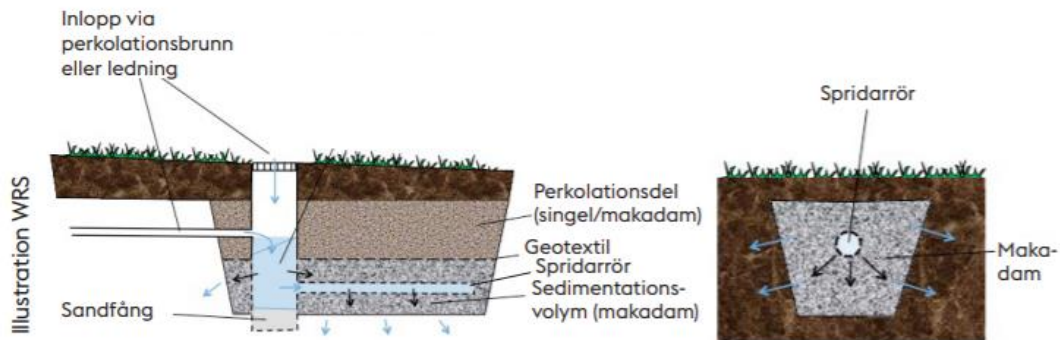
får plats i magasinet och istället leda det vid sidan av magasinet. Det bör även finnas möjligheter till urtappning av magasinet och underhållsskötsel vid fall av igensättning (Svenskt vatten 2004).

Dagvattendammar används i synnerhet för att rena och fördröja dagvatten, en illustration för en dagvattendamm ses i Figur 1. Reningen sker främst genom sedimentation av partikelbundna föroreningar men även växter kan användas för att öka reningsgraden (Stockholm Vatten och Avfall [b] u.å). I fallstudien på industriområdet i Sandviken skulle däremot inte växter användas för rening som i Figur 1, sedimentationsdammen skulle räcka i det fallet. Det är viktigt att dammarna är konstruerade och dimensionerade på rätt sätt för att upprätthålla god rening. Genom att nivån på dammen får möjlighet att variera kan stora dagvattenmängder fördröjas. Dagvattendammar tar stor yta i anspråk men anläggs ändå i många sammanhang när vatten ska fördröjas, i och med att reningen och flödesutjämningen är god, samtidigt som dammen också kan bidra till ökad biologisk mångfald (Stockholm Vatten och Avfall 2017, Stockholm Vatten och Avfall [b] u.å).



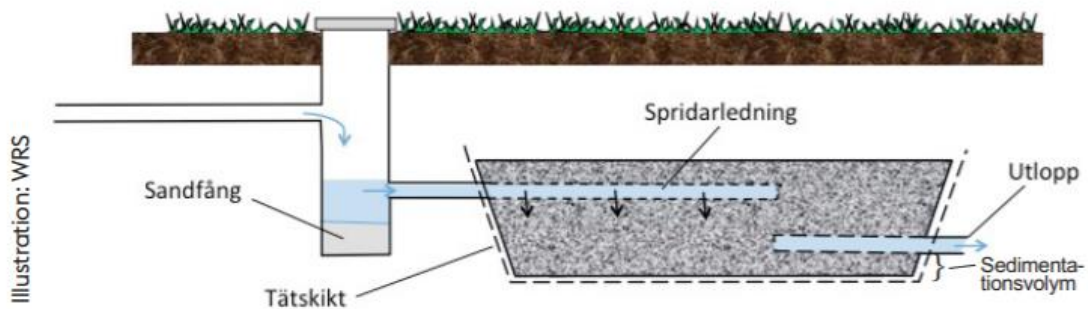
Figur 1: Illustrerat exempel av en dagvattendamm med en öppen vattenyta, en sedimentationsdel för föroreningar samt vegetation för ökad rening. Vid utloppet finns en reglerbrunn. Godkänd kopia av WRS som ritat bilden. Källa: Stockholm Vatten och Avfall (u.å) [b].

Makadammagasinen är fyllda med sprängsten och kan dels vara i form av dammar, dels i form av diken eller under jord i ett magasin, illustration ses i Figur 2. De är oftast så kallade perkolationsmagasin, där vattnet kan infiltrera vidare ned till grundvattnet (Stockholm Vatten och Avfall [c] u.å). Om ändamålet inte är perkolation kan en tät duk användas för att avgränsa magasinet från det omgivande grundvattnet (Svenskt Vatten 2019). Reningen fungerar genom sedimentation av partikelbundna föroreningar och flödesutjämning sker genom att dagvatten transporteras in via en brunn eller ledning där utflödet sker nedåt till grundvattnet. På grund av perkolationen avlastas dagvattennätet från föroreningar och stora volymer dagvatten. Makadammagasinet fungerar dock ej om grundvattennivån är över magasinets anlagda nivå (Stockholm Vatten och Avfall [c] u.å).



Figur 2: Illustrerat exempel av ett makadam- och perkolationsmagasin under mark där vattnet kan infiltrera vidare till grundvattnet. Inlopp sker via ledning och ett sandfång där föroreningar kan sedimentera samt så finns en tillgänglig sedimentationsvolym. Vattnet sprids ut i lagret av makadam med hjälp av spridarrör, geotextilen hindrar föroreningar ovanifrån. Godkänd kopia av WRS som ritat bilden. Källa: Stockholm Vatten och Avfall (u.å) [c].

Underjordiska magasin, även kallade avsättningsmagasin, kan bestå av till exempel kassetter eller rörtankar. Både kassetter och rörtankar kan vara gjorda av polypropen och fungerar genom att skapa en fördröjningsvolym av dagvatten genom ett strypt bottenutlopp (Svenskt Vatten 2019), illustration ses i Figur 3. Eftersom magasinet är placerat under markytan är det viktigt att fyllnadsmaterial ovanpå magasinet motverkar lyftkraften, för att förhindra en skjuvning uppåt i de fall magasinet är placerat i grundvattnet (Stockholm Vatten och Avfall[a] u.å). För att rening ska vara möjlig krävs att sedimenttömning kan ske genom till exempel ett sandfång. I fallet med kassetter kan problem orsakas om sediment ackumuleras mellan kassettdelar, vilket kan åtgärdas genom att använda en geotextilduk som hindrar sand och jord från att tränga in emellan kassetterna (Svenskt Vatten 2019). En annan typ av avsättningsmagasin är betongmagasin som också fördröjer dagvatten för att avlasta dagvattennät (Svensk Vatten 2019, Helmreich och Horn 2008). Betongmagasinen varierar i storlek och kan fördröja stora mängder vatten, i Tokyo finns till exempel ett magasin med volymen 250 000 m³. Vid rening och underhåll krävs att sediment kan avskiljas ur betongmagasinet (Svenskt Vatten 2019).



Figur 3: Illustrerat exempel av ett avsättningsmagasin med ett sandfång för sedimentering av föroreningar samt en yta för sedimentationsvolym i magasinet, dessutom med ett kringliggande tätskikt för att undvika perkolation. Utloppet är begränsat utifrån behovet. Godkänd kopia av WRS som ritat bilden. Stockholm Vatten och Avfall (u.å) [a].

2.1.2 Kvalitet på regnvatten

Nederbördens föroreningsgrad är beroende av atmosfärens föroreningar och nederbörden blir oftast ännu mer förorenad när den väl samlas upp (Helmreich och Horn 2008). Vatten är ett lösligt ämne och tar därmed upp föroreningar som det kommer i kontakt med under sin transport genom atmosfären. Mängden föroreningar blir olika beroende på hur lång väg vattnet färdats, om vattnet faller ned på ett tak kan det vara renare än om det rinner en lång sträcka längs med marken (Abbasi och Abbasi 2011). Metaller, partiklar, organiska substanser och mikroorganismer är några av de föroreningar som ackumuleras i avrinningsområdet och påverkar föroreningshalten hos det uppsamlade regnvattnet (Helmreich och Horn 2008).

Från regnvatteninsamling på taktytor finns tre olika typer av föroreningar: fysikaliska, mikrobiologiska och kemiska. Dessa härstammar bland annat från tak, rörledningar, tankar och från atmosfären, vilket gör att föroreningarna i hög grad beror av takets material samt depositionen av föroreningar på taket. Underhållet av takytan är därför också en viktig faktor för vattnets föroreningsgrad. Orsaker till föroreningar på taket kan till exempel vara döda djur, fekalier från djur, mikroorganismer som är luftburna samt löv och annat organiskt material som ansamlats (Abbasi och Abbasi 2011). Depositionen av föroreningar på taket beror till stor del av luftkvaliteten, vilken kan vara försämrad i närhet av industri eller trafik. Därför är det av intresse att undersöka lokala förutsättningar för att se hur regnvatten påverkas på en specifik plats (enHEALTH 2010). Studier har visat att tak av galvaniserad plåt gett lägst mängd kemiska samt fysikaliska föroreningar medan tak med inverkan från mossor eller lavar ökat föroreningsmängden (Lee et al. 2011).

För att minska föroreningsgraden kan den så kallade "first flush"-principen användas, där den första nederbörden som faller ned inte samlas in. Föroreningsgraden kan även minskas med hjälp av sandfilter (Helmreich och Horn 2008). Ett sandfilter fungerar som rening mot föroreningar genom att partiklar fastnar i sanden medan det renare vattnet transporteras ut igen (Olsson 2010). Det trycksatta slutna sandfiltret består av ett bärlager av grus samt ett sandlager och är oftast i form av en rektangulär eller kvadratisk bassäng. För att rena filtret sker en backspolning så att vatten transporteras motströms, vilket gör att vatten med föroreningar kan transporteras vidare till avlopp. Det finns även ytterligare metoder för rening av vatten som flockning, membranfiltrering, kolfilter, UV-ljus, ozon samt desinfektion (IVL 2015).

2.1.3 Tidigare studier om regnvattnets potential i kylsystem och regnvattnets funktion för att minska översvänningsrisker

Flera andra verksamheter inom industrisektorn använder idag regnvatten till kylning. I Brasilien har en studie genomförts för användning av regnvatten i kyltorn. Där samlas regnvatten in från en yta av 82 000 m² och förvaras i en tank konstruerad i betong under markytan. Slutsatsen från studien är att det finns tekniska möjligheter för regnvatten inom industrier, kvaliteten är tillräckligt god och processen påverkas inte negativt (Thomè et al. 2019). I Tyskland har ett system för regnvatteninsamling implementerats i ett sjukhus för ändamål som toalettspolning, fontäner och kylsystem. Kylsystemet försörjer vakuumpumpar med kylvatten som används i processer för sterilisering. Tidigare användes renat vatten men nu uppfylls samma funktion med regnvatten och med orsak av det har den totala dricksvattenförbrukningen minskat (Koenig 2014).

I en studie från Hong Kong undersöktes hur regnvatteninsamling på tak kunde kyla ned lufttemperaturen ovanför en regnvatteninsamling i jämförelse med lufttemperaturen ovanför betong för ett potentiellt användningsområde inom luftkonditionering. Resultatet visade att lufttemperaturen ovanför regnvatteninsamlingen sänktes med 1,3 °C och förväntas ge ännu bättre effekt om principen används till inomhusluft (An et al. 2015). Även i Danmark har en studie genomförts för användning av regnvatten i kombination med ventilationssystem som kyler genom avdunstning. Insamlingen av regnvattnet sker genom att rör leder vattnet från taket till en underjordisk tank där det sedan pumpas vidare till en reservoar som är kopplad till kylningen. Studien visade på ett positivt resultat, med

en bättre och mer hållbar funktion av regnvattnet än det traditionella systemet (Hviid et al. 2020).

Studier visar även att översvämningsrisker minskar vid nyttjandet av regnvatteninsamlingsystem. I Australien genomfördes en studie där ett system för regnvatteninsamling implementerades och visade på 30 % besparing i kostnader på grund av mindre förstörelse som annars orsakas av översvämnings (Jamali et al. 2019). I Italien påvisar en annan studie hur översvämnings minskade vid användning av regnvatteninsamling med orsak av att systemet kunde motverka toppflöden (Freni et al. 2019).

2.2 TEMPERATURFLÖDEN I MARK OCH VATTEN

Kylvatten i ett magasin ska bibehålla en tillräckligt låg temperatur och det är därför viktigt att förstå hur temperaturflöden sker i mark och vatten. Gällande värmeöverföring i marken är det den specifika värmekapaciteten (transporten av energi), värmeledningsförmågan (lagringen av energi) och värmediffusiviteten (utjämningen av temperaturskillnader) som har stor betydelse (Byggforskningsrådet 1986). Dessa är beroende av ett antal olika faktorer; främst vatteninnehåll men även mineralinnehåll, densitet, struktur och kornstorleksfördelning. Beträffande vatteninnehållet så påverkas vattnet i jorden av flera processer som nederbörd, avrinning, infiltration, avdunstning och magasinering. Under grundvattenytan är jorden mättad men över grundvattenytan varierar vattenhalten beroende av jordartens egenskaper. Eftersom vatten leder värme bättre än luft, blir resultatet att den relativa ökningen i värmeledning ökar med en högre vattenhalt. Den relativa ökningen avtar dock ändå vid högre vattenmättnadsgrad. Detta beror på att ökningen är som störst vid litet tillskott på vatten eftersom kontaktytan mellan kornen drastiskt blir större när vattnet binder in där bindningskrafterna är störst. Nära vattenmättnad har vattnet redan bundit in till de platserna och tillskott hjälper inte längre värmeledningsförmågan i lika hög grad. För en torr jord är det istället främst porositeten som påverkar värmeledningsförmågan (Byggforskningsrådet 1986).

De olika mekanismer som värmen transporteras genom är ledning, konvektion, strålning samt ångdiffusion. Värmeledning är den mekanism som dominerar vid normala marktemperaturer och låga temperaturgradienter. Värmeöverföring generellt orsakas av molekylrörelser från den varmare till den kallare delen i materialet, där kinetisk energi överförs på grund av dess temperaturskillnader (SGI 1995).

Temperaturförändringar sker långsammare djupare ned i marken och snabbare vid ytan på grund av solinstrålning (SMHI 2019). Beroende av vilket typ av underlag marken består av så kan temperaturen vid markytan variera mer än vad lufttemperaturen gör. Oftast är markytan kallare än luften under natten och varmare än luften under dagen. Under markytan, ca 6-7 m ned, är årsvariationen av temperaturen så liten att den i stort sett är lika som årsmedeltemperaturen hos luften (SMHI 2020).

2.3 LAGSTIFTNING KRING VATTEN

2.3.1 Lagstiftning

I Sverige består lagstiftningen av grundlagar, övriga lagar, förordningar, föreskrifter och allmänna råd. Hierarkin utgår ifrån att grundlagarna har mer tyngd än övriga lagar, vilket gör att dessa inte får bestridas. Förutom den egna lagstiftningen måste också Sverige förhålla sig till EU med dess direktiv och förordningar. Om befintliga lagar inte uppfyller syftet med EU:s direktiv eller förordningar så måste den svenska lagstiftningen anpassas för att kunna gälla (Boverket 2020).

Lagar specificerade för vatten finns i Miljöbalken (MB) (SFS1998:808), Plan- och bygglagen (PBL) (SFS2010:900) och Lagen om allmänna vattentjänster (LAV) (SFS2006:412).

MB:s mål innebär enligt 1 kap. 1 § (SFS1998:808) att en hållbar utveckling ska främjas genom att bestämmelserna försäkras en hälsosam och god miljö för både nuvarande samt kommande generationer. I 2 kap. (SFS1998:808) beskrivs de allmänna hänsynsreglerna som innefattar krav på verksamhetsutövaren där denne ska vara medveten om påverkan och konsekvenser för miljön samt vidta skyddsåtgärder för att minska denna påverkan. 6 kap. (SFS1998:808) innefattar bestämmelser kring om en verksamhet har en betydande miljöpåverkan eller inte (Miljösamverkan Västra Götaland 2014). Enligt 6 kap. 20 § (SFS1998:808) ska en specifik miljöbedömning genomföras om verksamheten kräver tillstånd som avses i 9 kap. eller 11 kap. (SFS1998:808). Där 9 kap. (SFS1998:808) innehåller definitioner och bestämmelser kring miljöfarlig verksamhet och 11 kap. (SFS1998:808) innehåller definitioner och bestämmelser kring vattenverksamhet.

LAV innefattar regler kring när kommunen är ansvarig beträffande en anläggning för vattenverksamhet inom ett verksamhetsområde, MB ska följas för regler och ansvar om det inte är ett verksamhetsområde. PBL är ett regelverk som ger kommunen i ansvar att

bestämma översiktsplaner och detaljplaner för att den fysiska livsmiljön ska främjas. I planer bestäms markanvändning och vattenanvändning vilket fungerar som stöd till kommunen i utveckling och bevarande av specifika områden (Boverket 2015).

2.3.2 Myndigheter med ansvar för vattenfrågor

I länen är Länsstyrelsen företrädare för staten och ska se till att mål och lagar efterföljs och tas hänsyn till. Gällande vatten har de till exempel tillsyn av olika vattenverksamheter men också för att LAV efterföljs samt att miljökvalitetsnormer uppfylls (Svenskt vatten utveckling 2014). De fungerar även som tillsynsvägledare för kommuner (HaV 2015). Naturvårdsverket är också en tillsynsvägledande myndighet och har ansvar för större dagvatten- och avloppsanläggningar, de har även föreskrifter som innefattar krav på grundvatten (Miljösamverkan Västra Götaland 2014). Havs och vattenmyndigheten (HaV) har i uppgift att bevara vattendrag och sjöar samt se till att de nyttjas på ett hållbart sätt. De har även viss tillsyn när det gäller dagvatten, till exempel för vattenverksamhet som inte innebär markavvattning (HaV 2015).

