



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 19050

Examensarbete 30 hp
September 2019

Transport av förorenat sediment i Eskilstunaån

Frida Gällstedt

REFERAT

Transport av förorenat sediment i Eskilstunaån

Frida Gällstedt

Eskilstuna har sedan länge varit en industristad vilket har inneburit utsläpp av främst metallföroreningar men även organiska ämnen till Eskilstunaån. Provtagningar har vid upprepade tillfällen gjorts och det har visats att sedimentet i ån innehåller höga halter av förorenande ämnen. Sediment förorenat av miljögifter utgör en risk för både miljön och människors hälsa. Beroende på vilka förhållanden som råder i vattendraget skiljer sig sedimentationshastigheten åt, dels mellan olika vattendrag men den kan också variera inom recipienten vilket gör att det kan finnas särskilda områden där sediment och föroreningar ackumuleras. Det kan vara av vikt att identifiera dessa platser för att minska risken för återsuspension av sedimentet, som sedan kan transporteras vidare nedströms, samt för eventuella framtida åtgärder.

I examensarbetet undersöktes föroreningsspridningen i Eskilstunaån och var ackumulationsbottnar kan förväntas ligga. En sedimenttransportmodell byggdes upp i programmet HEC-RAS med åns batymetri som utgångspunkt. Resultaten från modelleringar analyserades och tolkades med det geografiska informationssystemet ArcGIS och jämfördes med bottenens hårdhet samt tidigare utförda sedimentprovtagningar.

Sedimenttransportmodelleringen tyder på att området med mest ackumulation finns i Eskilstunaån där den passerar centrum och där åns botten är relativt mjuk. De högsta halterna för majoriteten av de undersökta metallföroreningarna påträffades trots detta längre nedströms där botten, sett till hela ån, inte var utmärkande mjuk men i jämförelse med närliggande platser var den däremot mjuk och relativt djup. En slutsats som kan dras ur detta är att vid lokalisering av ackumulationsbottnar bör vattendragets batymetri analyseras i kombination med bottenens hårdhet och det bör göras på kortare sträckor.

Nyckelord: sedimenttransport, förorenat sediment, modellering, HEC-RAS, ArcGIS, ackumulationsbotten, erosionsbotten

ABSTRACT

Transport of contaminated sediment in Eskilstunaån

Frida Gällstedt

Eskilstuna has been an industrial town for a long time which has caused emissions of mostly metal contaminants but also organic substances in to the Eskilstuna river. Samples from the sediment shows high content of some pollutants. Contaminated sediments can cause environmental and health hazards. Therefore, it is of importance to locate accumulation areas in the riverbed to avoid resuspension of the sediment, for preventing further transport downstream, and it may be of use if remediation measures becomes necessary.

In this thesis the distribution of metal contaminants in the Eskilstuna river were investigated and accumulation areas located. A sediment transport model, based on the bathymetry, was implemented in the river analysis system HEC-RAS. The results from the model were later analyzed in the geographical information system ArcGIS and compared to the riverbeds hardness and the sediment samples.

The sediment transport model showed an accumulation area in the river where it flows through the city center and the riverbed is relatively soft. The highest concentrations of most pollutants were found further downstream where the riverbed has a higher relative hardness. However, if only the neighbouring areas are compared to this locations the accumulation area is soft with a relative large depth. As a conclusion, one may have to take both bathymetry and the riverbeds hardness into account when locating accumulation areas.

Keywords: sediment transport, contaminated sediment, modelling, HEC-RAS, ArcGIS, accumulation, erosion

Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Science, Uppsala University, Villavägen 16, SE-75236 Uppsala, Sweden. ISSN 1401-5765

FÖRORD

Den här rapporten är ett examensarbete i Civilingenjörsprogrammet i miljö- och vattenteknik vid Uppsala Universitet och Sveriges Lantbruksuniversitet. Arbetet omfattar 30 högskolepoäng och gjordes på uppdrag av Miljökontoret hos Eskilstuna kommun.Handledare har varit Rickard Pettersson och ämnesgranskare Ian Snowball, båda från Institutionen för geovetenskaper vid Uppsala Universitet.

Inledningsvis vill jag tacka Miljökontoret vid Eskilstuna kommun för möjligheten att göra detta examensarbete. Fortsättningsvis tackar jag handledare Rickard för hjälpen med att rätta ut flertalet frågetecken som dykt upp under arbetets gång samt ämnesgranskare Ian för många tips och råd.

Avslutningsvis vill jag rikta ett stort tack till alla kursare och vänner som gjort de senaste fem åren till en minnesvärd studietid!

Uppsala, augusti 2019

Frida Gällstedt

Copyright © Frida Gällstedt, Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala universitet samt Eskilstuna kommun.

UPTEC W 19050, ISSN 1401-5765

Publicerad digitalt vid Institutionen för geovetenskaper, Uppsala Universitet, Uppsala 2019.

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Lokalisering av ackumulationsplatser för Eskilstunaåns sediment

Frida Gällstedt

Ett förorenat sediment kan utgöra risker för såväl miljö som människors hälsa. Beroende på vilka förhållanden som råder i vattendraget kan sedimentet återsuspendera av sig självt och föras vidare med strömmarna eller så kan det virvlas upp i samband med mänsklig aktivitet. Eskilstunaån är ett av många svenska vattendrag där höjda halter förorenande ämnen observerats. För att undvika vidare transport av det förorenade sedimentet är det av vikt att lokalisera eventuella samlingsplatser i vattendraget. Det kan även vara av intresse om en sanering skulle bli aktuell.

Eskilstunaån rinner genom staden Eskilstuna som har en lång historia av industriverksamheter. Detta har inneburit utsläpp av spillvatten, innehållande olika föroreningar i form av metaller och organiska ämnen, till ån. Prover har tagits i vattendraget och det har konstaterats att åns sediment innehåller höjda halter förorenande ämnen. Enligt teorin samlas mest sediment på de så kallade ackumulationsbottnarna. Dessa är vanligtvis relativt mjuka och ligger djupare i vattendraget.

För projektet tillhandahölls data för Eskilstunaåns batymetri, bottenens hårdhet samt tidigare tagna sedimentprover av Eskilstuna kommun. En batymetri över ett vattendrags botten kan sägas vara motsvarigheten för ett landskaps topografi. Med denna till grund byggdes en modell av Eskilstunaån upp i modelleringsprogrammet HEC-RAS. I modellen undersöktes sedan sedimenttransporten för att identifiera troliga ansamlingsplatser. Metaller binder vanligtvis till markpartiklarna som sedimenterar och det antas därför att där sedimentet ansamlas kommer även högre halter av föroreningarna finnas. Som ett verktyg i tolkandet av resultat från modellen samt tidigare sedimentprovtagningar användes det geografiska informationssystemet ArcGIS.

Den tydligaste ackumulationsplatsen, enligt modellen, påträffas där Eskilstunaån passerar stadens centrum. Sedimentprovtagningarna visar däremot att de högsta halterna av övervägande delen av de ämnen som undersöktes finns längre nedströms. Bottnarna på dessa platser är inte utmärkande mjuka sett till hela vattendraget. Om vattendraget däremot delas upp i kortare sträckor syns det att båda bottnarna är relativt mjuka och djupa jämfört med omkringliggande områden. Vid lokalisering av ackumulationsbottnar bör därför bottenens hårdhet analyseras i kombination med batymetrin på kortare sträckor.

Innehållsförteckning

Referat	I
Abstract	II
Förord	III
Populärvetenskaplig sammanfattning	IV
1 Inledning	1
1.1 Mål och syfte	1
1.2 Frågeställningar	1
1.3 Avgränsningar	1
2 Bakgrund och teori	2
2.1 Platsbeskrivning	2
2.2 Verksamhetshistorik längs Eskilstunaån	3
2.3 Klassificering av åbotten	3
2.4 Sedimenttransport och föroreningar	5
2.5 Insamlad data	6
2.5.1 Sedimentprovtagningar	6
2.5.2 Multistråleekolod	8
2.6 Mjukvaror	9
3 Metod	10
3.1 Verksamhetshistorik	10
3.2 Modellering av sedimenttransport	10
3.2.1 ArcMap	10
3.2.2 HEC-RAS	11
3.3 Sammanställning av Sedimentprover	13
4 Resultat	13
4.1 Verksamhetshistorik	13
4.2 Modellering av sedimenttransport	14
4.3 Sammanställning av sedimentprover	19
5 Diskussion	23
5.1 Verksamhetshistorik	23
5.2 Modellering av sedimenttransport	23
5.3 Sammanställning av sedimentprover	24
5.4 Felkällor	25
5.5 Framtida studier	26
6 Slutsatser	27
Referenser	28

Appendix A	35
Verksamhetshistoriken längs Eskilstunaån	35
Appendix B	36
Siktkurvor	36
Appendix C	38
Transportfunktioner	38
Appendix D	39
Bottens hårdhet	39

1 INLEDNING

Eskilstuna har sedan länge varit en industristad (Eskilstuna kommun, 2012). Redan på 1500-talet började järnsmide bedrivas i staden och vid inrättandet av Fristaden år 1771, som gjorde att arbetare i området fick ekonomisk fördel, blev metallindustrin framgångsrik. Baksidan med industritäta orter är att närbelägna vattendrag löper risk att förorenas av spillvatten som släpps ut från fabriker och av lakvatten från deponier. Vid metallindustrier är det främst lösta metallföroreningar som släpps ut men även organiska föroreningar kan förekomma beroende på vilka ämnen och processer som används i industrin. I vattnet binder metallerna vanligtvis till partiklar som sedan sedimenterar på vattendragets botten. Förorenat sediment kan utgöra en risk för såväl miljö som människor (Hossen Real et al., 2019). Hur de vattenlevande organismerna påverkas är ofta svårt att förutsäga, dels för att organismerna har olika förutsättningar och dels för att återhämtningen för ett akvatiskt system tar lång tid (Polovodova Asteman et al., 2015).

I Eskilstunaån, som rinner genom staden, har flertalet provtagningar av dess sediment gjorts och höga halter av olika metallföroreningar har upptäckts i vissa områden. För att undvika återsuspension av förorenat sediment, som då kan transporteras vidare nedströms, samt att undvika hälsorisker vid eventuella byggnationer i ån är det av intresse att veta var ackumulationsplatser av föroreningarna finns.

1.1 MÅL OCH SYFTE

Det här projektet syftade till att utreda förorenings-spridningen i Eskilstunaåns sediment och undersöka om det finns ackumulationsplatser för föroreningar. Arbetet skulle ge en bild över var högre halter föroreningar kan förväntas förekomma, vilket kan underlätta vid kommande provtagningar, samt kunna utgöra underlag för kommande beslut om eventuella åtgärder.

1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR

För att uppfylla projektets syfte har följande frågeställningar undersökts och besvaras i rapporten:

- Hur ser verksamhetshistoriken ut längsmed Eskilstunaån?
- Hur ser utbredningen av de olika klassifikationerna av åbottnar ut?
- Finns det ackumulationsområden i ån och vilken hårdhet har botten på dessa platser?

1.3 AVGRÄNSNINGAR

När verksamhetshistoriken längsmed Eskilstunaån undersöktes granskades endast de industrier som varit belägna närmast vattendraget och inte de som legat i närheten av angränsande diken. Denna avgränsning har gjorts med anledning av tidsbegränsningen.

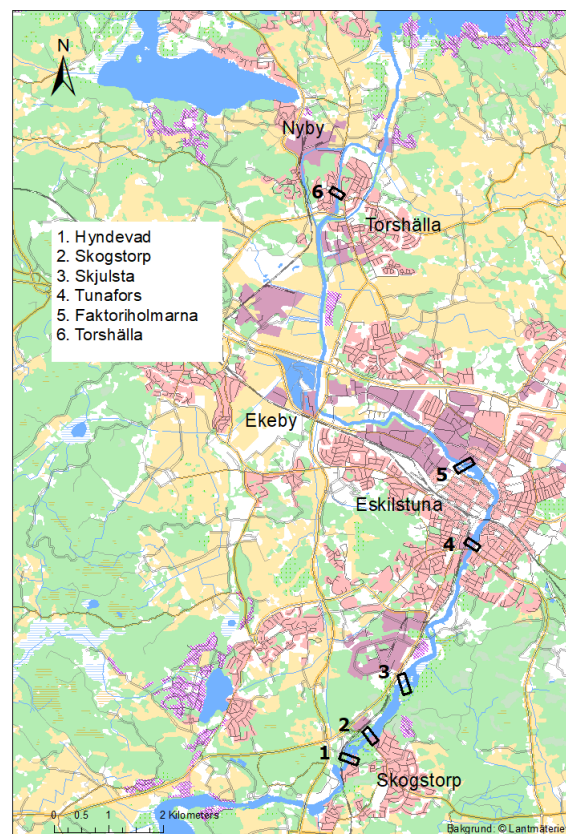
Vid modellering av sedimenttransport i modelleringsprogrammet HEC-RAS, som används i detta projekt, får vattendraget endast bestå av en huvudfåra utan förgreningar. Eskilstunaån har vid Torshälla tre grenar som går parallellt och två av dessa fick därför utelämnas i modelleringen och då togs heller inte sedimentproverna från biflödena med i utvärderingen.

2 BAKGRUND OCH TEORI

Eskilstuna har en lång historia som industristad vilket har orsakat en viss föroreningsproblematik i Eskilstunaån som rinner genom staden. För att utreda föroreningssituationen i Eskilstunaån har flertalet undersökningar utförts på uppdrag av Eskilstuna kommun. Föroreningar kan sedimentera på åns botten och hur mycket som ansamlas beror på dess karaktär. Bottnar brukar delas upp i olika klassifikationer beroende på vilka egenskaper de har.

2.1 PLATSBESKRIVNING

Eskilstunaån börjar vid Hjälmarens utlopp, 16 km sydväst om Eskilstuna. Ån rinner i norrgående riktning genom staden och vid Torshälla grenar den sig i tre biflöden vilka förenas igen och ån mynnar därefter ut i Mälaren, se figur 1. Eskilstunaån är en reglerad å med flertalet fördämningar (Larsson & Pettersson, 2014). Dammar finns vid Hyndevad, Skogstorp, Skjulsta, Tunafors, Faktoriholmarna, Torshälla samt i Nyby. Slussar har installerats vid Faktoriholmarna och Torshälla men de kommer inte utredas vidare i projektet.



Figur 1: Karta över Eskilstunaån och dess dammar. Hyndevad ligger längst uppströms och närmast Hjälmarens.

2.2 VERKSAMHETSHISTORIK LÄNGS ESKILSTUNAÅN

Redan på 1500-talet började smide bedrivas i Eskilstuna vid området som idag kallas Faktoriholmarna (Eskilstuna kommun, 2012). Endast ett hundratal meter därifrån grundades, på mitten av 1600-talet, en järnmanufaktur som idag kallas Rademachersmedjorna. I samma område inrättades år 1771 en fristad som skulle underlätta ekonomiskt för järnsmide vilket gjorde att den industriella utvecklingen tog fart i Eskilstuna.

