



UPPSALA  
UNIVERSITET

UPTEC W 19 003

Examensarbete 30 hp  
Februari 2019

# Kartläggning av möjligheten att återanvända takdagvatten för att minska dricksvattenförbrukningen

---

Linnea Andersson

## REFERAT

### Kartläggning av möjligheten att återanvända takdagvatten för att minska dricksvattenförbrukningen

*Linnea Andersson*

Dricksvatten är vårt viktigaste livsmedel. I takt med klimatförändringarna kommer temperaturen öka och vädret bli mer extremt vilket gör vår tillgång till dricksvatten mer sårbar. Redan idag finns problem med dricksvattenförsörjningen i vissa delar av Sverige. Ett sätt att minska dricksvattenförbrukningen är att samla in regnvatten och använda det till processer med lägre kvalitetskrav än dricksvatten. Swedavia jobbar aktivt med att få mer miljövänliga flygplatser och som en del av detta minska dricksvattenförbrukningen. Detta projekt utreder möjligheten att samla upp regnvatten på takytor för att använda till processer som idag använder dricksvatten. Projektet är koncernövergripande och applicerbart på samtliga av Swedavias flygplatser även om arbetet utförs på Stockholm Arlanda Airport.

I detta examensarbete har kvaliteten på vattnet från fem olika typer av tak studerats. Taken valdes bland annat utifrån tidigare utförda studier där föroreningsgraden på vattnet från olika sorters tak undersökts. Även faktorer som förekomst på flygplatserna spelade in. Provtagning utfördes vid två tillfällen där avrunnet regnvatten samlades in från de fem olika taken samt ett referensprov på rent regnvatten. Fem näringsämnen, löst organiskt material, suspenderat material och sex olika tungmetaller analyserades.

Tre av taken gav så pass höga värden att de överskred satta gränsvärden. Det gröna taket gav höga halter fosfor och löst organiskt material. Taket med TRP-stål gav höga zinkhalter vilket tros bero på den zinkbeläggning som taket har. Taket med PVC-plastduk gav också höga zinkhalter vid en av provtagningarna, men inte lika höga som på TRP-ståltaket. Taken med FPO-plast, som är en mer miljövänlig plastduk, och taket med takpapp gav låga värden och överskred inte några satta gränsvärden. Referensprovet på regnvatten gav hög halt suspenderat material vid en av provtagningarna samt höga blyhalter som överskred gränsvärdena.

Slutsatserna av detta projekt är att gröna tak, tak med TRP-stål och tak med PVC-plastduk riskerar att överskrida gränsvärden vilket gör att de lämpar sig sämre för uppsamling av regnvatten än de resterande taken. Resultatet baseras på de två provtagningar som utfördes vilket gör att fler provtagningar bör utföras för att kunna dra den definitiva slutsatsen att dessa tre typer av tak inte lämpar sig för detta ändamål. Taken med FPO-plast och takpapp överskrider inga gränsvärden och kan, utifrån de analyserade parametrarna, lämpa sig för uppsamling av regnvatten. Det är dock viktigt att poängtera att för att kunna återanvända vattnet och garantera att det håller en tillräckligt bra kvalitet behöver fler parametrar analyseras, något som inte kunde genomföras i detta projekt.

**Nyckelord:** Vattenkvalitet, takdagvatten, återanvända vatten

*Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten och landskapslära, Uppsala Universitet, Villavägen 16, 75236 Uppsala, Sverige.*

## **ABSTRACT**

### **Reuse of roof harvested rainwater to reduce drinking water consumption**

*Linnea Andersson*

Drinking water is vital for our daily life. With climate change comes increasing temperatures and more extreme weather which can jeopardize our access to drinking water. One way to reduce our drinking water consumption is to collect rainwater and use it for processes which have lower quality demands than drinking water. Swedavia is constantly working on making their airports more environmentally friendly and as a part of this reducing the drinking water consumption. This project examines how water can be collected at Swedavia's airports. The project results should be of intent to all of Swedavia's airports even if the project is performed at Stockholm Arlanda Airport.

In this project the water quality from five different types roofs has been studied. The different kind of roofs were chosen based on previous studies where pollutants in roof-harvested rainwater were studied. Other aspects such as location on the airports were also considered. Samplings were collected at two different occasions where water was collected from the different roofs. One sample of clean rainwater was collected as a reference. Five nutrients, dissolved organic matter, suspended matter and six heavy metals were analyzed.

Three of the roofs gave water with high values that exceeded the quality limits. The samples from the green roof showed high levels of phosphorus and dissolved organic matter. The steel roof gave high levels of zink which may origin from its zink coating. The roof with PVC plastic also gave high levels of zink, but not as high as the steel roof. The roof with FPO plastic, a more environmentally friendly plastic, and the roof with roof paper gave low values and did not exceed any quality limits. The reference sample of clean rainwater gave high values of suspended matter at the second occasion and high values of lead that exceeded the quality limits.

The conclusions of this project are that roof-harvested rainwater from green roofs, steel roofs and roofs with PVC plastic may exceed quality limits which makes them less suitable for collecting and re-use. The results are based on the two sampling occasions which means that sampling at more occasions needs to be done to make definitive conclusions. The roofs with FPO plastic and roof paper do not exceed any quality limits and can therefore, according to the analyzed parameters, be suitable for collecting rainwater. It is important to note that to be able to reuse the water and guarantee that the quality of the water does not exceed any quality limits more parameters should be analyzed.

**Key words:** Water quality, roof-harvested rainwater, re-use of water

*Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Science, Uppsala university, Villavägen 16, SE-75236 Uppsala, Sweden.*

## **FÖRORD**

Detta examensarbete är den avslutande delen på fem års studier på civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik på Uppsala Universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet. Arbetet utfördes på Swedavia på Arlanda Airport där Maja Taaler-Larsson har varit handledare. Auli Niemi på Institutionen för geovetenskaper vid Uppsala Universitet har varit ämnesgranskare.

Jag vill tacka min handledare Maja för kontinuerligt stöd under hela projektets gång. Jag vill även tacka medarbetare på Swedavia som har assisterat mig vid provtagning, och Jonas Englund på Karlaplans Plåslageri AB som har varit mycket hjälpsam och ställt upp med kunskap och tid kring sakfrågor, planering och utförande av provtagning. Ytterligare vill jag tacka min ämnesgranskare Auli Niemi för slutgiltig granskning av rapporten. Slutligen vill jag rikta ett stort tack till samtliga medarbetare på Swedavia som har fått mig att känna mig välkommen och trivas bra under examensarbetets gång.

Linnea Andersson  
Uppsala, 2019

Copyright © Linnea Andersson, Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten- och landskapslära, Uppsala Universitet  
UPTEC W 19 003, ISSN 1401-5765  
Digitalt publicerad vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala Universitet,  
Uppsala 2019.

# POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

## Insamling av regnvatten på tak för att minska dricksvattenförbrukningen

*Linnea Andersson*

Dricksvatten är vårt viktigaste livsmedel, inte enbart viktigt i privata hushåll utan även i stora industrier. Klimatförändringar leder till att kvaliteten på vattnet kan försämrats, samtidigt som befolkningen på jorden ökar. Det gör att det kommer bli svårare att få tillgång till rent dricksvatten, och det är därför viktigt att komma på nya sätt att spara vatten för att säkerställa tillgången till dricksvatten även i framtiden.

Ett sätt att göra detta är att samla in regnvatten. Det vattnet håller inte tillräckligt hög kvalitet för att användas som dricksvatten, men kan användas till andra processer som idag använder dricksvatten men som egentligen inte kräver lika hög kvalitet. Exempel på sådana användningsområden är bevattning, spolning av toaletter och tvättning av fordon. Om regnvatten skulle användas istället skulle dricksvattenförbrukningen minska. Swedavia, som är ett statligt bolag och äger och förvaltar tio av Sveriges flygplatser, jobbar ständigt med att göra dessa mer miljövänliga. Ett förslag är att samla in regnvatten på taktytor för att kunna byta ut dricksvatten mot insamlat regnvatten exempelvis vid tillverkning av avsningsvätskor och på så sätt minska dricksvattenförbrukningen. För att göra detta behöver det undersökas vilken kvalitet detta vatten kommer att ha, och vilka föroreningar vattnet kan innehålla. Det är inte bara materialet på taket som kan påverka kvaliteten på vattnet utan även luftföroreningar som kan hamna på taken och sedan sköljas av med regnvattnet.

I detta examensarbete har kvaliteten på vattnet från fem olika tak studerats. Taken valdes genom en undersökning av vilka tak som är vanligast på Swedavias flygplatser och utifrån tidigare studier där föroreningsgraden från olika typer av tak har undersökts. De ämnen som studerades var fem näringsämnen, löst organiskt material, suspenderat material och sex tungmetaller. Provtagning utfördes vid två tillfällen där regnvatten samlades upp från de olika taken. Det togs även ett prov på rent regnvatten.

Resultatet från provtagningarna visade att vattnet från tre av taken gav så höga halter att de överskred gränsvärden. Det gröna taket, som består av en växtmatta med gräs och mossor, gav för höga halter fosfor och löst organiskt material. Ståltaket och taket med PVC-plast gav för höga zinkhalter. De två tak som gav värden som inte överskred något gränsvärde var taket med FPO-plast, som är en mer miljövänlig plast, och taket med takpapp. Det rena regnvattnet överskred gränsvärdet för bly och suspenderat material.

Slutsatserna av detta projekt är att uppsamlat vatten på gröna tak, ståltak och tak med PVC-plast kan ge så höga värden av vissa föroreningar att de överskrider gränsvärden, vilket gör att de inte lämpar sig för att användas till att samla upp regnvatten. Eftersom detta baseras på två provtagningar kan fler provtagningar behöva göras för att säkerställa resultatet. Tak med FPO-plast och takpapp överskrider inga gränsvärden och kan därför passa bra att använda för detta ändamål, men det kan finnas andra typer av föroreningar i vattnet som inte undersöktes i detta projekt. För att garantera att vattnet håller tillräckligt hög kvalitet bör alltså fler parametrar undersökas.

# Innehållsförteckning

<b>Referat</b>	<b>I</b>
<b>Abstract</b>	<b>II</b>
<b>Förord</b>	<b>III</b>
<b>Populärvetenskaplig sammanfattning</b>	<b>IV</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
1.1 Mål och syfte . . . . .	1
1.2 Frågeställningar . . . . .	1
1.3 Avgränsningar . . . . .	2
<b>2 Teori</b>	<b>2</b>
2.1 Swedavia . . . . .	2
2.2 Insamling av regnvatten på taktytor . . . . .	2
2.3 Olika typer av tak på Swedavias flygplatser . . . . .	3
2.3.1 Grönt tak . . . . .	3
2.3.2 PVC-duk . . . . .	6
2.3.3 FPO miljöduk . . . . .	6
2.3.4 Takpapp . . . . .	7
2.3.5 Eternittak . . . . .	8
2.3.6 Plåttak av metall . . . . .	8
2.3.7 Sammanställning av de olika taktyperna . . . . .	10
2.4 Luftkvalitet på flygplatser . . . . .	11
2.4.1 Luftföreningar och utsläppskällor . . . . .	11
2.4.2 Luftkvalitet på Swedavias flygplatser . . . . .	12
2.5 Luftföreningars påverkan på vattenkvalitet . . . . .	15
2.6 Föreningensparametrar i vatten . . . . .	16
2.6.1 Näringsämnen . . . . .	16
2.6.2 Löst organiskt kol (DOC) . . . . .	17
2.6.3 Suspenderat material (SS) . . . . .	17
2.6.4 Metaller . . . . .	17
2.7 Litteraturvärden på avrinning från olika sorters tak . . . . .	17
2.8 Användningsområden och gränsvärden för återanvänt regnvatten . . . . .	18
<b>3 Metod</b>	<b>22</b>
3.1 Utförande . . . . .	22
3.2 Provtagning . . . . .	22
3.2.1 Plats 1: Grönt tak . . . . .	23
3.2.2 Plats 2: PVC-duk . . . . .	24
3.2.3 Plats 3: FPO miljöduk . . . . .	25
3.2.4 Plats 4: Takpapp . . . . .	25
3.2.5 Plats 5: TRP-stål . . . . .	26
3.2.6 Plats 6: Regn - referens . . . . .	27

3.2.7	Provtagningschema . . . . .	28
3.3	Analysmetod . . . . .	28
3.4	Nederbördsmätningar . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Resultat</b>	<b>30</b>
4.1	Kartläggning av tak . . . . .	30
4.2	Provtagningsresultat . . . . .	30
4.2.1	Provtagning 1 . . . . .	30
4.2.2	Provtagning 2 . . . . .	32
4.2.3	Sammanställda resultat . . . . .	33
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>37</b>
5.1	Planering av provtagning . . . . .	37
5.2	Olika typer av tak . . . . .	38
5.2.1	Grönt tak . . . . .	38
5.2.2	PVC-duk . . . . .	39
5.2.3	FPO miljöduk . . . . .	39
5.2.4	Takpapp . . . . .	40
5.2.5	TRP-stål . . . . .	40
5.2.6	Regn - referens . . . . .	41
5.3	Skillnader mellan provtagningstillfällena . . . . .	41
5.4	Luftföroreningar . . . . .	42
5.5	Användningsområden . . . . .	42
5.6	Felkällor . . . . .	43
5.7	Framtida studier . . . . .	44
<b>6</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>45</b>
	<b>Appendix</b>	<b>53</b>





# 1 INLEDNING

Dricksvatten är vårt viktigaste livsmedel och i Sverige använder vi cirka 160 liter dricksvatten om dagen (Livsmedelsverket, 2018a). Dricksvatten används inte bara i privata hushåll utan även av industrier och företag. Även om vi i Sverige har god tillgång till vatten är det viktigt att se över dricksvattenförbrukningen för att säkerställa behoven till framtida generationer. Klimatförändringar leder bland annat till sämre kvalitet på råvattnet och förändrade grundvattennivåer (Livsmedelsverket, 2018b; SGU, 2018) vilket påverkar vår framtida dricksvattenproduktion. Särskilt södra Sverige är utsatt och redan idag finns problem med tillgång till dricksvatten på grund av låga flöden (SMHI, 2016). Det är därför viktigt att komma på nya lösningar för att hushålla med dricksvatten, och sätt att minska förbrukningen bör ses över.

Swedavia är ett statligt ägt bolag som driver tio flygplatser i Sverige varav de äger åtta, inklusive de två största flygplatserna Stockholm Arlanda Airport och Göteborg Landvetter Airport. Swedavia har som del av ett större initiativ att få mer miljövänliga flygplatser påbörjat ett arbete med att se över vattenförbrukningen på sina tio flygplatser. Statistik över den egna förbrukningen och mängden sålt vatten ska sammanställas, och åtgärder ska utföras för att minska förbrukningen av dricksvatten. En tänkt åtgärd är att möjliggöra en återanvändning av dagvatten, lämpligast takdagvatten, exempelvis till bevattning, produktion av avisningsmedel för start- och landningsbanor eller till andra dricksvattenförbrukande processer. Detta examensarbete undersöker möjligheten för Swedavia att återanvända takdagvatten på sina flygplatser vilket skulle bidra till minskad dricksvattenförbrukning och en minskad miljöpåverkan. Det skulle också ge Swedavia bättre beredskap inför framtida klimatförändringar. Vid flygplatser där den största delen av dricksvattnet tas från grundvattenreserver är detta ämne extra relevant för att säkerställa tillgången till dricksvatten vid perioder med höga temperaturer och efterföljande torka. Insamlat takdagvatten kan då fungera som en reserv istället för att dricksvatten används till processer som inte har lika höga kvalitetskrav. Projektet ska vara koncernövergripande och ska därför gå att applicera på flera av Swedavias flygplatser och inte vara specifikt för enbart en flygplats även om arbetet utförs från Stockholm Arlanda Airport.

## 1.1 MÅL OCH SYFTE

Målet med detta examensarbete är att kartlägga möjligheterna för uppsamling av regnvatten på takytor genom att studera kvaliteten på takdagvatten. Syftet är att ge underlag till fortsatta undersökningar av insamling av regnvatten på takytor på Swedavias flygplatser för att minska dricksvattenförbrukningen.

## 1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR

Frågeställningarna i detta examensarbete är

- Hur är kvaliteten på takdagvattnet på Swedavias flygplatser?
- Vad finns det för förutsättningar för att kunna minska dricksvattenförbrukningen genom att återanvända takdagvatten?

### **1.3 AVGRÄNSNINGAR**

Projektet har avgränsats till att behandla fem av Swedavias tio flygplatser. Antalet tak som studerades begränsades till fem olika tak samt ett prov på rent regnvatten, och de analyserade parametrarna begränsades till fem näringsämnen, löst organiskt material, suspenderat material samt sex metaller.

## **2 TEORI**

Nedan följer ett kort teoriavsnitt med information om Swedavia. Därefter studeras tidigare studier om insamling av regnvatten. Förekomsten av olika sorters tak på Swedavias flygplatser går igenom och tidigare utförda studier om hur de olika taken påverkar vattenkvaliteten studeras. Luftföroreningar som är förekommande på flygplatser och deras påverkan på vattenkvaliteten behandlas, och därefter går olika typer av föroreningar igenom och vilka hälso- och miljörisker de kan medföra. Användningsområden samt litteratur- och gränsvärden på olika parametrar behandlas i slutet av avsnittet.

### **2.1 SWEDAVIA**

Swedavia är ett statligt ägt bolag som driver tio flygplatser i Sverige varav de äger åtta, inklusive de två största flygplatserna Stockholm Arlanda Airport och Göteborg Landvetter Airport. 2017 reste totalt 41,9 miljoner resenärer via Swedavias flygplatser (Swedavia, 2018). Swedavia arbetar kontinuerligt med att minska sin miljöpåverkan gällande exempelvis utsläpp till luft och påverkan på vattenkvaliteten. Målet är att de fossila koldioxidutsläppen från den egna verksamheten ska vara 0 ton år 2020. 2017 var värdet 1 900 ton och år 2016 låg utsläppen på 2 720 ton. Koldioxidutsläppen har minskat med mer än 75 % sedan 2006 (AB, 2019). En utmaning för dagvattenhanteringen på flygplatser är den höga andelen hårdgjorda ytor. Start- och landningsbanor består av asfalt och tar stora ytor i anspråk. Ett initiativ av Swedavia för att underlätta hanteringen av dagvatten är att bygga gröna tak som fördröjer vattnet.

### **2.2 INSAMLING AV REGNVATTEN PÅ TAKYTOR**

Att samla regnvatten på takytor kan göras på olika sätt. Vid nyproduktion kan byggnader helt anpassas för detta ändamål genom att välja takmaterial och avvattningssystem utifrån vilka egenskaper vattnet önskas ha, och vid äldre hus kan det befintliga systemet utökas för att möjliggöra insamling av regnvatten. Insamlingskonstruktionen kan anpassas efter vad syftet med vattenanvändningen är och hur det ska förvaras och distribueras. Hur regnvattnet ska förvaras bestäms bland annat av hur stor takytan är där uppsamling av regnvatten sker då det påverkar mängden vatten som samlas in, och vad avsikten är att vattnet ska användas till. Användningsområdet för vattnet begränsas till exempel av eventuella giftiga metaller i vattnet, medan tiden vattnet kan förvaras utan att den mikrobiologiska aktiviteten blir för hög till stor del beror på hur mycket näringsämnen det finns i vattnet som kan fungera som substrat. Detta gör metaller och näringsämnen till två viktiga faktorer att ta hänsyn till och försöka begränsa vid insamling av takdagvatten.

Vid användning av takdagvatten är vattenkvaliteten på det avrunna vattnet viktig. Olika sorters tak kan orsaka olika föroreningar i vattnet som begränsar vad vattnet kan

användas till och huruvida det kräver ytterligare rening innan användning. Det tänkta användningsområdet för vattnet ställer krav på hur pass förorenat vattnet kan tillåtas vara innan det blir otjänligt. En studie på fem olika tak i Tyskland visade att lokala utsläppskällor, lösligheten av takets metallkomponenter och luftföroreningar var de största källorna till föroreningar i vattnet (Förster, 1999). Kvaliteten på vattnet varierade mycket beroende på takets egenskaper. Tak med metallkomponenter pekas ut som en särskild risk för föroreningar då halterna av koppar (Cu) och zink (Zn) var så höga i avrinningen från dessa tak att vattnet kunde klassas som starkt förorenat. Lye (2009) fann i sin studie att exponerade metaller på takytan utgjorde en särskilt hög risk för att vattnet fick höga halter av toxiska metaller. Beläggning på metallytor minskar risken för detta. Avrinningen som genererades av den första regnskuren är generellt mer förorenad än efterkommande vatten. Det finns olika definitioner av vad som räknas som den första regnskuren, där en är att 80 % av föroreningarna ska ha sköljts bort av 30 % av regnet (Tobiszewski m. fl., 2010). Quek och Förster (1993) fann att en längre torrperiod innan regnet gör det avrunna vattnet mer förorenat.

Torr- och våtdeponering av föroreningar på taken har stor påverkan på vattenkvaliteten och är i vissa fall den främsta källan till föroreningar. Lokala utsläppskällor av luftföroreningar är därför viktigt att ta hänsyn till, något som är särskilt intressant på flygplatser.

## **2.3 OLIKA TYPER AV TAK PÅ SWEDAVIAS FLYGPLATSER**

### **2.3.1 Grönt tak**

Gröna tak är ett samlingsnamn för tak som är beklädda med växtlighet och finns i olika variationer som kan sträcka sig från ett tunt lager med gräs eller mossa till höga buskar och träd. De flesta gröna tak är uppbyggda på samma sätt. Det understa lagret består av en rotbarriär som skyddar det underliggande taket. Ovanpå rotbarriären finns ett dräneringslager som förhindrar att stora mängder vatten blir stillastående på taket. Ett filter förhindrar att växtlighet och substrat hamnar i dräneringen. Ovanpå filtret finns ett lager av substrat, ofta en mineral- och jordblandning, där växterna växer och som de får näring av. Gröna tak kan i huvudsak delas in i tre olika grupper: extensiva, semi-intensiva och intensiva. Extensiva tak kräver minst skötsel och består av en växtbädd på 30-150 mm (SMHI, 2018). Växterna är låga och ska inte kräva bevattning, men skötsel i form av bland annat gödsling rekommenderas vartannat till vart tredje år. Växterna på extensiva tak kan bland annat bestå av mossor och sedumväxter varpå extensiva gröna tak ibland kallas sedumtak. Semi-intensiva tak har en tjockare växtbädd på upp till 350 mm och kan innehålla prydnadsgräs och mindre buskar. Dessa tak kräver mer skötsel och ofta bevattning och gödsling. Intensiva tak kan ha en växtbädd på över 1 m och är ofta utformade som parker för rekreation. De kräver mycket skötsel och utövar hög belastning på taket då de rymmer stora mängder vatten vid vattenmättnad och måste även dimensioneras för att klara tyngden av de människor som ska kunna befinna sig på taket. De är därför betydligt dyrare än extensiva och semi-intensiva tak.