Kommunen är tillsynsmyndighet beträffande mindre avloppsanläggningar men kan också ha ansvar för tillsyn över vattenskyddsområden och vattenverksamhet om tillsynen har överlåtits från länsstyrelsen (HaV 2015). De är även skyldiga att upprätta verksamhetsområden för VA-anläggningar om dagvatten måste avledas i en bebyggelse, och genom stöd från PBL har de monopol för planerandet av mark och vattenområden (Svenskt Vatten Utveckling 2014). Boverket ger vägledning kring plan- och byggfrågor till byggnadsnämnder och länsstyrelser, de har även byggregler vilka fungerar som allmänna råd men också som bindande föreskrifter (Miljösamverkan Västra Götaland 2014).

2.3.3 Definition av dagvatten

Dagvattens definition specificeras inte i någon lag och regleras i större omfattning av många lagar. Naturvårdsverket (2020) menar att dagvatten är ”...regnvatten och smältvatten som tillfälligt rinner på och sköljer av hårdgjorda ytor som till exempel asfalt.”. Enlig LAV benämns dagvatten i 2§ (SFS2006:412) kopplat till definitionen av avloppsvatten vilken formulerats som ”Bortledande av dagvatten och dränvatten från ett område med samlad bebyggelse.”. I MB finns i 2§ 9 kap. (SFS1998:808) också avloppsvatten definierat som till exempel spillvatten eller kylvatten men inte relaterat till dagvatten (Jordbruksverket 2020). Genom 1§ 9 kap. (SFS1998:808) anses utsläpp av

avloppsvatten vara miljöfarlig verksamhet och kräver att en miljöbedömning enligt 20§ 6 kap. (SFS1998:808) behöver undersökas (Miljösamverkan Västra Götaland 2014).

Även markavvattning i 2§ 11 kap. (SFS1998:808) kan eventuellt kopplas till dagvatten, men i en dom från MÖD (M 2257-13) ansågs dagvattnet varken vara avloppsvatten eller markavvattning på grund av att syftet och omfattningen inte antydde på det (Naturvårdsverket 2019). Om dagvattnet varken kan ses som markavvattning och därmed vattenverksamhet eller som avloppsvatten och miljöfarlig verksamhet så gäller inte bestämmelserna i MB (Nielsen och Ovik 2018).

3 FALLSTUDIE SANDVIK

3.1 VERKSAMHETEN

På Sandviks industriområde i Sandviken produceras rostfritt stål i en ljusbågsugn. Stålet vidareförädlas till borrhängar, rör och band. På industriområdet finns också verksamheter som bland annat producerar borrhängar och hårdmetallskär. Till industriprocesserna krävs stora mängder vatten för kylning (Sandvik 2019).

Industriområdet är 300 ha stort, Sveriges näst största industriområde, och årligen pumpas ca 33 miljoner m³ kylvatten runt i systemet. Kylvattnet pumpas från en kyldamm på industriområdet. Verksamheten köper också in ca 1 miljon m³ dricksvatten från Sandvikens kommun som i sin tur används i huvudsak i industriprocesserna men även till sanitärt vatten. På industriområdet finns byggnader som tillsammans utgör ca 850 000 m² uppvärmd yta. Det finns egna deponier (öppna och avslutade) samt två reningsverk; ett biologiskt reningsverk för sanitärt avlopp och ett reningsverk för surt avloppsvatten (Sandvik 2019).

3.2 OMRÅDESBESKRIVNING

3.2.1 Geografi

Sandviks industriområde är beläget sydost om den egentliga bostadsbebyggelsen och ligger intill den norra stranden vid den delen av Storsjön som kallas för "Östra Fjärden" i Sandvikens tätort. Industriområdet består av "Södra verken", "Västra verken" samt "centrala verken". Ortofoto över industriområdet ses i Figur 4. Området är inte detaljplanerat utan omfattas av särskilda bestämmelser som till exempel innebär begränsad bygglovsplikt. Stränderna som finns på området omfattas inte av

strandskyddsbestämmelser enligt MB och för att bedriva den nuvarande verksamheten inom det aktuella industriområdet har Sandvik tillstånd enligt MB. Det dag- och kylvatten som kommer från området, bland annat renat avloppsvatten, leds ut i Storsjön via en damm och kanal alternativt cirkuleras i den invallade kyldammen (Sandvik 2019).



Figur 4: Ortofoto över Sandvik AB:s industriområde i Sandviken. Den vita inringade delen är kyldammen. Tillåten återpublicering. Copyright © Esri 2021-03-22.

3.2.2 Mark- och vattenförhållanden

Geologin varierar på industriområdet. De centrala delarna består till störst del av utfyllt material som grus, morän, grov- och finslagg medan de västra delarna består av sand och åsmaterial samtidigt som de östra delarna består av moränmark med lera och gyttja. Moränen är det jordlager som har ett sammanhängande skikt över området men andra naturliga jordlager är även svämsediment och våtmarksavlagringar. Området ligger på ca 200 m.ö.h och är därmed under högsta kustlinjen. I västra områdets del korsar Enköpingsåsen med material så som sand, silt, lera, gyttja och torv (Sandvik 2016).

Hydrogeologiska modelleringar har visat att grundvattnet främst strömmar från den västra delen mot Storsjön. Från de östra delarna är strömningen betydligt mindre och begränsad på grund av kyldammen, deponier samt dräneringar. I de centrala delarna sker en viss strömning men då till pumpstationer vid kyldammen (Sandvik 2016).

Föroreningar i marken förekommer på industriområdet eftersom industrin utvecklats sedan lång tid tillbaka med utfyllnad av schaktmassor i omgångar. De gör att fyllnadsmaterialet (främst morän) är den del av jord samt ytligt mark-/grundvatten som föroreningar förekommer i men då till störst del av inert och icke-farligt avfall (Sandvik 2016).

3.2.3 Industriområdet

Industriområdet är tätt bebyggt med få lediga platser för en regnvattenlagring i form av öppna dammar. Markytan är värdefull för bland annat industribyggnader, upplag och deponier. Byggnader är stora med sammanhängande tak som i de flesta fall är gjorda av papp med liten lutning. Många byggnader står dessutom tätt ihop. Marken är till störst del hårdgjord yta och det finns enbart små möjligheter för vatten att infiltrera ned i marken. Området har generellt inte särskilt stor höjdskillnad utan är väldigt plant.² Takyornas dagvatten leds genom stuprör ned i dagvattennätet som i vissa fall vid kraftiga skyfall kan skapa för högt tryck i dagvattennätet. Dagvatten svämmar då över i det sanitära avloppet vilket gör att vattenflöden blir för höga i reningsverket.³

3.3 INDUSTRISYSTEM

3.3.1 Ledningsnät och reningsverk

Inom industriområdet finns olika ledningsnät. AD-nätet leder kyl- och dagvatten som kommer från de södra samt västra verken, detta vatten går vidare till en damm (damm A) där sedimentering sker för att sedan transporteras ut till recipienten Storsjön. Resterande kyl- och dagvatten från de centrala delarna cirkuleras via verksamhetens kyldamm och återanvänds som industrivatten via det så kallade KVI-nätet. AN-nätet leder renat avloppsvatten till en kanal (AN-kanalen) och sedan vidare till Storsjön. AH-nätet leder surt/alkaliskt avloppsvatten från olika industriprocesser, detta vatten går igenom ett reningsverk (Reningsverk 72) innan det släpps ut i Storsjön via AN-nätet. AS-nätet leder det sanitära avloppsvattnet till Reningsverk 72 innan det också leds ut till Storsjön via AN-nätet. Till sist finns det också ett nät för det kommunala dricksvattnet inom området (Sandvik 2016).

² Susanne Lindqvist, personligt meddelande, 2021-02-04

³ Tord Hedman, telefonmöte, 2021-02-04

Det kommunala dricksvattnet distribueras på området i det egna nätet via 7 anslutningspunkter. Vatten som krävs för kylning på industriområdet leds från två olika transportvägar. Den ena transportvägen leds från kyldammen via en pumpstation (pumpstation 01) till ett vattenverk (Vattenverk 79) där det filtreras genom trycksatta sandfilter innan det transporteras in till verksamheten. Den andra transportvägen är från kyldammen via en pumpstation (pumpstation 02) som har självrensande automatfilter vilket vattnet transporteras igenom innan det leds in till verksamheten (Sandvik 2019).

3.3.2 Kylvattnets temperatur, kvalitet och rening

Från de centrala och östra delarna av området flödar vatten innefattande kylvatten, valsverks- och dagvatten med 3500 m³/h till kyldammen där det kyls av och återcirkuleras. Kyl- och dagvattnet som istället kommer från de västra och södra verken flödar med 140 m³/h till Damm A och vidare ut till Storsjön utan återcirkulation (Sandvik 2019).

Temperaturen i kylprocesserna påverkas av vattentemperaturen från kyldammen, pumpstationerna samt ledningsnäten i marken. På sommaren när vattnet blir varmare används ingen reglering för att kyla vattnet ytterligare, utan istället används bara en större vattenvolym. Vissa industriprocesser är dock känsliga och använder dricksvatten när vattnet från kyldammen blir för varmt. I dessa fall kommer vattnet från Sandvikens Energi som har en ungefärlig temperatur på 20 °C. I samband med att vattnet transporterats i ledningarna till industrin så varierar temperaturen beroende på väder men brukar i genomsnitt vara ca 14 °C.⁴

Kvaliteten på kylvattnet upprätthålls idag med trycksatta sandfilter, detta hindrar dock inte alg tillväxt, vilket blivit ett återkommande problem i ledningsnäten på området ⁴. Alger är eukaryota organismer som trivs i fuktiga miljöer. Specifikt grönalger förekommer på land i fuktiga miljöer medan brunalger, rödalger och kiselalger trivs bättre ute i havet. Algerna kan växa till och täppa igen rörledningar vilket kan förorena vatten som transporteras i rörledningarna (NE u.å).

⁴ Magnus Magnusson, telefonmöte och e-post, 2021-01-25

3.4 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR REGNVATTENINSAMLING OCH LAGRING

Tre olika lokaliseringar inom industriområdet ansågs vara lämpliga för regnvatteninsamling i mindre skala med hänsyn till lokala förutsättningar i form av föroreningar, ytbehov och närhet till den industriprocess som idag förbrukar dricksvatten. De tre olika lokaliseringarna är kring de tre industriprocesserna Betning 2016, Stålverk 64 och Pressverk 69 som är inringade i Figur 5.



Figur 5: Ortofoto över Sandvik AB:s industriområde i Sandviken. Längst till vänster motsvarar den inringade byggnaden Stålverk 64, i mitten motsvaras den av Pressverk 69 och till höger av Betning 2016. Tillåten återpublicering. Copyright © Esri 2021-03-22.

Vid Betning 2016 finns möjlighet till ca 25 000 m² takyta i närmast anslutning till en möjlig lagring. Lagringen kan bestå av en mindre öppen damm eller ett större avsättningsmagasin. Byggnaden ses i Figur 6.



Figur 6: Byggnad och takyta för Betning 2016. Tillåten återpublicering. Copyright © Esri 2021-03-22

Vid Stålverk 64 finns möjlighet till ca 30 000 m² takyta i närmast anslutning till en möjlig lagring. Ytorna runt omkring Stålverk 64 används som upplag och därför skulle ett avsättningsmagasin vara det bästa alternativet. Byggnaden ses i Figur 7.



Figur 7: Byggnad och takyta för Stålverk 64. Tillåten återpublicering. Copyright © Esri 2021-03-22

Vid Pressverk 69 finns möjlighet till ca 20 000 m² takyta, där är dock inte takytorna i samma anslutande närhet till en möjlig lagring som vid Betning 2016 och Stålverk 64. Ytan används till upplag och därför skulle ett avsättningsmagasin vara att föredra. Byggnaden ses i Figur 8.



Figur 8: Byggnad och takyta för Pressverk 69. Tillåten återpublicering. Copyright © Esri 2021-03-22

4 METOD

I metodavsnittet nedan beskrivs litteraturstudie, beräkningar och simuleringar som är de huvudsakliga delarna examensarbetet består av. Litteraturstudien användes delvis för att uppfylla första delen av syftet och därmed den första frågeställningen om vilka tillstånd som krävs för regnvatteninsamling, men också för att ge en teoretisk bakgrund inför de resterande två frågeställningarna om val av magasin samt hur temperatur på regnvatten förändras i en lagring. Flödesberäkningarna och värmesimuleringarna uppfyllde resterande del av syftet och besvarade därmed konkret den andra samt tredje frågeställningen.

4.1 LITTERATURSTUDIE

Litteraturstudien genomfördes för att sammanställa information kring lagstiftning om dagvatten, olika magasinutformningar, kvalitet på regnvatten, tidigare studier om användning av regnvatten till kylning och för minskande av översvämningrisker samt temperaturflöden och termiska egenskaper i marken. Litteratur och studier som lästs har

varit både från andra länder och från Sverige. Sökmotorer som användes var Uppsala universitets bibliotekstjänst, divaportalen samt Google Scholar.

4.2 TILLVÄGAGÅNGSSÄTT FÖR VAL AV MAGASIN OCH LÄMPLIG LOKALISERING

För valet av magasinutformning togs ett flertal alternativ fram baserat på resultaten från litteraturstudien och jämfördes därefter med avseende på flöde, rening, underhåll, placering, ytbehov och kostnad (se avsnitt 5.1). Därefter bestämdes vilket magasin som var mest lämpligt med hänsyn till verksamheten och dess lokala förutsättningar. Tre olika lokaliseringar (se avsnitt 3.4) ansågs vara möjliga utifrån förutsättningar på området, delvis med hänsyn till närhet av den industriprocess som skulle förbruka regnvattnet men också med hänsyn till markförutsättningar. Utifrån flödesberäkningar angavs en av industriprocesserna som förslag till lokalisering med hänsyn till att den ansågs vara generell och resultatet ansågs vara applicerbart på liknande industriprocesser.

4.3 DATAINSAMLING

Historiska data över nederbörd och lufttemperatur hämtades från SMHI med syfte att hitta ett nederbördsrikt respektive nederbördsfattigt år för att simulera olika fall vid bestämmandet av en magasinstorlek. Syftet var också att hitta det varmaste dygnet för åskådliggörandet av hur temperaturen hos regnvatten förändras i ett magasin. Förbrukningsdata av dricksvatten erhöles från Sandvik AB:s verksamhet för att beräkna hur stor andel regnvatten som dricksvattnet kunde ersättas med.

4.3.1 Val av data

Data gällande lufttemperatur hämtades från SMHI:s mätstation "Gävle A" som befinner sig 30 km från industriområdet. Stationen har varit i bruk sedan 1995, ligger på 16,125 m.ö.h med koordinater: E17.1607° N60.7161°. Klockan 00 varje dygn registreras medelvärdet av lufttemperaturen från dygnet innan (SMHI[a] u.å). Datat har beräknats av SMHI enligt Ekholm-Modéns formel som beräknar medelvärdet med hjälp av att vikta temperatur med koefficienter beroende av månad samt longitud och tar därmed hänsyn till maximitemperaturen och minimitemperaturen under dygnet (SMHI 2018). Även uppmätta timvärden för lufttemperatur hämtades från samma station.

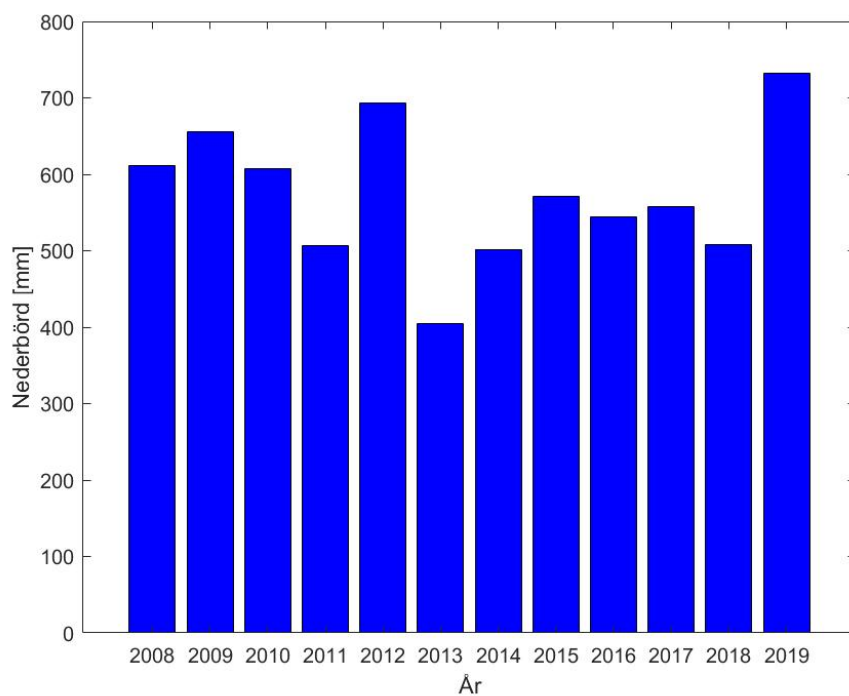
Data gällande nederbörd hämtades från SMHI:s mätstation "Gästrike-Hammarby D" som befinner sig 20 km bort från industriområdet. Stationen har varit i bruk sedan 1965, ligger

på 65 m.ö.h med koordinater: E16.5860 ° N60.5648 °. Klockan 06 varje dygn mäts den ackumulerade mängden nederbörd från de senaste 24 timmarna, den nederbörd som faller i fast form mäts inte förrän den smält (SMHI[b] u.å).

