UPTEC W 24002
Examensarbete 30 hp
Januari 2024

UPPSALA UNIVERSITET

SLU

Förutsättningar för hantering av länshållningsvatten från tunnelproduktion i byggandet av Ostlänken

-Återanvändning av näringsämnen genom bevattning

Elias Johansson

Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik

UPPSALA UNIVERSITET

SLU

Conditions for handling tunnel water from tunnel production in the construction of the Ostlänken project -Reuse of nutrients through irrigation

Elias Johansson

Abstract

When a tunnel is built in rock, a type of water is formed as a residual product. This tunnel water is formed due to construction processes such as drilling requiring water and groundwater that infiltrates into the tunnel. The water can cause environmental damage if it is released directly into nature and needs to be treated. Usually, therefore, the water is purified regarding concentrations of suspended matter, oil, metals, nitrogen and basic pH values.

In this degree project water analysis data, after a local purification in the tunnel area, has been obtained from 17 different tunnel projects and processed to look into the water quality in these projects. The parameters from the analysis data processed are the concentrations of nitrogen, arsenic, lead, cadmium, chromium, mercury, nickel, zinc, chloride, and suspended matter as well as pH value and conductivity. The results show a large variation in the average values between the projects and also that a flocculation step in the purification lowers the average concentrations for most metals.

An analysis of the suitability of using tunnel water for irrigation and fertilization purposes has also been carried out by examining the differences in the characteristics of tunnel water compared to irrigation and fertilizer sources. The result shows that the average concentrations of the metals chromium and nickel exceed the average concentrations found in groundwater and surface water in several projects. This means that the tunnel water with respect to these two metals differs from natural sources of irrigation water. According to FAO's guidelines for irrigation water, the average chloride content and average conductivity of the tunnel water is also elevated and means that the use of the water for irrigation may need to be partly limited. However, this influence needs to be investigated more for Swedish conditions.

Keywords: tunnel water, tunnel construction, nitrogen, nitrogen fertilizer, irrigation

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala/Visby

Handledare: Lea Rastas Amofah Ämnesgranskare: Ingrid Wesström

Examinator: Antonio Segalini

Referat

Förutsättningar för hantering av länshållningsvatten från tunnelproduktion i byggandet av Ostlänken- Återanvändning av näringsämnen genom bevattning

Elias Johansson

När en tunnel byggs i berg uppkommer länshållningsvatten, vilket är en restprodukt som måste omhändertas. Länshållningsvattnet bildas med anledning av att processer som exempelvis borrning kräver vatten samt att grundvatten tränger in i tunneln. Länshållningsvattnet behöver renas då det kan påverka miljön negativt om det släpps ut direkt i naturen. Vanligtvis renas därför vattnet med avseende på suspenderat material, olja, metallhalter, basiska pH-värden och kvävehalter.

I arbetet har vattenanalysdata, efter en lokal rening i tunnelområdet, inhämtats från 17 olika tunnelprojekt och bearbetats för att utreda vattnets innehåll i dessa projekt. De parametrar från analysdatan som behandlats är koncentrationerna av kväve, arsenik, bly, kadmium, krom, kvicksilver, nickel, zink, klorid och suspenderat material samt pH-värde och konduktivitet. I resultatet ses en stor variation i medelvärdena mellan projekten och även att ett flockningssteg i reningen sänker medelhalterna för de flesta metaller.

En utredning av lämpligheten att använda länshållningsvatten i bevattnings- och gödslingssyfte har också utförts. Detta gjordes genom att klargöra vilka skillnader som finns i halterna av metaller, kväve och klorid samt i pH-värdet och konduktiviteten hos länshållningsvatten, jämfört med befintliga bevattnings- och gödselkällor. Resultatet visar att medelhalterna av metallerna krom och nickel överskrider medelhalterna som finns i grundvatten och ytvatten i flera projekt. Detta innebär att länshållningsvattnet med avseende på dessa två metaller skiljer sig från naturliga källor av bevattningsvatten. Enligt FAO:s riktvärden för bevattningsvatten är länshållningsvattnets medelkloridhalt och medelkonduktivitet dessutom förhöjd och innebär att användningen av vattnet till bevattning kan behöva begränsas. Denna påverkan behöver dock utredas mer för svenska förhållanden.

Nyckelord: länshållningsvatten, tunnelvatten, tunneldrivning, kvävegödsling, bevattning

Institutionen för mark och miljö, Sveriges lantbruksuniversitet,
Box 7014 Lennart Hjelms väg 9, SE-750 07 UPPSALA, Sverige

Förord

Med detta examensarbete är mina studier på civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik på Uppsala universitet och SLU avslutade. Arbetet har utförts i samarbete med Trafikverket där Lea Rastas Amofah varit handledare. Ämnesgranskningen har utförts av Ingrid Wesström, universitetslektor vid Institutionen för mark och miljö på Sveriges lantbruksuniversitet.

Jag vill tacka Trafikverket och framförallt Lea för att ha visat ett stort engagemang under arbetet med examensarbetet. Jag vill också rikta ett stort tack till flera medarbetare på Region Stockholms förvaltning för utbyggd tunnelbana för att ha delgivit vattenanalysdata och övrig värdefull information. Slutligen vill jag rikta ett varmt tack till Ingrid Wesström för stor stöttning genom hela arbetet.

Copyright © Elias Johansson och institutionen för mark och miljö på Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. UPTEC W 24002, ISSN SSN 1401-5765 . Digitalt publicerad i DiVA, 2024, genom institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet. (http://www.diva-portal.org/)

Populärvetenskaplig sammanfattning

Det bildas en typ av vatten som restprodukt när tunnlar byggs i berg och det kallas för länshållningsvatten. Länshållningsvattnet bildas med anledning av att arbetsprocesser i tunneln, som exempelvis borrning, kräver vatten samt att grundvatten tränger in i tunneln. Länshållningsvattnet behöver renas då det kan påverka miljön negativt om det släpps ut direkt i naturen. Reningen sker vanligtvis först i en lokal reningsanläggning i tunnelområdet och därefter leds vattnet till kommunala reningsverk. Den lokala reningen är bland annat utformad för att ta bort partiklar, olja och metaller från vattnet. Efter att vattnet behandlats i den lokala reningen har vattnet dock kvar mycket kväve eftersom att rening av kväve kräver en avancerade reningsanläggning. Vanligtvis renas därför vattnet från kvävet i de kommunala reningsverken.

Länshållningsvatten kan för jordbrukare utgöra en outnyttjad källa till bevattningsvatten och således vara till stor hjälp i perioder av torka. Detta vatten kan dessutom fungera som kvävegödsel. Gällande tunnlar som byggs ute på landsbygden kan avstånden till de kommunala reningsverken vara för långa för att det ska vara gångbart att leda vattnet dit. I dessa fall hade det varit önskvärt för de som bygger tunnlarna att de omkringliggande jordbruken kunde nyttja vattnet till bevattning och kvävegödsling. Att nyttja kvävet som gödsling istället för att avskilja det i reningsverk är troligen även mer resurseffektivt.

För att veta om vattnet är lämpligt att använda till bevattning och gödsling behöver kvaliteten av vattnet undersökas. Resultatet från detta arbete visar att medelhalterna av metaller är snarlika de som kan förekomma i vatten som vanligtvis används till bevattning förutom när det gäller krom och nickel. För krom och nickel är medelhalterna i länshållningsvatten högre än i bevattningsvatten men inte högre än vad Livsmedelsverkets gränsvärden för dricksvatten tillåter. Resultatet visar även att vattnet kan ha en något högre salthalt än vad som rekommenderas för bevattningsvatten men detta behöver utredas noggrannare för svenska förhållanden. Resultatet bygger på analyser av länshållningvatten från 17 olika tunnelprojekt efter att vattnet renats i en lokal reningsanläggning. De parametrar från analysdatan som behandlats är koncentrationerna av ämnena kväve, arsenik, bly, kadmium, krom, kvicksilver, nickel, zink, klorid och koncentrationen av partiklar i vattnet. Dessutom har vattnets pH-värde och mängden salter i vattnet undersökts. I resultatet ses en stor variation i medelvärdena mellan projekten och att olika utformningar av den lokala reningen ger skillnader i hur effektiv reningen är.

De möjligheter som kan finnas för jordbrukare om länshållningsvatten från tunnelbyggande skulle användas i bevattnings- och gödslingssyfte har också utretts för fyra planerade tågtunnlar som ska ingå i Trafikverkets nya projekt Ostlänken. Detta har gjorts genom att storleken på dammar, som vattnet kan lagras i när det inte finns behov av bevattning, har beräknats fram. Storleken på de åkermarker som skulle kunna bevattnas och gödslas med länshållningsvatten har också beräknats. En förutsättning för att jordbrukare ska kunna nyttja vattnet på ett bra sätt är att de kan tänka sig utföra det extra arbetet med att mäta kvävekoncentrationer i lagringssdammarna och beräkna fram hur mycket vanligt gödselmedel kvävet i vattnet motsvarar. Detta är viktigt för att jordbruksmarkerna som bevattnas ska få lagom mycket kväve.

Sammanfattningsvis finns det flera fördelar med att använda länshållningsvatten till bevattning och gödsling men även utmaningar kring kvaliteten som kräver mer utvärdering.

Innehåll

1 Inledning **1**
1.1 Målsättning . . . 2
1.2 Avgränsningar . . . 2

2 Bakgrund **3**
2.1 Tunneldrivning . . . 3
2.2 Länshållningsvatten . . . 3
2.2.1 Kvalitet på länshållningsvatten . . . 3
2.2.2 Omhändertagande av länshållningsvatten . . . 5
2.3 Bevattning och gödsling i jordbruket . . . 7
2.3.1 Bevattningsvatten . . . 7
2.3.2 Gödselmedel . . . 9

3 Material och metoder **12**
3.1 Innehåll i länshållningsvatten . . . 12
3.1.1 Region Stockholm . . . 12
3.1.2 SYVAB . . . 16
3.1.3 Trafikverket . . . 16
3.2 Bearbetning av innehåll . . . 22
3.3 Länshållningsvatten till bevattning och gödsling . . . 23
3.4 Jämförelse av analysdatan med referensvärdena . . . 25
3.5 Användning av länshållningsvatten för jordbruk vid Ostlänken . . . 25
3.5.1 Tillgänglig data . . . 27
3.5.2 Beräkningar . . . 28

4 Resultat **32**
4.1 Innehåll i länshållningsvatten . . . 32
4.1.1 Innehåll av kväve . . . 32
4.1.2 Boxdiagram över analysdata . . . 35
4.2 Innehåll i länshållningsvatten i förhållande till referensvärden . . . 48
4.2.1 Inhämtade referensvärden . . . 48
4.2.2 Boxdiagram med referensvärden . . . 51
4.3 Användning av länshållningsvatten i Ostlänken . . . 63
4.3.1 Gerstabergstunneln . . . 64
4.3.2 Hillestatunneln . . . 65
4.3.3 Edebytunnlarna . . . 65

5 Diskussion **66**
5.1 Innehåll i länshållningsvatten . . . 66
5.1.1 Innehåll av kväve i länshållningsvatten . . . 66
5.1.2 Övrigt innehåll i länshållningsvattnet . . . 67
5.2 Jämförelse av analysdata med referensvärden . . . 68
5.2.1 Val av referensvärden . . . 69
5.2.2 Länshållningsvatten till bevattning och gödsling . . . 70

5.3 Användning av länshållningsvatten i Ostlänken 72
5.3.1 Förutsättningar utifrån Trafikverkets uppskattade vatten- och kvävemängder 72
5.3.2 Förutsättningar utifrån vattenanalysdatan 72
5.3.3 Jämförelse av Ostlänkens tunnlar med tunnlarna som analysdatan kommer ifrån 73

6 Slutsats **75**

7 Referenser **77**

8 Bilaga 1- Sammanställande statistik över analysdata **81**

1 Inledning

Trafikverket ska bygga nya stambanor för att förbättra tågförbindelserna mellan regioner och städer i Sverige (Trafikverket 2023a). Den första nya stambanan som planeras är Ostlänken och den kommer att byggas mellan Gerstaberg och Linköping. Bygget planeras att starta 2024 och börja att trafikeras 2035. Ostlänken kommer gå igenom flera tunnlar som byggs genom sprängning i berg (Trafikverket 2021a, 2022).

I samband med tunnelproduktion, även kallad tunneldrivning, bildas länshållningsvatten vilket är en blandning av processvatten, som används i drivningsprocessen, och grundvatten som läcker in i tunneln (Grinder 2003; Hallberg 2022). När tunnlar sprängs i berg innehåller länshållningsvattnet mycket höga kvävehalter, bestående av ammonium och nitrat, från de sprängmedel som vanligtvis används i tunneldrivning. Vattnets innehåll påverkas också av mineraluppsättningen i berget där tunneln sprängs samt de ämnen som härstammar från tunneltätningen (Stedingk 2022; Weimann 2014).

Under produktionen av en tunnel och den närmsta tiden efter att tunneln har driftsatts kan kvävehalten i länshållningsvattnet vara för hög för att vattnet ska kunna släppas ut i det närliggande området utan att påverka miljön negativt (Tilly m. fl. 2006). Detta resulterar i att de som ansvarar för tunnelproduktionen och i det här fallet Trafikverket får stora volymer av kväveberikat vatten som måste behandlas. En vanlig lösning är att pumpa vattnet till ett reningsverk som renar vattnet (ibid.). Detta kan vara en kostsam lösning och det är troligen inte heller helt miljömässigt hållbart eftersom det krävs energi för att pumpa och rena vattnet från kvävet. Flera av Ostlänkens tunnlar kommer dessutom ligga långt ifrån kommunala reningsverk (Trafikverket 2021a, 2022). En alternativ lösning som skulle kunna vara mer lämplig är att under växtsäsongen utnyttja vattnet och kvävet till bevattning och gödsling för jordbruk som ligger i närheten där tunnlarna drivs. Detta skulle dessutom kunna vara till hjälp för jordbrukarna då bevattningsbehovet beräknas öka med framtidens klimatförändringar (Mattsson m. fl. 2018).

I Sverige har ingen litteratur identifierats som tyder på att länshållningsvatten från tunnlar använts i bevattnings- och gödslingssyfte. Vattnet har dock i vissa projekt behandlats i våtmarker och i översilningsängar (Grinder 2003). Genom att koppla ihop vattenkvaliteten på länshållningsvattnet med kvaliteten hos bevattningsvatten och gödslingmedel som används inom jordbruk kan ett nytt sätt att behandla länshållningsvatten föreslås.

1.1 Målsättning

Målsättning med examensarbetet är att undersöka möjligheten för Trafikverket att använda länshållningsvattnet, som kommer bildas under arbetet med Ostlänken, till gödsling och bevattning för närliggande jordbruk.

Följande frågeställningar ska besvaras

1. Vad består länshållningsvatten från tunneldrivning av, efter den lokala reningen, och vad styr kvaliteten?

2. Hur väl lämpar sig länshållningsvatten som bevattningsvatten och gödselmedel? Hur förhåller sig denna möjliga bevattnings- och gödselkälla till andra källor och gällande riktlinjer och gränsvärden?

3. Vilken resurs skulle länshållningsvattnet från fyra tunnlar på Ostlänken utgöra och hur, för jordbrukarna i området, om det kunde användas till bevattning och gödsling?

1.2 Avgränsningar

Arbetet har avgränsats till att gälla länshållningsvatten som bildas i tunneldrivning med borr- och sprängningsmetoden. Kvaliteten och innehållet i vattnet utvärderas efter att vattnet behandlats lokalt i området där en tunnel drivs. Det vatten som bildas i utlakningsprocessen av de utsprängda bergsmassorna behandlas inte i detta arbete. Vidare är arbetet fokuserat till de inorganiska ämnen som finns i länshållningsvattnet.

2 Bakgrund

2.1 Tunneldrivning

Tunneldrivning kallas det när en tunnel byggs i berg (Trafikverket 2019a). Det vanligaste sättet en tunnel byggs på är via en kombination av borrning och sprängning. Det första steget i borr- och sprängningsmetoden är att borra injekteringshål som sedan injekteras med tätningsmedel för att sprickorna i berget ska tätas. Detta görs för att minska inläckaget av grundvatten in i tunneln vilket förhindrar en sänkning av grundvattennivån och minskar även mängden länshållningsvatten som bildas i tunneln (ibid.). Det vanligaste tätningsmedlet som används i Sverige är cementbaserat och det är också det minst skadliga för miljön eftersom mängden miljöskadliga ämnen i länshållningsvattnet blir låga (Sporre, Berg & Hanson 2016; Stedingk 2022). I fåtal fall kan berget ha en mer omfattande sprickbildning där det kan förekomma höga vattenflöden. I dessa situationer är det svårt att täta med cementbaserade tätningmedel, som kräver en relativt lång härdningstid. Då kan organiska tätningsmedel användas eftersom dessa stelnar snabbare och kan dessutom ha svällande egenskaper (Sporre, Berg & Hanson 2016; Stedingk 2022). I andra fall kan berget som ska tätas ha för små sprickor för att cementpartiklarna ska kunna få plats att täta. Då kan kiselbaserade tätningsmedel användas istället för cementinjektering (Stedingk 2022).

När berget som ska sprängas har blivit tätat borras spränghål som sedan laddas med sprängmedel (Trafikverket 2019a). Det sprängmedel som oftast används i Sverige är pumpemulsionssprängmedel som består av ammoniumnitrat (NH_4NO_3) och oljeprodukter (Olsson & Niklasson 2012; Tilly m. fl. 2006). Dessa sprängmedel pumpas in i detonationshålen och blir inte ett sprängämne förrän det laddas i hålen (Olsson & Niklasson 2012). I sprängningen övergår det detonerade sprängmedlet till ämnen i gasform (Tilly m. fl. 2006). Det är därför viktigt att låta den nysprängda tunneldelen vädra ut innan arbetet fortsätter. Det sprängmedel som inte detonerats samt det som spillts vid hantering hamnar antingen i de krossade bergsmassorna som bildats under sprängningen eller i länshållningsvattnet (K. Håkansson 2016; Tilly m. fl. 2006). De krossade bergsmassorna lastas sedan ut ur tunneln och kan användas i andra byggprojekt (Trafikverket 2019a). Därefter knackas löst berg bort från det nysprängda området. Denna process kallas för skrotning. De sista huvudsakliga stegen som sker är att berget förstärks med hjälp av bergbultar och sprutbetong samt att tunneln får innertak och innerväggar.

2.2 Länshållningsvatten

Länshållningsvattnet består av inläckande grundvatten och processvatten (Grinder 2003; Hallberg 2022). De processer som kräver vatten och på så vis ger upphov till processvatten är borrning, vattenbegjutning och tvättning av det krossade bergsmaterialet. Tvättningen sker för att dämpa dammbildning av det finkorniga bergsmaterialet vid transport från tunneln.

2.2.1 Kvalitet på länshållningsvatten

Länshållningsvattnet har höga halter kväve vilket till största del beror på att sprängmedel spills under arbetet och sedan löses upp i vattnet (Grinder 2003; Hallberg 2022; Vikan & Meland 2013). Odetonerat sprängmedel bidrar också till kvävehalten i vattnet. De kväveformer som till största del finns i vattnet är NH_4^+, NH_3 och NO_3^- (Hallberg 2022). I vattnet finns dock

en mindre andel kväve som HNO_3 och NO som bildas när NO_2^- från sprängningen löser sig i vatten (Zheng m. fl. 2022). Fördelningen mellan kväveformerna NH_4^+ och NH_3 styrs av en pH- och temperaturberoende jämnviktsreaktion (Hallberg 2022; Vikan & Meland 2013). Vid pH-värden, något under 10, dominerar NH_3 och vid lägre pH-värden är det störst andel NH_4^+ i länshållningsvattnet. Enligt Trafikverkets erfarenheter från tidigare tunnelprojekt brukar andelen NO_3^- vara 60 % och andelen av NH_4^+ utgöra 40 % av det totala kvävet (Hallberg 2022).

Det som påverkar den totala mängden av kväve som tillförs till länshållningsvattnet är i huvudsak rutinerna och tekniken vid sprängning (Hallberg 2022; Sporre, Berg & Hanson 2016). Detta styr hur mycket som spills samt hur mycket som förblir odetonerat. Hur hög kvävekoncentrationen blir i länshållningsvattnet är också beroende av mängden grundvatten som tränger in i tunneln samt mängden processvatten som används då detta avgör hur utspätt kvävet blir i vattnet. Eftersom mängden inträngande grundvatten ökar när tunneln blir längre, men samma mängd sprängmedel används, får vattnet vanligtvis en lägre koncentration med tiden (Trafikverket 2019a). Denna utspädning går långsammare om länshållningsvattnet återanvänds som processvatten eftersom att kvävekoncentrationen i processvattnet då blir högre. Kvävekoncentrationen blir högre på grund av att kvävet i länshållningsvattnet inte tas bort innan vattnet återanvänds. Förutom att den ökande mängden inträngande grundvatten sänker kvävekoncentrationen blir den totala mängden länshållningsvatten större. Trots utspädningen så är kvävekoncentrationerna oftast mycket högre än vad som får släppas ut till recipienten. Resultatet blir att ju längre arbetet pågår desto större är de mängder länshållningsvatten som behöver behandlas (ibid.).

Förutom kväve innehåller vattnet en hög halt suspenderat material vilket består av mindre fraktioner av det utsprängda och borrade bergsmaterialet (Grinder 2003; Vikan & Meland 2013). Enligt Zheng m. fl (2022) är det i huvudsak tre källor till det suspenderade materialet som finns i länshållningsvattnet. Den första källan är små partiklar som finns i bergets naturliga sprickor. Dessa har bildats i de geologiska processer och förändringar som berget genomgått innan arbetet med tunneln påbörjats. Den andra källan är de små partiklar som bildats från borrningen i berget, kallat borrkax, och från sprängningen. Den tredje källan är de mindre partiklar som lossnat från det grövre uttagna bergsmaterialet, genom friktion och kollision av materialet, när det transporteras bort från tunneln. Till den sista källan tillkommer även partiklar från de tätningsmedel som används. De partiklar som bildas i samband med borrningen och sprängningen beräknas utgöra 80 till 90% av den totala halten suspenderat material (Zheng m. fl. 2022). Det finns även olja i vattnet vilket i huvudsak kommer från oljespill från maskinerna som används (Grinder 2003; Zheng m. fl. 2022). Olja kan även tillföras när sprängmedel spills eller blir kvar odetonerat (Grinder 2003). Mängden olja som tillförs länshållningsvattnet kan variera mycket. Om olyckor inträffar som exempelvis att någon av maskinernas hydraulslangar går sönder kan tillfälligt större mängder olja tillföras men bortsett från olyckorna är det endast små mängder olja som tillförs.

Kvaliteten på länshållningvattnet styrs också av de tätningssmedel som används. De tätningssmedel som oftast används är cementbaserat och detta ger länshållningsvattnet ett högt pH-värde (Tilly m. fl. 2006; Zheng m. fl. 2022). Konsekvensen av detta blir att en större andel av NH_4^+ omvandlas till NH_3 vilket gör länshållningsvattnet mer toxiskt (Tilly m. fl. 2006). Eftersom cement naturligt innehåller krom finns det även en risk för förhöjda halter av krom i länshållningsvattnet när cementbaserade tätningsmedel används (Biglarijoo, Boudaghpour & Ahmadi 2012). De tillåtna halterna krom i cement är sedan en tid tillbaka reglerade i miljölagstiftningen och tillåter endast

cement med en kromhalt under 2 ppm (Elmlund 2021). Från cementinjektering tillförs även kalcium i länshållningsvattnet (Weimann 2014). I de fall där kemiska tätningsmedel används istället för cementbaserade är det vanligt med polyuretanbaserade tätningsmedel (Stedingk 2022). Dessa medel ger upphov till utsläpp av isocyanater som är hälsoskadliga. En vanligt förekommande isocyanat är 4,4'-metylendifenyl diisocyanat (MDI). När kiselbaserade tätningsmedel används kan istället utsläpp av 2-methyl-2Hisothiazol-3-one (MIT) förekomma då detta ämne används för att öka hållbarheten på medlet.

Förutom att grundämnena krom och kalcium tillförs länshållningsvattnet kan andra grundämnen, exempelvis bly, aluminium, antimon och kalium, tillkomma från tändare och primers som används när pumpemulsionen ska detoneras (Weimann 2014). Från pumpemulsionen är det också möjligt att natrium tillförs vattnet (ibid.). Aluminium kan också tillföras vattnet från fällningskemikalier som används i den lokala reningsprocessen. Detta kan ske om reningen inte fungerar optimalt. I samband med tunneldrivningen kan även metaller frisättas från mineralerna i berget och därefter hamna i länshållningsvattnet (ibid.). Slutligen har länshållningsvattnet vanligen en låg halt organiskt material och dessutom innehåller vattnet mycket sällan fosfor (Zheng m. fl. 2022).

2.2.2 Omhändertagande av länshållningsvatten

Innan länshållningsvattnet lämnar arbetsområdet, där en tunnel drivs, genomgår vattnet en lokal förbehandling där vattnet renas tillräckligt för att kunna tas emot av ett kommunalt reningsverk eller annan hantering (Grinder 2003; Magnusson & Norin 2013). Grinder (2003) sammanställer i sin rapport information om hanteringen av länshållningsvatten för 12 tunnlar, byggda med borr- och sprängningsmetoden, som färdigställdes eller startades upp i början av 2000-talet. Bland dessa 12 tunnlar fanns fyra dubbelspåriga järnvägstunnlar, sju enkelspåriga järnvägstunnlar och en vägtunnel. I tunnelprojekten behandlades vattnet med avseende på mängden suspenderat material, olja och kväve samt onaturliga pH-värden. Förbehandlingen i projekten bestod av sedimentering i dammar, oljeavskiljning och i vissa fall pH justering. I de flesta projekten var det inte aktuellt att leda det förbehandlade vattnet till kommunala reningsverk vilket berodde på avståndet från tunnlarna till dessa reningsverk (Grinder 2003). Vattnet behandlades istället vidare, främst med avseende på kvävehalterna, i bevuxna diken, myrmarker eller översilningsängar. I vissa av projekten leddes vattnet direkt från förbehandlingen till en sjö eller ett vattendrag där mängden tillfört kväve från tunnelprojektet ansetts försumbart i förhållande till hela mängden vatten.

De krav som ställs på vattenkvaliteten hos länshållningsvatten, som lämnar arbetsområdet där en tunnel drivs, och leds vidare till ett kommunalt reningsverk är förutom tillåten mängd olja i huvudsak relaterat till mängden suspenderat material (Magnusson & Norin 2013). En orsak till detta är att de flesta föroreningarna som exempelvis tungmetaller är partikelbundna och kan således sedimentera (Magnusson & Norin 2013; Vikan & Meland 2013). De grundläggande stegen som i princip alltid utförs är försedimentering, där de större partiklarna sedimenterar, samt oljeavskiljning (Magnusson & Norin 2013). Försedimentering sker oftast i en damm där storleken styrs av det förväntade vattenflödet. Om det är begränsat med utrymme och ett lågt vattenflöde kan lamellsedimenteringscontainrar användas istället för dammar vid sedimentering (Magnusson & Norin 2013; Tveiten & Andreassen 2009).

I de fall där det efter försedimentering och oljeavskiljning forfarande är för hög halt suspenderat

material, för att de ställda kvalitetskraven ska uppnås, kan en sedimentering av mindre partiklar göras med hjälp av fällning och flockningskemikalier (Magnusson & Norin 2013; Tveiten & Andreassen 2009). Som fällningskemikalie är det vanligt att använda järnklorid eller aluminiumklorhydrat (Siltbuster 2020). Fällningskemikalien neutraliserar de negativa laddningarna som ofta finns på de finare partiklarna som ska sedimentera. Som resultat blir partiklarnas repellerande krafter reducerade och kan då bilda mindre aggregat, kallade mikroflockpartiklar. För att sedan göra sedimentationen mer effektiv kan ett flockningsmedel tillsättas, oftast en organisk polymer med negativa bindningsställen, som binder mikroflockpartiklarna till större snabbsedimenterande aggregat. För att fällningsreaktionen ska ske med ett bra resultat krävs rätt pH-intervall (Magnusson & Norin 2013). Detta intervall är beroende av vilket material som ska sedimentera men kräver oftast en sänkning av pH-värdet i länshållningsvattnet. pH-värdet sänks vanligtvis med koldioxid men svavelsyra och saltsyra har också använts. Är partikelhalten fortfarande för hög efter den andra sedimenteringen kan en ytterligare avskiljning av ännu mindre partiklar göras i ett sandfilter. I vissa fall då endast pH-värdet är begränsande för mottagaren av vattnet sker enbart en sänkning av pH-värdet utan en vidare fällning och flockning (Hallberg 2019; Magnusson & Norin 2013; Tveiten & Andreassen 2009).

Kväveföreningarna som tillförts vattnet från sprängämnena försvinner inte med de ovannämna reningstekniker eftersom kvävet är löst i vattnet och inte i partikulär form (Magnusson & Norin 2013). Trafikverket har gjort ett försök i en pilotanläggning att rena vattnet från kvävet i ett ytterligare biologiskt reningssteg till den lokala reningen (Hallberg 2022). Den biologiska reningen innefattade en reduktion av nitratkväve. Eftersom denna typ av reningsprocess är biologisk kräver den en minsta vattentemperatur på 10 grader. Denna temperatur är svår att uppnå i svenskt klimat och särkilt under vintertid (ibid.). Dessutom krävs fosfor och en kolkälla i vattnet, vilket oftast saknas i tillräckliga koncentrationer i länshållningsvatten från tunneldrivning (Hallberg 2022; Magnusson & Norin 2013). Andelen av den totala mängd kväve som blev reducerat i pilotförsöket låg endast på cirka 30% (Hallberg 2022). I tunnelprojekt nära bebyggelse kan kvävet istället renas i kommunalt reningsverk där det redan finns välutvecklade processer för detta ändamål (SVOA 2021; Tilly m. fl. 2006).

I ett projekt genomfört av RISE har flera kvävereningsmetoder utretts utifrån dess lämplighet att kunna appliceras i den lokala reningen av länshållningsvatten (Hübinette m. fl. 2022). De tekniker som enligt projektet är mest lovande för syftet är biologisk kväverening med en köldtålig bakteriekultur, jonbyte med regenerering av jonbytesmassan, samt den elektrokemiska tekniken kapacitativ avjonisering (CDI). Laborationsförsök genomfördes med vattentemperaturer mellan 5 och 10 grader. Den biologiska reningen hade varierat resultat på reduktionen av nitrat (26-94%) och ingen betydande reduktion av ammonium när försöken utfördes på länshållningsvatten från en tunnelarbetsplats inom Västlänkens projekt. Laboratorieförsöken med jonbytestekniken och kapacitativ avjonisering (CDI) visade däremot på en effektiv rening av både ammonium och nitrat som resulterade i en låg koncentration av kväve i länshållningsvattnet (ibid.). Teknikerna reducerar dock inte kvävet till kvävgas som biologisk kväverening gör utan istället bildas ett rejektvatten med hög kvävekoncentration. Detta rejektvatten behöver också hanteras vilket är anledningen till att det i projektrapporten föreslås en kombination av antingen jonbytestekniken eller den elektrokemiska tekniken tillsammans med biologisk kväverening på rejektvattnet (ibid.). Detta förutsätter dock att temperaturen är tillräckligt hög för att den biologiska reningen ska fungera optimalt vilket som tidigare nämnts inte alltid är fallet.

2.3 Bevattning och gödsling i jordbruket

2.3.1 Bevattningsvatten

Nederbördsunderskottet under växtsäsongen i Sverige är normalt mellan 50- 200 mm och styrs bland annat av vädret samt marken och grödans egenskaper (Jordbruksverket 2007). Att det blir ett underskott beror på att vattenmängden som avgår från marken och växterna genom avdunstning är större än mängden som tillförs med nederbörden. För grödorna fyller vattnet flera viktiga funktioner då det deltar i kemiska processer som exempelvis fotosyntesen och transporterar dessutom runt kolhydrater, mineraler och övriga substanser i växten. Vattnet ger även växten stadga och kyler ner den (ibid.).

För att täcka upp för växternas vattenbehov under växtsäsongen och på så vis optimera skördemängderna kan jordbrukare bevattna sina grödor. Bevattningsperioden i Sverige är oftast 5 månader lång (maj-september) (Mattsson m. fl. 2018). Bevattningseffektiviteten i Sverige är mellan 80-90% vilket innebär att man bör multiplicera vattenbehovet med en faktor på 1,11 till 1,25 för att få den totala mängden vatten som krävs för bevattning (ibid.). Detta ger en övre bevattningsmängd på 250 mm för ett normalår. I ett förändrat framtida klimat beräknas bevattningsbehovet öka och antalet år som får ett större nederbördsunderskott än ett normalår, så kallade torrår, förväntas bli fler. (ibid.). I jordbruksverkets rapport från 2018 (ibid.) presenteras bevattningsbehovet för fyra grödor för ett torrår i Östergötland, se tabell 1. Bevattningsbehovet är beräknat för det torrår rankat som 22/26 från tidsperiod 1991-2016. Detta betyder att om de 26 åren (1991-2016) sorteras utifrån hur torra de var, där året 26 var det allra torraste, så är datan i tabell 1 grundat på året som rankas 22. Grödorna som bevattningsbehovet är beräknat för är höstvete, vårsäd, potatis och vall och dessa valdes ut för att de är representativa grödor för en vanlig växtföljd i Sverige. Behovsberäkningarna utgår ifrån att bevattningsperioden pågår under månaderna maj-september (ibid.).

Tabell 1: Bevattningsbehovet för fyra grödor i Östergötland under ett torrår hämtat från jordbruksverkets rapport (ibid.).

	Bevattningsbehov (mm)
Höstvete	230
Vårsäd	165
Potatis	180
Vall	210

Bevattningskällor
Ytvatten är den vanligaste bevattningskällan inom jordbruk i Sverige (SCB 2022). Det är dock osäkert hur stor andel som kommer från ytvatten av allt bevattningsvatten som idag används inom jordbruket. Äldre undersökningar har visat att siffran ligger på ungefär 80 % (ibid.). Grundvatten utgör därefter den näst största källan till bevattning inom jordbruk. Av det grundvatten som används kommer den övervägande delen från enskilda vattentäkter (ibid.). Dräneringsvatten, som samlats upp och lagrats från dränerade åkermarker, används också som en bevattningskälla (Jordbruksverket 2007).

