



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 18 022

Examensarbete 30 hp
April 2018

Jämförelse av reningsmetoder för tvättvatten från bussar

Ena Bahtic

REFERAT

Jämförelse av reningsmetoder av tvättvatten från bussar

Ena Bahtic

Alla fordonstvättar för Stockholms bussar i kollektivtrafiken har olika varianter på efterföljande vattenrening. Trafikförvaltningen önskar prova en ny sluten reningsmetod som inkluderar en indunstare som koncentrerar föroreningar och avdunstar vattnet för i princip 100 % vattenrecirkulation. Arbetets syfte är därmed att jämföra den slutna reningsmetoden med de tre nuvarande reningsmetoder som har en vattenrecirkulation på 80 %. En av de nuvarande metoderna består av biologisk rening med efterföljande poleringssteg, den andra av hydrocykloner med efterföljande elektroflockation och den tredje av ozonrening. Jämförelse baserades på för- och nackdelar utifrån reningsresultat, drift, underhåll, drift- och underhållskostnader samt livscykelkostnader.

Studien visade att en sluten metod med indunstning genererar en högre avskiljning av föroreningar och återanvänder allt renat vatten till tvätthallen, på så vis belastas inte det kommunala spillvattennätet. För den biologiska reningen och elektroflockationen finns en tydlig tendens för överskridande av utsläpp av zink. För elektroflockationen finns även en tendens för överskridande av uppsamlad halt bly, nickel och krom.

Indunstningen medför också en del högre kostnader. Grundinvesteringen är upp till fem gånger så stor och elförbrukning upp till sex gånger dyrare jämfört med de nuvarande reningsmetoderna. Indunstningen medför en högre energiförbrukning men genererar överskottsvärme som upp till 80 % kan återföras via fläktluftvärmare för att värma upp tvätthallen. Uppvärmning av tvätthallar är den mest kostsamma energiförbrukning på bussdepåerna och på så vis kan den kostnaden minska väsentligt.

Totala kostnader för maskinutrustningarnas livslängd beräknades utifrån nuvärdesmetoden som räknar om alla betalningar över tid till tidpunkten vid investeringen. Livscykelkostnaden visade sig vara lägst för ozonrening främst då metoden inte kräver några större driftkostnader. Den mest kostsamma livscykelkostnaden var för den biologiska reningen. Det fanns dock indikationer på att vattenrecirkulationen inte fungerar som den ska då färskvattenförbrukning var den dyraste driftparametern.

Nyckelord: föroreningar, vattenrening, biologisk rening, ozonrening, elektroflockation, indunstning, livscykelkostnad.

Institutionen för informationsteknologi, Uppsala universitet, Box 337, SE-751 05 Uppsala. ISSN 1401-5765

ABSTRACT

Comparison of wastewater treatment methods for wash water from buses

Ena Bahtic

As processed wastewater from bus washes mainly contains metals and oil, the water should be treated before it is reused in the wash or proceeds to the municipal treatment plant. The bus washes that are used for the buses in the public transport in Stockholm have different type of water treatment. The public transport administration wishes to try a new closed water treatment based on water evaporation, which leaves the pollutants concentrated and the water close to 100% reusable. The purpose of this master thesis is to compare the closed water treatment with the three current methods which are being used today and circulate 80 % of the water. One of the current methods is biological treatment, the other is based on hydrocyclones and electroflocculation and the last treatment is based on ozone. Comparison was based on purification results, operation, maintenance, operating and maintenance costs as well as life cycle costs.

The study showed that a closed method with evaporation generates a better purification of contaminants and reuses all water to the vehicle wash, thus the municipal waste water treatment plant is not loaded. For the biological treatment and electroflocculation there is a clear trend for excess zinc emissions. For elektroflocculation there is also a trend for excess of total lead, nickel and chromium content.

The evaporation method also causes some higher costs. The investment is up to five times as high and electricity consumption up to six times more expensive compared to the current methods, however excess heat can be recycled by up to 80 %. This can be used to heat the wash since heating washes is the highest energy consumption for the bus depots, and this can significantly reduce that cost.

Total cost of machine equipment during their lifespan was calculated based on the present value method that calculates all payments over time to the date of the investment. The life cycle cost proved to be the least expensive for ozone treatment mainly because the method does not require any major operating costs. The most expensive life cycle cost was for the biological purification, indicating that water recirculation does not work as intended because the freshwater consumption was the most expensive operating parameter.

Keywords: pollutants, wastewater treatment, biological treatment, treatment with ozone, electroflocculation, evaporation, life cycle cost.

Department of Information Technology, Uppsala University, Box 337, SE-751 05 Uppsala. ISSN 1401-5765

FÖRORD

Det här examensarbetet motsvarar 30 högskolepoäng och har utförts inom civilingenjörsprogrammet i miljö-och vattenteknik vid Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet. Arbetet har utförts för trafikförvaltningen på Stockholms läns landsting under handledning av Kenneth Domeij. Ämnesgranskare har varit Bengt Carlsson vid Institutionen för informationsteknologi och examinator har varit Björn Claremar vid Institutionen för geovetenskap vid Uppsala universitet.

Ett stort tack till min handledare Kenneth som först och främst gav mig möjligheten till detta examensarbete och som via hans brinnande intresse för bussar och miljö har drivit fram detta arbete. Tack till ämnesgranskare Bengt som har hjälpt med rapportskrivningen. Ett stort tack riktas också till alla som har tagit emot mig vid studiebesöken och till att leverantörer som har svarat på mina frågor. Tack till alla kollegor på trafikförvaltningen som har sett till att jag trivts och gett mig svar på frågor under tiden jag har arbetat där. Till slut vill jag rikta ett stort tack till min familj och vänner som har stöttat mig under min mest utmanande period av studietiden.

Uppsala, april 2018

Ena Bahtic

Copyright © Ena Bahtic och Institutionen för informationsteknologi, Uppsala universitet.

UPTEC W 18 022, ISSN 1401-5765. Publicerat digitalt vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala, 2018.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

För Stockholm som utvecklas snabbt innebär det en påfrestning för miljön men det innebär också att stora investeringar görs för både kollektivtrafiken och för sjukvården. Sverige har flera miljömål och några av dem som berörs av landstingets miljöarbete är god bebyggd miljö, begränsad klimatpåverkan och giftfri miljö. Landstinget arbetar bland annat med att energieffektivisera kollektivtrafiken och att minska miljö- och hälsofarliga ämnen vid drift och underhåll av kollektivtrafiken.

Det är vanligt att processavloppsvatten från industrier och andra verksamheter ansluts till det kommunala avloppsnätet, vars uppgift är att rena vatten från hushåll innan vattnet når en recipient. En recipient är ett vattendrag eller sjö som tar emot renat avloppsvatten. Processavloppsvatten innehåller ursprungligen en rad olika föroreningar, bland annat metaller och olja. Det är därför viktigt att processavloppsvattnet renas innan det släpps ut både för att de kommunala reningsverken ska kunna fungera optimalt men även för att inte släppa ut föroreningar till recipienten. Kommunerna har krav på återvinning av vatten från fordonstvättar på bussdepåer samt nivåer på utsläpp av föroreningar till det kommunala avloppsnätet. För att följa upp kraven på återvinning och grad av utsläpp tas vattenprover som analyserar olja, koppar, zink, krom, kadmium, bly och nickel. Halterna jämförs då med kommunernas riktvärden, värden som inte ska överskridas och om de överskrids ska åtgärder vidtas.

Utifrån landstingets miljöprogram ska åtgärder med lägst totalkostnad under produktens livstid och bäst miljöprestanda väljas gällande energieffektivisering samt vid om- och nybyggnationer. I dagsläget genomförs studier på trafikförvaltningen för att uppgradera flertal tvätthallar på bussdepåerna. I samband med detta vill trafikförvaltningen se över möjligheten för en sluten reningsmetod med en indunstare som koncentrerar föroreningar och avdunstar vattnet för i princip 100 %-ig vattenrecirkulation. Det rena vattnet släpps inte ut till det kommunala avloppet och på så vis förhindras utsläpp.

En jämförelse har gjorts av den slutna metoden med de nuvarande metoderna som används hos trafikförvaltningen baserat på deras drift- och underhållskostnader, totala kostnader och hur väl de renar vattnet. En av de nuvarande metoderna består av biologisk rening som innebär att mikroorganismer används för att bryta ner föroreningar i vattnet. Den andra

metoden består av hydrocykloner och elektroflockation. Hydrocykloner är en konformad apparat som avlägsnar föroreningar från vattnet när vätskan sätts i rörelse, och elektroflockation innebär att föroreningar kolliderar med gasbubblor som då binder samman föroreningarna samtidigt som aluminiumjoner frigörs från en aluminiumklump. Aluminiumjoner faller ut metallerna i vattnet och utifrån detta skapas flockar som då kan urskiljas från det renade vattnet. Den tredje metoden utgörs av att processavloppsvattnet reagerar med ozon som bryter ner föroreningarna.

Studien visade att en sluten metod med indunstning genererar en bättre rening av föroreningar och återanvänder allt renat vatten till tvätthallen. För den biologiska reningen och elektroflockationen finns en tydlig trend för överskridande av utsläpp av zink. Elektroflockationen överskrider även uppsamlad halt bly, nickel och krom.

Indunstningen medför också en del högre kostnader. Grundinvesteringen är upp till fem gånger så stor och elförbrukning upp till sex gånger så dyrt jämfört med de nuvarande reningsmetoderna. Indunstningen medför en högre energiförbrukning men genererar överskottsvärme som upp till 80 % kan återföras för att exempelvis värma upp tvätthallen. Uppvärmning av tvätthallar är den mest kostsamma energiförbrukningen på bussdepåerna och på så vis kan den kostnaden minska väsentligt.

Totala kostnader för maskinutrustningarnas livslängd beräknades utifrån nuvärdesmetoden som räknar om alla betalningar över till pengarnas värde idag. Livscykelkostnaden visade sig vara minst kostsam för ozonrening främst då metoden inte kräver några större driftkostnader. Biologiska reningen visade sig vara den mest kostsamma livscykelkostnaden. Anledning till den höga livscykelkostnaden är den dyra färskvattenförbrukningen som tyder på att vattenrecirkulationen inte fungerar optimalt.

Att införa en rening baserad på förångning är möjligt. Dock skulle den metoden gå emot landstingets miljömål med energieffektivisering då den genererar en högre energiförbrukning. Som alltid finns det både för- och nackdelar och fördelar kan vägas upp över nackdelar. Om överskottsvärmen kan återföras för uppvärmning av tvätthallarna verkar ingen extra uppvärmning av dem behövas. En sluten metod skulle också medföra andra besparingar. Ju större grad av recirkulerat vatten desto större besparing på tvättmedel och färskvatten.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	1
1.3	AVGRÄNSNINGAR.....	2
2	STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING	3
2.1	TRAFIKFÖRVALTNINGEN.....	3
2.2	MILJÖARBETE	3
3	TEORIÖVERSIKT	5
3.1	FORDONSTVÄTT.....	5
3.2	KOMMUNALT AVLOPP.....	8
3.3	AVLOPPSVATTEN FRÅN FORDONSTVÄTTAR	8
3.3.1	<i>Miljömässiga åtgärder</i>	<i>11</i>
3.4	GENERELL TEKNISK BESKRIVNING AV RENINGSMETODER.....	13
3.5	TIDIGARE STUDIER	16
3.6	LIVSCYKELKOSTNAD, LCC	17
4	METOD.....	18
4.1	UTSLÄPP	19
4.2	DRIFT OCH UNDERHÅLL	19
4.3	LCC	21
5	TVÄTTANLÄGGNINGAR OCH DESS VATTENRENING SOM INGÅR I STUDIEN.....	23
5.1	BIOLOGISK RENING.....	23
5.2	ELEKTROFLOCKATION	25
5.3	OZONRENING	27
5.4	SLUTEN METOD, INDUNSTNING	28
6	RESULTAT	30
6.1	UTSLÄPP	30
6.2	DRIFT OCH UNDERHÅLL	34
6.3	LCC	36
7	DISKUSSION	38
7.1	UTSLÄPP	38
7.2	DRIFT OCH UNDERHÅLL	40
7.3	LCC	43
8	SLUTSATSER OCH VIDARE STUDIER	43
9	REFERENSER	45
	APPENDIX A DATA OCH BERÄKNINGAR FÖR OZONRENING.....	49

APPENDIX B DATA OCH BERÄKNINGAR FÖR ELEKTROFLOCKATION.....	51
APPENDIX C DATA OCH BERÄKNINGAR FÖR BIOLOGISK RENING	54

1 INLEDNING

1.1 BAKGRUND

Trafikförvaltningen ansvarar för att Stockholms läns kollektivtrafik ska vara lättillgänglig och väl utbyggd. Bussarna på Stockholms lokaltrafik, SL, tvättas invändigt och utvändigt i princip varje dag. Det smutsiga processavloppsvattnet omhändertas innan det släpps ut till det kommunala avloppsnätet.

Kommunerna har krav på återvinning av vatten från fordonstvättar samt nivåer på utsläpp av föroreningar till det kommunala avloppsnätet. Vattnet ska renas innan det återanvänds i tvätthallen eller går vidare till avloppsnätet. Alla tvätthallar har en efterföljande vattenrening med en vattenrecirkulation på 80 %. I dagsläget används tre olika reningsmetoder på depåerna för att rena tvättvattnet från bussar. En av anläggningarna består av biologisk rening med efterföljande poleringssteg, den andra av hydrocykloner samt elektroflockation och den tredje av ozonrening.

Sverige har idag 16 miljömål och landstinget utgör en viktig roll i Sverige för att hjälpa till med att uppnå miljömålen. Landstinget har bland annat mål på att energieffektivisera i samband med ny- och ombyggnation av fastigheter samt att minska miljö- och hälsofarliga ämnen vid drift och underhåll av kollektivtrafiken. I dagsläget genomförs studier på trafikförvaltningen för att uppgradera flertalet tvätthallar på bussdepåerna. I samband med detta vill trafikförvaltningen eventuellt prova en ny "helt sluten" reningsmetod. Den nya reningsmetoden skulle innebära att inget vatten släpps ut till det kommunala avloppsnätet, detta för att minimera miljöpåverkan från tvättanläggningarna som då blir en del av arbetet att uppfylla landstingets miljömål. Den slutna reningsmetoden är baserad på kemisk fällning med efterföljande indunstning. En indunstare koncentrerar föroreningarna och avdunstar vattnet så att det går att återvinna. Med bakgrund till detta har det här examensarbetet uppkommit.

1.2 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Syftet med detta examensarbete är att jämföra reningsmetoder av tvättvatten på nuvarande bussdepåer som trafikförvaltningen har med en ny sluten teknik. Jämförelsen ska ske med avseende på för- och nackdelar med metoderna utifrån

följande frågeställningar:

- Hur väl uppnås riktvärden för utsläpp av föroreningar?
- Finns det problematik med drift och underhåll av anläggningarna och hur mycket tid avsetts för skötseln?
- Vad generar metoderna för drift-och underhållskostnad?
- Vilka livscykelkostnader generar de olika metoderna?

1.3 AVGRÄNSNINGAR

Uppgiften kan göras stor men avgränsningar behövde göras för att examensarbetet skulle kunna vara genomförbart inom tidsramen 20 veckor. All data för drift-och underhåll och därmed livscykelanalysen är baserade från år 2016. Utsläppsdata användes för de åren som fanns tillgängliga.