Gröna tak installeras ofta för att fördröja dagvattnet från att nå dagvattenledningarna då de kan absorbera 50-80 % av regnvattnet (Byggros, 2018). Detta ger en mindre belastning på dagvattenledningarna och risken för översvämningar minskar. Det vatten

som inte samlas upp av växtbädden när dagvattensystemet. Detta vatten har med stor sannolikhet varit i kontakt med växtligheten under en viss tid vilket kan ha påverkan på vattenkvaliteten. Gröna tak kan även minska den negativa effekten av den "urbana värmeö" som uppstår när hårdgjorda ytor i städer absorberar värme. Det kan röra sig om exempelvis asfalt, hustak och väggar. Växter och substrat absorberar mindre värme än dessa ytor och bidrar därför inte till uppvärmning av stadsmiljön i samma utsträckning som konventionella tak. En utmaning vid anläggning av gröna tak på flygplatser är att växtligheten inte får attrahera insekter då detta drar till sig fåglar, vilket är något som ska undvikas i största möjliga mån då det riskerar flygsäkerheten.

Koppar och zink är två metaller som har undersökts då gröna taks påverkan på vattenkvaliteten har studerats. Gregoire och Clausen (2011) hävdar att så kallade långtidsverkande gödslingsmedel ger lägre kväve- (N) och fosforhalter (P) i det avrunna vattnet. De konstaterar även att fosfor och fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) är de enda näringsämnen där gröna tak inte fungerar som en sänka. De såg i sin studie att det avrunna vattnet hade förhöjda halter koppar vilket tros bero på det gödslingsmedel som användes som innehöll koppar i form av kopparsulfat ( $\text{CuSO}_4$ ). Däremot fungerade det gröna taket som en sänka för zink. Detta tros bero på att zink bildar kelatkomplex med bland annat organiska föreningar. Det kan också bero på att zink stabiliseras på grund av omväxlande torrt och fuktigt klimat. Vid två kortare perioder under det år som studien utfördes upptäcktes bly (Pb) i det rena regnvattnet vilket också urlakades till det avrunna vattnet. Detta tros bero på att det pågick byggnadsarbete i närheten som ledde till att det blev förhöjda halter bly i luften som sedan hamnade på det gröna taket genom våt- och torrdeposition. Detta fenomen kan vara viktigt att ta hänsyn till på flygplatser då det kan finnas höjda halter av luftföroreningar vid dessa platser. En studie i Estland (Teemusk och Mander, 2006) konstaterar att ett kraftigt regn ledde till att fosfor och fosfat urlakades. Ett för lätt regn gav ingen avrinning över huvud taget.

En studie som jämförde ett intensivt tak i Japan och ett extensivt tak i Malmö i Sverige listar substrat- och takmaterial, gödslingsmedel, vegetation och atmosfärisk deposition som möjliga källor till föroreningar i det avrunna dagvattnet från gröna tak (Berndtsson m. fl., 2009). I studien var det extensiva taket en sänka för nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) och total-kväve. Att taket fungerade som en sänka för ammonium skulle tyda på att nitrifikation har skett, där ammonium omvandlas till nitrat, om det hade varit så att nitrathalten hade ökat i det avrunna vattnet jämfört med rent regnvatten. Detta var dock inte fallet i denna studie. Som en förklaring till vart kvävet tog vägen föreslogs att det oorganiska kvävet omvandlades till organiskt kväve i vegetationen. Då den totala halten kväve bara visade en svag minskning från regnvattnet till det avrunna vattnet tyder det på att det frigjordes organiskt kväve på taket samtidigt som det oorganiska kvävet, i nitrat och ammonium, minskade från regnvattnet till det avrunna vattnet. Detta kan bero på att mossor, som har en hög förmåga att adsorbera oorganiskt kväve, binder kvävet i regnvattnet och frigör det i organisk form när mossan bryts ner.

Det extensiva taket visade förhöjda halter fosfor i det avrunna vattnet, framförallt i form av fosfat. Detta gällde inte det intensiva taket där inga förhöjda halter fosfor kunde ses. Källan till fosfor på det extensiva taket tros vara substratjorden och gödslingsmedlet trots

att det senaste gödslingsstillfället var två år innan studien genomfördes. Halten löst organiskt kol (DOC) var nästan 20 gånger högre i det avrunna vattnet än regnvattnet för det extensiva taket. Detta tros bero på det organiska materialet i substratjorden och nedbrytningen av växter. Både det extensiva och det intensiva taket var en källa till kalium (K). Små ökning av magnesium (Mn) och koppar sågs för det extensiva taket. Halten järn förändrades inte och taket var en sänka för zink. Halterna kadmium (Cd), krom (Cr) och bly var så låga att de var under detektionsgränsen för mätinstrumenten. Berndtsson m. fl. (2009) jämförde sina resultat med föroreningshalter från andra ytor i urbana miljöer och fann att gröna tak gav liknande eller lägre halter av kväve, fosfor och tungmetaller än dessa ytor.

En studie i Singapore testade det avrunna vattnet från olika prototyper av extensiva tak för näringsämnen och tungmetaller (Vijayaraghavan m. fl., 2012). De fann att det första avrunna vattnet som genererades var klart mer förorenat än det efterföljande, något som gällde både för autentiska och artificiella regnväder. De ämnen de fann i det avrunna vattnet var natrium, kalium, kalcium, mangan, litium (Li), järn, aluminium (Al), koppar, nitrat, fosfat och sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Koncentrationen varierade beroende på växtsubstratet och mängden nederbörd.

En annan studie som analyserade näringsämnen och tungmetaller i vattnet från flera extensiva tak i södra Sverige fann att det gröna taket var en sänka för kväve i form av nitrat och ammonium (Berndtsson m. fl., 2006). Den totala kvävehalten visade dock ingen större minskning vilket tyder på att det gröna taket är en källa till organiskt kväve. Taket var en källa till fosfor, främst i formen fosfat, vilket troligen kommer från gödslingsmedlet. Halterna av tungmetallerna var antingen för låga för att detekteras eller liknande som i det uppmätta regnvattnet. Vissa av taken var en källa till kalium. De metaller som uppehålls av taket kan släppas när taket åldras och då bidra till föroreningar i vattnet, vilket gör att tak av olika åldrar kan bete sig olika gällande tungmetaller (Berndtsson m. fl., 2006). De konstaterade att något som bidrog till en risk för urlakning av föroreningar var det gödslingsmedel som användes. Ett långtidsverkande gödslingsmedel var att föredra framför ett lätt upplöst gödslingsmedel, trots att det senare används oftare eftersom det är billigare och har en mer direkt inverkan på växtligheten.

Gemensamt för effekten på vattenkvaliteten på det avrunna vattnet från gröna tak är att gödslingsmedlet spelar en stor roll där ett långtidsverkande medel har lägre risk för att leda till föroreningar. Intensiteten på regnet påverkar hur mycket vatten som når dagvattenssystemet och kvaliteten på detta vatten. Av de näringsämnen som har studerats fungerar gröna tak generellt som en sänka för oorganiskt kväve i form av nitrat och ammonium men kan ge ökad halt organiskt kväve och fosfor, framförallt i form av fosfat, i det avrunna vattnet. Intensiva tak har generellt växter med ett större näringsbehov än extensiva tak vilket gör att halten fosfat i det avrunna vattnet blir lägre för intensiva tak eftersom växterna inte tar upp näringen i samma grad på extensiva tak. Gröna tak kan vara en källa till DOC och en sänka för eller ge oförändrad halt tungmetaller för unga tak, medan äldre tak kan vara en källa till tungmetaller.

### **Gröna tak på Stockholm Arlanda Airport**

På Arlanda Airport finns det gröna tak på flera områden, bland annat på Brandstation city, Kolsta reningsverk och på Clarion Hotell. Det pågår också ett omfattande projekt som startades i februari 2018 där Urban Green installerar 19 600 m<sup>2</sup> extensivt grönt tak på Arlandas nya driftområde. Taken som installeras kallas "UG Sedum Miljötak". Det är en utveckling av traditionella sedumtak genom att visst material som krävs för uppbyggnaden hämtas från området där taken anläggs. Jämfört med traditionellt odlade sedumtak kan transporter och bränsleförbrukning minskas med drygt 60 % (Urban Green AB, 2018c). Taken är platsbyggda och de övre lagren består av ett lager med krossad natursten som sedum-frön sedan strös ut över och bildar en växtmatta (Urban Green AB, 2018a). Efter 12 månader är växtligheten kultiverad och grön. Gödsel ska användas vartannat år och är en blandning av långtidsverkande och snabbverkande gödsel (Urban Green AB, 2018b).

### **Gröna tak på Göteborg Landvetter Airport**

På flygplatsen i Göteborg finns extensiva gröna tak på byggnaden som hanterar glykolvätska. Tillverkaren av taken är Veg Tech AB. Taket är uppbyggt av en fiberduk av typen Xeroflor som innehåller slingnät av nylon vilket minskar risken för att stommen ska krympa (Veg Tech AB, 2018). Substratmattan består av 30 mm mineraljordsblandning. Till skillnad från taken på Arlanda Airport så är detta tak färdigväxt vid leverans och levereras i upprullade remsor av växtmatta som har ett väl utvecklat rotsystem. Växtmattan rullas ut på underlaget som i detta fall är ett dränerande skikt av VT-filt som består av textilt fibrer. Gödsling har inte skett på detta tak efter montering då det inte har ansetts nödvändigt eftersom taket har utvecklats bra utan detta (Forsberg, 2018).

#### **2.3.2 PVC-dukt**

PVC takduk är en typ av plasttak som finns på terminalbyggnaderna på Arlanda Airport och utgör en majoritet av takytan på flygplatsen. Takduk passar för tak med låg eller ingen lutning vilket gör den lämplig för Arlanda Airport då majoriteten av taken på terminalbyggnaderna är platta. Den takduk som används på Arlanda Airport heter Sikaplan-12 VGWT och är anpassad för ett nordiskt klimat. Duken klarar temperaturer där månadsmedelvärdet har en minimitemperatur på -30°C och en maxtemperatur på +45°C (Sika Sverige AB, 2009). PVC är en av de vanligaste plastsorterna och genom tillsats av mjukgörare kan den tillverkas i flera olika mjukheter för att anpassas till dess användningsområde. Mjukheten gör att PVC-dukar är lätta att lägga. PVC är väldigt flexibelt, har lång livslängd och går att återvinna. Tillverkningen har lägst energiförbrukning av alla plaster och är en av de tre plaster som har minst koldioxidutsläpp (Innovations- och kemiindustrierna i Sverige, 2018).

#### **2.3.3 FPO miljöduk**

FPO miljöduk finns på en del av terminalbyggnaderna på Arlanda Airport och på majoriteten av byggnaderna på Göteborg Landvetter Airport. En stor del av nya tak som byggs beläggs med FPO miljöduk och mycket av den gamla PVC-duken byts ut mot FPO miljöduk, så andelen FPO-tak kommer att öka de närmaste åren. PVC används dock fortfarande, även vid nyproduktion, på grund av att det är billigare och mer lätthanterligt.

FPO står för “flexibla polyolefiner” och är en typ av plasttak. Den typ av miljöduk som används på Swedavias flygplatser heter Sarnafil TS77. Den består av ett lager gummiliknande plast vilket gör den lätthanterlig och har inga tillsatser av mjukgörare till skillnad från PVC-plast. Det är en av anledningarna till att den är mer miljövänlig då ftalater, som är en vanlig mjukgörare, kan vara hälsofarliga. För att uppnå miljöstämpeln måste även brandbekämpningsmedlet begränsas vilket kan medföra problem då duken fortfarande måste klara kraven för att motstå brand, vilket Sarnafil TS77 gör. Den är fettavstötande, innehåller inga tungmetaller, har hög motståndskraft mot kemisk påfrestning som surt regn och tros ha längre livslängd än PVC tack vare avsaknaden av mjukgörare (Soprema AB, 2018). Duken klarar temperaturer från  $-50^{\circ}\text{C}$  till  $+50^{\circ}\text{C}$  (Sika Sverige AB, 2010). Eftersom materialet är relativt nytt finns det dock ingen garanti för att livslängden är bättre än för PVC. På grund av avsaknaden av mjukgörare är FBO miljöduk mer komplicerat att lägga och kräver mer underhåll än PVC-tak. Den kan återvinnas men i de fall då detta inte är möjligt och materialet förbränns bidrar förbränningen inte till att några farliga gaser sprids (Icopal Synthetic Membranes, 2018).

### 2.3.4 Takpapp

Takpapp består av impregnerad papp. Beläggningen består av petroleumtjära och påminner om asfalt. Det kan användas som underlag till annat tak eller som fristående tak. Takpapp passar bra för tak med låg lutning eftersom den är lätt och därför inte belastar takkonstruktionen (dinbyggare.se, 2018c). På Swedavias flygplatser finns takpapp på majoriteten av byggnaderna på Bromma Airport, på hangarer och ekonomibygnader på Arlanda Airport, ett antal byggnader på Kiruna Airport samt på terminalbyggnaden på Malmö Airport. Ekonomibygnader innefattar olika typer av enkla och uppvärmda byggnader så som garage och förråd. Även skärmtak och fristående tak som inte är kopplade till en byggnad innefattas.

Enligt en studie utförd i Tyskland där tungmetaller i avrunnet vatten från olika sorters tak undersöktes påverkades inte pH-värdet i det avrunna vattnet från tak med takpapp i någon större utsträckning, men ledde till ökade halter av kalcium, zink och bly vid de båda nederbördstillfällena då mätningar utfördes. Halterna kadmium sjönk vid båda tillfällena medan koppar sjönk vid det första tillfället och ökade något vid det andra (Quek och Förster, 1993).

En studie i Gdansk, Polen, fann att höga halter “petroleum hydrocarbons”, vilket är ett samlingsnamn på ämnen som raffinerats från olja, upptäcktes i takvatten från takpapp. Halterna var högre än i regnvattnet och i avrunnet vatten från andra tak vilket gjorde att slutsatsen drogs att ämnena kom från takmaterialet. De främsta ämnena var bensen och toluen. Låga halter bekämpningsmedel upptäcktes jämfört med regnvattnet och andra tak som studerades vilket kan tyda på att bekämpningsmedlet adsorberades av taket (Polkowska m. fl., 2002).

Laboratoriestudier visar att takpapp ger relativt höga halter av  $\text{PO}_4^{3-}$  och  $\text{NO}_3^-$  (Clark m. fl., 2008). Något högre halter chemical oxygen demand (COD), vilket är ett mått på halten organiskt material i vattnet, uppvisades jämfört med andra tak som undersöktes. Atmosfärens bidrag till föroreningarna uteslöts genom att använda det avrunna vattnet

från en plexiglasskiva som en referens och sedan dra bort de värdena från de uppmätta värdena på takvattnet. Det gör att värdena kan antas bero enbart på utsläpp från takets material.

### **2.3.5 Eternittak**

Eternittak är en benämning på tak som också kallas asbestcementtak. När taken började tillverkas i början på 1900-talet blev de populära då de var billiga, lätta och hållbara. 1970 kom dock rapporter om att den typ av asbest som användes i taken kunde leda till lungproblem, och idag tillverkas eternittak utan asbest (Byggnadsvårdsföreningen, 1998). På Swedavias flygplatser finns eternittak på tre hangarer på Bromma Airport.

Studier har visat att eternittak kan ge höga halter bly och kadmium i det avrunna vattnet (Ayenimo m. fl., 2006). I studien upptäcktes så höga halter att vattnet kunde klassas som toxiskt och avrådde från att använda asbestcementtak för insamling av regnvatten och som takmaterial rent generellt. Metallerna var framförallt partikulärt bundna. Taket gav relativt låga halter koppar.

### **2.3.6 Plåttak av metall**

Plåttak väger lite, är hållbara, finns i många olika varianter och är lätta att arbeta med. De har låg friktion jämfört med andra sorters tak vilket gör att snö och is lättare glider av taket vilket är att föredra vintertid för att minska belastningen på taket. Plåttak passar dock inte för helt plana tak (dinbyggare.se, u.å.).

Tak av metallplåt har visat ge lägre halter av näringsämnen än andra tak som exempelvis asbestcementtak. Detta kan bero på att metallen har en glatt yta som underlättar för föroreningar så som fågelspillning och fallna löv att glida av taket istället för att fastna och ge ifrån sig näringsämnen som kväve och fosfor när de bryts ner (Ayenimo m. fl., 2006). Metallen leder också till att taket kan få en hög temperatur vilket gör att det torkar snabbare och föroreningar som de ovan nämnda kan torka och föras bort med vinden. Samma studie fann att metalltak bidrog till höga halter zink, krom och järn i det avrunna takvattnet. De metalltak som användes i försöken var anodiserat aluminium och galvaniserad zink. Anodisering och galvanisering görs för att skydda metallen mot korrosion. Ayenimo m. fl. (2006) konstaterade även att tak gjorda av en viss metall ökar risken för att vattnet förorenas av den metallen. Risken ökar ytterligare då surt regn förekommer.

### **Ståltak**

Ståltak har ofta en lackering av zink eller en blandning av zink och aluminium, även kallad aluzink, och galvaniseras för att undvika korrosion och rostskador (dinbyggare.se, 2018b). Galvaniseringen innehåller zink och så länge som det finns zink kvar skyddas järnet i stålplåten. Ett plåttak av stål är starkare än andra plåttak vid samma tjocklek, men också tyngre. En vanlig typ av plåttak är trapetskorrugerad plåt vilket brukar kallas TRP-plåt. Den är veckad för att ge ytterligare styvhet. En mindre vanlig typ av plåttak är sinuskorrugerad plåt, som också är veckad men i en jämnare vågform än de kantiga veck som TRP-plåten har. Plåttak av stål rekommenderas inte vid kuster där det finns risk för saltstänk då stål är känsligt för salt. Vid dessa lägen rekommenderas istället plåttak av



aluminium. På Swedavias flygplatser finns ståltak i form av TRP-stål på parkeringshuset på Malmö Airport, på hangarer på Kiruna Airport och på hangarer och ekonomibygnader på Arlanda Airport.

### **Aluminiumtak**

Förutom att de är anodiserade är aluminiumtak ofta lackade för att få längre hållbarhet. Taken har hög motståndskraft mot korrosion men är känsliga för kontakt med ytor som trä och andra metaller. På Swedavias flygplatser finns plåttak av aluminium på ett antal byggnader på Kiruna Airport och på hangarer och ekonomibygnader på Arlanda Airport.

En studie som utfördes i Australien fann att tak av aluminium gav lägre turbiditet och lägre halter kalium, nitrat och fosfor än de gröna tak som också undersöktes (Razzaghmanesh m. fl., 2014). Tungmetaller analyserades inte för aluminiumtaket. En studie i Schweiz fann att det avrunna vattnet från en aluminiumyta gav så låga utslag för metaller och partiklar att det var under detektionsgränsen för mätinstrumentet (Faller och Reiss, 2005). Enligt en studie i Texas överskreds gränsvärdet för zink i det avrunna vattnet i 100 % av de provtagningar som gjordes. Gränsvärdet för koppar överskreds 77,9 % av gångerna och aluminium överskreds 12,3 % av gångerna (Chang m. fl., 2004). Medelvärdet av aluminiumhalten var lägst jämfört med de resterande ytor som undersöktes vilka var träspån, galvaniserat järn och en typ av asfaltsplattor. Zinkhalten och kopparhalten var näst lägst jämfört med de andra ytorna.

### **Rostfria plåttak**

Gemensamt för rostfria tak är att de har hög kromhalt jämfört med icke rostfria tak (Teknikhandboken, 2018). Kromhalten är minst 11 % men normalt över 18 % vid användning som byggmaterial. Kromhalten gör att plåten bildar ett kromrikt oxidskikt på ytan som skyddar den underliggande plåten från korrosion. Om oxidlagret skadas så självläker det vilket gör att rostfri plåt har en väldigt hög motståndskraft mot korrosion. Plåten behöver sällan ytlockeras för att behålla sin motståndskraft. Risken för korrosion kan dock öka något vid placering där ytan är skyddad från regn då ytan behöver sköljas med vatten med jämna mellanrum, något som vanligen sker naturligt vid nederbörd. Stadsmiljöer kan medföra höga svaveldioxidhalter som leder till surt regn, men inte så låga pH-värden att det ger korrosion på rostfria tak. En hög salthalt däremot, något som kan förekomma i havsatmosfärer vid kusten, kan leda till korrosion och punktfrätning. För dessa ändamål finns speciella rostfria tak som har högre motståndskraft mot salthaltig atmosfär. På Swedavias flygplatser finns rostfria plåttak på ett mindre antal byggnader på Göteborg Landvetter Airport.

### **Koppertak**

Koppertak har lång hållbarhet och kräver relativt lite underhåll jämfört med andra metaltak men är mer kostsamt (Bromma Plåtslageri, 2018). Koppar oxiderar vilket ger taken en grön eller rödbrun färg (Rent Dagvatten, 2017). Den oxiderade metallen sköljs ner med nederbörd och riskerar att tas upp av växter och djur och kan ha toxiska effekter. Många äldre tak på exempelvis kyrkor bidrar till föroreningar och höga kopparhalter. Koppertak finns på den gamla charterhallen på Bromma Airport.

Föroreningsgraden på takdagvatten från koppartak beror till stor del på korrosionshastigheten som i sin tur beror på bland annat luftkvaliteten och takets ålder (Boller och Steiner, 2002). En studie som jämförde olika sorters urban avrinning fick resultatet att ett tak av koppar gav betydligt högre kopparhalter i avrinningen jämfört med asfaltsbelagda gator, betongtak och galvaniserat plåttak (Charters m. fl., 2016) och avrådde från att använda koppertak för uppsamling av regnvatten.