Förbrukningsdata erhöles från Sandviks egna vattenavläsningar för tidsperioden 2008-2019. Data var i form av dricksvattenvolymer som årligen förbrukats i olika industriprocesser, förbrukningen dividerades med antal dygn under ett år för att få ett genomsnittligt dygnsvärde. Detta gjorde att även lufttemperatur- och nederbördsdata begränsades till tidsperioden 2008-2019. Förbrukningsdata redovisas ej i rapporten på grund av sekretess.

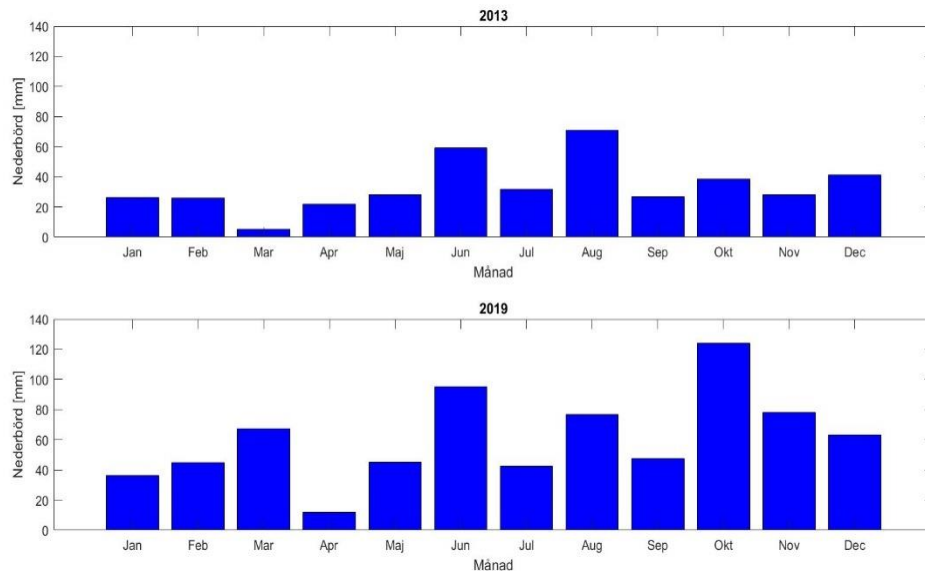
4.3.2 Sammanställning av data

Årsnederbörden beräknades för att åskådliggöra vilket år som hade störst respektive minst mängd nederbörd. I Figur 9 ses att 2013 är året med minst mängd nederbörd (404 mm) medan 2019 är året med störst mängd nederbörd (733 mm).



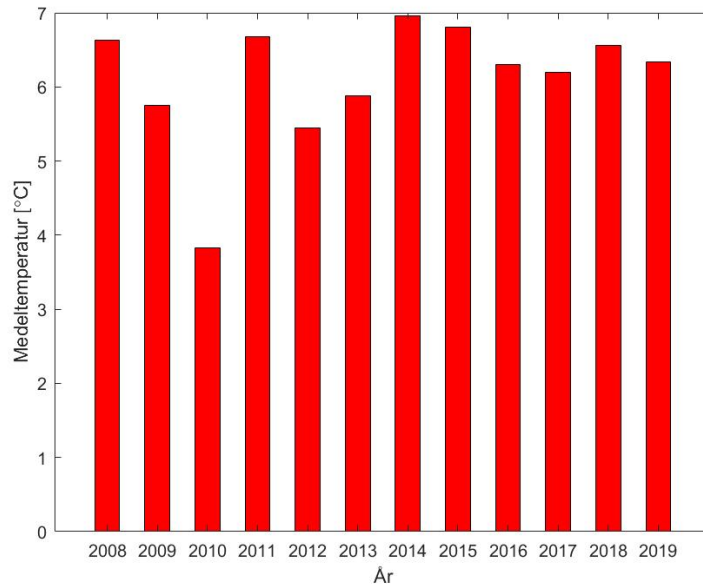
Figur 9: Årsnederbörd [mm] under perioden 2008-2019 från SMHI:s mätstation "Gästrike Hammarby-D", 20 km bort från industriområdet.

Månadsnederbörd för det nederbördsfattiga året 2013 samt det nederbördsrika året 2019 beräknades för att redogöra kring samband mellan nederbörd och effektivitet hos en regnvattenlagring i avsnitt 5.2. I Figur 10 ses att mars är månaden med minst mängd nederbörd (5,4 mm) under 2013 och augusti är månaden med störst mängd nederbörd (70,8 mm) under 2013. Under 2019 var det istället april och oktober som hade minst (11,9 mm) respektive störst (124,2 mm) mängd nederbörd.



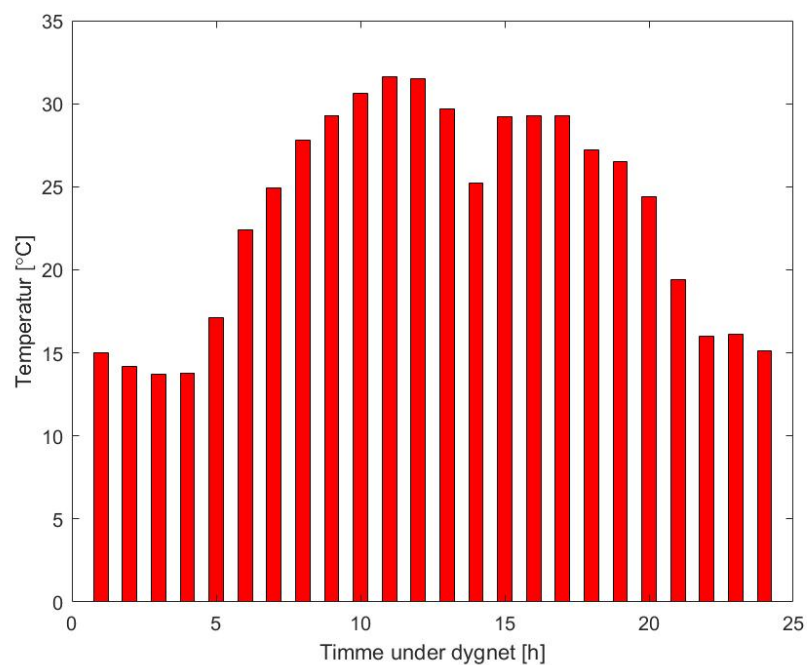
Figur 10: Månadsnederbörd [mm] under år 2013 respektive 2019 från SMHI:s mätstation "Gästrike Hammarby-D", 20 km bort från industriområdet.

Lufttemperaturmedelvärden för åren under den undersökta tidsperioden redovisas för att åskådliggöra temperaturskillnader mellan åren inför värmesimuleringarna i avsnitt 5.3. I Figur 11 ses att 2014 är året med högst medeltemperatur (ca 7 °C) medan 2010 är året med lägst medeltemperatur (ca 3,8 °C).



Figur 11: Årsmedelvärden för lufttemperatur under tidsperioden 2008-2019, från SMHI:s mätstation "Gävle A" vilken befinner sig 30 km bort från industriområdet.

Det varmaste dygnet under den undersökta tidsperioden visualiseras i Figur 12 och blev 26:e juli 2014. Temperaturer från detta dygn användes i värmesimuleringarna i avsnitt 5.3 och varierade mellan 13,7-31,6 °C.



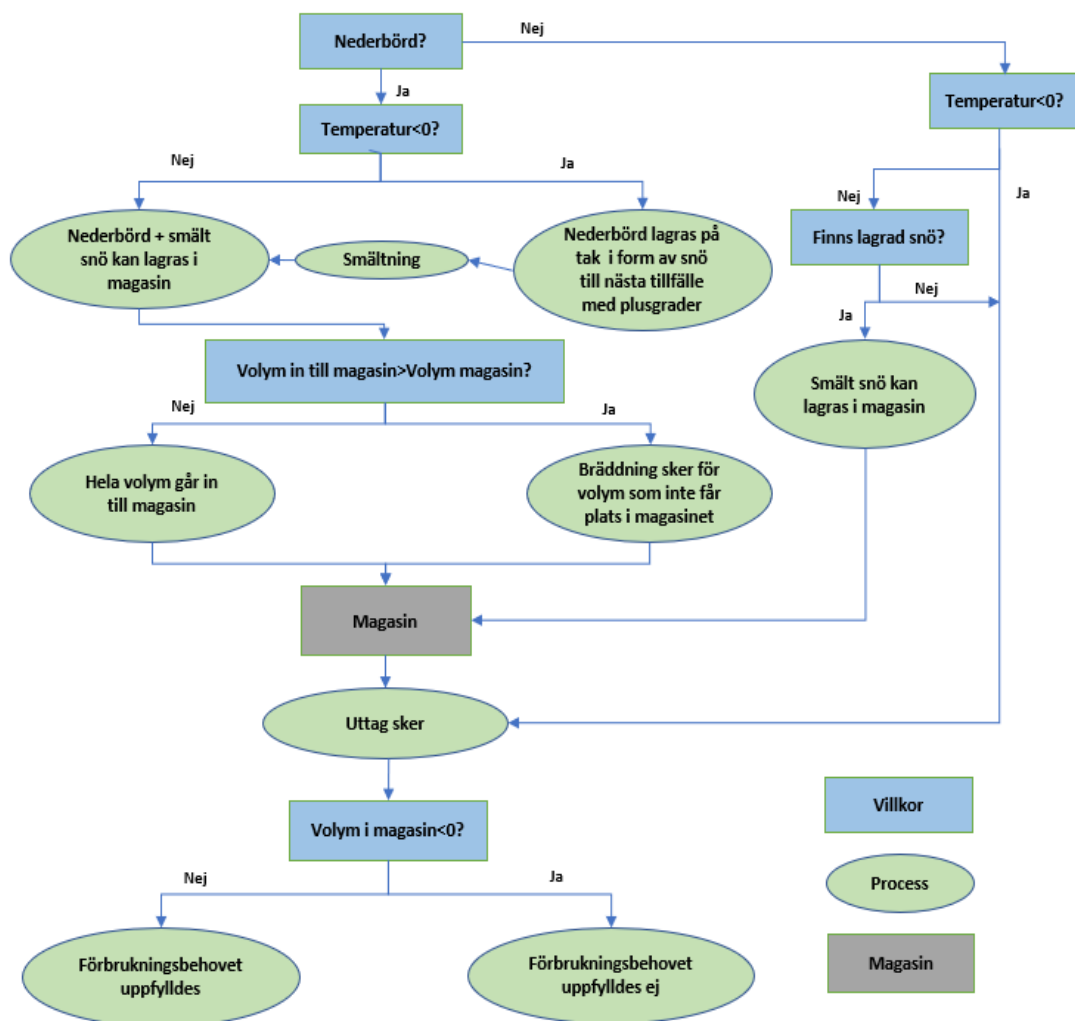
Figur 12: Lufttemperatur i form av timvärden under dygnet 26:e juli 2014 vid SMHI:s mätstation "Gävle A" som befinner sig 30 km bort från industriområdet.

4.4 FLÖDESBERÄKNINGAR

Flödesberäkningar genomfördes i MATLAB (R2017b) med simulering över varje dygn under perioden 2008-2019. Temperaturdata användes för att avgöra om nederbörden föll som regn eller snö och nederbördsdata användes för att beräkna hur mycket regnvatten från takytor som bidrog till lagringsvolymen.

4.4.1 Ekvationer och flödesschema

I simuleringen utgick beräkningarna från en massbalans för ett avsättningsmagasin vilken grundades på att förändringen i lagrad volym brukar beskrivas av skillnaden mellan inflödet och utflödet (Steiger et al. 2010). I Figur 13 visas ett flödesschema som beskriver processen för varje simulerat dygn. Genom avsnittet nedan beskrivs använda ekvationer samt de olika stegen i flödesschemat.



Figur 13: Flödesschema som beskriver flödesberäkningarna. De blå rektanglarna representerar villkor, de gröna cirkelarna representerar processer och den grå rektangeln representerar magasinet. För varje dygn under tidsperioden 2008-2019 genomarbetades flödesschemat i MATLAB.

Det första dygnet det första året utgick från 0 m³ i magasinet samt 0 m³ på taket medan nästkommande år hade värden från det sista dygnet från det föregående året. Åren följdes av årsskiften och ej hydrologiska år. Det första steget kontrollerade om det var nederbörd under dygnet och i de fall det stämde, kontrollerades om temperaturen var över eller under 0 °C. De dygn som inte hade nederbörd skedde uttag från magasinet med det som fanns kvar i magasinet sedan dygnet innan vid minusgrader samt eventuell lagrad snö vid plusgrader. Vid nederbörd och plusgrader leddes vattnet tillsammans med smält tidigare lagrad snö vidare till magasinet medan det vid minusgrader lagrades som snö på taket för att smälta nästa dygn med plusgrader. All lagrad snö antogs smälta under det dygnet för att ta hänsyn till förutsättningarna på området där taken är dåligt isolerade och snö oftast inte ligger kvar på taken särskilt länge.

I nästa steg kontrollerades om volymen in till magasinet var större än ledig volym i magasinet. Om så var fallet skedde bräddning för den volym som inte fick plats. Volymen regnvatten i magasinet vid en viss tidpunkt t ($V_{magasin,t}$) beräknades med hjälp av att utifrån principen om förändringen i lagrad volym (Steiger et al. 2010), addera volymen regnvatten i magasinet från föregående dygn ($V_{magasin,t-1}$). Detta ses i ekvation 1, där respektive parameter har enheten m³.

$$V_{magasin,t} = V_{inflöde,t} + V_{magasin,t-1} - V_{utflöde,t} \quad (1)$$

Volymen regnvatten in i magasinet beräknades utifrån rationella metoden (Svenskt Vatten 2016) men genom att multiplicera den faktiska nederbörden N [mm] (data från mätstation "Gästrike Hammarby-D") med takytan A [m²] och avrinningskoefficienten φ enligt ekvation 2. Vid minusgrader lagrades $V_{inflöde,t}$ på taket till nästa dygn med plusgrader då ackumulerad lagrad snövolym smälte.

$$V_{inflöde,t} = \frac{N \cdot A \cdot \varphi}{1000} \quad (2)$$

I ekvation 2 bestämdes avrinningskoefficienten φ till 0,9 för tak (Svenskt Vatten 2016).

Därefter skedde uttaget för $V_{utflöde,t}$ och i det sista steget efter uttaget kontrollerades om volymen i magasinet var mindre än 0 m³. I de fall volymen var mindre än 0 m³ i simuleringen hade förbrukningsbehovet för det dygnet ej blivit uppfyllt och i de fall återstående volym var större än 0 m³ uppfylldes förbrukningsbehovet.

Ytterligare beräkningar utfördes efter simuleringarna för att kunna redovisa resultatet i grafer. Års- samt månadssumman volym i magasin beräknades för respektive år under tidsperioden 2008-2019. Detsamma genomfördes för bräddning och tillgänglig regnvattenvolym. För att dra vidare slutsatser beräknades effektiviteten genom att dividera utflödet $V_{\text{utflöde},t}$ med förbrukningsbehovet $V_{\text{behov},t}$, där båda parametrarna är i enhet m^3 vilket ger effektiviteten i enheten %. Parametrarna redovisades i olika grafer för hela tidsperioden och för 2013 respektive 2019 enskilt. Resultatet presenterades även för juni månad under år 2013 samt 2019 för att tydligare påvisa variationer dygnsvis under den problematiska sommarperioden på industriområdet.

4.4.2 Simuleringar

Simuleringarna genomfördes först för hela anläggningen med enbart massbalans av regnvatten utan magasin för att se potentialen gällande regnvatteninsamling över hela anläggningen vid obegränsad tillgång till lagring. Därefter genomfördes simuleringarna för de tre olika industriprocesserna nämnda i avsnitt 3.4 med dess takyta och dricksvattenförbrukning implementerad för olika magasinstorlekar.

4.5 VÄRMETRANSPORTSIMULERINGAR

HYDRUS-1D användes för att undersöka värmetransport mellan regnvatten i ett magasin och omgivande mark. Programmet fungerar genom att bygga upp modeller för vatten och andra vätskors flöden i olika markförhållanden. Genom endimensionella modeller kan även värmetransport simuleras. Med hjälp av ett interaktivt gränssnitt ansätts parametrar för olika jordarter samtidigt som en diskretisering av markprofilen genomförs. Ekvationer som programmet löser numeriskt är "Richards' equation" samt advektions-dispersionsekvationer för vätske- och värmetransport. Värmeekvationen tar hänsyn till både värmekonvektion och värmeledning (Simunek et al. 2013).

4.5.1 Uppbyggnad av modell

Två olika modeller byggdes upp i HYDRUS-1D. En modell med lodrät värmetransport (1) och en modell med horisontell värmetransport (2). Gemensamt för de båda modellerna var att inget vattenflöde undersöktes samt att två olika material användes i två separata skikt. Det ena materialet bestod av en vattenvolym som motsvarade ett magasin av regnvatten medan det andra materialet bestod av jord med specifikt ansatta parametrar för markförhållanden på industriområdet ("sandy clay loam"). I HYDRUS-1D går det inte

att ansätta en volym med fritt vatten vilket innebar att regnvatten fick motsvaras av en jord med egenskaper så lika vatten som möjligt. Vattnet ansattes därför som sand med hög porositet (99,9 %) som valdes manuellt och hög hydraulisk konduktivitet (29,7 cm/h) vilket programmet automatiskt ansatte när sand valdes.