Maskinutrustningen för automattvättarna inkluderades inte i studien även om val av tvättmaskinerna kan påverka vattenanvändning och förbrukning av tvättmedel. Trots att inga närmare uppgifter om tvättmaskinerna togs fram utöver typ av tvättmaskin medtogs färskvattenförbrukning och tvättmedelsförbrukningen i drift-och underhållskostnader samt i livscykelkostnaden. Ju bättre vattenrecirkulation desto mindre mängd färskvatten kommer behövas för en ny tvätt samt att en återvinning av tvättmedlen görs. Det antas att tvättmaskinerna fungerar likartat med ingen överdrift eller underdrift av vatten- och kemikalieanvändning.

I livscykelkostnaden medtogs inte arbete under markytan för de olika reningsmetoderna på grund av de lösningar som leverantörerna erbjuder är det som sker inomhus i teknikrummet och inte olika typer av avskiljare. Arbete under markytan, exempelvis grävning och nedsättning av slamavskiljare, ansvarar vanligast en annan leverantör. De olika alternativen bör generera en likvärdig kostnad för grävning och nersättning av olje- och/eller slamavskiljare. Det kommer däremot behövas en extra tank för den slutna metoden men den kostnaden är liten i jämförelse med den resterande investeringskostnaden och medtogs därför inte.

Personalkostnader av fastighetsskötarna för drift och underhåll samt interna kostnader vid investeringar beaktades inte heller i denna studie. Däremot

uppskattades arbetstiden för underhåll av reningsanläggningen efter möte med fastighetsskötarna.

Bussarna kontrolleras inför varje nytt trafikdygn de ska vara i drift och vid behov tvättas de, vilket oftast resulterar i att alla bussar tvättas dagligen. Under årets röda dagar finns vanligtvis färre bussar i drift men beräkningarna vid livscykelkostnaderna är baserade på att alla tänkta 100 bussar ska tvättas varje dag således för att få den högsta möjliga belastningen medräknad.

2 STOCKHOLMS LÄNS LANDSTING

Stockholms läns landsting ansvarar för hälso-och sjukvård, regionplanering, kollektivtrafik och att bidra till kulturen i Stockholms län. Varje dag reser mer än 800 000 personer med kollektivtrafik och landstinget ansvarar just för att resenärerna ska ha möjlighet till en lättillgänglig och väl utbyggd kollektivtrafik. Kollektivtrafiken består av tunnelbana, buss, pendeltåg, lokalbana och båt (Stockholms läns landsting, 2017a).

2.1 Trafikförvaltningen

I landstinget ingår olika förvaltningar och bolag som ska sköta samhällets behov och utveckling. Trafikförvaltningen har i uppgift att ta fram beslut gällande en hållbar kollektivtrafik i Stockholms län. De planerar, beställer och följer upp trafiken som körs av företag som trafikförvaltningen upphandlar med.

Sektion Buss på trafikavdelningen ansvarar för driften av busstrafik där uppföljning och åtgärder inom trafikproduktion, trafikinformation, fastighet, framkomlighet, planering, fordon och trafiksäkerhet ingår. Sektion buss förvaltar idag 22 bussdepåer (Stockholms läns landsting, 2017b). En bussdepå används till att parkera, serva och tanka bussarna när de inte är i tjänst samt att tillhandahålla en uppställningsplats för de olika operatörerna i kollektivtrafiken och chaufförerna.

2.2 Miljöarbete

Stockholms län växer och utvecklas snabbt vilket medför miljöpåverkningar. Därför arbetar landstinget fram miljöprogram med syfte att minska miljöpåverkan och driva en hållbar utveckling med totalt 15 miljömål

(Stockholms läns landsting, 2017c). Miljöprogrammet är indelat i fem olika områden varav två av dem berör bussar och bussdepåer nämligen:

- Miljömål för kollektivtrafiken och övriga transporter
- Miljömål för landstingets fastigheter och anläggningar

I ”Miljöprogram 2017-2021” för område ” Miljömål för kollektivtrafiken och transporter” har åtgärder tagits fram för att bland annat minska miljö-och hälsofarliga ämnen vid drift och underhåll av kollektivtrafiken. Dessa åtgärder ska leda till minskade utsläpp av partiklar och växthusgaser samt minska kemikaliebelastningen. Miljömål 9 och 10 lyder:

- Energianvändningen för kollektivtrafiken har minskat med 10 % år 2021 och med 15 % år 2030, i jämförelse med år 2011.
- År 2021 har mängden miljö-och hälsofarliga kemikalier för drift och underhåll av kollektivtrafiken minskat med 30 %, i jämförelse med år 2017.

I området ” Miljömål för landstingets fastigheter och anläggningar” berörs bussdepåerna av miljömål 12:

- Verksamhets- och fastighetsenergi i landstingsägda fastigheter har minskat med 10 % år 2012 och med 30 % år 2030, i jämförelse med år 2011.

För att nå trafikförvaltningens mål tas riktlinjer fram (Stockholms läns landsting, 2017a). Riktlinjerna är styrande dokument. ”Riktlinjer miljö” ska följas i alla verksamheter, upphandlingar, förstudier och vid uppföljning av avtal inom trafikförvaltningen. Två riktlinjer berör tvätthallen och reningsanläggningen:

- Riktlinje miljö 8.3.3.1 Tvättanläggningar säger att ” Lämplig reningsanläggning ska finnas för rening av tvättvatten från tvättanläggningen. Vatten från tvättanläggningen ska omhändertas och renas tillräckligt mycket för att kunna släppas ut i kommunalt avlopp. Orenat tvättvatten från tvättanläggningen ska inte släppas till spillvattennätet, även om reningsanläggningen inte fungerar. ”
- Riktlinje miljö 8.3.2 Energi säger att ” Energieffektiviserande åtgärder ska utredas vid om-och nybyggnation av fastigheter. Ett aktivt beslut ska tas avseende vilka energieffektiviserande åtgärder som ska införas. Beslutet ska motiveras och baseras på energiberäkningar och

kostnadsutredningar ur ett livscykelperspektiv. Åtgärder med lägst LCC och bäst miljöprestanda ska väljas.

3 TEORIÖVERSIKT

I detta kapitel redogörs vad en fordonstvätt är och vilka krav som ställs på tillhörande vattenrening, vilka ämnen som finns i processavloppsvattnet från fordonstvättarna samt en allmän beskrivning av olika reningsmetoder.

3.1 FORDONSTVÄTT

En fordonstvätt kan bestå av både en automatisk tvättanläggning och en manuell tvättanläggning. Automattvättarna kan bestå av en högtryckstvätt, borsttvätt eller en kombination av båda samt en underredsspolning. De mest förekommande tvättanläggningar består av genomfartstvättmaskiner med 2–3 borstar där 2 är vanligast. Den andra varianten är 4 fasta borstar där chauffören gör en genomkörning med fordonet, kallat en genomkörningsanläggning.

Vid automatisk tvättanläggning består ett tvättprogram vanligen av en förtvätt, huvudtvätt, sköljning och torkning. I förtvätten läggs ett lösningsmedel på fordonet. Om fordonet inte är särskilt smutsigt, exempelvis under sommarperioden, då består lösningsmedlet av ett skumschampo. Vintertid är fordonet mer smutsigt och då består förtvätten vanligtvis av avfettningsmedel med kallavfettning eller alkalisk avfettning. Vid huvudtvätten sprutas skumschampot och avfettningsmedlen med vatten under högt tryck. En underredsspolning sker vid huvudtvätten. Innan slutsteget där fordonet torkas med en fläkt sköljs fordonet av och avrinningsmedel eller vax kan tillsättas för att påskynda torkningsprocessen och ge lacken en glans. Vid fordonstvättar för bussar finns sällan den sista torkningsprocessen med en fläkt.

En personbilstvätt tar 6–8 minuter medan en busstvätt tar normalt 5–6 minuter vid användning av portaltvättmaskiner och ännu snabbare vid genomkörningsanläggning cirka 1,5 minut. I manuella fordonstvättar kallade GDS-hall (gör-det-själv-hall) tvättar privatpersoner sina fordon med deras egna produkter.

Vattenanvändning

Beroende på hur tvätten sker, vilket tvättprogram och vilken teknisk utrustning som används förbrukas olika mängder vatten. Exempelvis minskar vattenförbrukningen vid användning av högtrycksteknik men även vid högre återvinningsgrad av vattnet. Vid en personbilstvätt i en automattvätt ligger vattenförbrukningen av färskvatten mellan 250–400 liter. Om fordonstvätten däremot har en 80 %-ig vattenrecirkulation kan förbrukningen av färskvatten vara 50–70 liter. I en GDS-hall är förbrukningen mellan 50–100 liter. För en tvätt av en 12 meter lång buss kan det förbrukas 800–1000 liter färskvatten per tvätt. Om fordonstvätten har en 80%-ig vattenrecirkulation nås en färskvattenförbrukning på 150–300 liter. Förutom det rent tekniska så påverkas vattenanvändningen också av det så kallade meddraget som är det vatten som finns ovanpå fordonet och följer med ut ur tvätthallen. En vattenförlust fås även från avdunstning i tvätthallarna.

Kemikalier

Vid tvätt av bussar används tvättmedel, avfettningsmedel och schampo. Lösningbaserade kallavfettningsmedel består av petroleumkolväten och 2–4 % tensider (ytaktiva ämnen). De avfettningsmedel som består av vegetabiliska produkter innehåller fettsyrastrar, exempelvis raps och kokos. De alkaliska avfettningsmedlen består bland annat av komplexbildare, natriumsilikat, kalium- eller natriumhydroxid.

Huvudingredienserna i schampo är vatten och tensider med eventuella tillsatser av alkali eller komplexbildare. Beroende på typ av tvätt används olika varianter av schampo. Vaxschampo är precis som det låter, ett medel med både schampo och vax. Vaxet ger en ökad vattenavrinning men även för att hålla lacken på fordonet skyddat. Vaxet består av kolväten med längre kolkedjor och kan framställas syntetiskt eller ha naturligt ursprung, i löst eller fast form. Skumschampo är ett mildt alkaliskt schampo som används i automattvättar, vanligast under sommarperioden. Även borstschampo används i automattvättar men de är avsedda till att hålla borstarna rena. Utöver huvudingredienserna kan borstschampo också innehålla alkoholer som lösningsmedel.

Inför torkningen används sköljmedel som ofta består av katjontensider. Dessa tensider skapar en vattenavstötande ytfilm på lacken för att påskynda torkningen.

Under vintertid när fordonet oftast är mycket smutsigt används vanligen mer avfettningsmedel. Under sommartid räcker det oftast med alkaliska tvättmedel eller schampon.

Andra typer av kemikalier som hamnar i reningsverket är de medel som används till att rengöra själva tvätthallarna. Utöver kemikalierna som används i rening av bussarna och tvätthallarna så kan även processkemikalier användas vid vattenreningen av tvättvattnet. Vid så kallad kemisk rening tillsätts fällnings- eller flockningsmedel. Fällnings- och flockningsmedel används för att kunna koncentrera ämnena som ska renas från vattnet. Ett exempel på sådant medel är polyaluminiumklorid. För att nå bästa reningsresultat kan pH-justerare behöva tillsättas, exempelvis lut eller kalciumhydroxid.

Recirkulation av tvättvatten

I stor utsträckning är dagens reningsanläggningar konstruerade för att återvinna 80 % av tvättvattnet. De är även konstruerade för att maximalt använda 50 liter vatten till det kommunala avloppet för en personbilsvätt och 150 liter för en tvätt av tunga fordon. Att återföra vattnen görs bland annat för att få mindre vatten i reningsanläggningen och på så vis överbelastas inte anläggningen vilket leder till minskade utsläpp. Förutom bättre förutsättningar för att minska utsläppen kan återföring av vatten minska risken för driftstörningar i kommunala reningsverk. Återföring av vatten kan även minska tvättmedelsförbrukning och kostnaden på vatten.

Recirkulation av tvättvatten kan innebära ökad korrosion i tvätthallen på grund av ökat saltinnehåll. För att minska risken för korrosion är skötsel av anläggningen viktig. En viktig åtgärd är att tömma slam-och oljeavskiljare samt andra tankar. Genom korrosion av galvat material i tvätthallar ökar utsläpp av zink, det är därför fördelaktigt med ett annat materialval. Det går också att tillföra tvättvattnet medel som motverkar rost, vanligast är ortofosfat. Det finns även metoder som stöter ut salt, det är bland annat indunstning och omvänd osmos. Omvänd osmos är en fysisk filtreringsprocess där vattnet utsätts för ett tryck med den högsta saltkoncentrationen och vattnet tvingas genom ett membran. Membranet har mycket små porer som vattnet passerar igenom medan andra joner och lösta ämnen i vattnet filtreras. Andra förekommande nackdelar med recirkulation är dålig lukt och höga halter mikroorganismer. Lämpliga

åtgärder är att lufta vattnet eller att behandla det med ozon eller UV (Naturvårdsverket, 2005).

3.2 KOMMUNALT AVLOPP

De kommunala avloppsreningsverkens uppgift är att rena spillvatten som kommer från hushållen och dagvatten. Kommunala avloppsreningsverken är därmed byggda för att kunna avskilja suspenderat material, fosfor, kväve och att bryta ner biologiskt nedbrytbara ämnen (ämnen med kol). Reningen är baserad på en mekanisk, kemisk och biologisk rening. Den mekaniska reningen tar bort fasta material så som toalettpapper eller grus. Det fasta materialet tas bort via galler och sandfång där partiklarna sjunker till botten. Den biologiska reningen använder sig av mikroorganismer för att bryta ner organiskt material och kväve. Det slutliga steget, kemisk rening, är till för att rena vattnet från fosfor. Kemikalier tillsätts för att reagera med fosfor i vattnet och bildar därmed flockar som sjunker till botten.

När avloppsvatten renas bildas en restprodukt. Denna restprodukt kallas för slam och innehåller växtnäring så som kväve och fosfor samt mullbildande ämnen, det vill säga organiskt material. På grund av denna sammansättning kan slam återföras till odlingsmark och verka som gödselmedel. Det är däremot viktigt att slammet inte innehåller toxiska, bioackumulerande eller svårnedbrytbara ämnen. Ett ämne är giftigt om det vid en viss koncentration är skadligt eller dödligt för levande organismer, det vill säga att ämnet ändrar cellernas funktion. Ett ämne är bioackumulativt om det lätt lagras hos en organism. Slammets innehåll påverkas av vad som förs med avloppsvattnet och det är därför viktigt att förhindra användning av farliga produkter eller att avskilja farliga ämnen i tidigt skede av reningsprocessen (Svenskt vatten, 2012).

3.3 AVLOPPSVATTEN FRÅN FORDONSTVÄTTAR

Det smutsiga tvättvattnet innehåller olika föroreningar, organiska och oorganiska. Föroreningarna kommer direkt från fordonen men även indirekt från tvättkemikalierna och vägbeläggningen. Från fordonets lack kan tungmetaller som kadmium lossna och från hjulen kan zink tillföras. Fordon behandlas även med rostskyddsmedel som kan frigöras vid tvätten. Ju smutsigare väglaget och fordonet är desto större utsläpp av föroreningar sker men medför också en ökad tvättkemikalieförbrukning (Naturvårdsverket, 2005).