### Zinktak

Zinktak kan ha en livstid på upp mot 100 år och har ett starkt skydd mot korrosion. På Bromma Airport finns zinktak på den nya ankomsthallen.

Något som kan påskynda korrosionsprocessen är svaveldioxid som förekommer i surt regn. Det bildar zinksulfat som sköljs bort av vatten då det är vattenlösligt (VM Building Solutions Scandinavia A/S, 2018). En studie i Paris som jämförde avrinning från olika urbana ytor fann att zink- och blyhalten var 4 till 6 gånger så hög från takytor än från vägar och trottoarer (Gromaire-Mertz m. fl., 1999). Värdena översteg typiska industriutsläpp och blyhalten var högre än vad som tillåts för utsläpp till vattendrag. Även zinkhalten översteg denna gräns vid flera tillfällen. Zinktaket hade överlagset högst värden jämfört med de andra taken i studien, exempelvis tegel. De höga värdena kan också bero på att stuprören var gjorda av zink. De höga blyhalterna troddes komma från det bly som användes vid fönsterkarmarna. Föroreningshalten i det avrunna vattnet hade en korrelation med den föregående torrperioden där en längre torrperiod innan regnet gav en högre föroreningshalt. Ytterligare en studie fann att ett galvaniserat zinktak gav höga zinkhalter i det avrunna vattnet och avrådde från att använda zinktak för uppsamling av regnvatten. De ytor som jämfördes med zinktaket var ett koppertak, gator och trottoarer av asfalt och ett betongtak (Charters m. fl., 2016).

### 2.3.7 Sammanställning av de olika taktyperna

En sammanfattning av vilka tak som finns på Swedavias flygplatser och vilka föroreningar dessa tak kan ge upphov enligt tidigare studier till redovisas i tabell 1. Tabellen visar även vilka ämnen som kan fångas upp av taken.

**Tabell 1:** Olika typer av tak och vad litteratur säger att det finns risk för förorening av samt vad taket kan fånga upp.

Tak	Näringsämnen	Metaller	Övrigt	Fångas upp
Grönt tak	org-N, P, $\text{PO}_4^{3-}$	Cu, K	DOC	$\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$ , Zn
Takpapp	$\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$	Ca, Zn, Pb	Tol. bens.	Cd, bekämp.med.
Eternittak		Pb, Cd		
Aluminiumtak		Al, Zn, Cu		
Ståltak				
Rostfria plåttak				
Koppertak		Cu		
Zinktak		Zn, Pb		
PVC-duk				
FPO miljöduk				

## 2.4 LUFTKVALITET PÅ FLYGPLATSER

### 2.4.1 Luftföroreningar och utsläppskällor

En av de vanligaste och mest problematiska föroreningarna från flygplatser är buller. Något som är ett större problem när det gäller vattenkvaliteten är utsläpp av gaser och partiklar. Luftföroreningar som flygplansmotorerna bidrar med är bland annat koldioxid ( $\text{CO}_2$ ), kolmonoxid ( $\text{CO}$ ), kväveoxider ( $\text{NO}_x$ ), kolväten, sulfatoxider, partiklar (framförallt  $\text{PM}_{10}$ ) och flyktiga organiska ämnen, även kallade VOC (volatile organic compounds). Enligt Federal Aviation Administration (2005) är  $\text{NO}_x$  är den svåraste föroreningen att få bukt med. Utsläppen kan även leda till ökade ozonhalter på längre sikt då  $\text{NO}_x$  och VOC kan reagera vid tillgång till solljus och värme och skapa ozon ( $\text{O}_3$ ). Detta leder till att ozonhalterna ofta är högre under våren och sommaren och är högre på eftermiddagarna än under natten och förmiddagarna (Swedavia AB, 2018a). Bildningen av ozon är en tidskrävande process vilket betyder att den ozonhalt som uppmäts vid en mätstation har bildats på grund av utsläpp från andra områden än där mätstationen är placerad. Ozon bryts ner när kväveoxid ( $\text{NO}$ ) omvandlas till kvävedioxid ( $\text{NO}_2$ ) vilket gör att en plats med höga utsläpp av  $\text{NO}_x$  lokalt ofta har låga ozonhalter. Detta leder till att landsbygden ofta har högre ozonhalter än städer (Naturvårdsverket, 2018c).

De utsläpp från flygtrafiken som har störst sannolikhet att påverka den lokala luft- och vattenkvaliteten på flygplatser är de som sker när flygplanen är på eller nära marken. Utsläppen kan mätas i "emission index" vilket är den massa förorening som utsläppen genererar per volym flygbränsle (United States Environmental Protection Agency, 1992). Enligt Federal Aviation Administration (2005) sker majoriteten av utsläppen från flygplan vid höga altituder och inte vid start och landning. För kolväten och kolmonoxid sker ungefär 70 % av utsläppen på högre altituder och 30 % på marknivå eller vid start och landning. Utsläppen av  $\text{NO}_x$  är högre vid start då temperaturen i förbränningsmotorn är högre. Utsläppen vid taxning kan minskas genom att flygplanen endast använder en motor. Motorn som används blir inte mer belastad än om båda motorerna skulle användas och utsläppen minskar därför (United States Environmental Protection Agency, 1992). Utsläppen av kolmonoxid är högre vid mer lågintensiva processer som när flygplanen taxar och temperaturen och effektiviteten är lägre. De höga utsläppen under taxning och den tid som flygplanen spenderar med att taxa, särskilt under perioder under dygnet med mycket trafik, gör att det här momentet bidrar till mycket luftföroreningar (Schlenker och Walker, 2016).

Det är inte enbart flygtrafiken som bidrar till de marknära utsläppen och påverkar den lokala luftkvaliteten utan även många andra processer som förekommer på en flygplats. Det kan röra sig om utsläpp av växthusgaser men också om partiklar och andra föroreningar (Masiol och Harrison, 2014). Processer som bidrar till höga partikelhalter är bland annat den kraftiga inbromsning som sker vid flygplanens landning. Det frigör partiklar från däck, bromsar och underlag som kan spridas och påverka luftkvaliteten. Turbulensen som skapas av flygplanen vid start, landning och taxning kan sedan leda till resuspension av dessa partiklar. Utsläpp av växthusgaser orsakas bland annat av markservice. Detta innefattar bland annat avisningsfordon, bagagebilar, busstrafik från gator till flygplan och servicebilar. Transport av passagerare och varor till och från flygplatsen med bussar, taxibilar, tåg och personbilar är också källor till luftföroreningar.

Den förbränning av fossila bränslen som dessa processer ger upphov till leder till utsläpp av bland annat tungmetaller som exempelvis bly (Naturvårdsverket, 2018a). Utsläppen av bly har dock minskat sedan katalysatorn och blyfri bensin infördes. De vanligaste tungmetallerna i vägdragvatten är bly, koppar, zink, kadmium, krom, nickel och järn (Sylvén, 2004). Källor till dessa tungmetaller vid vägar är bland annat förbränning av fossila bränslen samt förslitning och korrosion på fordon och vägkonstruktioner som exempelvis vägskyftar och räcken. Däck innehåller hög halt zink och även i viss mån kadmium och en stor del av halten zink i vägdragvatten antas komma från slitage av däck. Dubbarna på dubbdäck innehåller järn och aluminium och kan leda till ökade halter av dessa ämnen under vinterhalvåret. Resuspension kan leda till att föroreningarna sprids över större områden och på högre höjder, vilket ökar risken för dem att deponeras på taktytor.

Trots dessa processer anses flygmotorernas utsläpp ha störst påverkan på luftkvaliteten på flygplatser (Masiol och Harrison, 2014). Den ofullständiga förbränningen av kolväten i motorerna tillsammans med kväve, svavel och metaller så som järn, zink och koppar i bränslet leder till utsläpp av vattenånga, kvävgas ( $N_2$ ), syrgas ( $O_2$ ),  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$  och sot där vattenånga,  $N_2$ ,  $O_2$ , och  $CO_2$  står för 99,5 - 99,9 mol% (Lewis och Niedzwiecki, 1999). Det som är relevant att studera när det gäller luftföroreningar på flygplatser är  $PM_{10}$  då inbromsning av flygplanen kan leda till höga halter,  $CO_2$  som är den vanligaste gasen från bränslet, CO då det släpps ut i högre grad vid taxning samt kolväten och  $NO_x$ .

#### **2.4.2 Luftkvalitet på Swedavias flygplatser**

År 2017 släppte Swedavias flygplatser ut totalt 524 kton  $CO_2$  där Arlanda Airport stod för 340 kton (Swedavia, 2018). Beräkningen inkluderar utsläppen som görs inom Landing and Take-Off Cycle (LTO-cykeln). Den innefattar Swedavias egna verksamhet, passagerarnas transport till och från flygplatsen, flygplanens taxning på marken och flygning på höjder under 3 000 fot vilket motsvarar 915 meter. År 2016 bidrog den nationella och den internationella flygtrafiken till 1,4 kton respektive 8,92 kton  $NO_x$  i Sverige (Naturvårdsverket, 2017b). Dessa beräkningar innefattar inte den ovan nämnda LTO-cykeln utan när flygplanen befinner sig på en höjd över 3 000 fot. Utsläpp av den nationella flygtrafiken som befinner sig på en höjd över 3 000 fot räknas som internationella utsläpp. Enligt en studie som utfördes vid Bromma flygplats år 2015 befinner sig flygplanen ca 15 km från flygplatsen vid 3 000 fots höjd vid landning (Miljöförvaltningen, 2015). Avståndet vid start varierar mer beroende på exempelvis flygplanstyp, lufttemperatur och vindförhållanden men generellt brukar planen befinna sig ovanför Långholmen i Stockholm vid 3 000 fots höjd, vilket motsvarar ett avstånd på ungefär 6 km. Hur stor påverkan luftföroreningarna får på marknivå beror mycket på de meteorologiska förhållandena. När flygplanet kommer över en viss höjd kommer föroreningarna stanna kvar där och endast blandas med den underliggande luften i liten utsträckning och därmed inte påverka luftkvaliteten nämnvärt på marknivå.

Flygtrafiken ökar på Swedavias flygplatser (Swedavia, 2018) vilket gör att det är viktigt att se över hur utsläppen per passagerare per mil kan minskas för att säkerställa en god miljö både globalt och lokalt på flygplatser. De senaste 30 åren har flygplanens bränsleförbrukning minskat och denna trend tros hålla i sig (Federal Aviation

Administration, 2005).

### Stockholm Arlanda Airport

På Arlanda Airport mäts luftföroreningar kontinuerligt. Mätstationerna finns utplacerade vid 13 olika platser och mäter NO<sub>2</sub>, VOC, O<sub>3</sub> och PM<sub>10</sub> med passiva provtagare. Provtagarna för NO<sub>2</sub> och O<sub>3</sub> byts ut varje månad. PM<sub>10</sub> mäts en vecka per månad och VOC mäts fyra veckor under sommaren och fyra veckor under vintern. NO<sub>2</sub> når högst värden under vintern och är lägre under sommaren. Detta kan bero på att energibehovet är större under vinterhalvåret, framförallt på grund av ett ökat uppvärmningsbehov, och att det ger ökade utsläpp och en högre bakgrundshalt. Årsmedelvärdet av NO<sub>2</sub> var år 2017 7,6 µg/m<sup>3</sup> (Swedavia AB, 2018a) vilket är betydligt lägre än både miljö kvalitetsnormen och miljömålet Frisk luft som ligger på 40 µg/m<sup>3</sup> respektive 20 µg/m<sup>3</sup> (Naturvårdsverket, 2018b; Naturvårdsverket, 2018d). Då O<sub>3</sub> mäts i månadsmedelvärde går det inte att jämföra med miljö kvalitetsnormen och miljö kvalitetsmålet Frisk luft som båda mäts i timmedelvärde och åttatimmarsmedelvärde. Det tidigare målet "generationsmålet" var att medelvärdet på ozonhalten under sommarhalvåret (april till oktober) skulle understiga 50 µg/m<sup>3</sup>. År 2017 var sommarmedelvärdet 56,0 µg/m<sup>3</sup> på Arlanda vilket är strax över generationsmålet. De ämnen som innefattas av VOC som mäts är butylacetat, ortoxylen, etylbensen, nonan, oktan, toluen, bensen och meta/paraxylen (Swedavia AB, 2018a). VOC mäts vid tre trafikerade platser och två referenspunkter i flygplatsens utkant. Mätningarna gjordes under vecka 21-24 och 46-49. Mätningarna år 2017 visade att halterna var lägre vid referenspunkterna och högre vid de trafikerade mätplatserna vilket även är där flest människor vistas. Den enda VOC som har riktvärden i form av en miljö kvalitetsnorm och ett miljö kvalitetsmål för Frisk luft är bensen. Samtliga mätpunkter klarar riktvärdena med ett medelvärde för de uppmätta veckorna på ca 0,42 µg/m<sup>3</sup> för den mätplats som uppmätte högst högst värden. Miljö kvalitetsnormen och miljö kvalitetsmålet Frisk luft har ett riktvärde på ett årsmedelvärdet på 5 µg/m<sup>3</sup> respektive 1 µg/m<sup>3</sup>. Halterna av bensen har minskat år 2017 jämfört med 2016 med 11-17 % vid samtliga mätpunkter. År 2017 uppmättes månadsmedelvärdet för PM<sub>10</sub> till 12,9 µg/m<sup>3</sup> vilket är lägre än både miljö kvalitetsnormen som har ett riktvärde på 40 µg/m<sup>3</sup> och miljö kvalitetsmålet Frisk luft som har ett riktvärde 15 µg/m<sup>3</sup> gällande årsmedelvärde. Det högsta uppmätta dygnsmedelvärdet på 56 µg/m<sup>3</sup> inträffade i februari. Tabell 2 visar de uppmätta luftföroreningarna och miljö kvalitetsnormerna.

**Tabell 2:** Sammanställning av uppmätta luftföroreningar på Arlanda Airport år 2017 och de gällande miljö kvalitetsnormerna.

Parameter	Uppmätt halt [µg/m <sup>3</sup> ]	MKN [µg/m <sup>3</sup> ]	Frisk Luft [µg/m <sup>3</sup> ]	Gen. Mål [µg/m <sup>3</sup> ]
NO <sub>2</sub>	7,6	40	20	-
VOC (bensen)	0,42	5	1	-
PM <sub>10</sub>	12,9	40	15	-
O <sub>3</sub>	56,0	-	-	50

Ytterligare utsläpp beräknas i LTO-cykeln med beräkningsmetoden "Emissions and Dispersion Modeling System" (EDMS) (Swedavia AB, 2018a). Metoden är utvecklad av

Federal Aviation Administration och beräknar bränsleförbrukningen för flygplatsens utsläpp från LTO-cykeln. Metoden är utvecklad för stora flygplatser och stora flygplan och har därför en tendens att överskatta utsläppen när den används vid flygplatser av den storlek som finns i Sverige. Tiden för taxning in och ut går att ange för varje specifikt fall, men tiderna för de andra faserna av LTO-cykeln är fasta vilket bidrar till skillnaden. De relativa utsläppen ökade med 0,3 % koldioxidutsläpp per LTO-cykel från år 2016 till år 2017. Koldioxidutsläppen per passagerare minskade med 1,3 % samma period.

### **Göteborg Landvetter Airport**

Sweco utförde luftkvalitetsmätningar på Göteborg Landvetter Airport under 2017. Det som mättes var NO<sub>2</sub> och PM<sub>10</sub>. Halterna mättes vid fyra platser. En mätplats var placerad vid terminalen, en vid rullbanan och två längre bort på området som referenspunkter. Medelvärdet på NO<sub>2</sub> var 14 µg/m<sup>3</sup> vid den mätplats som uppmätte det högsta värdet, vilket var vid terminalen, och 5,4 µg/m<sup>3</sup> vid den plats som uppmätte det lägsta, vilket var vid rullbanan (Sweco Environment AB, 2018). Det högsta partikelvärdet som uppmättes var 12,4 µg/m<sup>3</sup> och det lägsta 8,9 µg/m<sup>3</sup>. Både miljö kvalitetsnormen och miljö kvalitetsmålet Frisk luft uppfylls för NO<sub>2</sub> och PM<sub>10</sub>.

Enligt beräkningar av utsläpp från LTO-cykeln, som utförs på samma sätt som på Arlanda Airport, var antalet LTO-cykler 36 348 år 2017 (Sweco Environment AB, 2018). Den mängd CO<sub>2</sub> som detta bidrog till var 47 725 ton och mängden CO var 151 299 kg. Utsläppen av SO<sub>x</sub> var 17 712 kg.

### **Stockholm Bromma Airport**

På Bromma Airport utförs mätningar av NO<sub>2</sub> och VOC. NO<sub>2</sub> mäts månadsvis med passiva provtagare som byts ut varje månad. VOC mäts under fyra veckor under sommaren och fyra veckor under vintern. År 2017 mättes det vecka 23-26 och 49-51. De ämnen som mäts som innefattas av VOC är samma som på Arlanda (Swedavia AB, 2018b). Mätningarna utförs vid tre platser på flygplatsen. En mätplats är placerad vid ingången till Terminal 1 där flest människor vistas, en vid ena änden av rullbanan och en vid taxibanan eftersom halterna antas vara höga där. Resultatet av mätningarna visar att halterna NO<sub>2</sub> var högst vid mätpunkten vid terminalens ingång. Resultatet presenteras i form av månadsmedelvärden och det högsta medelvärdet var 19 µg/m<sup>3</sup> vilket inträffade i januari och december. Precis som på Arlanda visar NO<sub>2</sub> en tydlig årsvariation med högre halter under hösten och vintern. År 2017 överskrider månadsmedelvärdena aldrig miljö kvalitetsnormen som är 40 µg/m<sup>3</sup> (Naturvårdsverket, 2018b) och de klarar även målet Frisk luft som ligger på 20 µg/m<sup>3</sup> (Naturvårdsverket, 2018d). Flera av de VOC som mättes låg på nivåer under detektionsgränsen. Även för VOC var värdena högst vid mätplatsen intill Terminal 1. Den VOC som nådde högst värden var meta/para-xylen med ett högsta medelvärde på 0,8 µg/m<sup>3</sup>. Även toluen uppmätte höga värden med ett högsta medelvärde på strax under 0,8 µg/m<sup>3</sup>. Den enda VOC som det finns en miljö kvalitetsnorm för är bensen där gränsen är ett årsmedelvärde på 5 µg/m<sup>3</sup> (Naturvårdsverket, 2018b). Medelvärdet på bensen under de uppmätta perioderna på Bromma Airport är 0,46 µg/m<sup>3</sup> med ett högsta uppmätt värde på 0,92 µg/m<sup>3</sup>. De resterande VOC som mättes hade medelhalter mellan 0,1 och 0,25 µg/m<sup>3</sup>.

Koldioxidutsläppen som flygtrafiken bidrar med beräknas med hjälp av data över hur mycket bränsle som har sålts och med information från bränsletillverkaren. Totalt har 155 ton CO<sub>2</sub> släppts ut från flygtrafiken (Swedavia AB, 2018b). Ytterligare utsläpp tillkommer i LTO-cykeln. Det konstaterades att EDMS-metoden gav ca 20 % högre utsläpp än FOI-metoden som användes innan 2011 vilket tros bero på att EDMS är anpassat för relativt stora flygplatser. År 2017 var antalet LTO-cykler 29 663. Koldioxidutsläppen uppgick till 18 391 ton, CO 90 ton och SO<sub>x</sub> 6,8 ton.

### **Malmö Airport**

Inga mätningar av luftföroreningar utförs på Malmö Airport utan beräkningar sker med EDMS-metoden för att beräkna utsläppen från LTO-cykeln. År 2016, som är det verksamhetsår den senaste miljörapporten gäller, skedde 21 566 LTO-cykler (Swedavia AB, 2017). Det ledde till 21 722 ton CO<sub>2</sub>, 156 611 kg CO och 8 062 kg SO<sub>x</sub>. Ytterligare utsläpp som beräknades var VOC som låg på 15 721 kg och NO<sub>x</sub> som låg på 96 600 kg. Utsläppen från den egna verksamheten beräknas och utsläppen av CO<sub>2</sub> var 200 139 kg, NO<sub>x</sub> 1 760 kg och SO<sub>2</sub> 346 kg.

### **Kiruna Airport**

Kiruna utför inga mätningar av luftföroreningar på flygplatsen utan utsläppen beräknas utifrån LTO-cykeln. Flygplatsen ger främst upphov till utsläpp av CO<sub>2</sub>, kolväten (HC), NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> och freoner (HFC). År 2017 skedde 2741 LTO-cykler vilket är en ökning med ca 430 stycken från föregående år (Swedavia AB, 2018c). Utsläppen av CO<sub>2</sub> från LTO-cykeln var 2345 ton, CO 15 ton, NO<sub>x</sub> 9,5 ton och SO<sub>2</sub> 0,9 ton. Utsläppen från den egna verksamheten beräknas genom att sammanställa mängden förbrukat bränsle av olika typer och andra processer som bidrar till utsläpp, som till exempel uppvärmning. Sedan 2014 har en fossilfri typ av diesel använts som ett steg i att uppfylla Swedavias nollvision vilket innebär att de fossila koldioxidutsläppen ska vara noll år 2020. Utsläppen från den egna verksamheten år 2017 var 170 ton CO<sub>2</sub>, 2739 kg NO<sub>x</sub>, 2 kg SO<sub>x</sub>, 303 kg HC och 6 kg HFC. Koldioxidutsläppen från den egna verksamheten minskade med 41 ton från 2016 till 2017, även om antal passagerare och antal LTO-cykler ökade. Den största delen av koldioxidutsläppen står fordonstrafiken för med 157 ton, sedan uppvärmning med 7 ton och brandövningar med 4 ton.

## **2.5 LUFTFÖRORENINGARS PÅVERKAN PÅ VATTENKVALITET**

Luftföroreningar kan påverka vattenkvaliteten och kan leda till bland annat övergödning och försurning. Deponering av luftföroreningar kan ske på olika sätt, framför allt med torr- och våtdeposition. Våtdeposition är när ämnen löser sig i regndroppar och förs ner till marken med nederbörd. Torrdeposition sker när ämnen bundna till partiklar eller gaser adsorberas till olika ytor, exempelvis byggnader och växter. Ämnena sköljs sedan ner av nederbörd och hamnar på marken och i vattendrag. En faktor som kan leda till försurning är utsläpp av svavel, framför allt i form av svaveldioxid (SO<sub>2</sub>). Tack vare ett minskat svavelutsläpp i Europa har nedfall av svavel minskat i hela Sverige (Svenska Miljöinstitutet, 2017). Svavelhalterna i mark har också minskat men inte i samma utsträckning som utsläppen då det tar tid för marken att återhämta sig. NO<sub>x</sub> kan orsaka både försurning och övergödning. När kväve når marken i form av NO<sub>3</sub><sup>-</sup> tas det upp av växtligheten som ett näringsämne. För mycket näringsämnen kan orsaka övergödning.