Tidigare industrier och fabrikslokaler påträffas på många platser i Eskilstuna. En del av dessa visar att verksamheter har bedrivits i nära, eller direkt anslutning till Eskilstunaån. Utöver industriverksamheter längs ån finns också ett reningsverk i Ekeby som startade år 1955 samt ett område i Skjulsta med fyllnadsmaterial av avfall (Eskilstuna kommun, 2019u, Eskilstuna kommun, 2019v). Spillvatten som släpps ut från järn- och stålindustrier kan innehålla flertalet olika miljöföroreningar (Tong, et al., 2018). Det rör sig främst om metaller, lösta i vattnet, men även organiska föreningar. Exakt vilka ämnen som släpps ut med spillvattnet beror på vilka processer som använts och vilka material som hanteras.

I samband med de många industrier som bedrivits i staden genom åren har mark förorenats när avfall från verksamheterna lagts på deponier (Eskilstuna kommun, 2012). År 2015 gjordes en inventering av 55 platser där någon typ av farligt avfall deponerats. Beroende på hur deponin har skötts och på markens egenskaper finns risk för att föroreningar har läckt ut och spridits över ett större markområde samt till grund- eller ytvatten. Några av de nedlagda deponierna ligger centralt och i närheten av Eskilstunaån. Ytterligare föroreningskällor för ån är dagvatten som kan innehålla halter av metaller och organiska föreningar (Salmore et al., 2006) samt anslutande diken som kan leda vatten från industrier som varit belägna längre bort från ån.

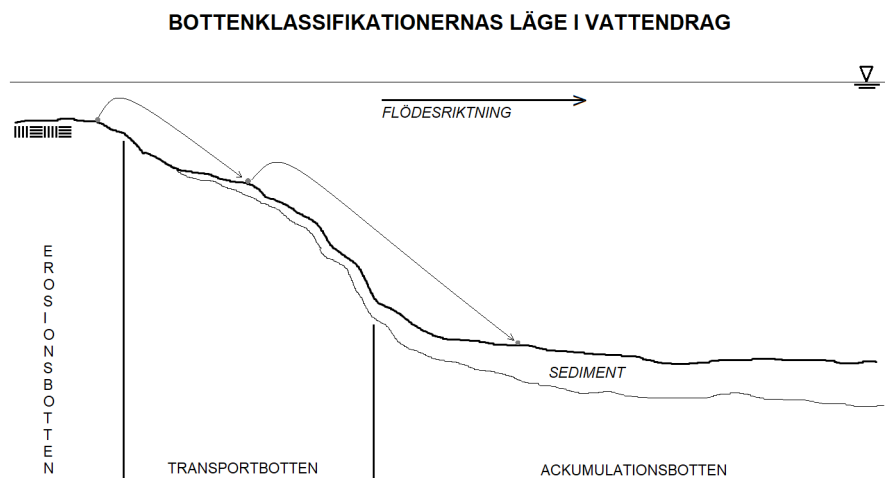
2.3 KLASSIFICERING AV ÅBOTTEN

Föroreningar, i form av organiska ämnen och metaller, som släpps ut i vattendrag binder vanligtvis till partiklar som sedan sedimenterar på botten (Naturvårdsverket, 2017). Det finns risk för återsuspension av det sedimenterade materialet och då kan sedimentet i sig utgöra en källa till förorenings-spridning. Botten i recipienter brukar delas in i tre olika kategorier beroende på dess fysikaliska egenskaper; ackumulationsbotten, erosionsbotten samt transportbotten. Se figur 2 för en schematisk bild av de olika bottenklassifikationerna.

Materialet som sedimenterar på en erosionsbotten konsolideras löst och kan återsuspendera efter kort tid och föras vidare nedströms i recipienten (Havs- och vattenmyndigheten, 2013). Ett kännetecken för en erosionsbotten är att den främst utgörs av grövre partikelfraktioner och ligger relativt nära vattenytan (Naturvårdsverket, 2017a). Ansamlingen av föroreningar på dessa typer av botten kan antas vara begränsad.

På en ackumulationsbotten ansamlas i regel sediment kontinuerligt utan att erosion sker och risken för återsuspension av partiklar och föroreningar kan därför anses vara liten (Naturvårdsverket, 2017a). Ackumulationsbottnar ligger vanligtvis på större djup i recipienten och även fina partiklar kan sedimentera där. Genom att undersöka olika lager i sediment kan det vara möjligt att avgöra under vilken tidsperiod ett visst ämne släpptes ut. Beroende på den lokala markanvändningen och hur länge marken brukats kan den naturliga bakgrundshalten av ett specifikt ämne påträffas på olika djup i sedimenten hos olika vattendrag. Metallers rörlighet i sedimentet beror dels på ämnens egenskaper men också på dess redox-förhållanden.

En transportbotten innebär att avsättningen av material sker oregelbundet (Jonsson et al., 2003). Ibland ackumuleras sediment för att sedan eroderas och transporteras vidare. Det gör att föroreningshalterna i dessa bottnar kan vara svåra att förutsäga eftersom de varierar över tiden. Transportbottnar karaktäriseras av att de fungerar som en länk mellan de ytligare erosionsbottnarna och de djupare ackumulationsbottnarna. Sediment kan avsättas och återsuspenderas upprepade gånger på en transportbotten. Beroende på hur ofta det sker brukar transportbottnar delas in i två olika kategorier; korttids- och långtidstransportbotten. På en långtidstransportbotten återsuspenderas det sedimenterade materialet mer sällan än en gång per år. Dessa bottnar ligger oftast geografiskt närmare ackumulationsbottnarna än korttidstransportbottnarna.



Figur 2: En schematisk bild över de olika bottenklassifikationerna erosionsbotten, transportbotten samt ackumulationsbotten. Bilden föreställer ett vattendrags botten i profil. Den översta horisontella linjen markerar vattenytan och flödesriktningen är åt höger i bild.

2.4 SEDIMENTTRANSPORT OCH FÖRORENINGAR

Dammar som byggs i åar får stor betydelse för sedimenttransporten eftersom sedimenten hindras av fördämningen och ackumuleras (Poff & Hart, 2002). Hur mycket sediment som samlas uppströms dammen beror bland annat på hur hög fördämningen är. Dammar och överfallsvärn med en höjd kring 2 meter påverkar till exempel sedimenttransporten mindre än en fördämning på 10 meter. Om vattnet får en fallhöjd när det släpps ut från dammen ökar erosionen och sedimenttransporten nedströms. Sediment som ackumuleras vid dammar minskar dess kapacitet och dammen kan inte lagra lika mycket vatten. Det är möjligt att ta bort sedimentet men då finns risk för vidare transport nedströms. Är sedimentet förorenat bör för- och nackdelar vägas innan åtgärder vidtas eftersom det kan få negativa effekter på den akvatiska miljön samt, i vissa fall, människors hälsa. Senaste gången det muddrades vid en damm i Eskilstunaån var på 1980-talet (H. Sandberg, personlig kommunikation). Detta gjordes uppströms Hyndevad i samband med en ny vattendom. År 1999 torrlades Nybyån, delen av Eskilstunaån som passerar Nyby vid dess förgrening kring Torshälla, och rensades.

Naturvårdsverket har sammanställt provtagningar av ytsediment i svenska sjöar för att undersöka vilka halter av metaller som är vanligt förekommande (Naturvårdsverket, 2018e). Proverna är tagna mellan åren 1980 och 1994 och omfattar ungefär 320 sjöar. Den insamlade datan delades in i fem olika klasser baserat på hur många av sjöarna som uppvisade en viss halt av ett ämne i dess sediment. I tabell 1 redovisas klasserna två, tre och fyra; ”Låg halt”, ”Medelhög halt” samt ”Hög halt”. Klass ett och fem har lägre halt än undre gränsen i klass två respektive högre halt än övre gränsen i klass fyra. Den övre gränsen för klass tre har dragits vid 95-percentilen och de resterande värdena hamnade i klass fyra och fem vilka främst påträffades vid specifika platser där det varit högre belastning på den aktuella sjön.

Tabell 1: Klassificeringar av olika metallhalter i sjösediment som Naturvårdsverket har arbetat fram utifrån provtagningar i svenska sjöar. Värdena har delats upp i fem klasser beroende på hur vanligt förekommande de olika halterna var. Klass 1 till 3 innehåller 95% av mätvärdena. I tabellen finns klasserna två, tre och fyra representerade

Ämne	Låg halt [mg/kg TS]	Medelhög halt [mg/kg TS]	Hög halt [mg/kg TS]
As	5-10	10-30	30-150
Cd	0,8-2	2-7	7-35
Cr	10-20	20-100	100-500
Cu	15-25	25-100	100-500
Hg	0,15-0,3	0,3-1	1-5
Ni	5-15	15-50	50-250
Pb	50-150	150-400	400-2000
Zn	150-300	300-1000	1000-5000

2.5 INSAMLAD DATA

Flertalet undersökningar och mätningar har gjorts i Eskilstunaån på uppdrag av Eskilstuna kommun. Detta arbete baseras på sedimentprovtagningar samt backscatter för bottenens hårdhet och batymetri.

2.5.1 Sedimentprovtagningar

Provtagningar i Eskilstunaåns sediment har gjorts vid ett antal tillfällen, både i själva ån men även i anslutande diken. Totalt har sediment provtagits vid ett 30-tal punkter i ån. De tidigaste provtagningarna, som används i detta arbete, är från 1996 och de nyligaste från 2017. Eftersom olika företag har anlåtits för olika undersökningar längs ån har metoderna både vid provtagning och analys varierat. De analyserade ämnena varierar också mellan undersökningarna. Ofta har fokus legat på metaller men ibland har även organiska föroreningar analyserats. Då övervägande delen av proverna där organiska föroreningar har undersökts ligger i anslutande diken och inte i ån har dessa inte utretts i projektet. I detta arbete lades fokus på följande föroreningar, eftersom de har ingått i flest analyser:

Arsenik

Arsenik (As) är en halvmetall som används inom metallindustrin (Naturvårdsverket, 2018a). Idag är användningen strängt reglerad eftersom arsenik har toxiska effekter på både människor och miljö, däribland växter och vattenlevande organismer. Hur mobil arseniken är beror till stor del på vilken form den förekommer i samt vilka egenskaper som marken eller sedimenten har (Gustafsson et al., 2007). Vanligast är att arseniken binds till oxider istället för lermineral och organiskt material.

Kadmium

Kadmium (Cd) har tidigare använts mycket inom metallindustrin och främst vid behandling av stål (Naturvårdsverket, 2019a). Idag är användningen mer reglerad och de främsta användningsområdena är batterier och vissa målarfärger. Kadmium kan vara toxiskt för både människor, mikroorganismer samt vattenlevande djur. Dess mobilitet beror till stor del på markens eller sedimentets pH (Gustafsson et al., 2007). Vid högre pH fastläggs en större andel kadmium jämfört med vid låga pH-värden.

Kobolt

Kobolt (Co) kan användas vid ytbehandling av olika metallprodukter (Nationalencyklopedin, 2019a). Den lämpar sig väl till detta eftersom den inte påverkas nämnvärt av kemiska ämnen och dess egenskaper är de samma även vid höga temperaturer. Kobolt kan därför användas i motorer och olika turbiner. Historiskt sett har kobolt använts för att få blått färgpigment, till exempel vid glasblåsning. Dagens största användningsområde är batterier. Kobolt är, i jämförelse med andra metaller, inte så toxiskt men vid tillräckligt höga halter kan det ändå vara skadligt (Ministry of the Environment, 2001). Hur toxiskt kobolt är för vattenlevande organismer beror mycket på vilken art det rör sig om samt vattnets förhållanden, till exempel dess hårdhet. (Diamond et al., 1992).

Krom

I industrin kan krom (Cr) användas vid ytbehandling av andra metaller samt vid kemisk garvning (Naturvårdsverket, 2017b). Utsläppen av krom sker främst till vatten och utöver industrier är avloppsreningsverk också en källa för föroreningen. Hur toxiskt kromet är beror till stor del av vilken form den förekommer i. Sexvärt krom är mer skadligt än de andra formerna eftersom det då är mer biotillgängligt och mobilt (Berggren Kleja et al., 2006). Krom binds ofta starkt till markpartiklar vid lågt pH och under anaeroba förhållanden.

Koppar

Även koppar (Cu) är ett ämne som släpps ut vid metallindustri (Naturvårdsverket, 2018b). Vanligaste spridningsvägen är till luften men utsläppen har minskat betydligt med de effektivare reningsteknikerna. Pappers- och massaindustrier samt avloppsreningsverk är idag de största orsakerna till spridning av koppar till vattendrag. Särskilt vattenlevande organismer påverkas negativt av koppar. pH har en relativt liten påverkan för koppars mobilitet vilket troligen beror på dess förmåga att starkt komplexbinda till organiska föreningar (Gustafsson et al., 2007).

Kvicksilver

Kvicksilver (Hg) klassas som en av de farligare miljögifterna eftersom det är toxiskt och vid omvandling till den organiska formen metylkvicksilver kan det tas upp av alla organismer (Naturvårdsverket, 2019b). Metylkvicksilver bryts dessutom ner långsamt och är bioackumulerande. Övervägande delen av kvicksilverutsläpp har skett till luften genom industrier och förbränning av kol och avfall. Kvicksilvret kan sedan transporteras långa sträckor för att sedan falla ned till mark och vatten. Utsläppen har den senaste tiden reducerats i och med en urfasad användning av ämnet.

Mangan

Den övervägande delen av allt mangan (Mn) som bryts används inom stålindustrin (Nationalencyklopedin, 2019b). Där används den till exempel som legering för att göra metallprodukter hårdare. Mangan kan också användas vid keramik- och glasindustrier. Då $\text{pH} < 5$ är mangan lösligt och mobilt annars binds det hårt till markens partiklar.

Nickel

Det största användningsområdet för nickel (Ni) är att det nyttjas vid framställning av rostfritt stål (Naturvårdsverket, 2017c). Det kan också användas som ytbehandling för att minska risken för rost hos andra metaller. Idag sker större delen av nickelutsläpp till vatten via avloppsreningsverk och pappersbruk. Nickel blir skadligt för levande organismer först vid höga halter och det binds ofta hårt till organiskt material när pH är högt (Berggren Kleja, 2006).

Bly

Den största utsläppskällan av bly (Pb) var fordon men efter förbud mot blyhaltiga drivmedel har utsläppen minskat kraftigt de senaste 25 åren (Naturvårdsverket, 2018c). Bly har även släppts ut från industrier som hanterat metaller och stål, men idag har utsläppen till luften minskat genom bättre rening där en större andel av blyet reduceras. Bly är toxiskt för levande organismer och kan vid intag skada nervsystem (Naturvårdsverket, 2019c). Bly binder vanligtvis starkt till partiklarna i marken och är därför relativt immobil (Gustafsson et al., 2007).