Olika typer av ämnen har olika effekter på människor och natur. Skadliga effekter nås beroende på koncentrationen. Om ett ämne är både giftigt och svårnedbrytbart eller kan bioackumuleras räknas det som miljöfarligt. Ämnet måste vara fettlösligt eller persistent för att vara bioackumulativt. Svårnedbrytbara ämnen bryts ner långsamt och anrikas därmed i miljön och kan sedan spridas. Vid utsläpp av giftiga ämnen kan alltså avloppsreningsverkens biologiska processer hindras eller att vattenlevande organismer i recipienten påverkas.

Oorganiska föroreningar i fordonsvatten (det smutsiga vattnet efter en fordonstvätt) kan vara metaller. En del tungmetaller är essentiella, vilket betyder att de är nödvändiga för levande organismer. På grund av att metallerna inte är nedbrytbara är de därför farliga i höga mängder. De metaller som förekommer i fordonstvättarna och även analyseras är bly, krom, nickel, koppar, zink och kadmium. Kadmium är den mest toxiska metallen av de nämnda.

Bly

Bly hamnar i kommunala avloppsreningsverk från fordonstvättar, dagvatten, sediment i ledningsnät och golvs kursvatten. Metallen är giftig och möjligtvis bioackumulerande. Vid höga halter finns det risk för påverkan på blodkroppsbildningen och nervsystemet hos människor och djur. Det finns ingen känd naturlig funktion hos växter och djur för bly men bly konkurrerar med essentiella grundämnen (exempelvis kalcium, järn och zink) (Svenskt vatten, 2012).

Nickel

Nickel är en essentiell metall som är giftig vid höga koncentrationer. Växter förväxlar nickel med zink och tar därför lätt upp metallen. Nickelföreningar har giftig till mycket giftig inverkan på vattenorganismer. Nickel är hårdig mot korrosion och används därför bland annat i rostfritt stål men även i batterier. Tillsammans med krom utgör metallerna kromade ytor som finns på exempelvis fälgar. Användningen av nickel medför att metallen återfinns i avloppsvatten från trafikutsläpp och bilvårdsanläggningar.

Kadmium

Kadmium är den giftigaste metallen av dem som analyseras i processavloppsvatten från fordonstvättar. Metallen ansamlas lätt hos växter, djur

och människor, den anrikas främst i njurarna och kan orsaka cancer och benskörhet. Vid högre pH får kadmium en ökad rörlighet och har en medelhög till mycket hög giftig effekt hos vattenlevande organismer. Förutom rent kadmium finns kadmium som en biprodukt vid framställning av zink, koppar och bly. Sedan 1982 är det kadmiumförbud i Sverige men det finns en del undantag. Kadmium är tillåtet i bland annat vissa elektriska maskiner och apparater samt i varmvattenberedare. Den största delen av kadmium som hamnar i avloppsreningsverken kommer från själva hushållen och från biltvättsanläggningar då kadmium finns i nickel/kadmiumbatterier, färgpigment samt används vid ytbehandling och som stabilisator i PVC-plast. PVC, polyvinylklorid, framställs av vinylklorid som är cancerframkallande (Naturskyddsföreningen, 2017). PVC-plast används till mycket och inom fordonstvättar hittas plasten i bland annat kabelhöljen, vägguttag och detaljer i fordonsindustrin (Svenskt vatten, 2012).

Koppar

Koppar är en essentiell metall och eventuellt bioackumulerande. Koppar vid höga intag leder till förgiftning men vid för låga intag kan det ge skador på foster och små barn. För vattenlevande organismer har koppar en mycket hög giftighet och för många marklevande organismer har koppar en känslig inverkan. Koppar tillförs avloppssystemet via korrosion i varmvattenberedare utöver fordonstvättar.

Krom

Krom är eventuellt bioackumulerbart. Av grundämnena som människan behöver så är krom det ämne som behövs minst av. Höga halter av krom kan hos människor ge upphov till lungcancer, astma samt skador på DNA och kromosomer. För markorganismer har krom en giftig inverkan och en mycket hög giftig inverkan på vattenlevande organismer. Krom används i bland annat avgassystem, rostfritt stål och i förkromningar för exempelvis fälgar.

Zink

Zink är en essentiell metall och potentiellt bioackumulerbart. Metallen kan konkurrera ut andra essentiella metaller om upptaget är för högt hos djur och växter. Hos människor kan zinkbrist ge hudbesvär. Höga halter ger giftig inverkan hos både människor, vattenlevande organismer och växter. Zink används ibland annat till plåt, vattenkranar, rostskyddsfärger och hjul. Genom

slitage släpps zink från hjul, bromsar och rostskyddade ytor och hamnar på så vis i avloppssystemet.

Oljeindex

Oljeindex anger opolära alifater vid analysprovtagningen av utsläppsvatten från fordonstvättar. Vid analysen används hexan som lösningsmedel. När hexan används som lösningsmedel lyckas inte analysen särskilja på kolväten som kommer från olja med kolväten från naturliga humusämnen. Hexan har sex kolatomer vilket medför att det är osäkert att detektera kolkedjor under åtta kolatomer. Oljeindex detekterar därför endast kolkedjelängder med mer än tio kolatomer, det vill säga ämnen med större kolkedjor än hexan. Diesel har en kolkedjelängd mellan 16 och 22 kolatomer medan motorolja börjar med tio kolatomer och har ett bredare intervall. Om provet innehåller humusämnen redovisas ett högre oljeindex. Alifater kan orsaka skador på det centrala nervsystemet (Svenskt vatten, 2012).

3.3.1 Miljömässiga åtgärder

Naturvårdsverket har tagit fram riktvärden på utsläpp av metaller och olja från fordonstvättar som åtgärd för negativ miljöpåverkan. Om ett värde överskrider riktvärdet medför det en skyldighet att vidta åtgärder. Tabell 1 visar minimumkrav på utsläppshalter för analysparametrar olja och metall för en personbil samt ett 12-m långt fordon (Naturvårdsverket, 2005). Enligt SIS miljömärkning motsvarar 1 fordonsenhet en buss på 12 m (Svanen, 2013).

Tabell 1. Naturvårdsverkets riktvärden för utsläpp av föroreningar till kommunalt spillvattennät.

Analysparameter	Personbil	Buss 12 m
Samlingsparameter: bly, krom och nickel	10 mg/fordon	30 mg/fordon
Oljeindex	5 000 mg/fordon	15 000 mg/fordon
Zink	50 mg/fordon	150 mg/fordon
Kadmium	0,25 mg/fordon	0,75 mg/fordon

Beroende på vilket reningsverk som tar emot avloppsvattnet från fordonstvättar har de sina egna riktlinjer. Med bakgrund från Naturvårdsverkets riktvärden har Stockholms kommuner tillsammans med Stockholm Vatten och Avfall, Käppalaförbundet samt Sundsvalls kommun tillsammans med Sundsvall Vatten

AB satt sina riktvärden (tabell 2). Observera att Sundsvall Vatten AB inte har riktvärden för utsläpp per fordon utan per liter utsläppsvatten.

Tabell 2. Riktvärden för utsläpp av föroreningar till kommunalt spillvattennät (Stockholm vatten och avfall, 2017d) (Käppalaförbundet, 2015) (MittSverige vatten, 2016).

Analysparameter	Riktvärde Stockholm Vatten och Avfall AB Buss 12 m	Riktvärde Käppalaförbundet Buss 12 m	Riktvärde MittSverige Vatten
Samlingsparameter: bly, krom och nickel	15 mg/fordon	15 mg/fordon	
Oljeindex	7 500 mg/fordon	7 500 mg/fordon	5-50 mg/l
Zink	150 mg/fordon	150 mg/fordon	0,2 mg/l
Kadmium	0,3 mg/fordon	0,3 mg/fordon	Bör ej förekomma
Koppar	90 mg/fordon	90 mg/fordon	0,2 mg/l
Bly			0,05 mg/l
Krom			0,05 mg/l
Nickel			0,05 mg/l

Riktvärdena undersöks genom provtagning av utsläppsvattnet. Provtagningen sker med automatisk provtagare på utgående behandlat tvättvatten. Provtagning genomförs flödesproportionellt och provtas av behörig provtagare. Vid provtagningstillfället ska tvätten vara igång som vanligt och ingen rengöring av tvätthallen får ske då det kan påverka resultatet. Provtagning ska ske tidigast tre veckor efter tömning av slam- och oljeavskiljare.

För stora anläggningar (tvätt av fler än 1 000 bussar eller 5 000 personbilar per år) har Stockholms län att veckosamlingsprov ska tas ut två olika månader under vinterhalvåret (november –april). Provtagningen ska däremot inte ske två på varandra följande veckor. Vid ena provtagningstillfället analyseras endast metallerna. Vid det andra tas ett samlingsprov för metallanalys ut över sex dygn samt ett dygnssamlingsprov för analys av oljeindex det resterande dygnet (Stockholm vatten och avfall, 2017). MittSverige Vatten har för stora anläggningar, anläggningar som tvättar mer än 1 000 bussar eller 200

personbilar krav på dygnssamlingsprov och inte veckosamlingsprov (MittSverige Vatten, 2016).

3.4 GENERELL TEKNISK BESKRIVNING AV RENINGSMETODER

Fysikaliska och kemiska egenskaper hos föroreningar avgör vilken reningsmetod som är lämplig. Följande avsnitt beskriver generellt de olika reningsstegen som finns och vilka reningsmetoder som är lämpliga för vilka föroreningar (tabell 3). Oftast handlar det om en kombination av reningsmetoderna för att nå optimalt reningsresultat (Norberg & Lithner, 2013).

Tabell 3. Lämpliga reningsmetoder för olika föroreningar.

Förorening	Reningsmetod
Metaller, bundna	Mekanisk rening, t.ex. med filter
Metaller, lösa	Kemisk fällning så som adsorption, omvänd osmos, jonbytare
Organiska ämnen	Adsorption t.ex. med aktivt kol, kemisk oxidation med ozon eller UV-strålning samt med oljeavskiljare
Olja	Oljeavskiljare

Sandfång

Oftast är sandfång en ränna under tvättzonen i tvätthallarna där små men tunga partiklar, sand och grus, sedimenterar innan vattnet rinner vidare i reningsprocessen.

Oljeavskiljare

En oljeavskiljare är en stor tank där vattnet flödar igenom. I en så kallad gravimetrisk oljeavskiljare flyter ämnen som har lägre densitet än vattnet upp till ytan på grund av gravitationen. Det är främst olja, bensin och andra lätta vätskor som avskiljs här. Vätskelagret hålls kvar i form av något skydd som är placerat en liten bit under ytan. Det mer reade vattnet går under skyddet och vidare ut ur oljeavskiljaren. Oljeavskiljaren är alltså ett första steg till andra reningsmetoder.

Det är vanligt att en oljeavskiljare även består av en slamavskiljardel.

Slamavskiljarens funktion är att separera fasta material från vattnet som senare rinner över till oljeavskiljardelen. De partiklar som sjunkit avskiljs av en skärm för att hamna vidare i oljeavskiljardelen.

Det finns olika typer av oljor. Fri olja är olja med större oljedroppar och uppkommer vid handtvätt av fordon eller vid avspolning av golv med oljespill. I en gravimetrisk oljeavskiljare avskiljs den fria oljan. Om vattnet består av emulgerad olja vars droppstorlek är mycket mindre än hos den fria oljan kan en så kallad en koalescensavskiljare användas. Emulgerad olja kan uppstå då högtryckstvätt används eller på grund av tvättprodukter som innehåller tensider som emulgerar oljan. En koalescensavskiljare består av lameller eller rörfilter där små oljedroppar slås ihop och smälter samman till större droppar som då kan stiga till ytan och avskiljas.

Vid löst olja krävs vidare åtgärder så som exempelvis kemisk rening eller absorption. Därför består reningsprocesserna av flera tekniker för att kunna särskilja all olja men även fria metalljoner. Det är viktigt att tömma oljelagret i avskiljaren för att inte riskera att olja följer med i utgående vatten.

Kemisk rening

En kemisk rening bygger på kemisk fällning och flotation. Vid kemisk fällning tillsätts fällningskemikalier och pH-justerade ämnen så att slam erhålls. Fällningen sker i oljeavskiljaren eller i en egen tank. Vid flotationen tillsätts, förutom fällningskemikalier och pH-justerande ämnen, luftbubblor i vattnet efter oljeavskiljaren så att fällningen fästs på bubblorna vilket skapar ett flotations slam på ytan. Metoden kallas för mikroflotation.

En annan flotationsmetod är elektroflotation. Genom elektroder skapas gasbubblor som fällningarna fästs på. Elektrokemisk rening innebär att en likströmsspänning frigör aluminiumsalter från antingen rörliga eller fasta anoder av aluminium. Salterna reagerar med föroreningarna och bildar flockarna på samma sätt som vid kemisk rening. Den bildade flocken separeras från vattnet genom bland annat filtrering.

Filtrering

Efter oljeavskiljaren filtreras vattnet i ett sandfilter varvid kvarvarande partiklar fastnar. Sandfiltret rengörs via backspolning som innebär att vatten pumpas underifrån. Fördelen med sandfilter är att det är en beprövad teknik. Det kan även behöva kompletteras med fällningskemikalier eller efterpoleras med aktivt kol för att nå en högre reningsgrad. Det aktivt kol särskiljer vissa tungmetaller och är en beprövad metod.

Förutom sandfiltrering finns membranfiltreringar med olika kornstorlekar, från 0,0002–2 µm. Omvänd osmos avskiljer både organiska och oorganiska ämnen med partikelstorlek på 0,0002–0,001 µm. Fördelen med omvänd osmos är att om osmosen fungerar väl så avskiljs det mesta. Nackdelen med den är att filtret är känsligt för igensättning, särskilt vid höga halter av tungmetaller. Förutom risk för igensättning är omvänd osmos dyr för inköp och drift. Filtreringarna med större partikelstorlekar genererar en lägre driftskostnad. Den gemensamma nackdelen för alla filtreringsmetoder är att det finns risk för att filtren sätts igen om kvalitén på vattnet är ojämnt.

Biologisk rening

Vid biologisk rening används mikroorganismer för nedbrytning av organiska ämnen i vattnet så som tensider och oljerester. För att mikroorganismerna ska kunna arbeta optimalt krävs luftning och eventuella tillsatser av närsalter i systemet. Systemet innehåller ofta ett bärmaterial, vanligtvis skumplast, av stor yta som mikroorganismerna kan växa på. Nackdelen med biologisk rening är att mikroorganismerna är känsliga och kräver en optimal miljö. Fördelen är att ingen tillförsel av kemikalier krävs.

Ozon

Ozon fungerar som ett oxidationsmedel som kan bryta ner organiska ämnen vid syresättning. Den oxidativa metoden är inte effektiv på metaller och det kan vara svårt att få en rätt dosering. Fördelen är att den kan förhindra dålig lukt vid avloppsreningen och att antalet mikroorganismer minskar.

Hydrocyklon

Avloppsvattnet sätts i en snabb rotationsrörelse som får partiklar med högre densitet än vatten att ansamlas på cyklonens innerkanter med en nedåtgående riktning. Det reade vattnet separeras genom en öppning i cyklonens botten.

Indunstning

Med en indunstare separeras vatten från lösta ämnen som koncentreras genom tryckminskning och energitillförsel. Genom tryckminskning får lösningen en lägre kokpunkt vilket i sin tur leder till en mindre energikrävande förångningsprocess. Genom att tillföra värme förångas vattnet. När ångan kyls ner övergår den till en vätska och det som blir kvar är ett koncentrat av ämnen som inte har förångats. Koncentratet som bildats är det slam som innehöll de

föroreningar som önskades bli avskilda från vattnet. Koncentratet samlas upp och töms för att sedan behandlas som farligt avfall. Indunstaren avskiljer kolväten, oljor och tungmetaller

Fördelen med en indunstare är att den har en bra prestanda och renar vattnet väl från tungmetaller och mineralolja. Nackdelar med en indunstare är att den har en hög investeringskostnad och hög energiåtgång (Norberg & Lithner, 2013).