I dagsläget i Sverige används renat avloppsvatten till bevattning i endast mycket liten omfattning men det kommer troligen bli en allt viktigare bevattningskälla i framtiden med längre perioder av torka (EU 2023; Naturvårdsverket 2022). 26 juni 2023 börjar en ny EU-förordning att gälla om minimikrav för återanvändning av vatten (2020/741). Syftet med förordningen är att motverka vattenbrist och att underlätta för en cirkulär vattenavändning genom att möjligöra att renat avloppsvatten används till bevattning. Förordningen innehåller dels gränsvärden för bland annat mängden mikroorganismer, biokemisk syreförbrukning (BOD5) och suspenderat material och dels krav på att tillstånd behövs för att få producera och leverera renat avloppsvatten. Förordningen innehåller inga gränsvärden för metaller utan tar främst hänsyn till smittorisker. I Naturvårdsverkets utredning (2022) kring den svenska implementeringen av denna förordning konstaterades det att metallhalterna i renat avloppsvatten generellt sett ligger på samma nivå som i andra bevattningskällor förutom när det gäller metallerna zink, nickel och koppar. I rapporten föreslås inga ytterligare kvalitetskrav gällande till exempel metallhalter, men det nämns att detta kan bli aktuellt i ett senare skede (Naturvårdsverket 2022).

Vattenkvalitetsproblem hos bevattningsvatten

I FAO:s rapport (1994) om vattenkvalitet hos bevattningsvatten identifieras några olika problemområden vilka är saltanrikning, markens infiltrationsförmåga, jontoxicitet i grödorna, överskott av näring, avlagringar på frukt eller blad samt hög korrosionspåverkan på bevattningsutrustningen.

Problem med saltanrikning i marken inträffar vanligtvis om bevattningsvattnet har förhöjda salthalter eller om grundvattenytan är nära marknivån och ständigt tillför grödorna salter (Ayers, R.S & Westcot, D.W 1994). Saltanrikningen blir ett problem när salthalten är så hög i grödornas rotzon att grödorna inte kan tillgodose sitt vattenbehov (Ayers, R.S & Westcot, D.W 1994; Kreuger & A. Håkansson 1986). Konsekvenserna för grödorna av en för hög salthalt i rotzonen liknar med andra ord de som kommer av torka. Konduktivitet är ett mått på vattnets salthalt vilket betyder att en hög salthalt ger en hög konduktivitet.

Kvaliteten på bevattningsvattnet kan också påverka markens struktur, vilket i sin tur påverkar hur väl bevattningsvattnet infiltrerar marken och når grödornas rotzon (Ayers, R.S & Westcot, D.W 1994). Vattnets totala salthalt (konduktivitet) samt förhållandet mellan mängden natrium i relation till kalcium- och magnesiuminnehållet kan påverka strukturen i det översta marklagret. En för stor andel av natrium i bevattningsvattnet gör att det översta marklagret får ett högt natriuminnehåll vilket resulterar i att markens större aggregat faller sönder och täpper för sprickor i marken som vattnet vanligtvis kunde ha infiltrerat igenom. Detta sker också om innehållet av kalcium i det översta jordlagret är väldigt lågt. Ett mycket lågt kalciuminnehåll kan orsakas av att vatten med en låg total salthalt tillförs markytan och genom korrosion tar bort kalciumjoner från markpartiklarna. Följdproblem som kan komma av en dålig infiltration är bland annat att grödornas näringsbalans blir rubbad och dessutom kan grödorna få syrebrist.

För vattenkällor som är naturliga där ingen mänsklig aktivitet ägt rum är det mycket sällsynt med förhöjda halter av metaller som gör vattnet olämpligt för bevattning (ibid.). Används andra vattenkällor med förhöjda metallhalter finns det risk att det i översta lagret av jorden ansamlas metaller som binder in till jorden. Undersökningar har visat att den största delen av de tillförda metallerna ackumuleras i jorden och framför allt i det översta lagret (ibid.). Detta kan leda till att odlingsmarken blir improduktiv eller att grödorna som odlas inte går att använda. Även fast

flera av metallerna är essentiella för grödornas utveckling är oftast dessa mängder obetydligt små jämfört med halterna som kan ackumuleras i det översta lagret av jorden. Är pH-värdet i marken lågt blir de flesta metaller mer växtillgängliga (Kreuger & A. Håkansson 1986). Har marken mycket organiskt material kan påverkan istället bli mindre eftersom metallerna kan bindas till humuspartiklarna i det organiska materialet. På samma vis har halten lera i marken en påverkan på bindandet av metaller där en högre lerhalt ger en mindre andel växttillgängliga metaller (ibid.).

Andra grundämnen i vattnet kan likväl skapa problem i höga koncentrationer. Klorid, natrium och bor är exempel på detta (Ayers, R.S & Westcot, D.W 1994). Dessa joner ackumuleras i växternas blad och kan bland annat störa grödornas fotosyntes och i det längre perspektivet även grödornas avkastning. Problemet kan både uppstå när grödorna tar upp vatten från rotzonen och när vattnet tas upp direkt från bladen efter sprinklerbevattning. Vilka koncentrationer av jonerna som är problematiska varierar mycket mellan olika grödor.

Ett bevattningsvatten som innehåller kväve kräver samma hantering av kvävet som vid gödsling och innebär att grödornas kvävebehov inte ska överskridas (ibid.). En överdosering av kväve riskerar att leda till att grödorna utvecklas senare eller blir av dålig kvalitet. De mest lättupptagliga kväveformerna för växter är nitrat- och ammoniumkväve. Under grödans olika utvecklingstadier varierar känsligheten för en överdosering av kväve. I ett tidigt växtstadium kan större kvävemängder vara fördelaktigt medan det i ett senare skede av grödans utveckling kan minska på avkastningen.

Mängden suspenderat material i bevattningsvattnet kan också skapa problem, dels kan det skada bevattningsutrustingen och dels kan det minska markens infiltrationsförmåga om materialet täpper igen markens naturliga porer (Ayers, R.S & Westcot, D.W 1994; Kreuger & A. Håkansson 1986). Dessutom finns det risk för att det suspenderade materialet bildar en hinna på växternas bladverk och försvårar för växterna att utföra fotosyntes. Hur omfattande problemen med suspenderat material blir beror på det suspenderade materialets natur (Kreuger & A. Håkansson 1986). Om materialet är organiskt kan det till exempel istället bidra med en bättre markstruktur och binda till sig metaller.

Gällande pH-värdet i bevattningsvatten är det oftast en indikator på ett underliggande kvalitetsproblem snarare än att det i sig själv ger problem (Ayers, R.S & Westcot, D.W 1994). Ett pH-värde som är utanför intervallet 6,5-8,4 kan antingen innehålla någon toxisk jon eller inneha ett mycket lågt saltinnehåll vilket i sin tur kan vara skadligt eller ge en näringsobalans i grödan. Ett vatten som har ett lågt pH-värde kan dessutom vara mycket korrosivt och förkorta livslängden på bevattningsutrustingen. Risken för att bevattningsvatten med ett pH-värde utanför det ovannämnda intervallet påverkar markens pH-värde negativt är endast att beakta över en lång tidsskala eftersom att marken har en god förmåga att stå emot ändringar i pH-värdet.

2.3.2 Gödselmedel

I Sverige sker den största tillförseln av kväve från mineralgödsel via separata kvävegödselmedel, bestående av lika delar ammonium och nitrat samt ofta svavel. Tillförseln av mineralkväve från sammansatta gödselmedel som exempelvis NPK-gödeslmedel (kväve, fosfor och kalium) står endast för en tredjedel (Andersson m. fl. 2023). I Jordbruksverkets gödselrekommendationer (2023) för år 2023 finns ungefärliga mängder av kväve, fosfor och kalium i några olika skörde-

produkter och grödor. Eftersom dessa mängder tas bort från åkern vid skörd behövs lika stora mängder tillföras till åkern och därför kan dessa värden ses som gödselbehov. Gödselbehovet för tre vanligt förekommande grödor kan ses i tabell 2(Andersson m. fl. 2023). De mer specifika kvävemängder som också finns i Jordbruksverkets rekommendationer (2023) varierar mycket med de olika förhållandena som råder på den specifika jordbruksmarken. Bland annat är markens mineralisering en viktig parameter. Denna parameter syftar till markens förmåga att själv producera kväve, genom nedbrytning av organiskt material, som är tillgängligt för grödan (ibid.). Det är även avgörande att ta hänsyn till jordbruksmarkens vanliga skördenivå för att beräkna den ungefärliga kvävegivan.

Tabell 2: Mängder av kväve (N), fosfor (P) och kalium (K) som finns i de olika grödorna och behöver således tillföras åkermarken i form av gödsel. Mängderna utgår från en förvald skördevolym. För vall är skördevikten angiven som torrsubstans (ts).

Gröda	**Skörd (ton/ha)**	**N (kg/ha)**	**P (kg/ha)**	**K (kg/ha)**
Vete, kärna, 12 % protein	7	110	22	30
Potatis, knölar	40	105	21	200
Vall, 25 % klöver	6 (ts)	140	16	150

Avloppsslam kan också användas i jordbruket som främst fosfor-gödselmedel. En studie som utförts i samverkan mellan flera va-aktörer har undersökt effekterna på gröda och mark av att använda avloppsslam på åkermarker (Finnson m. fl. 2020). Studien utfördes i södra Sverige under 38 år av fältförsök. Det konstaterades bland annat att avloppslam gett en skördeökning på ungefär 7% jämfört med en optimal mängd av mineralgödsel. Jorden fick också en ökad mullhalt vilket gjorde marken mer motståndskraftig mot torka. Det upptäcktes inte någon tydlig ackumulering av metaller i jorden jämfört med den markyta där avloppsslam inte använts (ibid.). Dessutom hade slammet ingen påverkan på grödans upptag av tungmetaller enligt studien.

REVAQ är ett certifieringssystem som har till syfte att reglera och minska mängden farliga substanser som kommer till reningsverken för att då kunna säkra en bra kvalitet på avloppsslammet (Svenskt Vatten 2023). Reningsverk kan ansöka om att bli certifierade och får då producera certifierat avloppsslam vilket många jordbrukare känner sig trygga med att använda på åkrarna. För att avloppsverk ska kunna bli certifierade behöver de arbeta aktivt för att motverka att farliga ämnen från hushåll, industrier och andra verksamheter hamnar i avloppet (REVAQ 2022; Svenskt Vatten 2023). Certifieringssystemet REVAQ har gränsvärden som reglerar metallmängden per hektar och år, se tabell 3. Naturvårdsverket (2022) har också gränsvärden för metallhalter och metallmängder i avloppsslam men dessa användes inte i detta arbete.

Tabell 3: REVAQ:s gränsvärden på hur mycket metaller som får tillföras med avloppsslammet per år och hektar (REVAQ 2022).

Metall	**g/ha och år**
Arsenik	53
Bly	25
Kadmium	0,51
Koppar	300
Krom	40
Kvicksilver	0,55
Nickel	25
Zink	600

3 Material och metoder

3.1 Innehåll i länshållningsvatten

För att kunna besvara den första frågeställningen om innehållet i länshållningsvatten inhämtades vattenanalysdata på länshållningsvatten från olika tunnelprojekt. Analysdatan kom från Region Stockholm, SYVAB och Trafikverket. Det som är gemensamt för alla tunnelprojekt är att tunnlarna är byggda i berg med den borr- och sprängningsmetod som är beskriven i bakgrunden. Det sprängmedel som i huvudsak har använts i projekten är emulsionssprängmedel där kvävet är i formen ammoniumnitrat (NH_4NO_3) (Brunsell 2018; Hagman 2017; Regander & Antevik 2019; Stockholm Vatten VA AB 2015; Trafikverket 2016; Wallroth m. fl. 2016).

Parametrarna i analysdatan är uppmätta efter att lokal rening har utförts men innan det leds till kommunala reningsverk. Den lokala reningen skiljer sig mellan projekten men i några få projekt saknas information. Provtagningen av vattnet har varit flödesproportionell och analyserna är gjorda på ofiltrerade prover. Gällande metallkoncentrationerna är proverna uppslutna (SVOA 2021; SYVAB 2023; Trafikverket 2019b,c,d, 2020a,b). Detta innebär att de ofiltrerade proverna surgjordes, innan koncentrationsmätningarna utfördes, i syfte att laka ur metaller som var bundna till det suspenderade materialet (ALS Environmental 2016). När koncentrationerna sedan uppmättes fanns de lakbara metallerna i löst form i vattnet.

För att besvara vad länshållningsvatten innehåller inkluderades alla parametrar som det till största del fanns kontinuerliga mätserier för i analysdatan. Parametrar som bara uppmätts kontinuerligt i fyra eller färre projekt inkluderades inte på grund av att detta inte skulle ge någon bra jämförelse och dataunderlag. Dessutom inkluderades inte parametern oljeindex eftersom att detta arbete är avgränsat till inorganiska ämnen. I tabell 4 och tabell 5 visas de parametrar som inkluderats i arbetet och antalet datavärden för varje parameter och projekt. I dessa tabeller framgår det även om ett flockningssteg ingått i reningen eller inte.

3.1.1 Region Stockholm

Region Stockholm bygger ut tunnelbanan i Stockholm för att underlätta resandet (Region Stockholm 2020). Satsningen som nu görs på tunnelbanan är den största sedan 70-talet. Det byggs bland annat blå linje till Barkaby, Nacka, Södermalm och Söderort. Vidare byggs det tunnelbana till Arenastaden samt en utbyggd depå i Högdalen, se figur 1 för mer detaljerad information (ibid.). Från dessa tunnelbaneprojekt har analysdata av länshållningsvatten från 10 tunnlar använts för vidare databearbetning, se deras ungefärliga geografiska placeringar i figur 2. Urvalet skedde utifrån längden på mätserierna och kontinuiteten av mätningarna av parametrarna. Målsättningen var att tunnelprojekten skulle ha en mätserie på minst ett år med mätningar varje vecka. I brist på tunnelprojekt som uppfyllde dessa krav fullt ut inkluderades även tunnelprojekt som hade mätserier som var någon månad kortare än ett år och där några veckomätningar saknades.

Figur 1: Figuren visar en spårlinjekarta med Stockholms tunnelbanelinjer. De streckade delarna i kartan visar de nya tunnelbanesträckorna i Region Stockholms projekt. Illustration: Region Stockholm. https://nyatunnelbanan.se/wp-content/uploads/2022/11/sparlinjekarta-depa.png [2023-05-13]. Bilden används efter godkännande via mejl av SL:s kundtjänst.

Hagastaden ID:3711
Tunneln vid Hagastaden är en del av den nya gula tunnelbanelinjen som går från Odenplan till Arenastaden, se figurerna 1 och 2 för mer information (Region Stockholm 2020). Dataserien sträcker sig från 27 juli år 2020 till 23 januari år 2023. Den lokala reningen av vattnet innefattar försedimentering, oljeavskiljning och pH-justering. Någon ytterligare sedimentering med flockning och fällningskemikalier har inte använts. Vattnet leds efter den lokala reningen till Stockholm vatten och avfall [1].

Londonviadukten ID:7713
Tunneln vid Londonviadukten är en arbetstunnel till den nya delsträckan på den blå tunnelbanelinjen som byggs till Södermalm, se figurerna 1 och 2 för mer information (ibid.). Dataserien sträcker sig från 6 maj 2020 till 22 oktober 2021. För detta projekt var det inte möjligt att få några detaljer om den lokala reningen av länshållningsvattnet.

Örbyleden ID:5712
Tunneln vid Örbyleden är en arbetstunnel till den nya delsträckan som ska ansluta tågdepån i Högdalen till den gröna tunnelbanelinjen vid Farstagrenen, se figurerna 1 och 2 för mer information (ibid.). Dataserien sträcker sig från 16 augusti 2021 till 1 augusti 2022. Den lokala reningen av länshållningsvattnet innefattar först ett flockningssteg där fällningskemikalier tillsätts. Sedan leds vattnet till en lamellsedimentering och som ett sista steg leds vattnet igenom ett sandfilter. Reningsanläggningen är välutvecklad och möjliggör att upp till 70% av länshållningsvattnet återcirkuleras som processvatten till borriggarna [2].

Gullmarsplan ID:9715/9714
Tunneln vid Gullmarsplan är en arbetstunnel till den nya delsträckan på den blå tunnelbanelinjen som byggs till Nacka och Söderort, se figurerna 1 och 2 för mer information (ibid.). Dataserien sträcker sig från 14 januari 2022 till 13 januari 2023. Den lokala reningen av länshållningsvattnet innefattar först försedimentering i diken och dammar längs med tunneln och sedan ytterligare sedimentering i fyra seriekopplade containrar. Slutligen justeras pH-värdet med koldioxid och leds till en större sedimentationscontainer ovan jord. I sedimenteringen används inga flockningseller fällningskemikalier [3]

Kungsträdgården ID:7711
Tunneln vid Kungsträdgården är en spår- och servicetunnel till den nya delsträckan på den blå tunnelbanelinjen som byggs till Södermalm, se figurerna 1 och 2 för mer information (ibid.). Dataserien sträcker sig från 27 december 2021 till 12 januari 2023. Den lokala reningen av länshållningsvattnet innefattar först ett försedimenteringssteg i containrar nere i tunneln. Sedan leds vattnet till ovan jord där vattnet går igenom en brunsa, vilket är en sedimenterimgscontainer som även avskiljer olja. I denna container justeras dessutom pH-värdet med koldioxid. Därefter leds vattnet till en ytterligare sedimenteringscontainer och sedan till en lamellsedimentering.

[1]Therése Vestin, Handläggare miljöfarlig verksamhet Tunnelbana till Arenastaden, Region Stockholm, mejlkorrespondens 2023-05-08

[2]Kristina Emilsson, Handläggare hållbarhetsstyrning och miljöfarlig verksamhet Utbyggd depå i Högdalen, Region Stockholm, mejlkorrespondens 2023-04-12

[3]Sara Nottebohm Kaiser, Samordnare Hållbarhet Avdelning söder, Region Stockholm, mejlkorrespondens 2023-05-02

Inga flocknings- eller fällningskemikalier används i något av sedimenteringsstegen[4].

Värmdövägen ID:87131
Tunneln vid Värmdövägen är en arbetstunnel till den nya delsträcka på den blå tunnelbanelinjen som byggs till Nacka, se figurerna 1 och 2 för mer information (Region Stockholm 2020). Dataserien sträcker sig från 4 januari 2021 till 28 mars 2022. Den lokala reningen av länshållningsvattnet innefattar först en försedimentering i mindre containrar nere i tunneln. Därefter pumpas vattnet till större sedimentationscontainrar, ovan jord, för en ytterligare sedimentering och pH-justering. Inga flocknings- eller fällningskemikalier används i sedimenteringen[4].

Järla östra ID:87132
Tunneln vid Järla östra är en arbetstunnel till den nya delsträckan på den blå tunnelbanelinjen som byggs till Nacka, se figurerna 1 och 2 för mer information (ibid.). Dataserien sträcker sig från 4 januari 2021 till 13 juni 2022. Den lokala reningen av länshållningsvattnet innefattar först en försedimentering i mindre containrar nere i tunneln. Därefter pumpas vattnet till större sedimentationscontainrar, ovan jord, för en ytterligare sedimentering och pH-justering. Inga flocknings- eller fällningskemikalier används i sedimenteringen[4].

Skönviksvägen ID:87133
Tunneln vid Skönviksvägen är en arbetstunnel till den nya delsträcka på den blå tunnelbanelinjen som byggs till Nacka, se figurerna 1 och 2 för mer information (ibid.). Dataserien sträcker sig från 4 januari 2021 till 31 januari 2022. Den lokala reningen av länshållningsvattnet innefattar först en försedimentering i mindre containrar nere i tunneln. Därefter pumpas vattnet till större sedimentationscontainrar, ovan jord, för en ytterligare sedimentering och pH-justering. Inga flocknings- eller fällningskemikalier används i sedimenteringen[4].

Sofia ID:7715
Tunneln vid Sofia är en huvudspårtunnel till den nya delsträckan på den blå tunnelbanelinjen som byggs till Södermalm, se figurerna 1 och 2 för mer information (ibid.). Dataserien sträcker sig från 4 november 2021 till 10 januari 2023. För detta projekt var det inte möjligt att få några detaljer om den lokala reningen av länshållningsvattnet.

Station Nacka ID:8716
Tunneln vid Nacka är en huvudspårtunnel till den nya delsträckan på den blå tunnelbanelinjen som byggs till Nacka, se figurerna 1 och 2 för mer information (ibid.). Dataserien sträcker sig från 21 februari 2022 till 9 januari 2023. Den lokala reningen av länshållningsvattnet innefattar först en försedimentering i diken och dammar längs med tunneln samt sedimentering i bufferttankar belägna i tunneln. Vattnet går sedan igenom en cyklon som med centrifugalkraftens hjälp reducerar mängden suspenderade partiklar i vattnet. Därefter luftas vattnet och flocknings- och fällningskemikalier tillsätts. I detta reningssteg reduceras även sexvärt krom till trevärt krom. Slutligen justeras pH-värdet med koldioxid och leds sedan till en ytterligare sedimentering[4].

[4]Sara Nottebohm Kaiser, Samordnare Hållbarhet Avdelning söder, Region Stockholm, mejlkorrespondens 2023-05-02

3.1.2 SYVAB

En avloppstunnel byggs under Stockholm för att leda vattnet från Bromma reningsverk till Sicklaanläggningen som ligger under Hammarbybacken. Avloppstunneln kommer att bli cirka 14 km lång (SVOA u. å.). Vattenanalysdatan är erhållen från SYVAB som tagit hand om länshållningsvattnet efter den lokala reningen. Analysdata från två tunneldelsträckor inkluderades i arbetet då de hade mätserier som var längre än ett år och innehöll i stort sett kontinuerliga veckomätningar, se deras ungefärliga geografiska placeringar i figur 2. Det var tyvärr inte möjligt att få tag i aktuell information om den lokala reningen av länshållningsvattnet från något av projekten. Däremot nämns det i den tekniska beskrivningen av tunnelprojekten, som gjordes som underlag för miljöprövningen, att vattnet ska renas i sedimenteringsanläggning och vid behov pH-justeras innan det leds vidare till SYVABs spillvattennät (Stockholm Vatten VA AB 2015).

Eolshäll (entreprenad: SFAL E2)
Analysdatan från vattenproverna härstammar från anläggning av en del av avloppstunneln, en tillhörande arbetstunnel och/eller en servicetunnel. Dataserien sträcker sig från 3 september 2020 till 25 november 2021. Tunnelns ungefärliga geografiska placering kan ses i figur 2

Smedslätten (entreprenad: SFAL E2)
Analysdatan från vattenproverna härstammar från anläggning av en del av avloppstunneln, en tillhörande arbetstunnel och/eller en servicetunnel. Dataserien sträcker sig från 13 juli 2020 till 12 januari 2023. Tunnelns ungefärliga geografiska placering kan ses i figur 2

3.1.3 Trafikverket

Trafikverket bygger Västlänken som är en 8 km ny dubbelspårig järnväg i de centrala delarna av Göteborg där 6 km kommer gå i tunnlar (Trafikverket 2023b). Projektet kommer resultera i tre nya stationer under mark vid Göteborgs centralstation, Haga och Korsvägen (Wallroth m. fl. 2016). Det finns fem olika reningsstationer som tillsammans renar det länshållningsvattnet som uppkommer i projektet[5], se figur 3. Vattenanalysdata från dessa stationer har inkluderats i arbetet för vidare bearbetning. Under projekttiden har vattnet pumpats till den station som varit närmast där vattnet uppkommit vilket gör att det från analysdatan från varje reningsstation går att veta vilken del av projektet vattnet kommer ifrån[5][6]. Det går däremot inte att utifrån datavärdena skilja på om vattnet är från en huvudspårtunnel, servicetunnel eller arbetstunnel. Det finns även en möjlighet att vattnet är en blandning från olika tunnlar om flera tunnlar drivits fram parallellt i samma område.

Station 210-Linné Haga
Reningsstation 210 ligger vid Linnéplatsen och vattnet som renas där kommer från en eller flera tunnlar i området vid Haga, se figur 3. Dataserien sträcker sig från 13 december 2019 till 30 november 2022. I den lokala reningen av länshållningsvattnet leds vattnet först till en sedimenteringstank där natronlut (NaOH) tillsätts om pH-värdet är för lågt (Trafikverket 2019b). Därefter leds vattnet till en annan sedimenteringsstank där sexvärt krom reduceras till trevärt krom med järnsulfat, pH-värdet sänks med koldioxid och flocknings- och koaguleringsmedel

[5]Felix Kindbom, Teknikingenjör inom miljö för projekt Västlänken, Trafikverket, muntlig och skriftlig kommunikation vid flera tillfällen men senast 2023-05-12

[6]Andreas Johansson, Miljöspecialist, Trafikverket, muntlig och skriftlig kommunikation vid flera tillfällen men senast 2023-05-12

Figur 2: En karta över Stockholm som visar 12 tunnelprojekts ungefärliga geografiska positioner. Tunnelbanetunnlarna är inringade i svart och avloppstunnlarna är inringade i rött. Karta 1:100 000 Nedladdning, från tjänsten Min Karta", ©Lantmäteriet.

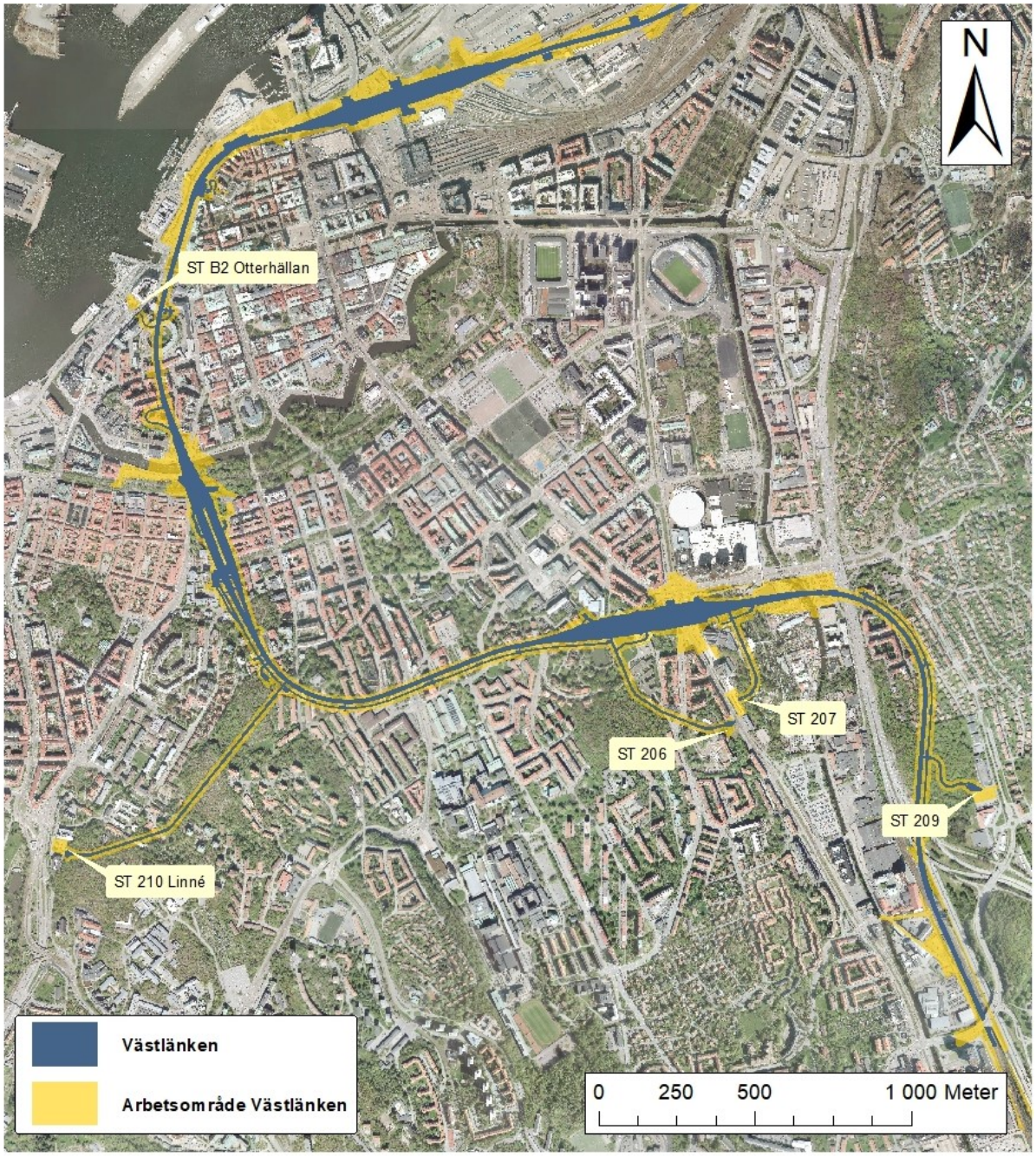
tillsätts. Sedan går vattnet igenom en filterpress där suspenderat material och metaller samlas upp. Därefter avskiljs olja från vattnet innan det slutligen leds till en sista tank där väteperoxid (H_2O_2) adderas för att sänka nitrithalterna. Dessutom justeras pH-värdet med koldioxid en andra gång vid behov (Trafikverket 2019b).

Station B2-Otterhällan Haga
Reningsstation B2 ligger vid Otterhällan och vattnet som renas där kommer från en eller flera tunnlar i området kring Otterhällan, se figur 3. Dataserien sträcker sig från 13 mars 2020 till 30 november 2022. I den lokala reningen av länshållningsvattnet leds vattnet först till en sedimenteringstank där natronlut (NaOH) tillsätts om pH-värdet är för lågt (Trafikverket 2020a). Därefter leds vattnet till en andra sedimenteringsstank där sexvärt krom reduceras till trevärt krom med järnsulfat, pH-värdet sänks med koldioxid och flockningsmedel tillsätts. Vattnet leds sedan till en dekanter (fällningstorn) där superflockulant tillsätts. I detta steg faller flockarna, bestående av metaller, fosfor och suspenderat material, till botten och bildar slam. Det renade vattnet leds sedan vidare till en oljeavskijare medan slammet blir till filterkakor via en filterpress. Efter oljeseparingen leds vattnet till en sista tank där pH-värdet höjs med NaOH vid behov (ibid.).

Station 206-Korsvägen
Reningsstation 206 ligger vid Korsvägen och vattnet som renas där kommer från en eller flera tunnlar i området kring Korsvägen, se figur 3. Dataserien sträcker sig från vecka 10 år 2020 till vecka 4 år 2023. I den lokala reningen av länshållningsvattnet leds vattnet först till en försedimenteringscontainer där de större partiklarna avskiljs (Trafikverket 2019c). I samma steg renas även vattnet från olja. Därefter leds vattnet till en mer kompakt reningsanläggning där pH-värdet justeras med koldioxid och flocknings- och fällningsmedel tillsätts. I anläggningen avskiljs slutligen slammet, som bildats efter sedimenteringen, från vattnet (ibid.).

Station 207-Korsvägen
Reningsstation 207 ligger vid Korsvägen och vattnet som renas där kommer från en eller flera tunnlar i området kring Korsvägen, se figur 3. Dataserien sträcker sig från vecka 10 år 2020 till vecka 4 år 2023. I den lokala reningen av länshållningsvattnet leds vattnet först till en försedimenteringscontainer där de större partiklarna avskiljs (Trafikverket 2019d). I samma steg renas även vattnet från olja. Därefter leds vattnet till en mer kompakt reningsanläggning där pH-värdet justeras med koldioxid och flocknings- och fällningsmedel tillsätts. I anläggningen avskiljs slutligen slammet, som bildats efter sedimenteringen, från vattnet (ibid.).

Station 209-Korsvägen
Reningsstation 209 ligger vid Skår och vattnet som renas där kommer från en eller flera tunnlar i området kring Skår, se figur 3. Dataserien sträcker sig från vecka 43 år 2020 till vecka 4 år 2023. I den lokala reningen av länshållningsvattnet leds vattnet först till en försedimenteringscontainer där de större partiklarna avskiljs (Trafikverket 2020b). I samma steg renas även vattnet från olja. Därefter leds vattnet till en mer kompakt reningsanläggning där pH-värdet justeras med koldioxid och flocknings- och fällningsmedel tillsätts. I anläggningen avskiljs slutligen slammet, som bildats efter sedimenteringen, från vattnet (ibid.).



Figur 3: En karta över delar av Göteborg som visar var Västlänken byggs samt positionerna på de olika vattenreningsstationerna. Illustration: Trafikverket. [2023-05-10]. Bilden används efter godkännande via mejl av Felix Kindbom[5].

Sammanställning av analysdata

En sammanställning av dataunderlaget som inhämtats från tunnelprojekten visas i tabell 4 och tabell 5. De parametrar som inkluderats i arbetet och antalet datavärden för varje parameter och projekt visas. I dessa tabeller framgår det även om ett flockningssteg ingått i reningen eller inte samt vilken huvudman analysdatan kommer ifrån.

Tabell 4: Sammanställning av antalet (n) veckoprover av koncentrationer som finns i analysdatan för respektive metall och tunnelprojekt. As–Arsenik, Pb–Bly, Cd–Kadmium, Cu–Koppar, Cr–Krom, Hg–Kvicksilver, Ni–Nickel och Zn–Zink. För de tunnelprojekt där ett flockningssteg ingår är projektnamnen rosafärgade, där flockingsteg saknas grönfärgade och där information om reningen saknas är projektnamnen ofärgade. Vilken huvudman analysdatan kommer ifrån framgår också med förkortningarna R–Region Stockholm, T–Trafikverket och S–SYVAB.