I modell (1) bestod skikt 1 av regnvatten vilken ansattes i y-led från 0 m till 1,5 m ner i marken medan skikt 2 av jord ansattes i y-led från 1,5 m djup till 3,5 m djup. Begränsningen i djup valdes utifrån att ingen temperaturförändring skedde längre ned. Sju observationsnoder placerades ut i profilen för att grafiskt kunna presentera resultaten. Profilavsnittet ses i Figur 14.

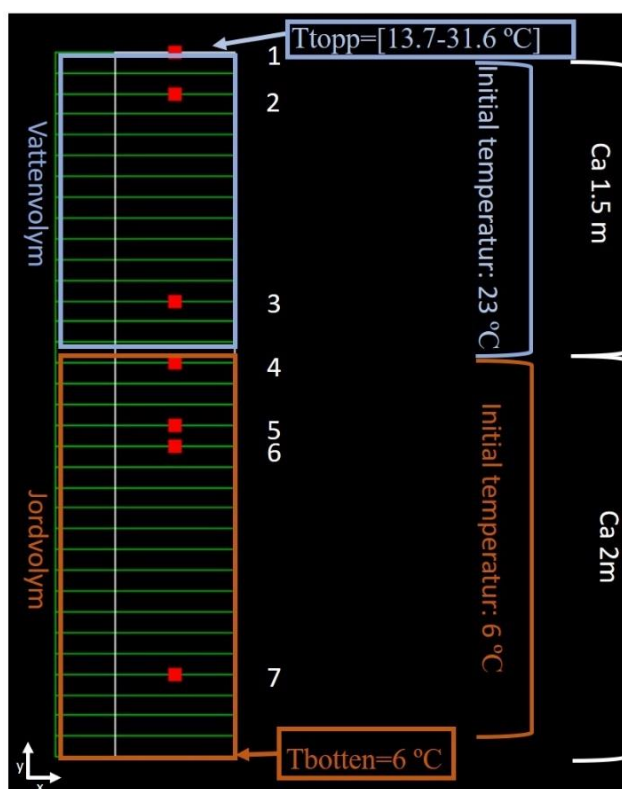
I modell (2) ändrades gravitationsvektorn för att simulera en horisontell värmetransport. Detta innebar att det som motsvarar skikt 1, i x-led från 0-1,5 m, motsvaras av skiktet med regnvatten medan resterande del, skikt 2 i x-led från 1,5-3,5 m, motsvaras av jord. Skikten antogs ha djupet 1,5 m i y-led eftersom det är vad magasinet planerades vara. Även i modell (2) placerades sju observationsnoder ut på samma platser som i modell (1). Profilavsnitt ses i Figur 15.

I modellerna ansattes olika initialtemperaturer i olika skikt men med samma tidsvarierande randvillkor för temperaturen i toppnivån under de 24 en timmars tidssteg som simulerades (varje timme under ett dygn). På bottennivån ansattes en konstant temperatur för respektive modell med hänsyn till litteraturvärden för temperaturen hos marken på respektive djup. I Tabell 1 ses ansatta värden och i Figur 14 och Figur 15 illustreras de två olika modellerna med deras skikt, observationsnoder samt ansatta temperaturer. Placeringen av observationsnoderna var godtycklig utefter var temperaturvariationer skedde och för att resonera kring omblandning av vatten som HYDRUS-1D inte tar hänsyn till valdes till exempel en observationsnod i den övre samt den undre delen av regnvattenvolymen.

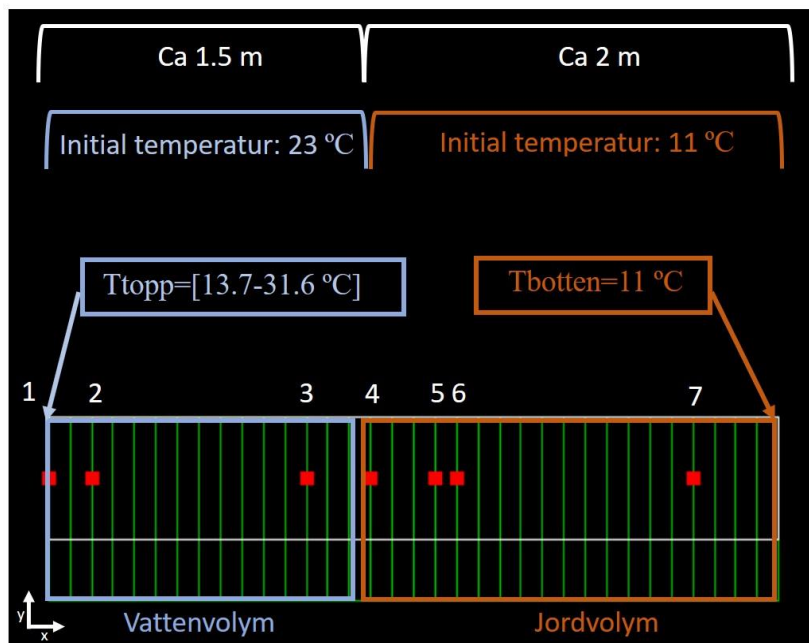
Tabell 1: Ansatta initialtemperaturer och temperaturer i topp- samt bottenskikt för respektive modell och skikt. Topp representerar det tidsvarierande randvillkoret och gäller högst upp i skikt 1 för modell (1) och längst till vänster i skikt 1 för modell (2) medan T_{botten} är konstant och gäller längst ned i skikt 2 för modell (1) och längst till höger i skikt 2 för modell (2).

	Initialtemperatur [°C]	T _{topp} eller T _{botten} [°C]
Modell (1) Skikt 1 (vatten)	23 ²	[13,7-31,6] ²
Modell (1) Skikt 2 (jord)	6 ³	6 ³
Modell (2) Skikt 1 (vatten)	23 ²	[13,7-31,6] ²
Modell (2) Skikt 2 (jord)	11 ¹	11 ¹

¹Institutionen för Geovetenskaper (2021) ²SMHI[c] (2014) ³SLU (2002)



Figur 14: Profilavsnitt av modell (1) i HYDRUS-1D. Observationsnoderna är märkta med siffror. Djupet på de olika skikten definieras samt dess initialtemperaturer. Det tidsvarierande randvillkoret i toppen av skikt 1 samt den konstanta temperaturen i botten av skikt 2 visas.



Figur 15: Profilavsnitt av modell (2) i HYDRUS-1D. Observationsnoderna är märkta med siffror. Bredden på de olika skikten definieras samt dess initialtemperaturer. Det tidsvarierande randvillkoret i toppen av skikt 1 (längst till vänster) samt den konstanta temperaturen i botten av skikt 2 (längst till höger) visas.

4.5.2 Antaganden

Eftersom HYDRUS-1D endast tillåter tidsvarierande randvillkor vid översta punkten och nedersta punkten i profilavsnittet, antogs vattenvolymen vara högst upp i profilavsnittet i de båda modellerna (längst till vänster i modell (2) med hänsyn till diskretiseringen och byte av gravitationsvektor) med orsak av att vattentemperaturen skulle vara möjlig att förändra. För att representera verkligheten hade ett jordskikt över vattenvolymen varit mer korrekt. I båda modellerna antogs lufttemperaturen spegla ytttemperaturen på vattnet (högst upp i modell (1) och längst till vänster i modell (2)) eftersom effekten på hur temperaturen förändras i vattenvolymen skulle åskådliggöras för dygnet med varma temperaturer. Syftet var att det tidsvarierande randvillkoret skulle spegla hur temperaturen hos inkommande regnvatten till magasinet förändras och påverkar temperaturen hos regnvattenvolymen i magasinet. Det antogs även i båda modellerna att vattentemperaturen var 23 °C initialt, som motsvarar det avrundade medelvärdet för lufttemperaturen under det varmaste sommardygnet under tidsperioden 2008-2019 (SMHI[c] 2014). I modell (1) antogs marken ha en konstant temperatur på 6 °C med hänsyn till årsmedeltemperaturen på dess djup (SLU 2002). I modell (2) antogs

marktemperaturen vara konstant 11 °C med orsak av att det blev det avrundande medelvärdet för hur temperaturen i genomsnitt förändras 1 m ned i marken under sommarperioden (maj-augusti) (Institutionen för Geovetenskaper 2021).

4.5.3 Simuleringar

De olika temperaturvariationerna med hänsyn till olika diskretisering hos de två modellerna (se Tabell 1 i avsnitt 4.5.2) simulerades för samma tidssteg. Med orsak av den höga omsättningen regnvatten i ett magasin på industriområdet simulerades enbart ett dygn. Det tidsvarierande randvillkoret för lufttemperatur ansattes för varje timme under dygnet med hänsyn till att timvärden var givna från SMHI:s data. I både modell (1) och modell (2) antogs vattenvolymens yttemperatur variera med det tidsvarierande randvillkoret utifrån lufttemperaturen för att åskådliggöra hur temperaturen hos regnvatten samt omgivande jord förändrades. Anledningen till att temperaturvariationer hos både regnvatten och jord var intressanta var på grund av att se hur värmeöverföringen skedde dem emellan. Temperaturerna valdes från det varmaste dygnet (den 26 juli 2014).

4.6 KOSTNADER

Kostnaderna undersöktes genom att konsultrapporter för olika typer av magasinutformningar lästes igenom. Utifrån dessa beräknades kostnader per m³ för anläggande av magasinet samt så erhöles kostnader för olika typer av underhåll, till exempel för sedimenttömning.

5 RESULTAT

I resultatavsnittet nedan presenteras jämförelsen mellan olika magasinutformningar och det slutgiltiga förslaget för val av magasinutformning. Därefter presenteras dygns-, månads- och årsvariationer med hänsyn till effektivitet och dess påverkande parametrar för Stålverk 64 med magasinstorleken 1500 m³ då detta blev föreslagen lokalisering samt magasinstorlek. Sedan redovisas effektiviteten för Stålverk 64 med varierande magasinstorlekar under olika tidsperioder. Följaktligen redovisas en jämförelse mellan de tre olika industriprocesserna med avseende på effektivitet och magasinstorlek. Vilket efterföljs av ett scenario över hela anläggningen med obegränsad tillgång till lagringsmöjligheter. Till sist åskådliggörs värmesimuleringens resultat genom att beskriva värmeöverföringen från regnvatten till omgivande jord i ett fall av lodrät värmetransport (modell 1) och ett fall av horisontell värmetransport (modell 2).

5.1 VAL AV MAGASINUTFORMNING OCH DESS KOSTNADER

Tre olika typer av generella magasinutformningar av typen ”External rainwater harvesting” (Helmreich och Horn 2008) jämfördes med avseende på flöde, rening, underhåll samt ytbehov med utgångspunkt ifrån Svenskt Vatten Utveckling (2019). I Tabell 2 visas en samlad potentialbedömning utifrån ett flertal tabeller med tillhörande text i rapporten av Svensk Vatten Utveckling (2019). Den täckta dammen har hög potential gällande flöde, lägre potential beträffande rening och underhåll, samt låg potential för ytbehov. Makadammagasinet har hög potential gällande flöde och ytbehov, lägre potential med hänsyn till rening, samt låg potential angående underhåll. Avsättningsmagasinet har hög potential avseende ytbehov, lägre potential angående flöde och rening, samt låg potential beträffande underhåll.

Tabell 2: Tre olika typer av magasin jämfördes med avseende på flöde, rening, underhåll och ytbehov. "++" innebär högre potential för egenskapen, "+" innebär lägre potential, "-" innebär låg potential. Flöde avgör hur stora flöden som det finns potential för att ta emot. Rening innebär hur stor potential det finns för olika typer av rening. Underhåll är hur mycket potential det finns för så lite underhåll som möjligt. Ytbehov innefattar vilken potential det finns för att ta så liten yta som möjligt i anspråk (Svenskt Vatten Utveckling 2019).

Utformning	Flöde	Rening	Underhåll	Ytbehov	Extra
Täckt damm	++	+	+	-	Erosionsskydd krävs
Makadammagasin	++	+	-	++	Sandfång krävs
Avsättningsmagasin (kassett eller rör)	+	+	-	++	Sandfång krävs

Uppskattade kostnader för anläggandet av de tre olika typerna av magasin ses som kostnadsintervall i Tabell 3. En täckt damm är det billigaste alternativet, ett avsättningsmagasin är det dyraste alternativet, ett makadammagasin är däremellan och varierar beroende på om magasinet är ovan eller under markyta samt mängden sprängsten. I Bilaga 1 Tabell 1.1, Tabell 1.2 och Tabell 1.3 åskådliggörs övriga kostnader som beräknade medelvärden, detaljerade kostnader samt kostnader för underhåll.

Tabell 3: Uppskattade kostnadsintervall från tidigare planer för dagvattenprojekt för de tre olika typerna av utformning. Utformningarna är en täckt damm, ett makadammagasin och ett avsättningsmagasin och kostnaderna för dessa gäller anläggandet. Övriga kostnader tillkommer.

Utformning	Anläggningskostnad [kr/m ³]
Täckt damm	300-866 ^{1,2}
Makadammagasin	1537-4500 ^{3,4,5}
Avsättningsmagasin	
• Generell	7000-8100 ^{1,2}
• Kasset	3192-7000 ^{3,5,6}
• Rörtankar	5319-10000 ^{6,7}

¹Ekvall et al. (2001) ²Söderberg (2020) ³Structor (2019) ⁴Norconsult (2011) ⁵Tyréns (2017) ⁶Klimatanpassning (2019) ⁷Ramböll (2018)

Utifrån tabellerna ovan ses att avsättningsmagasinet eller makadammagasin är det bästa valet utifrån perspektivet att ytan ovan mark ska kunna tas i anspråk medan en täckt damm är det bästa alternativet om den mest flödesutjämnande och billigaste lösningen är att föredra. Valet blev ett generellt avsättningsmagasin med hänsyn till de lokala förutsättningarna där området är tätbebyggt och mark behöver kunna tas i anspråk till andra funktioner inom verksamheten. Diskussion kring valet av magasinutformning ses i avsnitt 6.2.1. Övriga kostnader som kan tillkomma förutom de redovisade i Tabell 3 är till exempel deponeringskostnad för förorenad jord, projektledning för anläggandet och andra oförutsedda kostnader gällande schaktning och markarbeten.

5.2 FLÖDESBERÄKNINGAR

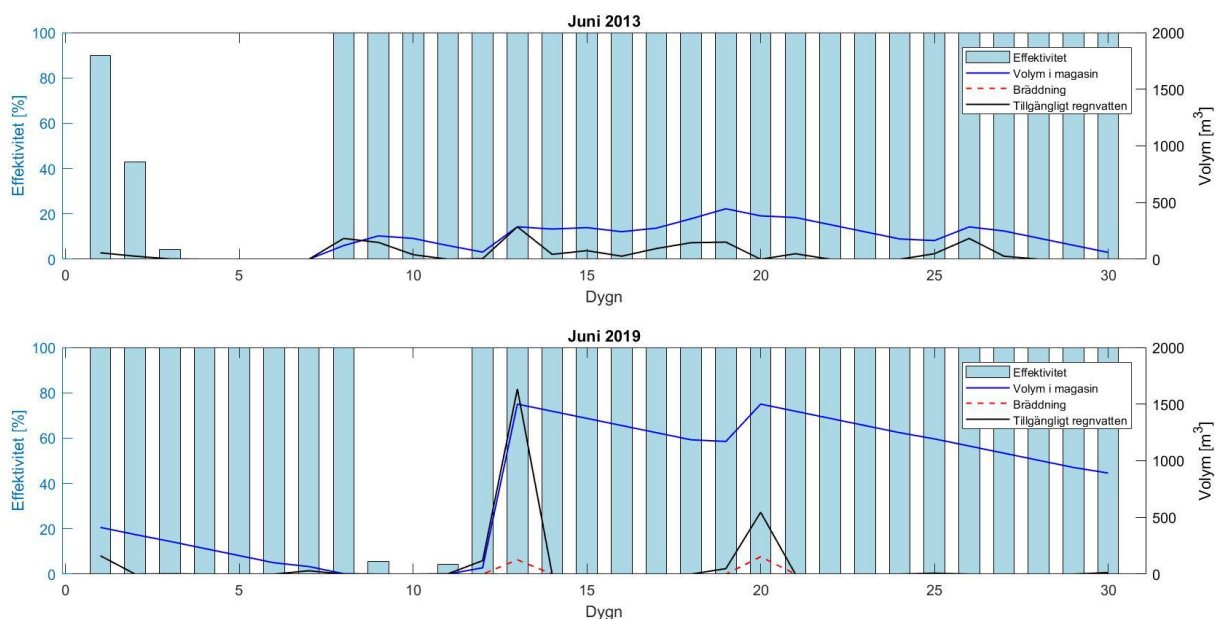
5.2.1 Stålverk 64

Stålverk 64 valdes som föreslagen lokalisering från avsnitt 3.4 för att mer detaljerat presentera variationer gällande olika parametrar under dygn, månader och år. Valet blev Stålverk 64 med hänsyn till att resultatet angående effektiviteten ansågs vara generellt och applicerbart på ett flertal andra industriprocesser på området. Magasinstorleken som föreslogs blev 1500 m³ med hänsyn till kostnad och effektivitet. Mer detaljerade resultat för även Betning 2016 kan ses i Figur 2.1, Figur 2.2 och Figur 2.3 i Bilaga 2.