3.5 TIDIGARE STUDIER

Höga halter av tungmetaller i avloppsvatten är känt och deras källor undersöktes närmare. De höga halterna av zink kunde spåras till fordonstvättar. Den största utsläpsskällan för bly, krom och kadmium spårades också till fordonstvättar (Sörme & Lagerkvist, 2002).

Vid en australiensisk studie undersöktes effekten av rening med en membranbioreaktor och kombination av flockning med ozonrening. Membranbioreaktor ansågs rena alla föroreningar. En membranbioreaktor är även lämplig för utrymmesekonomiska lösningar. Om vattnet istället tillsattes flockningsmedlen alun (kaliumaluminiumsulfat) och polyaluminiumklorid renades alla föroreningar. Om ozonrening tillämpas efter flockning uppnås en ännu effektivare reningsgrad (Rodríguez Boluarte, et al., 2016).

I dagsläget finns det i Sverige ingen tvätt för bussar med indunstning som reningsmetod. Det har däremot gjorts studier och pilotförsök på personbilstvättar med indunstning som reningsmetod. Nyligen har en biltvättsanläggning i Sundsvall byggts där efterföljande vattenrening består av just den slutna metoden trafikförvaltningen vill se över. IVL Svenska Miljöinstitutet har i två studier utvärderat fordonstvättar med olika recirkulationsgrader, från låg grad till slutet med hjälp av pilotförsöken. Studierna påvisade en ökad energiförbrukning för en reningsmetod med indunstning men en tvättkemikaliebesparing på upp till 50 % och en minskad slamtömning (Bjurhem, 2000). Då en indunstare stöter ut salt ur systemet bör slammet vara mer koncentrerat och därmed ge upphov till färre slamtömningar. Studien antyder till ett halverat tömningsintervall (Bjurhem & Ekengren, 2004).

Enligt en energirapport där en av trafikförvaltningens depåer undersöktes visade resultatet att reningsanläggningen är den del av bussdepåen som genererar minst energianvändning. Den största energianvändningen kommer från radiatorvärme och ventilation (Campido, 2015).

3.6 LIVSCYKELKOSTNAD, LCC

En produkts totala kostnad under dess livstid kallas för livscykelkostnad, LCC. Den tekniska livslängden avser tiden en produkt fungerar tekniskt lika bra som vid investeringstillfället. Den ekonomiska livslängden avser tiden det är ekonomiskt riktigt att använda investeringen. Den ekonomiska livslängden kan vara kortare än den tekniska men aldrig längre (Andersson, 1997). Det finns olika typer av livscykelkostnadsmodeller och nuvärdesmodellen är den vanligaste. Nuvärdesmodellen räknar om alla betalningar över tid till tidpunkten vid investeringen, det vill säga pengarnas värde idag. Metoden är lämplig vid jämförelse över samma livslängd och utan en lönsamhet.

I en LCC ingår kostnader för grundinvestering, drift och underhåll. Nuvärdesmodellen kan formuleras enligt (Levin m.fl, 2008):

$$LCC = G + D + U \quad (1)$$

där G är grundinvestering, D är driftkostnad (nusummefaktor \times energipris \times årlig energianvändning) och U är underhållskostnad.

Grundinvesteringen är kostnaden för exempelvis materialköpet, installation och driftsättning. Nusummefaktorn baseras på realkalkylränta och kalkylperiod. Inom landsting räknas det ofta med en kalkylränta på 4 % (Upphandlingsmyndigheten, 2017). När en investering utan en energikostnad genererar återkommande lika stora belopp kan nusummefaktorn beräknas utifrån (Belock, 2017):

$$NSF = \frac{1-(1+r)^{-n}}{r} \quad (2)$$

där NSF är nusummefaktor, r är kalkylränta (%) och n är livslängden (år).

Definitionerna av drift och underhåll användes från de riktlinjer trafikförvaltningen följer inom fastighetsförvaltning (AFF-Forum, 2015). Drift

definieras som ”tekniska åtgärder som syftar till att upprätthålla funktionen hos ett objekt” och innefattar tillsyn samt skötsel. Skötsel omfattar byte eller tillförsel av förbrukningsmaterial. Underhåll definieras som ”tekniska åtgärder som syftar till att återställa funktionen hos ett objekt”.

En livscykelkostnad kan göras mer detaljerad och anpassas beroende på vilken typ av investering som ska göras. LCC kan genom nuvärdesberäkning också definieras enligt (Belock, 2017):

$$LCC = G + LCC_{drift} + LCC_{energi} + LCC_{underhåll} + LCC_{övrigt} - R \quad (3)$$

där G är grundinvestering, LCC_{drift} är nuvärdesberäknad driftkostnad, LCC_{energi} är nuvärdesberäknad energikostnad, $LCC_{underhåll}$ är nuvärdesberäknad underhållskostnad, $LCC_{övrigt}$ är nuvärdesberäknade övriga kostnader och R är restvärde.

Övriga kostnader som kan ingå är arbetskostnader, försäkringar, hyra och kostnad för sluthantering. Restvärdet motsvarar värdet av produkten vid nyttjandetidens slut. I ett sådant här fall är alla kostnader nuvärdesberäknade förutom restvärdet (Upphandlingsmyndigheten, 2017).

4 METOD

En litteraturstudie gjordes över fordonstvättar, nuvarande reningsmetoder på depåerna och tidigare studier av fordonstvättar. Tillsammans med litteraturstudien besöktes trafikförvaltningens bussdepåer för att få en ökad förståelse över fordonstvättar, de olika reningsmetoder och för att få belägg för en LCC. Ett studiebesök på en biltvätt med sluten vattenrening i Sundsvall gjordes för att få en ökad förståelse av den nya reningsmetoden som eventuellt ska investeras hos SL. Vid studiebesöken intervjuades fastighetsskötarna kort angående hur det är att sköta reningsanläggningarna. Vid samtliga studiebesök samlades driftjournaler, produktbeskrivningar, tvätt- och vattenmätningar samt kemikalieförbrukningar in för att kunna använda så trovärdiga värden i livscykelkostnaden.

4.1 UTSLÄPP

Analysresultat mellan år 2011–2016 från de obligatoriska provtagningarna på trafikförvaltningens bussdepåer sammanställdes i grafer för att visa utsläppshalterna per buss av varje analysparameter.

Biltvättsanläggningen i Sundsvall är ny och har varit i bruk i 1,5 år därför finns bara en analysrapport från år 2016 att utgå ifrån. Provtagningen sker vid utloppet, även om det inte planeras att släppa ut vatten till kommunalt spillvattennät. Sundsvall vatten AB har inga krav på att redovisa analysparametrar som mg/buss. Från analysrapporten erhålls resultatet i mg/l. Enheten beräknades om till mg/buss enligt

$$U_{buss} = U \times Q_b \times F \quad (4)$$

där U_{buss} = koncentration av utsläpp (mg/buss),

U = koncentration av utsläpp (mg/l)

Q_b = färskvattenförbrukning per biltvätt (l)

F = skalfaktorn för omräkning till utsläpp per buss

Vattenförbrukningen per biltvätt var 30 liter enligt analysrapporten (Eriksson, 2017). Skalfaktorn 3 användes vid beräkningarna då 1/3 fordonsenhet motsvarar en personbil.

4.2 DRIFT OCH UNDERHÅLL

För att beräkna kostnaden för drift och underhåll av varje reningsanläggning användes både teoretiska och faktiska värden på parametrar. Uppgifter från reningsanläggningarnas leverantörer, såsom effekter på deras maskinutrustning och kostnader på deras produkter, kemikalier, filter, service och reservdelar samlades in. Faktiska värden utifrån driftjournaler, kemikalieförbrukning, mätningar av färskvatten och antal tvättar på varje bussdepå utnyttjades också för att få nå ett så trovärdigt resultat som möjligt. Eftersom det idag inte finns någon busstvätt med en sluten vattenrening var parametrar svåra att bevisa. Många av parametrarna antogs tillsammans med verksamma i branschen utifrån deras erfarenheter. För samtliga beräkningarna användes en elkostnad på 1 kr/kWh (Henriksson, 2017) och färskvattenkostnad på 20 kr/m³ (Stockholm vatten och avfall, 2017). All specifik indata från bussdepåerna togs för år 2016. I

Appendix A–C redovisas beräkningar och antaganden.

Busstoparna har olika antal bussar med olika längder, från bussar med 12 m till 18,75 m. Det som erhöles från busstoparna var antal tvättar per månad och färskvattenförbrukningen i automatvättarna varje månad. Mängden vatten som används i automatvätten styrs bland annat av fordonets längd men hur många bussar av varje busslängd som tvättats är okänt. För att utföra beräkningar av parametrarna räknades antalet faktiska tvättar om till vad det motsvarar antal tvättade 12 m-bussar. Det antogs ett proportionerligt förhållande av de olika busstyperna vid varje tvättad månad. Resultatet efter beräkning är fiktivt antal tvättade 12 m-bussar och i fortsättningen kommer "per tvätt" motsvarade " per tvättad 12 m-buss" (tabell 4). Beräkning av antalet bussar visas i tabell A3, tabell B3 och tabell C3 i Appendix A, B och C.

Tabell 4. Antal tvättade bussar för respektive depå under år 2016 med omräknat antal motsvarande 12 m-bussar.

	Antal tvättade bussar	Antal tvättade 12 m-bussar
Biologisk rening	20 822	27 365
Elektroflockation	17 536	20 641
Ozonrening	14 422	19 277

Kostnaden för slamtömning sattes till lika för de nuvarande reningsmetoderna och räknades fram från faktiska värden som fått från slamtömningen under året. Värdet beräknades utifrån medelvärdet för den biologiska reningen och elektroflockationens slamtömningen. Slamtömningen från ozonreningen ingick inte i medelvärdet då den anläggningen har en chassitvätt, det vill säga att undersidan av bussarna också tvättas noggrannare (inte vid varje tillfälle) vilket ger upphov till mer olja och smuts i processavloppsvattnet. Att utgå från faktisk mängd slamtömning för den slutna anläggningen ansågs vara osäker på grund av flera anledningar. Osäkerheten låg i att det är mer snöfall i Sundsvall vilket medför ett mer sandigt och saltat väglag vilket i sin tur skulle innebära mer slam. Det antogs därför en minskad slamtömning med en gång per år utifrån studien från IVL (Bjurhem, 2000). Även kostnaden för tvättmedel hade inneburit en osäkerhet från faktiskt värde då det krävs oftast mer tvättmedel för att tvätta en personbil än en buss. En personbil tvättas mer sällan jämfört med bussarna som tvättas dagligen. Studien från IVL påvisade en minskning av tvättkemikalier

med 50 %, därmed sattes kemikalieförbrukningen till halva kostnaden av medelvärdet för de nuvarande metoderna.

En drift-och underhållskostnad per tvätt redovisas också och beräknades utifrån

$$DUK = \frac{K}{100 \times 365} \quad (5)$$

där DUK är drift-och underhållskostnad (kr/tvätt), K är totala drift-och underhållskostnad (kr) under ett år. 100 bussar per tvättanläggningen ska tvättas dagligen.

Vid studiebesöken ställdes två frågor om underhåll till fastighets-skötarna vid de olika anläggningarna.

- Hur många timmar läggs ner dagligen, veckovis och månadsvis på reningsanläggningen?
- Upplever ni några svårigheter med skötseln?

4.3 LCC

I denna studie användes nuvärdesmetoden eftersom den är passande för investeringar med samma livslängd och utan lönsamhet då en vattenrening inte kommer att generera några intäkter. Alla fyra livscykelkostnader är baserade på att investera på nytt av respektive reningsmetod. Livscykelkostnaden för respektive alternativ beräknades för en tvättanläggning där 100 stycken bussar ska tvättas dagligen. Maskinutrustningarnas livslängd är satt till 15 år. Rättare sagt är det nyttjandetiden som används i beräkningarna. Tiden skulle kunna sättas uppåt 25 år, men 15 år valdes som ett minimum på hur länge maskinutrustningen ska hålla. För alla beräkningar användes en kalkylränta på 4 %.

Beräkningarna utgick från ekvation (3) där LCC_{drift} , LCC_{energi} och $LCC_{underhåll}$ är nuvärdesberäknade. Restvärdet sattes till noll och inga övriga kostnader medtogs. En grundinvesteringskostnad inklusive installation från leverantörerna erhöles. Med hjälp av de tidigare teoretiska värdena och utifrån faktiska

beräknade parametrarna för drift och underhåll kunde nuvärdesberäknade livscykelkostnader beräknas.

För att beräkna nuvärdet av energikostnaden togs energiprisökning hänsyn till och totala kostnaden beräknas utifrån (Belok, 2011).

$$LCC_{energi} = E \times \frac{1 - \left(\frac{1+p}{1+r}\right)^n}{\frac{1+r}{1+p} - 1} \quad (7)$$

där E är årlig energikostnad (kr), p är årlig energiprisökning (%), r är kalkylränta (%) och n är nyttjandetiden (år). Att veta exakt hur energipriserna kommer se ut framöver är inte lätt, ett rekommenderat antagande är 2–3 % (Energieffektiviseringsföretagen, 2017). Efter år 2020 förväntas energipriser att öka på grund av allt mer förnybar energi installeras och på grund av att kärnkraftverken fasas ut (Energimyndigheten, 2014). I beräkningarna antogs en årlig energiprisökning vara 3 %. Observera att en energikostnad egentligen är en driftkostnad. Uppdelningen gjordes för att kunna beräkna energikostnaden med en energiprisökning som annars inte ingår i de övriga driftkostnaderna.

Driftkostnaden är nuvärdesberäknad enligt

$$LCC_{drift} = D \times \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} \quad (8)$$

där D är årlig driftkostnad (kr).

Underhållskostnaden är nuvärdesberäknad enligt

$$LCC_{underhåll} = U \times \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} \quad (9)$$

där U är årlig underhållskostnad (kr) (Belok, 2011).

Nusummefaktorn för driftkostnaden och underhållskostnaden beräknades och avrundades till 11,12. Nusummefaktorn som tar hänsyn till energiprisökning beräknades och avrundades till 13,9.