Huvud-man	Tunnelprojekt	As	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
R	Hagastaden	128	128	128	128	128	128	128	128
	Londonviadukten	74	74	74	74	74	74	74	74
	Örbyleden	57	57	57	57	57	54	57	57
	Gullmarsplan	51	51	51	51	51	51	51	51
	Kungsträdgården	53	53	53	53	53	53	53	53
	Värmdövägen	61	61	61	61	61	61	61	61
	Järla skolvägen	67	67	67	67	67	67	67	67
	Skönviksvägen	49	49	49	49	49	49	49	49
	Sofia	60	60	60	60	60	60	60	60
	Nacka Station	48	48	48	48	48	48	48	48
T	Linné Haga	0	151	151	151	151	151	151	151
	Otterhällan Haga	0	121	121	121	121	77	121	121
	ST 206 Korsvägen	0	150	150	149	149	0	150	149
	ST 207 Korsvägen	0	151	151	151	151	0	151	151
	ST 209 Korsvägen	0	118	118	118	118	0	118	118
S	Eolshäll	64	64	64	64	64	64	64	64
	Smedslätten	124	124	124	124	124	124	122	124

Tabell 5: Sammanställning av antalet (n) veckoprover som finns i analysdatan för respektive parameter och tunnelprojekt. EC_w–Konduktiviteten, Cl–klorid, Tot-N–Totalt kväve, NH_4^+–Ammonium. För de tunnelprojekt där ett flockningssteg ingår är projektnamnen rosafärgade, där flockingsteg saknas grönfärgade och där information om reningen saknas är projektnamnen ofärgade. Vilken huvudman analysdatan kommer ifrån framgår också med förkortningarna R–Region Stockholm, T–Trafikverket och S–SYVAB.

Huvud-man	Tunnelprojekt	Cl	EC_w	Tot-N	NH_4-N	pH	Flöde	Susp-halt
R	Hagastaden	0	128	128	0	128	122	128
	Londonviadukten	0	74	74	0	74	69	74
	Örbyleden	0	45	45	0	45	40	50
	Gullmarsplan	0	51	51	0	51	50	51
	Kungsträdgården	0	53	52	0	53	51	53
	Värmdövägen	0	61	61	0	61	57	61
	Järla skolvägen	0	67	67	0	67	0	67
	Skönviksvägen	0	49	49	0	49	0	49
	Sofia	0	60	57	0	60	60	60
	Nacka Station	0	48	48	0	48	46	48
T	Linné Haga	151	118	151	151	151	144	151
	Otterhällan Haga	120	101	121	120	120	124	121
	ST 206 Korsvägen	149	0	149	151	150	124	146
	ST 207 Korsvägen	148	0	150	149	149	123	145
	ST 209 Korsvägen	117	0	115	117	118	106	118
S	Eolshäll	0	64	64	0	64	63	64
	Smedslätten	0	123	122	0	123	122	124

Berggrunden vid tunnelprojekten

Tabell 6 visar bergarterna i berggrunden i områdena kring tunnlarna. Informationen hämtades från SGU:s kartvisare med upplösningen 1:50000 – 1:250000 (SGU u. å.). Områdena blev identifierade utifrån kartor från tekniska beskrivningar och planbeskrivningar för de olika projekten (Brunsell 2018; Hagman 2017; Regander & Antevik 2019; Stockholm Vatten VA AB 2015; Trafikverket 2016; Wallroth m. fl. 2016). De bergarter som tagits med i tabellen är de huvudsakliga som finns i området men eftersom det inte var möjligt att ta reda på den exakta positionen av tunnlarna kan delar av berggrunden som nämnts vara irrelevant för själva tunneldrivningen.

Tabell 6: En sammanställning över vilka bergarter som är dominerande i området där tunnlarna byggs. Datan är hämtad från SGU:s kartvisare över bergrunden med upplösningen 1:50000 – 1:250000.

	Metamorf Gråvacka	Granodiorit-granit (sur)	Granit (sur)	Gabbroid-dioritoid (basisk)	Tonalit-granodiorit (sur)
Hagastaden	X				
Sofia		X			
Londonviadukten		X			
Värmdövägen	X	X			
Järla Skolväg		X	X		
Nacka station		X			
Skönviksvägen		X	X		
Gullmarsplan	X	X		X	
Kungsträdgården	X				
Örbyleden	X				
Smedslätten	X	X			
Eolshäll	X	X			
Linné Haga			X	X	X
Korsvägen 206				X	X
Korsvägen 207				X	X
Korsvägen 209					X
B2 Otterhällan			X		X

3.2 Bearbetning av innehåll

För varje tunnelprojekt beräknades medelvärden, maximumvärden, minimumvärden och standardavvikelse för alla de parametrar som det fanns datavärden för i Excel. Denna statistik beräknades för alla de parametrar som redovisas i tabellerna 4 och 5. För de olika parametrarna gjordes också boxdiagramm.

Grafer över hur total-kvävekoncentrationen varierar över tid gjordes också för att undersöka om det fanns några trender över tid och om dessa var återkommmande för flera projekt samt för att visa kvävehalterna.

För de projekt där data fanns över både totalkväve och ammoniumkväve beräknades medelvärdet av andelen ammoniumkväve i länshållningsvattnet. Andelen ammoniumkväve beräknades för varje veckoprov med ekvation 1 där A är andelen och C är koncentrationen. Ett medelvärde av dessa andelar beräknades sedan för varje projekt.

$$A_{NH_4}(\%) = (\frac{C_{NH_4}}{C_{tot-N}}) \cdot 100 \quad (1)$$

3.3 Länshållningsvatten till bevattning och gödsling

För att besvara hur lämpligt länshållningsvatten är för bevattning och gödsling insamlades referensvärden för koncentrationer av metallerna arsenik, bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel och zink. Värden på koncentrationen av klorid, konduktivitet, och slutligen pH samlades också in i samma syfte. Som referenser för bevattningsvatten användes grundvatten, ytvatten och renat avloppsvatten och som referens för en gödselkälla användes avloppsslam. Dessutom inkluderades FAO:s riktlinjer för bevattningsvatten och Livsmedelverkets gränsvärden för dricksvatten. Gällande referensvärdena för grundvatten och ytvatten skiljde sig värdena för olika delar av Sverige och därför valdes värden från regionen där Trafikverkets projekt Ostlänken ska byggas. Nedan följer en närmare beskrivning av de olika referensvärdena.

Grundvatten
De referensvärdena som användes för grundvatten inhämtades från SGU:s översiktliga statistik, med regional indelning, i en rapport från 2013 (SGU 2013). Analysdatan av grundvatten kommer ursprungligen från SGU:s regionala och nationella miljöövervakning, vattentäktsarkivet och kemiarkivet. En del av denna data insamlades före 1970-talet men majoriteten av datan insamlades under 1980-talet och 2000-talet. Grundvattendata från region E (mellansvenska sänkan) valdes ut vilket innefattar delar av Stockholms län, Södermanlands län och Östergötlands län och är således relevant för området där Ostlänken ska byggas.

Majoriteten av de grundvattenförekomsterna som grundvattenstatistiken är grundad på är av tillståndsklass 1 vilket betyder att de är opåverkade förekomster. I SGU:s statistik finns det för varje vattenkvalitetsparameter och region data för fyra olika sorters grundvattentäkter. Dessa är enskild brunn i jord, enskild brunn i berg, större vattentäkt i jord och slutligen större vattentäkt i berg. De värden som tagits med som referensvärden är det lägsta och det högsta medelvärdet för varje parameter oavsett vilken sort av dessa fyra vattentäkter som värdet kommer ifrån. Detta betyder att medelvärdena från de olika parametrarna kan komma från olika sorters grundvattentäkter. Anledningen till att de högsta och lägsta värdet togs med oavsett vilken sorts grundvattentäkt det handlar om är för att det då speglar den variation det finns i halterna. Dessutom är det troligt att det finns en variation mellan vilka typer av grundvattentäkter som utgör bevattningsförekomster i området kring Ostlänken.

Ytvatten
De referensvärden som samlades in för ytvatten bestod av metallkoncentrationer från SLU:s miljöövervakning av sjöar (Köhler m. fl. 2016). Dessa metallkoncentrationer uppmättes årligen under åren 2009-2014. Datan över metallkoncentrationerna är uppdelad efter geografiska delar av Sverige, så kallade limniska ekoregioner. Denna uppdelning bygger på naturliga klimatologiska eller naturgeografiska avgränsningar. I detta arbete har endast data från ekoregion 4 använts eftersom denna region innefattar delar av Stockholms län, Södermanlands län och Östergötlands län. Detta område är intressant eftersom att Ostlänken ska byggas i dessa län. I rapporten fanns inte metallkoncentrationerna i medelvärden och därför användes medianvärden i stället.

Renat avloppsvatten
De metallkoncentrationer från renat avloppsvatten som användes som referensvärden kommer från den nationella löpande miljöövervakningen mellan åren 2010 och 2017 (Haglund u. å.; Naturvårdsverket 2022). I miljöövervakningen analyseras bland annat metallhalter i nio kommunala

reningsverk. Dessa reningsverk varierar i storlek, belastning, kapacitet, geografisk utbredning samt i fördelning mellan industri-, hushåll- och övrigt avlopp. För varje reningsverk och år analyseras ett flödesproportionellt veckoprov där sju dygnsprov adderats ihop. Ett medelvärde är beräknat för varje metallhalt och reningsverk för perioden 2010-2017. De högsta medelvärdena för varje metall användes som referensvärden vilket ger att medelhalterna kan komma från olika reningsverk för respektive metall. Det totala antalet mätvärden som medelvärdet beräknas utifrån är således åtta eftersom det finns åtta mätvärden för varje avloppsreningsverk under den givna tidsperioden.

Avloppsslam

De metallkoncentrationer från avloppsslam som användes i referenssyfte beräknades fram utifrån de gränsvärden som är satta i certifieringssystemet REVAQ:s senaste rapport från 2022 (2022), se tabell 3. Anledningen till att REVAQ:s senaste certifieringsregler användes som gränsvärden är för att dessa är väl uppdaterade och innefattar fler metaller än Naturvårdsverkets gränsvärden för avloppsslam (Naturvårdsverket 2022). Dessa gränsvärden är givna i g/ha/år (REVAQ 2022). För att relatera gram av metaller per hektar till en metallkoncentration i länshållningsvattnet behövdes en bevattningsmängd per hektar och år bestämmas. För att spegla den variation i bevattningsbehov som finns i Sverige under ett normalår beräknades halterna för både 50 mm och 250 mm bevattning. Gränsvärdena i g/ha/år beräknades om till g/l genom att först beräkna hur många liter vatten som skulle krävas per hektar och år vid bevattning av 50 mm respektive 250 mm, se ekvationerna 2 och 3. Därefter beräknades metallkoncentrationerna, se ekvation 4. I ekvationerna är V volymen vatten (l/ha), B bevattningsmängden (mm), m vikten metaller (g/ha) och c koncentrationen (g/l).

$$1\ l = 1\ mm/m^2 \tag{2}$$

$$V = B \cdot 10000 \tag{3}$$

$$c_{metall} = \frac{m_{metall}}{V} \tag{4}$$

FAO:s riktvärden

Riktvärden för bevattningsvatten hämtades som referensvärden från FAO (FN:s livsmedels och jordbruksorganisation). Dessa riktvärden fanns att hitta i deras rapport från 1994 om vattenkvalitet för jordbruket (Ayers, R.S & Westcot, D.W 1994). Riktvärdena kan anses vara gamla och dessutom är de främst framtagna för semiarida till arida klimat. Detta innebär att nederbördsmängden antas ligga på en låg nivå och är således av ringa betydelse för växtens vattenbehov. Bevattningsmängden beräknas istället kunna ligga på upp till 1000 mm per hektar och år vilket skiljer sig mycket från Sveriges årliga bevattningsbehov. Dessutom antas grundvattennivån ligga lägre ner än 2 meter från markytan. Trots att bevattningsförutsättningarna som gränsvärdena är framtagna för skiljer sig mycket från de svenska förutsättningarna inkluderades FAO:s riktvärden som referenser. Anledningen till detta var att inga andra lämpligare riktvärden, som behandlade bevattningsvatten, hittades.

Livsmedelverkets gränsvärden
Gränsvärden för dricksvatten inhämtade från Livsmedelverkets nya dricksvattenföreskrifter från 2022 (Livsmedelsverket 2022).

3.4 Jämförelse av analysdatan med referensvärdena

För alla metallkoncentrationer, pH-värdet, konduktiviteten och kloridkoncentrationen gjordes boxdiagram i Excel. Syftet med dessa var att visa hur datan såg ut för varje projekt med medelvärde, median och tillhörande kvartiler samt att kunna jämföra projekten med varandra för varje parameter. I boxdiagrammen åskådliggjordes även de referensvärdena som var lägre eller tillräckligt nära medelvärdena i länshållningsvattnet för att få plats i boxdiagrammen. Referensvärdena visualiserades som streckade linjer i olika färger.

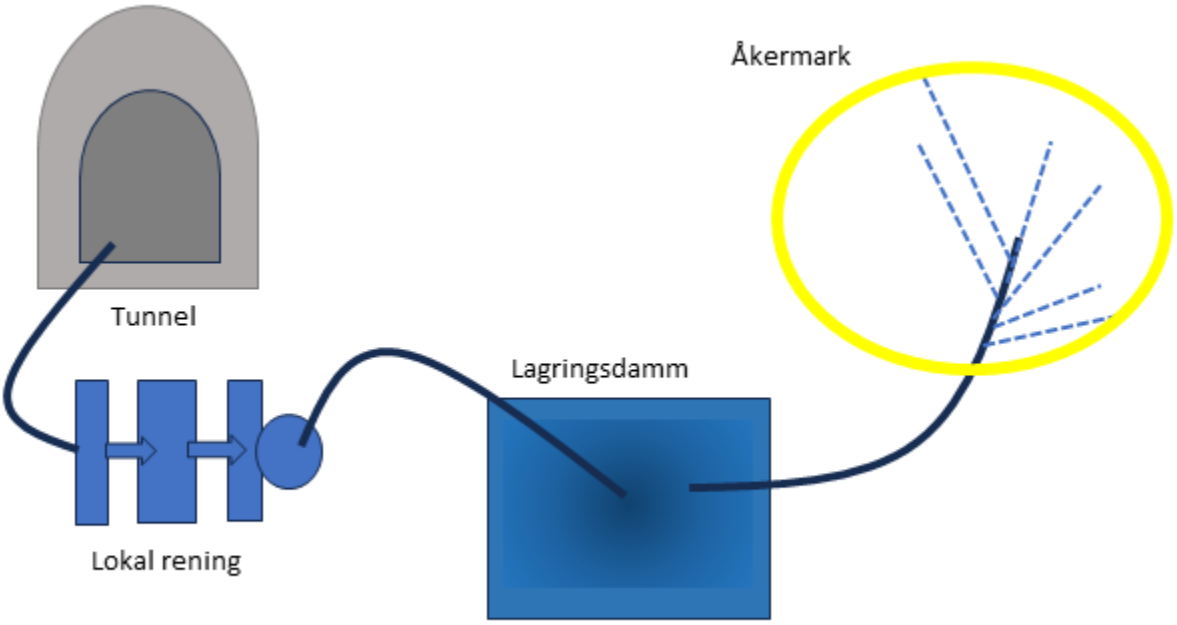
3.5 Användning av länshållningsvatten för jordbruk vid Ostlänken

I syfte att utvärdera möjligheterna att använda länshållningsvatten till bevattning och gödsling inom Ostlänken användes beräkningsdata från Trafikverket. Denna data innefattade vatten- och kvävemängder som uppskattas att bildas i samband med drivningen av fyra järnvägstunnlar på den nordligaste delen av Ostlänken. Dessa fyra tunnlar är Gerstabergstunneln, norra Edebytunneln, södra Edebytunneln och Hillestatunneln. Tunnlarna är lokaliserade mellan Gerstaberg och Sillekrog. Utifrån Trafikverkets data beräknades storlekar på åkermarksarealer som länshållningsvattnet och kvävet kan räcka till samt volymer och areor på bevattnings- och lagringsdammar. Figur 4 visar hur länshållningsvattnet är tänkt, i detta arbete, att användas för jordbruk vid Ostlänken. Vattnet pumpas först från tunnelmynningen till en lokal reningsanläggning. Därefter pumpas det renade vattnet till en lagringsdamm som har kapacitet att lagra vatten från sju månaders tunneldrivning. Under en fem månaders lång bevattningssäsong används allt vatten, som lagrats i dammen samt det vatten som produceras under säsongen, till bevattning och gödsling. När bevattningssäsongen är slut fylls dammen på med nytt vatten från tunneldrivningen som sedan används i nästkommande bevattningssäsong.

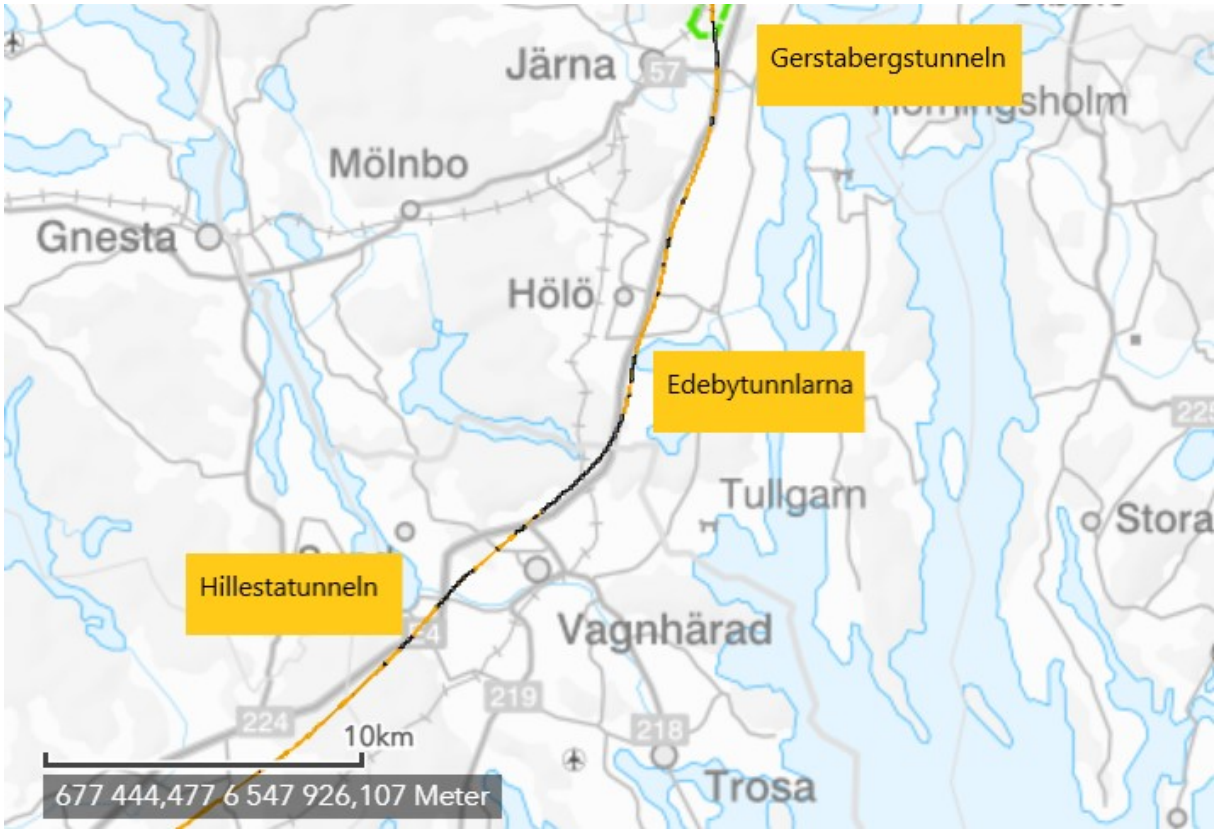
Den geografiska placeringen av de planerade tunnlarna som behandlades i arbetet kan ses i figur 5. I tabell 7 ses information om berggrunden i områdena där tunnlarna planeras. Information om tunnlarnas längd, utsprängd bergvolym, inläckage av grundvatten samt den planerade drivningstiden kan ses i tabell 8. Tabellen visar även om någon service- eller arbetstunnel kommer byggas tillsammans med huvudspårtunneln för respektive järnvägstunnel.

Tabell 7: En sammanställning över vilka bergarter som är dominerande i området där tunnlarna planeras att byggas. Datan är hämtad från SGU:s kartvisare över bergrunden med upplösningen 1:50000 – 1:250000.

	Metamorf Gråvacka	Granodiorit-granit (sur)	Granit (sur)	Gabbroid-dioritoid (basisk)	Tonalit-granodiorit (sur)
Gerstaberg	X				
Edebytunnlarna	X				
Hillestatunneln	X				X



Figur 4: En systemskiss över hur länshållningsvattnet från tunneldrivningen kan användas av jordbrukare.



Figur 5: En översiktlig karta över var de studerade tunnlarna är lokaliserade i Sverige (Trafikverket 2021a).

Tabell 8: Visar tunneltyp, tunnellängd, utsprängd bergvolym och inläckage av grundvatten samt drivningstid för de behandlade tunnelprojekten i Ostlänken (Trafikverket 2023c).

Tunnel	**Tunneltyp**	**Tunnellängd [m]**	**Bergvolym [m3]**	**Inläckage [l/min/100 m]**	**Drivningstid [v]**
Gerstaberg	Huvudtunnel	1320	193 358	15	147
	Servicetunnel	1320	38 576	15	
Edeby norra	Huvudtunnel	146	17 881	15	Saknas information
Edeby södra	Huvudtunnel	157	19 220	15	Saknas information
Hillesta	Huvudtunnel	620	81 122	15	34

Gällande Gerstabergstunneln uppskattade Trafikverket att det troligaste scenariot är att endast 12 % av vattenmängden kommer behöva hanteras på plats medan resterande 88 % kommer ledas till ett kommunalt reningsverk (ibid.). I detta arbete beräknades åkerarealer och lagringsvolymer för både 12 % av vattenmängden och för hela den genererade vattenmängden.

I Trafikverkets data för norra och södra Edebytunneln var vatten- och kvävemängderna beräknade separat för tunnlarna (ibid.). Eftersom att tunnlarna kommer att drivas fram nära varandra planerar Trafikverket dock att behandla vattenmängderna som genereras från tunnlarna tillsammans (ibid.). I detta arbete adderades därför vatten- och kvävemängderna ihop, för dessa två tunnlar, när åkerarealer och lagringsvolymerna beräknades. Edebytunnlarna planeras att drivas tillsammans med en annan betydligt större tunnel och därför hittades inte drivningstiden för enbart Edebytunnlarna. Detta är anledningen till att denna information saknas i tabell 8.

För Hillestatunneln beräknades åkerarealer och lagringsvolymer för hela den vattenmängd som uppskattas att bildas vid drivning av tunneln.

3.5.1 Tillgänglig data

Vatten- och kvävemängder från tunneldrivning
För de fyra planerade tunnlarna på den norra Ostlänkensträckan erhölls vatten och kvävemängder, från Trafikverket, som beräknas bildas under tunneldrivningen (ibid.). Vatten- och kvävemängderna var givna som totala mängder per produktionsår. I detta fall är ett produktionsår definierat som en period på 12 månader då tunneldrivning pågår. Förutom de vattenmängderna som antas genereras under själva tunneldrivningen var även vattenmängderna för de efterföljande två månaderna, från sista sprängningen, inkluderade. Anledningen är att den tiden antas krävas för att kvävekoncentrationerna ska bli tillräckligt låga för att inte utgöra någon skada på miljön (ibid.).

Mängdberäkningarna av Trafikverket var grundade på ett antal ansatta parametervärden och antaganden. Mängden processvatten som hade antagits att användas var 50 m^3/d per borrigg

(Trafikverket 2023c) Vidare utgick beräkningarna från att tunneln kommer drivas fram 18 meter per vecka med en borrigg och att tunneldrivningen kommer pågå sex dagar i veckan. För de tunnlar som var aktuella i detta arbete var inläckaget av grundvatten i tunnlarna, under byggskedet, ansatt till 15 liter per minut per 100 meter av tunneln. Värdet på inläckaget i tunnlarna är grundade på hydrogeologiska undersökningar som Trafikverket gjort (ibid.).

De beräkningar som gjorts över kvävemängderna var baserade på ansatserna om att det används 2 kg sprängämne per m^3 berg och att 15 % blir kvar som en odetonerad rest antingen i de utsprängda bergsmassorna eller i själva tunneln (ibid.). Vidare hade andelen kväve i detta odetonerade sprängämne ansatts till 30 %. Andelen av kvävet som sedan hamnar i länshållningsvattnet hade av Trafikverket beräknats utifrån både 27 % och 60 % för att ta höjd för ett värsta och ett bästa scenario (ibid.).

3.5.2 Beräkningar

Mängder, koncentrationer och lagringsvolymer
Eftersom att andelen av kvävet som hamnar i länshållningsvattnet var beräknat för både 27 % och 60 % fanns det i Trafikverkets data ett lägre och ett högre värde på kvävemängden för varje tunnel och produktionsår. Ett medelvärde av dessa två kvävemängder (kg N/år) beräknades för varje tunnel och produktionsår vilket betyder att andelen kväve som hamnar i länshållningsvattnet antogs vara 43,5 %. De årliga kvävekoncentrationerna i länshållningsvattnet beräknades sedan med ekvation 5 där c är koncentrationen (kg/l) , m massan (kg) och V volymen (l).

$$c_N = \frac{m_N}{V_{H_2O}} \tag{5}$$

För Gerstabergs- och Hillestatunneln där drivningstiden var specifierad i antalet veckor beräknades antalet hela drivningsår för respektive tunnel med ekvation 6. I ekvationen är T_y antalet hela drivningsår och T_v är totala drivningstiden i veckor. Därefter beräknades antalet veckor som blev kvar på det sista och ofullständiga drivningsåret med ekvation 7 där T_{vs} är antalet veckor på det ofullständiga drivningsåret. Dessa resterande veckor beräknades slutligen om till månader med ekvation 8 där T_{ms} är antalet månader på det ofullständiga drivningsåret.

$$T_y = \frac{T_v}{52} \tag{6}$$

$$T_{vs} = T_v - T_y \cdot 52 \tag{7}$$

$$T_{ms} = \frac{T_{vs}}{7} \cdot 30 \tag{8}$$

I syfte att ta fram lagringsvolymer beräknades först årsvärdena av vattenvolymerna om till månadsvärden. För hela drivningsår användes ekvation 9 och för de ofullständiga drivningsåren användes ekvation 10. I ekvationerna är V_m månadsvolym för hela drivningsår, V_y årsvolym för hela drivningsår, V_{ms} månadsvolym för de ofullständiga drivningsåren och V_{ys} är årsvolym för de ofullständiga drivningsåren. För Edebytunnlarna där information om drivningstiden saknades

beräknades månadsvärdena fram med ekvation 9. De årliga lagringsvolymerna beräknades sedan med ekvation 11 för hela drivningsår och med ekvation 12 för de ofullständiga drivningsåren. I ekvationerna är L_y lagringsvolym för hela drivningsår och L_{ys} för ofullständiga drivningsår.

$$V_m = \frac{V_y}{12} \tag{9}$$

$$V_{ms} = \frac{V_{ys}}{T_{ms}} \tag{10}$$

$$L_y = 7 \cdot V_m \tag{11}$$

$$L_{ys} = 7 \cdot V_{ms} \tag{12}$$

Bevattningsdammar

Ett översiktligt dimensioneringförslag för bevattningsdammarna utformades utifrån de beräknade lagringsvolymerna. Det antogs att dammarna är kvadratiska och har ett vattendjup på 3 meter med en släntlutning på 1:2. En släntlutning på 1:2 innebär att det längs med dammarnas kanter finns en slänt som är dubbelt så lång i horisontellt led som i höjdled (djupet på dammarna). I detta fall blir släntens längd i horisontellt led 6 meter eftersom djupet på dammarna är 3 meter, se figur 6.

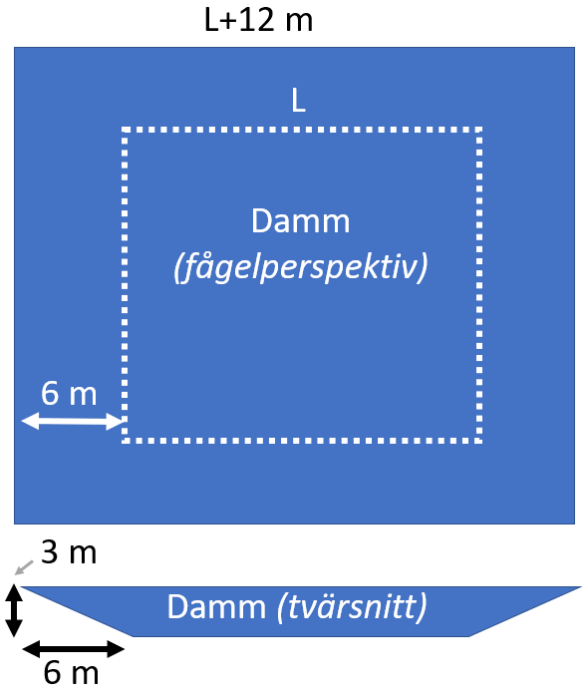
Med dessa antaganden beräknades som första steg areor på dammarna utifrån lagringsvolymerna och vattendjupet på 3 meter, se ekvation 13. I ekvationen är A_d dammarean (m^2) och L_x är lagringsvolymen (m^3) för antingen ett helt drivningsår eller ett ofullständigt drivningsår.

$$A_d = (\sqrt{\frac{L_x}{3}} + 12)^2 \tag{13}$$

Gällande dammarnas vattenbalans antogs inkommande vatten endast komma från länshållningsvattnet och från nederbörd under året. Vatten antogs avgå från dammarna enbart genom bevattning och avdunstning. När dammarnas areor var framtagna beräknades därför mängden vatten som skulle tillföras med nederbörd och avgå via avdunstning utifrån data som hämtades. Potentiell avdunstning i mm, som månadsvärden, hämtades från SMHI:s rapport från 1998 (Brandt & Grahn 1998) och nederbördsdata i mm inhämtades i form av månadvärden från SMHI:s senaste dataset för åren 1991-2020 (SMHI 2021). Gällande nederbördsdatan beräknades månadsmedelvärden från alla mätstationer i Stockholms och Södermanlands län. För den potentiella avdunstningen användes månadsvärden från området kring Östergötalands län eftersom det saknades värden för Södermanlands och Stockholms län.

Dessa månadsvärden beräknades därefter om till årsvärden vilket gav en årlig avdunstning på 575 mm och en årlig nederbördsmängd på 571 mm. Den årliga vattenbalansen beräknades sedan med ekvation 14 där V_b är volymen vatten (m^3), P_y är den årliga nederbördsmängden (m) och E_y är den årliga avdunstningen (m). Blir V_b positiv tillförs mer vattnet till dammen och blir värdet negativt försvinner det från dammen.

$$V_b = (P_y - E_y) \cdot A_d \tag{14}$$



Figur 6: Illustrerar dammen som areorna beräknats fram ifrån. Den övre bilden visar dammen uppifrån och den nedre bilden visar tvärsnittet av dammen.

Åkerarealer utifrån grödornas kväve- och vattenbehov

För tunnlarna beräknades åkerarealer för fyra vanliga grödor utifrån bevattningsbehovet och kvävebehovet, från tabellerna 1 och 2 i bakgrunden, se ekvationerna 15 och 16. I ekvationerna är A åkerarealerna (ha), m_N är massan kväve (kg), V_{H_2O} är volymen vatten (m^3) och B är bevattnings- eller kvävebehovet (m^3/ha eller kg/ha).

$$A_N = \frac{m_N}{B_N} \tag{15}$$

$$A_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{B_{H_2O}} \tag{16}$$

I beräkningarna togs det hänsyn till att grödornas vatten och kvävebehov skulle tillgodoses till största möjliga mån. Däremot tilläts inte kvävemängden per hektar att överskrida grödornas kvävebehov eftersom att detta riskerar att leda till att överskottskväve läcker ut i närliggande miljö eller skadar grödorna. För att kontrollera att ekvationerna 15 och 16 kunde användas utan att kvävemängderna överskreds beräknades de kvävemängder som skulle tillföras åkermarken per hektar om grödornas vattenbehov blev helt tillgodosett med länshållningsvattnet. Detta gjordes med ekvation 17 där m_{Nx} är den kvävemängd som tillförs på åkern om grödans hela bevattningsbehov blir tillgodosatt (kg/ha). I ekvationen är c_N koncentrationen kväve i vattnet (kg/m^3) och B_{H2O} bevattningsbehovet (m^3/ha).

$$m_{Nx} = c_N \cdot V_{H_2O} \tag{17}$$

I de fall där kvävemängderna överskred grödornas kvävebehov beräknades den mängd vatten som maximalt kunde tillföras för att grödornas kvävebehov inte skulle överskridas. Denna mängd

vatten beräknades med ekvation 18 där V_{H_2Ox} är den vattenvolym som maximalt kan användas utan att grödornas kvävebehov överskrids (m^3/ha). I de fall där kvävemängderna istället var under grödornas kvävebehov blev grödornas bevattningsbehov fullt tillgodosett. Slutligen beräknades hur stora andelar av kväve- respektive vattenbehoven som blev tillgodosedda på de åkerarealer som blev bevattnade.

$$V_{H_2Ox} = \frac{B_N}{c_N} \tag{18}$$

4 Resultat

4.1 Innehåll i länshållningsvatten

Nedan redovisas först innehållet av kväve i länshållningsvattnet. Dels genom beräkningsresultat av andelarna ammoniumkväve av totalkvävehalten och dels genom grafer med totalkvävehalten över tid. Därefter redovisas boxdiagram för koncentrationerna av arsenik (As), bly (Pb), kadmium (Cd), krom (Cr), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), zink (Zn), klorid (Cl) och suspenderat material samt pH-värdet (pH) och konduktiviteten (EC_w). En mer omfattande redovisning över statistik för samtliga parametrar från analysdatan, som behandlats i detta arbete, finns i bilaga 1. Där redovisas medelvärden, maximumvärden, minimumvärden och standardavvikelser.