I Figur 16 åskådliggörs, för Stålverk 64 med magasinstorlek 1500 m³, dygnsvariationer hos parametrar som påverkar effektiviteten (volym tillgängligt regnvatten, volym i magasin och bräddning) samt effektivitet för det nederbördsfattiga året (2013) och det

nederbördsrika året (2019) under juni månad. Anledningen till att volym i magasin (blå kurva) generellt är större än de andra parametrarna är med orsak av att den beräknats för varje dygn och sedan summerats månadsvis där samma regnvattenvolym beräknats flera gånger om den funnits kvar i magasinet under flera dygn.

Beträffande effektiviteten så är den högre under fler dygn i juni 2019 än juni 2013 vilket beror på mer tillgängligt regnvatten och större volym i magasin redan från start som också medför mer bräddning under juni 2019. Övriga parametrar är också större under 2019 än under 2013. Under juni 2019 är det dock färre dygn med nederbörd (toppar för parametern tillgängligt regnvatten) men nederbördsmängderna är stora vilket ändå fyller upp magasinet tillräckligt för en efterföljande kontinuerlig effektivitet på 100 %. Under båda åren är effektiviteten som lägst när magasinet sakta tömts ur utan nederbördstillfällena och därmed minskad tillgänglig regnvattenvolym och ökar därefter vid nästa nederbördstillfälle och ökad tillgänglig regnvattenvolym. Effektiviteten fortsätter vara hög på grund av att volym i magasin fyllts upp och fortsätter fyllas på vid fler nederbördstillfällena.

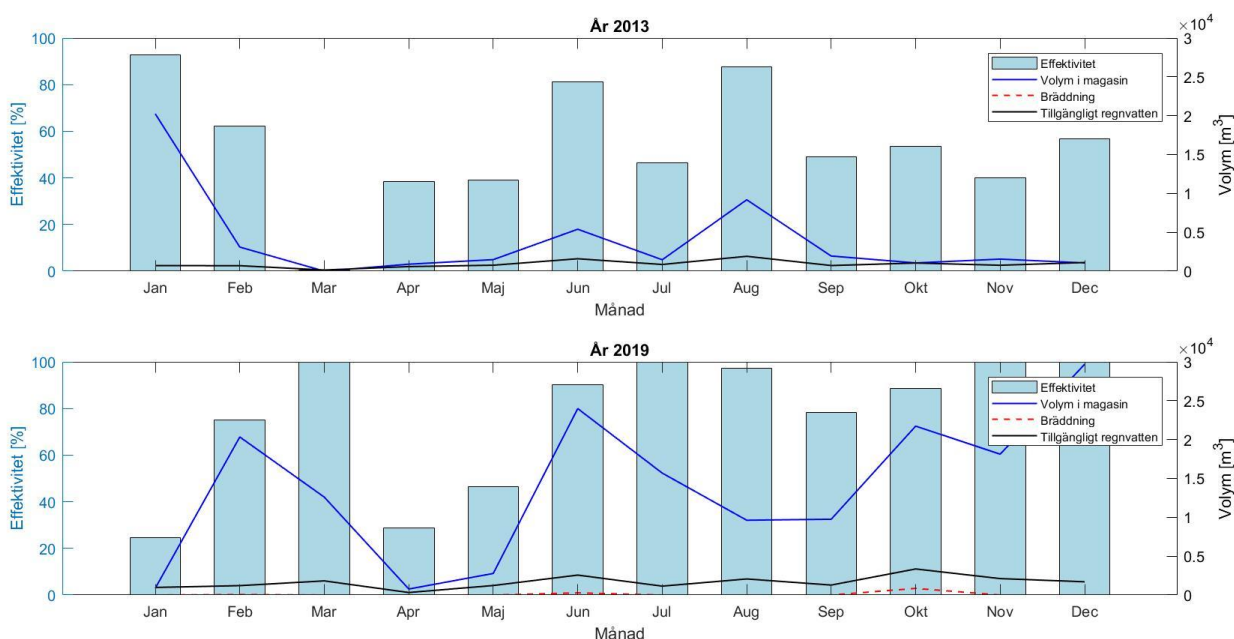


Figur 16: Dygnsvariation hos effektivitet (utflödet ur magasinet dividerat med förbrukningsbehovet), volym i magasin (blå kurva), tillgängligt regnvatten (svart kurva) och bräddning (röd kurva) för Stålverk 64 med magasinstorleken 1500 m³ under juni 2013 i den övre grafen och juni 2019 i den undre grafen.

I Figur 17 åskådliggörs månadsvariationen hos ovan nämnda parametrar för Stålverk 64 med magasinstorleken 1500 m³ under det nederbördsfattiga året (2013) och det nederbördsrika året (2019). Under båda åren följer parametrarna generellt variationen hos nederbörden; när volym tillgängligt regnvatten ökar på grund av mer nederbörd, ökar

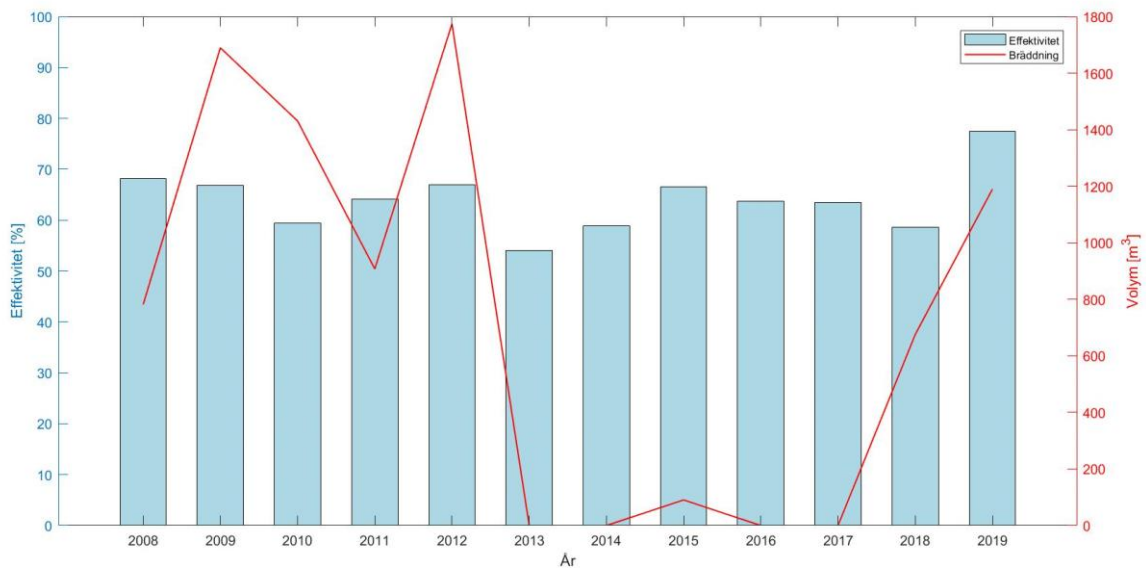
också volym i magasin samt bräddning och vice versa. Det innebär dock inte att effektiviteten månadsvis alltid följer nederbördsmängdens trend med hög effektivitet vid hög nederbördsmängd och vice versa, utan den kan variera med orsak av bräddning eller snölagring vilket förklaras vidare i avsnitt 6.2.4.

Skillnader mellan åren med orsak av varierande nederbördsmängder är att bräddning sker i högre grad under 2019 (under 2013 är den nästan obefintlig) och året har också generellt större volymer av alla parametrar i jämförelse med 2013. Effektiviteten är som störst under sommaren för de båda åren men den är också hög under hösten/vintern 2019.



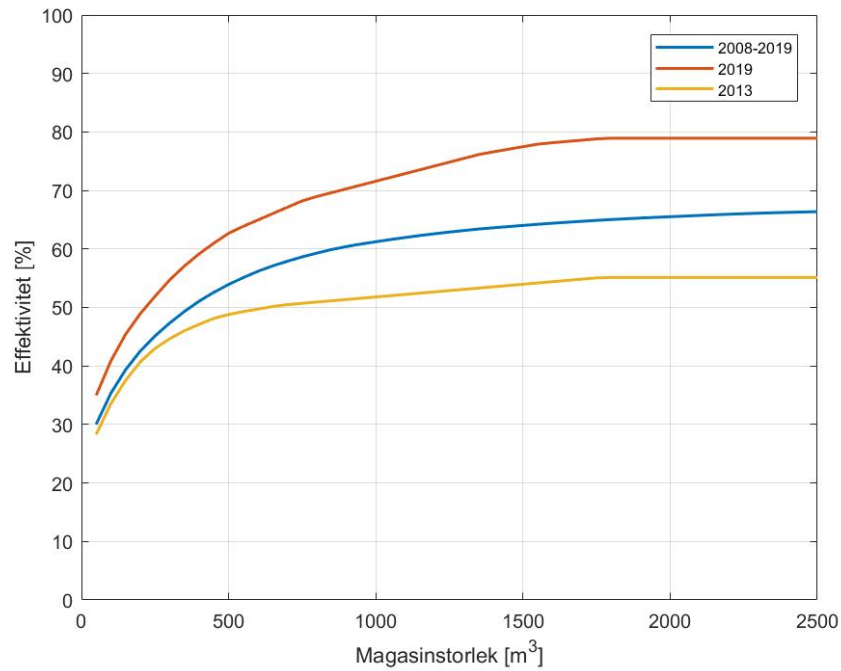
Figur 17: I båda graferna redovisas månadsvariationer för medelvärde av effektivitet (utflödet ur magasinet dividerat med förbrukningsbehovet), summa volym i magasin (blå kurva), tillgängligt regnvatten (svart kurva) samt bräddning (röd kurva) för Stålverk 64 med magasinstorleken 1500 m³. Den övre grafen redovisar år 2013 och den undre grafen redovisar år 2019.

En generell trend att effektiviteten förändras i samband med årsnederbördens variation ses i Figur 18 där Stålverk 64 simulerats med magasinstorleken 1500 m³ under hela tidsperioden 2008-2019. Effektiviteten är som högst under det nederbördsrika året (2019) samt lägst under det nederbördsfattiga året (2013) och varierar däremellan beroende av nederbördsmängdens variation. Bräddningen beror av hur ofta magasinet är fullt och är som störst under 2009, 2012 och 2019 samt lägst under 2013, 2014, 2016 och 2017.



Figur 18: Stålverk 64 simulerat under tidsperioden 2008-2019 med magasinstorleken 1500 m³ där årsmedelvärde av effektivitet (utflödet ur magasinet dividerat med förbrukningsbehovet) och årssumman av brädning (röd kurva) åskådliggörs för respektive år.

Effektiviteten för Stålverk 64 vid olika magasinstorlekar redovisas i Figur 19. Effektiviteten ökar med ökande magasinstorlek för de tre perioderna (2013, 2019 och 2008-2019) med orsak av att mer nederbörd kan samlas in i samband med att brädningen minskar med större magasin. Kurvorna planar ut mellan magasinstorlekarna 1500 m³ och 2000 m³ vilket tyder på att nästan allt tillgängligt regnvatten samlats in. För magasinstorleken 1500 m³ varierar effektiviteten i spannet 54-77 % mellan perioderna medan det för magasinstorleken 2000 m³ är en variation i spannet 55-79 %. Med hänsyn till den högre kostnaden utan allt för stor skillnad i effektivitet bedömdes därför magasinstorleken 1500 m³ som en rimlig föreslagen magasinstorlek vilket diskuteras vidare i avsnitt 6.2.3.



Figur 19: Jämförelse av årsmedelvärdet för effektivitet (utflödet ur magasinet dividerat med förbrukningsbehovet) med ökande magasinstorlek under de olika tidsperioderna; 2013 (gul kurva), 2019 (orange kurva) och 2008-2019 (blå kurva) för Stålverk 64.

Effektiviteten för respektive tidsperiod och magasinstorlek redovisas i Tabell 4. För de tre kurvorna i Figur 19 följs mönstret av variation i nederbörd; störst nederbörds mängd 2019 ger högst effektivitet, lägst nederbörds mängd 2013 ger lägst effektivitet och sedan är ett genomsnittligt år under den genomsnittliga perioden 2008-2019 däremellan. Störst magasinstorlek ger även högst effektivitet medan minst magasinstorlek ger lägst effektivitet.

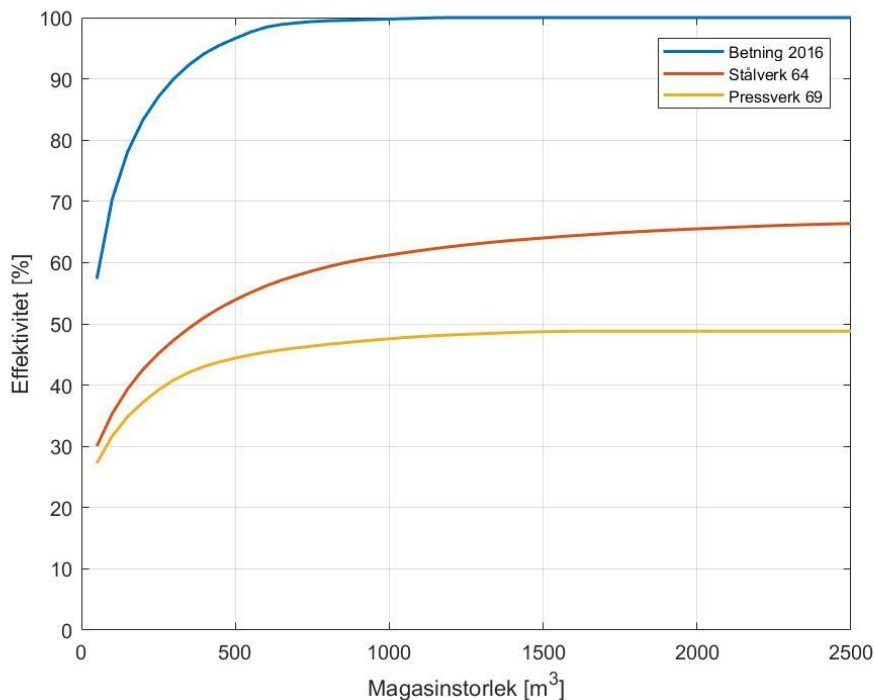
Tabell 4: För varje magasinstorlek redovisas effektiviteten för respektive tidsperiod gällande Stålverk 64. 1500 m³ valdes som föreslagen magasinstorlek, denna är markerad med fetstil i tabellen.

	2013	2008-2019	2019
Magasinstorlek [m ³]	Effektivitet [%]	Effektivitet [%]	Effektivitet [%]
250	43	45	52
500	49	54	63
750	51	59	68
1000	52	61	72
1250	53	63	75
1500	54	64	77
1750	55	65	79
2000	55	66	79

5.2.2 Effektivitet vid begränsad tillgång till lagring

Valet av föreslagen lokalisering utgick från lokala förutsättningar samt en jämförelse mellan de tre industriprocesserna Betning 2016, Stålverk 64 och Pressverk 69 som jämfördes över hela tidsperioden (2008-2019) med avseende på effektivitet. Enligt Figur 20 ses att kurvan för Betning 2016 har högst effektivitet av dem alla och maximalt uppnår en effektivitet på 100 % vid magasinstorleken 800 m³ där den sedan planar ut. Kurvan för Stålverk 64 uppnår en maximal effektivitet på 66 % vid magasinstorleken 2500 m³ men har redan vid magasinstorleken 2000 m³ börjat plana ut och kan där avrundas till 66%. Kurvan för Pressverk 69 visar på lägst effektivitet av dem alla och uppnår en maximal effektivitet på 49 % som visas vid magasinstorleken 1500 m³ där kurvan sedan planar ut.

Större storlekar av magasin än nämnda i Tabell 5 skulle inte för någon av industriprocesserna öka effektiviteten i tillräcklig grad gentemot den ökade kostnaden eftersom kurvorna i Figur 20 i princip planat ut. Vidare diskussion för valet av lokalisering ses i avsnitt 6.2.2.



Figur 20: Jämförelse mellan de tre industriprocesserna Betning 2016 (blå kurva), Stålverk 64 (orange kurva) och Pressverk 69 (gul kurva) med avseende på effektivitetens årsmedelvärde (utflödet ur magasinet dividerat med förbrukningsbehovet) med ökande magasinstorlek under tidsperioden 2008-2019.

Tabell 5: För respektive industriprocess redovisas maximal effektivitet och vid vilken magasinstorlek det inträffar. Stålverk 64 valdes som föreslagen lokalisering och är därför markerad i fetstil.

Industriprocess	Magasinstorlek [m ³]	Maximal effektivitet [%]
Betning 2016	800	100
Stålverk 64	2000	66
Pressverk 69	1500	49

5.2.3 Effektivitet vid obegränsad tillgång till lagring

För att se potentialen kring att samla in regnvatten hos hela verksamheten simulerades flödesberäkningar i ett scenario där beräkningen tog hänsyn till alla takytor på området och totala dricksvattenförbrukningen i industriprocesser vid obegränsad tillgång till lagring. I Tabell 6 ses att effektiviteten under det nederbördsfattiga året 2013 och det nederbördsrika året 2019 blev 28 % respektive 44 % medan effektiviteten för hela perioden 2008-2019 blev 34 %, vilket påvisar sambandet mellan nederbördsmängd och effektivitet.