5 TVÄTTANLÄGGNINGAR OCH DESS VATTENRENING SOM INGÅR I STUDIEN

Bussdepåernas som valts ut för att ingå i studien är valda med avseende på att deras vattenreningssystem skiljs åt. Reningsmetoderna är:

- biologisk rening med efterföljande poleringssteg
- hydrocykloner och elektroflockation
- ozonrening

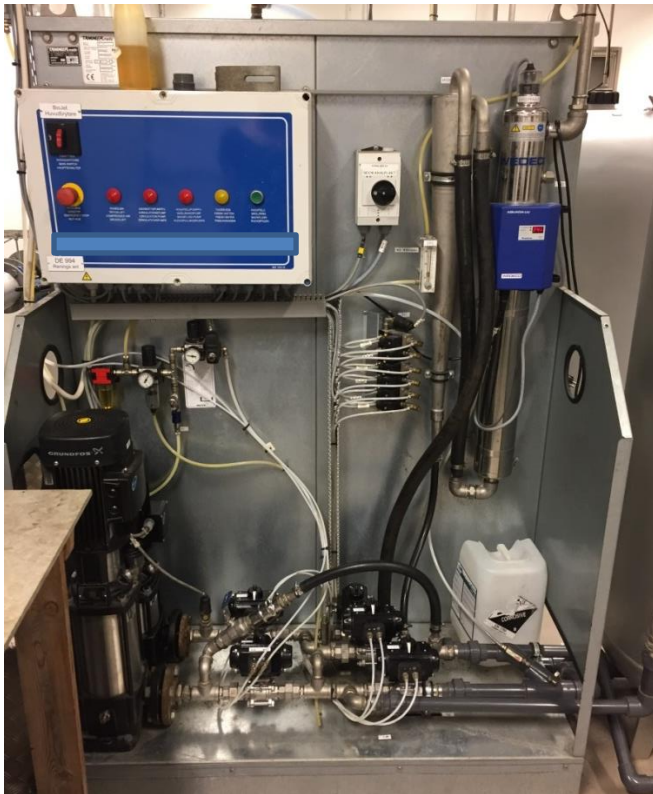
För att kunna jämföra de nuvarande metoderna hos SL med en sluten reningsmetod besöktes en biltvättsanläggning i Sundsvall, främst för att få en förståelse för metoden. Där består vattenreningen av kemisk fällning och indunstare. De nuvarande metoderna har en 80 %-ig recirkulation av vatten. Det speciella med den slutna reningsmetoden är att inget vatten släpps ut till det kommunala avloppet, här ska det nå nästintill 100 %-ig recirkulation. Det återcirkulerade vattnet används till huvudtvätten i fordonstvättarna medan färskvatten tillsätts till förtvätt, vaxspridning samt till för-och slutsköljning. För den eventuella slutna metoden är färskvattenintaget tänkt till slutsköljning.

Gemensamt för alla reningsmetoderna är att ett första steg är en olje- och/eller slamavskiljare. I dagsläget omhändertas slammet och andra eventuella farliga avfall av återvinningsföretaget Ragn-Sells.

5.1 BIOLOGISK RENING

Tvättanläggningen med efterföljande biologisk rening består av två stycken tvätthallar utrustade med automatisk portal 3-borsttvätt vardera. Manuell tvätt med högtryckstvätt utförs som ett komplement för den automatiska fordonstvätten. Motortvätt och invändig tvätt sker också. Den efterföljande vattenreningen består av biologisk rening.

Processavloppsvattnet från de två tvätthallarna avleds via sandfång till grovslamavskiljaren sedan vidare till en finslamavskiljare. Härifrån leds vattnet till en biotank. I den biologiska tanken finns bakterier som använder sig av bland annat rester av tvättkemikalier i vattnet som näring för att spjälka oljeföreningar under tillförsel av luft. Processavloppsvattnet avleds till en pumpkammare som pumpar vattnet till ett återvinningsystem (figur 1).



Figur 1. Rening-och återvinningssystem, en del av den biologiska reningsmetoden.
Foto: Ena Bahtic.

Systemet är uppbyggt med ett första steg som ett flerskiktssandfilter, sedan en hydrocyklon och till sist UV-behandling. Flerskiktssandfiltret består av fyra olika filtermaterial, två normalsand med olika kornstorlekar, kvartssand och hydroantracit som är brun-och stenkol. Från systemet pumpas processavloppsvattnet till den första av fyra bufferttankar. Från den sista bufferttanken återcirkulerar vattnet till de två automatiska fordonstvättarna samt till underspolning och till rännspolning. Återvinningsgraden ska teoretiskt sätt vara över 80 %.

Om vattennivån är hög i bufferttankarna pumpas överskottet av behandlat vatten till ytterligare en lagringstank. I lagringstanken hamnar även vatten från verkstaden. Processavloppsvattnet från verkstaden avleds via golvbrunnar till en pumpkammare, en slamavskiljare, en koalescensoljeavskiljare och till ytterligare en pumpkammare innan processavloppsvattnet når lagringstanken. Från lagringstanken pumpas vattnet till två parallella slutpoleringssteg bestående av

behållare med bark och kol i olika storlekar. Båda poleringsstegen består av tre påsfilterhus som innehåller påsfilter med bark och aktivt kol. Efter sista påsfilterhuset pumpas vattnet som överskott till det kommunala avloppet, det är även här provtagningen sker.

5.2 ELEKTROFLOCKATION

Tvättanläggningen med efterföljande elektroflockation består av två stycken tvätthallar med automatiska stationära fordonstvättar. Manuell tvätt med högtryckstvätt utförs som ett komplement för den automatiska fordonstvätten. Motorvätt och invändig tvätt sker också. Den efterföljande reningen består av elektroflockation som är en kombination av elektroflotation och elektrofällning.

Vattnet från tvätthallen avleds via tvättrännor till en gravimetrisk grovslamsavskiljare och därefter till en gravimetrisk finslamsavskiljare. Därifrån pumpas den del av vattnet som ska recirkuleras in till två hydrocykloner. Avloppet från cyklonerna förs tillbaka till tvättrännan. Efter hydrocyklonerna behandlas vattnet med ozon genom vattenfilter innan det pumpas till en bufferttank. Från bufferttanken pumpas vattnet till recirkulation i de automatiska borstvättarna samt till underspolning av bussarna i tvätthallarna.

Recirkulationsgraden är cirka 85 % och den del av processavloppsvattnet som inte har recirkulerat avleds från finslamsavskiljaren genom ett koalescensfilter till en gravimetrisk oljeavskiljare med två fack. Från oljeavskiljaren avleds processavloppsvattnet till en pumpkammare varifrån vattnet pumpas med en dränkpump vidare till en elektroflockationsanläggning (figur 2).



Figur 2. Maskinutrustning för elektroflockation. Foto: Ena Bahtic.

Processavloppsvattnet strömmar in mellan en anod av aluminium och en katod av rostfritt stål. Vattnet kommer att reduceras eller oxideras vilket leder till bildning av gasbubblor som stiger mot ytan och på vägen kolliderar bubblorna med emulgerad eller dispergerad olja och tungmetaller. Det bildas nu en flockning som avskiljs. På detta vis kan upp till 80% av oljan och tungmetallerna avskiljas. Den resterade delen avskiljs med en offeranod som består av aluminium. När offeranoden brukas frigörs aluminiumjoner från anoden och faller ut de resterande föroreningarna. Flocken ansamlas på ytan och där skrapas den av med en elektroniskt styrd skrapa. Flocken förs tillbaka till oljeavskiljaren. All flock kommer inte lyckas avskrapas. Den del som är kvar ligger strax under ytnivån och kommer hamna i oljeavskiljaren med en bottenömningspump när

renvattentömning har gjorts. Det renade vattnet pumpas till det kommunala avloppet med en provtagningsbrunn innan.

5.3 OZONRENING

Tvättanläggningen med efterföljande ozonrening består av två tvätthallar, en tvätthall har en automatisk portal borsttvätt och den andra tvätthallen används till en så kallad chassitvätt. En chassitvätt är en särskild maskin som tvättar fordonets underrede med motor, hjul och styranordning.

Processavloppsvattnet avleds via golvrännor från tvätthallen och från chassitvätten till en seriekopplad slam-och oljeavskiljare. Vattnet samlas sedan upp i en pumpbrunn varifrån vattnet pumpas till en ozonanläggning (figur 3). Vattnet trycks igenom en ozoninjektor och en syreinjektor vilket skapar ett vakuum i slangsystemet som är anslutet till en ozongenerator. Ozon och trycksatt luft doseras till det inkommande vattnet till en första flotationstank. När vattennivån stiger bräddar vattnet över till den andra flotationstanken och till sist till en lagringstank. Olja och partiklar flyter till ytan i de två tankarna varvid yt slammet bräddar till åter till den seriekopplade slam-och oljeavskiljaren. Utgående klarvatten från flotationstankarna bräddar till en tredje renvattentank i vilken en pump vid behov pumpar vattnet till en bufferttank. Från bufferttanken återcirkulerar vattnet i automatvätten. Överskottsvatten från renvattentanken pumpas till spillvattenavlopp där det passerar en koalescensavskiljare. Vattnet passerar härifrån en provtagningsbrunn innan vattnet avleds till det kommunala avloppet.



Figur 3. Ozonanläggning med dess inbyggda tre tankar inuti. Foto: Ena Bahtic.

5.4 SLUTEN METOD, INDUNSTNING

Enbiltvättsanläggning (figur 4) i Sundsvall har använts som referenspunkt. Biltvättsanläggningen består av två stycken gör det själv tvätthallar och en automattvätt.



Figur 4. Biltvätt i Sundsvall med indunstning som reningsanläggning.

Allt tvättvatten från tvätthallarna går genom själv-cirkulation från tvättränna till en bufferttank utomhus med tre infiltrationer. Med det utgående vattnet från tvätthallarna tillsätts pH-justerar och fällningskemikalier vilka tillsammans utgör

ett korrosionsskydd. Vatten i den sista infiltrationskammaren återanvänds till underspolning på bilar i automattvätten. Från samma sista infiltrationskammare pumpas även vattnet genom ett sandfilter innan det når en buffertank inomhus varifrån indunstaren (figur 5) tar vatten för vidare rening. Indunstaren pausar och tvättar sig själv med en syra.

Det renade vattnet från indunstaren, destillatvattnet, hamnar i en sluten tank utomhus. Om något går fel eller om tankarna är fulla bräddar destillatvattnet till det kommunala avloppet. Destillatvattnet pumpas till en tank inomhus och härifrån tar högtryckstvättarna vatten till båda GDS- hallarna. Destillatvattnet leds även vidare för beredning av tvättkemikalier. Tvättmedlet kommer i koncentrat och blandas på plats för att få brukslösningen. Utspädningen sker med hjälp av hydrominder som är ett beredningsredskap och sköter sig automatiskt. Innan beredning görs passerar vattnet ett filter. Det filtreras innan utspädningen för att få bort partiklar som hamnat med längs systemet.



Figur 5. Indunstaren som används. Foto: Ena Bahtic.

Färskvatten tas in och renas genom osmos, för att sedan användas till slutsköljning. Av det intagna färskvattnet som togs in förs 50 % ut igen till kommunala avloppet (renat färskvattnet).

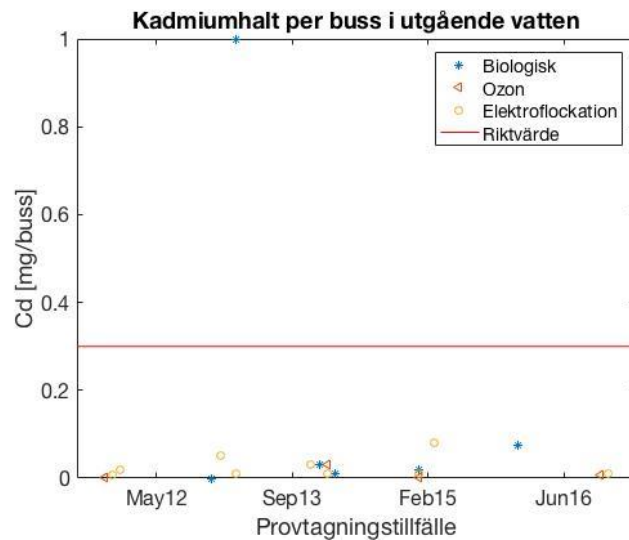
Varför osmos och filtrering innan beredning finns är på grund av bättre tvättresultat på fordonets lack. En ägare till en personbil har med stor sannolikhet högre önskemål om att reningsresultatet på fordonet ska vara bättre än vad en busstvätt. SL är nöjd med dagens tvättresultat av bussarna och med anledning till detta togs inte de här extra stegen i beaktandet i fortsatta beräkningar och analyser.

6 RESULTAT

I följande avsnitt visas resultat av analysprover från trafikförvaltningens bussdepåer och fordonstvätten i Sundsvall, drift-och underhållskostnader samt livscykelkostnader. Drift- och underhållskostnaderna är baserade på vattenrening av 100 stycken 12 m-busstvättar dagligen under ett år. Tillsammans med investeringskostnad samt drift- och underhållskostnad beräknades den totala livscykelkostnaden över 15 år för varje reningsmetod.

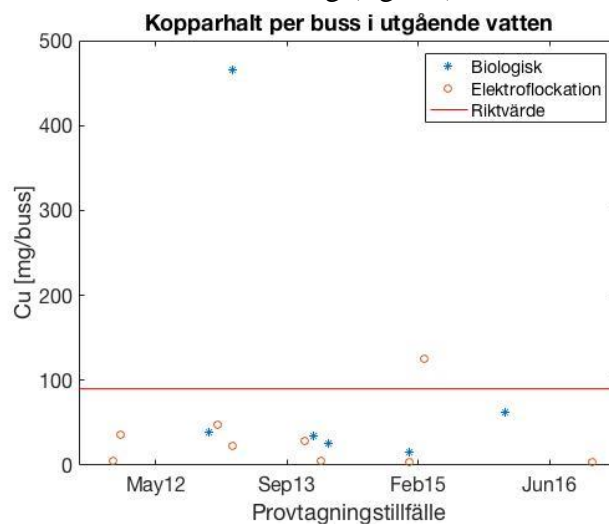
6.1 UTSLÄPP

Figur 6 till 10 visar resultat från analysprover av kadmium, koppar, zink, uppsamlad halt bly, nickel och krom samt oljeindex vid utgående vatten för de tre olika busstvättarna. Alla nuvarande reningsmetoder klarar riktvärdet för utsläpp av kadmium. Det är vid endast ett tillfälle den biologiska reningen överskrider riktvärdet (figur 6).

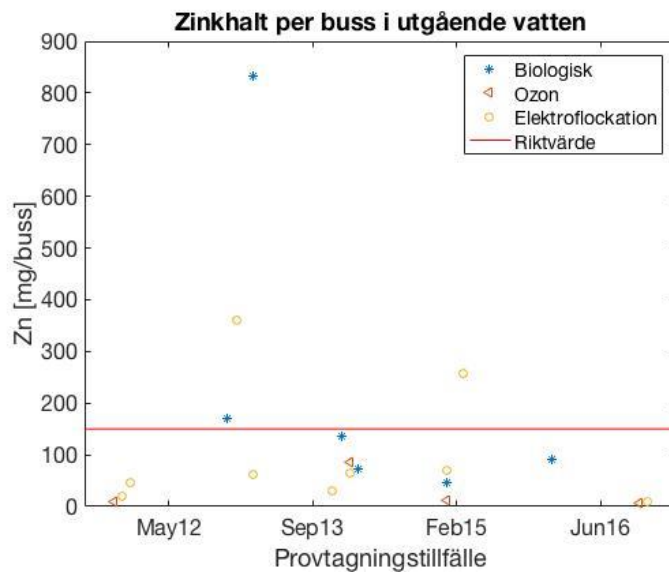


Figur 6. Kadmiumhalt per buss i utgående vatten vid de tre nuvarande reningsmetoderna.

Av okänd anledning fanns inte provresultat av analysparametern koppar för ozonrening. Endast vid ett tillfälle vardera för biologisk rening och elektroflockation som utsläppshalten för koppar överskrider (figur 7). Zink är den metall som är svårast att rena och överskrider riktvärdet flest gånger, dock inget överskridande vid ozonrening (figur 8).