Vanadin

Järnmalm som, till exempel, kan användas vid framställning av stål innehåller vanligtvis vanadin (V) (Sveriges Geologiska Undersökning, 2018). Detta hamnar sedan i slagget och vid deponering finns risk för läckage, beroende på hur det hanteras. Vid högre pH ökar mobiliteten för vanadin och risken för utlakning blir större (Torjusen et al., 2013). Vanadinföreningar har visats vara toxiska för djur och människor och är inget essentiellt näringsämne.

Zink

Zink (Zn) används vanligen inom metallindustrin för ytbehandling av andra metaller, så kallad galvanisering, eller vid framställning av mässing (Naturvårdsverket, 2018d). Utsläppen av zink till luften visar på en nedåtgående trend och idag står massaindustrin för de största utsläppen av zink till vattenrecipienter. Zink har visat sig ha mycket liknande kemiska egenskaper som kadmium och dess mobilitet påverkas betydande av pH . Ett lågt pH gör ämnet mobilt och då mer toxiskt för sin omgivning (Gustafsson et al., 2007).

2.5.2 Multistråleekolod

För att få ett backsäcker över ett område kan ett multistråleekolod användas (Kågesten, 2008). Det är en metod som går ut på att ljudvågor skickas ut från en sändare och ned i vattnet. Signalerna reflekteras mot botten och sändaren registrerar hur lång tid det tar för

signalerna att komma tillbaka eller hur dess styrka förändrats. Fördelen med att skicka ut flertalet strålar samtidigt i olika riktningar är att större ytor kan undersökas utan att interpolation mellan mätpunkter är nödvändig. Den insamlade datan kallas backscatter och kan tolkas på olika sätt för att få olika information om vattendragets botten.

År 2015 utfördes en skanning, med en sidavsökande sonar, över Eskilstunaån av företaget Metria. Mätningarna sammanställdes i en kartläggning över åbottens hårdhet samt en batymetri. Med data över den relativa hårdheten går det att uppskatta de olika bottenklassifikationernas utbredning. Hur signalen reflekteras mot botten beror på materialets egenskaper (Kågesten, 2008). En svagare signal indikerar en mjukare botten, vanligtvis bestående av sand eller lera vilket då kan antas vara en ackumulationsbotten. Om signalen är stark indikerar det att signalen träffat en hårdare botten bestående av grus och sten. En batymetri över ett vattendrags botten kan sägas vara motsvarigheten för ett landskaps topografi. Den visar var det är grundare, var det är djupare och det går att urskilja olika formationer på botten.

2.6 MJUKVAROR

I projektet användes programmet ArcMap, version 10.6.1, för att analysera sedimentprovtagningarna, backscatterdatat samt verksamhetshistoriken. Vid modellering av sedimenttransport i ån används HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), version 4.1.0. Programmet är skapat av US Army Corps of Engineers (USACE) och går att ladda ned från deras hemsida (USACE, 2019). För möjligheten att föra över data och information mellan de två programmen ArcMap och HEC-RAS användes expansionen HEC-geoRAS 10.2, som också finns att ladda ned.

För att skapa en modell med HEC-RAS måste ett antal antaganden göras (Brunner, 2010). Användaren måste uppskatta koefficienter, så som Mannings skrovlighetskoefficient, n . Koefficienten är ett mått på hur skrovlig vattendragets botten är. En slät botten ger ett lågt värde på n , medan ett gräsbeklätt svämplan ger ett högre värde. Dammöppningskoefficienter måste också anges samt bestämma vilka funktioner och metoder som ska användas vid beräkningarna av olika steg i modellen. För sedimenttransport ska transportfunktion, sorteringsmetod och en metod för att beräkna sedimentationshastigheten väljas. Det finns ett antal valmöjligheter och vilka funktioner som väljs kan få stor betydelse för resultatet.

3 METOD

3.1 VERKSAMHETSHISTORIK

För att kartlägga verksamhetshistoriken längsmed Eskilstunaån användes kommunens karttjänst "Eskilstunakartan" i kombination med Eskilstunas stadsmuseum och stadsarkiv. På kartan undersöktes vilka kvarter som ligger i nära anslutning till ån (Eskilstuna kommun & Lantmäteriet, 2017). Kvartersnamnet användes sedan som sökord i de webbaserade arkiven för att se om det bedrivits någon industriell verksamhet i kvarteret (Eskilstuna kommun, 2019ö). Kvarter, verksamhet och hanterat material sammanställdes i tabell A1 och kvartersområdena markerades på en karta över Eskilstuna i ArcMap.

3.2 MODELLERING AV SEDIMENTTRANSPORT

Uppbyggandet av modellen över Eskilstunaån gjordes i flera steg. Geografisk data över vattendraget förbereddes i ArcMap och finjusterades sedan i HEC-RAS. När en stabil vattenflödesmodell tagits fram kunde information om sedimentet läggas in för att göra en transportmodell.

3.2.1 ArcMap

Inledningsvis laddades höjddata, med 2 meters upplösning, ned från Lantmäteriets geodata-bas. Eftersom höjddatan visade åns vattenyta behövde denna kompletteras med batymetrin som Eskilstuna kommun låtit ta fram. Batymetridata hade en hög upplösning och blev därför arbetstung i ArcMap. För att underlätta detta sänktes upplösningen från 0.15 meter till 2 meter. Därefter klipptes åns konturer ut ur höjddatan och batymetrins höjd över havet justerades så att strandkanterna fick samma värden i de två raster-filerna. Med verktyget "Mosaiking" i ArcMap kunde filerna slås ihop till ett nytt heltäckande terrängdata där även åns botten fanns med.

Vissa områden, på åns botten, i den nya filen visade sig ha negativa värden. För att inte orsaka problem i expansionsprogrammet HEC-geoRAS höjdes all data så att den lägsta punkten i terrängen fick ett positivt värde nära 0. Raster-filen konverterades till en TIN (Triangular Irregular Network) och, så kallade, RAS-lager för åns mittlinje, bankar, flödesriktning samt tvärsektioner skapades i HEC-geoRAS under fliken "RAS Geometry" (Best Solution Line, 2017). Mittlinjen och bankarna markerades därefter i filen och topografin följdes noga. Flödesriktningen definierades att gå från syd till norr genom att ange vilken av bankarna som låg på vänster respektive höger sida av vattnet, sett i uppströms riktning. Åns mittlinje kopierades som flödets mittlinje. Därefter markerades tvärsektioner ut i ån. Dessa placerades där åns bredd eller djup förändrades markant samt i kurvorna. I HEC-RAS antas ån ha en likadan profil fram till nästa nedströms tvärsektion. Av den anledningen ritades fler sektioner ut där åns botten var mer varierande för att göra modellen noggrannare.

Med TIN-filen och alla de nödvändiga lagren kunde åns topografi, sträckorna mellan tvärsektionerna, sektionernas bankstationer samt sektionernas nummer skapas i HEC-geoRAS. All framtagna data exporterades sedan till ett format som kan läsas av HEC-RAS och från HEC-RAS importerades datat från GIS-format.

3.2.2 HEC-RAS

Uppbyggnad av Eskilstunaån

De importerade tvärsektionerna undersöktes i HEC-RAS för att se hur väl de verkade stämma överens med batymetrien. I några sektioner bedömdes bankstationerna hamnat fel och dessa justerades manuellt. Hos några andra sektioner verkade det som att en del av profilen saknades. Dessa sektioner kompletterades genom manuellt uppmätta sträckor och höjder i TIN-filen. Mannings skrovlighetskoefficient tilldelades värden mellan 0,02 och 0,03 i flodfåran, beroende på hur ojämn botten var vid den aktuella sektionen, och över de bestämda bankstationerna fick n värdet 0,035 (Brunner, 2010).

Dammarna i Eskilstunaån lades in i modellen med verktyget "Inline Structure" i HEC-RAS. Då exakta mått på dammluckor var problematiskt att få tag i användes bilder ur en förstudie om fria vandringvägar i Eskilstunaån som utgångspunkt vid uppskattning av antalet dammluckor samt dess mått (Larsson & Pettersson, 2014). Sedimenttransport i HEC-RAS är endast möjligt på en flodfåra utan förgreningar (Brunner, 2010). Därför togs två av biflödena vid Torshälla bort och dammen vid Nyby samt slussen vid Torshälla lades inte in. Slussen vid Faktoriholmarna togs inte heller med i modellen eftersom det inte finns någon konstruktion i HEC-RAS som motsvarar slussar.

Vid testkörning av modellen användes stationärt och subkritiskt flöde (Persson et al., 2014). Modellens stabilitet undersöktes genom att variera Mannings skrovlighetskoefficient och utvärdera hur vattenstånden förändrades mellan olika körningar (Brunner, 2010). Då skillnaderna bedömdes vara marginella antogs modellen vara relativt stabil och modellering av sedimenttransport kunde inledas.

Sedimenttransport

För modellering av sedimenttransport krävdes information om åbotten och olika jordarters utbredning både längsmed ån samt på djupet. Olika jordarter definierades i HEC-RAS under menyn "Sediment data". Typiska kornstorleksfördelningar för lera, morän och isälvs sediment angavs och placerades sedan ut i vattendraget enligt SGU:s jordartskarta, se appendix B för kornstorleksfördelningarna (Axelsson & Mattsson 2016, Sveriges Geologiska Undersökning 2019). Där kartan visade berg på åbotten sattes sedimentdjupet till 0 och i centrum där lera påträffats sattes djupet till 2 meter (Eldin, 2014). På övriga platser i ån approximerades sedimentdjupet till 2 meter inledningsvis men detta varierades vid en senare kalibrering. Sedimentet lades in som "Max depth" vilket innebär att sedimentdjupet sträcker sig från profilernas bottnar och nedåt. I menyn valdes även "Ackers-White" som transportfunktion eftersom den är tillämpbar på både grovt och fint material (Hossain & Rahman, 1998), "Exner 5" valdes som sorteringsmetod eftersom detta var det enda alternativet som var lämplig för partiklar finare än grus (Brunner, 2010). "Van Rijn" angavs som hastighetsmetod för sedimentationen. Med denna metod beräknas sedimentationen för individuella partiklar och flöde hastigheten samt flodfårans bredd är parametrar som inkluderas (Van Rijn, 1984). Eftersom transportfunktionen har stor betydelse för resultatet i en modellering av

sedimenttransport kördes modellen för ytterligare funktioner utöver Ackers-White, se appendix C för resultat av alla undersökta transportfunktioner.

Vid modellering av sedimenttransport användes ”Quasi-Unsteady flow” (Brunner, 2010). Under den tillhörande menyn angavs randvillkor vid samtliga sektioner där det var nödvändigt för att HEC-RAS skulle kunna köra modellen. Vid sektionen längst uppströms angavs villkoret ”Flow Series” där SMHI:s dagligen insamlade data över vattenföringen i Eskilstunaån under en månad, från stationen Övre Hyndevad, matades in (SMHI & Havs- och vattenmyndigheten, 2019). Inledningsvis användes data från februari 2018 eftersom vattenföringen var relativt hög då och en större sedimenttransport kan förväntas, resultaten presenteras i rapportens resultatdel. Det gjordes även körningar för det lägre flödet i maj för att undersöka skillnader i sedimenttransporten kopplat till vattenföringen, se appendix C. För samtliga dammar valdes randvillkoret ”T.S. Gate Openings” där dammluckorna angavs att vara fullt öppna under hela simuleringen. Vid sektionen närmast utloppet till Mälaren angavs randvillkoret ”Normal Depth” till 0,001 meter. Normaldjupet kan beskrivas som energilinjens genomsnittliga lutning genom vattendraget (Brunner, 2010). Här approximerades den som höjdskillnaden mellan första och sista sektionen delat på avståndet mellan dem.

Kalibrering

När modellen körts gjordes en kalibrering av sedimentdatat för att hindra vattnet från att strömma i sedimentet. Vid ett par sektioner, framförallt de som låg i vattendragets sluttningar, visade modellen att vattnet strömmade under botten. Detta gjorde att nästan allt sediment försvann under en körning vid ett antal sektioner. Genom att minska sedimentdjupet vid dessa sektioner tvingades vattnet upp från sedimentet vilket resulterade i mindre erosion.

Validering av modellen

Som valideringsdata för modellen användes datan över bottens hårdhet. För att göra hårdheten vid tvärsektionerna mer överskådlig och underlätta en jämförelse med sedimentdjupets ändring bearbetades datan i ArcMap så det kunde presenteras i en graf. Inledningsvis användes ”Raster calculator” för att ta bort outliers från rasterfilerna med bottens hårdhet. För att anpassa ett dataset med värden så dessa får ett spann mellan 0 och 1 kan datan normaliseras enligt följande ekvation

$$x_{ny} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

där x_{ny} står för den nya datan, x för orginaldatan, x_{min} för det minsta värdet och x_{max} för det största värdet (StatisticsHowTo, 2019). Vid normalisering blir den nya datamängden enhetslös och skalan blir relativ. Med ekvation (1) normaliserades datan för att de två filerna skulle kunna jämföras med varandra. Innan detta innehöll filerna relativa värden inom olika spann. Därefter lades de utritade tvärsektionerna till i samma fil och en area kring varje sektion markerades med en buffert på 2 meter. Med verktyget ”Zonal Statistics” togs sedan ett medelvärde av hårdheten vid varje sektion och denna information konverterades till tabellform och fördes över till MATLAB, se appendix D. I MATLAB plottades ett glidande medelvärde, med ett fönster på 5, för hårdheten mot

avståndet från utloppet vid Mälaren till den översta sektionen. En jämförelse kunde därefter göras mellan bottenens hårdhet och sedimentytans ändring i vertikalled. Syftet var att se om modellen följde teorin om att det eroderar mer vid hård botten och mer ackumulation av sediment sker på mjukare botten. Enligt figur 5 i rapportens resultatdel verkade sedimenttransporten stämma överens på så pass många platser i ån att modellen ansågs färdigställd.