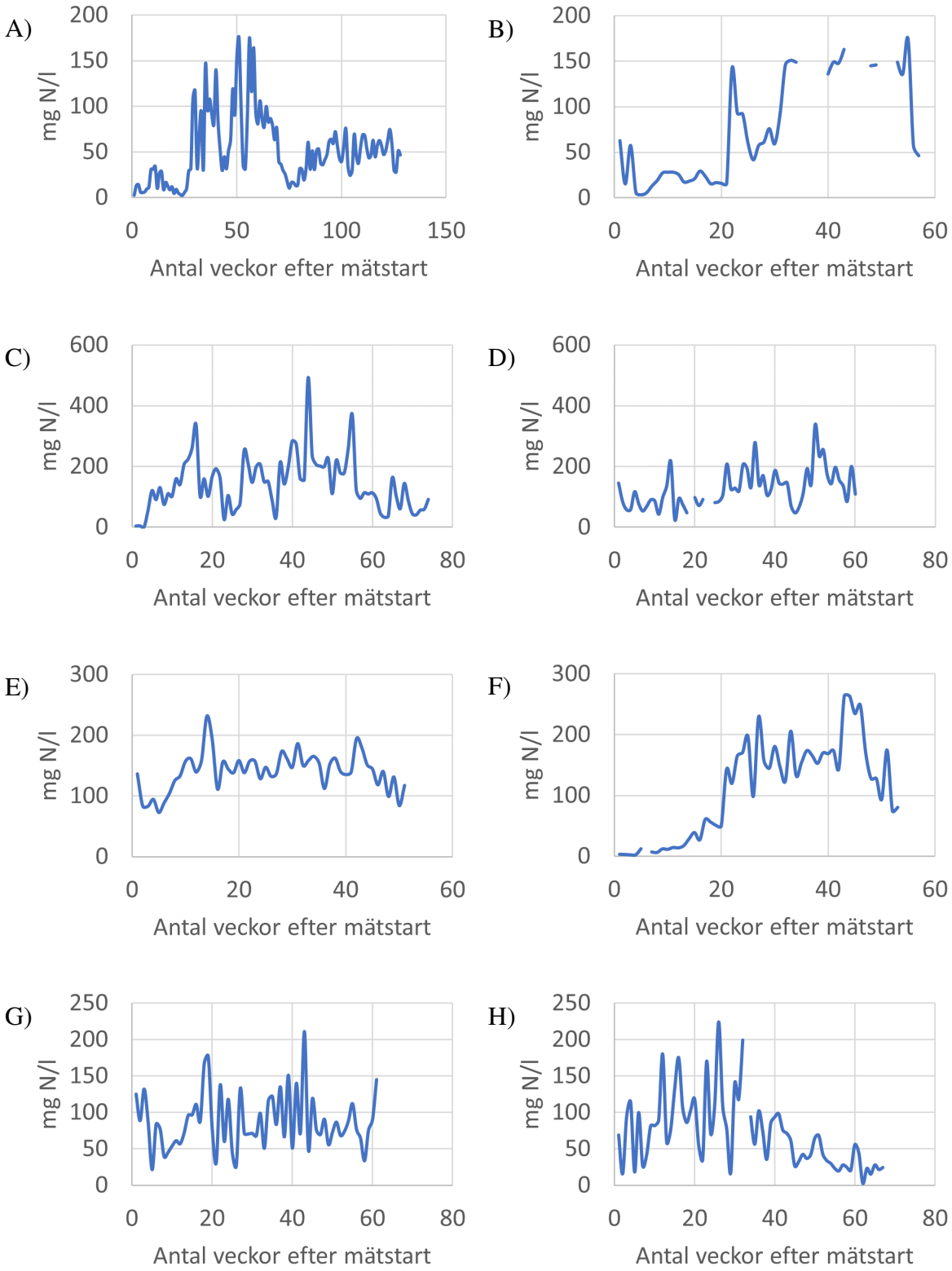
4.1.1 Innehåll av kväve

Tabell 9 visar medelvärdet av andelen ammoniumkväve av totalkvävet för varje tunnelprojekt där data över ammoniumkoncentrationer och totalkväve fanns. I tabell 9 kan det ses att medelvärdet av andelen ammoniumkväve varierar mellan 25,8% och 53,9%. Bortser man från projekt Otterhällan Haga fås en mindre spridning på resultatet där andelen ammonium varierar mellan 37,1% och 53,9%.

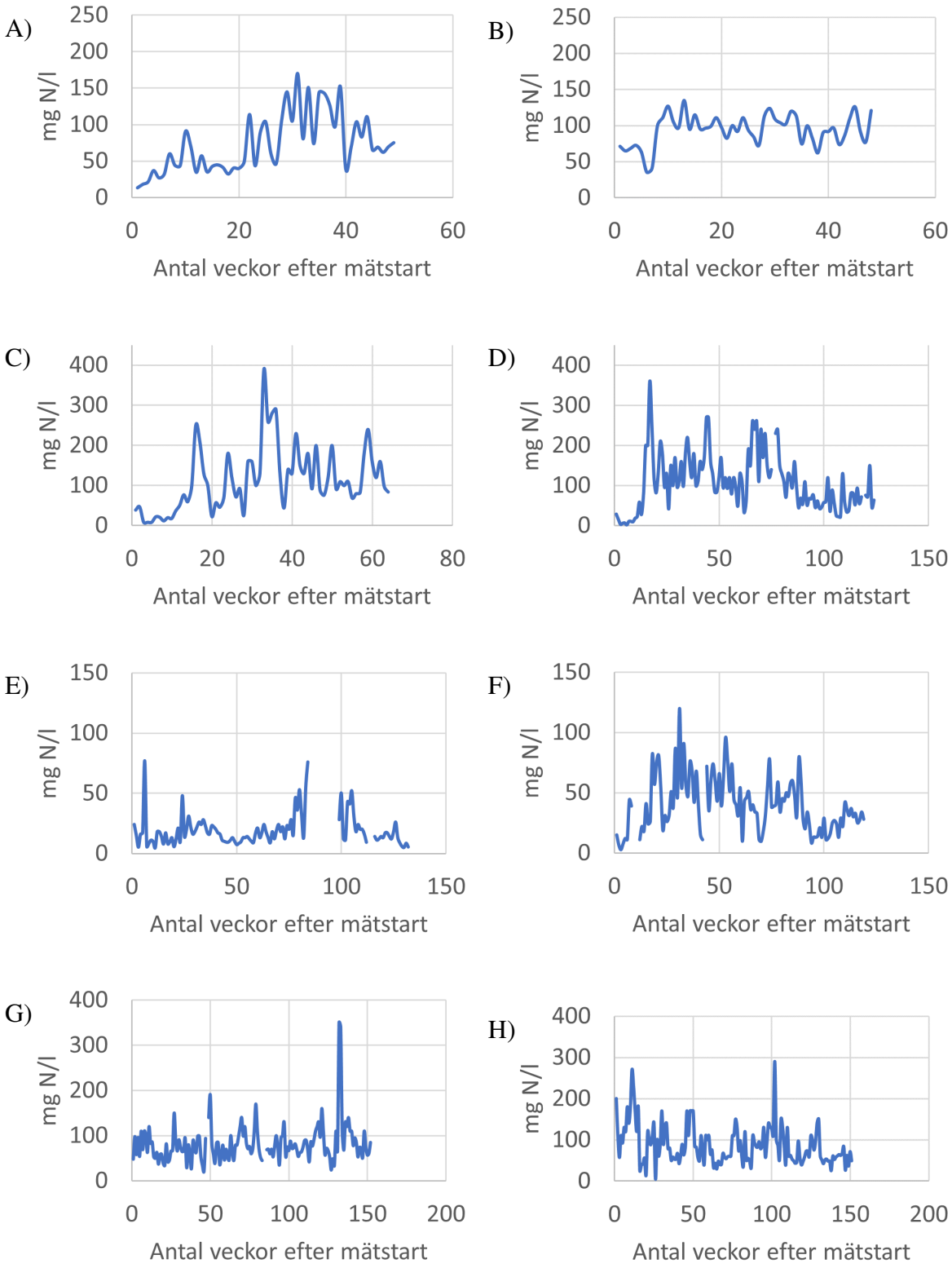
Tabell 9: Visar medelvärdet och standardavvikelsen av andelen ammonium av totalkvävehalten för fem tunnelprojekt på Västlänken.

	Medel-andel NH_4+ [%]	Stdav medel-andel [%]
Linné Haga	41,4	26,9
Otterhällan Haga	25,8	24,1
ST 206 Korsvägen	37,1	44,6
ST 207 Korsvägen	41,2	58,0
ST 209 Korsvägen	53,9	39,1

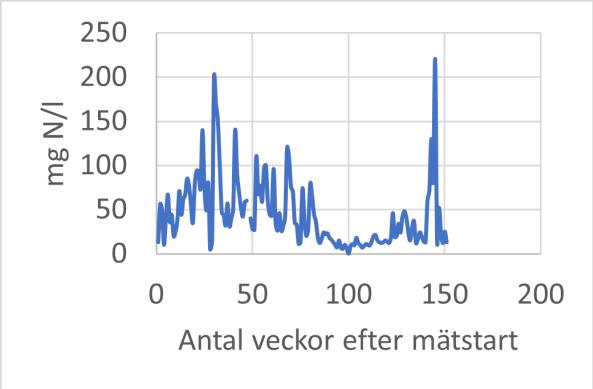
Figurerna 7, 8 och 9 visar koncentrationerna av totalkväve i länshållningsvattnet, för samtliga av de studerade projekten, över tid. I dessa figurer kan det ses att i de flesta av projekten ligger totalkvävehalterna mellan cirka 50-200 mg/l, men det finns några projekt där halter över 300 mg/l förekommer. Vidare kan det urskiljas några olika egenskaper hos graferna över totalkvävehalterna. Det kan ses att för vissa projekt finns enstaka höga koncentrationsvärden som kraftigt avviker från övriga värden. Detta kan ses för projekt 207 Korsvägen (figur 9) och 206 Korsvägen (figur 8G). För en del tunnelprojekt går kvävekoncentrationerna ner över tid. Detta kan ses för projekt Hagastaden (figur 7A), Järla östra (figur 7H), Smedslätten (figur 8D) och projekt 209 Korsvägen (figur 8F). Den motsatta trenden att koncentrationerna av kväve istället går upp med tiden kan ses för projekt Örbyleden (figur 7B), Kungsträdgården (figur 7F) och för projekt Skönviksvägen (figur 8A). Det finns även några tunnelprojekt där kvävekoncentrationerna håller sig till ungefär samma värden under större delen av mätserien. Detta kan ses för projekt Sofia (figur 7D), Gullmarsplan (figur 7E), Station Nacka (figur 8B) och projekt Otterhällan Haga (figur 8E).



Figur 7: Total-N koncentration (mg/l) i länshållningsvatten över tid. RG: (A) Hagastaden, (B) Örbyleden, (C) Londonviadukten, (D) Sofia, (E) Gullmarsplan, (F) Kungsträdgården, (G) Värmdövägen, (H) Järla östra. RG-Region Stockholm.



Figur 8: Total-N koncentration (mg/l) i länshållningsvatten över tid. RG: (A) Skönviksvägen, (B) Station Nacka. SYVAB: (C) Eolshäll, (D) Smedslätten. TRV: (E) B2 Otterhällan, (F) 209 Korsvägen, (G) 206 Korsvägen, (H) Linné Haga. RG-Region Stockholm, TRV-Trafikverket.



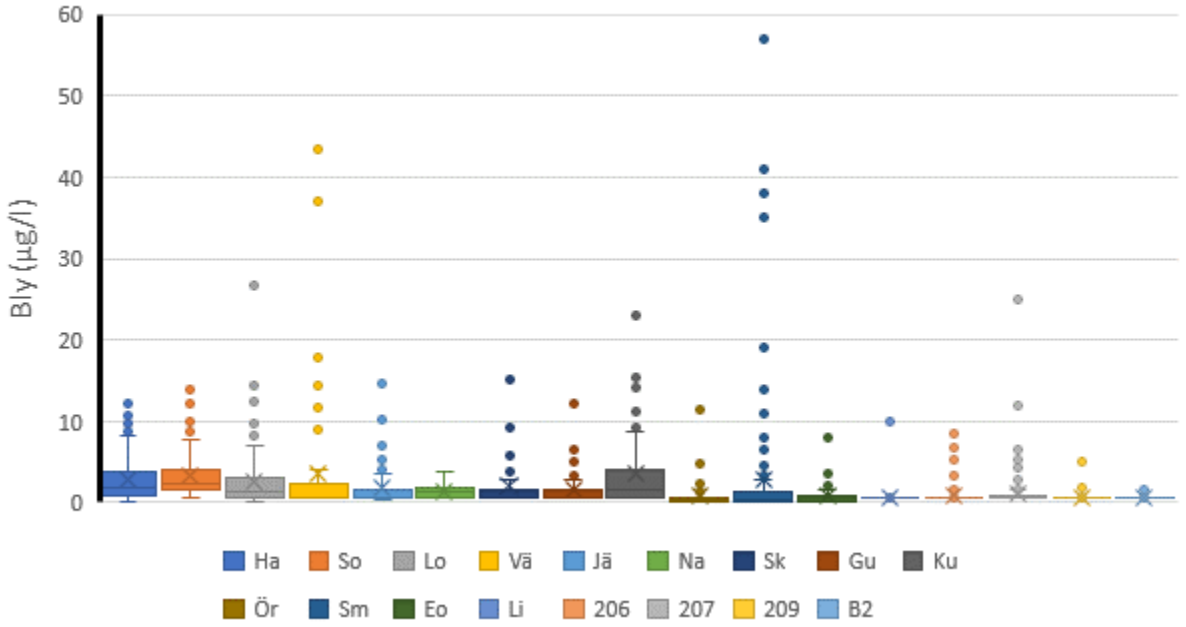
Figur 9: Grafen visar koncentrationen av total-kväve (mg/l) i länshållningsvattnet samt hur koncentrationen ändras över tid för Trafikverkets tunnelprojekt 207 Korsvägen.

4.1.2 Boxdiagram över analysdata

Figurerna 11-21 visar statistik över den insamlade mätdatan för halterna av bly, arsenik, krom, suspenderat material, kadmium, koppar, kvicksilver, zink, klorid och nickel samt för konduktiviteten och pH-värdet. Detta illustreras genom boxdiagram. Den horisontella linjen i boxdiagrammet indikerar medianen medan krysset indikerar medelvärdet av dataserierna. Inne i lådan finns den mittersta hälften av datavärdena. Den undre gränsen av lådan (undre kvartilen) indikerar 25 % -värdet i dataserien och den övre delen av lådan (övre kvartilen) indikerar 75 % -värdet. Svansarna ovanför och under lådan kallas whiskers och indikerar variabiliteten utanför den undre och övre kvartilen. De värden som ligger utanför dessa whiskers är outliers och definieras av att de ligger längre ifrån lådan än 1,5 gånger avståndet mellan de yttre kvartilerna.

Bly

Utvärderas innehållet av bly i länshållningsvattnet utifrån figur 10 och tabell 10 kan följande observeras. Blyhalterna i veckoproverna varierade mellan under 1 $\mu g/l$ upp mot nästan 60 $\mu g/l$. Medelhalterna i projekten varierade mellan 0,5 och 3,6 $\mu g/l$. Generellt var blyhalterna jämnare och lägre i de projekt där flockningssteg fanns jämfört med de projekt utan flockningssteg.



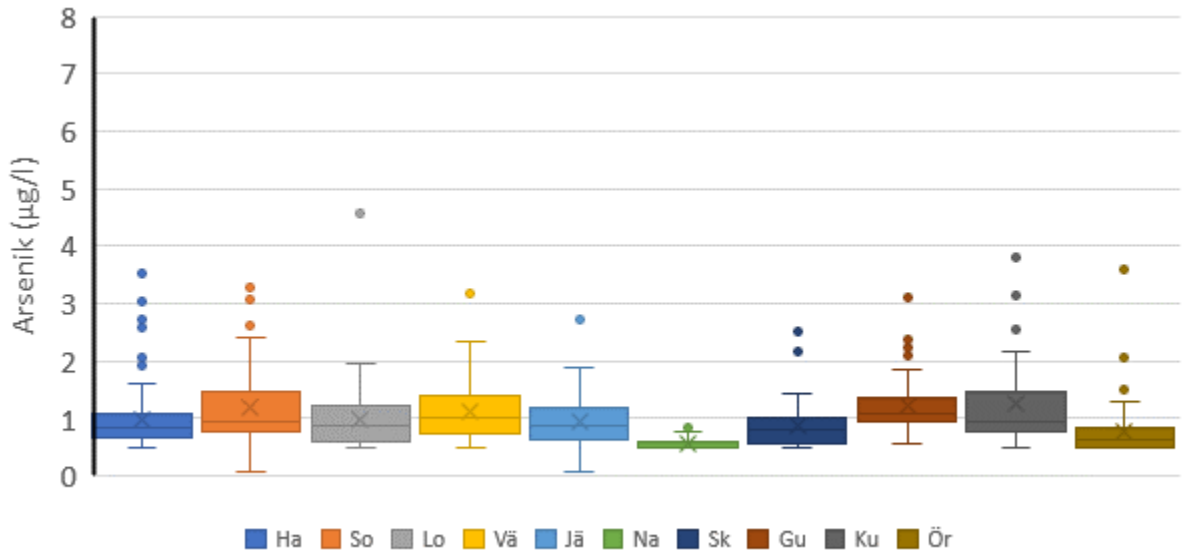
Figur 10: Blyhalterna ($\mu g/l$) redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***206=ST 206 Korsvägen****,* ***207=ST 207 Korsvägen****,* ***209=ST 209 Korsvägen****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****.*

Tabell 10: Medelhalterna av bly ($\mu g/l$) för de olika projekten. Medelhalterna syns även som ett kryss i figur 10.

Ha	**Lo**	**Ör**	**Gu**	**Ku**	**Vä**	**Jä**	**Sk**	**So**
2,87	2,67	0,824	1,53	3,63	3,49	1,73	1,00	3,33
Na	**Li**	**B2**	**206**	**207**	**209**	**Eo**	**Sm**	
1,35	0,580	0,524	0,756	1,18	0,575	0,802	2,81	

Arsenik

Utvärderas innehållet av arsenik i länshållningsvattnet utifrån figur 11 och tabell 11 kan följande observeras. Det fanns ingen större variation i halterna, i princip varierade halterna endast mellan cirka 1 och 4 $\mu g/l$ och medelhalterna mellan 0,6 och 1,3 $\mu g/l$. Medelhalterna är lägst i de två projekt som hade flockningssteg i reningen.



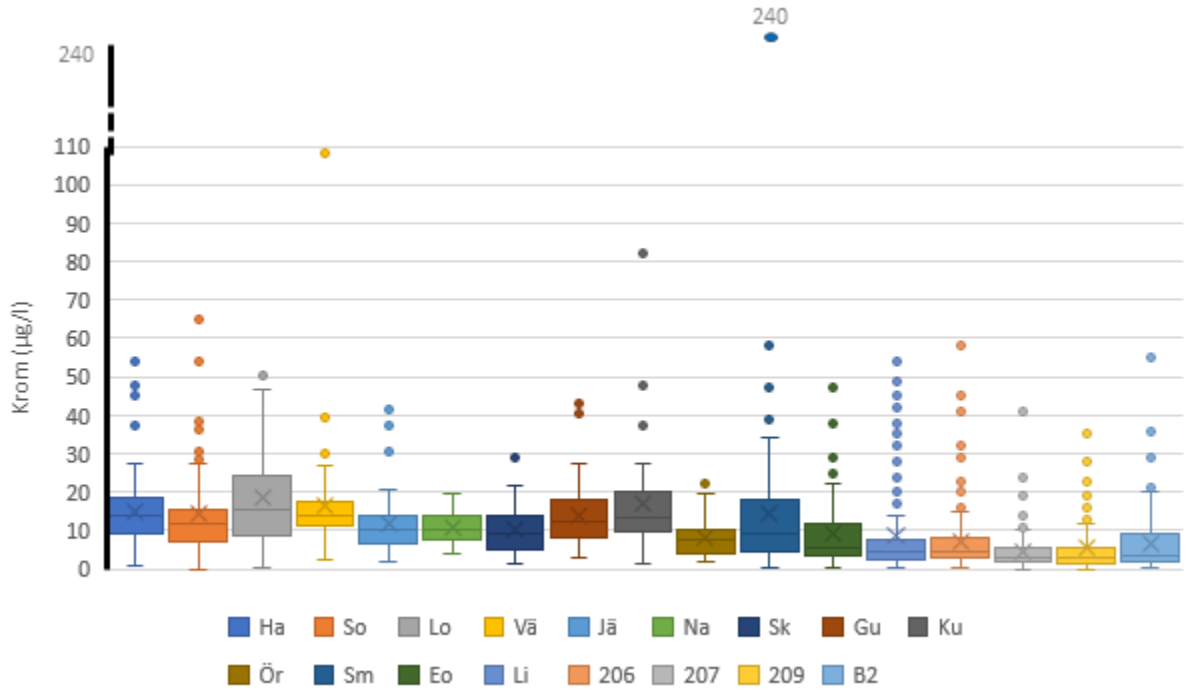
Figur 11: Arsenikhalterna ($\mu g/l$) redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****.*

Tabell 11: Medelhalterna av arsenik ($\mu g/l$) för de olika projekten. Medelhalterna syns även som ett kryss i figur 11.

Ha	**Lo**	**Ör**	**Gu**	**Ku**	**Vä**	**Jä**	**Sk**	**So**
0,973	0,981	0,778	1,22	1,25	1,12	0,943	0,875	1,18
Na						**Eo**	**Sm**	
0,557						0,676	1,17	

Krom

Det var hyfsat stor variation i halterna mellan projekten då halterna varierade mellan några $\mu g/l$ upp mot 240 $\mu g/l$ (se figur 12). Medelhalterna var dock generellt lägre i projekt med flockningssteg jämfört med de projekt utan flockningssteg (se figur 12 och tabell 12). I de projekt med flockning var medelhalterna under 11 $\mu g/l$ och i de projekt utan flockning varierade medelhalterna mellan 10 och 17 $\mu g/l$. Ingen skillnad i kromhalterna kan observeras mellan de projekt där sexvärt krom reducerades till trevärt krom, i den lokala reningen, jämfört med de projekt där ingen sådan reducering skedde.

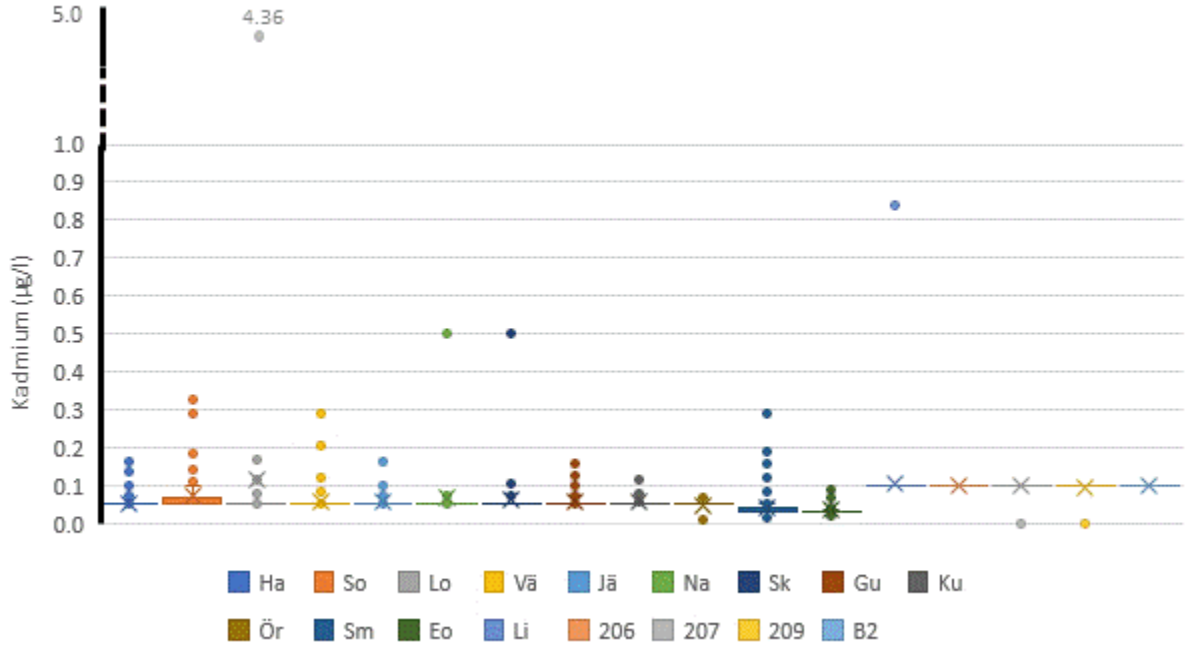


Figur 12: Kromhalterna ($\mu g/l$) redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, Na=Station Nacka, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***206=ST 206 Korsvägen****,* ***207=ST 207 Korsvägen****,* ***209=ST 209 Korsvägen****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****.*

Tabell 12: Medelhalterna av krom ($\mu g/l$) för de olika projekten. Medelhalterna syns även som ett kryss i figur 12.

Ha	**Lo**	**Ör**	**Gu**	**Ku**	**Vä**	**Jä**	**Sk**	**So**
14,9	18,5	8,01	13,9	17,2	16,4	11,8	10,0	14,5
Na	**Li**	**B2**	**206**	**207**	**209**	**Eo**	**Sm**	
10,8	8,68	6,39	6,86	4,73	5,61	9,32	14,5	

Kadmium
Alla halter var i princip under 0,5 $\mu g/l$ (se figur 13 och tabell 13). Det kan även ses att de flesta av mätpunkterna i varje projekt hade ungefär samma värde. Detta visas genom att boxarna är väldigt små eller obefintliga. Anledningen är att de flesta mätvärdena var under detektionsgränsen (0,05 och 0,1) vilket i analysdatan resulterade i värdet för detektionsgränsen.



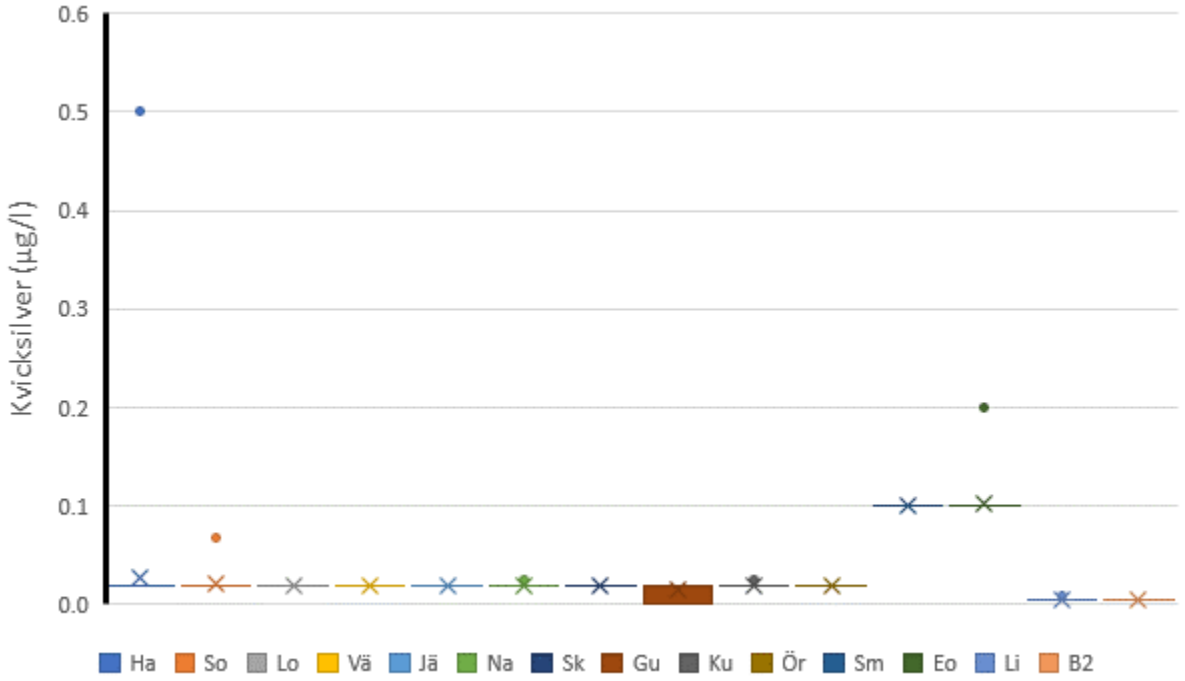
Figur 13: Kadmiumhalterna ($\mu g/l$) redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***206=ST 206 Korsvägen****,* ***207=ST 207 Korsvägen****,* ***209=ST 209 Korsvägen****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****.*

Tabell 13: Medelhalterna av kadmium ($\mu g/l$) för de olika projekten. Medelhalterna syns även som ett kryss i figur 13.

Ha	**Lo**	**Ör**	**Gu**	**Ku**	**Vä**	**Jä**	**Sk**	**So**
0,0549	0,114	0,0493	0,0597	0,0556	0,0601	0,0553	0,0632	0,0718
Na	**Li**	**B2**	**206**	**207**	**209**	**Eo**	**Sm**	
0,0703	0,105	0,100	0,100	0,0974	0,0966	0,0349	0,0415	

Kvicksilver

Utvärderas innehållet av kvicksilver i länshållningsvattnet utifrån figur 14 och tabell 14 kan följande observeras. De flesta av mätpunkterna i varje projekt hade ungefär samma värde. Anledningen är att de flesta mätvärdena var under detektionsgränsen (0,02) för analysverktyget och fick därför värdet för detektionsgränsen.

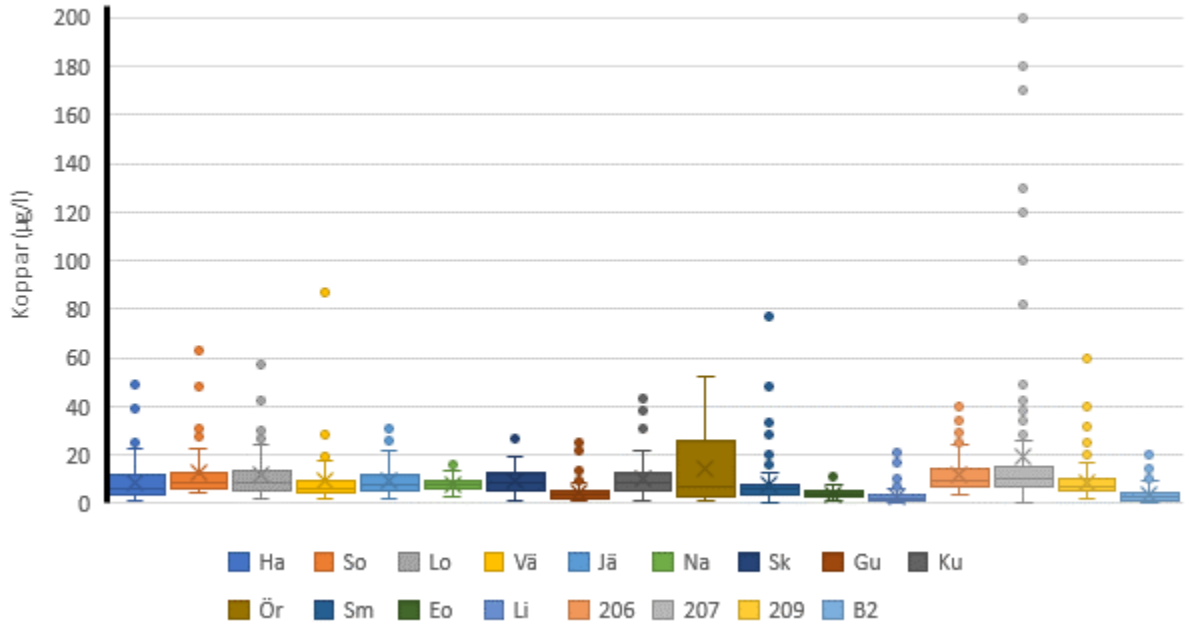


Figur 14: Kvicksilverhalterna ($\mu g/l$) redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****.*

Tabell 14: Medelhalterna av kvicksilver ($\mu g/l$) för de olika projekten. Medelhalterna syns även som ett kryss i figur 14.

Ha	**Lo**	**Ör**	**Gu**	**Ku**	**Vä**	**Jä**	**Sk**	**So**
0,0275	0,0200	0,0200	0,0149	0,0201	0,0200	0,0200	0,0200	0,0208
Na	**Li**	**B2**				**Eo**	**Sm**	
0,0201	0,00323	0,00500				0,102	0,100	

Koppar
Kopparhalterna varierade mellan några $\mu g/l$ upp mot cirka 200, och medelhalterna var generellt 12 $\mu g/l$ eller under med några undantag (se figur 15 och tabell 15. Det verkar inte finnas någon märkbar skillnad i medelhalterna eller spridningen på värdena mellan projekt med ett flockningssteg jämfört med projekt utan flockning. För projekt Örbyleden, där en del av länshållningsvattnet återanvänds som processvatten efter rening, kan ett högre medelvärde och en större spridning på värdena ses.



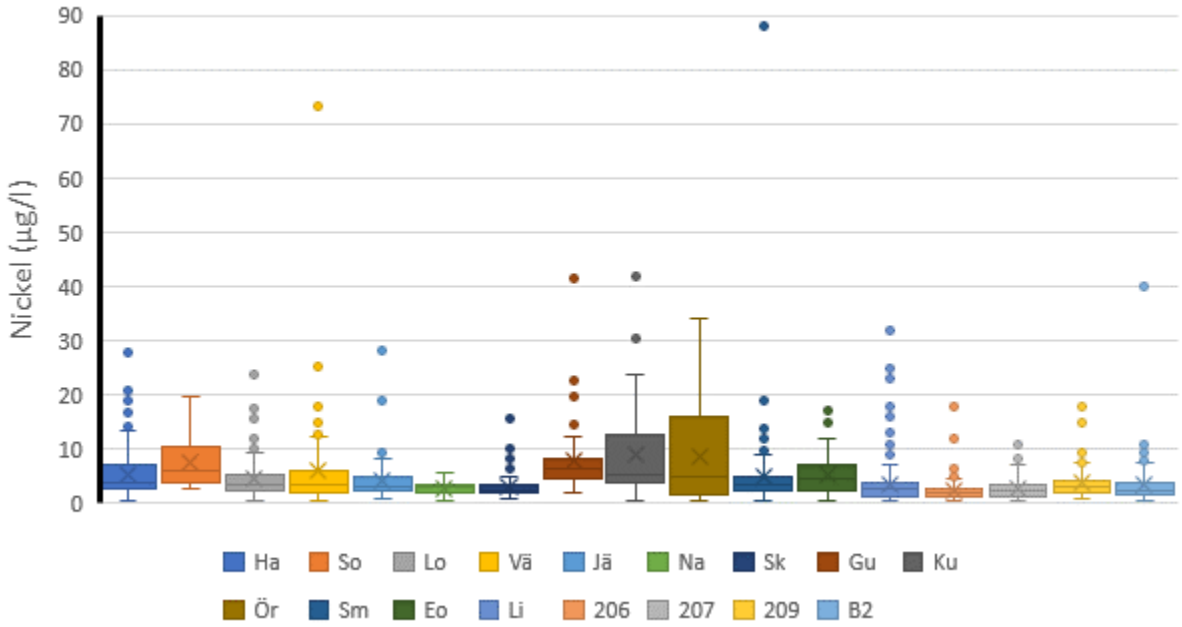
Figur 15: Kopparhalterna ($\mu g/l$) redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***206=ST 206 Korsvägen****,* ***207=ST 207 Korsvägen****,* ***209=ST 209 Korsvägen****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****.*

Tabell 15: Medelhalterna av koppar ($\mu g/l$) för de olika projekten. Medelhalterna syns även som ett kryss i figur 15.