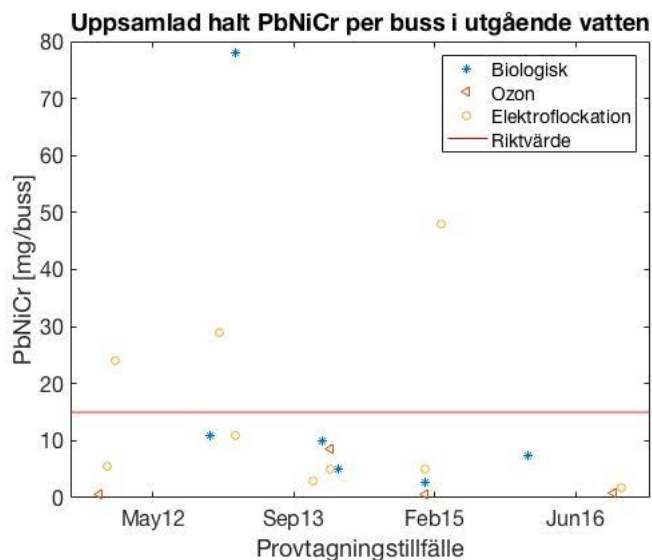


Figur 7. Kopparhalt per buss i utgående vatten vid de tre nuvarande reningsmetoderna. Observera att provresultat av koppar inte finns för bussdepån för ozonrening.

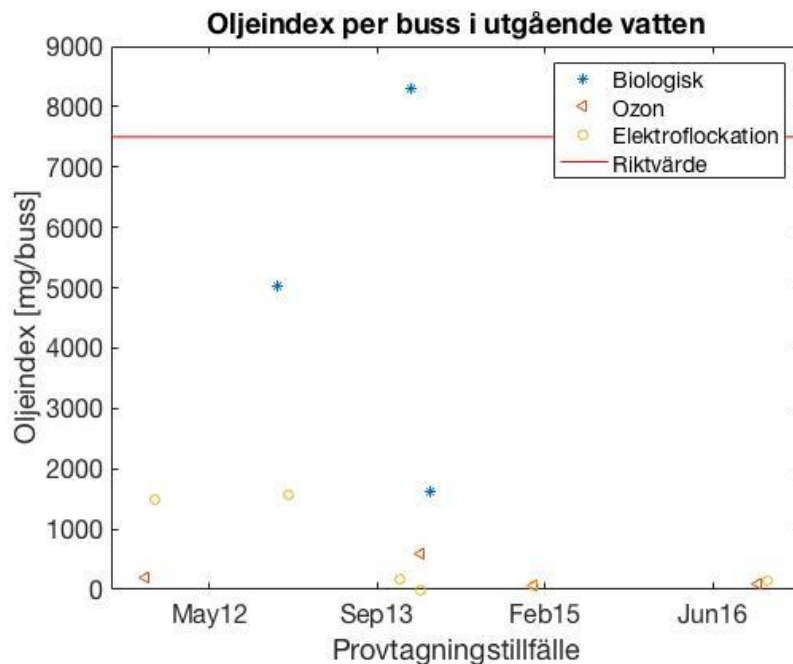


Figur 8. Zinkhalt per buss i utgående vatten vid de tre nuvarande reningsmetoderna.

Elektroflockationen är den rening som överskrider riktvärdet för uppsamlad halt bly, nickel och krom (figur 9). Alla reningsmetoder klara riktvärdet för oljeindex med god marginal, dock en överskridning vid ett tillfälle för den biologiska reningen (figur 10).



Figur 9. Uppsamlad halt av bly, nickel och krom per buss i utgående vatten vid de tre nuvarande reningsmetoderna.



Figur 10. Oljeindex per buss i utgående vatten vid de tre nuvarande reningsmetoderna.

Resultatet från provtagning vid den slutna metoden räknades om till mg/buss (tabell 5). Från tabellen kan det avläsas att varje analysparameter understiger riktvärdet med god marginal.

Tabell 5. Analysresultat från provtagningen av renat processavloppsvatten vid den slutna biltvätten i Sundsvall tillsammans med omräknat resultat till mg/buss.

Analysparameter	Riktvärde personbil MittSverige Vatten (mg/l)	Resultat (mg/l)	Omräknat till mg/buss
Bly	0,05	0,000987	0,08883
Krom	0,05	0,007	0,63
Nickel	0,05	0,00111	0,0999
Kadmium	Bör ej förekomma	0	0
Zink	0,2	0,01	0,9
Koppar	0,2	0,01	0,9
Oljeindex	5-50	0,84	75,6

Utsläppsmängd av metall och olja i enheten mg/buss för samtliga reningsmetoder under år 2016 är sammanfattade (tabell 6). Käppalaförbundet och Stockholm Vatten och Avfall AB har som tidigare visats samma riktvärden. Därför finns endast en gemensam kolumn. Inga riktvärden för MittSverige Vatten visas då den eventuella indunstningsmetoden ska anpassa sig i Stockholms län.

Tabell 6. Samlat resultat för år 2016 av analysparameterna i utgående vatten för samtliga reningsmetoder i jämförelse med riktvärde för Stockholms län.

Analysparameter	Riktvärde	Biologisk rening	Elektroflockation	Ozon-rening	Indunstning
	mg/buss	mg/buss	mg/buss	mg/buss	mg/buss
Bly					
Krom					
Nickel					
Kadmium	0,3	0,019	0,0111	0,006	0
Zink	150	90	9,7	7	0,9
Koppar	90	63	3,8		0,9
Samlingsparameter bly, krom och nickel	15	7,4	1,68	0,8	1,72
Oljeindex	7500		144	80	75,6

6.2 DRIFT OCH UNDERHÅLL

Biologisk rening och indunstning är de metoder som generar högst driftkostnad. Färskvattenförbrukningen är den mest kostsamma parametern för biologisk rening och för indunstningen är det elanvändningen (tabell 7).

Tabell 7. Driftkostnader under ett år för respektive reningsmetod vid vattenrening av 100 busstvättar om dagen.

Driftkostnader (kr) under ett år	Biologisk	Elektroflockation	Ozon	Indunstning
El	16 936	16 607	30 660	96 369
Färskvatten	328 978	51 474	60 401	36 500
Sandbyte	13 000			2 500
Anodbyte		39 895		
Salt		34 121		
Näringsämnen	146 000			
Filterpåsar med bark och aktivt kol	13 500			
Tvättvätska till indunstare				2 000
ph-justerare		13 031		158 775 ¹
Vatten-och luftfilter		409		
Tvättkemikalier	140 585	235 667	20 657 ²	94 170
Slamtömning	127 750	127 750	127 750	63 875
Totalt	786 749	518 953	239 468	782 689

Elektroflockation generar lägst underhållskostnad medan biologisk generar högst (tabell 8). Kostnaderna erhölls av leverantörernas försäljare eller tekniker.

Tabell 8. Underhållskostnader för respektive reningsmetod under ett år.

Underhållskostnad (kr) under ett år	Biologisk	Elektroflockation	Ozon	Indunstning
Service	31 400	8 000	30 000	22 600
Byte av rullager och munstycke		2 262		
Totalt	31 400	10 626	30 000	22 600

Drift-och underhållskostnad per tvätt är lägst för ozonrening och dyrast för biologisk rening (tabell 9).

¹ Kostnaden utgörs av fällningskemikalier, pH-justerare och korrosionsskydd.

² Orimlig låg kostnad

Tabell 9. Drift- och underhållskostnaden av vattenrening per tvättad 12 m-buss för respektive reningsmetod.

Reningsmetod	Drift-och underhållskostnad (kr/tvätt)
Biologisk rening	23
Elektroflockation	15
Ozon	7
Indunstning	13

Vid möten med fastighetsskötarna för de olika reningsanläggningarna har de alla svarat liknande, att tid behöver läggas på anläggningen och att ett intresse krävs för att kunna sköta det. Samtliga fastighetsskötare intygar en likartad arbetstid på skötseln av reningsverken trots att reningsverken är olika. En daglig rutin på ca 15 minuter, en veckorutin på cirka 1 h samt en månadsrutin på cirka 2 h. Det som ingår i funktionskontrollerna är bland annat slamnivåer, larm, pumpgropar, lufttryck, salt dosering, pH-mätning, rengöring av silar och byte av anoder och filter. Silar som finns på anläggningarna sätts ofta igen av allt från papper till glasspinnar och är en problematik som påpekats. Någon annan större problematik ur fastighetsskötarnas synvinkel har bara påpekats för den biologiska reningen utan några närmare detaljer på vad faktiska felet är. Fastighetsskötarna för både anläggningen med ozon och elektroflockation påpekade att de upplever att anläggningarna är underdimensionerad för dagens användning.

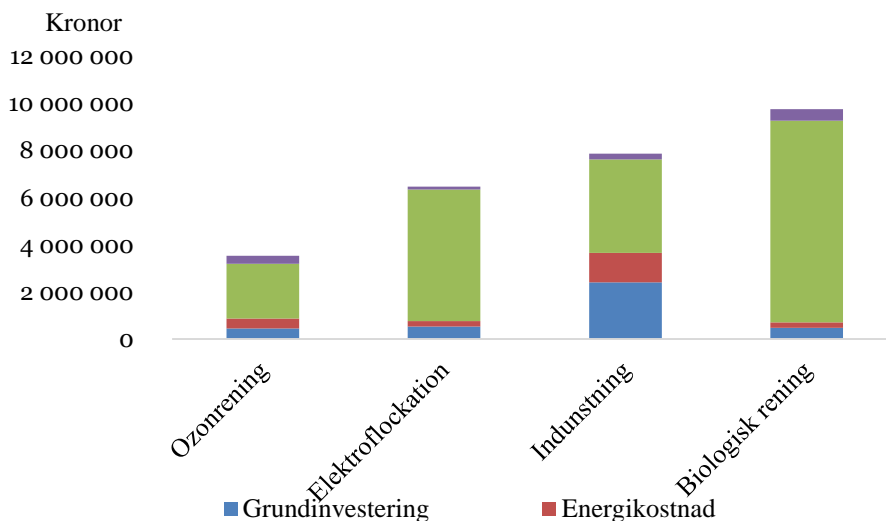
6.3 LCC

För biologisk rening med poleringssteg ligger en investeringskostnad på 475 000 kr, för elektroflockation 535 000 kr, för ozonrening 450 000 kr och för indunstning med sandfiltrering 2 400 000 kr. Grundinvesteringskostnaden inkluderar installation. Energikostnaden under hela nyttjandetiden är markant dyrare för indunstning än de övriga metoderna men har en lägre underhållskostnad än biologisk rening och ozonrening (tabell 10).

Tabell 10. Nuvärdet av drift-och underhållskostnader under maskinutrustningarnas 15 år långa nyttjandetid.

	Biologisk rening	Elektroflockation	Ozonrening	Indunstning
Driftkostnader per år (kr/år)	769 814	502 357	208 809	357 820
Nusummeffaktor gällande driftkostnader	11,1184	11,1184	11,1184	11,1184
Driftkostnader under hela nyttjandetiden (kr)	8 559 090	5 585 340	2 321 619	3 987 381
Energikostnad per år (kr/år)	16 396	16 607	30 660	90 000
Nusummeffaktor gällande energikostnad	13,896	13,896	13,896	13,896
Energikostnader under hela nyttjandetiden (kr)	227 845	230 777	426 062	1 250 672
Underhållskostnader per år (kr/år)	44 000	10 626	30 000	22 000
Nusummeffaktor gällande underhållskostnad	11,1184	11,1184	11,1184	11,1184
Underhållskostnader under hela nyttjandetiden (kr)	489 201	118 142	333 546	244 600

Den totala livscykelkostnaden (figur 10) visar att ozonrening är det minst kostsamma alternativet och biologiska reningen den dyraste (figur 10).



Figur 10. Totala livscykelkostnaden för respektive reningsmetod med det minst kostsamma alternativet i första stapeln.

7 DISKUSSION

En sluten metod med indunstning skulle innebära att inga föroreningar släpps ut till det kommunala spillvattennätet jämfört med de nuvarande metoderna med en vattenrecirkulation på 80 %. Utsläpp av föroreningar kan orsaka driftproblematik vid de kommunala reningsverken och en slamåterföring från reningsverken är därmed inte lika säker. Investeringen och energiförbrukningen av en indunstare kan tyckas vara dyr jämför med de andra metoderna. Fördelen ur en ekonomisk synvinkel är att det på lång sikt sker en besparing av både vatten och tvättkemikalier. Om överskottsvärmen från indunstaren återvinns till uppvärmning av tvätthallen besparas ytterligare en kostnad, en kostnad som är idag är dyrast vid drift av bussdepåerna. I landstingets miljöprogram ska åtgärder med lägst livscykelkostnad och bäst miljöprestanda väljas. Ozonreningen har den lägsta livscykelkostnaden men att peka ut den bästa miljöprestandan kan inte göras utifrån denna studie. Samtliga metoder bedöms kräva lika mycket skötsel och ingen problematik med att sköta om anläggningarna har påpekats. Den biologiska anläggningen har visat sig ha en för hög färskvattenförbrukning vilket tyder på att recirkulation av vatten inte fungerar.

7.1 UTSLÄPP

För elektroflockationen finns en tydlig tendens av överskridande för utsläpp av zink och uppsamlad halt av bly, nickel och krom. Elektroflockation är en blandning av fällning och flotation och bör kunna nå hög reningsgrad då de två metoderna är vanligast inom vattenrening av metaller, men utsläppsdata för zink och uppsamlad halt bly, nickel och krom visar annat. Fastighetsskötarna påpekade att de anser anläggningen som underdimensionerad, detta skulle kunna vara orsaken till att reningsresultatet inte nås fullt ut då vattnet inte hinner renas i den takt som processavloppsvattnet tillförs.

Samtliga metoder klarar riktvärdet för oljeindex (dock ett överskridande för den biologiska reningen). Kadmium och nickel är cancerframkallande och anses därför vara en av två parametrarna som är viktigast att hålla låga utsläpp på utifrån människors hälsa. År 2012 överskreds riktvärdet för kadmium för den biologiska reningen vid ett enstaka tillfälle.

Teoretiskt sett vid endast oxidativ rening är metoden inte effektiv på metaller men i detta fall visar resultatet på motsatsen. Anläggningen för ozonrening överskrider inga riktvärde. Hur en eventuell ozonrening klarar riktvärdet för koppar utifrån denna studie kan inte fastställas då inga provtagningar med avseende på koppar fanns registrerade. Käppala reningsverk som tar emot vatten från bussdepån med ozonrening har krav på riktvärde på koppar. Varför ingen provtagning av koppar gjordes är ouppklarat. Det finns ingen trend på att kopparutsläppen överskrider för den biologiska reningen eller elektroflockationen, vilket är lyckat då koppar har giftig inverkan på vattenlevande och marklevande organismer.

Vid ett möte med en tekniker på ett företag (som inte är leverantör på någon av de nuvarande bussdepåerna) av fordonstvättar med tillhörande vattenrening informerades vi om ett filter för reduktion av zink (Sandberg, 2017). Filtret är framtaget tillsammans med Kungliga Tekniska högskolan och skulle kunna användas som ett extra reningssteg då zinkutsläppen oroar trafikförvaltningen mest. Zink är potentiellt bioackumulerbart och vid höga halter kan zinken orsaka giftig inverkan hos människor, vattenlevande organismer och växter. Zink överskrider för både biologisk rening och för elektroflockationen som tidigare nämnt.