3.3 SAMMANSTÄLLNING AV SEDIMENTPROVER

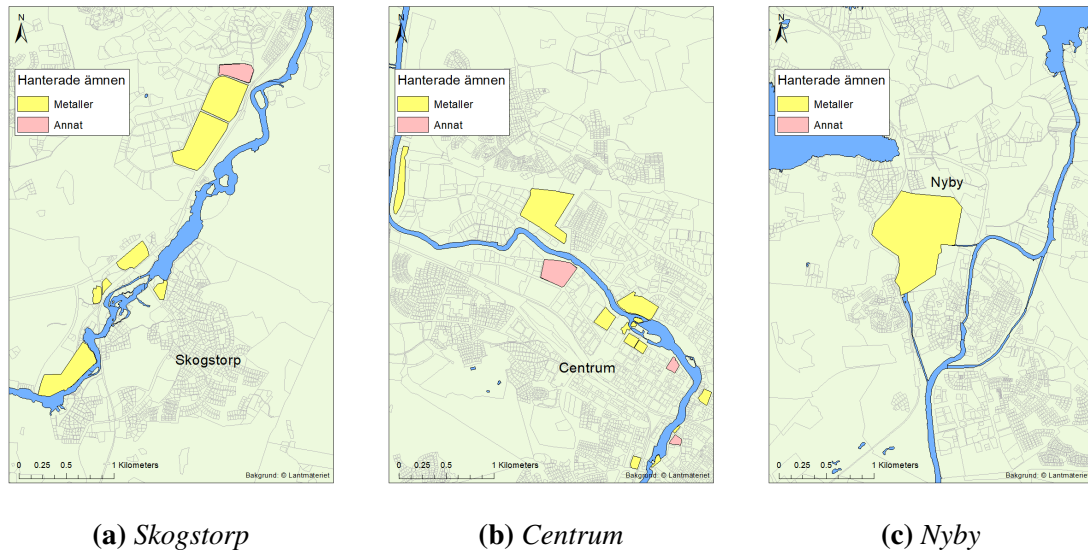
Datan över sedimentprovtagningarna i Eskilstunaån levererades, av Eskilstuna kommun, som en fil i ArcMap med provtagningarnas geografiska positioner samt rapporter tillhörande olika undersökningar som gjorts i ån. För att göra en analys möjlig sammanställdes all data för de valda föroreningarna i en Excel-fil som sedan importerades till ArcMap samt MATLAB. I vissa undersökningar gjordes flertalet provtagningar i närheten av varandra och då det saknades specifika koordinater för provpunkterna togs ett medelvärde av resultaten som sedan representerades av en (1) punkt. Vid ett par undersökningar hade mätinstrument använts där detektionsgränsen inte var låg nog för att avgöra halten av vissa ämnen. I dessa situationer uteslöts ämnet från sammanställningen för den aktuella undersökningen. I MATLAB plottades föroreningshalterna, vid provtagningspunkterna, mot avståndet från åns utlopp till den översta sektionen nära Hjälmaran. I samma grafer representerades även resultatet från sedimenttransportmodelleringen för att underlätta analyser.

4 RESULTAT

4.1 VERKSAMHETSHISTORIK

Av de industrier som har legat i nära anslutning till Eskilstunaån har övervägande delen hanterat metaller, se figurer 3a till 3c samt tabell A1.

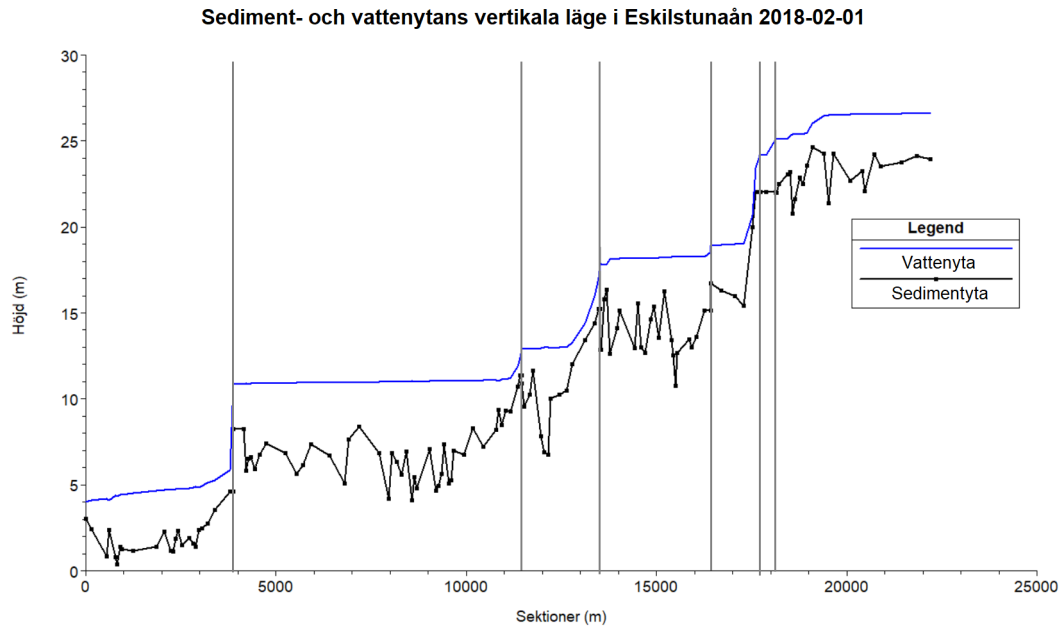
I södra delen av ån, närmast Hjälmaran, har industrierna legat nära vattnet och det rör sig främst om järn- och andra metallindustrier, se figur 3a. Den nordligaste verksamheten i bilden är ett större bageri som började bedriva verksamhet i lokalen år 1945 (Eskilstuna kommun, 2019ä). I Eskilstuna centrum har flertalet verksamheter bedrivits längs ån, se figur 3b. Det har funnits både mindre smedjor och större fabriker. Även här är det till största delen olika metaller som hanterats men också trä och koks i ett sågverket respektive gasverk. I den nordligaste delen av Eskilstunaån, nära dess utlopp till Mälaren, hittades endast en verksamhet som bedrivits i anslutning till vattnet vilken är Nyby bruk i Torshälla. Bruket anlades 1829 och industriell verksamhet började bedrivas år 1832, vilken fortfarande pågår trots vissa förändringar i företaget (Eskilstuna kommun, 2019k).



Figur 3: Verksamhetshistoriken längs Eskilstunaån vid, Skogstorp, Centrum samt Nyby.

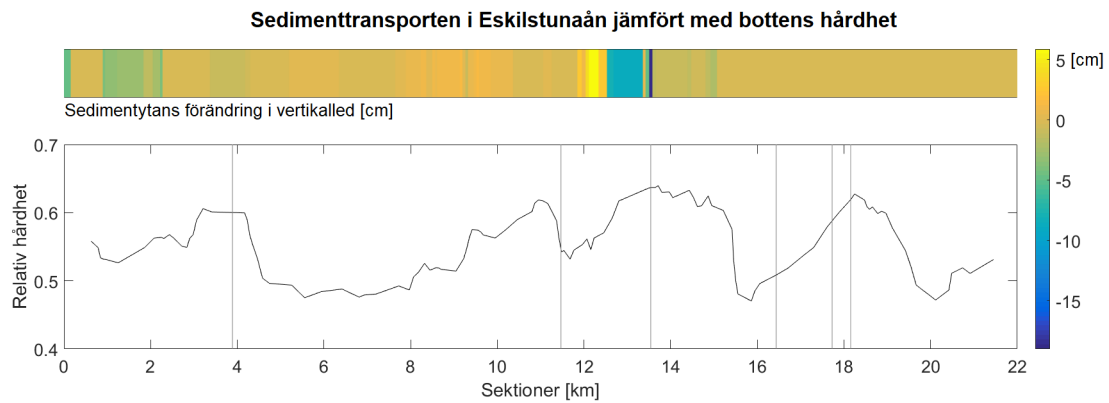
4.2 MODELLERING AV SEDIMENTTRANSPORT

Figur 4 visar modellen av Eskilstunaån i profil. Vattenytan i grafen är resultatet efter körning med flöden från första februari 2018. Sedimentytan visar botten innan körning och punkterna som syns i grafen representerar den lägsta punkten i varje tvärsektion. Botten är varierande och de största höjdskillnaderna finns i anslutning till dammarna som markeras av de vertikala linjerna. Linjen längst uppströms, vid 1800 meter med längst avstånd från Mälaren, är Hyndevad följt av Skogstorp, Skjulsta, Tunafors, Faktoriholmarna och till sist Torshälla. I figur 1 finns dammarna markerade på en karta över Eskilstunaån.



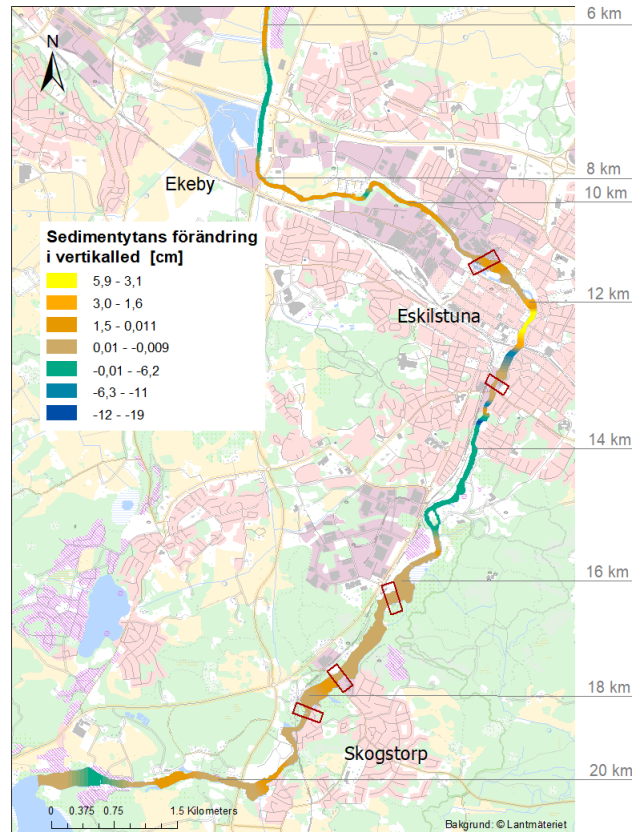
Figur 4: Den uppbyggda sedimenttransportmodellen i profil. På den horisontella axeln står avståndet uppströms Eskilstunaåns utlopp till Mälaren. Vattenflödet går därför i vänster riktning i figuren. Den lodräta axeln representerar åns höjd från dess lägsta punkt. I figuren syns initiala flödet för februari 2018. Sedimentytan visar vardera tvärsektions djupaste punkt.

I figur 5 syns ett glidande medelvärde över botten relativa hårdhet plottad mot sektionernas placering i vattendraget samt en jämförelse med sedimentytans förändring i vertikalled. Figuren användes i valideringen av modellen. Vid hårdare botten sker generellt erosion enligt sedimenttransportmodellen, med undantag för sektionerna kring 18 km. Lokala variationer i botten hårdhet tycks få stor betydelse, vilket tydligt kan observeras mellan sektion 12 km och dammen i Tunafors, den vertikala linjen något nedströms sektion 14 km. En negativ ändring i sedimentytans vertikalled indikerar erosion och en positiv ändring betyder ackumulation.



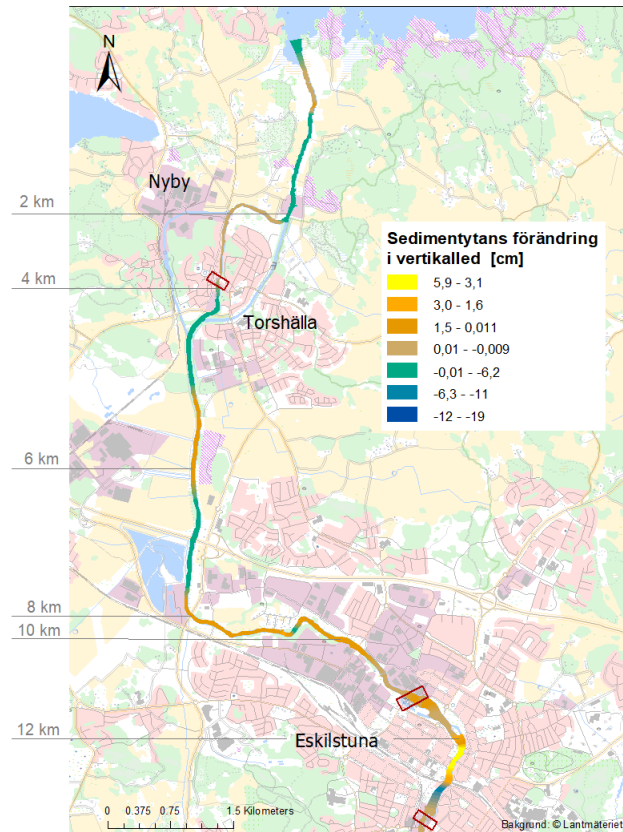
Figur 5: Glidande medelvärde över botten hårdhet plottat mot sektionernas placering uppströms Eskilstunaåns utlopp till Mälaren. Fältet högst upp visar resultatet av sedimenttransportmodellen. De lodräta gråa linjerna markerar dammarna i ån.

I figurerna 6 och 8 har sedimenttransportmodellen körts för flöden i februari månad. Resultaten visar skillnad i sedimentytans läge i vertikalled mellan första och sista dagen i månaden. Den största erosionen, där sedimentytans förändring har det största negativa värdet, sker något uppströms dammen i Tunafors som ligger ungefär 13 km uppströms Mälaren. Efter dammen syns en längre sträcka med betydande erosion. Mest ackumulation påträffas ytterligare nedströms i anslutning till erosionen, precis innan åns skarpa kurva i centrum vid 12 km. Alla dammar påverkar inte sedimenttransporten enligt modellen. Söder om Eskilstuna centrum syns en liten skillnad i sedimentytan uppströms jämfört med nedströms dammen i Skogstorp, just nedströms 18 km. En del sediment verkar ackumuleras vid dammen. Det ser ut på liknande sätt för Faktoriholmarnas damm, ungefär vid 11 km.



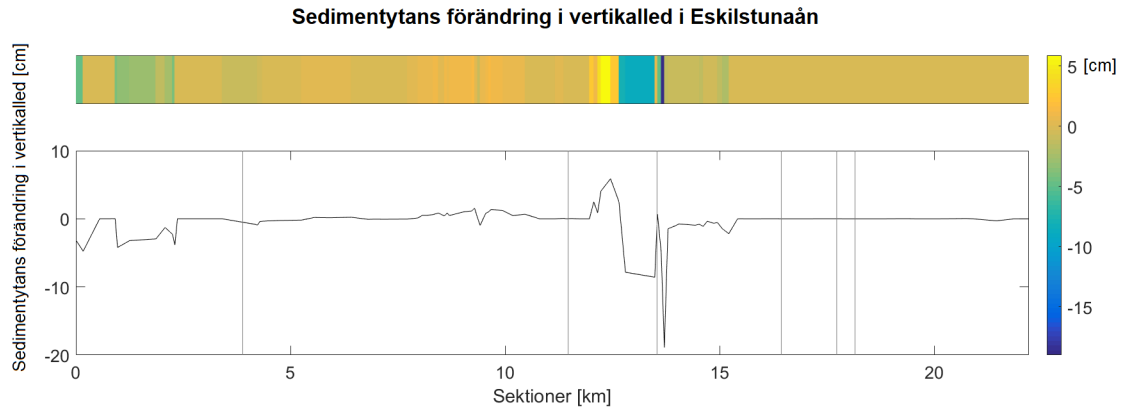
Figur 6: Resultatet från sedimenttransportmodellen färgkodat och utritat på karta över Skogstorp och Eskilstuna. Färgkodningen avser skillnaden i sedimentytans vertikala läge som erhöles efter en körning med vatenflöden från februari månad. Längdskalan till höger i bilden markerar sträckor i ån uppströms utloppet till Mälaren.