Ha	**Lo**	**Ör**	**Gu**	**Ku**	**Vä**	**Jä**	**Sk**	**So**
8,6	11,7	14,2	4,84	10,5	9,22	9,20	9,54	12,4
Na	**Li**	**B2**	**206**	**207**	**209**	**Eo**	**Sm**	
7,88	2,79	3,83	12,1	19,1	8,86	4,09	7,88	

Nickel

Utvärderas innehållet av nickel i länshållningsvattnet utifrån figur 16 och tabell 16 kan följande observeras. Medelhalterna varierar mellan 2,5 och 9,1 $\mu g/l$. I de projekt där flockningssteg ingick var medelhalten, variationen och spridningen i halterna generellt lägre jämfört med de som inte hade flockning med undantag för Örbyleden och Skönviksvägen. I projekt Örbyleden återcirkuleras delar av länshållningsvattnet som processvatten efter rening vilket kan förklara det högre medelvärdet och spridningen på värdena.



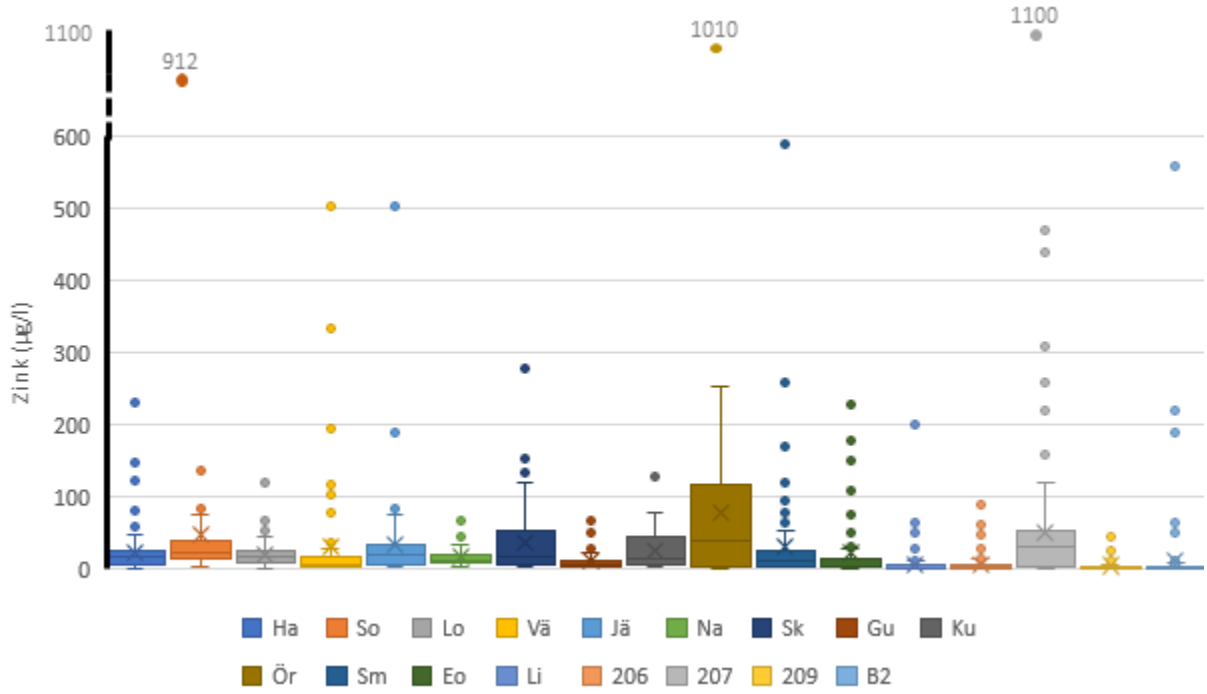
Figur 16: Nickelhalterna ($\mu g/l$) redovisas för projekten. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***206=ST 206 Korsvägen****,* ***207=ST 207 Korsvägen****,* ***209=ST 209 Korsvägen****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****.*

Tabell 16: Medelhalterna av nickel ($\mu g/l$) för de olika projekten. Medelhalterna syns även som ett kryss i figur 16.

Ha	**Lo**	**Ör**	**Gu**	**Ku**	**Vä**	**Jä**	**Sk**	**So**
5,36	4,71	8,63	7,75	9,07	6,15	4,31	3,23	7,59
Na	**Li**	**B2**	**206**	**207**	**209**	**Eo**	**Sm**	
2,94	3,68	3,48	2,52	2,65	3,74	5,34	4,88	

Zink

Generellt kan en mycket stor variation i projektens zinkhalter ses i figur 17. Halterna sträcker sig från några 10-tals $\mu g/l$ upp mot flera hundra $\mu g/l$. En stor variation mellan projektens medelhalter kan också ses i tabell 17. Medelhalterna ligger på 7-50 $\mu g/l$ för alla projekt utan Örbyleden som har en medelhalt på 80 $\mu g/l$. Det verkar dock inte finnas någon märkbar skillnad i medelhalterna mellan projekt med ett flockningssteg jämfört med projekt utan flockning.



Figur 17: Zinkhalterna ($\mu g/l$) redovisas för projekten. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***206=ST 206 Korsvägen****,* ***207=ST 207 Korsvägen****,* ***209=ST 209 Korsvägen****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****.*

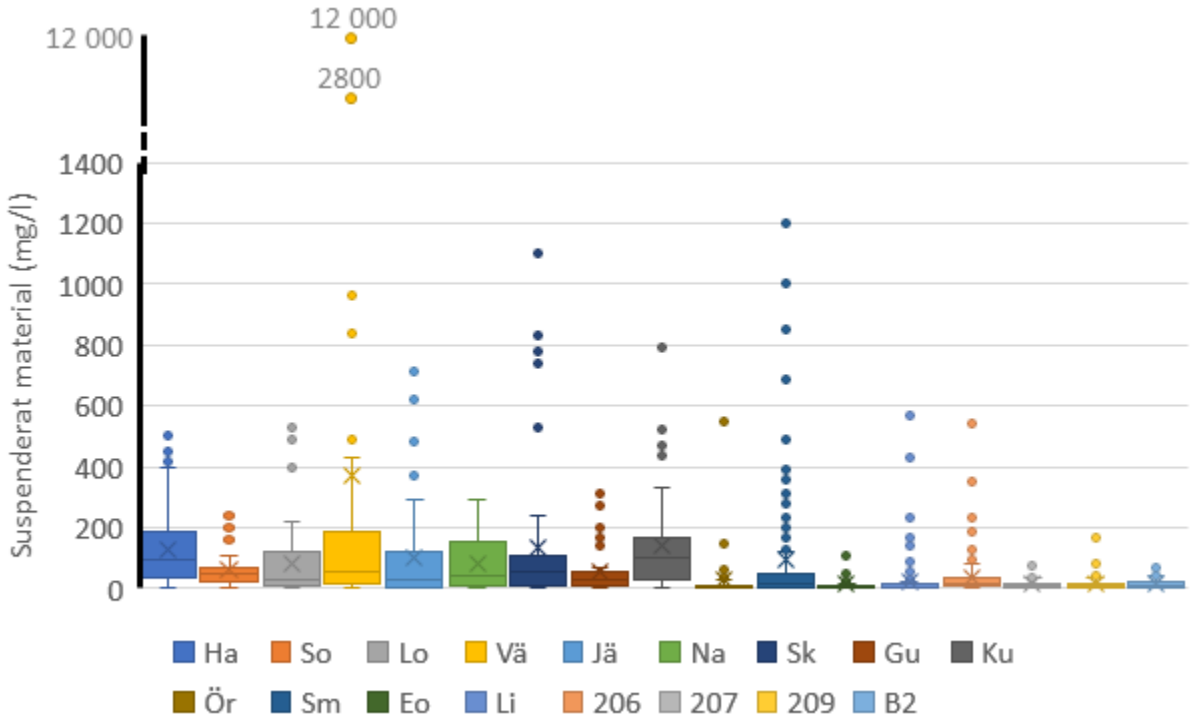
Tabell 17: Medelhalterna av zink ($\mu g/l$) för de olika projekten. Medelhalterna syns även som ett kryss i figur 17.

Ha	**Lo**	**Ör**	**Gu**	**Ku**	**Vä**	**Jä**	**Sk**	**So**
24,0	21,70	78,2	11,7	26,5	32,7	33,2	38,2	47,7
Na	**Li**	**B2**	**206**	**207**	**209**	**Eo**	**Sm**	
16,9	7,00	13,7	7,56	52,4	5,40	23,6	31,6	

Suspenderat material

I figur 18 kan det ses att de flesta projekt med ett flockningssteg har en lägre medelhalt av suspenderat material (13-27 mg/l) jämfört med övriga projekt (58-373 mg/l). De projekt som haft ett flockningssteg i reningen av vattnet tillhör de projekt som både har de lägsta medelhalterna av suspenderat material och den minsta spridningen på mätvärdena. Undantaget till detta är projekt Station Nacka som har en relativt hög medelhalt och spridning på värdena. Projekt Eolshäll har en av de lägsta medelhalterna och spridningar i mätdatan men för detta projekt saknas information om reningen, se tabell 4. Medelhalterna av suspenderat material syns för alla projekt i tabell 18.

De två högsta halterna av suspenderat material uppmättes, i projekt Värmdövägen, på 2800 mg/l och 12 000 mg/l. Vid dessa två tillfällen uppmättes också Värmdövägens två högsta halter av zink (502 och 333 $\mu g/l$), nickel (73,2 och 25,3 $\mu g/l$), kadmium (0,29 och 0,21 $\mu g/l$), krom (108 och 39,2 $\mu g/l$) bly (43,5 och 37 $\mu g/l$) samt Värmdövägens högsta halt av koppar (86,9 $\mu g/l$). I projekt Smedslätten är den högsta uppmätta halten av suspenderat material på 1200 mg/l. Vid samma mättillfälle uppmättes också projektets högsta halt av zink (590 $\mu g/l$), nickel (88 $\mu g/l$), krom (240 $\mu g/l$) och bly (57 $\mu g/l$).



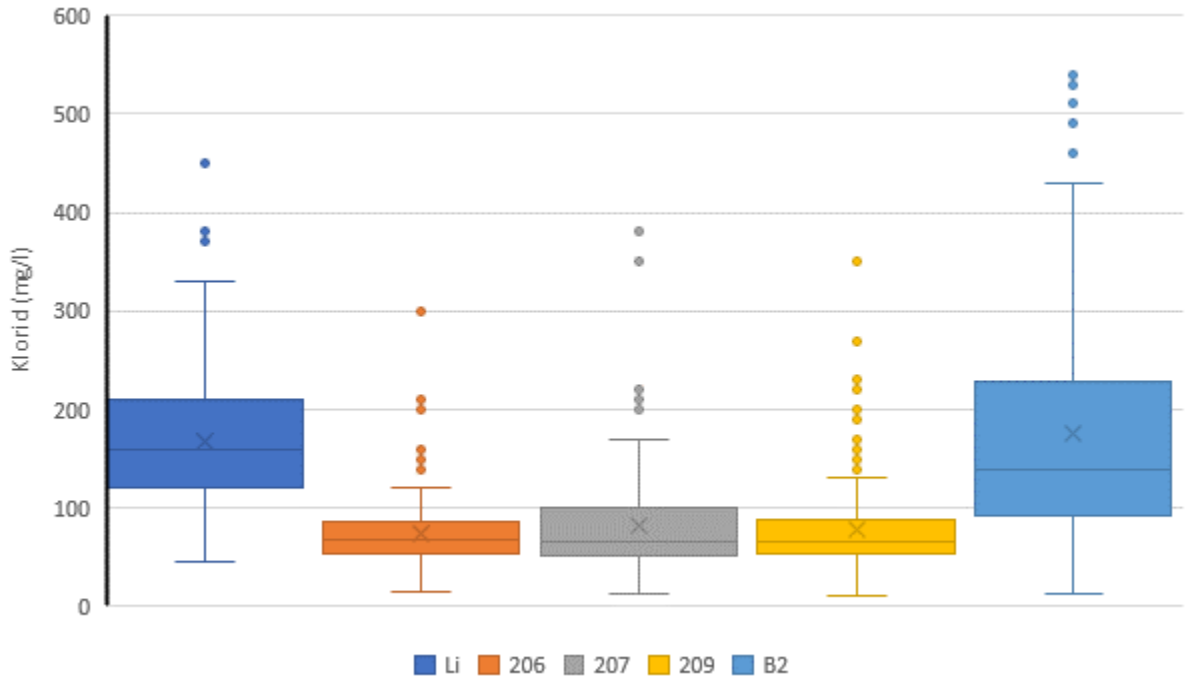
Figur 18: Halterna av suspenderat material (mg/l) redovisas. De projekt där ett flockningssteg ingått i reningen har fått projektnamnen fetstilta. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***206=ST 206 Korsvägen****,* ***207=ST 207 Korsvägen****,* ***209=ST 209 Korsvägen****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****.*

Tabell 18: Medelhalterna av suspenderat material (mg/l) för de olika projekten. Medelhalterna syns även som ett kryss i figur 18.

Ha	**Lo**	**Ör**	**Gu**	**Ku**	**Vä**	**Jä**	**Sk**	**So**
129	78,9	26,5	58,0	139	373	100	134	59,6
Na	**Li**	**B2**	**206**	**207**	**209**	**Eo**	**Sm**	
81,6	24,3	15,5	35,9	13,5	15,9	13,3	95,1	

Klorid

Utvärderas kloridhalten i länshållningsvattnet från Västlänkens projekt utifrån figur 19 och tabell 19 kan följande observeras. I projekt Linné Haga och Otterhällan Haga finns en ganska stor variation i kloridhalterna. Dessa två projekt har också de högsta medelhalterna på cirka 170 mg/l medans de tre andra projekten hade medelhalter runt 80 mg/l.



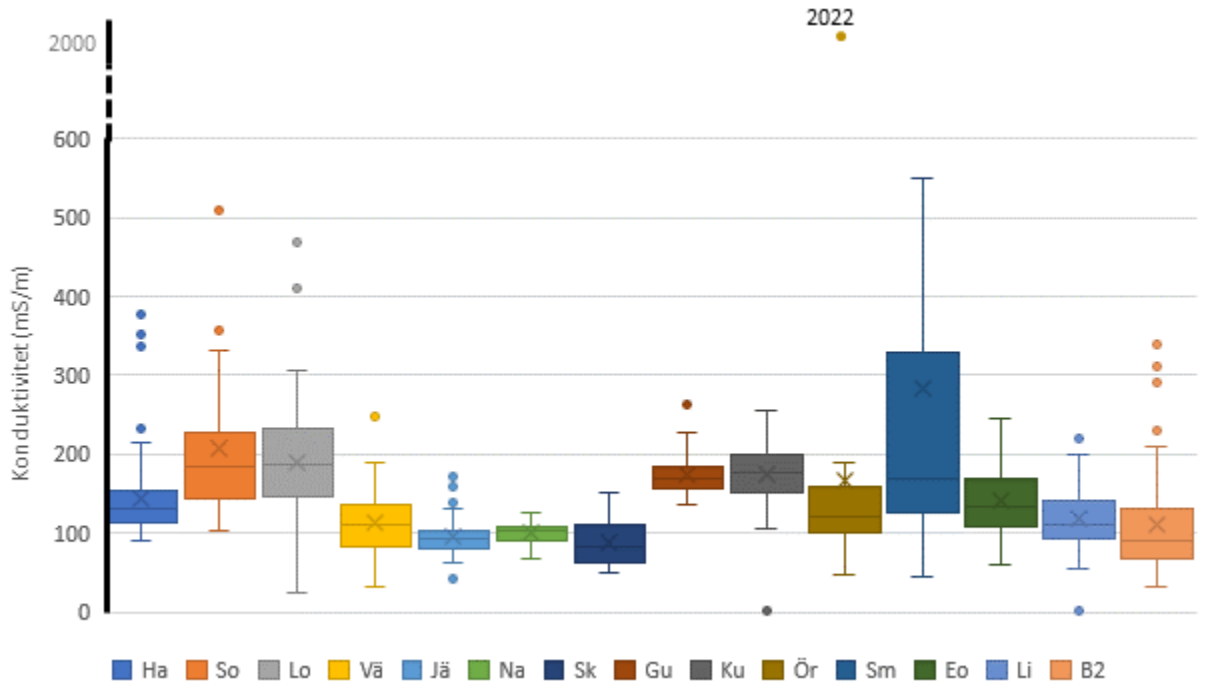
Figur 19: Kloridhalterna (mg/l) redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. ***Li= ST 210 Linné Haga, 206=ST 206 Korsvägen, 207=ST 207 Korsvägen, 209=ST 209 Korsvägen, B2=ST B2 Otterhällan Haga.***

Tabell 19: Medelhalterna av klorid (mg/l) för de olika projekten. Medelhalterna syns även som ett kryss i figur 19.

Li	**B2**	**206**	**207**	**209**
167	175	75,1	82,1	78,4

Konduktivitet

Utvärderas konduktiviteten i länshållningsvattnet utifrån figur 20 och tabell 20 kan följande observeras. Det finns en stor variation i konduktivitetsvärden mellan projekten. Vissa av projekten har låga värden med liten variation (Jä, Na, Gu) och andra med höga medelvärden och stor variation (So, Lo, Sm). Skillnad mellan det högsta och lägsta medelvärdet var nästan trippel så stor (94,1 jämfört med 284). Det höga konduktivitetsvärdet i projekt Örbyleden på 2022 mS/m uppmättes inte vid samma tillfälle som någon av de högsta halterna av metaller eller suspenderat material i projektet.



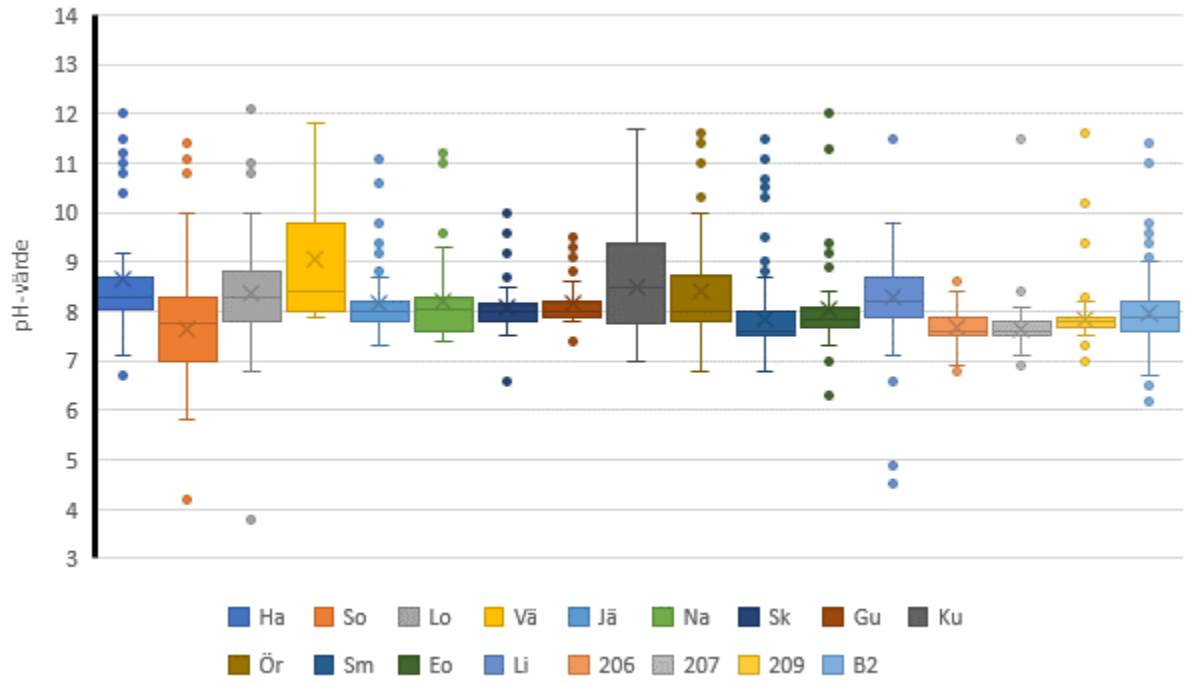
Figur 20: Konduktiviteten (mS/m) redovisas för projekten. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****.*

Tabell 20: Medelvärden av konduktiviteten (mS/m) för de olika projekten. Medelvärdena syns även som ett kryss i figur 20.

Ha	**Lo**	**Ör**	**Gu**	**Ku**	**Vä**	**Jä**	**Sk**	**So**
142	190	166	174	174	112	94,1	88,0	207
Na	**Li**	**B2**				**Eo**	**Sm**	
99,9	118	110				140	284	

pH-värde

I figur 21 och tabell 21 kan det ses att projektens genomsnittliga pH-värden ligger mellan 7,6 och 9,1. Det kan även konstateras att i de flesta projekt uppmättes pH-värden över 10 vid flera tillfällen.



Figur 21: pH-värdena för projekten redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,****Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***206=ST 206 Korsvägen****,* ***207=ST 207 Korsvägen****,* ***209=ST 209 Korsvägen****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****.*

Tabell 21: Medelvärden av pH för de olika projekten. Medelvärdena syns även som ett kryss i figur 21.

Ha	**Lo**	**Ör**	**Gu**	**Ku**	**Vä**	**Jä**	**Sk**	**So**
8,65	8,39	8,40	8,15	8,69	9,07	8,16	8,07	7,82
Na	**Li**	**B2**	**206**	**207**	**209**	**Eo**	**Sm**	
8,21	8,30	7,96	7,68	7,63	7,84	8,04	7,90	

4.2 Innehåll i länshållningsvatten i förhållande till referensvärden

Nedan följer först en redovisning av de referensvärden som inhämtades i detta arbete. Sedan följer boxdiagram med analysdatan tillsammans med några av referensvärdena. I dessa boxdiagramm är inga extremvärden inkluderade för att möjligöra en tydligare jämförelse mellan medelvärdena i länshållningsvattnet och referensvärdena.

4.2.1 Inhämtade referensvärden

Tabellerna 22 och 23 visar referensvärden för koncentrationerna av As, Pb, Cd, Cr, Hg, Ni, Zn samt för Cl. Referensvärden för pH-värdet och konduktiviteten finns också i tabellerna. Referensvärden är hämtade från analysprover av vattenkällorna grundvatten (G.V), ytvatten (Y.V) och renat avloppsvatten. Information om vilken typ av grundvattentäkt som varje värde kommer ifrån samt vilket avloppsreningsverk som halterna i avloppsvattnet kommer ifrån är också inkluderat i tabellerna. Gällande typ av grundvattentäkt används följande förkortningar: Större vattentäkt i jord (S.J), större vattentäkt i berg (S.B), enskild brunn i jord (E.J) eller enskild brunn i berg (E.B).

I tabellerna finns även riktlinjer för bevattningsvatten från FAO. För konduktiviteten finns två värden i FAO:s riktlinjer, ett lägre och ett högre riktvärde. Överskrids det första värdet i bevattningsvattnet bör användningen av vattnet begränsas lätt till måttligt och överskrids det högre gränsvärdet bör vattnet istället användas med stor försiktighet. Vatten som har konduktivitetsvärden som är lägre än det undre riktvärdet kan enligt riktlinjerna användas obehindrat. Gällande kloridhalterna är de övre två riktvärdena definierade på samma vis som för konduktivitetsvärdena och gäller för ytbevattning. Det undre värdet gäller istället för sprinklerbevattning och om detta värde överskrids i bevattningsvattnet bör användningen av vattnet begränsas lätt till måttligt.

Livsmedelverkets föreskrifter för drickvatten finns också med i tabellen och gällande koncentrationsvärdet för krom finns två gränsvärden där värdet i parentes slutar att gälla år 2026.

Slutligen finns omberäknade värden av REVAQ:s gränsvärden för avloppslam från 2022 inkluderade i tabellen. Dessa värden är omberäknades från kg/ha till koncentrationer i vatten med antingen en årlig bevattningsmängd på 250 mm eller 50 mm.

Tabell 22: Referensvärden, gränsvärden och riktlinjer för koncentrationerna av metallerna arsenik (As), bly (Pb), kadmium (Cd), koppar (Cu), krom (Cr) och kvicksilver (Hg). Referensvärdena för grundvatten (G.V) är antingen från större vattentäkt i jord (S.J), större vattentäkt i berg (S.B), enskild brunn i jord (E.J) eller enskild brunn i berg (E.B). Detta syns i raden under referensvärdena för grundvatten. De avloppsverk, som referensvärdena för renat avloppsvatten kommer ifrån, syns i tabellraden ovanför respektive värde.

	As $(\mu g/l)$	Pb $(\mu g/l)$	Cd $(\mu g/l)$	Cu $(\mu g/l)$	Cr $(\mu g/l)$	Hg $(\mu g/l)$
G.V Medelvärde (min-max)	0,35–7,76	0,29–3,69	0,02–0,08	4–91	0,56–0,99	
Typ av G.V -täkt (min-max)	(S.J-E.J)	(S.J-E.J)	(S.J-E.J)	(S.J-E.J)	(E.J-S.B)	
Y.V(median)		0,300	0,009	0,590		
Avloppsreningsverk	Ryaverket	Ellinge	samtliga	Ryaverket	Henriksdal	Samtliga
Renat avloppsvatten (medelvärde)	0,8	0,59	<0,05	12	1,5	<0,02
FAO:s riktlinjer för bev-vatten	100	5000	10	200	100	
REVAQ 2022 250 mm	21,2	10	0,204	120	16	0,22
REVAQ 2022 50 mm	106	50	1,02	600	80	1,1
Livsmedelverkets regler för dricksvatten 2023	5,0	5,0	0,5	2000	25 (50 $(\mu g/l)$ tom år 2026)	1,0

Tabell 23: Referensvärden, gränsvärden och riktlinjer för koncentrationerna av zink (Zn), nickel (Ni) och klorid (Cl). Värden för konduktiviteten (EC_W) samt för pH-värden är också inkluderat i tabellen. Referensvärdena för grundvatten (G.V) är antingen från större vattentäkt i jord (S.J), större vattentäkt i berg (S.B), enskild brunn i jord (E.J) eller enskild brunn i berg (E.B). Detta syns i raden under referensvärdena för grundvatten. De avloppsverk, som referensvärdena för renat avloppsvatten kommer ifrån, syns i tabellraden ovanför respektive värde.

	Zn ($\mu g/l$)	Ni ($\mu g/l$)	EC_w [mS/m]	Cl (mg/l)	pH-värde
G.V Medelvärde (min-max)	7–209	0,33–3,73	28,7–51,7	0,0216–0,0543	6,7–7,7
Typ av G.V-täkt (min-max)	(S.B-E.J)	(S.B-E.B)	(E.J-E.B)	(S.J-E.B)	(E.J-S.B)
Y.V(median)	1,90	0,710			
Avloppsreningsverk	Nolhaga	Ön			
Renat avloppsvatten (medelvärde)	48	11			
FAO:s riktlinjer för bev-vatten	2000	200	70–300	142–355 106	6,5–8,4
REVAQ 2022 250 mm	240	10			
REVAQ 2022 50 mm	1200	50			
Livsmedelverkets regler för dricksvatten 2023		20	250	250	6,5–9,5

Det kan ses i tabellerna 22 och 23 att det högsta medelvärdet i grundvatten av alla vattenkvalitetsparametrar förutom konduktiviteten, pH-värde samt krom- och kloridkoncentrationerna är flera gånger större än det lägsta medelvärdet i grundvatten. Det ses även att det högsta medelvärdet kommer från enskild brunn (E.J eller E.B) för samtliga parametrar förutom krom och pH-värdet. Det minsta medelvärdet kommer istället från större vattentäkter (S.B eller S.J) för alla parametrar förutom krom, konduktiviteten och pH-värdet.

Gällande metallkoncentrationerna i ytvatten är koncentrationerna av kadmium, koppar och zink flera gånger mindre än det minsta medelvärdet i grundvatten. För nickel och bly är värdena istället lite högre än de lägsta medelhalterna i grundvatten.

Metallkoncentrationerna i renat avloppsvatten täcks in i spannet som finns över halterna i grundvatten för samtliga metaller förutom krom och nickel som däremot finns i högre medelkoncentrationer i renat avloppsvatten än i grundvatten.

I tabellerna 22 och 23 kan det även ses att FAO:s riktlinjer tillåter mycket höga parametervärden relativt vad som har uppmätts i de tidigare nämnda vattenkällorna. Detta gäller också när riktlinjerna jämförs med REVAQ:s gränsvärden för bevattning med 250 mm. Jämförs riktlinjerna istället med REVAQ:s gränsvärden för bevattning med 50 mm tillåts dock högre metallhalter i REVAQ:s gränsvärden (50 mm) för arsenik och koppar.

Gällande metallerna bly, kadmium, krom och nickel tillåter Livsmedelverkets gränsvärden för dricksvatten högre metallkoncentrationer än vad som uppmätts i grundvatten, ytvatten eller renat avloppsvatten men lägre än halterna som tillåts i FAO:s riktlinjer. Detta gäller inte för arsenik där de högsta medelhalterna i grundvatten ligger över livsmedelsverkets gränsvärde och inte heller för koppar där detta gränsvärdet är 10 gånger högre än FAO:s riktlinjer. För kvicksilver saknas riktlinjer från FAO och för zink saknas gränsvärde från livsmedelverket. Livsmedelsverkets gränsvärden för kloridkoncentration och konduktivitet är högre än FAO:s lägsta riktvärden och motsvarar därför låga till måttliga begränsningar i användandet av bevattningsvattnet. Slutligen tillåts pH-värdet i livsmedelverkets gränsvärde att vara högre än vad FAO rekommenderar för bevattningsvatten.

4.2.2 Boxdiagram med referensvärden

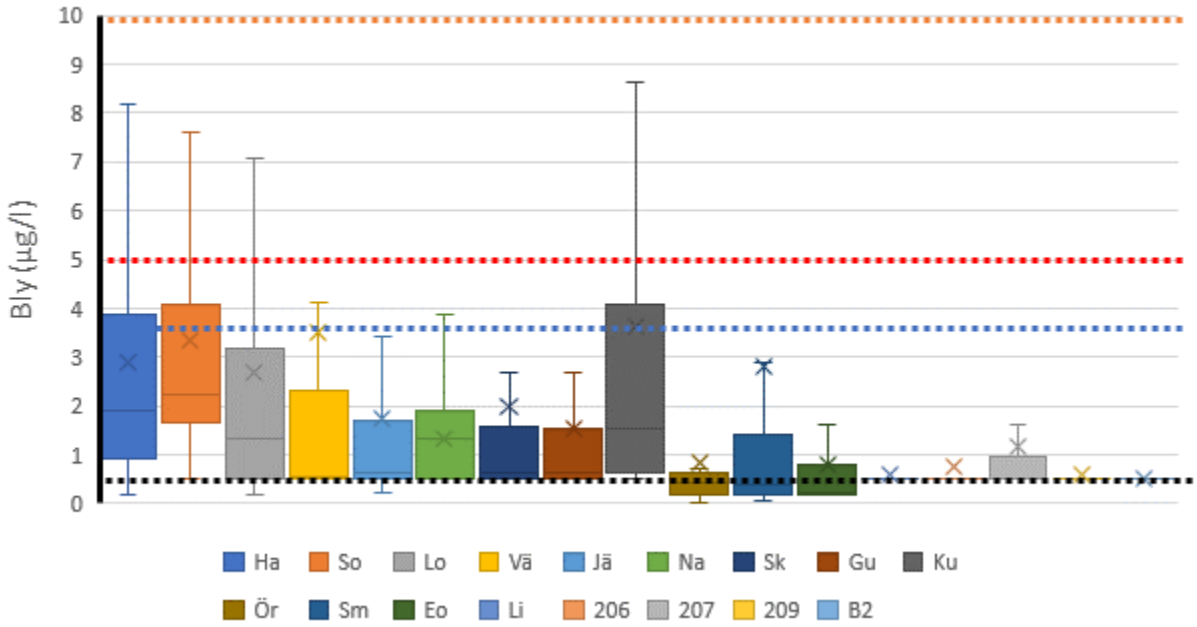
Nedan följer boxdiagram över de olika vattenkvalitetsparametrarna tillsammans med referensvärden från tabellerna 22 och 23. De Referensvärdena som visas är de som överskrids eller är tillräckligt nära medelvärdena i länshållningsvattnet för att få plats i boxdiagrammen. Referensvärdena visas som streckade linjer och särskiljs med olika färger, se tabell 24.

Tabell 24: Visar vilka färger på de streckade linjerna som de olika referensvärdena representeras av.