Risken för försurning av vattendrag sker när växtligheten blir mättad på kväve och  $\text{NO}_3^-$  läcker ut till vattnet. Det krävs dock mycket kväve för att kvävemättnad ska inträffa och försurning på grund av kväveläckage sker främst i områden i sydvästra Sverige. Utsläppen av  $\text{NO}_x$  minskar inte i samma takt som utsläppen av  $\text{SO}_x$ , varken i Sverige eller i Europa, och den minskning som har skett har inte lett till en minskning av kvävedeposering i Sverige (Havs- och vattenmyndigheten, 2018).

För att mäta torr- och våtdeposition används en teknik som kallas krondropp där halterna av föroreningar mäts i det vatten som droppar från träd ner i mätinstrumentet. På så sätt inkluderas våtdepositionen av regnvattnet och torrdepositionen av de ämnen som har fastnat på träden och sedan sköljs ner av regnet. Detta görs av Svenska Miljöinstitutet som varje år mäter bland annat krondropp på många platser i Sverige, bland annat vid mätplatser nära Arlanda Airport. Våtdeposition mäts även på öppna ytor då träd inte krävs för detta. Mätningarna finansieras av Swedavia och utförs av Skogsstyrelsen. Årsrapporten täcker det hydrologiska året som sträcker sig från oktober till september och mätstationerna vid Arlanda Airport visar att sulfatsvaveldeponeringen inte är högre än vid andra mätpunkter nära Stockholm. Mätningarna startade 1999 och nedfallet har minskat signifikant under den tiden. Mätningarna på markvattnet har visat relativa höga halter av sulfatsvavel jämfört med närliggande platser runt omkring Stockholm. Orsaken till detta är ännu okänd men det kan finnas andra orsaker än atmosfäriskt nedfall (Swedavia AB, 2018a). pH-värdet i markvattnet har varierat mellan 4,5 och 6,3 med en median på pH 5,7 de senaste tre åren. Risk för försurning inträffar om värdet ligger under pH 5,0. En annan metod att mäta försurning av markvatten är att mäta den syreneutraliserande förmågan, även kallad ANC. Ett positivt värde betyder att vattnet inte löper någon betydande risk för försurning. Mätningen år 2017 visade ett negativt värde vilket innebär risk för försurning, men sedan mätningarna startade år 1999 har mätplatsen vid Arlanda Airport visat upp en majoritet av positiva värden som har varierat mellan -0,1 och 0,7. Depositionen av oorganiskt kväve som våtdeposition vid den senaste mätningen som motsvarar året 2016/2017 var 1,9 kg N/ha. Gränsvärdet ligger på 5 kg/ha och år. Torrdeposition är inte uppmätt men med allra största sannolikhet bidrar inte det till ett överskridande av gränsvärdet. Inga förhöjda halter nitrat eller ammonium har uppmätts i markvattnet.

## **2.6 FÖRORENINGSPARAMETRAR I VATTEN**

### **2.6.1 Näringsämnen**

Näringsämnen är en viktig faktor då vattnet ska lagras eftersom alger och växter använder näringsämnen som substrat. De två främsta näringsämnena är kväve och fosfor. De typer av kväve som är tillgängliga för alger och växter är nitrat, nitrit, ammonium och organiskt kväve. Alger behöver flera sorters näringsämnen och det är ofta ett ämne som är begränsande. Det begränsande näringsämnet i inlandet är ofta fosfor medan det i hav är tvärtom. En hög tillgång till näringsämnen leder till en ökad algproduktion (Lidström, 2012) vilket kan leda till algblomning som kan orsaka syrebrist i vattnet då nedbrytningsprocessen är syreförbrukande. Syrebristen i sin tur påverkar alla levande organismer då en för låg syrehalt leder till att många organismer inte överlever. Vid analys av vattenkvalitet analyseras ofta fosfor i form av fosfatfosfor,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P, och total halt fosfor, tot-P. Tot-P innefattar även organiskt bunden fosfor och polyfosfat som



är en lång kedja av fosfat. Kväve mäts ofta i  $\text{NH}_4^+$ -N,  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N och tot-N. Tot-N innefattar  $\text{NH}_4^+$ -N,  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N och organiskt bundet kväve.

### **2.6.2 Löst organiskt kol (DOC)**

DOC är ett mått på halten löst organiskt kol. DOC bestäms genom att sila vattnet genom ett filter, vanligtvis 45  $\mu\text{m}$ , och det organiska material som passerar genom filtret räknas som löst organiskt material (Real Tech Inc., 2017). En hög halt DOC kan leda till en ökad halt av lösliga toxiska metaller då lösligheten av metaller ökar när de kan adsorbera till organiskt material. Särskilt koppar påverkas av halten DOC då dess löslighet ökar genom att binda till fulvosyror (Naturvårdsverket, 2017a). En hög halt DOC kan göra att vattnet blir grumligt och får en gulbrun färg vilket begränsar ljusstillgången och därmed fotosyntesen. DOC kan fungera som substrat för bakterier och leda till en ökad tillväxthastighet. Det kan också leda till försurning i vattenmiljöer med låg buffringskapacitet (National Science Digital Library, 2018). Vid rening av vattnet i dricksvattenverk är en hög DOC-halt ett problem då farliga biprodukter kan bildas när klor reagerar med de organiska ämnena.

### **2.6.3 Suspenderat material (SS)**

Suspenderat material är ett samlingsnamn på både organiska och oorganiska partiklar som är i suspenderad fas (Göta Älvs Vattenvårdsförbund, 2011). Partiklarna är större än 0,45  $\mu\text{m}$ . Att de är i suspenderad fas innebär att de transporteras i vattenfasen men sedimenterar relativt snabbt när vattnet står stilla. Andra ämnen kan adsorberas till partiklarna och de kan därmed bli bärare av flera olika ämnen som exempelvis metaller och organiska ämnen, vilket gör att dessa ämnen sprids i större utsträckning (Naturvårdsverket, 2017a). En hög halt suspenderat material kan därmed leda till en större spridning av föroreningar. Höga halter suspenderat material leder även till en ökad grumlighet vilket blockerar solljus, och därmed hämmas fotosyntesen, och syrehalten i vattnet påverkas.

### **2.6.4 Metaller**

Metaller är grundämnen och kan inte brytas ner till andra ofarliga föreningar (Lidström, 2012). Många metaller, som exempelvis zink och koppar, är viktiga för många levande organismer men kan vara toxiska i för hög koncentration (Regional Aquatics Monitoring Program, 2018). Metaller är en vanlig förorening i dagvatten med bland annat trafik och byggnadsmaterial som källor och många metaller är toxiska och bioackumuleras i levande organismer. Exempel på dessa metaller är bly, kadmium, zink och koppar. Bly kan skada nervsystem hos levande organismer, kadmium kan tas upp av grödor och kan skada njurfunktionen hos människor samt orsaka benskörhet. Zink och koppar kan vara skadligt för vattenlevande organismer. Kalcium bidrar tillsammans med magnesium till vattnets hårdhet (Socialstyrelsen, 2006). Ett hårt vatten ökar risken för fällningar i ledningar och kärl.

## **2.7 LITTERATURVÄRDEN PÅ AVRINNING FRÅN OLIKA SORTERS TAK**

StormTac är ett modelleringsprogram som används över hela världen för att modellera olika typer av dagvatten (StormTac, 2018). Modellen har sammanställt ett stort antal artiklar och annan tidigare forskning och tagit fram referensvärden på avrinning från olika ytor, bland annat olika sorters tak. Dessa värden ger ytterligare tyngd till de förväntade föroreningar som presenteras i tabell 1. Verktyget startade som en applikation

till Excel men utvecklades till en web-version år 2015 av Thomas Larm, Stockholm. Värdena i verktyget uppdateras och granskas kontinuerligt. Tabell 3 visar referensvärden på näringsämnen, DOC och suspenderat material för de tak som finns på Swedavias flygplatser. Värdena är från uppdateringen som gjordes den 2:a oktober 2018.

**Tabell 3:** Referensvärden på näringsämnen, DOC och suspenderat material på avrinning från olika tak som används i programmet StormTac (StormTac, 2018).

Tak	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N [mg/l]	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N [mg/l]	Tot. N [mg/l]	Tot. P [mg/l]	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P [mg/l]	DOC [mg/l]	SS [mg/l]
Grönt tak	-	0,80	3,89	0,285	-	35,50	19
PVC-duk	-	-	-	-	-	-	15
FPO miljöduk	-	-	-	-	-	-	-
Takpapp	2,62 (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	-	5,00	-	0,07	-	25
TRP-stål	-	-	-	-	-	-	-
Aluminiumtak	-	0,80	2,00	0,22	-	3,000	43
Koppertak	-	0,80	2,00	0,22	-	3,000	43
Zinktak	-	0,80	2,00	0,22	-	3,000	43

Tabell 4 visar referensvärden på olika metaller på avrinningen från de tak som finns på Swedavias flygplatser. Värdena är från uppdateringen som gjordes den 2:a oktober 2018.

**Tabell 4:** Referensvärden på metaller på avrinning från olika tak som används i programmet StormTac (StormTac, 2018).

Tak	Ca [mg/l]	Cu [µg/l]	Cd [µg/l]	Pb [µg/l]	Zn [µg/l]	Al [µg/l]
Grönt tak	78,00	15,0	0,07	1,0	23,00	19
PVC-duk	-	-	-	-	123,0	-
FPO miljöduk	-	-	-	-	-	-
Takpapp	7,350	5,00	-	-	27,00	-
TRP-stål	-	-	-	-	-	-
Aluminiumtak	-	153,0	0,8	69	370,0	-
Koppertak	10,00	3 000	0,8	69	370,0	-
Zinktak	0,001	153,0	-	69	6000	-

## 2.8 ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN OCH GRÄNSVÄRDEN FÖR ÅTERANVÄNT REGNVATTEN

I en rapport sammanställer Salgot m. fl. (2007) fyra olika användningsområden för återanvänt vatten och gränsvärden för respektive område. Gränsvärdena finns för både kemiska och biologiska parametrar som varierar beroende på användningsområde. De fyra kategorierna är "Private, urban and irrigation" (privat, allmän och bevattning), "Environmental and aquaculture" (miljö och vattenbruk), "Indirect aquifer recharge" (indirekt konstgjord tillverkning av grundvatten) och "Industrial cooling" (industriella kylsystem). Nedan följer en närmare beskrivning av respektive användningsområde utifrån Salgot m. fl., 2007. För tydlighetens skull kommer härmed de engelska beskrivningarna att användas.

“Private, urban and irrigation” innefattar användning i privata hushåll, spolning av gator, brandbekämpning, fontäner och annan användning vid allmänna ytor samt olika typer av bevattning för exempelvis jordbruk och parker. Användning av återanvänt vatten i privata hushåll innefattar bland annat bevattning av trädgårdar, tvättning av fordon, toalettspolning och air condition-system. Ett gemensamt ledningsnät bör användas för dessa ändamål för att inte ställa för höga logistiska krav, vilket gör att vattnet måste klara kvalitetskraven för samtliga användningsområden. Eventuell risk för förorening av dricksvatten måste undvikas vilket ställer ytterligare krav på ledningsnätet. Vid användning i air condition-system finns det risk att eventuella föroreningar inandas i form av aerosoler. Vattnet bör inte påverka den befintliga miljön eller utgöra en risk för människors hälsa. Direkt och indirekt kontakt med människor bör därför kontrolleras. Det största användningsområdet inom bevattning är inom jordbruk. Vid detta användningsområde ställs krav på att vattnet inte får påverka grödorna till en sådan grad att det kan påverka människors hälsa vid konsumtion. Kraven är olika beroende på om grödorna kräver tillagning innan förtäring eller om de äts råa. Vattnet som används till bevattning påverkar även markmiljön och kan spridas till stora områden och får därför inte riskera att skada miljön. Ämnen som kan hämma tillväxt hos grödor är också viktigt att reglera. Exempel på parametrar som är särskilt viktiga att reglera vid bevattning vid jordbruk är bor, natrium, kalium, klorföreningar och elektrisk konduktivitet. Förorening av grödor kan ske på flera olika sätt. Grödan kan ta upp föroreningar med vattnet, genom aerosoler vid bladen och via kontakt med förorenad mark eller andra förorenade ytor. Bevattning genom sprinklersystem rekommenderas inte då detta kan riskera att sprida föroreningar i större utsträckning än om bevattning sker under mer kontrollerade former. Ett sätt att åstadkomma detta är bevattning genom att låta området svämma över följt av en torrperiod.

“Environmental and aquaculture” innefattar odling av fisk och andra vattenlevande djur. Då det slutgiltiga målet med odlingen är mänsklig konsumtion är det viktigt att kontrollera kvaliteten på vattnet eftersom många parametrar är giftiga för djuren eller bioackumuleras i fettvävnaden.

“Indirect aquifer recharge” innebär användning av det återvunna vattnet för att tillverka grundvatten genom att till exempel fylla på en akvifär. Det finns två sätt att åstadkomma detta, där vattnet antingen kan distribueras på markytan och perkolera genom marken, eller genom att tillsättas direkt till akvifären. När vattnet tillsätts direkt till akvifären bör det inte användas för dricksvattenproduktion. Marken fungerar som ett slags filter där föroreningar uppehålls och hindras från att nå akvifären. För att denna filterfunktion ska fungera idealt krävs att marken uppfyller en visst sorts flöde utan större avvikelser, något som inte alltid gäller naturligt. På grund av detta kan kvaliteten på det återvunna vattnet i akvifären inte garanteras. Vattnet bör renas innan användning om det ska användas för dricksvattenproduktion. Andra användningsområden för akvifären är att den kan fungera som en barriär för att motverka saltvattenintrång vid kuster, som ett förråd av vattnet innan det ska användas till andra ändamål eller för att förhindra marken från att sätta sig. I dessa fall är kvalitetskraven lägre.

“Industrial cooling” innebär att vattnet används för att kyla värmegenererande system i industrin. Vattnet leds i ett slutet system och behöver inte hanteras av människor och har ingen kontakt med miljön. Detta ställer lägre krav på vissa parametrar medan högre krav måste ställas på andra parametrar för att minimera risken att ledningarna korroderar. Exempelvis leder en DOC-halt över 5 mg/l till att det skyddande lagret på kopparledningarna förstörs och korrosionsrisken ökar (Salgot m. fl., 2007). Kiseldioxid och mineralsalter är ytterligare två faktorer som måste begränsas.

Ett användningsområde för uppsamlat regnvatten som är specifikt för flygplatser är tillverkning av avisningsvätskor som används på flygplan samt halkbekämpning på start- och landningsbanorna under vintern. Avisningsvätskan som används till flygplanen består av propylenglykol och varmt vatten (AB, 2017). I de fall där även start- och landningsbanorna kräver avisning används en vätska bestående av kaliumformiat. Tidigare användes urea för detta ändamål vilket utgör en större risk för övergödning av dagvattnet. Både propylenglykol och kaliumformiat har låg giftighet. Båda ämnena bryts ned lätt och kräver mycket syre i processen. De kan därför orsaka syrebrist och leda till problem när ämnet når det biologiska reningssteget i reningsverken. För att begränsa mängden propylenglykol som når reningsverken används fordon för att suga upp så mycket som möjligt av glykolen från området runt flygplanet där avisningen har skett. Den uppsamlade propylenglykolen används för att producera biogas eller återvinns till ny avisningsvätska. Vätskan innehåller hög halt kol vilket gör att den kan användas som substrat i reningsverken för att underlätta kväverningssteget. Det är dock inte möjligt att samla upp all propylenglykol då uppsugningen inte har en effektivitetsgrad på 100 %. Det som blir kvar på start- och landningsbanorna hamnar i dagvattnet precis som kaliumformiatet. Tillverkning av avisningsvätskor bör falla under kategorin “private, urban and irrigation”.

Tabell 5 redovisar gränsvärden för ett antal parametrar vid återanvändning av vatten för olika syften. Värdena är sammansatta från flertalet rapporter, bland annat från Israel och Italien (Salgot m. fl., 2007). I rapporten är gränsvärdet på  $\text{NO}_3^-$  för användning till “indirect aquifer recharge” 25 mg/l vilket motsvarar 3,2 mg/l  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N.

**Tabell 5:** Gränsvärden på återanvänt vatten för olika ändamål (Salgot m.fl., 2007).

<b>Parameter</b>	<b>Private, urban and irrigation</b>	<b>Environmental and aquaculture</b>	<b>Indirect aquifer recharge</b>	<b>Industrial cooling</b>
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N [mg/l]</b>	-	-	3,2	-
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N [mg/l]</b>	2-20	1,5	0,2	1,5
<b>Tot. N [mg/l]</b>	-	-	-	-
<b>Tot. P [mg/l]</b>	2-5	0,2-1	-	0,2
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P [mg/l]</b>	-	-	-	-
<b>DOC [mg/l]</b>	-	-	-	-
<b>SS [mg/l]</b>	10-20	10-20	-	10-20
<b>Ca [mg/l]</b>	-	-	-	-
<b>Cu [µg/l]</b>	200-1000	200-1000	-	-
<b>Cd [µg/l]</b>	5	5	3	-
<b>Pb [µg/l]</b>	100	100	5	-
<b>Zn [µg/l]</b>	500-2000	500-2000	-	-
<b>Al [µg/l]</b>	1000-5000	1000-5000	-	-

### **3 METOD**

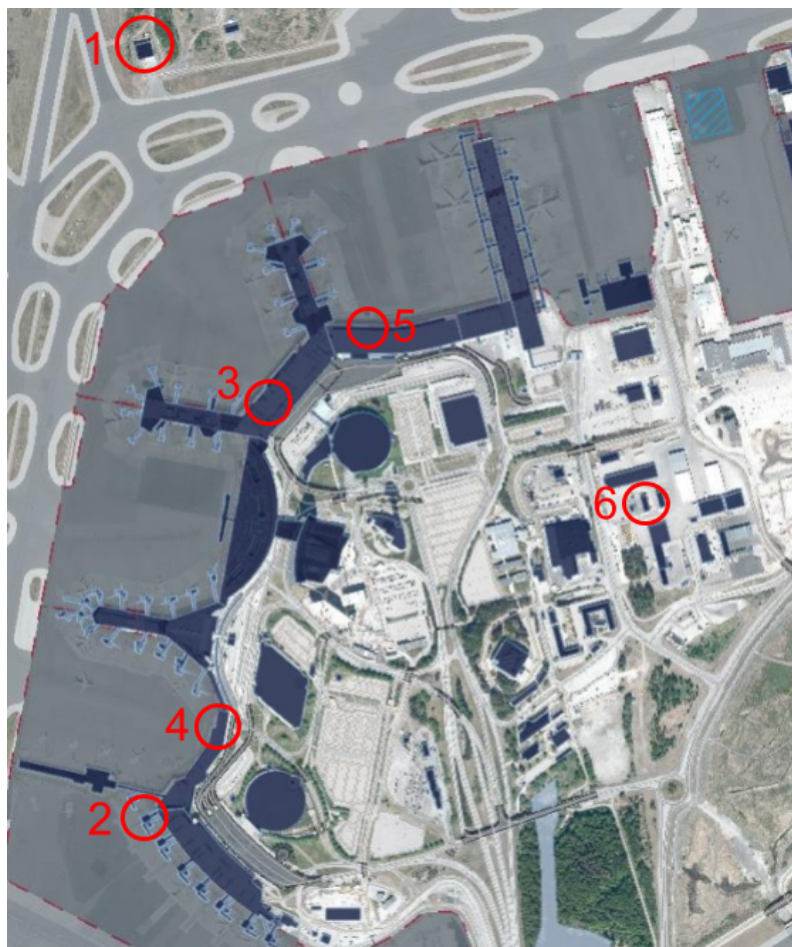
I detta avsnitt redovisas först hur projektet utfördes. Därefter följer en beskrivning av provtagningsplatserna och de olika taken. Tidpunkter och detaljer kring hur provtagningen genomfördes redovisas. Slutligen ges information om analysmetoden och nederbördsräkningar.

#### **3.1 UTFÖRANDE**

En litteraturstudie genomfördes för att kartlägga olika typer av tak som finns på Swedavias flygplatser i landet. Detta gjordes främst genom kontakt med ansvariga på respektive flygplats. Fem flygplatser valdes ut baserat på storlek, geografisk placering och tillgång till information. De fem flygplatser som studerades var Stockholm Arlanda Airport, Göteborg Landvetter Airport, Bromma Airport, Malmö Airport och Kiruna Airport. Litteratur söktes om andra studier där takdaggvatten har använts till olika syften och vilka risker och möjligheter det innebär. Litteratur söktes både internationellt och i Sverige där lösningar för flygplatser studerades men även för andra områden. Resultatet från litteraturstudien sammanställdes och utifrån den valdes fem tak ut för provtagning. Valet av taken baserades på förekomst på flygplatserna, ytareal av de olika taken, praktisk genomförbarhet och utifrån vad tidigare studier har kommit fram till gällande föroreningsgrad. De tak som valdes var ett grönt tak, två typer av plasttak, ett ståltak och ett papptak. Det togs även ett referensprov på rent regnvatten. Proverna togs på Arlanda Airport då de fem taken fanns representerade där samt att provtagningen underlättades av att begränsa resandet till andra flygplatser eftersom provtagningen var beroende av nederbördstillfällena. Provtagningen underlättades även av att inte behöva blanda in många olika provtagare utan att en majoritet av proverna kunde tas av samma person. De analyserade parametrarna bestämdes utifrån litteraturstudien. Antalet parametrar som kunde analyseras begränsades av den mängd vatten som krävdes. De parametrar som valdes var fem näringsämnen, DOC, suspenderat material och sex tungmetaller.