Nedströms centrum är sedimentytans ändring i vertikalled inte lika stor som uppströms, se figur 7. På sträckan där ån har svängt norrut, mot Torshälla och Nyby, varierar bottenytorna inte lika tätt som de gör söderut. Vid Torshällas damm kan en skillnad i transporten observeras; innan dammen sker svag erosion och nedströms är förändringen nära noll.



Figur 7: Resultatet från sedimenttransportmodellen färgkodat och utritat på karta över Eskilstuna centrum och Torshälla. Färgkodningen avser skillnaden i sedimentytans vertikala läge som erhöles efter en körning med vattenflöden från februari månad. Längdskalan till vänster i bilden markerar sträckor uppströms utloppet till Mälaren.

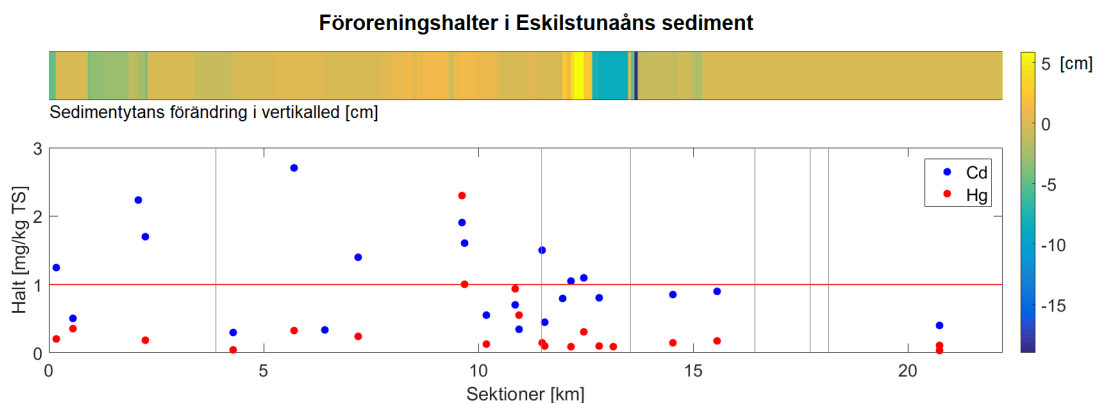
I figur 8 finns resultaten av sedimenttransportmodellen presenterat i en graf. Informationen som ges i bilden är densamma som ges i figurer 6 och 7. Grafen togs fram som ett komplement till kartorna för att underlätta tydandet av kommande figurer.



Figur 8: Resultat av sedimenttransportmodellen. Det färgade fältet och grafen visar samma information men i olika form, det vill säga hur mycket sedimentytans läge i vertikalled har förändrats efter en körning men vattenflöden från februari 2018. Den horisontella axeln visar sektionerna som användes i modelleringen och deras placering uppströms utloppet till Mälaren.

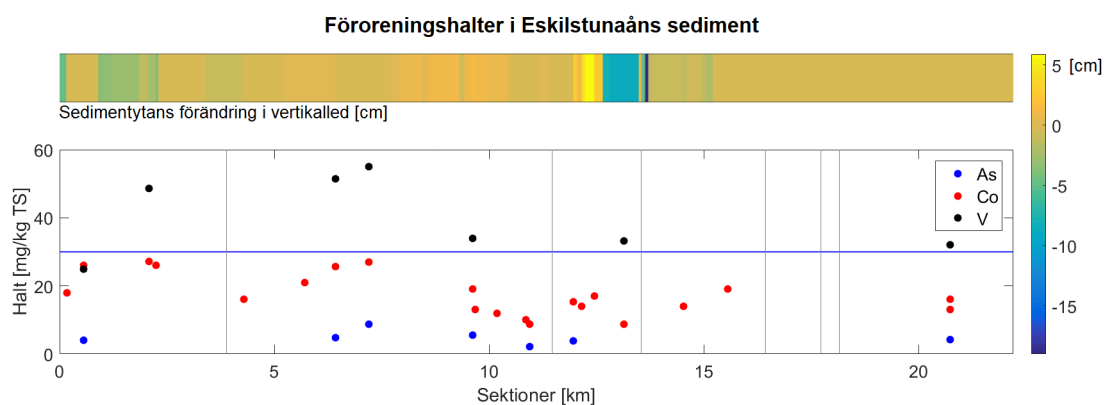
4.3 SAMMANSTÄLLNING AV SEDIMENTPROVER

Kadmiumhalten ser generellt ut att öka nedströms i ån och det högsta värdet påträffas något uppströms Torshälla, drygt 5 km från Mälaren, se figur 9. Det är ungefär vid denna provtagningspunkt som ån grenar sig i tre och det ser ut att ske en svag erosion vid detta område. Halten kadmium överstiger inte gränsen mellan medelhög och hög halt, vilken har bestämts till 7 mg/kg TS och dess horisontella linje syns därför inte i figur 9. Kviksilvret i sedimentet håller en relativt jämn halt genom hela ån men ett tydligt maximum kan ses vid sektionen i närheten av 10 km, vilket är i centrum nedströms Faktoriholmarna och här klassas halten som "hög". Enligt sedimenttransportmodellen kan botten här antas vara svagt ackumulerande.



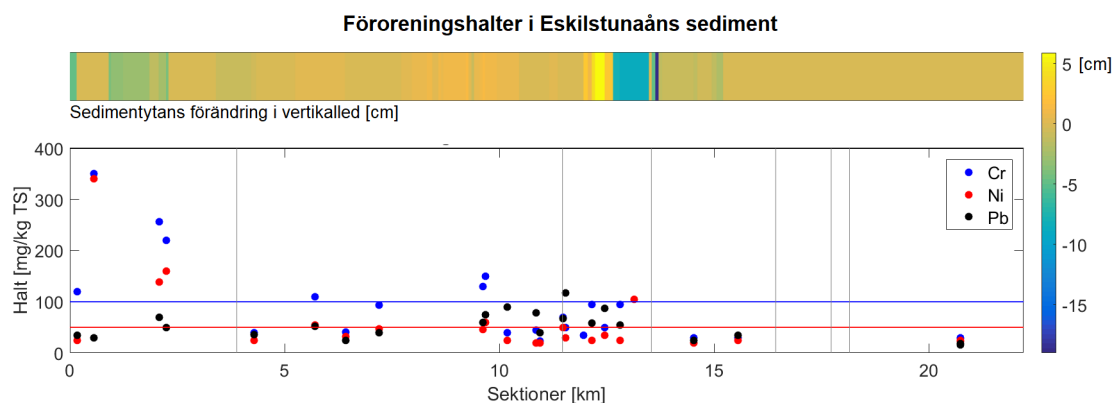
Figur 9: Föreningshalter i Eskilstunaåns sediment plottade mot sektionernas placering i vattendraget, uppströms utloppet till Mälaren. De lodräta linjerna markerar dammarnas placering och den horisontella representerar gränsen mellan klasserna "medelhög" och "hög" för kviksilver. Den färgade ytan visar den modellerade sedimenttransporten i ån.

Arsenik, kobolt och vanadin uppvisar ungefär samma mönster med en varierande halt genom ån, se figur 10. De högsta halterna finns kring 7 km uppströms utloppet vilket är där ån just passerat centrum och ändrar riktning för att gå norrut. Enligt sedimentmodelleringen verkar det inte ske så mycket transport här men det är troligare att det är erosionsbotten än ackumulationsbotten vid dessa punkter. Nästan lika höga halter av kobolt och vanadin påträffas vid 2 km vilket är ungefär där åns tre förgreningar sammanstrålar igen, efter Torshälla. Närmast utloppet har halterna sjunkit. Relativt låga halter påträffas också vid 11 km, i närheten av Tunafors och även här är det troligen erosionsbotten. Inga klassificeringar för halterna av kobolt och vanadin i sediment har tagits fram av Naturvårdsverket så därför finns endast en markering för arsenikhalten i grafen och i Eskilstunaån klassas halten aldrig som ”hög”.



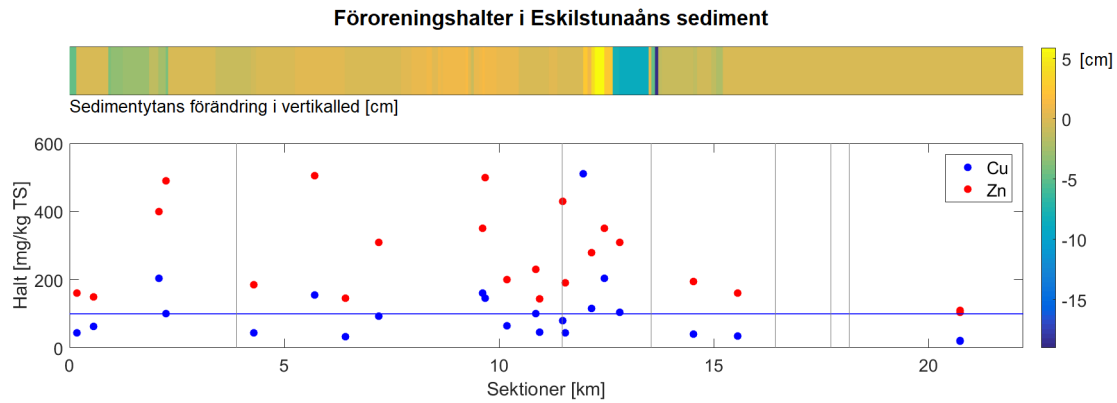
Figur 10: Föroreningshalter i Eskilstunaåns sediment plottade mot sektionernas placering i vattendraget, uppströms utloppet till Mälaren. De lodräta linjerna markerar dammarnas placering och den horisontella representerar gränsen mellan klasserna ”medelhög” och ”hög” för arsenik. Den färgade ytan visar den modellerade sedimenttransporten i ån.

Krom, nickel och bly har relativt låga halter efter utloppet från Hjälmaren och en ökning fås först nedströms Tunafors, ungefär vid 13 km uppströms Mälaren, se figur 11. Efter detta sjunker halterna för krom och nickel men fortsätter öka något för bly. I ett par punkter nedströms 10 km, efter Faktoriholmarna, klassas halterna av krom och nickel som ”hög” och därefter rör de sig kring respektive klassgräns. Vid 2 km ökar krom och nickel igen och enligt sedimenttransportmodellen ligger dessa punkter på gränsen mellan en botten utan transport och en erosionsbotten. De högsta halterna krom och nickel påträffas ungefär 0,5 km från utloppet och på den platsen sker det, enligt modellen, endast minimal transport av sediment. Halten bly överskrider aldrig gränsen för ”hög halt”, vid 400 mg/kg TS, och eftersom den undre gränsen för ”medelhög halt” ligger på 150 mg/kg TS uppnås inte heller denna klass.



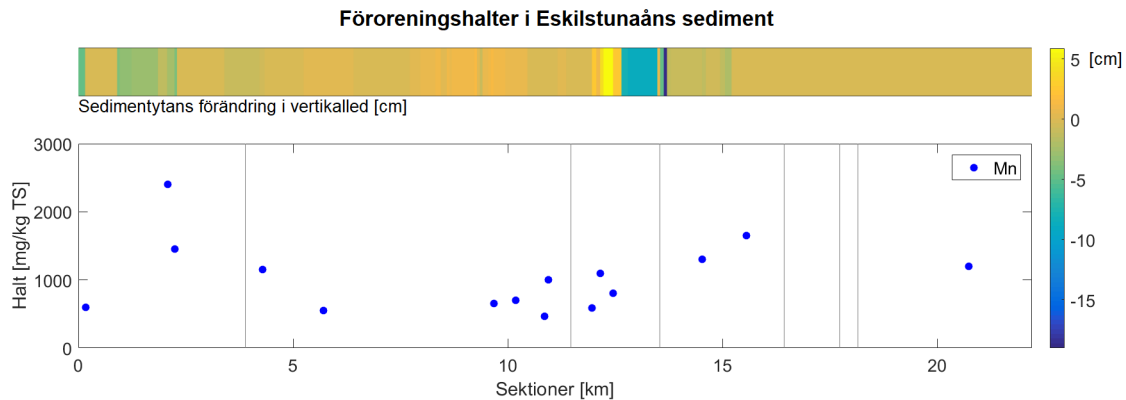
Figur 11: Föroreningshalter i Eskilstunaåns sediment plottade mot sektionernas placering i vattendraget, uppströms utloppet till Mälaren. De lodräta linjerna markerar dammarnas placering och de horisontella linjerna markerar gränsen mellan klasserna "medelhög" och "hög" för metallerna. Den färgade ytan visar den modellerade sedimenttransporten i ån.

I figur 12 visas halterna av koppar och zink i åns sediment. De lägsta halterna för båda föroreningarna påträffas uppströms sektion 14 och Tunafors. Efter Tunafors ökar halterna och den högsta halten för koppar påträffas här vilken, enligt modellen, befinner sig på en ackumulationsbotten. Efter maximumet sjunker halten och rör sig kring 200 mg/kg TS. Halten för zink varierar mer längs vattendraget och de högsta halterna påträffas vid 10 km samt 6 km uppströms Mälaren. Vid båda dessa platser verkar botten vara något ackumulerande. En nästan lika hög halt finns vid sektion 2 km. På denna plats visar modellen däremot att det är en erosionsbotten. Halten zink hamnar först i klassen "hög" vid 1000 mg/kg TS och den horisontella linjen är därför ur bild. "Medelhög" halt nås vid 300 mg/kg TS vilket innebär att knappt hälften av provpunkterna uppvisar en halt i den klassen. På samma sätt som för resterande ämnen blir halterna av ämnena mindre nära utloppet.



Figur 12: *Föroreningshalter i Eskilstunaåns sediment plottade mot sektionernas placering i vattendraget, uppströms utloppet till Mälaren. De lodräta linjerna markerar dammarnas placering och den horisontella representerar gränsen mellan klasserna "medelhög" och "hög" för koppar. Den färgade ytan visar den modellerade sedimenttransporten i ån.*

Fördelningen av mangan i Eskilstunaån skiljer sig från resterande metaller, se figur 13. De lägsta halterna som uppmätts finns i centrum, kring Faktoriholmarna, mellan sektionerna 13 och 10 km. I detta intervall finns både ackumulations- samt erosionsbotten. Uppströms Torshälla, vid sektion 4 km, ökar halterna och den högsta halten uppnås vid 2 km, där de tre förgreningarna av ån sammanstrålar. För mangan saknas klassificering av dess halt i sedimentet.