Tabell 6: Resultat över effektivitet [%] (utflödet ur magasinet dividerat med förbrukningsbehovet) samt insamlad nederbörd [m³] för scenariot beträffande hela anläggningen, utan hänsyn till begränsning av lagringsmöjligheter under de tre olika tidsperioderna: 2013 (nederbördsfattigt år), 2019 (nederbördsrikt år) samt den genomsnittliga tidsperioden 2008-2019.

Årtal	Effektivitet hela anläggning [%]	Insamlad nederbörd [m ³ /år]
2013	28	235910
2008-2019	34	291508
2019	44	372350

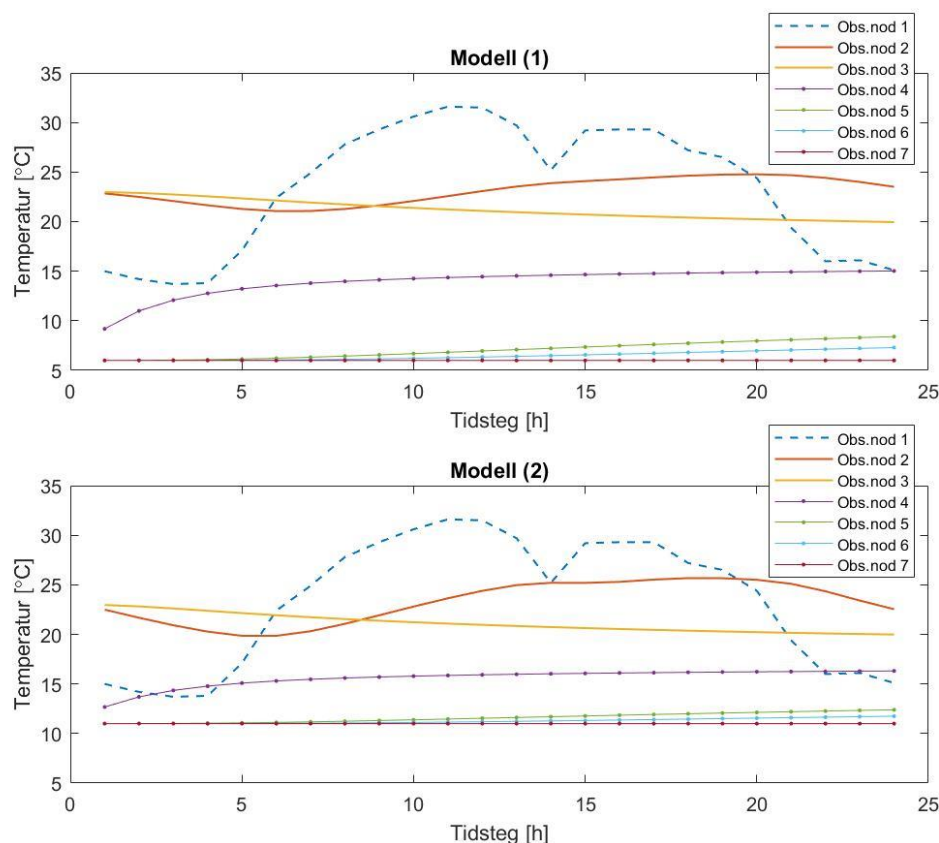
5.3 VÄRMESIMULERINGAR

Temperaturförändringar hos regnvatten i ett magasin samt hos omgivande jord presenteras nedan för modell (1) och modell (2).

I Figur 21 visas temperaturvariationerna hos observationsnoderna i modell (1) och (2). För observationsnod 1 visas i de båda modellerna det tidsvarierande randvillkoret vid vattenvolymens yta som förändras efter lufttemperaturen. Observationsnod 2 representerar en punkt högt upp i vattenvolymen i modell (1) samt en punkt långt till vänster i modell (2). Temperaturen sjunker i observationsnod 2 i de båda modellerna från initialtemperaturen 23 °C (som vattnet anses ha bevarat i form av värme sedan dygnet innan) på grund av den kallare lufttemperaturen och därmed kallare vattenytan. Vid klockslaget 05 på morgonen har temperaturen sjunkit lite lägre i modell (2) där den sedan börjar öka. I modell (1) är inte temperatursänkningen lika stor och temperaturen ökar något senare än i modell (2). Temperaturen i observationsnod 2 ökar när det tidsvarierande randvillkoret (lufttemperaturen/vattenytatemperaturen) korsar kurvan i de båda modellerna. Ökningen sker dock inte i samma grad som det tidsvarierande randvillkoret vilket tyder på att vatten kyls av i marken jämfört med hur lufttemperaturen förändras. Under dygnet blir temperaturen i observationsnod 2 maximalt 25 °C i modell (1) och 26 °C i modell (2) och återgår i slutet till initialtemperaturen 23 °C i de båda modellerna.

Observationsnod 3 visar temperaturförändringen längre ned i vattenvolymen och där ses att temperaturen sjunker från initialtemperaturen 23 °C till 20 °C i de båda modellerna. Vid gränsskiktet mellan jord och vatten men i den övre delen av jorden, som representeras av observationsnod 4 i de båda modellerna, ses i modell (1) att marken värms upp från sin initiala temperatur 6 °C till 15 °C medan marken värms upp från sin initiala temperatur 11 °C till ca 16 °C i modell (2). Längre ned i marken (observationsnod 5, 6, och 7) ses för

de resterande kurvorna i båda modellerna att temperaturen ökar till viss del men allt mindre desto längre ned i marken som nivån ligger. För den sista observationsnoden (7) visas inte längre någon temperaturförändring i någon av modellerna och denna är placerad ca 1,5 m från vattenvolymen.



Figur 21: Temperaturförändringar hos de sju observationsnoderna i modell (1) (övre graf) och modell (2) (undre graf) under det varma dygnet den 26:e juli 2014 där lufttemperaturdata är hämtat från SMHI:s station "Gävle A" som befinner sig 30 km bort från industriområdet. För både modell (1) och modell (2) visar de blå kurvorna det tidsvarierande randvillkoret, de orangea och gula kurvorna visar temperaturvariationen hos observationsnoder i regnvattenvolymen, resterande kurvor med punkter visar temperaturvariationer hos observationsnoder i jordvolymen. Ca 1,5 m bort från regnvattenvolymen är temperaturen konstant i både modell (1) och modell (2).

Vid en jämförelse mellan hur temperaturen varierar som en funktion av tiden i modell (1) och i modell (2) ses att kurvorna för observationsnoder liknar varandra i hög grad. Eftersom initialtemperaturen är lägre i skikt 2 modell (1) än i skikt 2 modell (2) blir temperaturförändringarna inte lika stora i modell (2) som i modell (1). Det medför också att en högre temperatur nås snabbare i modell (2) än modell (1) för till exempel observationsnod 4. Skillnaden i maximal temperatur mellan modellerna blev 1 °C. Modellerna visar därmed på liknande samband för både lodrät och horisontell värmetransport.

6 DISKUSSION

I avsnittet nedan diskuteras resultaten från studien genom att redovisa Sandvik AB:s möjligheter att samla in och lagra regnvatten med hänsyn till lagstiftning kring vatten, kvalitet på regnvatten samt temperatur hos regnvatten i ett magasin. Förslaget av utformning, storlek och lokalisering av magasinet samt dess variation i effektivitet både i mindre skala i industriprocess och översiktlig skala diskuteras, precis som osäkerheter och framtida implementeringar av regnvatteninsamling också gör.

6.1 VERKSAMHETENS MÖJLIGHETER ATT SAMLA IN REGNVATTEN MED HÄNSYN TILL LAGSTIFTNING

Sandvik AB har idag de tillstånd som krävs för att bedriva sin verksamhet, vilket inkluderar kyldammens funktion som en invallad del av Storsjön där kylvatten cirkuleras. De lagar som kan gälla vid anläggandet av en regnvatteninsamling med tillhörande lagring är främst kopplade till 9 kap. och 11 kap. (SFS1998:808). Mer specifikt har 1§ och 2§ 9 kap. (SFS1998:808) betydelse för huruvida regnvatten kan definieras som avloppsvatten och därmed kräva tillstånd för miljöfarlig verksamhet eller om det kan anses vara markavvattning enligt 2§ 11 kap. (SFS1998:808) och därmed kräva tillstånd för vattenverksamhet. I diskussion med tekniskt råd från mark- och miljödomstolen i Östersund⁵ har utredningen resulterat i bedömningen att Sandvik inte behöver söka nya tillstånd beträffande miljöfarlig verksamhet eller vattenverksamhet enligt 9 och 11 kap (SFS1998:808). Detta med orsak av att tillstånd redan finns för nuvarande verksamhet. Bedömningen är därför att gällande miljötillstånd också omfattar insamling av regnvatten från takytor som likvärdigt dagens kylvatten också ska cirkuleras i kylsystemet. Dock kan det krävas vägledning från tillsynsmyndighet för bättre kännedom kring om den här förändringen av verksamheten kräver en anmälan enligt 6§ 9 kap. (SFS1998:808). Om exempelvis schaktarbeten måste genomföras kan detta kräva en anmälan och samråd med tillsynsmyndighet. Följaktligen kan tillsynsmyndigheten även föreslå andra åtgärder, exempelvis en plan för att ta hand om farligt avfall.

⁵ Lars-Gunnar Sjölund, e-post, 2021-02-03

6.2 LÄMPLIG UTFORMNING, LOKALISERING OCH STORLEK AV MAGASIN

6.2.1 Val av magasinutformning

Utifrån tabellerna i avsnitt 5.1 blev makadammagasinet värderat med högst potential och den täckta dammen var billigast. Trots den låga kostnaden ansågs möjligheten med en täckt damm vara låg på grund av det tätbebyggda området där marken ovan magasinet behöver kunna tas i anspråk till andra funktioner inom verksamheten. Det billigare makadammagasinet och dyrare avsättningsmagasinet jämfördes därför vidare och trots att tabellerna i avsnitt 5.1 visar en lägre kostnad samt högre potential för makadammagasinet valdes avsättningsmagasinet som förslag. Orsaken var för stora osäkerheter kring utformningen av makadammagasin hos potentialbedömningen och kostnadsbedömningen. Det fanns ingen tydlig skillnad i kostnad för ett makadammagasin ovan och under markyta. Dessutom togs magasinstorleken i beaktan vid det slutgiltiga valet, där ett makadammagasin behöver en större totalvolym för att magasinera samma vattenvolym som avsättningsmagasinet till följd av att stenarna tar upp en viss volym. Detta innebar att makadammagasinet gavs en kostnad per m^3 magasin trots att det inte är samma volym m^3 vatten som kan magasineras, vilket det är för avsättningsmagasinet. För att makadammagasinet skulle kunna magasinera samma vattenvolym som avsättningsmagasinet krävdes därför större magasinvolym vilket ökade kostnaden och osäkerheten kring denna.

Möjligheterna för variation av material och typ av avsättningsmagasin är stora. Som exempel kan avsättningsmagasinet utgöras av ett rätblock (en ihålig 3D-variant av en rektangel) som är konstruerad i betong eller polypropen. Annars kan även flera rörtankar eller kassetter i polypropen vara möjliga utformningar. Om kassetter väljs är det dock viktigt att ha porvolymen i åtanke, eftersom det blir detsamma som i fallet med makadammagasinet där det krävs en större dimensionering för att kunna ta emot samma vattenvolym.

6.2.2 Val av lokalisering

Utifrån jämförelsen mellan de tre olika lokaliseringarna i Figur 20 blev Betning 2016 den industriprocess som hade högst effektivitet, maximalt 100 % redan vid magasinstorleken $800 m^3$. Orsaken till den höga effektiviteten är att processen är nybyggd och därmed mer resurseffektiv än övriga industriprocesser. Processen undersöktes inte vidare eftersom

den inte representerar en generell industriprocess i verksamheten ur vattenförbrukningssynpunkt. Stålverk 64 fick en maximal effektivitet på 66 % vid magasinstorleken 2000 m³. För denna process krävs mycket större lagring i jämförelse med betningen och effektiviteten är väsentligt lägre. Trots det valdes den industriprocessen som föreslagen lokalisering eftersom den, gentemot Betning 2016, representerar en generell industriprocess i verksamheten ur vattenförbrukningssynpunkt. Pressverk 69 fick ännu lägre effektivitet, maximalt 49 % vid magasinstorleken 1500 m³. Anledningen till att den inte valdes var på grund av den lägre effektiviteten samt att takytan inte var i samma anslutande närhet till var magasinet skulle vara möjligt att anlägga som vid de två andra processerna.

6.2.3 Val av magasinstorlek

Effektiviteten med ökande magasinstorlek under olika tidsperioder presenterades närmare för Stålverk 64. Det visade sig, precis som i fallet för hela anläggningen, att effektiviteten blev som högst för det nederbördsrika året (79 %) och som lägst för det nederbördsfattiga året (55 %) vilket tyder på ett samband mellan nederbörd och effektivitet. Med ökande magasinstorlekar ses för alla perioder i Figur 19 att effektiviteten ökar till en viss magasinstorlek eftersom bräddningen avtar med större magasin och till slut insamlas all nederbörd som faller på takytan. Den maximala effektiviteten nåddes vid en magasinstorlek av ca 2000 m³ men på grund av att förändringen i % var mycket liten för de största magasinvolymerna föreslogs ett magasin med storleken 1500 m³. Detta skulle enligt Tabell 1.1 i Bilaga 1 ge en kostnad på minst 11 miljoner kr för anläggandet. Att anlägga ett 500 m³ större magasin för ytterligare ca 4 miljoner kr när så liten ökning i effektivitet tillgodogörs är inte till någon rimlig nytta. Ett ännu mindre magasin med lägre effektivitet hade givetvis kunnat väljas för ännu lägre kostnad. I slutändan blev enligt Tabell 4 i avsnitt 5.2.1 effektiviteten 54 % under 2013, 64 % under perioden 2008-2019 och 77 % under 2019 för magasinstorleken 1500 m³. Detta speglar framtidens scenarion med torka och översvämningar. Vid torka kommer magasinet möjliggöra magasinering av regnvatten vilket också kan ersätta dricksvatten, men ersättningen kommer inte ske i lika hög grad som vid översvämningar då magasinet kan ersätta mer dricksvatten och dessutom ge positiva konsekvenser till följd av att regnvatten fördröjs.

6.2.4 Variation i effektivitet - Stålverk 64

Vid simulering av Stålverk 64 med magasinstorleken 1500 m³ under hela tidsperioden (2008-2019) (se Figur 18) visade årsresultaten att effektiviteten generellt påverkas av nederbörds mängd och månadsvariationen hos effektivitet (Figur 17) visade på samma samband men avviker delvis på grund av bräddning och snölagring. Om nederbörds mönstret dygnsvis är ogynnsamt och faller under enstaka dygn med långt mellanrum kommer bräddningen öka och orsaka lägre effektivitet jämfört med om nederbörden faller mer jämnt fördelat över fler dygn. Därmed behöver inte störst månadsnederbörd (se avsnitt 4.3.2) innebära högst effektivitet (exempelvis oktober 2019 i Figur 17). Snö som lagrats på taket smälter enligt simuleringen vid plusgrader och om hela december bestod av minusgrader fylls magasinet enbart på i början av nästkommande år istället för föregående år när nederbörden egentligen föll. Detta orsakar högre effektivitet än vad som förväntats utifrån nederbörds mängden (se avsnitt 4.3.2), exempelvis januari 2013 jämfört med januari 2019 i Figur 17, där effektiviteten borde vara högre under januari 2019 på grund av större nederbörds mängd. Månadsvis under ett nederbördsfattigt år (2013) är effektiviteten högre under sommaren på grund av mer nederbörd och under ett nederbördsrikt år (2019) är effektiviteten högre både under sommar och senhöst med orsak av mer nederbörd. Detta tyder på att det är specifikt under sommaren som en regnvatteninsamling kommer vara till störst hjälp. Även simuleringarna dygnsvis (Figur 16) visade att effektiviteten var 100 % de flesta dyggen under juni vilket påvisar nyttan med systemet under sommaren.

6.2.5 Variation i effektivitet - Hela anläggningen

Från simuleringen med hela anläggningen och därmed alla taktytor och hela dricksvattenförbrukningen för industriprocesser visade resultaten att effektiviteten under en genomsnittlig period blev 34 %, medan den för en nederbördsfattig period blev 28 % och för en nederbördsrikt period 44 % utan begränsad tillgång till lagring. Det betyder att effektiviteten för hela anläggningen är relativt låg (lägre än för de andra industriprocesserna individuellt). Takytorna är helt enkelt inte tillräckligt stora i jämförelse med hur mycket vatten som förbrukas på hela industriområdet. Under olika månader inom dessa perioder varierar dock effektiviteten beroende på nederbörds mängder enligt vad simuleringarna för Stålverk 64 med magasinstorleken 1500 m³ visade. Regnvatteninsamling för hela anläggningen skulle därför ändå vara ett

bra alternativ och medverka till att dricksvatten inte behöver användas i lika stor skala, samtidigt som det kan fungera som reserv till kyldammen när den blir för varm under sommaren. Dessutom kommer vattenmagasin vara en viktig reserv i framtiden vid torka och översvämningar, för att både kunna lagra och fördröja regnvatten på området.