Den biologiska metoden med efterföljande poleringssteg är ju den metod som innehåller flest reningssteg utöver det första biologiska steget (UV-behandling, sandfiltrering och poleringssteg). Poleringssteget har installerats för att verka som ett extra steg för rening av eventuella rester, trots detta överskrider de nämnda riktvärdena. Om det är brist i driften av poleringssteget eller de tidigare stegen kan inte avgöras genom denna studie.

Utifrån den enda analysrapporten för den slutna metoden ses en god reduktion av metaller och olja. Ämnena koncentreras och utgör ett slam som behandlas som ett farligt avfall, på så vis hamnar inga föroreningar i det kommunala spillvattennätet. Givetvis kan inget definitivt fastställas utifrån en enda analysrapport men teoretiskt sätt ska ju föroreningarna koncentreras och inget släppas ut till det kommunala. Ur denna synvinkel rekommenderas en industninsmetod men den har som följd dyrare kostnader som diskuteras senare i rapporten.

Felkällor

Då inga egna mätningar genomfördes har data från provtagningarna inte kunnat påverkas och de antas vara genomförda enligt kriterierna. En hög osäkerhet som kan finnas i provresultatet är att provtagningen späds ut. Provtagningen görs vid utloppet till kommunalt spillvattennät och innan dess har ju allt använt vatten vid tvätten renats. Vid beräkning av halterna läses färskvattenförbrukning av för varje automatisk tvätt. Det vatten som tvättpersonalen använder vid invändig tvätt beaktas alltså inte.

För samtliga metoder kan vattnets pH och sammansättningen av tvättkemikalier påverka hur väl vattenreningen verkar, då reningsanläggningarna har sina rekommendationer på lämpliga tvättmedel. En närmare granskning av kemikaliesammansättningarna borde ha gjorts.

Något att beakta är att inga provtagningar sker vid inloppet till reningssystemen vilket innebär att andelen renad förorening inte är känd, bara hur hög halt som lämnar systemen. Att då egentligen säga att den ena systemet renar bättre än det andra är inte rättvist men i slutändan renar alla systemet tvättvatten från bussar och likartad mängd föroreningar bör förekomma vid inloppet.

7.2 DRIFT OCH UNDERHÅLL

För att få så trovärdiga kostnader som möjligt har det i högsta mån använts av faktiska värden, dock var detta bara möjligt för de nuvarande reningssystemerna på bussdepåerna. Med hjälp av trafikutövarnas dokumentation på vattenförbrukning i automatvättarna, driftjournaler, kemikalieförbrukning och andra inköp har de olika driftparametrarna kunnat beräknas tillsammans med leverantörernas priser. För att inte använda specifika priser på vad trafikutövarna betalar har bruttopriser på tvättkemikalierna och reservdelar frågats av leverantörerna för tvättmedel respektive maskinutrustningen för vattenreningen. På detta vis erhålls parametrar som inte är beroende av trafikutövaren, då alla tre bussdepåer även har skilda trafikutövare. Det är enbart energiförbrukningen för maskinutrustningen som beräknats teoretiskt utifrån produktspecifikationer.

För den slutna metoden var det svårt att få fram några faktiska värden då det idag inte finns någon busstvätt med indunstning. Inför studiebesök i Sundsvall var hoppet att kunna få data och information som skulle kunna räknas om för

vad det skulle motsvara för en buss. Data och information erhöles men upptäcktes senare inte vara jämförbar. Vatten- och elmätningarna motsvarade hela fordonstvätten, d.v.s båda två GDS-hallarna och automattvätten medan antal noterade fordonstvättar motsvarade endast dem i automattvätten där privatpersoner är kunder. Kemikalieförbrukning av tvättmedel motsvarade också alla tre hallar. Att försöka utifrån kemikalieförbrukning beräkna vad det skulle motsvara för busstvättar var inte rimligt då det vid en tvätt av en personbil krävs mer tvättmedel. En personbil tvättas mer sällan och är därmed smutsigare än en buss som i princip tvättas dagligen. Studiebesöket hjälpte istället till med att få en bättre förståelse av hur en slutna metod skulle kunna vara uppbyggd.

Notering bör göras på den orimligt låga kostnaden för tvättmedlet för fallet med ozonrening. Kostnaden beräknades utifrån tvättmedelleverantörens noteringar. Om tvättkemikaliekostnaden för ozonreningen istället sätts till medelvärdet (12 kr) av kostnaden för biologiska reningen och elektroflockationen överskrider den nya totala driftkostnaden fortfarande ingen av dem andras totala kostnad för drift.

För den slutna metoden redovisas kostnad för pH-justerare (som också utgörs av fällningskemikalier och korrosionsskydd) som den dyraste driftparametern (exklusive energiförbrukningen). Antagandet är baserat utifrån vad en av de verksamma personerna i branschen har för kostnad för en biltvättanläggning med samma typ av pH-justerare där korrosionsskyddet är högt (Eriksson, 2017b). Denna kostnad kan vara väsentligt lägre eller högre. Valet av hur stort korrosionsskydd som önskas kommer att påverka kostnaden. I beräkningarna antogs ”gott korrosionsskydd”.

Några separata elmätningar på bussdepåerna för reningsverken finns inte då det inte ställs några sådana krav från trafikförvaltningens sida. Det finns bara totala elmätningar för hela bussdepåer. Uträknad elförbrukning utifrån produktspecifikationerna är inte den högsta kostnaden för de nuvarande metoderna, däremot är den en hög driftkostnad för den slutna. Att då investera i en indunstare skulle betyda att trafikförvaltningen går emot en del av energieffektiviseringsarbetet. Från tidigare nämnd energirapport påvisades att uppvärmning av tvätthallar utgör den stora energiförbrukningen vid bussdepåerna. När portarna öppnas för bussarna som ska in och ut ur tvätthallen blåses kallluft in och på så vis krävs ökad värmeförsel. Att hålla en bra

temperatur i tvätthallarna är både viktigt ur arbetsmiljö för arbetarna som vistas i hallarna. För den bussdepån som ingår i en förstudie för ombyggnad av bussdepåer planeras en ny vattenrening och nytt ventilationssystem i form av fläktluftvärmare. Genom kontakt med en VVS-konsult informerades det om ett projekt där industarens överskottsvärme användes för uppvärmning via fläktluftvärmare. På så vis skulle överskottsvärmen kunna komma till användning (Wedel, 2017). Upp till 80 % av vad en industare förbrukar i energi kan omvandlas till värme (Reningsystem AB, 2017). Detta skulle då innebära att större delen används till uppvärmning av tvätthallarna och därmed minska värmekostnaden. En annan fördel med att vattnet från industaren är varmt är att det återcirkulerande vattnet i busstvätten är varmare än vanligt och därmed fås bättre tvättresultat. Noterbart är att också när vattnet är varmare sker förluster genom avdunstning. En viss del av vattnet kommer att avdunsta i tvättrännorna men att säga hur stor del är svårt.

När det gäller underhåll varierar kostnaderna stort mellan leverantörerna och dess utbud av servicetyp. Den biologiska reningen erbjuder en månadsservice och leverantören av poleringssteget en årsservice. Det är en två skilda servicekostnader på grund av att poleringssteget är från en annan leverantör. För anläggningen med elektroflockation står inte samma leverantör för servicen som för maskinutrustningen. Servicen görs två gånger om året av leverantören för ozonreningen. Logiskt sätt kanske servicen bör utgöras av samma leverantör som för maskinutrustningen. Anläggningen med ozonrening har i dagsläget ett serviceavtal i form av akutservice vilket innebär att personal på anläggningen sköter servicen själva och vid akut behov tillkallas leverantörens servicepersonal. I denna studie räknades det dock på den servicekostnad som maskinutrustningens leverantör erbjuder just för att påvisa skillnaderna i en helhet utifrån maskinutrustningarnas leverantörer. Inte vad trafikutövaren har förvaltat för avtal mellan leverantörerna.

Den höga färskvattenförbrukningen för den biologiska reningen tyder på att vattenrecirkulationen inte når 80 % som är det teoretiskt tänkta. Tvätten är en portaltvätt vilket gör att en chaufför inte kan ha påverkat att bussen körs ut med ett stort meddrag som i sin tur har inneburit en stor vattenförlust utanför systemet. Några större skillnader i skötsel av anläggningarna har inte påpekats och anläggningarna bedöms kräva lika mycket tid för att skötas om.

Felkällor

Omräkningen av antalet tvättade bussar kan ha medfört felaktigheter i slutresultatet. Eftersom tillvägagångssättet vid omräkningen för samtliga nuvarande tvättanläggningar har varit lika bedöms en eventuell osäkerhet ha påverkat resultatet likartat.

Uträknade parametrar för underhåll är trovärdiga då de har erhållits av leverantörerna. Dessutom är underhållskostnaden den parameter som kan påverkas mest utifrån valet om servicen tecknas via leverantörerna eller om servicen helt görs av fastighetsskötarna. Däremot finns det en indirekt osäkerhet som ligger utanför denna studie och det är fastighetsskötarnas kunskap och motivation till att faktiskt underhålla reningsanläggningarna. För de undersökta anläggningarna ansvarar olika trafikutövare och har på så vis olika rutiner för personalutbildningar och syn på arbetssättet. Ju bättre kunskap och större intresse det finns för drift och skötsel bör det medföra en bättre funktion för alla typer av reningsanläggningar.

7.3 LCC

Trots att indunstningen har en hög energikostnad så är inte totalkostnaden högre jämfört med den biologisk rening och heller inte mycket högre än elektroflockationen. Utifrån landstingets miljöprogram ska åtgärder med lägst LCC väljas vilket i detta fall hade inneburit reningsmetoden med ozonrening.

Felkällor

Som följd av osäkerhet i drift-och underhållsparameterar får livscykelkostnaderna en osäkerhet. En livscykelkostnad i sig har osäkerheter i form av kalkylräntan och livslängden. Kalkylräntan får en ökad effekt på resultatet ju längre livslängd som väljs. Kalkylräntan har därför valts till 4 % i enlighet med vad landstinget räknar med. En längre livslängd ger större vikt åt drift-och underhållskostnader. En kortare livslängd ger större vikt åt investeringskostnaden.

8 SLUTSATSER OCH VIDARE STUDIER

Utifrån landstingets miljöprogram ska åtgärder med lägst livscykelkostnad och bäst miljöprestanda väljas. I denna studie har ozonrening visat sig generera lägst

livscykelkostnad (även vid en mer rimlig tvättmedelskostnad). Att utse bäst miljöprestanda utifrån denna studie är svår. Trafikförvaltningen önskar vara i framkant med miljöarbetet och med en indunstare skulle det innebära att det kommunala spillvattennätet inte belastas med några föroreningar. Det är tydligt att indunstaren bidrar med en bättre rening av föroreningar men den bidrar också till en högre energiförbrukning och en dyrare investeringskostnad. Den dyra investeringskostnaden och energiförbrukningen för indunstning kan anses vara värd med tanken på att inga utsläpp sker och besparing av såväl tvättkemikalier som färskvatten. Men att avgöra vad som egentligen är mer värt än det andra är ingen lätt uppgift. Möjligheten för att återföra överskottsvärmen verkar finnas och den skulle därmed i princip stå för uppvärmningskostnaden i tvätthallar som är bland den högsta kostnaden vid drift av bussdepåer.

Denna studie är inte en konkret rekommendation vid valet av reningsmetod utan kan ses som en ett underlag till kommande studier. Studien skulle kunna gå att göra mer detaljerad med egna provtagningar och mätningar för att ge en sådan konkret rekommendation som möjligt. Förslag på vidare studier är att:

- Beräkna hur mycket av överskottsvärmen som faktiskt kan värma upp tvätthallen.
- Se över möjliga zink-filter som en kompletterande rening om investeringskostnaden för en indunstare anses vara för dyr.

9 REFERENSER

AFF- Forum (2015). *Termer och definitioner för entreprenader inom fastighetsförvaltning och service*. Forum för förvaltning och service.

Andersson, G. (1997) *Kalkyler som beslutsunderlag*, Studentlitteratur, Lund.

Belok (2011), *Generell LCC-kalkyl*. Energimyndighetens beställargrupp lokaler. Tillgänglig: http://www.belok.se/lcc/LCC_Generell_kalkyl.pdf [2017-08-10]

Bjurhem, J-E (2000). *Funktionskontroll av reningssystem för fordonstvätt, Statoil-Veddesta*. IVL Svenska miljöinstitutet AB. Stockholm: A21001.

Bjurhem, J-E. & Ekengren, Ö (2004). *Utvärdering av miljöanpassade fordonstvättar ur ett bredare perspektiv*. IVL Svenska miljöinstitutet AB. IVL Rapport B1154. Tillgänglig: <http://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b745c/1445515557302/B1554.pdf> [2017-02-17]

Campido (2015), *Energirapport Hornsberg*. September 2015.

Energieffektiviseringsföretagen (2017) *Energieffektivisering och lönsamhet*. Tillgänglig: <https://www.eef.se/kunskapsdatabas/energieff-lonsamhet/> [2017-09-30]

Energimyndigheten (2014). *Scenarier över Sveriges energisystem-2014 års långsiktiga scenarier, ett underlag till klimatrappporteringen*. ISSN 1403-1892

Levin, P., Lilliehorn, P. & Sandesten, S., (2008). *Livscykelekonomi vid planering, byggande och förvaltning*. Tillgänglig: <http://docplayer.se/72231-Livscykelekonomi-vid-planering-byggande-och-forvaltning.html> [2017-07-10]

Käppalaförbundet (2015). *Riktlinjer för utsläpp till avlopp från fordonstvättar*. Diarienummer KF2015-286. Tillgänglig: <https://www.kappala.se/globalassets/documents/diverse-dokument/riktlinjer-for-fordonstvattar-2015-11-19.pdf> [2017-02-13]

MittSverige Vatten (2016). *Riktlinjer för utsläpp till avlopp från fordonstvättar*. Tillgänglig: <http://www.sundsvallvatten.se/default.aspx?id=4538&ptid=> [2017-03-30]

Norberg, P & Lithner, D (2013). *Rening och destruktion av kontaminerat släckvatten*. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap Publ.nr MSB536 - februari 2013. Tillgänglig: <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/26558.pdf> [2017-05-08]

Naturskyddsföreningen (2017) *De vanligaste plasterna och tillsatssämnena*. Tillgänglig: <https://www.naturskyddsforeningen.se/info-om-plast> [2017-02-03]

Naturvårdsverket (2005). *Fordonstvättar*. Branschfakta, utgåva 1. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-8207-8.pdf> [2017-01-23]

Rodriguez Boluarte, P., Andersen, M., Kumar Pramanik, B., Chang, C-Y., Bagshaw, S., Farago, L., Jegatheesan, V. & Shu, Li. (2016) *Reuse of car wash wastewater by chemical coagulation and membrane bioreactor treatment processe*. International Biodeterioration & Biodegradation. Tillgänglig: <http://dl.mozh.org/uploads/147817375556241.pdf> [2017-11-20]

Stockholms läns landsting (2016). *Miljöprogram*. LS 2015-0092. Tillgänglig: <http://www.sll.se/Global/Landstinget/Styrande-dokument/Verksamhetsstod/Miljoprogram-Stockholms-lans-landsting.pdf> [2017-02-20]

Stockholms läns landsting (2017a). *Så fungerar landstinget*. Tillgänglig: <http://www.sll.se/om-landstinget/sa-fungerar-landstinget/> [2017-04-03]

Stockholms läns landsting (2017b). *Trafikförvaltningen*. Tillgänglig: <http://www.sll.se/om-landstinget/sa-fungerar-landstinget/forvaltningar/trafikforvaltningen/> [2017-04-03]

Stockholms läns landsting (2017c) *Riktlinjer Miljö*. Trafikförvaltningen SL-S-477148

Stockholm vatten och avfall (2017d) *Riktlinjer för utsläpp till avlopp från fordonstvättar*. Tillgänglig: <http://www.stockholmvattenochavfall.se/tips-och-riktlinjer/for-foretag-om-vatten--och-avloppsfragor/bilvard/#!/riktlinjer-for-utslapp-till-avlopp-fran-fordonstvattar> [2017-02-13]

Svenskt vatten (2012). *Råd vid mottagande av avloppsvatten från industri och annan verksamhet*. Publikation P95 november 2012. Tillgänglig: <http://www.svensktvatten.se/globalassets/avlopp-och-miljo/uppstomsarbete-och-kretslopp/p95-rad-vid-mottagande-av-avloppsvatten.pdf> [2017-01-27]

Svanen (2013). *Svanenmärkning av fordonstvättar*. Nordisk miljömärkning. Version 3.0, 23 oktober 2013 - 31 oktober 2018.