Figur 13: *Föroreningshalter i Eskilstunaåns sediment plottade mot sektionernas placering i vattendraget, uppströms utloppet till Mälaren. De lodräta linjerna markerar dammarnas placering. Den färgade ytan visar den modellerade sedimenttransporten i ån.*

5 DISKUSSION

5.1 VERKSAMHETSHISTORIK

När verksamhetshistoriken längs Eskilstunaån undersöktes hittades främst industrier och verksamheter där olika metaller har hanterats, se figurer 3a, 3b och 3c. Flest antal industrier hittades i centrala Eskilstuna. Vid åns södra del, kring Skogstorp, hittades färre platser men kvartersområdena var större till ytan. I åns norra del, nära utloppet till Mälaren, hittades endast Nyby bruk som verksamhetsutövare. Exakt var på områdena eventuella utsläpp har skett har inte undersökts i detta arbete. Det finns risk för att föroreningar skulle kunna transporteras med vatten i diken som ansluter till ån (Miller et al., 2013). Detta har inte heller undersökts eftersom arbetet var tvunget att begränsas och därför valdes att endast undersöka verksamhetshistoriken i nära anslutning till ån. Hur mycket föroreningar diken kan transportera är heller inte känt.

5.2 MODELLERING AV SEDIMENTTRANSPORT

Sedimenttransportmodellen visar att det på vissa platser sker nästan 15 cm erosion på en månad. Det är inte helt rimligt att det skulle ske så mycket erosion på så kort tid. Mer troligt är att det bör röra sig om millimeter istället för centimeter (Hoque, 2015). Vid kalibreringen skulle botten eventuellt ha gjorts hårdare på dessa platser men då blev avvikelserna från jordartskartan stora. Därför valdes det ändå att gå vidare med den aktuella modellen. På grund av de orimliga värdena bör modellen inte användas för att uppskatta sedimentytans förändring i vertikalled men den kan däremot fungera som stöd vid lokalisering av ackumulations- och erosionsområden i Eskilstunaån.

Som validering av sedimenttransportmodellen jämfördes resultatet med backscattret för botten hårdhet, se figur 5. Enligt teorin bör det ske mer erosion där botten är hård och mer avsättning och ackumulation där botten är mjukare. Modellens resultat och hårdheten följs inte åt överallt men det finns även platser där de stämmer väl överens. Värt att ha i tankarna när modellens resultat betraktas är att det finns en rad osäkerheter i modellen. De största skillnaden mellan modellens resultat och hårdheten fås längst uppströms, mellan 22 och 16 km. Här ändras den relativa hårdheten en del men det ser inte ut att påverka sedimentytans ändring i vertikalled. En förklaring till det skulle kunna vara att vid leveransen av datan var backscattret uppdelat i två filer, en hårdhetsmodell över den norra delen av ån och en över den södra. Brytpunkten mellan filerna var ungefär 19 km uppströms Mälaren. Värdena i de två filerna låg inom olika spann så normaliseringen gjorde filerna jämförbara men det är möjligt att samma värde i filerna egentligen inte representerar samma hårdhet. Mellan 5 och 8 km uppströms utloppet ser botten ut att vara relativt mjuk men samtidigt tycks det ske mer erosion än ackumulation. Det finns därför risk för att modellen underestimerar ackumulationen här, vilket egentligen är vad som förväntas snarare än erosion.

I samma figur syns att den största erosionen, precis innan dammen i Tunafors, sker där botten är som hårdast vilket är rimligt och enligt teorin (Naturvårdsverket, 2017a). Varför erosionen sker på en sådan specifik plats på erosionsbotten är dock inte helt klart. Det kan bero på att ån smalnar av här och då ger upphov till högre flödes hastighet

och att vattnet då kan föra med sig grövre partiklar, se figur 6. Nedströms Tunafors finns en längre sträcka med kraftig erosion följt av ett område med mycket ackumulation, vid sektion 12 km. Här sker en skiftning mellan erosions- och ackumulationsbotten samt ändring i bottenens hårdhet, enligt figur 5. Den största ackumulationen sker alltså inte där botten är som mjukast i hela vattendraget men undersöks botten mer lokalt sker ackumulationen där botten är mjukast vilket är i linje med teorin. Detta tycks gälla för fler platser i ån. Till exempel syns en kort sträcka med mer erosion än vid omgivande botten just uppströms 9 km. Hårdheten där är relativt hög sett till en kort sträcka men jämförs den med hela vattendraget är den endast lite hårdare än vad ackumulationsbotten i centrum är. Detta kan innebära att vid lokalisering av ackumulations- och erosionsbottnar bör vattendraget delas upp i kortare sträckor där relativ hårdhet undersöks för att tydligare hitta dem. Då får även batymetrin betydelse eftersom det ofta är mjukare botten i lokalt djupa områden. Ett exempel på detta kan ses i figur 4. Ackumulationsbotten i centrum som ligger kring 12 km uppströms Mälaren är betydligt djupare än sin omgivning.

Om sedimenttransporten i figur 6 undersöks ser det inte ut som att alla dammarna skulle bidra till en större ackumulation. En liten ökning av sedimentytan i vertikalled kan ses vid Skogstorp och Faktoriholmarna. Att inget sediment ackumuleras vid Skjulsta kan bero på att endast en del av ån passerar dammen och modellen räknar med att sedimentet kan transporteras förbi fördämningen. Precis vid Tunafors märks ingen större skillnad i sedimentytan men något uppströms och nedströms sker relativt kraftiga erosioner. Detta kan bero på att botten har en brant lutning här vilket gör att vattnets flödes hastighet ökar och därmed även erosionen, se figur 4.

I åns norra del, nedströms centrum, ser bottentyperna ut att vara mer sammanhängande, se figur 7. Sträckor av erosionsbottnar följs av sträckor med ackumulationsbottnar. Vid Torshälla verkar det erodera mer uppströms dammen än nedanför vilket är tvärtemot teorin. Sedimentet som eroderas ser heller inte ut att avsättas på en specifik plats och enligt figur 8 verkar det inte ske någon ackumulation alls efter Torshälla. Det skulle då betyda att det är ett utflöde av sediment från ån till Mälaren under februari månad vilket kan vara rimligt eftersom det var en period med relativt hög vattenföring år 2018 vilket användes vid modelleringen.

5.3 SAMMANSTÄLLNING AV SEDIMENTPROVER

Där ån rinner genom centrum har provpunkterna tagits tätare och det är också här industriverksamheten har varit störst, se figur 9 till 13. Då många metaller reagerar och binds till markpartiklar kan det antas att där sedimentet ansamlas finns också högre halter av föroreningar (Naturvårdsverket, 2003). Den tydligaste ackumulationsbotten påträffas mellan Skjulsta och Faktoriholmarna och det kan därför förväntas att de högsta halterna av metallföroreningarna borde finnas här eller något nedströms detta beroende på hur mycket transport som har skett. Det har dock visat sig att de högsta halterna inte finns här för något av de undersökta ämnena utöver koppar. De andra ämnena har sina maximum längre nedströms i ån, ett par kilometer från Tunafors, förutom kvicksilver som har sitt maximum centralt men inte på den tydliga ackumulationsbotten. Kring 6 -

7 km uppströms Mälaren, där flertalet metaller har sin högsta halt, sker varken en markant erosion eller ackumulation trots att botten är relativt mjuk, se figur 5. Bottens höjd över havet ändras inte så mycket mellan 6 och 7 km, utöver lokala variationer, se figur 4. Det skulle kunna vara möjligt att botten här är en transportbotten där sediment ackumuleras men sedan återsuspenderas. Antagandet stärks av att kadmium, zink och koppar har en varierande halt under denna sträcka och det kan innebära att tidpunkten för provtagning skulle få större betydelse för halten. För att verifiera detta skulle en tidsserie med prover kunna tas i detta område.

En annan plats i ån där höga halter har uppmätts för flertalet ämnen är ca 2,5 km uppströms Mälaren. Enligt figur 5 sker relativt mycket erosion här trots att botten inte är utmärkande hård. Botten ligger också djupt, se figur 4, vilket skulle peka mot en ackumulationsbotten. Transportfunktionerna Engelund-Hansen och Yang visar en svag ackumulation vid detta område och just här är nog dessa funktioner mer rättvisande, se appendix C. Att jag ändå valde att använda transportfunktionen Ackers-White i modellen beror på att den i övrigt uppvisade de mest rimliga resultaten. De andra funktionerna kunde visa en större erosion i maj än i februari på vissa platser, trots att vattenföringen i februari var högre, vilket inte är enligt teorin.

Halten kvicksilver, krom, nickel och koppar klassas vid minst en provtagningspunkt som ”hög”. Vad detta innebär för vattenlevande organismer är dock inte känt eftersom klasserna endast baseras på halter som vanligtvis påträffas i sjösediment.

5.4 FELKÄLLOR

Med den metod som användes för att undersöka verksamhetshistoriken finns risk för att en del industrier inte registrerades, till exempel om något saknades i arkiven eller inte var taggat med ett kvartersnamn. Det kan därför ha varit tätare mellan industrierna längsmed Eskilstunaån än figurerna 3a till 3c visar. Utsläppskällorna till ån är fler än det ser ut som i figurerna eftersom föroreningar kan transporteras i anslutande diken (Blecken et al., 2012). Hur mycket förorenat sediment som transporteras och med vilken hastighet detta sker beror på vilka förutsättningar som råder. Lugnt flödande vatten och högt organiskt innehåll gör sedimenttransporten långsammare.

Provtagningarna av föroreningshalterna i ån har gjorts av olika företag och är därför inte helt konsekvent tagna. De är insamlade på olika djup, har inte analyserats på samma sätt och det är stor tidsskillnad mellan dem. De tidigaste som används i projektet är från 1996 och de nyaste från 2017. Situationen i ån kan ha hunnit förändras under denna tid. Därför är antagligen halterna i figur 9 till 13 inte riktigt rättvisande. Men förhoppningsvis ger de, tillsammans med resultaten av sedimenttransportmodellen och backscattret med botten hårdhet, ändå ett ungefärligt mått på var högre halter kan förväntas.

Backscatterdatat med batymetrin som användes vid uppbyggnad av modellen innehöll ett par dataglapp. Den längsta sträckan utan information fanns vid dammen i Torshälla. Egentligen finns här både en hålldamm och själva Kvarnfallet. På grund av den saknade datan kom endast Kvarnfallet med i modellen och kallas i rapporten för ”Torshälla”. Dataglappet gjorde att Kvarnfallet inte heller fanns i batymetrin men botten vid dammen

approximerades från närmsta nedströms liggande sektion. Att Kvarnfallet valdes framför hålldammen beror på dess högre fallhöjd och att den därmed antagligen har en större inverkan på sedimenttransporten. Detta utgör en osäkerhet i modellen eftersom dammar ofta har betydelse för ackumulation av sediment (Poff & Hart, 2002). Batymetrins upplösning ändrades till det sämre för att den skulle bli enklare att arbeta med i ArcMap men detta innebar även att datan blev mindre exakt och osäkerheten större. Som tidigare nämnt var backscattret med bottenens hårdhet uppdelat i två filer med värden inom olika spann och när dessa lades ihop och normaliserades kan samma relativa hårdhet få olika betydelse beroende på vilken del av ån datan kom från. Det kan innebära att valideringsdatan innehåller en del osäkerheter.

Vid uppbyggandet av modellen i HEC-RAS behövde flertalet antaganden göras. Eftersom exakt information om måtten på fördämningarna saknades byggdes dammarna upp baserat på bilder. Att måtten inte blev exakta kan påverka modellens resultat. Om en fördämning blev för låg eller om dammluckorna inte började tillräckligt djupt kan ackumulationen ha beräknats som mindre än den verkliga. När siktkurvor för de olika jordarterna lades in i sedimenttransporten var de endast uppskattade och baserade på typiska kurvor för vardera jordart eftersom det inte tagits fram några riktiga för botten i Eskilstunaån. Flödets mittlinje antogs vara samma som flodfårans mittlinje vid skapandet av modellen (Best Solution Line, 2017). Det är inte säkert att detta alltid stämmer och det skulle då kunna utgöra en ytterligare felkälla i modellen eftersom vattnet egentligen strömmar annorlunda än vad som angetts.

I modellen antogs att vattenföringen inte ändrades nedströms Hyndevad, där flödesmätningarna gjorts. Ofta tillkommer vatten, som bidrar till flödesökning, från diken som ansluter längre nedströms i vattendraget men för Eskilstunaån är ändringen i flödet litet vid utloppet till Mälaren jämfört med mätstationen i Hyndevad (Yacoub et al., 2005). Antagandet att använda samma flöde genom hela ån är därför rimligt och bör inte utgöra en större felkälla.

Stor skillnad i resultatet beroende på vilken transportfunktion som användes vid modelleringen har kunnat observerats, se appendix C. Det utgör en osäkerhet eftersom det inte finns någon observerad data till validering och det går därför inte med säkerhet att avgöra vilken funktion som är mest lämplig för Eskilstunaån.

5.5 FRAMTIDA STUDIER

Ett fortsatt arbete skulle kunna innefatta att förbättra sedimenttransportmodellen för att kunna bestämma ackumulationsplatser med större säkerhet. En förbättring skulle vara att lägga in exakta mått på dammarna i ån samt fylla i dataglapp i backscatterdatat och lägga in detta i modellen. Den viktigaste förändringen skulle kanske vara att undersöka sedimentet i ån och ta fram ett antal siktkurvor eftersom bottenytan har stor betydelse för sedimenttransporten. En ytterligare faktor som kan förbättra modellen är om sedimentdjupet kan undersökas noggrannare i ån för att sedan lägga till informationen i modellen. För att göra kalibreringen av modellen bättre skulle det optimala vara att ta fram valideringsdata i form av mätvärden för sedimenttransporten i ån. Det kan dock

vara värt att nämna att med tanke på modellens noggrannhet för sedimentändringen, se figur 6 och 7, kan det bli svårt att kalibrera modellen exakt. Den kan däremot kalibreras med avseende på var det sker ackumulation respektive erosion.

Utredningen av verksamhetshistoriken skulle kunna utökas till att inkludera vilka industrier som legat i närheten av anslutande diken. Detta skulle ge en översikt av ytterligare punktkällor och var höga halter föroreningar eventuellt kan komma att förväntas.

För att få en mer rättvisande bild av dagens föroreningsituation i Eskilstunaån bör nya sedimentprover tas på ett enhetligt tillvägagångssätt och då finns även möjlighet att samla in mer information om organiska föroreningar. Med den informationen skulle förändringar i föroreningshalter, både i tid och rum, kunna undersökas och det skulle även bli möjligt att med större säkerhet bekräfta ackumulationsplatser.