#### **3.2 PROVTAGNING**

Figur 1 visar en karta med samtliga provtagningsplatser. Plats 1 är en brandstation med grönt tak, plats 2 är en bagagehall med PVC-duk, plats 3 är Terminal 5 med FPO miljöduk, plats 4 är ett lågt tak med takpapp, plats 5 är ett lågt tak med TRP-stål och plats 6 är platsen för uppsamling av rent regnvatten. Nedan följer närmare beskrivning av varje provtagningsplats.



**Figur 1:** Arlanda Airport med de sex olika provtagningsplatserna utmarkerade. Plats 1 är en brandstation med grönt tak, plats 2 är en bagagehall med PVC-duk, plats 3 är Terminal 5 med FPO miljöduk, plats 4 är ett lågt tak med takpapp, plats 5 är ett lågt tak med TRP-stål och plats 6 är platsen för uppsamling av rent regnvatten. Källa: Swedavia GIS

### 3.2.1 Plats 1: Grönt tak

Provtagning för grönt tak gjordes på brandstation city. Taket är cirka 650 m<sup>2</sup> stort och var cirka 5 år gammalt vid provtagningen. Brandstationen befinner sig mellan två start- och landningsbanor varpå flygtrafiken är hög, men annan fordonstrafik är inte vanligt förekommande. Regnet leds ner från taket i en hängränna längs den norra sidan av byggnaden och sedan ner i två stuprör intill varandra. Vattnet leds direkt ner i dagvattensystemet och för att kunna ta vattenprov kan ett galler tas bort som är till för att hindra löv och andra föremål från att ta sig in i dagvattensystemet. Provet togs genom att samla upp vatten från stuprören på marknivå. Hängrännan och stuprören är gjorda av varmförzinkad stålplåt. Figur 2 visar det gröna taket och hinken där vattnet samlades in.



(a)

(b)

**Figur 2:** *Figur (a) visar det gröna taket där provet togs. Figur (b) visar uppställningen under den andra provtagningen där vattnet från stuprören samlades upp i en hink varifrån provet sedan togs.*

### 3.2.2 Plats 2: PVC-duk

Provtagning på PVC-duk gjordes på en bagagehall som är ca 155 m<sup>2</sup> stort. Taket befinner sig på Terminal 2, nära området där flygplanen taxar. Taket rengjordes några veckor innan provtagningen startade och var därför relativt rent och fritt från yttre synliga föroreningar så som löv, mossa och fågelspillning. Provet togs från en av de fyra brunnar som finns på taket. Se figur 3.



**Figur 3:** *Bagagehall med PVC-duk. Två av de fyra brunnarna på taket är markerade med röda pilar.*



### 3.2.3 Plats 3: FPO miljöduk

Taken på terminalbyggnaderna är klädda med PVC- och FPO-duk. Taken är uppdelade i många små ytor som är avgränsade från varandra med en total yta på ca 110 000 m<sup>2</sup> respektive ca 40 000 m<sup>2</sup> för PVC respektive FPO. På taken finns även gångvägar med stenplattor, tryckimpregnerade träspångar med staket, fläktbyggnader och handtag och metalldelar i form av takluckor och andra konstruktioner som till stor del består av rostfri metall. Längs stenplattorna förekommer mossa och annan växtlighet. Det finns gott om synliga föroreningar såsom fågelspillning, fågelfjädrar och svarta fläckar som kan vara exempelvis mossa eller föroreningar från flygfotogen. Provet togs från pölar som bildas på takytan. Se figur 4 för en bild på terminaltaket med bland annat stengångar, ledningar och metallkonstruktioner.



**Figur 4:** *Generell bild av hur taket på terminalbyggnaderna med FPO-duk ser ut.*

### 3.2.4 Plats 4: Takpapp

Provet på takpapp togs på ett mindre tak vid mellanbyggnaden som befinner sig mellan Terminal 2 och Terminal 4. Vattnet leds ner i hängrännor som leds ner i ett antal stuprör. Stuprören är inte öppna mot marken utan regnvattnet leds direkt ner i dagvattenssystemet. För att kunna ta provet behöver ett galler, som är till för att hindra löv och andra föremål från att ta sig ner i dagvattenssystemet, tas bort och burken hålls sedan under stupröret. Stupröret är gjort av varmförzinkad stålplåt. Figur 5a visar stupröret där provet togs när gallret var borttaget och figur 5b visar takets ovansida.



(a)



(b)

**Figur 5:** *Figur (a) visar stupröret med borttaget galler och figur (b) visar takpappen ovanifrån.*

### 3.2.5 Plats 5: TRP-stål

Taket med TRP-stål är beläget på Terminal 5. Det är två avskilda tak där vattnet leds ner i hängrännor och sedan ner i ett antal stuprör. Stuprören är öppna mot marken och insamlingsburkarna hålls under stupröret alternativt ställs på marken nedanför för att samla in vatten. Både taket, hängrännorna och stuprören är gjorda av varmförzinkad stålplåt. I figur 6 visas ett av de tre stuprör där proverna togs och ett av taken sett ovanifrån.



(a)

(b)

**Figur 6:** *Figur (a) visar ett av stuprören där provet togs. Figur (b) visar ett av taken med TRP-stål ovanifrån.*

### 3.2.6 Plats 6: Regn - referens

Insamling av rent regnvatten gjordes genom att spänna upp en presenning på en altan. Altanen befinner sig på Driftvägen 8 som ligger längre bort från start- och landningsbanorna än samtliga andra mätplatser. Provet togs genom att fylla provflaskor med det vatten som samlades i vattenpölen på presenningen. På grund av stark vind vid den första provtagningen tyngdes presenningen ner av vikter i mitten. Under den andra provtagningen användes inga vikter. Uppställningen visas i figur 7.



**Figur 7:** *Insamling av rent regnvatten.*

### 3.2.7 Provtagningschema

Tabell 6 visar regnförhållandena under de olika provtagningsstillfällena. Då proverna tas manuellt är det inte möjligt att ta alla prover exakt samtidigt och därför ges tiden för provtagningen i ett intervall. Den 29/10 snöade det 0,4 mm kl 11:10 men förutom det var det inget nederbördstillfälle mellan den första och den andra provtagningen. I appendix finns mer detaljerad information om nederbörd under och innan provtagningarna samt de exakta tiderna för provtagning på respektive provtagningsplats.

**Tabell 6:** *Schema över provtagningsstillfällena. Tabellen visar när regnet startade, under vilket intervall proverna togs och hur mycket det hade regnat från det att regnet startade till det att det sista provet var taget. Tabellen visar också antal dagar utan regn innan det regntillfälle då proverna togs.*

Datum	Tid start regn	Tid provtagning	Regn [mm]	Dagar utan regn
23/10	02:10	07:50-08:34	4,6 till 09:05	1
30/10	04:10	08:15-09:54, 15:10	3,8 till 09:54, +1,8 till 15:10	1 (7)

### 3.3 ANALYSMETOD

Analys av vattenproverna utfördes av miljölaboratoriet Synlab som är ackrediterat av Styrelsen för ackrediteringen och teknisk kontroll, SWEDAC (SYNLAB, 2018a). Synlab finns i 35 länder på 4 kontinenter och är en av de största laboratoriekoncernerna i Europa. Synlab har fyra laboratorier i Sverige i Malmö, Linköping, Karlstad och Umeå. Tabell 7 visar den lägsta detektionsnivån för de olika parametrarna. Värdena har erhållits från Synlab.

**Tabell 7:** *Detektionsgräns för de analyserade parametrarna (SYNLAB, 2018b).*

<b>Parameter</b>	<b>Detektionsgräns</b>	<b>Parameter</b>	<b>Detektionsgräns</b>
	<b>[mg/l]</b>		<b>[µg/l]</b>
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	0,01	Cu	0,5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	0,01	Cd	0,03
tot. N	0,1	Pb	0,2
tot. P	0,005	Zn	3
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	0,01	Al	20
DOC	1,000		
SS	5		
Ca	0,06		

### **3.4 NEDERBÖRDSMÄTNINGAR**

För att mäta nederbörd används en befintlig mätstation vid Måby som befinner sig några kilometer sydväst om Arlanda. Nederbördsdata går att få var tionde minut och fås i grafer eller tabeller. Enheten kan väljas till regnintensitet per 10 min vilket ges i l/s/ha eller ackumulerad nederbörd som ges i mm. Datan hämtas från hemsidan VeAinfo som är utvecklad av Norconsult för VA-tekniker (Norconsult, 2018). Se mer detaljerad information i Appendix.

## 4 RESULTAT

I resultatet redovisas först en sammanställning av kartläggningen av tak på Swedavias flygplatser. Sedan redovisas uppmätta värden på de fem olika taken och referensprovet på rent regnvatten. Slutligen presenteras resultatet i grafer där även detektionsgräns och gränsvärde visas i de fall där det är relevant. Resultatet redovisas i stapeldiagram där varje stapel motsvarar ett mätvärde. De blå staplarna är från den första provtagningen den 23:e oktober och de gröna staplarna är från den andra provtagningen den 30:e oktober.

### 4.1 KARTLÄGGNING AV TAK

Tabell 8 visar de vanligast förekommande taken på fem av Swedavias flygplatser. Taken redovisas efter flygplats, typ av byggnad och ungefärlig yta. Med "majoritet" angivet under yta finns inte exakt yta tillgänglig, men en majoritet av takytan på flygplatsen utgörs av det takmaterialet.

**Tabell 8:** *Förekomst av olika typer av tak och deras storlek på de olika flygplatserna*

Flygplats	Tak	Byggnad	Yta [m <sup>2</sup> ]
Arlanda	Grönt tak	Nya driftområdet	20 000
		Clarion hotell	2 300
		Brandstation city	650
		Kolsta reningsverk	400
	PVC-duk	Terminalbyggnader	110 000
		Hangarer/ekonomibygnader	
	FPO miljöduk	Terminalbyggnader	40 000
	TRP-stål	Hangarer/ekonomibygnader	20 000
	Aluminiumplåt	Hangarer/ekonomibygnader	20 000
	Takpapp	Hangarer/ekonomibygnader	
Landvetter	Grönt tak	Två glykolbyggnader	650
	FPO miljöduk	Mest förekommande	Majoritet
	Rostfri plåt	Mindre antal byggnader	
Bromma	Takpapp	Mest förekommande	Majoritet
	Eternit	Tre hangarer	
	Zinkplåt	Nya ankomsthallen	
	Kopparplåt	Delar av gamla charterhallen	
Malmö	Takpapp	Terminalen	14 550
	TRP-stål	Parkeringshus	2 900
Kiruna	TRP-stål	Hangarer	Majoritet
	Aluminiumplåt		
	Takpapp		

De tak som valdes för provtagning var grönt tak, PVC-duk, FPO miljöduk, takpapp och TRP-stål. Det togs även ett prov på rent regnvatten som referensvärde.

### 4.2 PROVTAGNINGSRISULTAT

#### 4.2.1 Provtagning 1

Tabell 9 visar resultatet för NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N och tot. N från den första provtagningen. Siffrorna inom parentes visar mätosäkerheten. På grund av att regnet slutade kl. 09:05

erhölls inte ett fullt prov för det gröna taket. Uppsamlingsflaskor ställdes ut vid stuprören och hämtades senare under dagen och eftersom gröna tak fördröjer avrinningen gav taket en del vatten, men inte tillräckligt för full analys. För ett fullt prov krävdes 6 dl vatten men taket gav bara ca 0,5 dl vilket ledde till att enbart  $\text{NH}_4^+$ -N,  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N och  $\text{PO}_4^{3-}$ -P kunde analyseras. Observera att de uppmätta halterna  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N och  $\text{NH}_4^+$ -N är högre tillsammans än den uppmätta halten tot. N på TRP-ståltaket och på FPO-taket, något som inte är teoretiskt möjligt. Skillnaden ligger dock inom mätosäkerheten.

**Tabell 9:** Resultat för  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N,  $\text{NH}_4^+$ -N och tot. N från den första provtagningen. Siffrorna inom parentes motsvarar  $\pm$ mätosäkerheten.

Prov	$\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N [mg/l]	$\text{NH}_4^+$ -N [mg/l]	Tot. N [mg/l]
Grönt tak	0,012 (0,005)	0,011 (0,005)	-
PVC-duk	0,095 (0,010)	0,150 (0,015)	0,30 (0,15)
FPO-duk	0,082 (0,008)	0,061 (0,006)	0,13 (0,15)
Takpapp	0,084 (0,008)	0,064 (0,006)	0,15 (0,15)
TRP-stål	0,250 (0,025)	0,069 (0,007)	0,30 (0,15)
Regn	0,064 (0,006)	0,071 (0,007)	0,17 (0,15)

Tabell 10 visar resultatet för tot. P,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P, DOC och suspenderat material från den första provtagningen. Siffrorna inom parentes visar mätosäkerheten. Observera att den uppmätta halten  $\text{PO}_4^{3-}$ -P på PVC-duken är högre än halten tot. P, vilket inte är teoretiskt möjligt. Skillnaden ligger dock inom mätosäkerheten.

**Tabell 10:** Resultat för tot. P,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P, DOC och suspenderat material från den första provtagningen. Siffrorna inom parentes motsvarar  $\pm$ mätosäkerheten.

Prov	$\text{PO}_4^{3-}$ -P [mg/l]	Tot. P [mg/l]	DOC [mg/l]	SS [mg/l]
Grönt tak	0,058 (0,006)	-	-	-
PVC-duk	0,014 (0,005)	0,012 (0,005)	<1 (0,5)	<5 (2,5)
FPO-duk	<0,01 (0,005)	<0,005 (0,005)	<1 (0,5)	5,5 (2,5)
Takpapp	<0,01 (0,005)	0,0076 (0,005)	1,5 (0,15)	<5 (2,5)
TRP-stål	<0,01 (0,005)	<0,005 (0,005)	1,5 (0,5)	<5 (2,5)
Regn	<0,01 (0,005)	0,0094 (0,005)	1,7 (0,5)	<5 (2,5)

Tabell 11 visar resultatet för metaller från den första provtagningen.

**Tabell 11:** Resultat för metaller från den första provtagningen. Siffrorna inom parentes motsvarar  $\pm$ mätosäkerheten.

Prov	Ca [mg/l]	Cu [µg/l]	Cd [µg/l]	Pb [µg/l]	Zn [µg/l]	Al [µg/l]
Grönt tak	-	-	-	-	-	-
PVC-duk	0,13 (0,02)	4,7 (0,71)	<0,03 (0,03)	<0,2 (0,19)	360 (54)	<20 (4,0)
FPO-duk	0,18 (0,02)	3,4 (0,52)	<0,03 (0,03)	<0,2 (0,19)	47 (7,1)	27 (4,1)
Takpapp	0,42 (0,04)	4,1 (0,61)	<0,03 (0,03)	<0,2 (0,19)	200 (30)	<20 (4,0)
TRP-stål	0,75 (0,08)	12 (1,80)	0,079 (0,03)	1,0 (0,19)	2 900 (440)	29 (4,4)
Regn	0,26 (0,03)	0,92 (0,18)	<0,03 (0,03)	3,9 (0,59)	22 (3,5)	<20 (4,0)

#### 4.2.2 Provtagning 2

Tabell 12 visar resultatet för  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N,  $\text{NH}_4^+$ -N och tot. N från den andra provtagningen.

**Tabell 12:** Resultat för  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N,  $\text{NH}_4^+$ -N och tot. N från den andra provtagningen. Siffrorna inom parentes motsvarar  $\pm$ mätosäkerheten.

Prov	$\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N [mg/l]	$\text{NH}_4^+$ -N [mg/l]	Tot. N [mg/l]
Grönt tak	0,22 (0,022)	0,037 (0,005)	3,20 (0,48)
PVC-duk	0,33 (0,033)	0,240 (0,024)	0,59 (0,15)
FPO-duk	0,18 (0,018)	0,075 (0,008)	0,52 (0,15)
Takpapp	0,048 (0,005)	0,080 (0,008)	0,17 (0,15)
TRP-stål	0,20 (0,020)	0,140 (0,014)	0,38 (0,15)
Regn	0,21 (0,021)	0,170 (0,017)	0,83 (0,15)

Tabell 13 visar resultatet för tot. P,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P, DOC och suspenderat material från den andra provtagningen.

**Tabell 13:** Resultat för tot. P,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P, DOC och suspenderat material från den andra provtagningen. Siffrorna inom parentes motsvarar  $\pm$ mätosäkerheten.

Prov	$\text{PO}_4^{3-}$ -P [mg/l]	Tot. P [mg/l]	DOC [mg/l]	SS [mg/l]
Grönt tak	0,14 (0,014)	0,260 (0,026)	52 (7,8)	<5 (2,5)
PVC-duk	<0,01 (0,005)	0,012 (0,005)	1,1 (0,5)	<5 (2,5)
FPO-duk	<0,01 (0,005)	0,031 (0,005)	3,2 (0,5)	<5 (2,5)
Takpapp	<0,01 (0,005)	0,012 (0,005)	1,3 (0,5)	<5 (2,5)
TRP-stål	<0,01 (0,005)	0,016 (0,005)	1,8 (0,5)	<5 (2,5)
Regn	<0,01 (0,005)	0,060 (0,006)	3,2 (0,5)	52 (7,8)

Tabell 14 visar resultatet för metaller från den andra provtagningen.

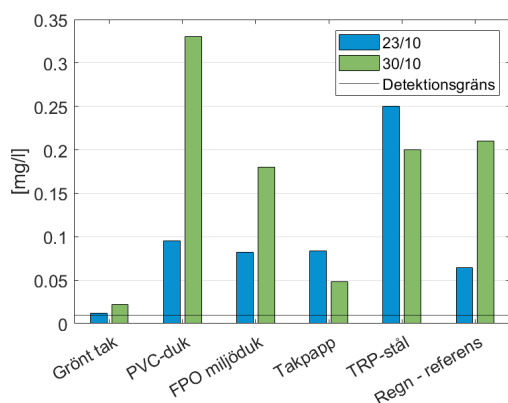


**Tabell 14:** Resultat för metaller från den andra provtagningen. Siffrorna inom parentes motsvarar  $\pm$ mätosäkerheten.

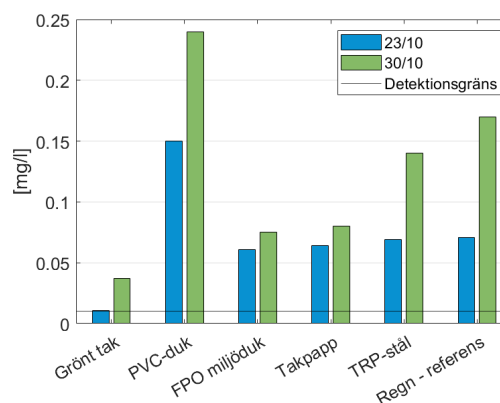
Prov	Ca [mg/l]	Cu [µg/l]	Cd [µg/l]	Pb [µg/l]	Zn [µg/l]	Al [µg/l]
Grönt tak	67 (6,70)	11 (1,7)	0,068 (0,03)	<0,2 (0,19)	69 (10)	31 (4,6)
PVC-duk	0,61 (0,06)	8,7 (1,3)	0,097 (0,03)	0,69 (0,19)	740 (110)	110 (17)
FPO-duk	1,7 (0,17)	24 (3,6)	<0,03 (0,03)	1,10 (0,19)	140 (21)	400 (60)
Takpapp	0,28 (0,03)	5,3 (0,79)	<0,03 (0,03)	0,23 (0,19)	180 (27)	<20 (4,0)
TRP-stål	0,78 (0,08)	12 (1,8)	0,095 (0,03)	1,70 (0,26)	4300 (650)	45 (6,8)
Regn	1,2 (0,12)	8,4 (1,3)	<0,03 (0,03)	5,80 (0,87)	28,0 (4,2)	180 (27)

#### 4.2.3 Sammanställda resultat

Figur 8 visar halten  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N vid de båda mättillfällena för de olika taken och figur 9 visar halten  $\text{NH}_4^+$ -N vid de båda mättillfällena för de olika taken.

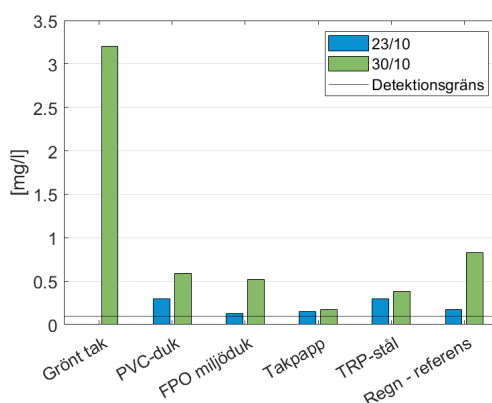


**Figur 8:** Figuren visar  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N vid de båda mättillfällena för de olika taken. Det lägsta gränsvärdet är 3,2 mg/l.



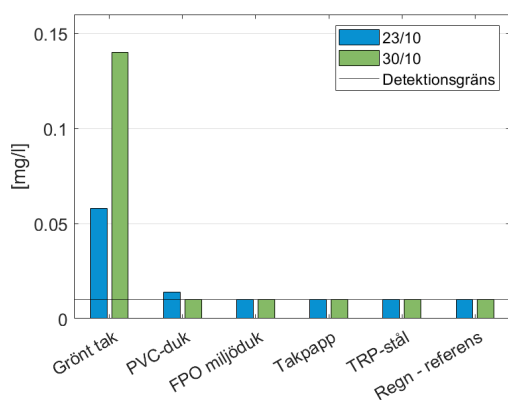
**Figur 9:** Figuren visar  $\text{NH}_4^+$ -N vid de båda mättillfällena för de olika taken. Det lägsta gränsvärdet är 1,5 mg/l.

Figur 10 visar halten tot. N vid de båda mättillfällena för de olika taken.

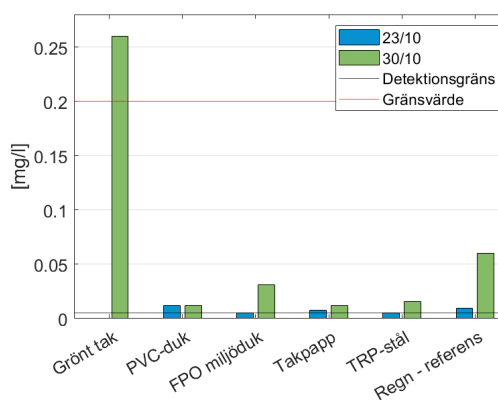


**Figur 10:** Figuren visar tot. N vid de båda mättillfällena för de olika taken. Det finns inget gällande gränsvärde.

Figur 11 visar halten  $PO_4^{3-}$ -P vid de båda mättillfällena för de olika taken och figur 12 visar halten tot. P vid de båda mättillfällena för de olika taken. Den röda linjen i figur 11 motsvarar det lägsta gränsvärdet för  $PO_4^{3-}$ -P enligt tabell 5.