6.3 REGNVATTNETS MÖJLIGHET ATT ERSÄTTA DRICKSVATTEN I VERKSAMHETENS KYLSYSTEM MED HÄNSYN TILL TEMPERATUR OCH KVALITET

Värmesimuleringarna bekräftade att värmeledning sker med orsak av en differens i temperatur vilket skapar molekylrörelser från den varmare till den kallare delen i marken (SGI 1995) eftersom det tydligt ses i båda modellerna att regnvatten kyls av i ett magasin medan marken värms upp. En annan studie av Foulquier et al. (2009) har också påvisat att marken värms upp under ett dagvattenmagasin. Risken med uppvärmningen blir dock också att marken inte kan kyla regnvattnet om den bibehåller värmen under lång tid. Om flera dygn är extremt varma bör temperaturvariationer hos regnvatten i ett magasin undersökas närmare för en längre tidsperiod.

Under ett varmt sommardygn visades i Figur 21 att regnvattenvolymen som är i närmast anslutning till markytan och den varierande lufttemperaturen ökar i temperatur till 25-26 °C och återgår till sin initialtemperatur innan dygnet är slut. Regnvattenvolymen på den djupare nivån sjönk däremot till 20 °C. Eftersom modellerna enbart visar temperaturförändringar i observationsnoder och utan omblandning skulle antagligen temperaturen med omblandning bli mellan 20 °C och 26 °C under ett varmt sommardygn som haft varma dygn sedan innan. Enligt resultatet kan vattnet därmed vara för varmt för att användas som kylvatten under ett varmt sommardygn. För att använda regnvatten som kylvatten är egentligen den maximala temperaturen kring 20 °C. Att temperaturen i simuleringarna redan är 23 °C från start och även återkommer till det värdet är på grund av att den är ansatt så utifrån lufttemperaturdatat och förutsätter att det varit varmt flera dygn tidigare. Det innebär att om det är ett kallare dygn innan det extremt varma dygnet så kommer inte initialtemperaturen vara lika hög, vilket även leder till en lägre maximal- och sluttemperatur under det varma dygnet. I verkligheten är det antagligen inte upp emot 31 grader varmt under flera dygn i rad, vilket innebär att vattnet under de allra flesta sommardygn kommer vara tillräckligt svalt för att användas i kylsystemet. Under 2014 var det enbart ytterligare två dygn som nästan var lika varma (den 4:e augusti och 23:e

juli) vilket påvisar att risken för några timmar med för varmt regnvatten under ett dygn är liten och enbart sker vid ett fåtal tillfällen. I framtiden finns dock risken att värmeböljor blir längre vilket i sådana fall bör undersökas närmare.

Eftersom området är ett industriområde ökar risken för föroreningar i regnvattnet (enHEALTH 2010) men risken minskar också på grund av att regnvatten enbart rinner på tak och inte över marken. På taket kommer dock fysikaliska, mikrobiologiska och kemiska föroreningar påverka kvaliteten hos regnvattnet (Abbasi och Abbasi 2011) med hänsyn till att de flesta tak är täckt med papp samt har låg lutning. Om föroreningsmängden ska minska behöver taken underhållas precis som magasinet. Inom verksamheten används idag backspolande sandfilter till det dagvatten som finns i kyldammen vilket innebär att det även bör räcka för regnvatten som samlas in från takytor. Om därtill ett sandfång används före magasinet (för att inte tilloppet ska täppas igen eller magasinet fyllas med sediment) förbättras kvaliteten ytterligare. Regnvattnet kan under vissa få dygn vara för varmt för att användas i kylsystemet och det är även delvis förorenat när det hamnar på taket, men utifrån den rening som finns inom verksamheten idag samt den temperatur som krävs så kommer systemet bibehålla en god funktion de allra flesta dygn. Detta bekräftas också av de andra studier som togs upp i avsnitt 2.1.3 eftersom studierna erhöll goda resultat av att använda regnvatteninsamling för att täcka behovet av kylvatten. Med klimatförändringar och varmare temperaturer ökar dock risken för varmare regnvatten i ett magasin eftersom det ökar antalet dygn när dessa extremt varma dygn äger rum.

6.4 OSÄKERHETER

Gällande kostnader finns stora osäkerheter eftersom de utgår från rapporter där schablonvärden tagits i beaktan under olika år. Dessutom står det inte alltid klart och tydligt vad som ingår i dessa kostnader i och med anläggandet och priset varierar stort beroende på lokala markförutsättningar. Följaktligen adderas i slutändan även kostnader för bland annat drift, underhåll, projektledning, byggherre och bygglov. Tabellen i avsnitt 5.1 ger i alla fall en indikation kring kostnadsskillnaden mellan de olika utformningarna även om den inte helt säkert kan påvisa vad ett magasin skulle kosta för Sandvik AB:s verksamhet.

Flödesberäkningarna är osäkra med hänsyn till valet av avrinningskoefficienten som beror av olika typer av tak och ansattes till ett generellt värde för tak (Svenskt Vatten

2016) vilket kan orsaka fel i resultatet eftersom takens utformning delvis varierar på industriområdet. Osäkerheter i förbrukningsdata är okänd och förbrukningsdata ansattes konstant dygnsvis under året vilket leder till en del fel, i verkligheten varierar antagligen förbrukningen under året. Gällande simuleringen i MATLAB användes dygnsmedeltemperaturen hos luften vilket orsakar en del fel i de fall som det är plusgrader under dagen men minusgrader under resterande del av dygnet som drar ned medeltemperaturen till negativ vilket i simuleringen inte ger någon snösmältning trots att det skett i verkligheten. Dessutom antogs all snö smälta på en gång vid plusgrader, orsaken till antagandet är att taken inom verksamheten är dåligt isolerade samtidigt som industriprocesser skapar mycket värme vilket resulterar i att snön smälter på taken även vid minusgrader. I simuleringen togs enbart hänsyn till smältning under plusgrader eftersom det först ansågs vara ett rimligt villkor men i verkligheten kommer det alltså vid ett dygn med plusgrader antagligen smält mer än vad simuleringen skulle visat om smältning skett genom användning av en graddagsmetod (Arnér 1991). Resultatet hade visat på en ännu större fördröjning i effektivitet med en graddagsfaktor eftersom snön smälter långsammare och effektiviteten hade då blivit högre under våren och lägre under vintern. Därmed togs beslutet att all lagrad snö smälte vid plusgrader vilket antagligen fortfarande skapar en fördröjning i effektivitet jämfört med i verkligheten där snö smält under en längre tid trots minusgrader. I den här studien var dock sommarperioden av störst intresse vilken inte påverkades av antagandet. Om snösmältningen undersöks för taken på industriområdet och en graddagsfaktor bestäms skulle den kunna användas för mer tillförlitliga resultat under vinterhalvåret.

Värmsimuleringarna grundades på antaganden och simplificerades med en 1D-modell på grund av komplexiteten av att använda en 3D-modell. Syftet var att få en indikation på hur värmeöverföringen kan ske och inte att få exakta resultat. Skikten antogs vara två i respektive modell för att underlätta simuleringen men i verkligheten är antagligen jorden av flera olika jordtyper. För att få effekten av att temperaturen hos regnvatten påverkas, var vattenvolymen tvungen att placeras högst upp i modell (1) och längst till vänster i modell (2) vilket gjorde att magasinet simulerades vid markytan i modellerna och inte en bit under markytan som borde varit fallet i verkligheten. Dessutom tas inte hänsyn till värmeöverföringen genom materialet som magasinet är konstruerat av och det antas inte heller att någon omblandning sker. I övrigt är det ansatta temperaturer som leder till osäkerheter. Det fanns svårigheter med att hitta data över hur marktemperatur förändras

nedåt i marken och den data som hittades är från olika källor och olika år. Det säkerställdes dock utifrån litteraturstudien att temperaturförändringar sker långsammare djupare ned i marken (SMHI 2020) vilket togs hänsyn till genom att använda litteraturvärden för olika djup. En annan påverkande faktor är att markytan oftast är varmare än marken under dagen och kallare under natten (SMHI 2020) vilket i verkligheten också påverkas av vädret. Under soltimmar kan markytan bli varmare än lufttemperaturen och i andra fall kan den bli kallare vilket inte tas hänsyn till i simuleringarna. I slutändan antogs ändå värden i spannen som hittats genom litteraturstudien och med hjälp av det genomfördes så verklighetstroga simuleringar som var möjliga i denna studie.

Enligt avsnitt 2.2 sker temperaturflöden främst genom värmeledning vid normala marktemperaturer (SGI 1995) och hur det sker påverkas av parametrar som mineralinnehåll, densitet, vatteninnehåll samt struktur och kornstorleksfördelning (Byggeforskningsrådet 1986). Med hjälp av information från Sandvik AB ansattes dessa parametrar så verklighetstroget som möjligt men givetvis speglas inte verkligheten exakt av de uppbyggda modellerna vilket ger en del osäkerheter. Dessutom kan fel uppstå med orsak av att fritt vatten inte kunde ansättas i HYDRUS-1D.

6.5 REKOMMENDATIONER FÖR IMPLEMENTERING AV REGNVATTENINSAMLING

Resultatet från denna studie visar att det finns god potential gällande att samla in regnvatten och ersätta dricksvatten inom Sandviks verksamhet med hänsyn till de simuleringar som genomförts. Det finns dock många aspekter som kan vara intressanta att undersöka vidare i framtiden.

Generellt gällande utformningen av magasinet kan materialtyp och form diskuteras vidare för att bestämmas mer exakt. Som nämnts i avsnitt 2.1.1 finns många olika typer av avsättningsmagasin som rörtankar och kassetter konstruerade av polypropen eller andra typer av utformningar konstruerade av betong. Vad som väljs ur materialsynpunkt bör undersökas vidare med hänsyn till kostnader, miljöpåverkan och underhåll. I denna studie fokuserades valet på att översiktligt välja typ av magasinutformning men inte vidare noggrant specificera material och form, vilket skulle vara intressant att utreda vidare.

Hur systemet ser ut från tak till magasin med rör, pumpar etcetera skulle kunna undersökas noggrannare för att beräkna mer exakta kostnader gällande anläggande av

magasin. Även kostnader för underhåll skulle behöva inkluderas tydligare. Om andra möjligheter beträffande lokalisering av magasin finns och om markyta kan tas i anspråk så kan även andra magasinutformningar undersökas som aktuella för verksamheten.

Som industriområdet ser ut idag skulle fler tak kunna kopplas på till en regnvatteninsamling för att öka effektiviteten ytterligare, ett samarbete med byggnader i närheten som Göransson Arena kanske hade kunnat vara aktuellt för att gynna användningen av vattenresurser. Vid brist på plats för lagring kan även befintliga magasin på området användas. Det finns cisterner som tidigare använts till att förvara olja, om dessa saneras skulle de kunna fungera som magasin för regnvatten.

Med avseende på klimatförändringar och problem med torka och översvämningar i framtiden så kommer verksamheten gynnas av att ett magasin anläggs och används för att magasinera och fördröja regnvatten. Om inte flera magasin kan anläggas separat för flera industriprocesser hade en stor fördröjning av hela dagvattennätet kunnat vara aktuell.

7 SLUTSATSER

Syftet med examensarbetet var att undersöka möjligheterna beträffande att samla in och lagra regnvatten för att ersätta dricksvatten i kylsystemet hos Sandvik AB. Med hänsyn till lagstiftning bedömdes att det inte finns några hinder för verksamheten att samla in och lagra regnvatten, enbart samråd med tillsynsmyndigheten angående lov för anläggande av regnvatteninsamlingen kan krävas. För ett scenario med regnvatteninsamling hos hela verksamheten skulle effektiviteten för att ersätta dricksvatten med regnvatten maximalt bli 44 %. Utformning och storlek av magasin med hänsyn till lokala förutsättningar resulterade i ett förslag på ett avsättningsmagasin vid Stålverk 64, konstruerat till exempel av betong i form av ett ihåligt rätblock, med storleken 1500 m³ och en anläggningskostnad på minst 11 miljoner kr. Effektiviteten för den föreslagna regnvatteninsamlingen blev 77 % under ett nederbördsrikt år, 54 % under ett nederbördsfattigt år samt 64 % under ett genomsnittlig år, vilket är ett mer gynnsamt resultat än scenariot för hela anläggningen. Regnvatteninsamling kommer vara till störst hjälp under sommaren eftersom effektiviteten för både ett nederbördsrikt och nederbördsfattigt år generellt var som högst under sommarperioden.

Värmesimuleringarna med regnvattenlagring i ett avsättningsmagasin under markytan visade på att problemen kommer bli ytterst få med för varmt regnvatten. Om det händer

att regnvattnet i magasinet blir för varmt för att kunna användas till kylning kommer det antagligen enbart ske något enstaka dygn under ett varmt år. Gällande kvaliteten finns inga ytterligare problem i jämförelse med det dagvatten som idag renas och används i kylsystemet, sandfilter i kylsystemet samt ett sandfång före magasinet bör räcka. Med hänsyn till klimatförändringarna är regnvatteninsamling ett alternativ som särskilt gynnar Sandvik AB:s verksamhet i form av att fördröja vatten vid större nederbörds mängder samt magasinera vatten vid mindre nederbörds mängder. Möjligheterna för att samla in och lagra regnvatten är goda på industriområdet och kan utvecklas ytterligare om större lagringsmöjligheter kan anses vara tillgängliga.

REFERENSER

- Abbasi, T. och Abbasi, S. T. (2011). Sources of pollution in rooftop rainwater harvesting systems and their control. *Critical reviews in environmental science and technology*. 41 (23), 2097-2167. <https://dx.doi.org/10.1080/10643389.2010.497438>
- An, J. K., Lam, F. Y., Hao, S., Morakinyo, E. T. och Furumai, H (2015). Multi-purpose rainwater harvesting for water resource recovery and the cooling effect. *Water research*. 86: 116-121. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.07.040>
- Antoniou, G., Kathijotes, N., Spyridakis, D.S. och Angelakis, A.N. (2014). Historical development of technologies for water resources management and rainwater harvesting in the Hellenic civilizations. *International journal of water resources development*. 30 (4), 680-693. <https://dx.doi.org/10.1080/07900627.2014.900401>
- Arnér, E. (1991). *Simulering av vårflöden med HBV-modellen*. (Rapport 32). Kungliga tekniska högskolan. Institutionen för vattenbyggnad. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:947742/FULLTEXT01.pdf> [2021-04-20]
- Boverket (2015). *Flera lagar reglerar dagvatten*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/temadelar-detaljplan/dagvatten-i-detaljplan/flera-lagar-reglerar-dagvatten/> [2021-01-21]
- Boverket (2020). *Regelhierarki – från lag till allmänt råd*. <https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/regelhierarki/> [2021-01-21]
- Byggnadsrådet, Sundberg J (1986). *Värmeöverförande egenskaper i svenska jordarter*. (R104:1986). Stockholm. https://www.byggnadsmaterial.lth.se/fileadmin/byggnadsmaterial/BFR-publ/BFR_1986-R104.pdf [2021-02-26]
- Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M. J., Friedler, E., Debusk, K., Fisher-Jeffes, L. N., Ghisi, E., Rahman, A., Furumai, H. och Han, M. (2017). Urban rainwater harvesting systems: research, implementation and future perspectives. *Water research*. 115: 195-209. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>
- Ekvall, J., Strand, M., Lindgren, G., Johansson, T., Nilsson, H., Enarsson, P., Thörnelöf, S., Hjort, G., Sjölander, L. och Larm, T. (2001). *Rening av dagvatten. Exempel på åtgärder och kostnadsberäkningar*. Stockholm. <https://docplayer.se/10963883-Del-3-exempelpa-atgarder-och-kostnadsberakningar-dagvattenstrategi-for-stockholm.html> [2021-02-22]
- enHEALTH (2010). *Guidance on use of rainwater tanks*. ISBN 978-1-74241-326-6. Australia. [https://www1.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/0D71DB86E9DA7CF1CA257BF0001CBF2F/\\$File/enhealth-raintank.pdf](https://www1.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/0D71DB86E9DA7CF1CA257BF0001CBF2F/$File/enhealth-raintank.pdf) [2021-01-27]
- Europeiska miljöbyrån (2020). *Klimatförändringarna och vattnet – varmare hav, översvämningar och torka*. <https://www.eea.europa.eu/sv/miljosignaler/miljosignaler-2018/artiklar/klimatforandringarna-och-vattnet-2013-varmare> [2021-04-27]
- Foulquier, A., Malard, F., Barraud, S. och Gibert, J. (2009). Thermal influence of urban groundwater recharge from stormwater infiltration basins. *Hydrological processes*. 23: 1701-1713. <https://doi.org/10.1002/hyp.7305>