6 SLUTSATSER

Efter en sammanställning av vilka verksamheter som har bedrivits i nära anslutning till Eskilstunaån är det tydligt att det främst är metaller som har hanterats. Analys av tagna sedimentprover i ån visar att det finns höga halter av flertalet metallföroreningar. Från sedimenttransportmodellen kan det fastställas att den tydligaste ackumulationsplatsen i ån ligger vid Eskilstuna centrum, mellan dammen i Tunafors och Faktoriholmarna. Mest erosion i ån sker precis uppströms detta område. De högsta halterna för majoriteten av föroreningarna påträffas nedströms Torshälla på en botten som, sett till hela ån, är medelhård men lokalt sett är den relativt mjuk och djup. Vid lokalisering av ackumulationsbottnar kan därför inte enbart botten relativa hårdhet undersökas. Denna bör analyseras på kortare sträckor i kombination med åns batymetri.

REFERENSER

Axelsson, K., Mattsson, H. (2016). *Geoteknik*. 1. uppl. Lund: Studentlitteratur AB.

Berggren Kleja, D., Elert, M., Gustafsson, J. P., Jarvis, N., Norrström, A. (2006). *Metallens mobilitet i mark*. Naturvårdsverket (Rapport, 5536). Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5536-4.pdf> [2019-02-06]

Best Solution Line (2017). *GIS and HEC-GeoRAS || HEC-GeoRAS to HEC-RAS|| Floodplain with hecgeoras*. [Video].

Tillgänglig: <https://www.youtube.com/watch?v=B-zwmZUfBak> [2019-18-02]

Blecken, G. T., Rentz, R., Malmgren, C., Öhlander, B., Viklander, M. (2012). Stormwater impact on urban waterways in a cold climate: variations in sediment metal concentrations due to untreated snowmelt discharge. *Journal of Soils and Sediments*, vol. 12, ss. 758-773. Tillgänglig: <https://link-springer-com.ezproxy.its.uu.se/article/10.1007/s11368-012-0484-2> [2019-07-22]

Brunner, G. W. (2010). *HEC-RAS User's Manual - version 4.1*. US Army Corps of Engineers.

Diamond, J. M., Winchester E. L., Mackler, D. G., Rasnake, W. J., Fanelli, J. K., Gruber, D. (1992). Toxicity of cobalt to freshwater indicator species as a function of water hardness. *Aquatic Toxicology*, vol 22, ss. 163-179. Tillgänglig: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0166445X92900380> [2019-02-06]

Eldin, J. (2014). *Översiktlig miljöteknisk markprovtagning på del av Nithammaren 8 och Gredby 1:1 Eskilstuna, kommun*. Eskilstuna: WSP.

Eskilstuna kommun (2012). *Handlingsplan 2012–2015 för förorenade områden i Eskilstuna kommun*. Tillgänglig: <https://www.eskilstuna.se/download/18.789f653115a26de0e22157ac/1487844876875/Handlingsplan%20f%C3%B6r%20f%C3%B6rorenade%20omr%C3%A5den%20%202012-05-24.pdf> [2019-01-22]

Eskilstuna kommun (2019a). *EM 3435 – Fabriksbyggnad*. Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/62843> [2019-01-22]

Eskilstuna kommun (2019b). *EM 499 – Fabriksbyggnad*. Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/59918> [2019-01-22]

Eskilstuna kommun (2019c). *EM 2563 – Fabrik*. Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/61975> [2019-01-23]

Eskilstuna kommun (2019d). *EM 570 – Sågverk*. Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/59989> [2019-01-23]

- Eskilstuna kommun (2019e). *EM VY1119 - Munktells, Eskilstuna.*
Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/91715> [2019-01-23]
- Eskilstuna kommun (2019f). *EM VY684 – Fabrik.*
Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/91279> [2019-01-23]
- Eskilstuna kommun (2019g). *EM 504 – Fabrik.*
Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/59923> [2019-01-22]
- Eskilstuna kommun (2019h). *EM 502 – Metallfabrik.*
Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/59921> [2019-01-22]
- Eskilstuna kommun (2019i). *EM 9708 – Verkstad.*
Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/73214> [2019-01-23]
- Eskilstuna kommun (2019j). *EM 629 – Järnbruk.*
Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/60048> [2019-01-23]
- Eskilstuna kommun (2019k). *EM GB883 – Valsverk.*
Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/78083> [2019-01-23]
- Eskilstuna kommun (2019l). *EM VY1079 - Tunafors fabrik och lasarettet, Eskilstuna.*
Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/91675> [2019-01-23]
- Eskilstuna kommun (2019m). *EM 2938 – Verkstadshall.*
Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/62346> [2019-01-23]
- Eskilstuna kommun (2019n). *EM VY1891 - Berglindska smedjan, Eskilstuna 1914.*
Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/94660> [2019-01-23]
- Eskilstuna kommun (2019o). *EM VY1074 - E Bergman & Co's fabriksbyggnad, Eskilstuna.*
Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/91670> [2019-01-23]
- Eskilstuna kommun (2019p). *ESA 895-8 - Smedja, Nygatan 37, Eskilstuna 1960.*
Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/109121> [2019-01-23]
- Eskilstuna kommun (2019q). *EM VY1108 - Gasverk, Eskilstuna.*
Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/91704> [2019-01-23]
- Eskilstuna kommun (2019r). *ESA 886-1 - Knivfabrik, Rademachergatan 38, Eskilstuna, 1960.*
Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/109691> [2019-01-23]
- Eskilstuna kommun (2019s). *EM 500 – Fabriksbyggnad.*

Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/59919> [2019-01-23]

Eskilstuna kommun (2019t). *EM VY1075 - Bryggeri, Eskilstuna.*

Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/91671> [2019-01-23]

Eskilstuna kommun (2019u). *EM 5474 – Renhållningsverk.*

Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/64819> [2019-01-23]

Eskilstuna kommun (2019v). *ESA K141 – Sophantering.*

Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/69505> [2019-01-22]

Eskilstuna kommun (2019x). *EM 3800 - Fabriksbyggnad.* Tillgänglig:

https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/63208?query=frimuraren&type%5B0%5D=5&query_type=exact_match&record_types%5B0%5D=Item&sort_field=added&sort_dir=d&ref=%2Fitems%3Flayout%3Dlist [2019-02-08]

Eskilstuna kommun (2019y). *EM 2688 - Fabrik.* Tillgänglig:

https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/62099?query=litografen&type%5B0%5D=5&query_type=exact_match&record_types%5B0%5D=Item&sort_field=added&sort_dir=d&ref=%2Fitems%3Flayout%3Dlist [2019-02-08]

Eskilstuna kommun (2019z). *EM 2705 - Fabrik.* Tillgänglig:

https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/62116?query=legeringen&type%5B0%5D=5&query_type=exact_match&record_types%5B0%5D=Item&sort_field=added&sort_dir=d&ref=%2Fitems%3Flayout%3Dlist [2019-02-08]

Eskilstuna kommun (2019å). *EM 422 - Fabriksbyggnad.* Tillgänglig:

https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/59841?query=linjalen&type%5B0%5D=5&query_type=exact_match&record_types%5B0%5D=Item&sort_field=added&sort_dir=d&ref=%2Fitems%3Flayout%3Dlist [2019-02-08]

Eskilstuna kommun (2019ä). *EM 3152 - Bageribygnad.* Tillgänglig:

https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/show/62560?query=limpan&type%5B0%5D=5&query_type=exact_match&record_types%5B0%5D=Item&sort_field=added&sort_dir=d&ref=%2Fitems%3Flayout%3Dlist [2019-02-08]

Eskilstuna kommun (2019ö). *Sök i samlingar.*

Tillgänglig: <https://eskilskallan.eskilstuna.se/items/browse> [2019-02-19]

Eskilstuna kommun & Lantmäteriet (2017). *Eskilstunakartan.*

Tillgänglig: <https://karta.eskilstuna.se/eskilstunakartan/x/> [2019-01-22]

Gustafsson, J. P., Elert, M., Berggren Kleja, D., Jarvis, N. (2007). *Modeller för spridning av metaller från mark till vatten.* Naturvårdsverket (Rapport, 5741). Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5741-3.pdf> [2019-02-05]

- Havs och vattenmyndigheten (2013). *Ordbok - erosionsbotten*. Tillgänglig: <https://www.havochvatten.se/funktioner/ordbok/ordbok/d—f/ordbok-d-f/2013-03-14-erosionsbotten.html> [2019-01-28]
- Hossain, M. M., Rahman M. L. (1998). *Sediment transport functions and their evaluation using data from large alluvial rivers of Bangladesh*. Department of Water Resources Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesh. Tillgänglig: http://hydrologie.org/redbooks/a249/iahs_249_0375.pdf [2019-04-03]
- Hossen Real, I., Redwan, A., Rahman Shourov, M., Azam, H., Majed, N. (2019). Heavy Metal Contamination in Environmental Compartments of Buriganga River in Dhaka City. I: Pardhan, B. *Proceedings of the 1st Global Civil Engineering Conference*. Springer, ss. 1455-1466. Tillgänglig: https://link.springer-com.ezproxy.its.uu.se/content/pdf/10.1007%2F978-981-10-8016-6_105.pdf [2019-07-21]
- Hoque, M. M., Abu Hena, M. K., Ahmed, O. H., Idris, M. H., Hoque, A. T. M. Rafiqul, Billah, M. M. (2015). Can mangroves help combat sealevel rise through sediment accretion and accumulation? *Malaysian Journal of Science*, vol. 34, ss. 78-86. Tillgänglig: https://www.researchgate.net/publication/281190522_Can_mangroves_help_combat_sea_level_rise_through_sediment_accretion_and_accumulation [2019-07-22]
- Jonsson, P., Persson, J., Holmberg, P. (2003). *Skärgårdens bottnar*. Naturvårdsverket (Rapport 5212). Tillgänglig: <https://naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5212-8.pdf> [2019-01-28]
- Kemakta Konsult AB, Karolinska institutet: Institutet för Miljömedicin (2017). *Datablad för Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)*. Naturvårdsverket. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/fororenade-omraden/datablad-pah-20170518.pdf> [2019-02-06]
- Klaucke, I. (2018). Sidescan Sonar. I: Micallef, A., Krastel, S., Savini, A. (red), *Submarine Geomorphology*. Springer, ss. 13-24.
- Kågesten, G. (2008). *Geological seafloor mapping with backscatter data from a multibeam echo sounder*. Göteborgs universitet. Institutionen för Geovetenskaper. Tillgänglig: http://www.w-program.nu/filer/exjobb/gustav_kagesten.pdf [2019-01-30]
- Larsson, A., Pettersson, L. (2014). *Förstudie - Fria vandringsvägar i Eskilstunaån*. Stockholm: Tyréns.
- Livsmedelsverket (2018). *Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)*. Tillgänglig: <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/miljogifter/polycykliska-aromatiska-kolvaten-pah> [2019-02-06]

Miller, J. R., Mackin, G., Lechler, P., Lord, M., Lorentz, S. (2013). Influence of basin connectivity on sediment source, transport, and storage within the Mkabela Basin, South Africa. *Hydrology and earth system sciences*, vol. 17, ss. 761-781. Doi: 10.5194/hess-17-761-2013

Ministry of the Environment (2001).

Cobalt in the environment. Ontario: Ministry of the Environment. Tillgänglig: <https://foodshedproject.ca/wp-content/uploads/2015/12/CoFacts.pdf> [2019-02-06]

Nationalencyklopedin (2019a). *Kobolt*. Tillgänglig:

<https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/kobolt> [2019-02-05]

Nationalencyklopedin (2019b). *Mangan*. Tillgänglig:

<https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/mangan> [2019-02-06]

Nationalencyklopedin (2019c). *mineralolja*. Tillgänglig:

<https://www-ne-se.ezproxy.its.uu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/mineralolja> [2019-02-06]

Naturvårdsverket (2003). *Efterbehandling av förorenade sediment - en vägledning*. (Rapport 5254). Tillgänglig:

<https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-5254-3.pdf> [2019-07-24]

Naturvårdsverket (2017a). *Undersökningstyp - Metaller i sediment, version 1:2*. Naturvårdsverket (Handledning för miljöövervakning).

Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/vagledning/miljoovervakning/handledning/Manualer/Metaller-sediment-2017-12-20.pdf> [2019-01-28]

Naturvårdsverket (2017b). *Utsläpp i siffror - Krom (Cr)*. Tillgänglig:

<https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Tungmetaller/Krom/> [2019-02-06]

Naturvårdsverket (2017c). *Utsläpp i siffror - Nickel (Ni)*. Tillgänglig:

<https://utslappisiffror.naturvardsverket.se/Amnen/Tungmetaller/Nickel/> [2019-02-06]

Naturvårdsverket (2018a). *Fakta om arsenik och arsenikföreningar*. Tillgänglig:

<https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Metaller/Arsenik-As/> [2019-02-05]

Naturvårdsverket (2018b). *Fakta om koppar*. Tillgänglig:

<https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Metaller/Koppar/> [2019-02-05]

Naturvårdsverket (2018c). *Utsläpp av bly till luft*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Bly-till-luft/> [2019-02-05]

Naturvårdsverket (2018d). *Fakta om zink*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Metaller/Zink/> [2019-02-05]

Naturvårdsverket (2018e). *Tillstånd, metaller i limniska sediment*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Miljoovervakning/Bedomningsgrunder/Sediment/Tillstand-metaller/> [2018-03-22]

Naturvårdsverket (2019a). *Fakta om kadmium och kadmiumföreningar*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Metaller/Kadmium/> [2019-02-05]

Naturvårdsverket (2019b). *Fakta om kvicksilver*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Metaller/Kvicksilver-Hg/> [2019-02-05]

Naturvårdsverket (2019c). *Fakta om bly*. Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Metaller/Bly-Pb/> [2019-02-05]

Persson, J., Fridell, K., Gustafsson, E.L., Englund, J.E. (2014). *Att räkna på vatten - en formelsamling för landskapsingenjörer*. Alnarp: Sveriges lantbruksuniversitet. (Landskapsarkitektur, trädgård, växtproduktionsvetenskap, Rapportserie 2014:17). Tillgänglig: https://pub.epsilon.slu.se/11781/11/persson_j_et_al_150203.pdf [2019-02-28]

Poff, N.L., Hart, D.D. (2002). How Dams Vary and Why It Matters for the Emerging Science of Dam Removal. *BioScience*, vol. 52 (8), ss 659-668. DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0659:HDVAWI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0659:HDVAWI]2.0.CO;2)

Polovodova Asteman, I., Hanslik, D., Nordberg, D. (2015). An almost completed pollution-recovery cycle reflected by sediment geochemistry and benthic foraminiferal assemblages in a Swedish–Norwegian Skagerrak fjord. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 95, ss. 126-140. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.031>

Salmore A. K., Hollis, E. J., McLellan, S. L. (2006). Delineation of a chemical and biological signature for stormwater pollution in an urban river. *Journal of Water & Health*, vol. 4, ss. 247-262. <https://doi.org/10.2166/wh.2006.0021>

SMHI & Havs- och vattenmyndigheten (2019). *Mätningar*. Tillgänglig: <https://vattenwebb.smhi.se/station/> [2019-02-28]

StatisticsHowTo (2019). *Normalized Data / Normalization*. Tillgänglig:

<https://www.statisticshowto.datasciencecentral.com/normalized/> [2019-05-07]

Sveriges Geologiska Undersökning (2018). *Stål- och metallindustriavfall*. Tillgänglig: <https://www.sgu.se/mineralnaring/metall-och-mineralatervinning/stal-och-metallindustriavfall/> [2019-02-05]

Sveriges Geologiska Undersökning (2019). *Jordarter 1:1 miljon*. [Kartografiskt material]. 1:1 000 000. Tillgänglig: <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-jordarter-1-miljon.html> [2019-03-13]

SYVAB (2008). *Riktlinjer för oljeavskiljare i Nykvarn, Södertälje, Botkyrka, Salem*. Grödinge: Sydvästra Stockholmsregionens Verkaktiebolag.