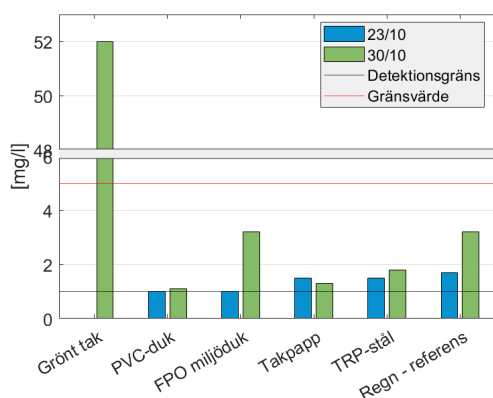


**Figur 11:** Figuren visar  $PO_4^{3-}$ -P vid de båda mättillfällena för de olika taken. Det finns inget gällande gränsvärde.

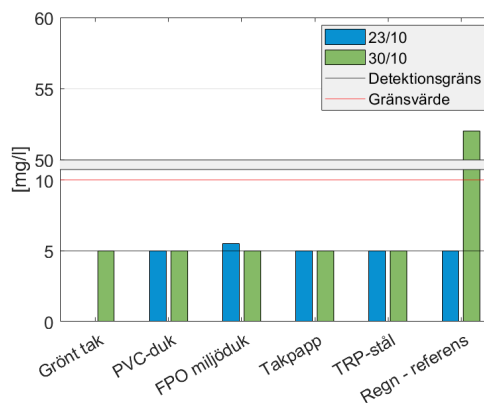


**Figur 12:** Figuren visar tot. P vid de båda mättillfällena för de olika taken. Det lägsta gränsvärdet är 0,2 mg/l.

Figur 13 visar halten DOC vid de båda mättillfällena för de olika taken och figur 14 visar halten suspenderat material vid de båda mättillfällena för de olika taken. Den röda linjen motsvarar det lägsta gränsvärdet för DOC respektive suspenderat material enligt tabell 5. Observera att y-axeln är bruten i båda figurerna.

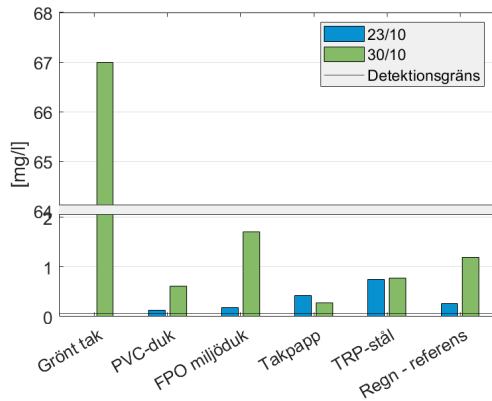


**Figur 13:** Figuren visar DOC vid de båda mättillfällena för de olika taken. Det lägsta gränsvärdet är 5 mg/l.

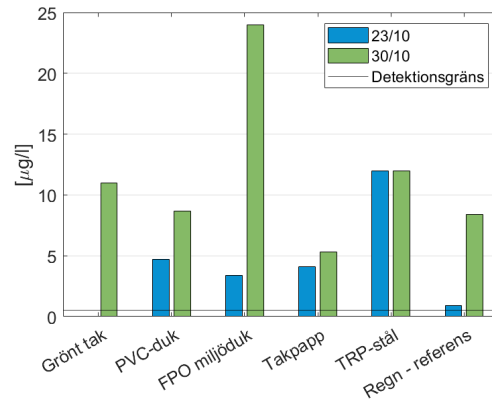


**Figur 14:** Figuren visar suspenderat material vid de båda mättillfällena för de olika taken. Det lägsta gränsvärdet är 10 mg/l.

Figur 15 visar kalciumhalten vid de båda mättillfällena för de olika taken och figur 16 visar kopparhalten vid de båda mättillfällena för de olika taken. Observera att y-axeln är bruten i figur 15.

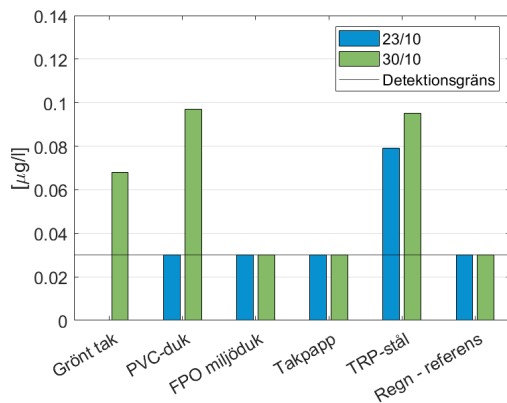


**Figur 15:** Figuren visar kalciumhalten vid de båda mättillfällena för de olika taken. Det finns inget gällande gränsvärde.

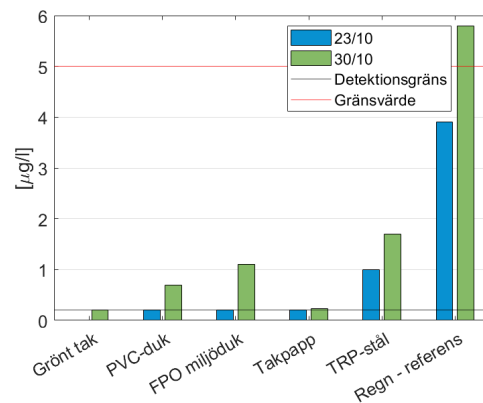


**Figur 16:** Figuren visar kopparhalten vid de båda mättillfällena för de olika taken. Det lägsta gränsvärdet är 200 µg/l.

Figur 17 visar kadmiumhalten vid de båda mättillfällena för de olika taken och figur 18 visar blyhalten vid de båda mättillfällena för de olika taken. Den röda linjen i figur 18 motsvarar det lägsta gränsvärdet för bly enligt tabell 5.

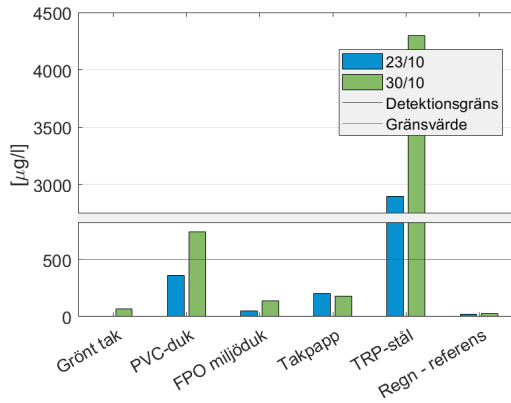


**Figur 17:** Figuren visar kadmiumhalten vid de båda mättillfällena för de olika taken. Det lägsta gränsvärdet är 3 µg/l.

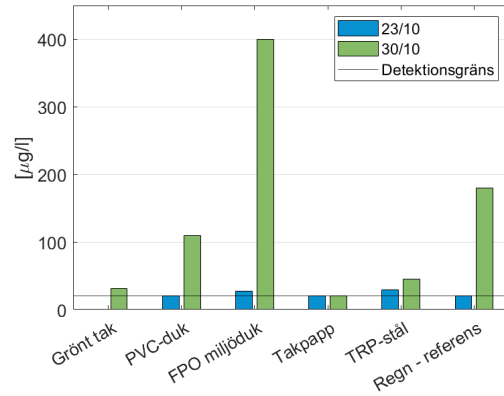


**Figur 18:** Figuren visar blyhalten vid de båda mättillfällena för de olika taken. Det lägsta gränsvärdet är 5 µg/l.

Figur 19 visar zinkhalten vid de båda mättillfällena för de olika taken och figur 20 visar aluminiumhalten vid de båda mättillfällena för de olika taken. Den röda linjen i figur 19 motsvarar det lägsta gränsvärdet för zink enligt tabell 5. Observera att y-axeln är bruten i figur 19.



**Figur 19:** Figuren visar zinkhalten vid de båda mättillfällena för de olika taken. Det lägsta gränsvärdet är 500 µg/l.



**Figur 20:** Figuren visar aluminiumhalten vid de båda mättillfällena för de olika taken. Det lägsta gränsvärdet är 100 µg/l.

## 5 DISKUSSION

Först diskuteras planeringen av provtagningen och hur urvalet gick till vid val av tak och parametrar att analysera. Sedan följer en utförlig diskussion om de uppmätta värdena för respektive tak. Därefter diskuteras skillnader mellan provtagningstillfällena och vad luftföroreningar kan ha för inverkan på resultaten. Användningsområden för det insamlade regnvattnet och felkällor diskuteras, och slutligen ges exempel på hur framtida studier kan fortsätta arbetet mot att kunna återanvända takdagvatten för att minska dricksvattenförbrukningen.

### 5.1 PLANERING AV PROVTAGNING

Vid val av tak för provtagning fanns olika faktorer att ta hänsyn till. Störst hänsyn togs till hur pass lämpade taken skulle kunna vara för uppsamling av regnvatten, och där ingick bland annat förekomst på Swedavias flygplatser och förväntad föroreningsrisk. Ytterligare faktorer var exempelvis tillgänglighet och geografisk placering på Arlanda Airport där provtagningen utfördes. Vid provtagning krävdes assistans av personal på Swedavia för att ta sig runt på flygplatsområdet och det var nödvändigt att ta majoriteten av proverna manuellt under ett pågående regnväder. Tidpunkten och varaktigheten av regntillfällena gick inte alltid att förutspå. Dessa faktorer innebar att antalet tak som kunde studeras behövde begränsas för att alla tak skulle hinnas med under samma regntillfälle.

Gröna tak ger mindre avrinning då de samlar upp en del av vattnet, men kan fungera som en sänka för tungmetaller och vissa näringsämnen och kan därför lämpa sig för uppsamling av regnvatten. De skiljer sig från konventionella tak och är därmed intressant att studera. Takpapp kan bidra med både näringsämnen och tungmetaller vilket minskar sannolikheten att det är lämpat för återanvändning av regnvatten, men kan fungera som en sänka för bekämpningsmedel och kadmium. Takpapp är både lättillgängligt och vanligt förekommande på Swedavias flygplatser, se tabell 8, vilket var de främsta anledningarna till att provtagning gjordes på detta tak. PVC-duk och FPO miljöduk förekommer inte i tidigare studier men har potential att vara ett bra takmaterial för uppsamling av regnvatten. PVC-plast har ibland använts vid uppsamling och provtagning i studier då det inte antas ge ifrån sig några föroreningar vilket borde tyda på att det kan lämpa sig för uppsamling av vatten på tak. Både PVC-duk och FPO-duk är vanligt förekommande på Arlanda Airport och Landvetter Airport. TRP-stål är den vanligaste typen av plåttak på Swedavias flygplatser och valdes därför till provtagning. Det finns få studier om ståltak, men det kan antas att den galvanisering som en stor del av ståltak har skulle kunna bidra med föroreningar i form av zink eller aluminium beroende på om beläggningen är av zink eller aluzink.

I tabell 3 och 4, som är en sammanställning av litteraturvärden från StormTac, ses att aluminiumtak, koppertak och zinktak kan väntas ge hög halt suspenderat material samt att koppertak och zinktak kan väntas ge hög halt koppar respektive zink. Även tabell 1, som är en sammanställning av en del av litteraturstudien, visar att koppar- och zinktak kan ge föroreningar av koppar respektive zink och bly. Då koppar och zink är toxiska metaller bedöms koppertak och zinktak inte vara lämpade för att använda till insamling av regnvatten. Eternittak blir allt mindre vanliga och det finns inte många studier om det

takmaterialet vilket gör den typ av tak mindre intressant att studera, och därför utfördes inte provtagning på dessa tak. Aluminiumtak har gett relativt motstridiga resultat i tidigare studier där vissa resultat pekar på att det lämpar sig för uppsamling av regnvatten och andra inte. Rostfria plåttak har möjlighet att vara lämpade för uppsamling av regnvatten då de inte har någon lackering eller beläggning. Eventuellt skulle det oxid-kromlager som bidrar till den rostfria egenskapen kunna bidra med föroreningar. Provtagningen gjordes inte på dessa två typer av plåttak vilket baserades på förekomst på flygplatserna, tillgänglighet och logistik vid själva provtagningen.

Mängden vatten som krävdes från varje tak behövde begränsas för att få ett fullständigt prov från alla tak. Det gröna taket ger en begränsad mängd vatten då det håller en stor del av regnvattnet, och vid flera av de andra taken där provtagning gjordes krävdes det att proverna togs under pågående regnväder vilket gjorde att insamlingen av vatten vid respektive tak riskerade att ta för lång tid om vattenmängden hade varit mycket stor. Även insamlingen av rent regnvatten var en begränsande faktor eftersom det krävdes en förhållandevis stor yta för att få ihop tillräckligt mycket vatten. Detta ledde till att mängden parametrar som kunde analyseras var begränsad. Parametrarna valdes utifrån litteraturstudien och tabell 1 där förväntade föroreningsparametrar sammanställdes.

## **5.2 OLIKA TYPER AV TAK**

### **5.2.1 Grönt tak**

Gröna tak ger förhöjda halter av flera uppmätta parametrar. De som står ut mest är tot. N, tot. P,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P, DOC och kalcium som ger markant högre värden än de andra mätplatserna. Att den totala halten kväve är hög överensstämmer med teorin då gröna tak förväntas ta upp oorganiskt kväve i form av  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N och  $\text{NH}_4^+$ -N och släppa ifrån sig höga halter organiskt kväve, något som bidrar till den höga halten tot. N och orsakar de låga halterna  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N och  $\text{NH}_4^+$ -N. Schablonvärdet för tot. N enligt StormTac, se tabell 3, är 3,89 mg/l vilket stämmer relativt bra med det uppmätta värdet på 3,2 mg/l. Den höga halten tot. P utgörs till ca 40 % av  $\text{PO}_4^{3-}$ -P. Schablonvärdet på tot. P enligt StormTac är 0,285 mg/l vilket stämmer överens med det uppmätta värdet på 0,26 mg/l. Både schablonvärdet och det uppmätta värdet överstiger därmed gränsvärdet för användning inom "environmental and aquaculture" och "industrial cooling" som ligger på 0,2 mg/l enligt tabell 5. Gränsvärdet för "private, urban and irrigation" ligger på 2-5 mg/l och överskrids därmed inte. Den höga halten  $\text{PO}_4^{3-}$ -P kan komma från gödslingsmedlet. Halten DOC uppmättes till 52 mg/l som kan jämföras med schablonvärdet enligt StormTac som ligger på 35,5 mg/l, se tabell 3. En hög halt DOC stämmer med teorin och tros bero på nedbrytningen av växter och det organiska materialet i substratjorden. Då nedbrytningen av växter är kan variera med årstiderna kan DOC-halten vara olika beroende på tid på året. Gränsvärdet för att inte riskera korrosion i kopparledningar ligger på 5 mg/l vilket alltså överskrids av både det uppmätta värdet och schablonvärdet i StormTac. Gränsvärdet på 10 mg/l för suspenderat material överskrids inte av det uppmätta värdet men av schablonvärdet i StormTac som ligger på 19 mg/l vilket gör att det kan anses som en risk. Gröna tak antas kunna vara en sänka för tungmetaller vilket styrks av de låga halterna bly, zink och aluminium. En låg zinkhalt stämmer med resultatet i litteraturstudien från tidigare utförda studier. Kalcium, kadmium och koppar följer dock inte detta mönster utan visar förhöjda halter jämfört

med referensvärdet på rent regnvatten. Kopparhalten är dock inte lika hög som i vissa tidigare studier där förhöjda kopparhalter antogs bero på gödslingsmedlet. Kalciumhalten uppmättes till 67 mg/l och står ut jämfört med mätningarna på de resterande taken där det högsta uppmätta värdet från något av de andra taken var 1,7 mg/l på taket med FPO miljöduk. Schablonvärdet enligt StormTac är 78 mg/l. Inga gränsvärden finns varpå ingen slutsats kan dras om halten är tillräckligt hög för att utgöra en risk av något slag.

### 5.2.2 PVC-duk

PVC-taket ger höga värden på  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N,  $\text{NH}_4^+$ -N och kadmium. Inga av värdena överskrider dock de gränsvärden som redovisas i tabell 5. Bortsett från TRP-ståltaket ger PVC-duken högst värden på zink på 360  $\mu\text{g/l}$  respektive 740  $\mu\text{g/l}$ . Gränsvärdet enligt tabell 5 är satt till 500-2000 vilket betyder att det uppmätta värdet vid det andra provtagningstillfället överskrider gränsvärdet. Gränsvärdet gäller "private, urban and irrigation" och "environmental and aquaculture". Tot. P, DOC och kalcium är också något förhöjda jämfört med de resterande taken men överskrider inte några gränsvärden. Resterande parametrar ger låga värden. Schablonvärdet på suspenderat material i StormTac är 15 mg/l vilket överskrider gränsvärdet på 10 mg/l, vilket gör att suspenderat material kan vara en risk trots att provtagningarna inte visade höga värden. Taket hade rengjorts några veckor innan provtagningen ägde rum vilket skulle kunna vara en förklaring till låga värden. Taket var också mindre och fritt från andra material jämfört med FPO-duken, vilket minskade inverkan av andra ytor på provresultatet. Taket är beläget på Terminal 2 där flyg- och biltrafiken är lägre än vid Terminal 5 där provtagning utfördes på FPO miljöduk och TRP-ståltak vilket också skulle kunna leda till låga värden. Taket är dock lägre än taket med FPO miljöduk, och borde därför vara mer utsatt för deposition av luftburna föroreningar och partiklar från flyg- och biltrafiken.

### 5.2.3 FPO miljöduk

Vid det första provtagningstillfället var FPO-taket det enda taket som gav utslag över rapporteringsgränsen för suspenderat material med ett värde på 5,5 mg/l, något som dock bara ligger strax över rapporteringsgränsen på 5 mg/l. Vid det första provtagningstillfället gav taket låga halter av koppar och aluminium, medan de vid det andra tillfället var betydligt högre med en kopparhalt på 24  $\mu\text{g/l}$  och en aluminiumhalt på 400  $\mu\text{g/l}$ . Båda värdena var de högsta uppmätta på något av taken av respektive ämne men överskrider inte gränsvärdena som ligger på 200-1000  $\mu\text{g/l}$  för koppar och 1000-5000  $\mu\text{g/l}$  för aluminium. Bortsett från de markant högre värdena uppmätta på det gröna taket uppvisade tot. P, DOC och kalcium relativt höga halter jämfört med de resterande taken. Tot. P uppmättes som mest till 0,031 mg/l, DOC till 3,2 mg/l och kalcium till 1,7 mg/l. De överskrider dock inte några gränsvärden. De resterande parametrarna gav låga halter. Själva takmaterialet på FPO-taket och PVC-taket förväntas ge liknande halter av de undersökta parametrarna då FPO- och PVC-plast har liknande innehåll. Att skillnader uppmätts beror förmodligen på atmosfärisk deposition och andra yttre faktorer. Takytan på FPO-taket är mycket större än på PVC-taket och är inte lika isolerad då det bland annat finns gångplattor, träspångar och byggnader av rostfri plåt. Dessa faktorer påverkar med stor sannolikhet resultatet. FPO-taket var inte heller rengjort tätt inpå provtagningen till skillnad från PVC-taket och hade många tydliga

föroreningar i form av mossor och svarta fläckar.

#### 5.2.4 Takpapp

Taket med takpapp uppmätte låga värden på majoriteten av parametrarna. Den enda parametern som var något högre var  $\text{NH}_4^+$ -N som vid det första provtillfället uppmättes till 0,064 mg/l, men det var fortfarande mindre än hälften så högt som det högsta uppmätta värdet som låg på 0,15 mg/l för PVC-duken. De flesta av parametrarna gav lägre uppmätta värden än vad som anges som schablonvärden i StormTac förutom koppar och zink som översteg schablonvärdena. Kopparhalten uppmättes till 4,1  $\mu\text{g/l}$  respektive 5,3  $\mu\text{g/l}$  vid de två provtillfällena jämfört med värdet i StormTac som ligger på 5  $\mu\text{g/l}$ . Zinkhalten uppmättes till 200  $\mu\text{g/l}$  respektive 180  $\mu\text{g/l}$  vid de två provtillfällena jämfört med värdet i StormTac som ligger på 27  $\mu\text{g/l}$ . Halterna är under gränsvärdena och lägre än för många av de andra taken. Suspenderat material ger inga resultat över detektionsgränsen på 5 mg/l, men gränsvärdet på 10 mg/l överskrids av schablonvärdet i StormTac på 25 mg/l vilket gör att halterna kan riskera att överskrida gränsvärdet även om resultatet från provtagningarna inte visade några sådana tendenser. En förklaring till de generellt låga halterna kan vara att takpappen har en förhållandevis skrovlig och ojämn yta, vilket kan fungera som en sänka för många parametrar genom att de helt enkelt fastnar på taket. Taket är beläget på Terminal 4 som har förhållandevis låg trafikering både av flygplanstrafik och annan fordonstrafik jämfört med Terminal 5. Att taket är relativt lågt borde dock leda till högre halter då partiklar som sprids vid resuspension har större sannolikhet att deponeras på taket jämfört med tak på högre höjder.