- Freni, G. och Liuzzo, L. (2019). Effectiveness of rainwater harvesting systems flood reduction in residential urban areas. *Water*. 11 (7), 1389. <https://doi.org/10.3390/w11071389>
- Havs- och Vattenmyndigheten (2015). *Juridiken kring vatten och avlopp*. 2015:15. <https://www.havochvatten.se/download/18.596b74d91518c04d1819127/1462284791685/rapport-2015-15-juridiken-kring-vatten-och-avlopp.pdf> [2021-01-22]
- Helmreich, B. och Horn, H. (2008). Opportunities in rainwater harvesting. *Desalination*. 240: 118-124. <https://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.046>
- Hviid, C. A., Zukowska-Tejsen, D. och Nielsen, V. (2020). Cooling of schools – results from a demonstration project using adiabatic evaporative cooling with harvested rainwater. *E3S Web of Conferences*. 172 (02003). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017202003>
- Institutionen för geovetenskaper (2021). Data över markttemperaturer i Uppsala under 2020-2021. [2021-03-31]
- IVL Svenska miljöinstitutet (2015). *Aktiva badhus*. (B 2231). Stockholm. <https://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b76cf/1446478783895/B2231.pdf> [2021-01-27]
- Jamali, B., Bach, M. P. och Deletic, A. (2019). Rainwater harvesting for urban flood management-an integrated modelling framework. *Water research*. 171: 115372. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115372>
- Jordbruksverket (2020). *Vattenverksamhet och vattenanläggningar*. <https://jordbruksverket.se/vaxter/odling/vattenhushallning/vattenverksamhet-och-vattenanlaggningar> [2021-01-22]
- Klimatanpassning (2019). *Fördröjningsmagasin för dagvatten i Norrköping*. <http://www.klimatanpassning.se/exempel/fordrojningsmagasin-for-dagvatten-i-norrkoping-1.106863> [2021-02-24]
- Koenig, W. K. (2014). Rainwater harvesting: Vortex filters make cost savings at German hospital. *Filtration + separation*. 51 (1), 36-38. [https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(14\)70035-7](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(14)70035-7)
- Lee, Y. J., Bak, G. och Han, M. (2011). Quality of roof-harvested rainwater – comparison of different roofing materials. *Environmental pollution*. 162: 422-429. <https://doi-org.ezproxy.its.uu.se/10.1016/j.envpol.2011.12.005>
- Miljösamverkan Västra Götaland (2014). *Handläggarstöd om dagvatten*. <http://extra.lansstyrelsen.se/miljosamverkan/Sv/Documents/2014-handlaggarstod-om-dagvatten.pdf> [2021-01-22]
- MÖD M 2257-13 (2014). Stockholm: Svea hovrätt. <http://markochmiljooverdomstolen.old.domstol.se/Domstolar/markochmiljooverdomstolen/M%202257-13.pdf>
- Nationalencyklopedin (u.å). *Alger*. <https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/alger> [2021-01-27]
- Naturvårdsverket (2019). *Markavvattning*. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-markavvattning> [2021-01-22]

- Naturvårdsverket (2020). *Dagvatten*. <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Vatten/Avloppsvatten/Dagvatten/> [2021-01-22]
- Nielsen, L. och Ovik, A. (2018). *Dagvatten, vem har ansvaret?* Högskolan väst. Lantmäteringenjörsprogrammet. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1232348/FULLTEXT01.pdf> [2021-01-22]
- Norconsult (2011). *Dagvattenutredning Bostäder vid Majstångsgatan*. Nr 102 13 42 Göteborg. [https://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/Kungsladug%C3%A5rd%20-%20140%20nya%20l%C3%A4genheter%20vid%20Majst%C3%A5ngsgatan%20-Plan%20-%20samr%C3%A5d-Dagvattenutredning/\\$File/dagvattenutredning.pdf?OpenElement](https://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/Kungsladug%C3%A5rd%20-%20140%20nya%20l%C3%A4genheter%20vid%20Majst%C3%A5ngsgatan%20-Plan%20-%20samr%C3%A5d-Dagvattenutredning/$File/dagvattenutredning.pdf?OpenElement) [2021-02-24]
- Olsson, J. (2010). Förbättrad vattenanvändning på Björnekulla fruktindustrier AB. Högskolan Kristianstad. VA- och kretsloppsteknikprogrammet. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:419772/FULLTEXT02.pdf>. [2021-01-27]
- Ramböll (2018). *Kvarnliden 7 – Dagvattenutredning*. Nr 1320024765 Göteborg. <https://docplayer.se/110562047-Kvarnliden-7-dagvattenutredning.html> [2021-02-23]
- Sandvik (2016). *Statusrapport mark och grundvatten*. [2021-01-29]
- Sandvik (2019). *Miljörapport 2019*. [2021-01-29]
- SFS1998:808 (1998). *Miljöbalken*. Stockholm: Miljödepartementet.
- SFS2006:412 (2006). *Lagen om allmänna vattentjänster*. Stockholm: Miljö- och energidepartementet.
- SFS2010:900 (2010). *Plan- och bygglagen*. Stockholm: Finansdepartementet.
- Simunek, J., Sejna, M. och Van Genuchten, M. Th. (2013). *The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media*. Department of environmental sciences. University of California Riverside. Riverside, California. [Hydrus-1D, Version 3.0, Manual \(pc-progress.com\)](http://www.cse.cnr.it/~simunek/Hydrus-1D_V3.0_Manual.pdf) [2021-04-05]
- SLU (2002). *Marktemperatur*. <http://www.vaxten.slu.se/marken/marktemperatur.htm> [2021-04-23]
- SMHI (2015). *Framtidsklimat i Gävleborgs län*. (Klimatologi Nr 36). https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.95711!/Menu/general/extGroup/attachmentColHold/mainCol1/file/Framtidsklimat_i_G%C3%A4vleborgs_l%C3%A4n_Klimatologi_nr_36.pdf [2021-01-26]
- SMHI (2018). *Hur beräknas medeltemperatur?* <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/hur-beraknas-medeltemperatur-1.3923> [2021-03-18]
- SMHI (2019). *Markmodeller i klimatberäkningar*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimatmodeller-och-scenarier/markmodeller-i-klimatberakningar-1.5199> [2021-02-26]
- SMHI (2020). *Jordtemperatur*. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/jordtemperatur-1.16143> [2021-02-26]

- SMHI (u.å)[a]. *Lufttemperatur, medelvärde 1 dygn*. <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer#param=airtemperatureMean24h,stations=all,stationid=107420> [2021-02-25]
- SMHI (u.å)[b]. *Nederbörd, summa i dygn*. <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiskaobservationer#param=precipitation24HourSum,stations=all,stationid=106360> [2021-02-25]
- SMHI (u.å)[c]. *Lufttemperatur, timvärden*. <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer#param=airtemperatureInstant,stations=all,stationid=107420> [2021-04-23]
- Statens geotekniska institut – SGI (1991). *Termiska egenskaper i jord och berg – Jan Sundberg*. (Information 12). Linköping. <https://www.sgi.se/globalassets/publikationer/info/pdf/sgi-i12.pdf> [2021-02-26]
- Statens geotekniska institut - SGI (1995). *Mätning med termisk sond – Anna Gabrielsson*. (Varia 442). Linköping. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1300350/FULLTEXT01.pdf> [2021-02-26]
- Stockholm Vatten och Avfall (2017). *Öppna anläggningar. Öppna anläggningar | Dagvatten* (stockholmvattenochavfall.se) [2021-04-13]
- Stockholm Vatten och Avfall (u.å)[a]. *Avsättningsmagasin. avmag_h.pdf* (stockholmvattenochavfall.se) [2021-04-13]
- Stockholm Vatten och Avfall (u.å)[b]. *Dammar*. <https://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/dammar.pdf> [2021-04-13]
- Stockholm Vatten och Avfall (u.å)[c]. *Perkolationsmagasin*. https://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/perkmag_h.pdf [2021-04-13]
- Structor (2019). *Dagvattenutredning Centrala Vallentuna*. Nr 1110. Vallentuna kommun. <https://dok.vallentuna.se/file/bo%20och%20bygga%2Fdetaljplaner%2Fp%C3%A5g%C3%A5ende%2Fsamr%C3%A5d%2Fsamr%C3%A5d%20gamla%20polishuset%2FDagvattenutredning%20Centrala%20Vallentuna%202019-04-02.pdf> [2021-02-24]
- Svenskt vatten. (2004). *Dimensionering av allmänna avloppsledningar*. ISSN nr 1651-4947. Ljungföretagen. <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/wp-content/uploads/2018/10/P90.pdf> [2021-02-02]
- Svenskt vatten (2016). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten: Funktionskrav, hydraulisk dimensionering och utformning av allmänna avloppssystem. Del II*. <https://vattenbokhandeln.svensktvatten.se/produkt/p110-del-1-och-2-tryckt-obs-ladda-ner-errata-avledning-av-dag-dran-och-spillvatten/> [2021-04-20]
- Svenskt vatten (2019). *Mikroorganismer i vatten*. <https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/dricksvatten/riskanalys-och-provtagning/mikroorganismer-i-vatten/> [2021-01-27]

Svenskt vatten utveckling (2014). *Kommunal dagvattenhantering – juridiska och finansiella aspekter*. 2014-07. Bromma. http://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2014-07.pdf [2021-01-21]

Svenskt vatten utveckling (2019). *Utformning och dimensionering av anläggningar för rening och flödesutjämning av dagvatten*. 2019-20. Bromma. <https://www.svensktvatten.se/contentassets/c8abaf832f154888aa018c23752bf5a9/svu-920.pdf> [2021-01-20]

Söderberg, E. (2020). *Hantering av dagvatten sambandet mellan dagvattenanläggningens storlek och dess total kostnad*. (UPTEC W 20007). Uppsala universitet. Institutionen för Geovetenskaper. (<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1391166/FULLTEXT01.pdf>) [2021-05-25]

Thomè, C.B. A., Santos, G. P. och Fisch, G. A. (2019). Using rainwater in cooling towers: Design and performance analysis for a petrochemical company. *Journal of Cleaner Production*. 224: 275-283. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.249>

Tyréns (2017). *Dagvattenutredning Kastellgården 1:380*. Nr 279434 Kungälv Kommun. <http://docplayer.se/109255724-Dagvattenutredning-kastellgarden-1-380.html> [2021-02-24]

WRS (2013). *Skötsel av dagvattendammar – en handbok*. Nr 2013-0555-A OXUNDA Vattensamverkan. <https://www.oxunda.se/files/contentFiles/dokument/dagvatten/skotsel-av-dagvattendammar/Skotsel-av-dagvattendammar-en-handbok.pdf> [2021-02-23]

BILAGA 1

Tabell 1.1: Uppskattade kostnader från tidigare planer för dagvattenprojekt för de tre olika typerna av utformning. Utformningarna är en täckt damm, ett makadammagasin och ett avsättningsmagasin och kostnaderna för dessa gäller anläggandet. Övriga kostnader tillkommer.

Utformning	Anläggningskostnad [kr/m ³]
Täckt damm	300-866 ¹ , 231 ¹ , 866 ²
Makadammagasin	4000-4500 ³ , 1537 ⁴ , 1588 ⁵
Avsättningsmagasin	
• Generell	7000 ¹ , 8100 ²
• Kasset	6500-7000 ³ , 3192 ⁶ , 6184 ⁵
• Rörtankar	5319 ⁶ , 10 000 ⁷

¹Ekvall et al. (2001) ²Söderberg (2020) ³Structor (2019) ⁴Norconsult (2011) ⁵Tyréns (2017) ⁶Klimatanpassning (2019) ⁷Ramböll (2018)

Tabell 1.2: Medelvärde gällande anläggningskostnad för de tre olika utformningarna: täckt damm, makadammagasin samt avsättningsmagasin.

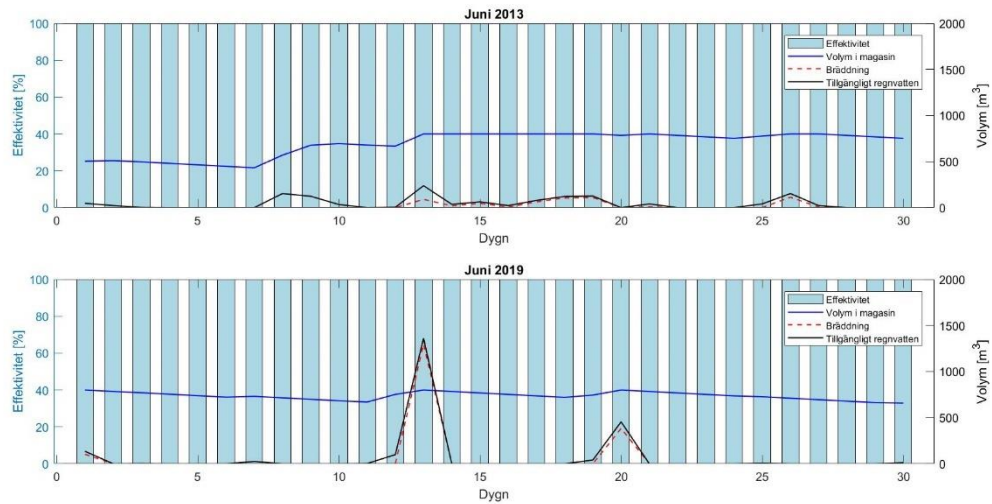
Utformningar under mark	Medelvärde anläggningskostnad [kr/m ³]
Täckt damm	500
Makadammagasin	2460
Avsättningsmagasin	
• Generell	7550
• Kasset	5375
• Rör	7660

Tabell 1.3: Kostnader för olika typer av underhåll som kan medkomma genom att anlägga ett magasin.

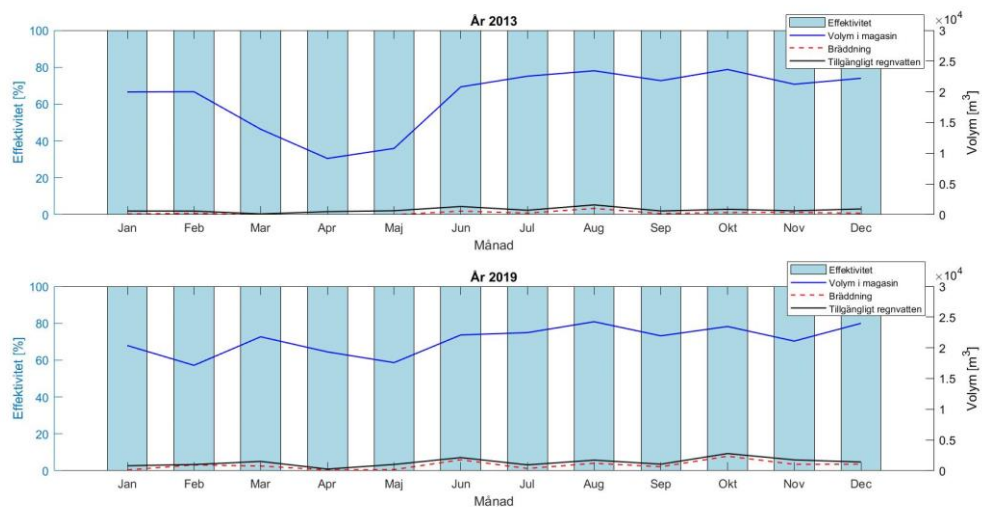
Olika typer av rening	Kostnad för rening
Oljeavskiljare	400 000 – 600 000 kr ¹
Sedimenttömning till deponi	700 kr/ton ¹
Muddermassor vid sedimenttömning	450 kr/ m ³ ²

¹(Ekvall et al. 2001) ²(WRS 2013)

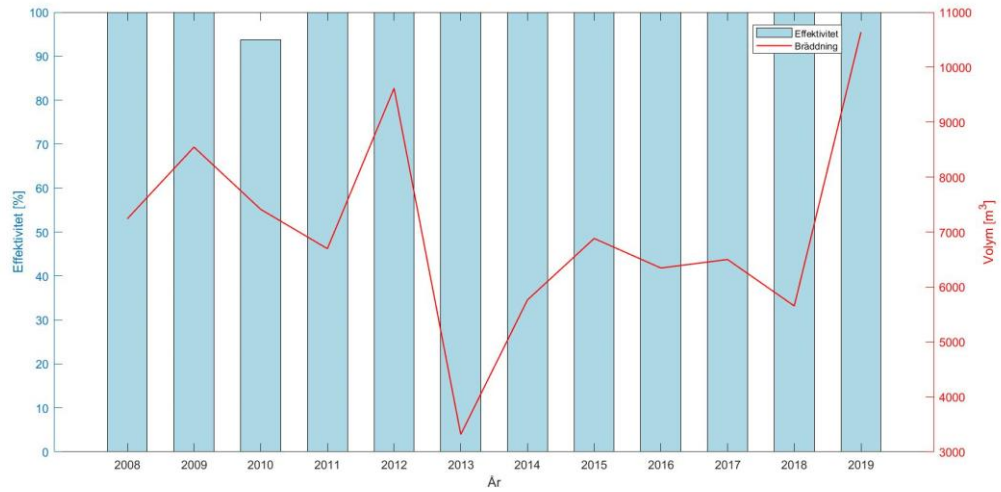
BILAGA 2



Figur 2.1: Dygnsvariationer i effektivitet (blå staplar), volym i magasin (blå kurva), bräddning (röd kurva) samt tillgängligt regnvattenvolym (svart kurva) för Betning 2016 med magasinstorlek 800 m^3 under juni 2013 samt juni 2019. Effektiviteten är maximal för båda graferna. Volym i magasin, bräddning och tillgängligt regnvatten är större under juni 2019.



Figur 2.2: Medelvärde för effektivitet (blå staplar) samt månadssumma volym i magasin (blå kurva), bräddning (röd kurva) och tillgängligt regnvatten (svart kurva) under år 2013 samt år 2019 för Betning 2016 med magasinstorleken 800 m^3 . Effektiviteten är maximal under båda åren. Volym i magasin, bräddning och tillgängligt regnvatten är generellt något större under 2019 på grund av mer nederbörd.



Figur 2.3: Årsmedelvärde för effektivitet (blå staplar) samt summa bräddning (röd kurva) årsvis för Betning 2016 med magasinstorlek 800 m³. Effektiviteten är hög alla år utom 2010. Bräddningen är störst under 2019 (nederbördsrika året) och minst under 2013 (nederbördsfattiga året).