Referensvärde	**Linjefärg**
REVAQ (250mm)	Orange
Grundvatten (högsta medelvärde)	Blå
Renat avloppsvatten	Svart
Livsmedelsverkets gränsvärden	Röd
Ytvatten	Grå
FAO:s riktvärden	Grön

Bly

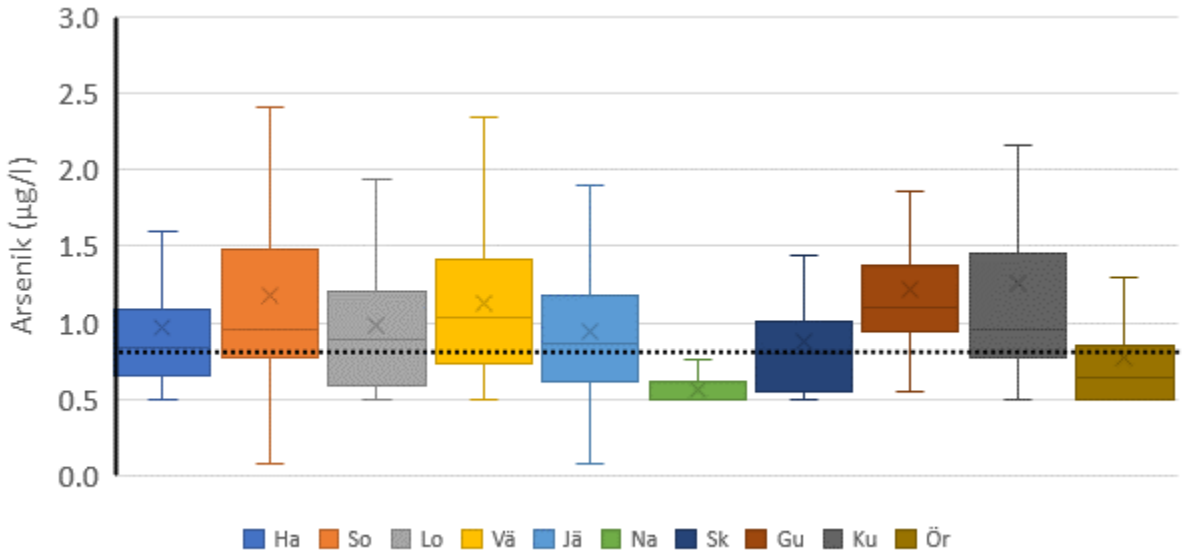
Vid jämförelse av blyhalterna i länshållningsvatten med halterna i bevattnings- och gödslingskällor kan följande konstateras. Medelhalten av bly i renat länshållningsvatten var högre än den maximala medelhalten i renat avloppsvatten (0,59 $\mu g/l$), men i nivån med den maximala medelhalten i grundvatten eller lägre (3,69 $\mu g/l$), se figur 22. Medelhalterna av bly i länshållningsvattnet var både lägre än REVAQs gränsvärde vid 250 mm bevattning (10 $\mu g/l$) och lägre än Livsmedelsverkets gränsvärde för dricksvatten (5 $\mu g/l$).



Figur 22: Blyhalterna ($\mu g/l$) för projekten redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***206=ST 206 Korsvägen****,* ***207=ST 207 Korsvägen****,* ***209=ST 209 Korsvägen****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****. De streckade linjerna visar referensvärden från tabell 22. Svart=renat avloppsvatten, blå=grundvatten, röd=Livsmedelsverkets gränsvärde, orange= REVAQ:s gränsvärden vid 250 mm bevattning.*

Arsenik

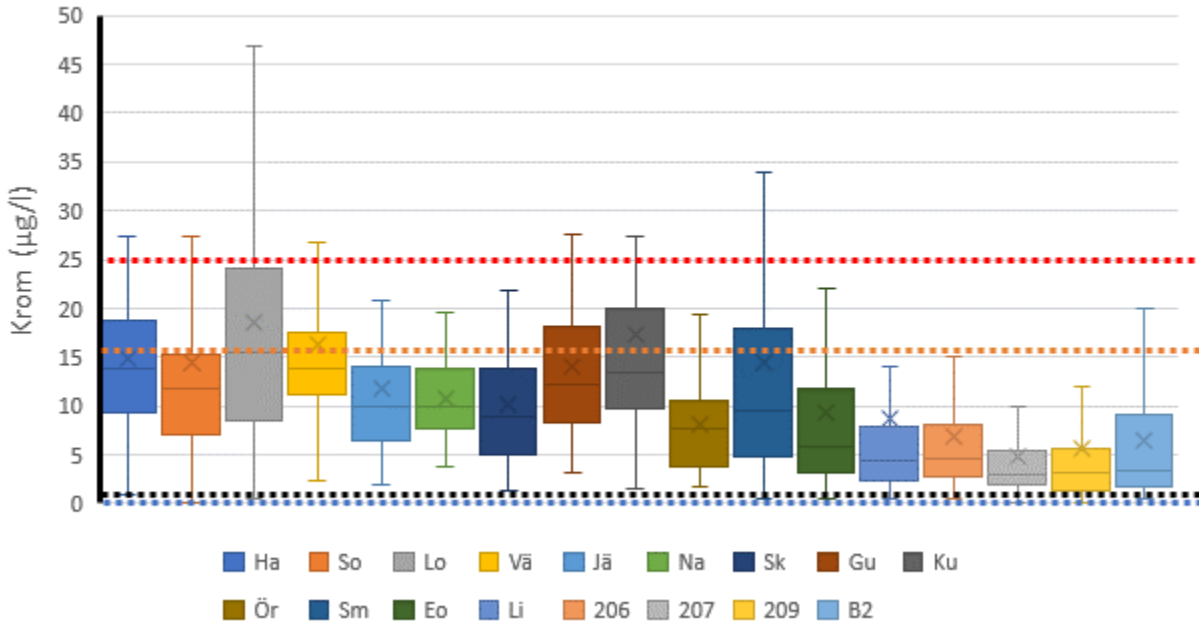
I figur 11 kan det ses att medelhalterna av arsenik i länshållningsvattnet var av liknande halter som för renat avloppsvatten (0,8 $\mu g/l$). Avsaknaden av andra referensvärden i grafen innebär att dessa är flera gånger högre än halterna.



Figur 23: Arsenikhalterna ($\mu g/l$) för projekten redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****. De streckade linjerna visar referensvärden från tabell 22. Svart=renat avloppsvatten.*

Krom

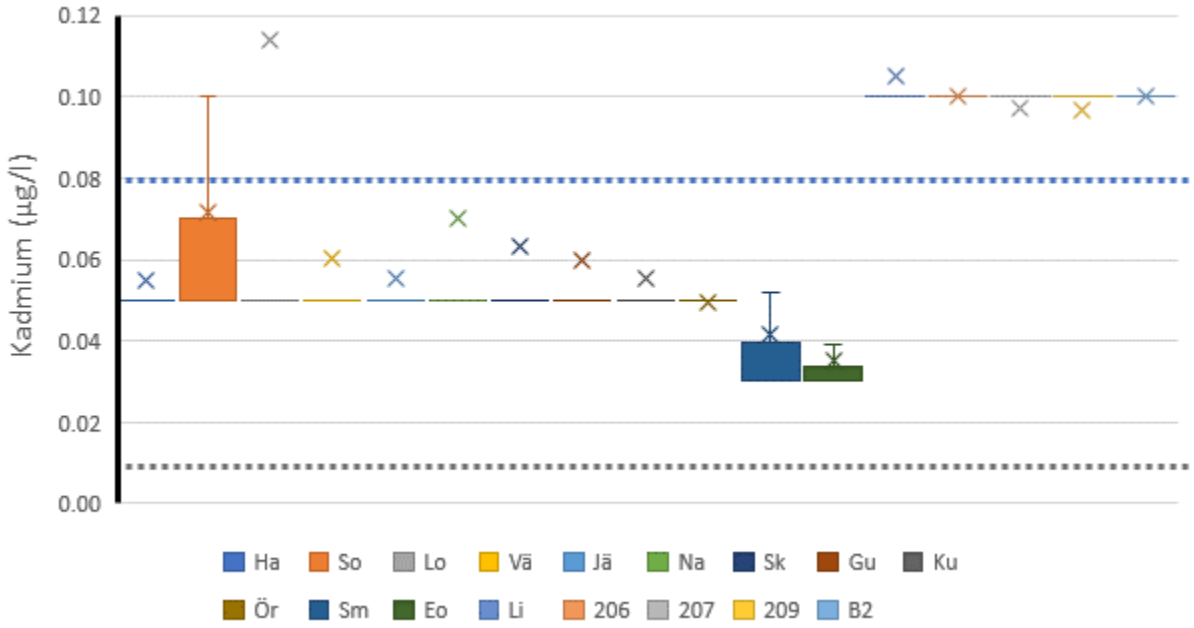
Vid jämförelse av kromhalterna i länshållningsvatten med halterna i bevattnings- och gödslingskällor kan följande konstateras. En stor del av koncentrationsvärdena i projekten var mycket höga relativt andra referensvärden. Medelhalterna av krom i länshållningsvattnet var högre än medelhalterna i grundvatten (0,99 $\mu g/l$) och renat avloppsvatten (1,5 $\mu g/l$) för samtliga projekt. I 14 av 17 projekt var halterna av krom lägre än REVAQ:s gränsvärde vid 250 mm bevattning (16 $\mu g/l$). I alla projekt var medelhalten i länshållningsvattnet lägre än Livsmedelsverkets gränsvärde för dricksvatten.



Figur 24: Kromhalterna ($\mu g/l$) för projekten redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, Na=Station Nacka, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***206=ST 206 Korsvägen****,* ***207=ST 207 Korsvägen****,* ***209=ST 209 Korsvägen****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****. De streckade linjerna visar referensvärden från tabell 22. Svart=renat avloppsvatten, blå=grundvatten, orange= REVAQ:s gränsvärden vid 250 mm bevattning, röd=Livsmedelsverkets gränsvärde.*

Kadmium

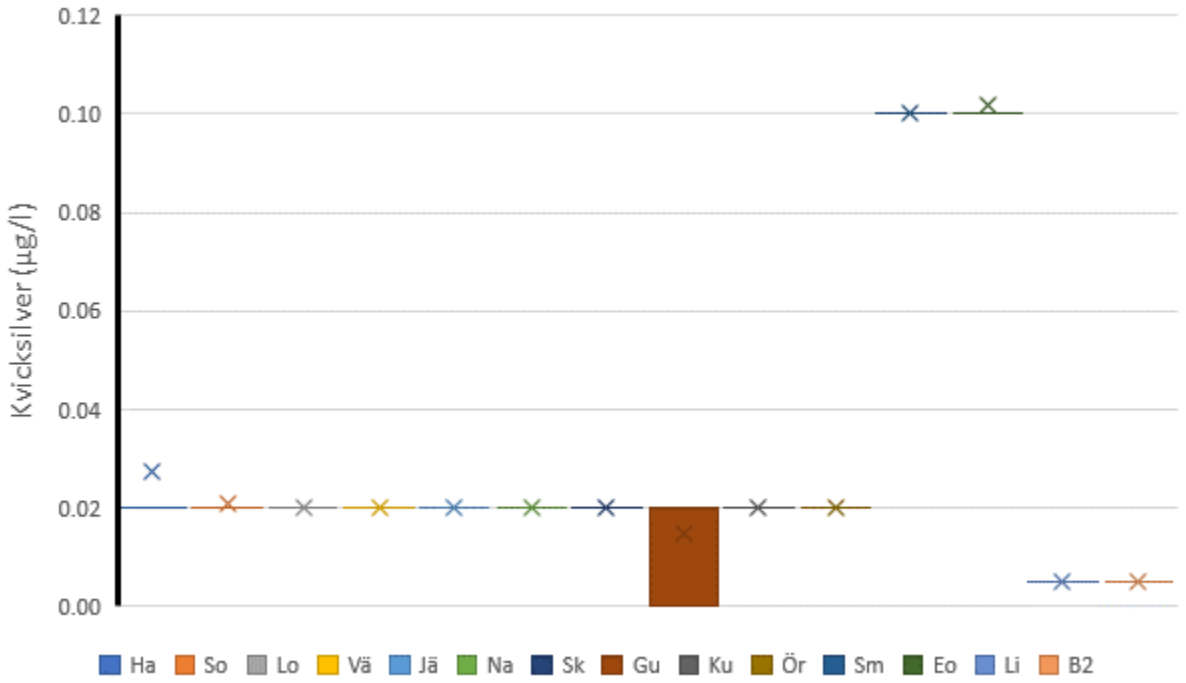
Vid jämförelse av kadmiumhalterna i länshållningsvatten med halterna i bevattnings- och gödslingskällor kan följande konstateras. Alla medelhalter i tabell 13 var lägre än REVAQs gränsvärde vid 250 mm bevattning (0,204 $\mu g/l$) och lägre än gränsvärdena för dricksvatten (0,5 $\mu g/l$). Medelhalterna i länshållningsvattnet var dock i nivå med det maximala medelvärdet i grundvatten (0,08 $\mu g/l$), se figur 25.



Figur 25: Kadmiumhalterna ($\mu g/l$) för projekten redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***206=ST 206 Korsvägen****,* ***207=ST 207 Korsvägen****,* ***209=ST 209 Korsvägen****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****.De streckade linjerna visar referensvärden från tabell 22. Grå=medianhalt för ytvatten, blå=grundvatten.*

Kvicksilver

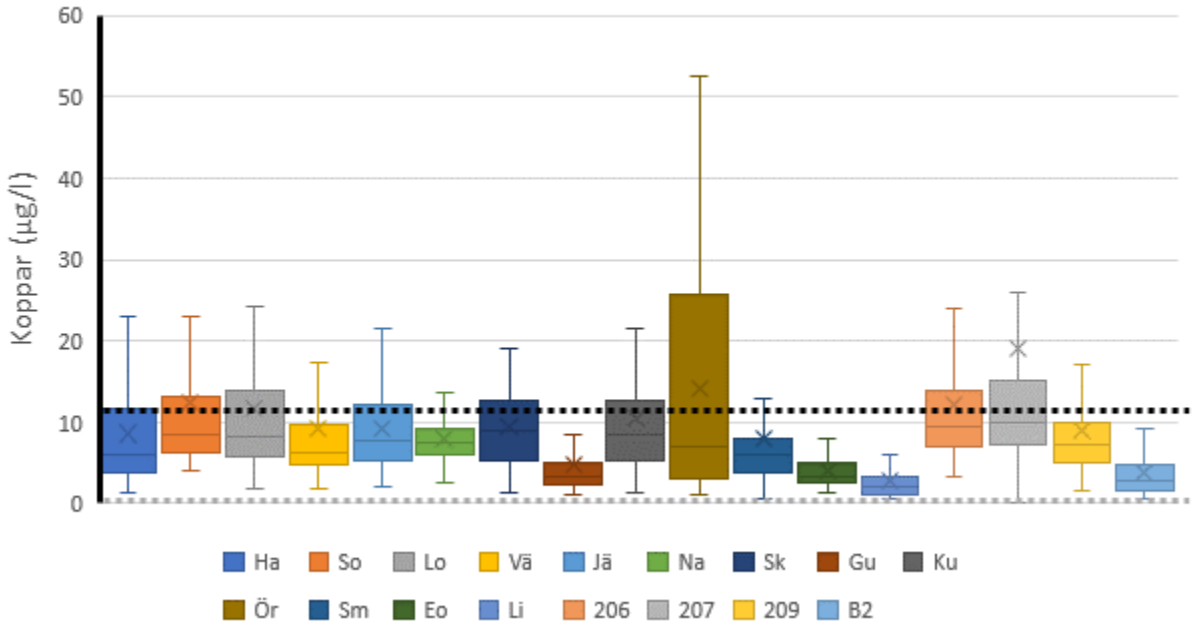
Vid jämförelse av kvicksilverhalterna i länshållningsvatten med halterna i bevattnings- och gödslingskällor kan följande konstateras. Alla medelhalter av kvicksilver i projekten var lägre än REVAQs gränsvärde vid 250 mm bevattning (0,22 $\mu g/l$) och lägre än gränsvärdet för dricksvatten (1,0 $\mu g/l$), se figur 26.



Figur 26: Kvicksilverhalterna ($\mu g/l$) för projekten redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****.*

Koppar

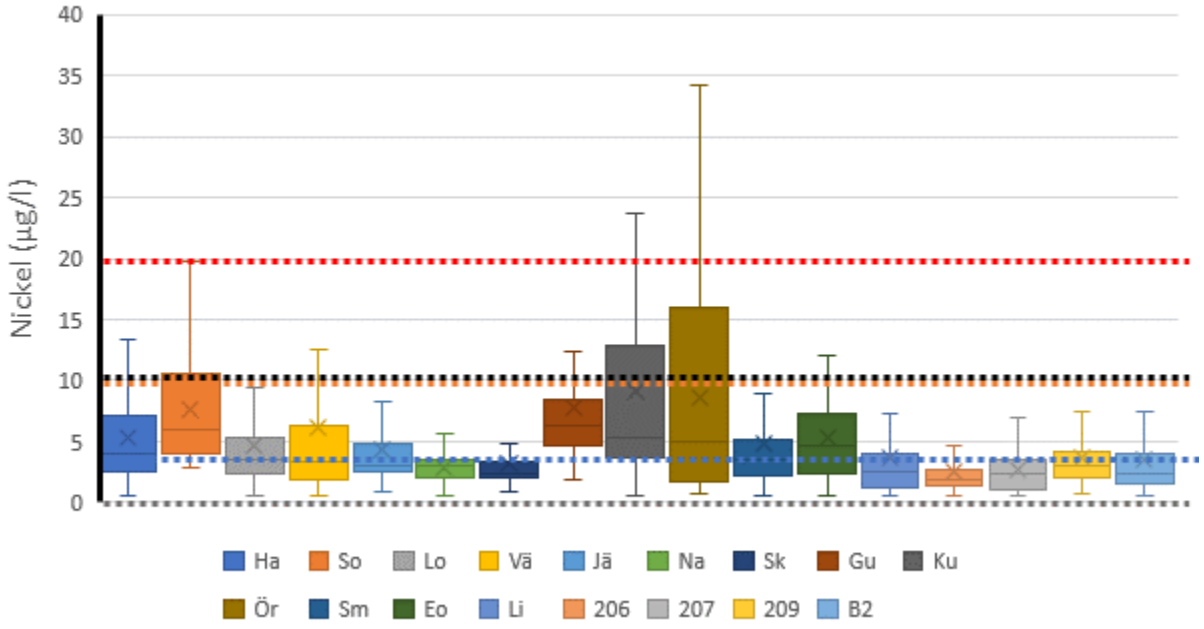
Vid jämförelse av kopparhalterna i länshållningsvatten med halterna i bevattnings- och gödslingskällor kan följande konstateras. I majoriteten av projekten (13/17) var medelhalterna av koppar i länshållningsvattnet lägre än de högsta medelvärdena i renat avloppsvatten (12 $\mu g/l$), se figur 27. Dessutom var medelhalterna av koppar i länshållningsvattnet klart under REVAQs gränsvärde vid 250 mm bevattning (120 $\mu g/l$), gränsvärdet för dricksvatten och maximal medelhalt i grundvatten (91 $\mu g/l$).



Figur 27: Kopparhalterna ($\mu g/l$) för projekten redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***206=ST 206 Korsvägen****,* ***207=ST 207 Korsvägen****,* ***209=ST 209 Korsvägen****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****. De streckade linjerna visar referensvärden från tabell 22. Svart=renat avloppsvatten, grå=ytvatten.*

Nickel

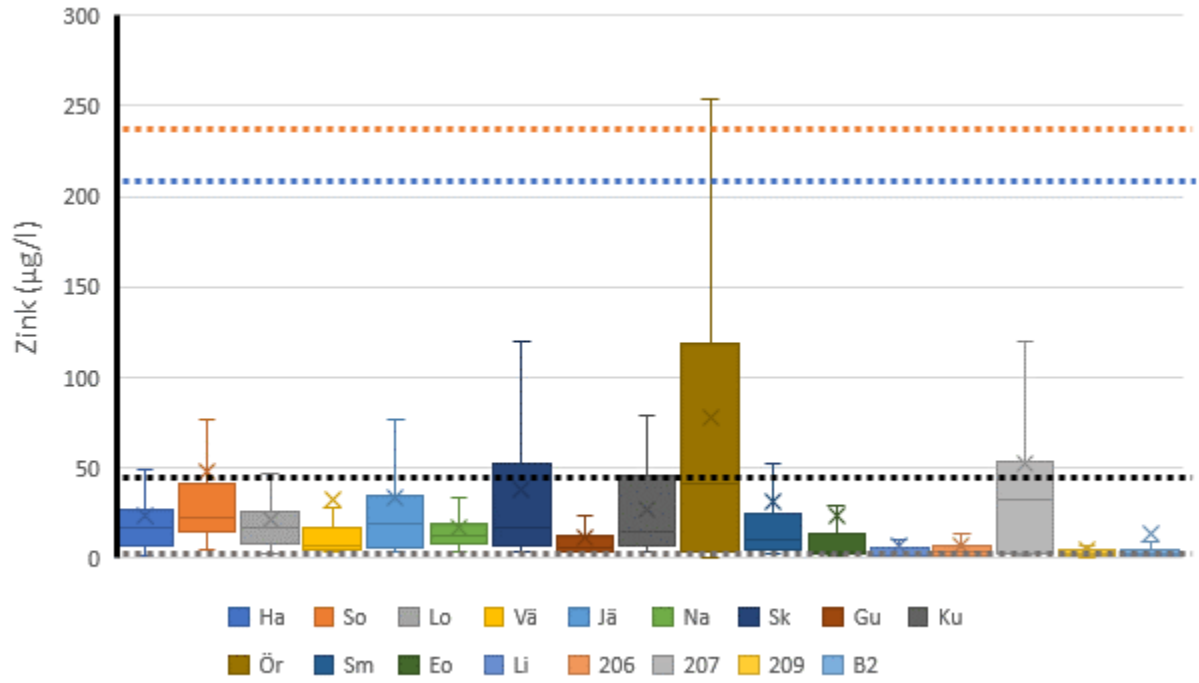
Vid jämförelse av nickelhalterna i länshållningsvatten med halterna i bevattnings- och gödslingskällor kan följande konstateras. Medelhalterna av nickel i länshållningsvattnet var för 11/17 projekt högre än medelhalten i grundvatten (3,73 $\mu g/l$), se figur 28. Däremot var alla medelhalter för nickel i de 17 tunnelprojekten lägre än REVAQs gränsvärde vid 250 mm bevattning (10 $\mu g/l$), lägre än halten i dricksvatten (20 $\mu g/l$) och lägre än den högsta medelhalten i renat avloppsvatten (11 $\mu g/l$).



Figur 28: Nickelhalterna ($\mu g/l$) för projekten redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***206=ST 206 Korsvägen****,* ***207=ST 207 Korsvägen****,* ***209=ST 209 Korsvägen****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****. De streckade linjerna visar referensvärden från tabell 23. Svart=renat avloppsvatten, blå=grundvatten, orange= REVAQ:s gränsvärden vid 250 mm bevattning, röd=Livsmedelsverkets gränsvärde, grå=ytvatten.*

Zink

Vid jämförelse av zinkhalterna i länshållningsvatten med halterna i bevattnings- och gödslingskällor kan följande konstateras. Medelhalterna av zink i länshållningsvattnet var klart lägre än REVAQs gränsvärde vid 250 mm bevattning (240 $\mu g/l$) och lägre än maximal medelhalt i grundvatten (209 $\mu g/l$), se figur 29. Dessutom är medelhalterna av zink i länshållningsvattnet lägre än den högsta medelhalten i renat avloppsvatten (48 $\mu g/l$) för 15 av 17 projekt.



Figur 29: Zinkhalterna ($\mu g/l$) för projekten redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***206=ST 206 Korsvägen****,* ***207=ST 207 Korsvägen****,* ***209=ST 209 Korsvägen****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****. De streckade linjerna visar referensvärden från tabell 23 Svart=renat avloppsvatten, blå=grundvatten, orange= REVAQ:s gränsvärden vid 250 mm bevattning, grå=ytvatten.*

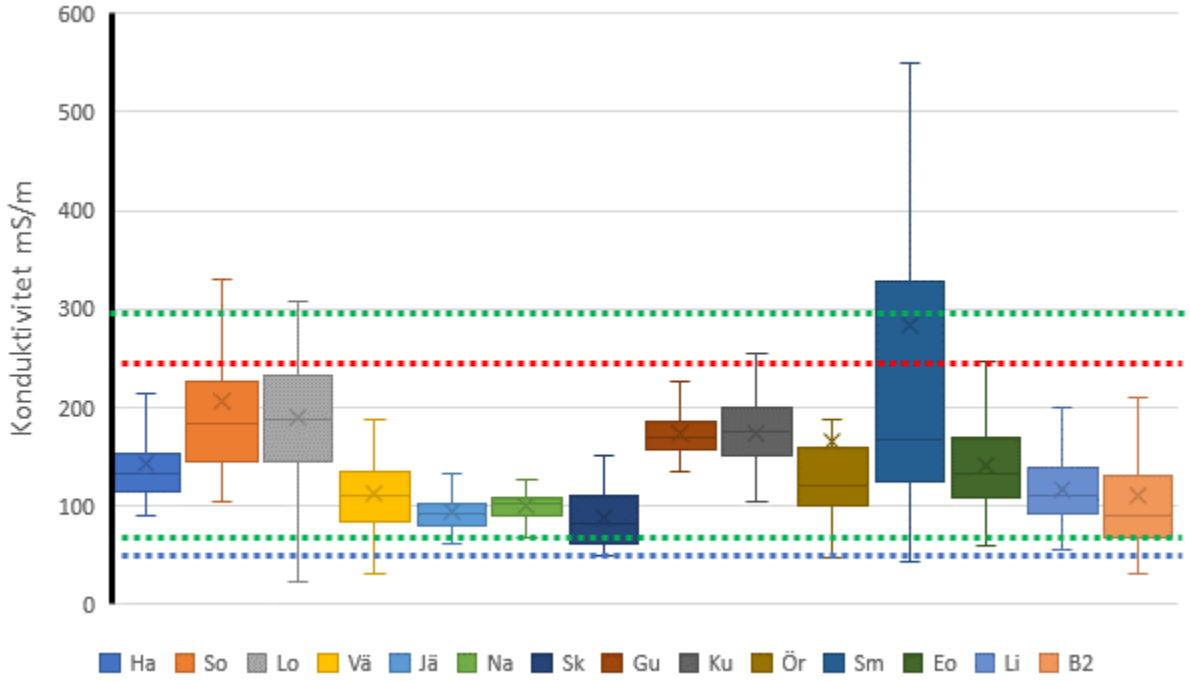
Klorid

Vid jämförelse av kloridhalterna i länshållningsvatten med bevattningskällor kan följande konstateras. Två av fem tunnelprojekt hade en medelkloridhalt som låg över FAO:s två lägsta gränsvärden (106 mg/l och 142 mg/l). Detta innebär att lätta till måttliga begränsningar bör införas om vattnet ska användas till bevattning. Dessa begränsningar gäller både vid ytbevattning och sprinklerbevattning. I de tre resterande projekten var medelhalten av klorid i länshållningsvattnet lägre än de undre gränsvärdena, vilket innebär att vattnet kan användas obegränsat till bevattning.

*Figur 30: Kloridhalterna (mg/l) för projekten redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn.**Li= ST 210 Linné Haga**, **206=ST 206 Korsvägen**, **207=ST 207 Korsvägen**, **209=ST 209 Korsvägen**, **B2=ST B2 Otterhällan Haga**. De gröna streckade linjerna visar tre riktvärden från FAO:s rapport, se tabell 23. De övre två linjerna formar ett intervall som berör ytbevattning medan den undre linjen är relaterad till sprinklerbevattning. Blå linje= referensvärdet för grundvatten och röd linje= Livsmedelsverkets gränsvärde.*

Konduktivitet

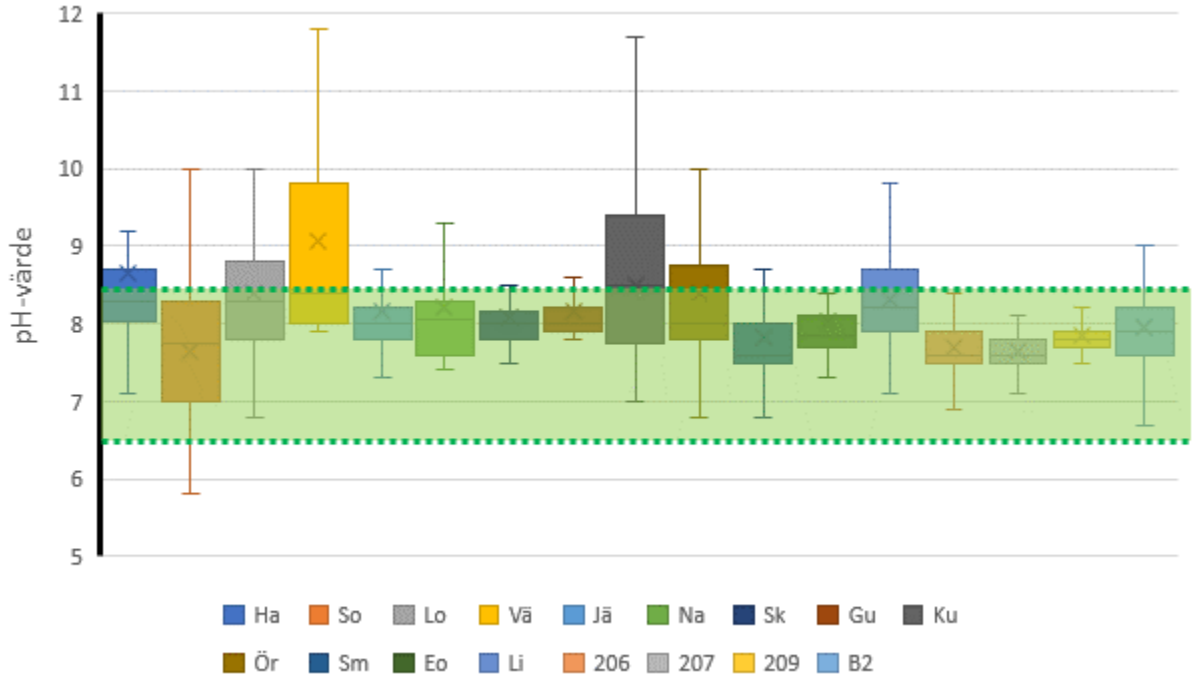
Vid jämförelse av konduktivitetsvärdena i länshållningsvatten med bevattningskällor kan följande konstateras. Den största majoriteten av medelvärdena i länshållningsvattnet är högre än medelvärdet i grundvatten (51,7 mS/m), se figur 31. Dessutom är alla konduktivitetsmedelvärden över FAO:s riktvärde för lätta begränsningar (70 mS/m) men är minst 100 mS/m under måttliga begränsningar.



Figur 31: Konduktiviteten (mS/m) för projekten redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,* ***Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****. De gröna streckade linjerna visar två riktvärden från FAO:s rapport. Den blå linjen visar det högsta medelvärdet i grundvattnet, och den röda visar Livsmedelverkets gränsvärde.*

pH-värde

I figur 21 kan det ses att pH-värdena ligger högt och en stor del av datavärdena ligger utanför FAO:s rekommenderade intervall (6,5-7,7). För 5 av projekten ligger medelvärdet av pH-värdet över eller precis på övre intervallgränsen. Medelvärdena kan även ses i tabell 21.



Figur 32: pH-värdena för projekten redovisas. Projekt med ett flockningssteg i reningen har fetstilta projektnamn. Ha=Hagastaden, So=Sofia, Lo=Londonviadukten, Vä=Värmdövägen, Jä=Järla östra, ***Na=Station Nacka****, Sk=skönviksvägen, Gu=Gullmarsplan, Ku=Kungsträdgården,****Ör=Örbyleden****, Sm=Smedslätten, Eolshäll,* ***Li= ST 210 Linné Haga****,* ***206=ST 206 Korsvägen****,* ***207=ST 207 Korsvägen****,* ***209=ST 209 Korsvägen****,* ***B2=ST B2 Otterhällan Haga****. De gröna streckade linjerna och det gröna området visar vilket pH-intervall bevattningsvattnet bör ligga inom enligt FAO, se tabell 23.*

4.3 Användning av länshållningsvatten i Ostlänken

Tabell 25 visar en sammanställning, för alla fyra tunnlar, av vattenvolymer, kvävemängder, lagringsvolymer, areor över bevattningsdammar samt årliga förluster av vatten från dammarna via avdunstning. Tabellerna 26, 27 och 28 visar beräkningsresultat av arealer som länshållningsvattnet hade räckt till, vid bevattning och gödsling, för Gerstaberstunneln, Hillestatunneln och Edebytunnlarna.

Det kan ses i tabell 25 att för Gerstabergstunneln, i båda scenarion, ökar vattenvolymerna från år 1 till år 2 men kvävemängderna är samma. Anledningen är att takten som tunneln drivs fram antogs i beräkningarna vara konstant men mängden grundvatten som tränger in beräknades öka med ökad tunnellängd. Detta återspeglas även i kvävekoncentrationerna som är lägre år 2 jämfört med år 1. År 3 är kvävemängderna mindre på grund av att tunneldrivningen inte pågick hela år 3. För Edebytunnlarna är kvävemängden mycket mindre år 2 än år 1 då tunneldrivningen endast pågick under en liten del av år 2.

Tabell 25: Beräkningsresultat av vattenvolym, kvävemängd, lagringsvolym, area över bevattningsdamm och den totala förlusten från avdunstning utifrån beräkningar av dammarnas årliga vattenbalans.

	Vattenvolym (m^3)	Kväve (kg)	Koncentration (mg N/l)	Maximal Lagringsvolym (m^3)	Area damm (m^2)	Total förlust via avdunstning (m^3)
Hela mängden vatten från Gerstabergstunneln						
År 1	34 400	3210	93,5	60600	23 800	85,8
År 2	71 100	3210	45,1			
År 3	86 600	2660	30,7			
Endast 12 % av vattenmängden från Gerstabergstunneln						
År 1	4120	385	93,5	7280	3750	13,5
År 2	8540	385	45,1			
År 3	10 400	319	30,7			
Hillestatunneln						
År 1	27 600	3180	115	24200	10400	37,4
Edebytunnlarna						
År 1	25 300	1130	44,6	14 800	6750	24,4
År 2	7250	323	44,5			

4.3.1 Gerstabergstunneln

I tabell 26 kan det ses att för Gerstaberstunneln tillgodoses växternas kvävebehov till 100% medan vattenbehovet blir som mest tillgodosett till 71%. Detta beror på att i beräkningarna tilläts inte växternas kvävebehov att överskridas. Detta innebär att de beräknade kvävehalterna för första året var för höga för att grödornas vattenbehov skulle kunna tillgodoses helt, utan att kvävebehovet skulle överskridas. För år 2 och år 3 är förhållandena omvända. Vattenbehoven tillgodoses till 100% medan kvävebehoven inte tillgodoses helt. Anledningen är att kvävekoncentrationen i vattnet är lägre år 2 och 3 jämfört med år 1.

Tabell 26: Beräkningsresultat över den areal som länshållningsvattnet hade räckt till för bevattning eller gödsling av fyra vanliga grödor. Total areal innebär att allt länshållningsvatten går till bevattning medan det för reducerad areal endast är 12% av vattnet. Observera att beräkningsresultatet endast avser vattenmängden under och precis efter tunneldrivningen när kvävekoncentrationern behöver omhändertas.