#### 5.2.5 TRP-stål

Taket med TRP-stål gav höga värden på flera av parametrarna.  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N, koppar och bly ger relativt höga halter. Bly ger näst högst värden jämfört med de övriga mätplatserna vid båda mättillfällena, där högst värde fås från referensprovet på rent regnvatten. Halterna på 1  $\mu\text{g/l}$  respektive 1,7  $\mu\text{g/l}$  överskrider inte det lägsta gränsvärdet som ligger på 5  $\mu\text{g/l}$ . Även koppar ger näst högst mätvärden jämfört med de andra taken vid båda tillfällena där värdet vid båda tillfällena uppmättes till 12  $\mu\text{g/l}$ . Gränsvärdet ligger på 200-1000  $\mu\text{g/l}$ . Vid den första provtagningen ger  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N högst värden vid TRP-ståltaket med ett värde på 0,25 mg/l. Det är dock långt ifrån gränsvärdet för att användas för tillverkning av grundvatten som ligger på 3,2 mg/l som är det enda användningsområde där ett gränsvärde är satt. Kadmiumhalten är hög och vid den första mätningen är det det enda taket som ger utslag över rapporteringsgränsen på 0,03  $\mu\text{g/l}$ . Halterna uppmättes till 0,079  $\mu\text{g/l}$  respektive 0,095  $\mu\text{g/l}$  vid de båda provtagningstillfällena. Gränsvärdet ligger på 3-5  $\mu\text{g/l}$  vilket inte överskrids. Det mest utstickande värdet för TRP-ståltaket är zinkhalten. Vid det första provtagningstillfället uppmättes en zinkhalt på 2900  $\mu\text{g/l}$  och vid det andra tillfället 4300  $\mu\text{g/l}$ . Halterna är betydligt högre än för de andra taken där det högsta värdet uppmättes för PVC-duken på 740  $\mu\text{g/l}$ . Halterna överstiger gränsvärdet som ligger på 500-2000  $\mu\text{g/l}$  för "private, urban and irrigation" och "environmental and aquaculture". Den höga zinkhalten kan bero på den zinkbeläggning som taket har. Taket befinner sig på Terminal 5 som har hög belastning flyg- och fordonstrafik och taket är relativt lågt, vilket också kan bidra till de höga halterna. Tot. N,  $\text{NH}_4^+$ -N, tot. P,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P, DOC, suspenderat material, kalcium och



aluminium gav låga eller medelhöga halter.

### 5.2.6 Regn - referens

Ett prov på rent regnvatten togs för att använda som referens vid jämförelse med proverna från de fem olika taken. Regnvattnet uppvisade varierande resultat. Tot. N,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P, kalcium, kadmium, koppar och zink visade låga eller medelhöga värden.  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N,  $\text{NH}_4^+$ -N, tot. P, DOC och aluminium visade relativt höga till höga halter medan suspenderat material och bly visade markant högre halter än för de olika taken. Blyhalten låg på 3,9  $\mu\text{g/l}$  respektive 5,8  $\mu\text{g/l}$  vid de två mättillfällena, medan det högsta värdet för något av de andra taken låg på 1,7  $\mu\text{g/l}$  på TRP-ståltaket vilket kan ses i figur 18. Den höga blyhalten i regnvattnet kan bero på kontaminering av vattnet även om det inte finns någon uppenbar källa till detta. De små metallringarna längs presenningens kanter som användes för att binda fast pressningen skulle kunna vara en källa, men detta bedöms som osannolikt då de utgör en väldigt liten yta jämfört med presenningen. En annan förklaring till den höga halten kan vara våtdeposition där regnvattnet för med sig föroreningar som finns i luften. Mätplatsen där provet togs befinner sig längre från flygplanens start-, landnings- och taxningsområden än de fem olika taken och inte i ett område med utmärkande hög trafik varpå detta inte heller tros vara en entydig förklaring, även om det kan bidra. Eftersom provet visade höga halter vid båda mättillfällena tros det inte handla om ett mätfel eller en tillfälligt förhöjd halt. Gregoire och Clausen (2011) såg förhöjda blyhalter i regnvattnet i sin studie när det utfördes byggarbete i närheten av mätplatsen. På Arlanda Airport förekommer flera byggarbeten vilket skulle kunna förklara de höga halterna, även om de borde ha påverkat samtliga mätplatser. Det är möjligt att taken fungerar som en sänka och att blyhalten i det avrunna vattnet därför blir lägre än i det rena regnvattnet. Gränsvärdet enligt tabell 5 överskrids inte för "private, urban and irrigation" eller "environmental and aquaculture" där halten ligger på 100  $\mu\text{g/l}$ , men för kategorin "indirect aquifer recharge" överskrids gränsvärdet som ligger på 5  $\mu\text{g/l}$ . Även suspenderat material gav förhöjda halter. Detta gällde dock enbart det andra mättillfället, då det första tillfället gav en halt på 5  $\text{mg/l}$  vilket är den lägsta rapporteringsgränsen och samma uppmätta värde som i stort sett alla andra tak. Vid den andra mätningen var värdet 52  $\text{mg/l}$ , något som överskrider gränsvärdet för samtliga användningsområden som ligger på 10-20  $\text{mg/l}$ . Den höga halten var inte oväntad då vattnet innehöll tydliga partiklar vid uppsamling. Presenningen hade då suttit uppe i åtta dagar utan att tas ned mellan provtagningstillfällena. En förklaring till de höga halterna suspenderat material skulle kunna vara att presenningen befinner sig i marknivå medan de undersökta takytorna är högre upp. Detta skulle kunna leda till att fler partiklar deponeras på presenningen än på taken. För att undersöka detta under framtida studier skulle rent regnvatten kunna samlas upp även på taknivå.

### 5.3 SKILLNADER MELLAN PROVTAGNINGSTILLFÄLLENA

De uppmätta halterna är generellt högre vid provtagningen den 30:e oktober än vid den 23:e oktober. Endast fyra mätvärden följer inte detta mönster:  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N på TRP-ståltaket,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P på PVC-duken och  $\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-$ -N och zink på takpapp där halterna är högre vid den första provtagningen.

Provtagningarna genomfördes med en veckas mellanrum. Innan den första provtagningen var det senaste nederbördstillfället ett dygn innan provtagningen och dessförinnan tre dygn innan, den 20:e oktober. Innan den andra provtagningen var det senaste nederbördstillfället ett dygn innan provtagningen och utgjordes av 0,4 mm snö vilken smälte då temperaturen var 3°C. Förutom det kom ingen mer nederbörd mellan provtagningstillfällena. Vid den första provtagningen hade taken alltså utsatts för mer nederbörd innan provtagningen utfördes än vid det andra provtagningstillfället. Detta kan ha lett till de högre värdena vid den andra provtagningen då föroreningarna inte hade sköljts bort av tidigare nederbördstillfällen i samma utsträckning. Nederbördstillfället började 2 timmar senare vid den andra provtagningen, något som också kan ha bidragit till att föroreningarna inte hade sköljts bort lika mycket som vid den första provtagningen. Effekten “first flush” som innebär att det första vattnet är mer förorenat än det efterföljande brukar dock syfta på ett kortare tidsintervall, då det ändå tog ca 4 timmar från det att regnet startade till att det första provet togs.

#### **5.4 LUFTFÖRORENINGAR**

På Arlanda Airport där provtagningarna utfördes klarade i princip alla uppmätta luftföroreningar miljö kvalitetsnormerna och miljömålet Frisk Luft, se tabell 2. Det enda undantaget var O<sub>3</sub> som 2017 uppmättes till 56,0 µg/m<sup>3</sup> där generationsmålet ligger på 50 µg/m<sup>3</sup>. Även de andra undersökta flygplatserna klarade satta gränsvärden. Detta gör att de uppmätta luftföroreningarna inte är några uppenbara källor till föroreningar i dagvattnet, även om de troligen har en viss påverkan på provresultaten. De parametrar som analyserades i vattnet är svåra att mäta i luften och kan istället mätas med torr- och våtdeposition. De mätningar som har gjorts på torr- och våtdeposition i närheten av Arlanda Airport har inte visat några tecken på förhöjda halter förutom viss risk för försurning i marken vilket kan tyda på att surt regn förekommer, något som kan leda till ökad korrosion på takytor.

#### **5.5 ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN**

Med utgångspunkt i de fyra olika typer av användningsområden som listas enligt Salgot m. fl. (2007) är “environmental and aquaculture” ett mindre troligt användningsområde för takdagvatten på Swedavias flygplatser med tanke på deras verksamhet. Även “indirect aquifer recharge” är mindre troligt, av samma anledning. Den kategori som är mest trolig för användning av Swedavia är “private, urban and irrigation”. Takdagvattnet skulle då kunna användas till vattenarrangemang så som fontäner och bevattning av anlagda och naturliga rabatter, parker och andra grönytor. Användning till spolning av toaletter skulle kräva stora logistiska ombyggnationer och är därför inte lämpligt på befintliga byggnader, men kan vara intressant vid nybyggnation. Vid asfaltsläggning går det åt stora mängder vatten med relativt låga kvalitetskrav och där skulle återvunnet regnvatten kunna vara ett alternativ. Vatten till sprinklersystem kan också vara ett användningsområde. Där är det dock viktigt att kunna garantera det tryck och den mängd vatten som krävs för att systemet ska fungera korrekt vid eventuell brand. Det är också viktigt att det inte finns någon risk för korrosion eller igensättning av rören eftersom detta kan hindra vattnet från att transporteras i ledningarna. Även om sprinklervattnet inte ofta kommer i kontakt med människor eller miljö kan kvalitetskraven alltså ändå vara höga. Ett möjligt användningsområde är avisningsvätskor till flygplan samt start-

och landningsbanor. För att inte riskera flygsäkerheten ställs höga krav på avisningsvätskorna. Vätskan får till exempel inte riskera att leda till korrosion på flygdelar eller adsorbera till flygplanet mer än vad den nuvarande vätskan gör, och den avisningsvätska som används på start- och landningsbanorna får inte påverka underlaget på ett sådant sätt att det riskerar säkerheten.

## 5.6 FELKÄLLOR

Efter litteraturstudien och i förberedelserna inför provtagningen beställdes material för fem provtagningar. På grund av väderförhållanden kunde så många provtagningar inte genomföras. Figur A1 visar ackumulerad nederbörd från perioden 8:e oktober till 29:e november. De regntillfällena då provtagningen genomfördes är tydligt de regntillfällena med mest nederbörd. Två ytterligare mindre regntillfällena under november syns i grafen. Det ena inträffade under natten till en lördag och det andra under natten till en måndag. Provtagning vid dessa tillfällen var därför inte möjligt, och det är troligt att den totala nederbördsmängden under dessa tillfällen inte var tillräcklig för att kunna ge en fullständig provtagning då nederbördsmängden var cirka 2,5 mm respektive 1,5 mm. Det var främst det gröna taket och provtagningen på det rena regnvattnet som krävde en viss nederbördsmängd. Det gröna taket håller kvar en stor del av vattnet och uppsamlingsytan för det rena regnvattnet var begränsad i jämförelse med takytorna som var betydligt större.

Att det bara genomfördes två provtagningar bidrar till att resultaten blir osäkra och det blir svårt att dra statistiskt säkerställda slutsatser. Vid den första provtagningen visas tre teoretiskt omöjliga resultat, som exempelvis att  $\text{PO}_4^{3-}$ -P-halten är högre än halten tot. P på PVC-duken. Resultaten ligger inom mätosäkerheten för samtliga fall men detta bidrar ändå till en högre osäkerhet. Fler provtagningstillfällen skulle kunna stärka resultaten och göra osäkerheter som dessa mindre relevanta.

Provtagning på TRP-ståltaket, takpappen och det gröna taket gjordes på marknivå efter att vattnet hade passerat en hängränna och ett stuprör. Materialet i dessa kan ha påverkat resultatet. För att utesluta denna faktor kan provet tas direkt från taket innan det når hängrännan. Detta var dock inte möjligt på dessa tre tak och därför gjordes provtagningen i stuprören.

Enligt tidigare utförda studier är den första regnskuren mer förorenad än efterföljande regn. Detta fenomen undersöktes inte eftersom det inte var möjligt att vara på plats direkt när regnet startade, och eftersom provtagning gjordes på flera platser gick det inte att ta provet samtidigt på de olika taken. De två nederbördstillfällen där provtagning gjordes startade 02:10 respektive 04:10 och provtagning vid dessa tidpunkter var inte möjligt. För att åstadkomma provtagning på den första regnskuren kan en mätutrustning som mäter kontinuerligt användas, eller en särskild uppsamlingskonstruktion för att samla upp den första skuren i en särskild behållare och det efterföljande regnet i en annan större behållare.

Samma utrustning användes vid båda provtagningarna och rengjordes mellan tillfällena. Eventuell påverkan på resultatet borde därför vara samma vid de båda tillfällena och inte

bidra till de högre värdena vid den andra provtagningen. Provtagningen utfördes på samma sätt båda gångerna för att eliminera skillnader mellan provtagningstillfällena.

## **5.7 FRAMTIDA STUDIER**

För att förbättra och göra resultatet i detta examensarbete statistiskt säkerställt bör fler provtagningar genomföras. Vattenprover skulle även kunna tas på taknivå ovanför stuprännorna för att eliminera stuprännornas påverkan på resultatet. För att få mer kunskap kring vad som orsakade den höga blyhalten i provet på det rena regnvattnet bör fler prover tas med olika typer av insamlingsmetoder.

För att fortsätta arbetet mot att kunna återanvända regnvatten finns flera områden som behöver studeras vidare. Framförallt är det viktigt att analysera fler parametrar för att säkerställa att vattnet klarar samtliga kvalitetskrav för att inte utsätta människor och miljö för risker. Olika användningsområden bör undersökas mer grundligt för att hitta specifika platser på flygplatserna där det skulle vara möjligt att använda återanvänt regnvatten istället för dricksvatten. Ett område som behöver studeras för att möjliggöra detta är uppsamling, förvaring och distribution av vattnet. För att minska kostnader och energiförbrukning vid distribution är ett alternativ att ha uppsamlingen nära området där vattnet ska användas. Förvaring av vattnet ställer olika krav beroende på årstid och geografisk position. Under sommaren och högre temperaturer finns risken att den mikrobiologiska aktiviteten ökar och gränsvärden riskerar att överskridas. På vintern när temperaturen sjunker och nederbörden istället består av snö kan detta leda till en mindre mängd vatten och att vattnet fryser vid förvaring vilket kan leda till skador på förvaringskärlen. Det finns inte heller samma behov av bevattning under vinterhalvåret som under sommaren vilket ställer krav på andra typer av användningsområden.

## 6 SLUTSATSER

Efter litteraturstudie, provtagning och analys av resultaten kunde följande slutsatser dras.

- Dagvattnet från det gröna taket, taket med PVC-duk och taket med TRP-stål överskrider ett eller flera gränsvärden.
- Dagvattnet från taket med takpapp och taket med FPO miljöduk överskrider inga gränsvärden.
- Swedavia har goda förutsättningar att minska dricksvattenförbrukningen genom att återanvända takdagvatten.

Zinkhalten i dagvattnet från TRP-ståltaket överskrider gränsvärdena för samtliga användningsområden och taket är därför inte lämpligt att använda till uppsamling av regnvatten. Dagvattnet från taket med PVC-duk överskrider gränsvärdet för zink något vid den andra provtagningen och är därför inte heller lämpligt att återanvända. Det gröna taket överskrider DOC-halten för vad som kan utgöra en risk för korrosion och överskrider gränsvärdet för tot. P för vissa användningsområden.

Dagvattnet från taken med takpapp och FPO miljöduk överskrider inga gränsvärden, och dessa taktyper kan därför vara lämpliga att använda för detta ändamål. Dock går det inte att garantera att takdagvattnet är av tillräckligt hög kvalitet för att kunna återanvändas även om de klarar gränsvärdena för de uppmätta parametrarna. För att kunna säkerställa att vattnet inte utgör några risker för människors hälsa eller miljö bör fler parametrar undersökas. Mikrobiologisk aktivitet, pH-värde och syrehalt är exempel på sådana parametrar och kontinuerlig provtagning bör ske.

Det är också viktigt att påpeka att det inte enbart är takmaterialet som påverkar vattenkvaliteten. Att ett tak inte klarar gränsvärdena för ett visst ämne betyder inte att alla tak av det materialet är uteslutna för återanvändning av takdagvatten, och att ett tak klarar gränsvärdena betyder inte att alla tak av den typen lämpar sig för uppsamling av regnvatten. Många andra faktorer så som nederbörds mängd, placering i förhållande till trafik, höjd över marken och luftkvalitet påverkar föroreningshalten.

## REFERENSER

### TRYCKTA REFERENSER

- AB, Swedavia (2019). *Nollvision*. URL: <https://www.swedavia.se/om-swedavia/miljo/nollvision-202/#gref> (hämtad 2019-01-28).
- AB, Swedavia (2017). *Vårt miljöarbete*. URL: <https://www.swedavia.se/om-swedavia/vart-miljoarbete/> (hämtad 2018-09-04).
- Ayenimo, J. G. m. fl. (2006). "Heavy metal fractionation in roof run off in Ile-Ife, Nigeria". I: *International Journal of Environmental Science and Technology* 3, s. 221–227.
- Berndtsson, J. C., L. Bengtsson och K. Jinno (2009). "Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs". I: *Ecological Engineering* 35.doi:10.1016/j.ecoleng.2008.09.020, s. 369–380.
- Berndtsson, J. C., T. Emilsson och L. Bengtsson (2006). "The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality". I: *Science of Total Environment* 355.doi:10.1016/j.scitotenv.2005.02.035, s. 48–63.
- Boller, M.A. och M Steiner (2002). "Diffuse emission and control of copper in urban surface runoff". I: *Water Science and Technology* 46.6-7, s. 173–181.
- Bromma Plåtslageri (2018). *Takläggning Stockholm*. URL: <http://www.brommataklatslageri.se/Tjanster/> (hämtad 2018-09-27).
- Byggnadsvårdsföreningen (1998). *Materialhörnan - Eternittak*. URL: <https://byggnadsvard.se/kunskapsbanken/artiklar/tak/materialhoernan-eternittak> (hämtad 2018-09-26).
- Byggros (2018). *Fördelar och nackdelar med gröna tak*. URL: <https://www.byggros.com/se/fordelar-och-nackdelar-med-grona-tak> (hämtad 2018-09-05).
- Chang, M., M. W. McBroom och R. S. Beasley (2004). "Roofing as a source of nonpoint water pollution". I: *Journal of Environmental Management* 73.doi:10.1016/j.jenvman.2004.06.014, s. 307–315.
- Charters, F. J., T. A. Cochrane och A. D. O'Sullivan (2016). "Untreated runoff quality from roof and road surfaces in a low intensity rainfall climate". I: *Science of The Total Environment* 550.<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.093>, s. 265–272.
- Clark, S. E. m. fl. (2008). "Roofing Materials' Contributions to Storm-Water Runoff Pollution". I: *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 134.ISSN 0733-9437/2008/5-638–645.
- dinbyggare.se (2018a). *Plåttak - tips när du ska välja takplåt*. URL: <https://www.dinbyggare.se/plattak-tips-nar-du-ska-valja-takplat/> (hämtad 2018-09-27).
- dinbyggare.se (2018b). *Plåttak - Om takplåt*. URL: <https://www.dinbyggare.se/plattak-om-takplat/> (hämtad 2018-10-08).
- dinbyggare.se (2018c). *Takpapp - tips när du ska välja underlagspapp*. URL: <https://www.dinbyggare.se/takpapp-populart-bade-ovan-och-under/> (hämtad 2018-09-21).
- Faller, M. och D. Reiss (2005). "Runoff behaviour of metallic materials used for roofs and facades - a 5-year field exposure study in Switzerland". I: *Metals and Corrosion* 56.<https://doi.org/10.1002/maco.200403835>, s. 244–249.
- Federal Aviation Administration (2005). *Aviation & Emissions A Primer*. Tekn. rapport. Office of Environment & Energy.