Sörme, L & Lagerkvist, R. (2002). *Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm*. Volym 298. Institutionen för vatten och miljö, Linköping universitet, S-581 83 Linköping, Sverige. Stockholm Vatten och Avfall. S-106 36 Stockholm, Sverige. Tillgänglig:

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0037152322&origin=inward&txGid=1abde5b691a3e9fc116e9adef06fe01e>
[2017-11-20]

Upphandlingsmyndigheten (2017). *Parametrar i en LCC-kalkyl*. Tillgänglig: <http://www.upphandlingsmyndigheten.se/omraden/lcc/lcc-kalkyler/parametrar/>
[2017-08-03]

Personlig kontakt

Erikson Ana: projektledare, Wash & Cirkulation System AB. Mailkontakt 2017-03-14, 2017-06-05 angående rapport och provanalys på slutna systemet, 2017-09-21 sandkostnad.

Reningssystem i Sverige AB. Telefonkontakt 2017-09-27

Henriksson Börje: internt på trafikförvaltningen, Mail 2017-10-26 elpris

Melin Krister: Fastighetsskötare, biltvätt. Studiebesök, Sundsvall 2017-03-03.

Kundtjänst Clemendo och kundtjänst Wash Tec, pris på tvättmedel

Larson Magnus, försäljningschef, Mac Serien, Mail 2017-10-05 angående tvättmedelkostnader

Sandberg Robert: service-och teknikchef, Istobal Sverige AB. Mailkontakt 2017-03-17 angående zinkfilter

Stockholm vatten och avfall, kundservice. Telefonkontakt 2017-09-22

Wedel Kalle: VVS-konsult, V Company AB. Mailkontakt 2017-09-28

Vissa personliga källor från leverantörer i appendix är anonyma.

Anonymiserad försäljare, biologisk rening. Mail 2017-09-18 angående kostnader

Anonymiserad fastighet-och miljösamordnare, biologisk rening. Mail 2017-09-13 ang. antal tvättar, 2017-09-20 angående tvättkemikalier, 2017-09-22 angående underhåll

Anonymiserad VD, poleringssteg. Telefonsamtal 2017-11-27 angående kostnader och funktion

Anonymiserad fastighetsskötare, ozonrening. Studiebesök 2017-03-21

Anonymiserad VD, ozonrening. Mail 2017-09-27 angående kostnader

Anonymiserad. Lokal kvalitetschef, ozonrening. Mail 2017-09-26 angående slamtömning

Anonymiserad tekniker, elektroflockation. Mail 2017-09-20 angående kostnader, 2017-09-25 teori bakom reningsanläggningen

Anonymiserad. Administratör, elektroflockation. Mail, 2017-05-19 angående antal tvättar

Anonymiserad miljöchef, elektroflockation. Mail 2017-09-15 angående kemikalieförbrukning och 2017-09-25 angående slam.

APPENDIX A Data och beräkningar för ozonrening

Tabell A1 Utsläppsdata för ozon

År	2016	2015	2014	2013	2011
Månad	11	1	2		11
oljeindex mg/buss	80	70	600		210
Cd mg/buss	0,006	0,002	0,032		0,0026
Cu mg/buss					
Zn mg/buss	7	11	87		8,6
Pb+Ni+Cr mg/buss	0,8	0,5	8,6		0,67

Tabell A2 Antal tvättar och färskvattenförbrukning under år 2016 för ozonrening.

Månad	Antal tvättar	Färskvattenförbrukning m ³
Januari	1066	128
Februari	1416	162
Mars	1456	172
April	1456	172
Maj	1456	172
Juni	1257	145
Juli	817	85
Augusti	862	92
September	843	87
Oktober	426	41
November	1516	151
December	1852	188
<i>Totalt</i>	<i>14423</i>	<i>1595</i>

Tabell A3 Omräkning av antal tvättade 12 m-bussar under år 2016.

Busslängd [m]	Antal	Andel busslängd av totalt antal bussar [%]	Antal tvättade fordon per busslängd [andel×totala tvättar]	Motsvarande antal 12m-bussar [(Antal tvättade bussar per busslängd×busslängd)/12]
12	2	0,019230769	277,3653846	277
14	48	0,461538462	6656,769231	7766

18	54	0,519230769	7488,865385	11233
Totalt antal	104			19277

Tabell A4 Tvättmedelförbrukning under år 2016.

Produkt	Kostnad (kr)	Kommentar
MAC 24LS KRAFTSCHAMPO 25 L	1930	Borstschampo
MAC 49 HETVAX/SKÖLJVAX 5 LIT = 50 L KONC	2825,55	Inkl. torkmedel
MAC 2021 FORDONSSCHAMPO	6154,55	Huvudtvättmedel
	10910,1	
	0,57	kr/tvätt Orimligt låg siffra baserat på data som erhöles av leverantören. Bör kosta mellan 3-6 kr/tvätt

Tabell A5 Parametrar vid livscykelkostnad

	Kostnad (kr)	Kommentar	Källa
Grund-investering	450 000	maskin med styrsystem, nivågivare, pumpar och återvinningstank, installation	VD, leverantör
Underhåll	30 000	Service avtal	VD, leverantör
	30 000	Summa underhåll	
Drift	30 660	Elförbrukning= 3,5*24*365. 3,5kWh dygnet runt, oavsett när/hur många busstättar enligt leverantör	Effekt, VD leverantör
	60 401,33	färskvattenförb.= (total färskvattenförb./antal tvättade 12m-bussar)*20kr/kbm*100*365	Fastighetsskötare
	20 657,71	Tvättkemikaliekostnad=0,57kr/tvätt*100*365	Tvättmedelleverantör
	127 750	Slamtömning	

	239 469,04	Summa drift	
--	-------------------	--------------------	--

APPENDIX B Data och beräkningar för elektroflockation

Tabell B1 Utsläppsdata för elektroflockation

År	2016	2015	2015	2014	2013	2013	2013	2012	2011
Månad	12	1	3	2	1	3	12	1	12
oljeindex mg/fordon	144,3	63		0	1565		177		1500
Cd mg/buss	0,0111	0,01	0,08	0,01	0,05	0,01	0,03	0,019	0,0062
Cu mg/buss	3,8	4	125	5	48	23	28	36	4,8
Zn mg/buss	9,7	70	257	65	360	61	30	47	20
Pb+Ni+Cr mg/buss	1,68	5	48	5	29	11	3	24	5,6

Tabell B2. Antal tvättar och färskvattenförbrukning under år 2016 för elektroflockation.

Månad	Antal tvättar	Färskvattenförbrukning (m ³)
Januari	648	51
Februari	1577	125
Mars	1587	148
April	1451	132
Maj	1818	135
Juni	1427	102
Juli	1693	105
Augusti	1628	145
September	1409	119
Oktober	1723	160
November	1195	106
December	1380	112
<i>Totalt</i>	<i>17536</i>	<i>1440</i>

Tabell B3 Omräkning av antal tvättade 12m-bussar under år 2016.

Busslängd [m]	Antal av busslängden	Andel busslängd av totalt antal bussar [%]	Antal tvättade fordon per busslängd [andel×totala tvättar]	Motsvarande antal 12m-bussar [(Antal tvättade bussar per busslängd×busslängd)/12]
15	51	0,7083333	12421,33333	15527
12	21	0,2916667	5114,66667	5115
Total antal	72			20641

Tabell B4. Kemikalieförbrukning under år 2016.

Produktnamn	Antal	Totalt	Tvättkem. leverantör	Nettopris	Total kostnad (kr)	Kommentar
WashEye Autosafe 900 25L	30	750	Clemondo	586,8	17604	Förtvättmedel
Vaxschampo Plus, 25L	6	150	Clemondo	790,49	4742,94	Bilschampo med vax
Vaxschampo Plus, 200L	4	800	Clemondo	5953,8	23815,2	Bilschampo med vax
WashEye Autosafe 900 210L	11	2 310	Clemondo	4505,3	49558,3	Förtvättmedel
WashEye Herobiol Original 210L	1	210	Clemondo	3757	3757	Kallavfettningsmedel
WashEye Herobiol Original 25L	2	50	Clemondo	495	990	Kallavfettningsmedel
WashEye Carsoft 353 210L	3	630	Clemondo	6202,5	18607,5	Bortschampo
WashEye Carsoft 353 25L	18	450	Clemondo	788,8	14198,4	Bortschampo
					133273,34	
					6,46	kr/tvätt
Ej medräknade kemikalier i tvättmedelskostnaden						
WashEye Autogloss Dry 25L	16	400	Clemondo	796,9	12750,4	Torkmedel
WashEye Autogloss Dry 210L	3	630	Clemondo	6694,1	20082,3	Torkmedel
Hydro Alka K 37 kg	12	444	Clemondo	614,1	7369,2	pH-justerare
Ratema Karuselltvätt 18 kg	6	108	Clemondo	1019,1	6114,6	Detaljtvätt i verkstad
Industrisalt	240		Clemondo	80,4	19296	Används i

	6 000			vattenreningen
--	-------	--	--	----------------

Tabell B5 Parametrar vid livscykelkostnad

	Kostnad (kr)	Kommentar	Källa
Grund-investering	535 000	Renare,återvinning,två dränpumpar,installation	Tekniker, leverantör
Underhåll	2 116	524kr/st *4. Rullager byts ut vid tredje anodbyte	Tekniker, leverantör
	146	Munstycke	Tekniker, leverantör
	8 000	4000*2. Service, 2 ggr/år	Tekniker, leverantör
	10 262	Summa underhåll	
Drift	16 607,5	(3*15*365)+(0,5*365). Själva renaren drar 3kw/h, och renar 1m ³ /h. Cirka 15m ³ för 100 busstvättar-->15m ³ per dygn. 0,5kWh för hydrocykloner och ozon	Effekt av tekniker, leverantör
	547,5	0,1*15*365. kapacitet 10L/h men antar halva driften	Kapacitet av tekniker, leverantör
	137	Luftfilter,137 kr/st	Tekniker, leverantör
	164	Vattenfilter,164 kr/st	Tekniker, leverantör
	108	Vattenfilter,108 kr/st	Tekniker, leverantör
	39 894,54	11 anodbyte. ((2051*11)/antal tvättade 12m-bussar)*100*365.	Kostnad av tekniker, antal byten enligt driftjournal
	34 121,05	Salt. (Saltkostnad/antaltvättade 12m-bussar)*100*365	Förbrukning av miljöchef
	13 030,93	ph-justerare. (Kostnad för pH-justeraren)/antal tvättade 12m-bussar)*100*365	Förbrukning av miljöchef
	50 926,94	Färskvatten	Förbrukning av miljöchef
	235 666,8	Tvättkemikalier	Förbrukning av miljöchef

	127 750	Slamtömning	Medelvärde av driftjournaler
	518 954,26	Summa drift	

APPENDIX C Data och beräkningar för biologisk rening

Tabell C1 Utsläppsdata för biologisk rening

År	2016	2015	2014	2014	2013	2012
Månad	1	1	1	3	3	12
oljeindex mg/fordon			8302	1618		5034
Cd mg/buss	0,074	0,019	0,03	0,01	1	0
Cu mg/buss	63	16	35	25	466	39
Zn mg/buss	90	46	136	72	832	171
Pb+Ni+Cr mg/buss	7,4	2,6	10	5	78	11

Tabell C2 Antal tvättar och färskvattenförbrukning

Månad	Antal tvättar	Färskvattenförbrukning(m ³)
Januari	1079	295
Februari	2305	588
Mars	1885	720
April	2277	734
Maj	1303	1685
Juni	1455	688
Juli	1175	1397
Augusti	2122	2206
September	921	542
Oktober	1580	988
November	2286	1097
December	2434	1392
<i>Totalt</i>	20822	12332

Tabell C3 Omräkning av antal tvättade 12m-bussar under år 2016.

Busslängd (m)	Antal av busslängden	Andel busslängd av totalt antal bussar [%]	Antal tvättade fordon per busslängd [andel×totala tvättar]	Motsvarande antal 12m-bussar [(Antal tvättade bussar per busslängd×busslängd)/12]
18,75	46	0,45	9390	14672
14,7	18	0,18	3674	4501
13,7	15	0,15	3062	3496
12	23	0,23	4695	4695
Totalt	102			27365

Tabell C4 Tvättmedelförbrukning under år 2016.

Produkt	Förbrukad mängd(l)	Nettopris	Tvättmedelsleverantör	Kostnad (kr)	Kommentarer
ALK 302 - Prewash Alkaline	1020	469kr/10l	WashTec	47 838,0	Föravfettning. schampo+bortstvätt
CLEAN 901 - All purpose Cleaner	570	281 kr/10l	WashTec		Rengöring av tvätthall-och bussgolv
ShineTecs SWAN	210	2741kr/l	WashTec	57 561,0	Vax
				105 399,0	3,85kr/tvätt

Tabell C5 Parametrar vid livscykelkostnad.

	Kostnad (kr)		Källa
Grund-investering	475 000	Maskinutrustning,pumpar,lagringstank+ installation+ poleringssteg 200 000 kr	Skriftlig, leverantör
Underhåll	20 400	Serviceavtal 1700kr/månaden	Skriftlig, leverantör
	11 000	Årsservice av poleringssteget	Skriftlig, leverantör

	31 400	Summa underhåll	
Drift	16 936	Energikostnad: 36kWh/dygn enligt produktspecificiering av rening-och återvinningsystemet. Ett poleringssteg:5,2 kWh/dygn (inkl maskinutrustning med pump och backspolning)	Skriftlig, leverantör
	328 978,33	Färskvattenförbrukning=(Färskvattenförbrukning/antal tvättade 12m-bussar)*100*365*20kr/kmb	Driftjournal
	13 000	Sandbyte 1 gång/år	Skriftlig, leverantör
	146 000	Näringsämne till biotanken, 4kr/buss	Skriftlig, leverantör
	7 500	Filterpåsar	Skriftlig, leverantör poleringssteg
	2 000	Bark	Skriftlig, leverantör poleringssteg
	4 000	Aktivt kol	Skriftlig, leverantör poleringssteg
	140 585,41	Tvättkemikaliekostnad= 3,85kr/tvätt*100*365	Driftjournal
	127 750	Slamtömning	Medelvärde från driftjournaler
	786 749, 74	Summa drift	