	Höstvete (7 t/ha)	Vårsäd/vete (7 t/ha)	Potatis (40 t/ha)	Vall (6 t/ha)
År 1				
Total areal (ha)	29,2	29,2	30,6	22,9
Reducerad areal (ha)	3,50	2,50	3,67	2,75
Tillgodosett vattenbehov (%)	51,2	71,3	62,4	71,3
Tillgodosett kvävebehov (%)	100	100	100	100
År 2				
Total areal (ha)	30,9	43,1	39,5	33,9
Reducerad areal (ha)	3,71	5,17	4,74	4,07
Tillgodosett vattenbehov (%)	100	100	100	100
Tillgodosett kvävebehov (%)	94,4	67,7	77,4	67,7
År 3				
Total areal (ha)	37,7	52,5	48,1	41,3
Reducerad areal (ha)	4,52	6,30	5,78	4,95
Tillgodosett vattenbehov (%)	100	100	100	100
Tillgodosett kvävebehov (%)	64,1	46,0	52,6	46,0

4.3.2 Hillestatunneln

För Hillesta tunneln, i tabell 27, ses det att kvävekoncentrationerna är för höga för att vattenbehovet ska tillgodoses helt.

Tabell 27: Beräkningsresultat över den areal som länshållningsvattnet hade räckt till för bevattning eller gödning av fyra vanliga grödor. Total areal innebär att allt länshållningsvatten går till bevattning. Observera att beräkningsresultatet endast avser vattenmängden under och precis efter tunneldrivningen när kvävekoncentrationern behöver omhändertas.

	Höstvete (7 t/ha)	Vårsäd/vete (7 t/ha)	Potatis (40 t/ha)	Vall (6 t/ha)
År 1				
Total areal (ha)	28,9	28,9	30,2	22,7
Tillgodosett vattenbehov (%)	41,6	58,0	51,0	58,0
Tillgodosett kvävebehov (%)	100	100	100	100

4.3.3 Edebytunnlarna

Gällande Edebytunnlarna är kvävekoncentrationerna tillräckligt låga både år 1 och 2 för att vattenbehoven ska tillgodoses helt, se tabell 28

Tabell 28: Beräkningsresultat över den areal som länshållningsvattnet hade räckt till för bevattning eller gödning av fyra vanliga grödor. Total areal innebär att allt länshållningsvatten går till bevattning. Observera att beräkningsresultatet endast avser vattenmängden under och precis efter tunneldrivningen när kvävekoncentrationern behöver omhändertas.

	Höstvete (7 t/ha)	Vårsäd/vete (7 t/ha)	Potatis (40 t/ha)	Vall (6 t/ha)
År 1				
Total areal (ha)	11,0	15,3	14,1	12,1
Tillgodosett vattenbehov (%)	100	100	100	100
Tillgodosett kvävebehov (%)	93,4	67,0	76,5	67,0
År 2				
Total areal (ha)	3,15	4,39	4,03	3,45
Tillgodosett vattenbehov (%)	100	100	100	100
Tillgodosett kvävebehov (%)	93,0	67,0	76,3	67,0

5 Diskussion

5.1 Innehåll i länshållningsvatten

För att besvara vad länshållningsvatten, från tunneldrivning med borr- och sprängningsmetoden, innehåller har analysdata från 17 tunnelprojekt insamlats. Analysdatan har provtagits efter den lokala reningen med syftet att kontrollera att vattnet uppfyller de gränskrav som de kommunala reningsverken har satt för att de ska kunna omhänderta vattnet (SVOA 2021; SYVAB 2023). Förutom att detta arbete har undersökt vilka ämnen som vattnet innehåller besvaras även vilka koncentrationer av dessa ämnen som finns i vattnet efter den lokala reningen. Arbetet ger således också information om hur väl vattnet har renats i den lokala reningen.

De tunnelprojekt som analysdatan kommer ifrån har både skillnader och likheter med varandra. Dessa är viktiga att beakta vid en mer ingående analys om innehållet i länshållningsvattnet. De största likheterna som identifierats hos projekten är att tunneldrivningen har utförts i berg med borr- och sprängningsmetoden. Dessutom är det sprängmedel som använts i huvudsak emulsionssprängmedel bestående av ammoniumnitrat (Brunsell 2018; Hagman 2017; Regander & Antevik 2019; Stockholm Vatten VA AB 2015; Trafikverket 2016; Wallroth m. fl. 2016). Samtliga tunnelprojekten ligger även i stadsmiljö, se figur 2 och 3, och vattnet renas lokalt för att sedan ledas till kommunalt reningsverk.

De största identifierade skillnaderna mellan projekten är att analysdatan kommer ifrån flera olika typer av tunnlar, se mer information i avsnitt 3.1 om analysdatan. Det finns även skillnader i den lokala reningen där en av skillnaderna som studerats närmre i arbetet är om reningen har haft ett flockningssteg eller inte, se tabell 4 och 5. Andra skillnader i den lokala reningen mellan projekten är att vissa projekt har haft en reducering av sexvärt krom till trevärt krom samt att ett projekt (Örbyleden) återanvänt delar av det renade länshållningsvattnet som processvatten. Dessutom finns skillnader i berggrunden i de områdena som tunnlarna byggs i, se tabell 6. Att analysdatan kommer från tre olika huvudmän (Region Stockholm, SYVAB och Trafikverket) är också en skillnad.

Utöver de nämnda skillnaderna och likheterna mellan projekten saknas dessutom en del information från tunnelprojekten. Detta kan ge vissa osäkerheter eller begränsningar i vilka slutsatser som kan dras av datan. Det saknas information om storlekarna på tunnlarna, mängden sprängmedel som har använts samt tempot som tunnlarna har byggts i. Gällande Trafikverkets tunnelprojekt finns det dessutom en risk att analysdatan av länshållningsvattnet, från en reningsstation, härrör från flera tunnlar i olika drivningsstadium. För de fyra tunnelprojekten Eolshäll, Smedslätten, Sofia och Londonviadukten saknas därtill information om den lokala reningen av länshållningsvattnet.

5.1.1 Innehåll av kväve i länshållningsvatten

Från en genomgång av data från Björnböletunneln och Namntallstunneln vid Botniabanan kunde Trafikverkets fastslå att andelen ammoniumkväve och nitratkväve utgjorde 40% respektive 60% av totalkvävet i länshållningsvattnet (Hallberg 2022). De beräkningar som har gjorts på andelarna ammoniumkväve av totalkväve i länshållningsvattnet i detta arbete visar till viss del på liknande värden (25,8-53,9%), se tabell 9. Det fanns dock en stor variation i andelarna mellan olika

mätningar vilket kan ses i den relativt höga standardavvikelsen.

Eftersom det i analysdatan saknades mätningar av nitratkvävehalterna i länshållningsvattnet har inga andelar av nitratkväve kunnat beräknats fram i arbetet. Det är dock troligt att den största återstående delen av kvävet var i formen nitrat. Denna hypotes bekräftas i litteraturen samt i de tekniska beskrivningarna av projekten där det kan utläsas att majoriteten av det sprängmedel som planerades att användas består av ammoniumnitrat (Hagman 2017; Hallberg 2022; Regander & Antevik 2019; Stockholm Vatten VA AB 2015; Trafikverket 2016; Wallroth m. fl. 2016; Zheng m. fl. 2022). Det går dock inte att utesluta att kväve kan ha tillförts till vattnet i någon annan form i mindre mängder. Antingen via andra typer av sprängmedel eller genom att spränggaser som exemplevis NO_2^- har löst sig i vatten (Zheng m. fl. 2022). Det finns även en möjlighet till att en liten andel av ammoniumkvävet kan ha omvandlats till ammoniak i länshållningsvattnet eftersom det förekom vissa veckoprov med pH-värden runt 10 eller högre, se figur 21, (Hallberg 2022).

Kvävehalterna varierade stort i projekten under tunneldrivningen och det går inte att i figurerna 7, 8 och 9 se någon generell trend, som gäller för alla projekt, i koncentrationerna över tid. Tidigare erfarenheter från tunneldrivningar har visat att koncentrationen av kväve oftast är högst i början av en tunneldrivning för att sedan gå ner successivt med ökad mängd inläckande grundvatten (Hallberg 2022; Sporre, Berg & Hanson 2016). Denna trend kan synas tydligt för fyra av de 17 studerade projekten. Bland de övriga projekten kan istället några andra trender i kvävekoncentrationerna urskiljas men dessa är svårare att förklara utifrån litteraturen. Det finns exempelvis projekt där halterna går uppåt med tiden och andra projekt med enstaka mycket höga värden jämfört med övriga mätpunkter. Kvävehalterna i vissa projekt håller sig istället på ungefär samma värde under större delen av mätserien.

En anledning till att andra trender än de förväntade visar sig kan vara att sprängningsarbetet inte har fortskridit kontinuerligt utan pausats av någon anledning. Detta skulle kunna förklara varför koncentrationerna i vissa grafer är mer konstanta över tiden. Om flödet av inläckande grundvatten fortsätter även när inga sprängningar sker kan kvävet från tidigare sprängningar spädas ut mer i vattnet och koncentrationerna blir då mer utjämnade. I de fall där analysdatan är en blandning av vatten från flera tunnlar, som den kan vara i Trafikverkets analysdata, är det möjligt att en typisk trend av nedåtgående kvävekoncentrationer kan vara svårare att se. I detta fall kan länshållningsvatten komma från tunnlar som kommit olika långt i drivningsprocessen där vatten med hög koncentration (nystartad tunneldrivning) blandas med vatten med en lägre koncentration (längre gången tunneldrivning).

5.1.2 Övrigt innehåll i länshållningsvattnet

I figurerna 10-21 och de tillhörande tabellerna 10-21 över medelvärdena kan det både urskiljas en relativt stor spridning mellan enstaka mätvärden och i medelvärdena mellan de olika tunnelprojekten. Några av de högsta mätvärdena som uppmätts i vissa projekt kan kopplas till enstaka höga halter av suspenderat material. Dessa enstaka höga halterna av suspenderat material kan i sin tur bero på något tillfälligt fel på reningsanläggningen. När projekten som haft ett flockningssteg jämförs med de som inte haft det med avseende på analysdatans medelvärden, spridning och antalet outliers kan en viss skillnad ses.

Gällande bly kan det ses att de sju projekt som hade flockningssteg även hade lägre medelblyhalter

än de projekt som inte hade flockning med undantag för projekt Skönviksvägen. Dessutom är spridningen i halterna lägre för de projekt med flockningssteg.

Beträffande kromhalterna har de sju projekt som hade flockningssteg lägre medelhalter förutom projekt Skönviksvägen, precis som för blyhalterna. En lägre spridning på mätvärdena kan också ses på de projekt som hade flockning jämfört med de som inte hade det med undantag för projekt Värmdövägen.

För arsenik kan det ses att de två projekt som hade ett flockningssteg hade lägre halter än de som inte hade denna rening. För kadmium och för kvicksilver är det svårt att avläsa någon påverkan från flockningssteg då större delen av datan inte har någon spridning.

Gällande halterna av suspenderat material kan det ses att de projekt som hade ett flockningssteg i reningen av vattnet tillhör de projekt som både har de lägsta medelhalterna av suspenderat material och den minsta spridningen på mätvärdena. Undantaget till detta är projekt Station Nacka som har en relativt hög medelhalt och spridning på värdena. Resultatet kan även utläsas som att de fem projekt som har de allra högsta medelhalterna av suspenderat material inte hade ett flockningssteg. Detta antyder att ett flockningssteg med dagens teknik kan minska halterna av suspenderat material.

Även när det kommer till halterna av nickel kan en lägre spridning på mätvärdena och lägre medelhalter ses för de projekt där flockning ingick. Gällande koppar och zink syns däremot ingen tydlig effekt av ett flockningssteg i reningen. För nickel, koppar och zink kan det ses att projekt Örbyleden både har högst medelhalt och störst spridning på värdena. I avsnitt 3.1, där de olika projekten beskrivs, kan det läsas att i projekt Örbyleden ger reningsanläggningen möjlighet att återanvända upp till 70% av vattnet som processvatten. Om antagandet görs att vattnet delvis återanvändes under perioden när mätningarna utfördes kan de högre halterna av koppar, nickel och zink i projekt Örbyleden förklaras av att dessa metaller inte urskiljdes lika bra i reningen som exempelvis bly eller krom och därför ackumulerades i vattnet. Sammanfattningsvis kan alltså Örbyledens återanvändning av vattnet tydliggöra skillnader i metallers avskiljningsgrad i den lokala reningen på grund av att vissa metaller ackumuleras i vattnet.

Beträffande konduktiviteten kan ingen skillnad mellan projekten som hade ett flockningssteg och de som inte hade det urskiljas.

Gällande kloridhalterna i länshållningsvattnet kom analysdatan endast från tunnlar i projekt Västlänken i Göteborgsområdet. Detta ger en osäkerhet kring hur halterna av klorid ser ut mer generellt i Sverige. Analysresultat av länshållningsvatten från ett tunnelprojekt i Dunsjö i landskapet Närke visar på jämförelsevis låga värden (Trafikverket 2023d). Medelhalten av åtta mätningar efter lokal rening i projektet låg på 9 mg/l vilket kan jämföras med medelhalterna i projekt Västlänken på 75 till 175 mg/l.

5.2 Jämförelse av analysdata med referensvärden

För att besvara den andra frågeställningen om lämpligheten att använda länshållningsvatten till bevattning och gödsling jämfördes parametrar från vattenanalysdatan med referensvärden. Avsikten var att ge parametervärdena i analysdatan en referensram och att då göra det möjligt att

diskutera höga och låga värden i denna kontext.

5.2.1 Val av referensvärden

Referensvärden samlades in från flera olika källor som ett första steg, se tabellerna 22 och 23. Utifrån dessa källor till referensvärdena valdes sedan de lämpligaste ut för en jämförelse med länshållningsvatten i boxdiagrammen, se figurerna 22- 32. En motiveringen av lämpligheten och relevansen hos de olika referensvärdena och källorna följer nedan.

Parametrar från analysdatan av länshållningsvattnet jämfördes med värden för grundvatten och ytvatten som är mycket vanliga källor till bevattning. Eftersom länshållningsvatten generellt sett har metallhalter som ligger högt relativt andra vattenkällor ansågs det högsta medelvärdet i grundvatten vara mest relevant vid en jämförelse. Dessa referensvärden blir som en övre gräns för vad som kan förekomma naturligt i bevattningsvatten. För alla parametrar förutom pH-värdet och koncentrationen av krom kommer dessa medelvärden från enskilda brunnar. Det faktum att grundvattnet som används i jordbruket också till största del kommer från enskilda brunnar bidrog också till att de högsta medelvärdena ansågs lämpliga som referensvärden i detta fall (SCB 2022). Det lägsta medelvärdet för grundvatten och medianvärdet för ytvatten ansågs mest intressanta för att påvisa hur mycket halterna i bevattningsvatten kan variera men ger inget betydande bidrag till jämförelsen med länshållningsvatten.

Jämförelsen mellan länshållningsvatten och renat avloppsvatten kompletterar jämförelsen med grundvatten genom att de högsta medelhalterna av krom och nickel i renat avloppsvatten är högre än de högsta medelhalterna i grundvatten. Detta ger de höga halterna av krom och nickel i länshållningsvatten en mer jämförbar referens. Renat avloppsvatten används i dagsläget till bevattning på ett par platser i Sverige och kan enligt naturvårdsverkets analys bli en viktigare källa i framtiden med längre perioder av torka (Naturvårdsverket 2022). Detta gör att de likheter som finns mellan länshållningsvatten och renat avloppsvatten blir av särkilt intresse utifrån ett bevattningsperspektiv. I ett framtidsscenario kan det exempelvis tänkas att en kostnadseffektiv rening av krom och nickel utvecklas för avloppsvatten vilken då även kan användas för länshållningsvatten. En annan möjlighet är att halterna som finns i renat avloppsvatten tillåts för bevattningsvatten och i detta fall ökar möjligheterna för att även länshållningsvatten ska tillåtas att användas med avseende på halterna av krom och nickel.

För att sätta metallhalterna i länshållningsvattnet i en ytterligare kontext och försöka ge en maximal gräns för vad som tillåts i svenska förhållanden utvärderades halterna som tillåts i avloppsslam, vilka kan anses vara höga relativt källor till bevattning (ibid.). Att länshållningsvatten även är tänkt att användas som gödslingsmedel bidrog också till att avloppsslam ansågs kunna fylla ett jämförelsesyfte. Eftersom att avloppsslam är i mer fast form jämfört med bevattningsvatten och nyttjas av jordbrukaren på ett annat sätt blir dock jämförelsen mellan dessa två inte helt rättvis.

Om enbart mängden metaller som tillförs till åkermarken beaktas ger ändå jämförelse en vägvisning om vilka halter som kan vara godtagbara i Sverige under vissa förhållanden. Mängderna tillåtna metaller i avloppsslam beräknades om till koncentrationer för bevattning med både 50 mm och 250 mm. Detta gjordes för att täcka in den minsta och största bevattningsmängden som används i Sverige ett normaltorrt år. I boxdiagrammen användes dock bara halterna vid 250 mm

bevattning då halterna vid 50 mm bevattning ansågs överdrivet höga och gav dessutom vattnet mer begränsningar i användandet.

Analysdatan relaterades även till mer vetenskapliga riktlinjer kring bevattningsvatten med FAO:s riktlinjer. Problemet med dessa riktlinjer var att de var utformade för semiarida till arida klimat och dessutom senast uppdaterad 1994. Att metallhalterna som tilläts i dessa riktlinjer dessutom var mycket höga, både jämfört med de andra referenserna och halterna i länshållningsvattnet, gjorde att dessa inte användes för metallerna. Däremot fanns det riktlinjer för konduktivitet, pH-värdet och kloridhalten som var mer jämförbara med värdena i grundvatten och i länshållningsvattnet. En viktig anledning till att FAO:s riktlinjer användes för konduktivitet, pH-värdet och kloridhalten var också att det saknades värden från renat avloppsvatten och avloppsslam för dessa parametrar. En felkälla med att använda riktvärdena från FAO är att dessa är beräknade utifrån en betydligt större bevattningsmängd än vad som normalt används i Sverige vilket gör att gränsvärdena troligen skulle tillåta ännu högre koncentrationer och konduktivitetsvärden om de var anpassade för svenska förhållanden. Detta gäller om gränsvärdena är utformade efter en tillåten totalbelastning av ett ämne på en åkermark.

Inga riktlinjer för bevattningvatten som var mer relevanta för Sveriges klimat hittades. Däremot jämfördes halterna i länshållningvatten med Livsmedelverkets gränsvärden för dricksvatten i boxdiagrammen. Gränsvärdena ger en högsta nivå som vattnet behöver uppnå för att kunna användas obehindrat av människor och djur utifrån ett hälsoperspektiv. För flera metaller tillåter dessa gränsvärden högre halter relativt de andra referenserna. En viktig skillnad mot REVAQ:s gränsvärden och FAO:s riktlinjer är dock att ingen hänsyn tas till en eventuell negativ påverkan på markens organismer eller på grödornas förmåga att ta upp metaller.

5.2.2 Länshållningsvatten till bevattning och gödsling

Utifrån figurerna 22-29 kan metallernas påverkan på länshållningsvattnets möjlighet att användas inom bevattning och gödsling, med tillämpad rening, utvärderas. Är medelhalten av en viss metall i länshållningsvattnet under medelhalten i grundvatten bör metallen i fråga kunna avskrivas som problematisk eftersom vatten med denna koncentration troligen redan används till bevattning i nuläget. Detta gäller även i de fall där medelhalten i renat avloppsvatten överskrids eftersom det bara påvisar att metallhalten i renat avloppsvatten också är förhållandevis låg relativt grundvatten. Med detta resonemang kan bly, arsenik, kadmium, kvicksilver, koppar och zink avskrivas som problematiska metaller.

De metaller som i flera projekt överskrider medelhalten i grundvatten är krom och nickel. Detta gör att länshållningsvattnet med avseende på dessa två metaller skiljer sig från naturliga källor av bevattningsvatten. Gällande nickel kan det dock ses att för alla projekt som haft en flockningssteg i reningen är nickelhalterna i nivå med grundvatten med undantag för projekt Örbyleden som återcirkulerat vatten. Detta innebär att med ett flockningssteg i reningen, där inte vattnet återcirkuleras som processvatten, bör även nickelhalterna kunna ses som naturliga relativt grundvattenhalterna.

Utan flockningssteg eller med återcirkulering av vattnet är de allra högsta medelhalterna av nickel i nivå med vad som maximalt tillåts i avloppsslam och vad som finns i renat avloppsvatten. Det går därför inte att utesluta att även dessa halter kan vara godtagbara i bevattningsvatten.

Dessa halter bör dock utredas vidare genom att undersöka närmre hur nickel i länshållningsvatten påverkar marken och grödornas kvalitet jämfört med nickel i avloppsslam och i renat avloppsvatten.

Medelhalterna av krom i länshållningsvattnet är däremot tydligt förhöjda relativt medelhalterna i både grundvatten och renat avloppsvatten oavsett om reningen haft flockningssteg eller inte. Detta kan tyda på att krom är generellt ovanligt förekommande i vatten i större mängder. Att de flesta projekt har halter som är under gränsvärdena för avloppsslam och dessutom tydligt under Livsmedelsverkets gränsvärden för dricksvatten gör dock att vattnet inte bör förkastas direkt som olämligt med avseende på kromhalterna innan en djupare undersökning utförts. Det bör precis som för nickelhalterna undersökas närmre hur krom påverkar marken och grödornas kvalitet och även hur krom i länshållningsvatten skiljer sig från krom i avloppsslam i denna kontext.

Från figurerna 30, 31 och 32 kan lämpligheten hos länshållningsvattnet med avseende på konduktiviteten, kloridkoncentrationen och pH-värdet sammanfattas. Utifrån kloridkoncentrationerna som analyserats i detta arbete kan halterna enligt FAO:s riktlinjer innebära att användningen av vattnet, till bevattningsändamål, bör begränsas till viss del. Det är dock osäkert om detta gäller generellt för länshållningsvatten eller om de förhöjda halterna är kopplade till vissa geografiska områden. Förhöjda konduktivitetsvärden tycks däremot vara en mer generell utmaning som enligt FAO:s riktlinjer innebär att användningen av vattnet bör begränsas till viss del. Slutligen kan det konstateras att för majoriteten av projekten är medelvärdet av pH-värdet godkänt enligt FAO:s riktlinjer. Många av projekten är dock ganska nära att överskrida riktvärdet. Detta är ett problem som troligen kan åtgärdas mycket enkelt eftersom den lokala reningen redan innefattar pH-justering. Det är också viktigt att beakta att pH-värdet i vattnet har justerats efter de kommunala reningsverkens riktlinjer. I SVOA:s riktlinjer tillåts högre pH-värden (6,5-10) jämfört med FAO:s riktlinjer (6,5-8,4) (SVOA 2021).

Den största risken med vattnet, utifrån de förhöjda konduktivitets- och kloridvärdena, är att det kan leda till försaltningsproblem som kan försvåra för grödorna att tillgodose sitt vattenbehov (Ayers, R.S & Westcot, D.W 1994). Riktlinjerna för kloridhalt, konduktivitet och pH-värde är hämtade från FAO:s rapport och förutsätter dock en betydligt större bevattningsmängd än vad som vanligtvis används i Sverige och därför överskattas troligen risken för försaltningsproblem i svenska förhållanden.

Gällande lämpligheten att använda länshållningsvatten som gödslingsmedel kan det konstateras att det i länshållningsvatten finns en stor variation av kvävehalterna över tid och mellan projekten, se figurerna 7,8 och 9. Det går inte att tydligt se en trend som gäller för majoriteten av projekten, vilket annars hade kunnat bidra till en större förutsägbarhet över kvävehalterna. Variationer i kvävehalterna kan jämnas ut i en lagringsdamm men kräver en god kännedom om halterna innan vattnet kan användas till gödsling.

Eftersom kvävet ska utnyttjas som växtnäring är det kvävebehovet hos grödorna som avgör vilka halter som är lämpliga i vattnet. Med anledning av att halterna varierar är det dock rimligast att kvävehalterna mäts, innan gödsling, i den lagringsdammen som vattnet förvaras i. Därefter behöver mängden vatten som krävs för att tillgodose grödornas kvävebehov beräknas fram. Tillämpas det beskrivna förfarandet bör kvävehalterna i sig inte utgöra några problem. Däremot kan en hög kvävehalt bidra till en hög konduktivitet i vattnet eftersom kvävet är som lösta joner i

vattnet. Detta kan skapa problem med försaltning (Ayers, R.S & Westcot, D.W 1994).

Jämförs länshållningsvatten med den typ av kvävegödsel som är vanligast i svenskt jordbruk kan det konstateras att kväve vanligtvis tillförs som separat mineralgödsel (Andersson m. fl. 2023). Detta betyder att avsaknaden, i länshållningsvattnet, av de viktiga växtnäringsämnena fosfor och kalium inte bör vara ett problem. Det vanligaste kvävegödslet består av ammonium och nitrat precis som länshållningsvattnet till största del också gör. Däremot är fördelningen mellan formerna 50% av vardera i gödslet medan resultatet i detta arbete visar på en lägre andel ammoniumkväve i länshållningsvattnet för 4/5 projekt (25,8-41,4%), se tabell 9. Detta är troligen inte ett stort problem då båda kväveformerna är lättupptagliga för växterna (Ayers, R.S & Westcot, D.W 1994).

5.3 Användning av länshållningsvatten i Ostlänken

5.3.1 Förutsättningar utifrån Trafikverkets uppskattade vatten- och kvävemängder

För att besvara frågan om vilken resurs länshållningsvattnet från fyra tunnlar på Ostlänken skulle kunna utgöra för jordbrukare i området beräknades åkerarealer som hade kunnat bevattnas och gödslas med vattnet. Ett översiktligt förslag till hur detta skulle kunna göras gjordes också genom att bevattnings/lagringsdammar dimensionerades. Dessa beräkningar bygger på många osäkerheter gällande de antaganden som gjorts för bevattning och dammutformning i detta arbete men även datan över kväve och vattenvolymer från Trafikverket är fylld med antaganden, se dessa i metoddelen 3.5. Beräkningsresultaten i detta arbete kan ändå ge en ungefärlig uppskattning av vilka dammytor som skulle behövas samt hur stort område vattnet kan räcka till.

Det kan ses i tabellerna 26 och 27 att för Gerstabergs- och Hillestatunneln har vattnet från första året av tunneldrivning så höga kvävekoncentrationer att grödornas vattenbehov inte kan tillgodoses utan att grödornas kvävebehov överskrids. En lösning till detta kan vara att jordbrukaren späder ut vattnet det första året för att underlätta hanteringen. De nästkommande åren är förhållandet tvärtom vilket gör att jordbrukaren behöver komplettera med annat kvävegödsel. Variationerna i kvävehalterna kräver således att jordbrukaren följer upp koncentrationen av kväve i dammen innan bevattning och sedan beräknar ut hur mycket vattnet behöver spädas eller mängden gödsel som behöver tillföras. Ett alternativ för jordbrukaren är att denne sprider ut vattnet på marker som annars inte bevattnas och ser vattenresursen som en bonus i perioder av torka. Detta förutsätter dock att inte för stora mängder tillförs på samma mark för att motverka till att marken avger kväve till omkringliggande miljö.

5.3.2 Förutsättningar utifrån vattenanalysdatan

För att göra en mer komplett utredning över den resurs som länshållningvattnet kan utgöra i jordbruksområdena kring Ostlänken bör även hänsyn tas till det resterande innehållet i länshållningsvattnet som utvärderats i detta arbete. Sett till de förbehandlingar och reningstekniker, som använts i de tunnelprojekt som analysdatan hämtats ifrån, behöver medelhalterna av krom och nickel i länshållningsvattnet kontrolleras särskilt för att möjliggöra en säker användning av länshållningsvatten till bevattning. Detta kan dels handla om att använda reningstekniker som är särkilt effektiva för krom och nickel och dels att försöka minska tillföreln av dessa ämnen till

vattnet.

Gällande krom och nickel bör reningen använda flockningsmedel då det får en bra effekt. För kromhalterna behövs även en mer omfattande rening alternativt behöver tillförseln av krom via cementinjekteringen reduceras kraftigt. Information om vilken typ av cementinjektering som användes i projekten samt om det finns cementinjekteringsmedel på marknaden som har lägre halter av krom saknas i detta arbete. Det kan dock konstateras att medelkromhalterna för samtliga projekt överstiger de medelhalter som finns i grundvatten och renat avloppsvatten. Det är således inga projekt som har använt ett cementinjekteringsmedel med tillräckligt låga kromhalter för att vattnet ska vara helt riskfritt för ändamålet.

Utifrån det som observerats för projekt Örbyleden där det renade länshållningsvattnet troligen återanvändes som processvatten kan det konstateras att halterna av nickel, zink och koppar kan bli förhöjda vid återanvändning av vattnet. Det kan därför uppstå liknande problem om länshållningsvattnet skulle återanvändas som processvattnet för Ostlänkens tunnlar. Detta är särkilt viktigt att beakta för nickelhalterna.

Analysdatan av länshållningsvattnet visade att pH-värdet kan ligga nära gränsen för vad som rekommenderas för bevattningsvatten. Detta kan åtgärdas genom att vattnets pH-värde justeras ner i den lokala reningen vid Ostlänkens tunnlar innan det kan användas för bevattning. Eftersom att en pH-justering vanligtvis redan utförs i dagsläget, i den lokala reningen, bör det inte vara några problem att sänka pH-värdet ytterligare.

Slutligen bör påverkan på vattnets möjlighet att användas till bevattning utifrån konduktiviteten och kloridhalten utvärderas mer för svenska förhållanden. Anledningen är att de referensvärden som använts i detta arbete är framtagna för torrare klimat än det svenska klimatet. Dessutom behöver halterna av klorid i länshållningsvatten utvärderas i flera tunnelprojekt med större geografisk spridning. Det kan dock konstateras i detta arbete att konduktiviteten och kloridhalten kan behöva kontrolleras och behandlas för att vattnet ska kunna användas obegränsat till bevattning och gödsling i områdena kring Ostlänken.

5.3.3 Jämförelse av Ostlänkens tunnlar med tunnlarna som analysdatan kommer ifrån

De fyra tunnlarna från Ostlänken som studeras i arbetet ska enligt Trafikverkets miljökonsekvensbeskrivningar sannolikt drivas med borr- och sprängningsmetoden (Trafikverket 2021b,c). Dessutom nämns det att sprängmedlet som planeras att användas är ammoniumbaserat. Eftersom det vanligaste sprängmedlet som används i Sverige består av ammoniumnitrat är det troligtvis detta som avses i miljökonsekvensbeskrivningarna. Det är således sannolikt att Ostlänkens tunnlarna både drivs fram med samma metod och med samma sprängmedel som använts i tunnlarna som analysdatan kommer ifrån. Andra likheter kan ses i berggrunden där tunnlarna byggs och planeras att byggas, se tabellerna 6 och 7. Det kan exempelvis ses att bergrunden där Ostlänkens tunnlar planeras består delvis av metamorf gråvacka och detta gäller även för sju av tunnlarna som analysdatan kommer ifrån.

En skillnad mellan Ostlänkens tunnlar och tunnlarna som analysdatan kommer ifrån är att Ostlänkens tunnlar planeras att byggas i relativt glesbebyggda områden medan analysdatan kommer ifrån tunnelbyggen i mer tätbebyggda områden i Stockholm och Göteborg. Detta kan

bland annat ställa större krav på den lokala reningen för Ostlänkens tunnlar eftersom några av tunnlarna kommer att byggas så långt ifrån kommunala reningsverk att kommunal rening kan bli för omständig och kostsam att genomföra. Fördelen i detta sammanhang är att det troligen finns mer plats i de glesbyggda områdena för att etablera en mer effektiv lokal rening med exempelvis större sedimenteringsbassänger. Större sedimenteringsbassänger ger vattnet som ska renas en längre uppehållstid i reningsanläggningen (Persson & Pettersson 2006). Detta möjliggör i sin tur att en större andel av de partikelbundna föroreningarna hinner sedimentera och således avskiljas från vattnet.

6 Slutsats

Innehållet i länshållningsvatten från tunneldrivning undersöktes i arbetet och resultatet visar de halter av kväve, metaller, klorid och suspenderat material som förekommer i vattnet. Ammoniumhalten i länshållningsvatten varierar stort över tid och mellan projekten. Resultatet visar på andelar mellan 26 och 54% av den totala kvävemängden. Gällande halterna av totalkväve varierar även dessa mellan projekten. Det kan urskiljas några trender över tid i dessa halter. För en del projekt är kvävehalterna högst i början av drivningen och går sedan successivt ner. I andra projekt ökar halterna med tiden, har mycket höga enstaka värden eller är i stort sett konstanta. I det övriga innehållet i länshållningsvattnet kan det urskiljas enstaka mätvärden som avviker kraftigt från övriga data. Dessutom kan en relativt stor spridning i medelvärdena mellan de olika tunnelprojekten observeras.

I arbetet identifierades även ett antal faktorer som kan påverka eller styra dessa halter och därmed kvaliteten i vattnet. För metallerna bly, krom, arsenik och nickel ses en tydlig minskning i medelhalterna och i spridningen av mätvärdena för de projekt där reningen hade ett flockningssteg. Detta gäller även för halten av suspenderat material. I projekt Örbyleden där en del renat länshållningsvatten återanvänds som processvatten ses istället avsevärt högre halter av koppar, nickel och zink jämfört med övriga projekt. Detta beror troligtvis på att dessa metaller inte avskiljs lika effektivt som övriga metaller. Resultatet visar även att några av de högsta uppmätta metallkoncentrationerna kan kopplas till enstaka höga halter av suspenderat material.

Lämpligheten att använda länshållningsvatten till bevattning och gödsling utvärderades genom jämförelser med existerande bevattnings- och gödselkällor samt med riktlinjer och gränsvärden. Resultatet visar att medelhalterna av metallerna krom och nickel överskrider medelhalterna som finns i grundvatten i flera projekt. Detta gör att länshållningsvattnet med avseende på dessa två metaller skiljer sig från naturliga källor av bevattningsvatten. För nickelhalterna gäller detta dock bara för de projekt som inte haft ett flockningssteg i reningen samt för projekt Örbyleden.