- Förster, J. (1999). "Variability of roof runoff quality". I: *Water Science and Technology* 39.doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00095-5, s. 137–144.
- Gregoire, B. G. och J. C. Clausen (2011). "Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality". I: *Ecological Engineering* 37.doi:10.1016/j.ecoleng.2011.02.004, s. 963–969.
- Gromaire-Mertz, M. C. m. fl. (1999). "Characterisation of Urban Runoff Pollution in Paris". I: *Water Science and Technology* 39.2, s. 1–8.
- Göta Älvs Vattenvårdsförbund (2011). *Suspenderat material*. URL: <http://www.gotaalvvvf.org/resultat/begreppsforklaringar/suspenderatmaterial.4.271d6b7512e53cf0cf980001043.html> (hämtad 2018-11-01).
- Havs- och vattenmyndigheten (2018). *Försurning av sjöar och vattendrag*. URL: <https://www.havochvatten.se/hav/fiske--fritid/miljopaverkan/forsurning-av-sjoar-och-vattendrag.html> (hämtad 2018-09-19).
- Icopal Synthetic Membranes (2018). *Choosing a single ply roof solution*. URL: <http://www.icopal-synthetic.eu/products/pvc-or-fpo.aspx> (hämtad 2018-10-08).
- Innovations- och kemiindustrierna i Sverige (2018). *Om PVC*. URL: [http://www.ikem.se/vi-arbetar-med\\_1/plastfragor/pvc/om-pvc](http://www.ikem.se/vi-arbetar-med_1/plastfragor/pvc/om-pvc) (hämtad 2018-10-08).
- Lewis, Jerry S. och Richard W. Niedzwiecki (1999). *Aviation and the Global Atmosphere*. Tekn. rapport. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Lidström, Viveka (2012). *Vårt vatten - Grundläggande lärobok i vatten- och avloppsteknik*. Åtta.45, Solna. Utgåva 1. Svenskt Vatten.
- Livsmedelsverket (2018a). *Dricksvatten*. URL: <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/mat-och-dryck/dricksvatten1> (hämtad 2018-12-05).
- Livsmedelsverket (2018b). *Nationellt nätverk för dricksvatten*. URL: <https://www.livsmedelsverket.se/om-oss/samarbeten/nationellt-dricksvattensamordning> (hämtad 2018-12-05).
- Lye, Dennis J. (2009). "Rooftop runoff as a source of contamination: A review". I: *Science of the Total Environment* 407.doi:10.1016/j.scitotenv.2009.07.011, s. 5429–5434.
- Masiol, M. och R. M. Harrison (2014). "Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution". I: *Atmospheric Environment* 95.doi:10.1016/j.atmosenv.2014.05.070 1.
- Miljöförvaltningen (2015). *Rapport om miljöpåverkan från Bromma flygplats september 2015*. Tekn. rapport Dnr: 2015-589. Kontaktperson: Jörgen Bengtsson. Tillgänglig: <https://insynsverige.se/documentHandler.ashx?did=1813323>. Miljöförvaltningen.
- National Science Digital Library (2018). *Measuring Dissolved and Particulate Organic Carbon (DOC and POC)*. URL: [https://serc.carleton.edu/microbelife/research\\_methods/biogeochemical/organic\\_carbon.html](https://serc.carleton.edu/microbelife/research_methods/biogeochemical/organic_carbon.html) (hämtad 2018-11-02).
- Naturvårdsverket (2017a). *Föroreningar i dagvatten*. Tekn. rapport. Kontakt: Professor Maria Wiklander. Luleå Tekniska Universitet. Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser.
- Naturvårdsverket (2017b). *Sveriges utsläpp av kväveoxider (NOx) till luft från internationellt flyg och sjöfart*. URL: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A>

- 0 / Kvaveoxider - utslapp - till - luft - internationellt - flyg - och - sjofart/?visuallyDisabledSeries=162b1b3b652e9958 (hämtad 2018-09-05).
- Naturvårdsverket (2018a). *Fakta om tungmetaller i luft*. URL: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Luftforeningar/Tungmetaller/> (hämtad 2018-11-21).
- Naturvårdsverket (2018b). *Gränsvärden, målvärden och utvärderingströsklar för luft*. URL: <https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Luft-och-klimat/Miljokvalitetsnormer-for-utomhusluft/Gransvarden-malvarden-utvarderingstrosklar/> (hämtad 2018-09-18).
- Naturvårdsverket (2018c). *Marknära ozon*. URL: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Luftforeningar/Marknara-ozon/> (hämtad 2018-09-19).
- Naturvårdsverket (2018d). *Precisering av Frisk luft*. URL: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/Frisk-luft/Precisering-av-Frisk-luft/> (hämtad 2018-09-18).
- Norconsult (2018). *VeAinfo*. URL: <http://veainfo.se/> (hämtad 2018-11-06).
- Polkowska, Z., T. Górecki och J. Namieśnik (2002). "Quality of roof runoff waters from an urban region". I: *Chemosphere* 49.doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00611-2, s. 1275–1283.
- Quek, U. och J. Förster (1993). "Trace metals in roof runoff". I: *Water, Air, and Soil Pollution* 68, s. 373–389.
- Razzaghamanesh, M., S. Beecham och F. Kazemi (2014). "Impact of green roofs on stormwater quality in a South Australian urban environment". I: *Science of the Total Environment* 470-471.<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.047>, s. 651–659.
- Real Tech Inc. (2017). *Dissolved organic carbon (DOC)*. URL: <https://realtechwater.com/parameters/dissolved-organic-carbon/> (hämtad 2018-11-02).
- Regional Aquatics Monitoring Program (2018). *Water Quality Indicators: Metals*. URL: <http://www.ramp-alberta.org/river/water+sediment+quality/chemical/metals.aspx> (hämtad 2018-11-02).
- Rent Dagvatten (2017). *Koppar och andra metaller som ytmaterial i byggnader*. URL: <https://rent-dagvatten.se/index.php/nyheter/46-koppar-och-andra-metaller-som-ytmaterial-i-byggnader> (hämtad 2018-09-27).
- Salgot, M. m. fl. (2007). *Aquarec - Guideline for quality standards for water reuse in Europe*. Tekn. rapport. University of Barcelona.
- Schlenker, W. och W. Reed Walker (2016). "Airports, Air Pollution, and Contemporaneous Health". I: *Review of Economic Studies* 83. doi:10.1093/restud/rdv043, s. 768–809.
- SGU (2018). *Så påverkar klimatförändringar grundvattnet*. URL: <https://www.sgu.se/samhallsplanering/planering-och-markanvandning/grundvatten-i-planeringen/klimatforandringar/paverkan/> (hämtad 2018-12-05).
- SMHI (2016). *Dricksvatten*. URL: <http://www.klimatanpassning.se/hur-paverkas-samhallet/vatten-och-avlopp/dricksvatten-1.90973> (hämtad 2018-12-05).



- SMHI (2018). *Gröna tak, fördjupning*. URL: <https://www.smhi.se/klimat/klimatanpassa-samhället/exempel-pa-klimatanpassning/grona-tak-fordjupning-1.116956> (hämtad 2018-09-05).
- Socialstyrelsen (2006). *Dricksvatten från enskilda brunnar och mindre vattenanläggningar*.
- Soprema AB (2018). *Väljer du takduk av PVC eller TPO?* URL: <http://www.soprema.se/sv/article/conseil/valjer-du-takduk-av-pvc-eller-tpo> (hämtad 2018-10-08).
- StormTac (2018). *StormTac Data*. URL: [http://www.stormtac.com/?page\\_id=143](http://www.stormtac.com/?page_id=143) (hämtad 2018-10-08).
- Sweco Environment AB (2018). *Luftkvalitetsmätning vid Göteborg Landvetter Airport*. Sweco.
- Swedavia (2018). *Års- och hållbarhetsredovisning 2017*. Swedavia.
- Swedavia AB (2017). *Miljörapport enligt NFS 2006:9 verksamhetsår 2016. Malmö Airport*. Tekn. rapport. Swedavia AB.
- Swedavia AB (2018a). *Miljörapport 2017. Stockholm Arlanda Airport*. Stockholm Arlanda Airport.
- Swedavia AB (2018b). *Miljörapport 2017. Bromma Stockholm Airport*. Upprättad av: Karin Sjövall. Bromma Stockholm Airport.
- Swedavia AB (2018c). *Miljörapport Kiruna Airport 2017*. Tekn. rapport. Swedavia AB.
- Svenska Miljöinstitutet (2017). *Krondroppsnätet i mellersta Sverige - övervakning av luftföroreningar och dess effekter i skogsmiljö*. C 239. Svenska Miljöinstitutet.
- Sylvén, L. (2004). *Föroreningar som riskerar att hamna i dagvatten*. Tekn. rapport. Dnr 2003.74. Mariestads Kommun.
- SYNLAB (2018a). *SYNLAB*. URL: <http://synlab.se/sv/synlab> (hämtad 2018-10-16).
- SYNLAB (2018b). *Miljö*. URL: <http://synlab.se/sv/miljo> (hämtad 2018-12-13).
- Teemusk, A. och Ü. Mander (2006). "The use of greenroofs for the mitigation of environmental problems in urban areas". I: *Wit transactions on ecology and the environment* 93.doi:10.2495/SC060011.
- Teknikhandboken (2018). *Rostfri stålplåt*. URL: <http://www.teknikhandboken.se/handboken/platmaterial-egenskaper/olika-material/rostfri-stalplat/> (hämtad 2018-10-11).
- Tobiszewski, M. m. fl. (2010). "Roofing Materials as Pollution Emitters – Concentration Changes during Runoff". I: *Polish Journal of Environmental Studies* 19.5, s. 1019–1028.
- United States Environmental Protection Agency (1992). *Procedures for Emission Inventory Preparation Volume IV: Mobile Sources*. Tekn. rapport EPA 450/4-81-026d. Office of Mobile Sources, Technical Support Division, Office of Air Quality Planning and Standards.
- Urban Green AB (2018a). *UG Sedum Miljötak*. URL: <https://urbangreen.online/produkt/ug-sedum-miljotak/> (hämtad 2018-09-18).
- Urban Green AB (2018b). *UG Takgödsel*. URL: <https://urbangreen.online/produkt/ug-takgodsels/> (hämtad 2018-09-18).

- Urban Green AB (2018c). *Urbangreen bygger Miljötak på Arlanda*. URL: <http://www.mynewsdesk.com/se/urbangreen/pressreleases/urbangreen-bygger-miljoetak-paa-arlanda-2456137> (hämtad 2018-09-18).
- Veg Tech AB (2018). *Moss-sedummatta*. URL: <https://www.vegtech.se/sedumtak---grona-tak/sedumtak/moss-sedummatta/> (hämtad 2018-09-26).
- Vijayaraghavan, K., U. M. Joshia och R. Balasubramanian (2012). "A field study to evaluate runoff quality from green roofs". I: *Water Research* 46.doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.050, s. 1337–1345.
- VM Building Solutions Scandinavia A/S (2018). *Hållbarhet*. URL: <https://www.vmzinc.se/miljoe/hallbarhet.html> (hämtad 2018-09-18).

## ELEKTRONISKA REFERENSER

- AB, Swedavia (2019). *Nollvision*. URL: <https://www.swedavia.se/om-swedavia/miljo/nollvision-202/#gref> (hämtad 2019-01-28).
- AB, Swedavia (2017). *Vårt miljöarbete*. URL: <https://www.swedavia.se/om-swedavia/vart-miljoarbete/> (hämtad 2018-09-04).
- Bromma Plåtslageri (2018). *Takläggning Stockholm*. URL: <http://www.brommataklatslageri.se/Tjanster/> (hämtad 2018-09-27).
- Byggnadsvårdsföreningen (1998). *Materialhörnan - Eternittak*. URL: <https://byggnadsvard.se/kunskapsbanken/artiklar/tak/materialhoernan-eternittak> (hämtad 2018-09-26).
- Byggros (2018). *Fördelar och nackdelar med gröna tak*. URL: <https://www.byggros.com/se/fordelar-och-nackdelar-med-grona-tak> (hämtad 2018-09-05).
- dinbyggare.se (2018a). *Plåttak - tips när du ska välja takplåt*. URL: <https://www.dinbyggare.se/plattak-tips-nar-du-ska-valja-takplat/> (hämtad 2018-09-27).
- dinbyggare.se (2018b). *Plåttak - Om takplåt*. URL: <https://www.dinbyggare.se/plattak-om-takplat/> (hämtad 2018-10-08).
- dinbyggare.se (2018c). *Takpapp - tips när du ska välja underlagspapp*. URL: <https://www.dinbyggare.se/takpapp-populart-bade-ovan-och-under/> (hämtad 2018-09-21).
- Göta Älvs Vattenvårdsförbund (2011). *Suspenderat material*. URL: <http://www.gotaalvvvf.org/resultat/begreppsforklaringar/suspenderatmaterial.4.271d6b7512e53cf0cf980001043.html> (hämtad 2018-11-01).
- Havs- och vattenmyndigheten (2018). *Försurning av sjöar och vattendrag*. URL: <https://www.havochvatten.se/hav/fiske--fritid/miljopaverkan/forsurning-av-sjoar-och-vattendrag.html> (hämtad 2018-09-19).
- Icopal Synthetic Membranes (2018). *Choosing a single ply roof solution*. URL: <http://www.icopal-synthetic.eu/products/pvc-or-fpo.aspx> (hämtad 2018-10-08).
- Innovations- och kemiindustrierna i Sverige (2018). *Om PVC*. URL: [http://www.ikem.se/vi-arbetar-med\\_1/plastfragor/pvc/om-pvc](http://www.ikem.se/vi-arbetar-med_1/plastfragor/pvc/om-pvc) (hämtad 2018-10-08).
- Livsmedelsverket (2018a). *Dricksvatten*. URL: <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/mat-och-dryck/dricksvatten1> (hämtad 2018-12-05).

- Livsmedelsverket (2018b). *Nationellt nätverk för dricksvatten*. URL: <https://www.livsmedelsverket.se/om-oss/samarbeten/nationellt-dricksvattensamordning> (hämtad 2018-12-05).
- National Science Digital Library (2018). *Measuring Dissolved and Particulate Organic Carbon (DOC and POC)*. URL: [https://serc.carleton.edu/microbelife/research\\_methods/biogeochemical/organic\\_carbon.html](https://serc.carleton.edu/microbelife/research_methods/biogeochemical/organic_carbon.html) (hämtad 2018-11-02).
- Naturvårdsverket (2017b). *Sveriges utsläpp av kväveoxider (NOx) till luft från internationellt flyg och sjöfart*. URL: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-0/Kvaveoxider-utslapp-till-luft-internationellt-flyg-och-sjofart/?visuallyDisabledSeries=162b1b3b652e9958> (hämtad 2018-09-05).
- Naturvårdsverket (2018a). *Fakta om tungmetaller i luft*. URL: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Luftforeningar/Tungmetaller/> (hämtad 2018-11-21).
- Naturvårdsverket (2018b). *Gränsvärden, målvärden och utvärderingstrosklar för luft*. URL: <https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Luft-och-klimat/Miljokvalitetsnormer-for-utomhusluft/Gransvarden-malvarden-utvarderingstrosklar/> (hämtad 2018-09-18).
- Naturvårdsverket (2018c). *Marknära ozon*. URL: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Luftforeningar/Marknara-ozon/> (hämtad 2018-09-19).
- Naturvårdsverket (2018d). *Precisering av Frisk luft*. URL: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/Frisk-luft/Precisering-av-Frisk-luft/> (hämtad 2018-09-18).
- Norconsult (2018). *VeAinfo*. URL: <http://veainfo.se/> (hämtad 2018-11-06).
- Real Tech Inc. (2017). *Dissolved organic carbon (DOC)*. URL: <https://realtechwater.com/parameters/dissolved-organic-carbon/> (hämtad 2018-11-02).
- Regional Aquatics Monitoring Program (2018). *Water Quality Indicators: Metals*. URL: <http://www.ramp-alberta.org/river/water+sediment+quality/chemical/metals.aspx> (hämtad 2018-11-02).
- Rent Dagvatten (2017). *Koppar och andra metaller som ytmaterial i byggnader*. URL: <https://rent-dagvatten.se/index.php/nyheter/46-koppar-och-andra-metaller-som-ytmaterial-i-byggnader> (hämtad 2018-09-27).
- SGU (2018). *Så påverkar klimatförändringar grundvattnet*. URL: <https://www.sgu.se/samhallsplanering/planering-och-markanvandning/grundvatten-i-planeringen/klimatforandringar/paverkan/> (hämtad 2018-12-05).
- SMHI (2016). *Dricksvatten*. URL: <http://www.klimatanpassning.se/hur-paverkas-samhallet/vatten-och-avlopp/dricksvatten-1.90973> (hämtad 2018-12-05).
- SMHI (2018). *Gröna tak, fördjupning*. URL: <https://www.smhi.se/klimat/klimatanpassa-samhallet/exempel-pa-klimatanpassning/grona-tak-fordjupning-1.116956> (hämtad 2018-09-05).

- Soprema AB (2018). *Väljer du takduk av PVC eller TPO?* URL: <http://www.soprema.se/sv/article/conseil/valjer-du-takduk-av-pvc-eller-tpo> (hämtad 2018-10-08).
- StormTac (2018). *StormTac Data*. URL: [http://www.stormtac.com/?page\\_id=143](http://www.stormtac.com/?page_id=143) (hämtad 2018-10-08).
- SYNLAB (2018a). *SYNLAB*. URL: <http://synlab.se/sv/synlab> (hämtad 2018-10-16).
- SYNLAB (2018b). *Miljö*. URL: <http://synlab.se/sv/miljo> (hämtad 2018-12-13).
- Teknikhandboken (2018). *Rostfri stålplåt*. URL: <http://www.teknikhandboken.se/handboken/platmaterial-egenskaper/olika-material/rostfri-stalplat/> (hämtad 2018-10-11).
- Urban Green AB (2018a). *UG Sedum Miljötak*. URL: <https://urbangreen.online/produkt/ug-sedum-miljotak/> (hämtad 2018-09-18).
- Urban Green AB (2018b). *UG Takgödsel*. URL: <https://urbangreen.online/produkt/ug-takgodsel/> (hämtad 2018-09-18).
- Urban Green AB (2018c). *Urbangreen bygger Miljötak på Arlanda*. URL: <http://www.mynewsdesk.com/se/urbangreen/pressreleases/urbangreen-bygger-miljoetak-paa-arlanda-2456137> (hämtad 2018-09-18).
- Veg Tech AB (2018). *Moss-sedummatta*. URL: <https://www.vegtech.se/sedumtak---grona-tak/sedumtak/moss-sedummatta/> (hämtad 2018-09-26).
- VM Building Solutions Scandinavia A/S (2018). *Hållbarhet*. URL: <https://www.vmezinc.se/miljoe/hallbarhet.html> (hämtad 2018-09-18).

## ÖVRIGA REFERENSER

- Forsberg, Tony (2018). E-mail. Göteborg Landvetter Airport. Datum: 2018-09-25.
- Sika Sverige AB (2009). *Sikaplan-12 VGWT*. Tekniskt datablad.
- Sika Sverige AB (2010). *Sarnafil TS 77-15ER*. Tekniskt datablad.

## APPENDIX

### PROVTAGNING 1

Tabell A1 visar väderförhållanden och detaljer kring regnmängden för den första provtagningen så som regnmängd från den första droppen till det att det sista provet togs och antal dagar utan regn innan provtagningsdagen. Innan provtagningen hade det regnat ca 0,6 mm under en kort skur exakt ett dygn innan regnet startade den 23:e oktober, och dessförinnan hade det regnat ca 0,6 mm under en tidsperiod på 3,5 h den 20:e oktober.

**Tabell A1:** *Väderförhållanden kring provtagning 1.*

Datum	Tid start regn	Dagar utan regn	Regn [mm]	Väderförhållanden
23/10	02:10	1	4,6 mm till 09:05	Mulet, duggregn till 09:05

Tabell A2 visar tidpunkter för provtagning av de olika taken, provtagare och andra detaljer kring provtagningarna. Jonas Englund på Karlaplan Plåtslageri AB, som är Swedavias takentreprenör, assisterade vid provtagningen på PVC-taket vid båda provtagningstillfällena och även på papptaket vid den första provtagningen. Den långa insamlingsstiden för det gröna taket berodde på att regnet slutade kl. 09:05, och uppsamlingsflaskor ställdes ut kl. 09:10 och hämtades senare under dagen.

**Tabell A2:** *Detaljer kring provtagning 1 så som tidpunkt, provtagare och övrigt. Linnea är författaren till denna rapport.*

Prov	Tid	Tid fyllning av flaska	Provtagare	Hur togs provet	Övrigt
Grönt tak	15:20	6h 10 min	Linnea	Ställdes upp under två stuprör	Endast 0,5 dl
PVC-duk	08:00	1 min	Jonas	Hölls i brunnen	
FPO-duk	08:24	-	Linnea	Skopade upp vatten ur pölar	
Takpapp	07:50	3 min	Jonas	Hölls under ett stuprör	
TRP-stål	08:34	3 min	Linnea	Hölls under tre stuprör	
Regn	09:26	-	Linnea	Skopade upp vatten ur pöl på presenning	

### PROVTAGNING 2

Tabell A3 visar väderförhållanden och detaljer kring regnmängden för den andra provtagningen så som regnmängd från den första droppen till det att det sista provet togs och antal dagar utan regn innan provtagningsdagen. Den 29/10 snöade det 0,4 mm kl 11:10 men förutom det var det tidigare nederbördstillfället den 23/10, alltså vid det första provtagningstillfället.

**Tabell A3:** Väderförhållanden kring den andra provtagningen.

Datum	Tid start regn	Dagar utan regn	Regn [mm]	Väderförhållanden
30/10	04:10	1 (7)	3,8 mm till 09:05, + 1,8 mm till 15:10	Mulet, blåsig, regn

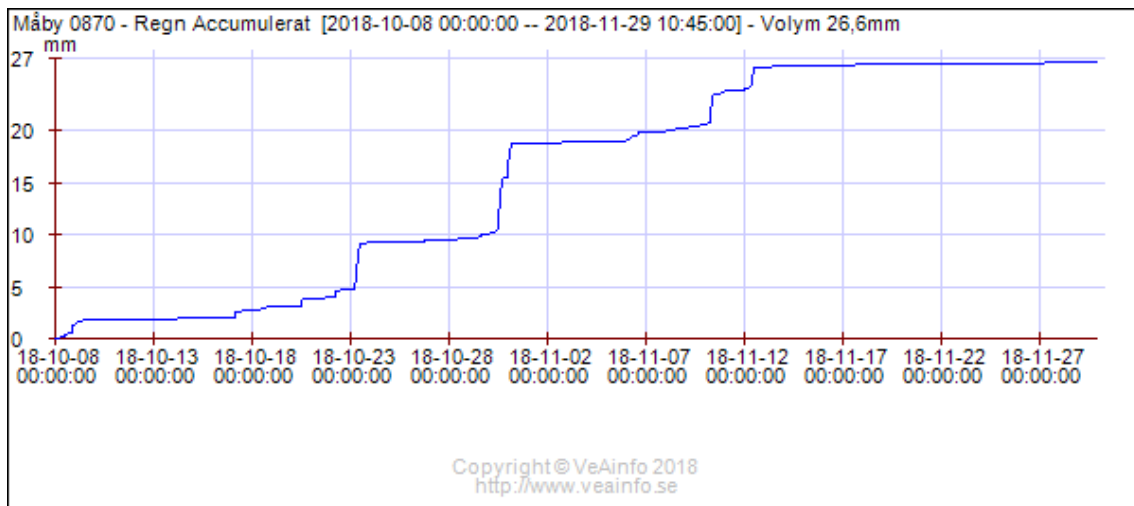
Tabell A4 visar tidpunkter för provtagning av de olika taken, provtagare och andra detaljer kring provtagningarna. För provtagningen behövdes 8 dl vatten. För provtagning på det gröna taket ställdes en hink upp under de två stuprören kl 09:35. Kl 15:10 när provet togs var hinken helt fylld och provet togs genom att fylla de provtagningsflaskor som behövdes.

**Tabell A4:** Detaljer kring den andra provtagningen så som tidpunkt, provtagare och övrigt. Linnea är författaren till denna rapport.

Prov	Tid	Tid fyllning av flaska	Provtagare	Hur togs provet	Övrigt
Grönt tak	09:35-15:10	5h 35 min	Linnea	Hink placerades under stuprör	Gulfärgat, grumligt
PVC-duk	08:15	1 min	Jonas	Hölls i brunnen	
FPO miljöduk	09:00	-	Linnea	Skopade upp vatten ur pölar	
Takpapp	09:12	1 min	Linnea	Hölls under ett stuprör	
TRP-stål	08:50	1 min	Linnea	Hölls under tre stuprör	
Regn	09:54	-	Linnea	Skopade upp vatten ur pöl på presenning	Tydliga partiklar

## NEDERBÖRD

Figur A1 visar ackumulerad nederbörd från den 8:e oktober till den 29:e november 2018. Provtagningarna utfördes den 23/10 och den 30/10 och nederbördstillfällena syns tydligt i figuren. Det är också tydligt att det inte skedde några nederbördstillfällen från den 8:e oktober till den 23:e oktober varpå provtagningen inte hade kunnat utföras tidigare. Innan den 8:e oktober var det inte möjligt att utföra provtagning då litteraturstudien inte var färdig och förberedelserna inför provtagningen inte var genomförda.



**Figur A1:** Figuren visar ackumulerad nederbörds mängd från perioden 8:e oktober till 29:e november. Källa: veainfo.se