Tong, Y., Zhang, Q., Cai, J., Gao, C., Wang, L., Li, P. (2018). *Water consumption and wastewater discharge in China's steel industry*. Ironmaking & Steelmaking, vol. (45), ss. 868-877.

Tillgänglig: <https://www-tandfonline-com.ezproxy.its.uu.se/doi/full/10.1080/03019233.2018.1538180> [2019-01-25]

Torjusen, G., Hultgren, J., Lejontand, A. (2013). *Förerenade områden - föreningar kopplade till historiska tillverkningsprocesser*. Länsstyrelsen Östergötland. Tillgänglig: <http://www.ebhportalen.se/SiteCollectionDocuments/%C3%96vrigt/Handbok-med-oversiktlig-info-olika-branscher.pdf> [2019-02-05]

USACE (2019). *Hydrologic Engineering Center*.

Tillgänglig: <https://www.hec.usace.army.mil/> [2019-02-19]

Van Rijn, L.C. (1984). Sediment Transport, Part I: Bed Load Transport. *Journal of Hydraulic Engineering* vol. 110.

Yacoub, T., Westman, Y., Sanner, H., Samuelsson, B. (2005). *Detaljerad översvämningsskarta för Eskilstunaån. Ett projekt inom KRIS-GIS*. SMHI (Rapport Nr 98). Tillgänglig: https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.105214!/hydrologi_98.pdf [2019-05-06]

MUNTliga Källor

Henrik Sandberg, Strömfallet AB. (2019-03-28).

APPENDIX A

VERKSAMHETSHISTORIKEN LÄNGS ESKILSTUNAÅN

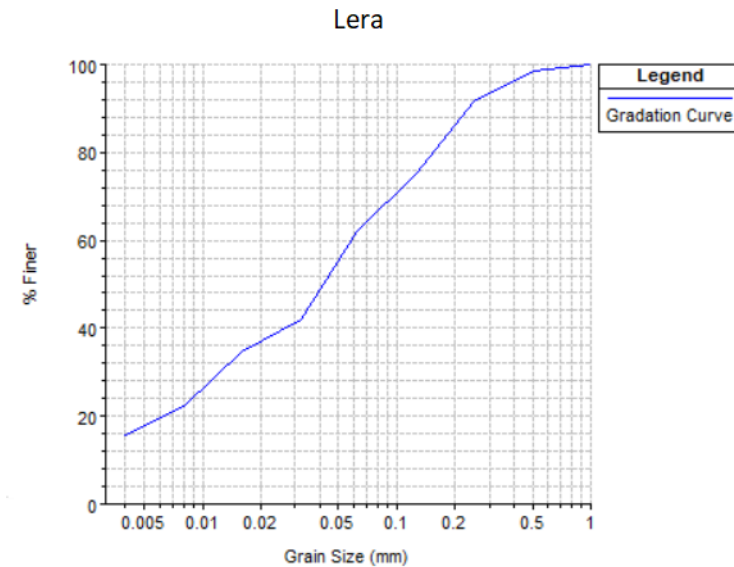
Tabell A1: Lista över verksamheter och vilka material som har hanterats i olika kvartersområden längsmed Eskilstunaån. Där samma kvartersområde nämns flera gånger har olika material använts i skilda lokaler, antingen av samma företag eller olika. I några kvarter har det funnits fler industrier som har hanterat lika material, då har dessa endast nämnts en gång i tabellen

Kvartersområde	Verksamhet / produkt / material	Referens
Faktoriholmarna	Gevär / järn	Eskilstuna kommun, 2019a
Frimuraren	Järn	Eskilstuna kommun, 2019x
Fristaden	Sliperi	Eskilstuna kommun, 2019b
Kälby	Rostfritt / metall	Eskilstuna kommun, 2019c
Kälby	Sågverk / trä	Eskilstuna kommun, 2019d
Legeringen	Stål / metall	Eskilstuna kommun, 2019z
Limpan	Bageri	Eskilstuna kommun, 2019ä
Linjalen	Borrar / järn	Eskilstuna kommun, 2019å
Litografen	Kontorsmaterial	Eskilstuna kommun, 2019y
Nithammaren	Arbetsmaskiner	Eskilstuna kommun, 2019e
Rosenfors	Finsmide / järn	Eskilstuna kommun, 2019f
Svärdsliljan	Möbellås / metall	Eskilstuna kommun, 2019g
Stockrosen	Metall	Eskilstuna kommun, 2019h
Steglitsan	Verkstad / kakel	Eskilstuna kommun, 2019i
Tackjärnet	Järn och stål	Eskilstuna kommun, 2019j
Torshälla (Nyby bruk)	Plåt och metall	Eskilstuna kommun, 2019k
Tunafors	Metall och järn	Eskilstuna kommun, 2019l
Valhalla	Tångfabrik / järn och metall	Eskilstuna kommun, 2019m
Vallonen	Smedjor / järn och metall	Eskilstuna kommun, 2019n
Vallonen	Koppar och aluminium	Eskilstuna kommun, 2019o
Vapensmedjan	Knivar / metall	Eskilstuna kommun, 2019p
Vattumannen	Gasverk / koks	Eskilstuna kommun, 2019q
Verkmästaren	Knivar / metall	Eskilstuna kommun, 2019r
Vikingen	Metall	Eskilstuna kommun, 2019s
Vinkelhaken / Vörten	Bryggeri	Eskilstuna kommun, 2019t

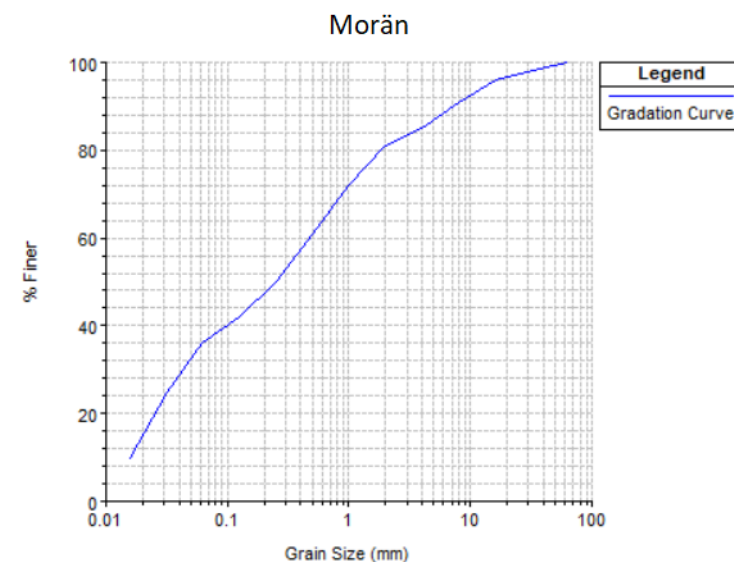
APPENDIX B

SIKTKURVOR

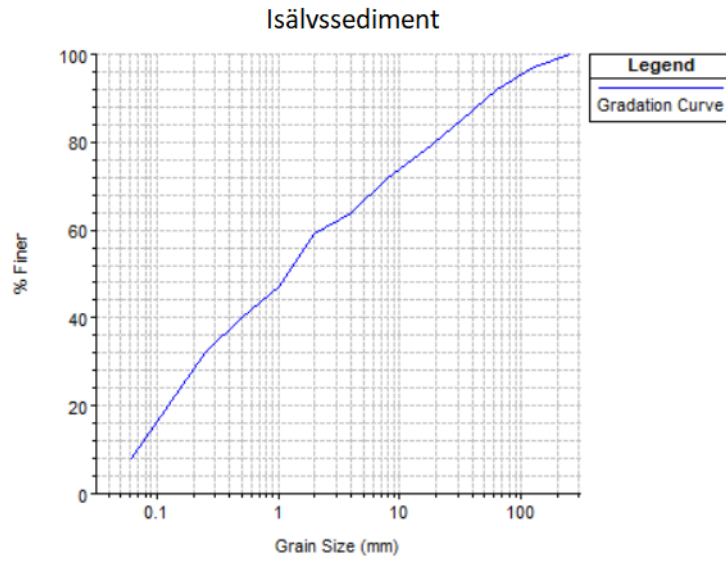
Nedan finns uppskattade siktkurvor för jordarterna lera, morän och isälvs sediment som användes vid modellering av sedimenttransporten i HEC-RAS. Då mätdata för detta saknades skapades typiska siktkurvor för vardera jordart.



Figur B1: Siktkurva för jordarten "Lera" som användes i sedimenttransportmodellen.



Figur B2: Siktkurva för jordarten "Morän" som användes i sedimenttransportmodellen.

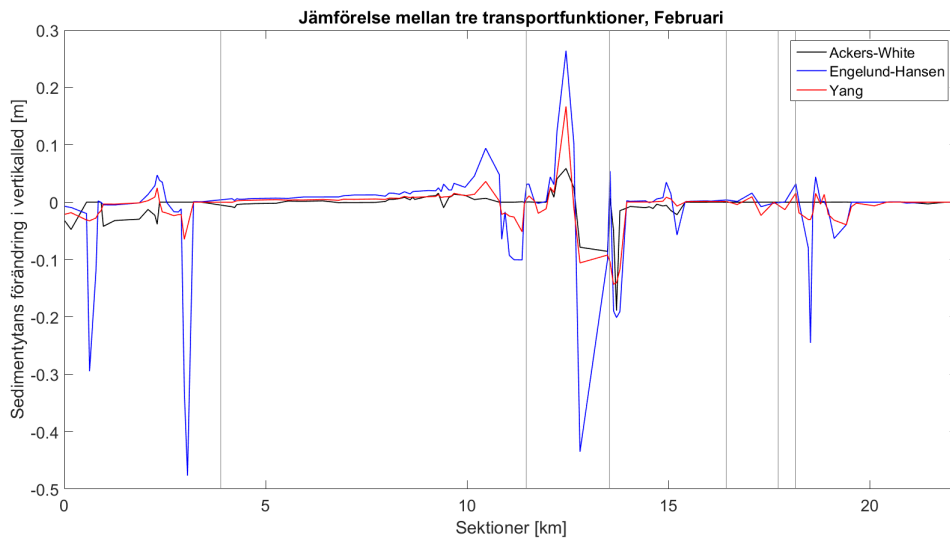


Figur B3: Siktkurva för jordarten "Isälvs sediment" som användes i sedimenttransportmodellen.

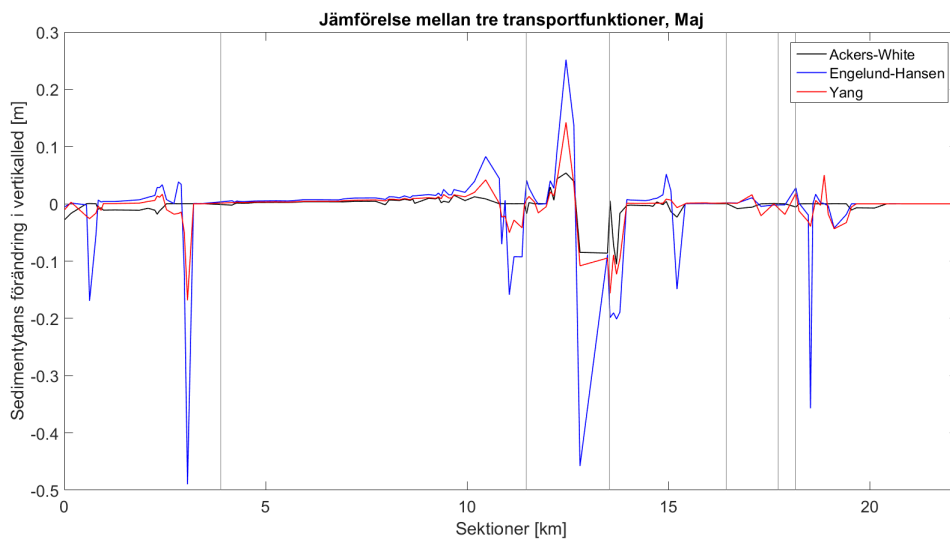
APPENDIX C

TRANSPORTFUNKTIONER

Detta appendix innehåller grafer med jämförelser mellan tre olika transportfunktioner som undersöktes i HEC-RAS. Uppmätta flöden för februari och maj matades in i modellen.



Figur C1: Jämförelse mellan transportfunktionerna Ackers-White, Engelund-Hansen och Yang för flöden under februari 2018.

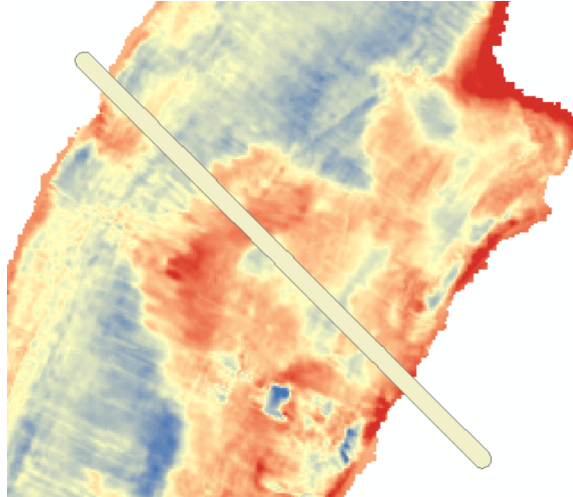


Figur C2: Jämförelse mellan transportfunktionerna Ackers-White, Engelund-Hansen och Yang för flöden under maj 2018.

APPENDIX D

BOTTENS HÅRDHET

Detta appendix innehåller en bild över hur verktyget Zonal användes i ArcMap för att beräkna medelvärden för bottenens hårdhet.



Figur D1: *Det ljusa området är en buffert kring en av tvärsektionerna som användes i modelleringen i HEC-RAS. Alla värden för hårdheten inom markeringen användes för ett medelvärde av hårdheten vid sektionen. Ytan inom markeringen men som ligger utanför backscattret tas inte med i bildandet av medelvärdet.*