De projekt med de högsta medelhalterna av nickel är i nivå med medelhalterna i renat avloppsvatten samt vad som tillåts i avloppsslam (omberäknat till bevattning med 250 mm) men klart under Livsmedelsverkets gränsvärden för dricksvatten. I samtliga projekt är även kromhalterna under Livsmedelsverkets gränsvärde för dricksvatten och majoriteten av projekten har dessutom medelhalter som är lägre än de halter som tillåts i avloppsslam vid 250 mm bevattning. För att klargöra om länshållningsvattnet är lämpligt med avseende på nickel- och kromhalterna bör det utredas vidare hur dessa metaller i länshållningsvattnet påverkar marken och grödornas kvalitet jämfört med när de finns i avloppsslam och i renat avloppsvatten.

Enligt FAO:s riktvärden för bevattningsvatten är länshållningsvattnets medelkloridhalt och medelkonduktivitet förhöjd och innebär att användningen av vattnet till bevattning kan delvis behöva begränsas. Anledningen är att vattnet kan bidra till försaltningsproblem. Detta är dock en fråga som bör utredas mer för svenska förhållanden då riktvärdena är utvecklade för torrare klimat och således för en större årlig bevattningsmängd. Dessutom är det oklart om länshållningsvatten generellt har höga kloridhalter eller om det endast gäller i vissa geografiska områden.

Länshållningsvattnet som uppskattas att bildas när fyra av tunnlarna till Ostlänken drivs kan

utgöra en källa till bevattning och gödsling för en jordbrukare som kan tänka sig utföra det extra arbetet med att mäta kvävekoncentrationer i bevattningsdammarna och beräkna fram utspädningsvolymer och kompletterande kvävegödselmängder. Alternativt kan vattnet användas som bonusbevattning till marker som vanligtvis inte bevattnas.

7 Referenser

ALS Environmental (febr. 2016). *Filtrering och dekantering av vattenprover*. Tillgänglig från: https://www.alsglobal.se/media-se/pdf/filtrering_och_dekantering_av_vattenprover.pdf [2023-06-08].

Andersson, E., Frostgård, G., Hjelm, E. & Kvarmo, P. (2023). *Rekommendationer för gödsling och kalkning 2023*. sv. Tekn. rapport. Jordbruksverket. Tillgänglig från: https://www2.jordbruksverket.se/download/18.55f8bb7a1857733cc026e3c9/1672827696891/jo22_15.pdf [2023-11-12].

Ayers, R.S & Westcot, D.W (1994). *Water quality for agriculture*. Tekn. rapport M-56 ISBN 92-5-102263-1. Rome: FAO. Tillgänglig från: https://www.fao.org/3/t0234e/T0234E01.htm#ch1 [2023-05-24].

Biglarijoo, N., Boudaghpour, S. & Ahmadi, S. (jan. 2012). *A review on the existence of chrome in cement and environmental remedies to control its effects*. Tekn. rapport. Tillgänglig från: https://www.researchgate.net/publication/283055011_A_review_on_the_existence_of_chrome_in_cement_and_environmental_remedies_to_control_its_effects [2023-11-12].

Brandt, M. & Grahn, G. (1998). *Avdunstning och avrinningskoefficient i Sverige, 1961-1990- Beräkningar med HBV-modellen*. Tekn. rapport 73. Norrköping: SMHI. Tillgänglig från: https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.129517!/Hydrologi_73.pdf?fbclid=IwAR1lDlIJwNT5XMK6tEH8Gkj2UPCdG5dEoZO2wFAP9XQZnMzUg0y7TuKbpyw [2023-05-28].

Brunsell, A. (jan. 2018). *Teknisk beskrivning-Miljöprövning för tunnelbana från Kungsträdgården till Nacka och söderort*. sv. Tillgänglig från: https://nyatunnelbanan.se/wp-content/uploads/files/Teknisk%20beskrivning_1.pdf [2023-11-12].

Elmlund, L. (2021). *Egenkontroll krom i injekteringscement*.

EU (juni 2023). *Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2020/741 av den 25 maj 2020 om minimikrav för återanvändning av vatten (Text av betydelse för EES)*. sv. Legislative Body: CONSIL, EP. Tillgänglig från: http://data.europa.eu/eli/reg/2020/741/oj/swe [2023-05-25].

Finnson, A., Linde, L., Persson, A., Thor Leander, A., Bertil Wittgren, H., Dyrlund Martinsson, U., Thorén, A. & Gruvberger, C. (2020). *Slamtillförsel på åkermark-Slamrapport 2015-2018*. Tekn. rapport. Hushållningssällskapet. Tillgänglig från: https://hushallningssallskapet.se/wp-content/uploads/2020/10/slamrapport-2020-rev-2021.pdf [2023-11-12].

Grinder, B. (2003). *Omhändertagande av processvatten från tunnelbyggen*. swe. Tekn. rapport. Institutionen för geovetenskaper, Luft— och vattenlära, Uppsala universitet. Tillgänglig från: http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-433604 [2023-03-01].

Haglund, P. (u. å.). *Miljöövervakning av utgående vatten & slam från svenska avloppsreningsverk -Resultat från år 2015 och en sammanfattning av slamresultaten för åren 2004-2015*. Tekn. rapport. Umeå universitet. Tillgänglig från: https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1343079/FULLTEXT02 [2023-11-12].

Hagman, M. (2017). *Teknisk beskrivning-Miljöprövning för tunnelbana till Arenastaden*. sv. Tillgänglig från: https://nyatunnelbanan.se/wp-content/uploads/files/09_Teknisk%20beskrivning_0.pdf [2023-11-12].

Hallberg, M. (juni 2019). *Instruktion bedömning länsvatten pH, partiklar och olja*.

Hallberg, M. (2022). *Kväveläckage från odetonerat och spillt sprängmedel*.

Hübinette, M., Ahlström, M., Flodin, E. & Malm, M. (okt. 2022). *Slutrapport: Rening av näringsämnen i överskottsvatten i infrastrukturentreprenader*. sv. Tekn. rapport. RISE. Tillgänglig från: https://fudinfo.trafikverket.se/fudinfoexternwebb/Publikationer/Publikationer_006101_006200/Publikation_006182/Rening%20av%20n%C3%A4rings%C3%A4mnen%20i%20%C3%B6verskottsvatten%20i%20infrastrukturentreprenader%20%E2%80%93%20Slutrapport.pdf [2023-11-12].

Håkansson, K. (2016). *Kvävehalter i berg – Kunskapssammanställning bakgrundshalter. Fallstudie och vattenprovtagningar TASS, Äspö*. sv. Tekn. rapport. SKB. Tillgänglig från: https://www.skb.com/publication/2483739 [2023-11-12].

Jordbruksverket (2007). *Bevattning och växtnäringsuttnyttjande*. sv. Tekn. rapport. Jordbruksverket. Tillgänglig från: https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_jo/jo07_5.pdf [2023-11-12].

Kreuger, J. & Håkansson, A. (1986). *Kemisk vattenkvalitet vid bevattning*. Tekn. rapport Rapport 149. Uppsala: SLU-Markvetenskap avdelning för lantbrukets hydroteknik. Tillgänglig från: https://pub.epsilon.slu.se/3955/1/kreuger_j_090812.pdf [2023-11-12].

Köhler, S. J., Klavzar, A., Wallman, Karin & Huser, Brian (2016). *Utvärdering av delprogrammet metaller inom miljöövervakning av sjöar*. sv. Tekn. rapport 2016:8. SLU, Institutionen för vatten och miljö. Tillgänglig från: https://pub.epsilon.slu.se/14430/11/kohler_s_etal_170908.pdf [2023-11-12].

Livsmedelsverket (dec. 2022). *Livsmedelsverkets föreskrifter (LIVSFS 2022:12)*. Tillgänglig från: https://www.livsmedelsverket.se/globalassets/om-oss/lagstiftning/dricksvatten---naturl-mineralv---kallv/livsfs-2022-12_web_t.pdf [2023-05-23].

Magnusson, J. & Norin, M. (2013). *Hantering av länsvatten i anläggningsprojekt*. sv. Tekn. rapport. SBUF. Tillgänglig från: https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/a01d5250-6145-413a-9d54-4a5df1ff1e78%5CFinalReport%5CSBUF%2012655%20Slutrapport%20L%C3%A4nsvatten%20i%20anl%C3%A4ggningsprojekt.pdf [2023-11-12].

Mattsson, E., Andersson, J., Sabel, U., Jakowlew, G., Johansson, T. & Bollmark, L. (2018). *Jordbrukets behov av vattenförsörjning*. Tekn. rapport 2018:18. Jordbruksverket. Tillgänglig från: https://www2.jordbruksverket.se/download/18.6c309e13163f38127225024/1528806838383/ra18_18v2.pdf [2023-11-12].

Naturvårdsverket (maj 2022). *Analys av vilka åtgärder som behövs för att genomföra EU-förordningen om minimikrav för återanvändning av vatten*. sv. Tekn. rapport NV-02172-21. Naturvårdsverket. Tillgänglig från: https://www.naturvardsverket.se/49b98f/contentassets/67cbd2b5d070425b932183a95ecb99a6/minimikrav-for-ateranvandning-av-vatten.pdf [2023-11-12].

Olsson, M. & Niklasson, B. (2012). *Tunneldrivning med pumpemulsion- Erfarenheter av sprängämne, utrustning och laddningsarbete*. sv. Tekn. rapport BeFo Rapport 115. Stockholm: BeFo. Tillgänglig från: https://www.befoonline.org/UserFiles/Archive/252/BeFo_Rapport_115_Skyddad.pdf [2023-11-12].

Persson, J. & Pettersson, T. (2006). *Dagvattendammar - Om provtagning, avskiljning och dammhydraulik*. Tekn. rapport 2006:115. Vägverket. Tillgänglig från: urn:nbn:se:trafikverket:diva-2878 [2023-12-16].

Regander, L. & Antevik, J. (juni 2019). *Teknisk beskrivning-Miljöprövning för utbyggd depå i Högdalen*. Tillgänglig från: https://nyatunnelbanan.se/wp-content/uploads/files/Bilaga%20A_Teknisk%20beskrivning.pdf [2023-11-12].

Region Stockholm (okt. 2020). *Bygg Stockholms nya tunnelbana med oss!* Tillgänglig från: https://nyatunnelbanan.se/wp-content/uploads/files/Entreprenadbroschyr2020_sv.pdf [2023-11-12].

REVAQ (jan. 2022). *Regler för certifieringssystemet*. Tekn. rapport Utgåva 7.2. Svenskt Vatten. Tillgänglig från: https://www.svensktvatten.se/globalassets/avlopp-och-miljo/uppstromsarbete-och-kretslopp/revaq-certifiering/revaq-regler-2022--utgava-7.2-gul.pdf [2023-11-12].

SCB (2022). *Vattenanvändningen i Sverige 2020*. sv. Tekn. rapport URN:NBN:SE:SCB-2022-MI27BR2201. Solna: SCB. Tillgänglig från: https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/miljo/vattenanvandning/vattenuttag-och-vattenanvandning-i-sverige/pong/publikationer/vattenuttag-och-vattenanvandning-i-sverige-2020/ [2023-11-12].

SGU (febr. 2013). *Bedömningsgrunder för grundvatten*. sv. Tekn. rapport 2013:01. SGU. Tillgänglig från: https://resource.sgu.se/produkter/sgurapp/s1301-rapport.pdf [2023-11-12].

SGU (u. å.). *SGUs Kartvisare*. Tillgänglig från: https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-berg-50-250-tusen.html [2023-06-27].

Siltbuster (2020). *Solution for suspended solids removal*. Tillgänglig från: https://www.siltbuster.co.uk/wp-content/uploads/2020/10/Solutions-for-Suspended-Solids-Removal-1.pdf [2023-05-05].

SMHI (jan. 2021). *Normalvärden för månadsnederbörd för perioden 1991-2020*. Månadsvärden. Tillgänglig från: https://www.smhi.se/data/meteorologi/dataserier-med-normalvarden-for-perioden-1991-2020-1.167775 [2023-11-12].

Sporre, A., Berg, S. & Hanson, N. (2016). *PM utsläpp till vatten/miljökvalitetsnormer för vatten*. Tillgänglig från: https://bransch.trafikverket.se/contentassets/c19fd7547e2b493688f3cc0576742d31/14_0_pm_utslapp_till_vatten_miljokvalitetsnormer_for_vatten.pdf [2023-11-12].

Stedingk, H. von (nov. 2022). *Miljökemisk utvärdering av injekteringsmedel*. sv. Tekn. rapport. Göteborg: Trafikverket.

Stockholm Vatten VA AB (juni 2015). *Teknisk beskrivning, kap 9 - Stockholms Framtida Avloppsrening Avloppstunneln*. sv. Tillgänglig från: https://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/sfasajten/pdf/tillstandsansokan/bilaga-d/bilaga-d-teknisk-beskrivning-avloppstunneln.pdf [2023-11-12].

Svenskt Vatten (maj 2023). *Aktivt uppströmsarbete med Revaq-certifiering*. sv. Tillgänglig från: https://www.svensktvatten.se/vattentjanster/avlopp-och-miljo/kretslopp-och-uppstromsarbete/revaq-certifiering/ [2023-06-11].

SVOA (2021). *Stockholm Vatten och Avfalls riktlinjer för länshållningvatten*. sv. Tillgänglig från: https://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/pdfer/riktlinjer/verksamheter/byggforetag/lanshallningsvatten-1.pdf [2023-11-12].

SVOA (u. å.). *Ny avloppstunnel*. sv. Tillgänglig från: https://www.stockholmvattenochavfall.se/framtidensavloppsrening/ny-avloppstunnel/ [2023-05-09].

SYVAB (2023). *Riktlinjer för avloppsvatten från industri och andra verksamheter*. Tillgänglig från: https://www.syvab.se/download/71-A35F4223BB8F6C8638DC91D94E9B16F5/Riktlinjer---lanshallningsvatten.pdf [2023-11-12].

Tilly, L., Ekvall, J., Borg, G. C. & Ouchterlony, F. (2006). *VATTENBURNA KVÄVEUTSLÄPP FRÅN SPRÄNGNING OCH SPRÄNGSTENSMASSOR*. sv. Tekn. rapport. SveBeFo. Tillgänglig från: https://www.befoonline.org/UserFiles/Archive/25/72.pdf [2023-11-12].

Trafikverket (juni 2016). *PM sprängmedel*. Tillgänglig från: https://bransch.trafikverket.se/contentassets/c19fd7547e2b493688f3cc0576742d31/23_0_pm_sprangmedel.pdf [2023-05-11].

Trafikverket (okt. 2019a). *Så bygger vi tunnlarna*. sv. text. Last Modified: 2019-10-29 09:49:44 Publisher: trafikverket@trafikverket.se. Tillgänglig från: https://bransch.trafikverket.se/startpage/projects/Road-construction-projects/the-stockholm-bypass/Sa-bygger-vi-tunnlarna/ [2023-03-09].

Trafikverket (juli 2019b). *Projekt Västlänken E04 Haga, beskrivning av vattenhantering – vatten från bergschakt juli 2019- ST 210*.

Trafikverket (juni 2019c). *Projekt Västlänken E05 Korsvägen, beskrivning av vattenhantering vatten från bergschakt juni 2019- ST206*.

Trafikverket (april 2019d). *Projekt Västlänken E05, beskrivning av vattenhantering- vatten från bergschakt april 2019 - ST 207*.

Trafikverket (maj 2020a). *Projekt Västlänken E04 Haga, beskrivning av vattenhantering – vatten från bergschakt maj 2020- ST B2 201*.

Trafikverket (nov. 2020b). *Projekt Västlänken E05 Korsvägen, beskrivning av vattenhantering vatten från bergschakt november 2020 - ST 209*. sv.

Trafikverket (sept. 2021a). *Planbeskrivning Långsjön-Sillekrog*. Tillgänglig från: https://bransch.trafikverket.se/contentassets/43f3344959b343b2b0c0dfcd9f927d44/planbeskrivning-langsjon-sillekrog-pdf-57-mb.pdf [2023-06-07].

Trafikverket (sept. 2021b). *Miljökonsekvensbeskrivning Ostlänken- Järnvägsplan delen Gerstaberg - Långsjön*. Tillgänglig från: https://bransch.trafikverket.se/contentassets/618bb4c6a8ab45aaa228c7f4446ae7b7/granskning-sep-2022/miljokonsekvensbeskrivning-gerstaberg-langsjon-pdf-24-mb.pdf [2023-07-02].

Trafikverket (sept. 2021c). *MILJÖKONSEKVENSBESKRIVNING Ostlänken - Järnvägsplan delen Långsjön-Sillekrog*. Tillgänglig från: https://bransch.trafikverket.se/contentassets/fb4306097f4f47128d2558b138c724c8/miljokonsekvensbeskrivning-langsjon-sillekrog-pdf-24-mb.pdf [2023-07-02].

Trafikverket (aug. 2022). *Planbeskrivning Gerstaberg-Långsjön*. Tillgänglig från: https://bransch.trafikverket.se/contentassets/618bb4c6a8ab45aaa228c7f4446ae7b7/granskning-sep-2022/03_planbeskrivning-gerstaberg-langsjon-pdf-51-mb.pdf [2023-06-07].

Trafikverket (maj 2023a). *Ostlänken, en ny dubbelspårig järnväg*. sv. text. Last Modified: 2023-03-20 13:18:20 Publisher: trafikverket@trafikverket.se. Tillgänglig från: https://www.trafikverket.se/vara-projekt/projekt-som-stracker-sig-over-flera-lan/nya-stambanor-mellan-stockholm-goteborg-och-malmo/ostlanken-en-ny-dubbelsparig-jarnvag/ [2023-05-04].

Trafikverket (febr. 2023b). *Västlänken*. sv. text. Last Modified: 2023-02-23 12:36:11 Publisher: trafikverket@trafikverket.se. Tillgänglig från: https://www.trafikverket.se/vara-projekt/projekt-i-vastra-gotalands-lan/vastlanken/ [2023-05-11].

Trafikverket (maj 2023c). *OSTLÄNKEN, OLP4 SÖDERTÄLJE - TROSA, GERSTABERG - SILLEKROG, Bandel 506, KM 0+000 - 27+860, Beräknings-PM, kvävehaltigt vatten, Huvuddokument, UTREDNING*.

Trafikverket (2023d). *Slutapport angående reningsanläggningen för tunnelvatten i projekt Dunsjö- Jakobshyttan, ärendenummer 535-1542-2022*.

Tveiten, V. & Andreassen, F. (aug. 2009). *Behandling og utslipp av driftsvann fra tunnelanlegg*. Tekn. rapport Teknisk rapport 09. NFF. Tillgänglig från: https://nff.no/wp-content/uploads/sites/2/2020/04/Teknisk-rapport-nr-9.pdf [2023-11-12].

Wallroth, T., Larsson, K., Hjalmarsson, H., Högsta, U., Sanell, K. & Lindblad-Påsse, A. (febr. 2016). *Ansökan om tillstånd enligt miljöbalken för anläggandet av Västlänken och Olskroken planskildhet, Teknisk Beskrivning*. Tekn. rapport. Trafikverket. Tillgänglig från: https://bransch.trafikverket.se/contentassets/623cad16101d40edbc580de82cd93ee6/teknisk_beskrivning_optimized.pdf.

Weimann, L. (juni 2014). *Utsläpp från tunnelsprängning till ytvatten - Med fallstudier vid Gerumstunneln och Ulricehamnstunneln*. Examensarbete. Göteborg: Institutionen för biologi och miljövetenskap-Göteborgs Universitet.

Vikan, H. & Meland, S. (dec. 2013). ”Purification Practices of Water Runoff from Construction of Norwegian Tunnels — Status and Research Gaps”, s. 475–484. DOI: 10.1007/978-94-007-7756-9_42. Tillgänglig från: https://www.researchgate.net/publication/259561129 [2023-11-12].

Zheng, F., Liu, L., Deng, J., Zhuang, Y., Yan, Z. & Zhou, X. (sept. 2022). *Analysis and Evaluation of Wastewater Quality During Tunnel Construction Based on Drilling and Blasting Method*. en. Tekn. rapport. IOS Press. DOI: 10.3233/ATDE220331. Tillgänglig från: https://ebooks.iospress.nl/doi/10.3233/ATDE220331 [2023-06-08].

8 Bilaga 1- Sammanställande statistik över analysdata

Tabellerna 29, 30 och 31 visar medelvärde, maximumvärde, minimumvärde och standardavvikelse för koncentrationerna av arsenik (As), bly (Pb), kadmium (Cd), krom (Cr), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), zink (Zn) för de olika projekten. Tabellerna 32, 33 och 34 visar samma statistik för koncentrationen av total kväve (tot-N), ammonium (NH_4), klorid (Cl) och suspenderad halt. Dessutom visar tabellerna statistik för pH-värdet, konduktiviteten (EC_W) och vattenflödet.

Tabell 29: Medelvärde, maximumvärde, minimumvärde och standardavvikelse för koncentrationerna ($\mu g/l$) av metallerna arsenik (As), bly (Pb), kadmium (Cd), koppar (Cu), krom (Cr), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), zink (Zn). Statistiken syns för tre av Region Stockholms projekt och SYVAB:s två projekt.

	As ($\mu g/l$)	Pb ($\mu g/l$)	Cd ($\mu g/l$)	Cu ($\mu g/l$)	Cr ($\mu g/l$)	Hg ($\mu g/l$)	Ni ($\mu g/l$)	Zn ($\mu g/l$)
Skönviksvägen								
Medel	0,875	1,00	0,0632	9,54	10,0	0,0200	3,23	38,2
Maximum	2,50	15,8	0,500	28,2	28,8	0,0200	15,8	278
Minimum	0,500	0,500	0,0500	1,27	1,26	0,0200	0,961	4,00
Stdav	0,406	3,34	0,0653	5,79	5,76	0,00	2,57	50,9
Sofia								
Medel	1,18	3,33	0,0718	12,4	14,5	0,0208	7,59	47,7
Maximum	3,28	13,8	0,327	63,2	65,1	0,0674	19,8	912
Minimum	0,0788	0,500	0,0500	4,12	0,0267	0,0200	2,82	5,34
Stdav	0,644	2,87	0,0524	11,4	12,1	0,00612	4,58	117
Station Nacka								
Medel	0,557	1,35	0,0703	7,88	10,8	0,0201	2,94	16,9
Maximum	0,834	3,88	0,500	16,1	19,6	0,0258	5,67	67,9
Minimum	0,500	0,500	0,0500	2,66	3,88	0,0200	0,600	4,00
Stdav	0,093	0,871	0,0907	2,93	3,93	0,000837	1,13	13,5
Eolshäll								
Medel	0,676	0,802	0,0349	4,09	9,32	0,102	5,34	23,6
Maximum	1,30	7,90	0,0910	13,0	47,0	0,200	18,0	230
Minimum	0,250	0,200	0,0200	1,40	0,500	0,100	0,630	2,10
Stdav	0,225	1,23	0,0122	2,45	9,79	0,0125	3,77	43,9
Smedslätten								
Medel	1,17	2,81	0,0415	7,88	14,5	0,100	4,88	31,6
Maximum	14,0	57,0	0,290	77,0	240	0,100	88,0	590
Minimum	0,0610	0,0480	0,0140	0,500	0,500	0,100	0,500	3,00
Stdav	1,79	7,96	0,0339	8,94	23,3	7,24E-09	8,21	68,2

Tabell 30: Medelvärde, maximumvärde, minimumvärde och standardavvikelse för koncentrationerna ($\mu g/l$) av metallerna arsenik (As), bly (Pb), kadmium (Cd), koppar (Cu), krom (Cr), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), zink (Zn). Statistiken syns för sju av Region Stockholms projekt.

	As ($\mu g/l$)	Pb ($\mu g/l$)	Cd ($\mu g/l$)	Cu ($\mu g/l$)	Cr ($\mu g/l$)	Hg ($\mu g/l$)	Ni ($\mu g/l$)	Zn ($\mu g/l$)
Hagastaden								
Medel	0,973	2,87	0,0549	8,6	14,9	0,0275	5,36	24,0
Maximum	3,52	12,9	0,163	49,4	54,2	0,500	28,0	232
Minimum	0,500	0,200	0,0500	1,34	0,980	0,0200	0,600	2,00
Stdav	0,501	2,69	0,0178	7,33	8,55	0,0598	4,15	30,2
Londonviadukten								
Medel	0,981	2,67	0,114	11,7	18,5	0,0200	4,71	21,70
Maximum	4,57	26,8	4,36	57,1	51,3	0,0200	23,7	120
Minimum	0,500	0,200	0,0500	1,76	0,500	0,0200	0,600	2,26
Stdav	0,56	4,01	0,501	9,62	12,7	0,00	3,93	19,4
Örbyleden								
Medel	0,778	0,824	0,0493	14,2	8,01	0,0200	8,63	78,2
Maximum	3,61	11,4	0,0804	52,5	22,3	0,0200	34,2	1010
Minimum	0,500	0,0200	0,0100	1,00	1,79	0,0200	0,681	1,00
Stdav	0,488	1,63	0,0111	13,7	4,57	0,00	8,64	142
Gullmarsplan								
Medel	1,22	1,53	0,0597	4,84	13,9	0,0149	7,75	11,7
Maximum	3,12	12,2	0,157	25,4	43,3	0,0200	41,6	66,6
Minimum	0,545	0,500	0,0500	1,00	3,15	0,00	1,94	4,00
Stdav	0,448	2,06	0,0240	4,72	7,92	0,00880	6,23	13,7
Kungsträdgården								
Medel	1,25	3,63	0,0556	10,5	17,2	0,0201	9,07	26,5
Maximum	3,84	23,0	0,122	43,6	82,4	0,0247	41,8	128
Minimum	0,500	0,500	0,0500	1,40	1,58	0,0200	0,600	4,00
Stdav	0,76	4,69	0,0157	8,22	12,7	0,000646	8,03	25,7
Värmdövägen								
Medel	1,12	3,49	0,0601	9,22	16,4	0,0200	6,15	32,7
Maximum	3,17	43,5	0,290	86,9	108	0,0200	73,2	502
Minimum	0,500	0,500	0,0500	1,82	2,35	0,0200	0,600	4,00
Stdav	0,537	7,83	0,0386	11,3	14,0	0,00	9,89	80,0
Järla östra								
Medel	0,943	1,73	0,0553	9,20	11,8	0,0200	4,31	33,2
Maximum	2,72	14,6	0,164	31,2	41,6	0,0200	28,3	504
Minimum	0,0838	0,243	0,0500	2,00	2,00	0,0200	0,834	4,00
Stdav	0,428	2,49	0,0171	5,44	7,95	0,00	4,05	65,2

Tabell 31: Medelvärde, maximumvärde, minimumvärde och standardavvikelse för koncentrationerna ($\mu g/l$) av metallerna arsenik (As), bly (Pb), kadmium (Cd), koppar (Cu), krom (Cr), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), zink (Zn). Statistiken syns för Västlänkens projekt.

	As ($\mu g/l$)	Pb ($\mu g/l$)	Cd ($\mu g/l$)	Cu ($\mu g/l$)	Cr ($\mu g/l$)	Hg ($\mu g/l$)	Ni ($\mu g/l$)	Zn ($\mu g/l$)
Station 210-Linné Haga								
Medel		0,580	0,105	2,79	8,68	0,00323	3,68	7,00
Maximum		10,0	0,840	21,0	130	0,0130	32,0	200
Minimum		0,500	0,100	0,500	0,500	0,00	0,500	2,00
Stdav		0,776	0,0602	2,74	14,3	0,00259	4,58	17,8
Station B2 201-Otterhällan Haga								
Medel		0,524	0,100	3,83	6,39	0,00500	3,48	13,7
Maximum		1,60	0,100	20,0	55,0	0,00500	40,0	560
Minimum		0,500	0,100	0,500	0,500	0,00500	0,610	2,00
Stdav		0,117	7,20E-09	3,56	7,67	0,00	4,17	57,3
Station 206-Korsvägen								
Medel		0,756	0,100	12,1	6,86		2,52	7,56
Maximum		8,40	0,100	42,0	58,0		18,0	89,0
Minimum		0,500	0,100	3,40	0,500		0,600	2,00
Stdav		0,976	7,53E-09	7,98	8,03		2,29	12,2
Station 207-Korsvägen								
Medel		1,18	0,0974	19,1	4,73		2,65	52,4
Maximum		25,0	0,100	200	41,0		11,0	1100
Minimum		0,500	0,00	0,00	0,00		0,500	2,00
Stdav		2,38	0,0161	30,0	5,30		1,76	110
Station 209-Korsvägen								
Medel		0,575	0,0966	8,86	5,61		3,74	5,40
Maximum		5,00	0,100	60,0	35,0		18,0	51,0
Minimum		0,500	0,00	1,70	0,00		0,730	1,00
Stdav		0,441	0,0182	7,49	6,82		2,71	8,06

Tabell 32: Medelvärde, maximumvärde, minimumvärde och standardavvikelse för koncentrationerna (mg/l) av klorid (Cl), totalt kväve (tot-N), ammonium (NH_4) och suspenderat material. Samma statistik är också beräknad för konduktiviteten (EC_W), PH-värdet och vattenflödet (m^3/vecka). Statistiken syns för sju av Region Stockholms projekt.

	Cl (mg/l)	EC_W (mS/m)	Tot-N (mg/l)	NH_4 (mg/l)	pH	Flöde (m^3/vecka)	Suspenderad mg/l
Hagastaden							
Medel		142	51,9		8,65	964	129
Maximum		378	175		12,1	3520	500
Minimum		91,2	2,40		6,70	136	2,40
Stdav		44,7	37,8		1,10	718	114
Londonviadukten							
Medel		190	143		8,39	671	78,9
Maximum		468	493		12,1	1940	550
Minimum		23,2	1,00		3,80	0,00	2,00
Stdav		74,3	89,2		1,13	411	118
Örbyleden							
Medel		166	69,7		8,40	65,3	26,5
Maximum		2020	174		11,6	165	550
Minimum		47,0	3,40		6,80	30,2	1,70
Stdav		285	56,0		1,05	32,0	82,2
Gullmarsplan-Sundstabacke							
Medel		174	140		8,15	895	58,0
Maximum		263	231		9,50	1630	310
Minimum		136	72,5		7,40	107	2,50
Stdav		25,5	31,2		0,425	348	75,8
Kungsträdgården							
Medel		174	112		8,69	700	139
Maximum		255	264		11,7	1390	790
Minimum		1,00	2,20		7,00	291	4,00
Stdav		45,1	79,3		1,09	305	155
Värmdövägen							
Medel		112	87,3		9,07	322	373
Maximum		247	211		11,8	698	12000
Minimum		31,1	21,2		7,90	0,00	2,90
Stdav		36,9	38,5		1,30	148	1560
Järla östra							
Medel		94,1	71,0		8,16		100,0015
Maximum		174	224		11,1		710
Minimum		43,0	2,69		7,30		2,00
Stdav		25,2	48,2		0,661		155

Tabell 33: Medelvärde, maximumvärde, minimumvärde och standardavvikelse för koncentrationerna (mg/l) av klorid (Cl), totalt kväve (tot-N), ammonium (NH_4) och suspenderat material. Samma statistik är också beräknad för konduktiviteten (EC_W), PH-värdet och vattenflödet (m^3/vecka). Statistiken syns för tre av Region Stockholms projekt och SYVAB:s två projekt.

	Cl (mg/l)	EC_W (mS/m)	Tot-N (mg/l)	NH_4 (mg/l)	pH	Flöde (m^3/vecka)	Suspenderad mg/l
Skönviksvägen							
Medel		88,0	73,1		8,07		134
Maximum		152	170		10,0		1100
Minimum		49,0	13,6		6,60		2,20
Stdav		28,4	40,2		0,560		239
Sofia							
Medel		207	129		7,82	1370	59,6
Maximum		633	339		11,4	3690	260
Minimum		104	26,4		4,20	96,0	3,50
Stdav		103	63,5		1,46	575	57,1
Station Nacka							
Medel		99,9	93,9		8,21	642	81,6
Maximum		127	135		11,2	1200	290
Minimum		68,2	35,4		7,40	46,0	2,20
Stdav		12,7	21,5		0,843	241	82,6
Eolshäll							
Medel		140	114		8,04	787	13,3
Maximum		246	390		12,0	10400	130
Minimum		60,6	8,50		6,30	26,0	0,200
Stdav		50,3	79,5		0,818	1560	26,7
Smedslätten							
Medel		284	109		7,90	1020	95,1
Maximum		1030	360		11,5	28700	1200
Minimum		43,8	2,20		6,80	68,0	2,00
Stdav		259	70,2		0,779	2570	220

Tabell 34: Medelvärde, maximumvärde, minimumvärde och standardavvikelse för koncentrationerna (mg/l) av klorid (Cl), totalt kväve (tot-N), ammonium (NH_4) och suspenderat material. Samma statistik är också beräknad för konduktiviteten (EC_W), PH-värdet och vattenflödet (m^3/vecka). Statistiken syns för Västlänkens projekt.

	Cl (mg/l)	EC_W (mS/m)	Tot-N (mg/l)	NH_4 (mg/l)	pH	Flöde (m^3/vecka)	Suspenderat (mg/l)
Station 210- Linné Haga							
Medel	167	118	86,6	34,1	8,30	957	24,3
Maximum	450	230	290	110	11,5	2220	570
Minimum	45,0	2,00	4,40	0,0100	4,50	96,0	1,20
Stdav	68,9	37,2	47,6	21,9	0,780	455	66,1
Station B2 201-Otterhällan Haga							
Medel	175	110	19,0	5,32	7,96	168	15,5
Maximum	540	340	77,0	39,0	11,4	696	87,0
Minimum	14,0	32,0	4,50	0,0100	6,20	2,00	1,40
Stdav	117	56,4	12,8	6,39	0,789	136	16,3
Station 206-Korsvägen							
Medel	75,1		81,8	33,4	7,68	774	35,9
Maximum	300		350	210	8,70	2690	540
Minimum	15,0		21,0	0,780	6,80	77,0	0,00
Stdav	34,7		42,7	30,5	0,328	362	66,3
Station 207-Korsvägen							
Medel	82,1		44,2	17,9	7,63	254	13,5
Maximum	380		220	140	11,5	858	99,0
Minimum	14,0		0,00	0,0130	6,90	28,0	1,00
Stdav	51,2		38,6	23,2	0,401	181	15,5
Station 209-Korsvägen							
Medel	78,4		39,7	18,7	7,84	923	15,9
Maximum	350		120	100	11,6	2320	170
Minimum	11,0		2,70	0,540	7,00	108	0,00
Stdav	49,3		22,8	14,8	0,481	402	21,0