



UMEÅ UNIVERSITET



Foto: Sebastian Bryntesson

Sura sulfatjordar i närområdet av Sikeå trafikplats

Hur påverkas vattenkvaliteten hos närliggande vattendrag?

Ida Eriksson

Examensarbete, 15 hp

Kandidatprogrammet i biologi och geovetenskap, inriktning geovetenskap, 180 hp
Vt 2024

Acid Sulfate Soils in the Surroundings of Sikeå Interchange

What are the effects on nearby streams?

Ida Eriksson

Abstract

Acid sulfate soil comes with a broad spectrum of challenges affecting technical, economic and environmental perspectives. It can cause lowering of pH and leaching of metals and sulfate into nearby streams resulting in negative effects on the ecosystem. Management of these sediments during infrastructure projects are challenging, primarily due to the characteristics of the fine-grained sediments with poor carrying capacity. Large quantities are often transported to landfill, resulting in expensive costs. It is important to manage acid sulfate soils cautiously to prevent potential harm of the surrounding environment. During the construction of an interchange in Sikeå, northern Sweden, a large amount of acid sulfate soils has affected the construction work. Therefore, the aim of this study was to determine if any significant differences in water quality of two nearby streams could be found between upstream and downstream the interchange. The annual addition of acidic sulfate soil above the water table, within the catchment, due to isostatic land uplift was determined and compared to the amounts transported to landfill. No significant difference in water quality was found between upstream and downstream measuring points. There was a significant correlation between sulfate and conductivity but only a weak correlation between pH and sulfate. Key conclusions from this study includes that the construction of the interchange does not seem to have aggravated the water quality of nearby streams and the amount of sediment added annually above the water table by land uplift are more than twice as large as the amount that was transported to landfill.

Key words: Acid sulfate soils, Water chemistry, Streams, Construction work

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.2 Syfte och frågeställningar	2
2 Material och metoder	3
2.1 Studieområde	3
2.1.1 Rismyrbäcken.....	4
2.1.2 Namnlös bäck från Noret.....	4
2.2 Vattenprovtagning.....	4
2.3 Databearbetning	5
3 Resultat	6
3.1 Vattenkemi	6
3.1.1 pH	6
3.1.2 Sulfat.....	8
3.1.3 Konduktivitet	9
3.1.4 Regressionsanalyser och samband.....	10
3.2 Årlig syresättning av sulfatjordar och bortfraktad massa	12
4 Diskussion	13
4.1 Vattenföring och vattenkemi	13
4.1.1 pH, sulfat och konduktivitet	14
4.1.2 Samband och metallhalter	15
4.1.3 Påverkansfaktorer och årligt tillskott av sulfatjord	16
4.2 Slutsatser	17
Tack	18
Referenser	

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Ler- och siltjordar innehållandes sulfidmineraler och höga halter organiskt material är vanligt förekommande i både Sverige och Finland (Sveriges geologiska undersökning 2007). I Sverige förekommer de främst i de Norrbottniska och Västerbottniska kustlandskapen men de kan även återfinnas i Mälarenregionen och Skåne (Lindgren et al. 2022). De finkorniga jordarna bildades under perioden för Littorinahavet, framför allt cirka 7000 till 4000 år sedan, när döda plankton och alger föll ned och ackumulerades på havsbotten. Oxiderande bakterier bröt sedan ned den döda organiska materian och skapade en anoxisk miljö (Sohlenius och Öborn 2004). När inget syre längre var tillgängligt, övergick vissa av bakterierna till att använda sulfat (SO_4^{2+}) och trevärt järn (Fe^{3+}) för att tillgodogöra sig energi. Sulfat (SO_4^{2+}) reducerades till sulfid (S^{2-}) medan trevärt järn (Fe^{3+}) reducerades till tvåvärt järn (Fe^{2+}). Slutprodukten blev olika slags järnsulfider, däribland FeS_2 och FeS (Lindgren et al. 2022). Via den isostatiska landhöjningen har delar av den sulfidrika jorden stigit ovanför havsnivån och återfinns idag främst i låglänta delar runt om den Bottniska viken (Boman et al. 2023).

När sulfidrika jordar befinner sig under havsnivån, grundvattennivån eller på andra sätt är vattenmättade, råder anaeroba och reducerande förhållanden (Bilaga 1a). Förhållandena för anaerob sulfidjord karaktäriseras av att pH är > 7 och redoxpotentialen är < 0 (Nyberg, Österholm och Nystrand 2011). Icke syresatta sulfidrika jordar kan även kallas för potentiellt sura sulfatjordar och är av kemiskt stabil karaktär (Sveriges geologiska undersökning 2019). För jord som ligger ovanför havs- och grundvattenytan råder i stället aeroba och oxiderande förhållanden (Bilaga 1b). När jorden syresätts oxiderar järnsulfid till järnhydroxid och svavelsyra ($\text{FeS} + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$) vilket kraftigt sänker jordens pH och redoxpotentialen ökar (Boman et al. 2010). En effekt av det låga pH-värdet blir att trevärt järn (Fe^{3+}) förblir lösningsbar och därmed reaktiv, vilket sänker pH ytterligare och i vissa fall kan det sjunka så lågt som till 2,5 (Lindgren et al. 2022). Oxiderad sulfidjord med $\text{pH} < 4$ benämns sur sulfatjord (Vägverket 2007) men kan även kallas för aktivt sur sulfatjord (Sveriges geologiska undersökning 2019). Hädanefter kommer begreppen sulfatjord eller sur sulfatjord att användas i rapporten.

Sura sulfatjordar är förknippade med en svår försurningsproblematik med anledning av de låga pH-värden som orsakas av svavelsyra (H_2SO_4) som bildas när kontakt med syre uppstår (Boman et al 2023). När pH sjunker till < 4 i jorden, ökar den kemiska vittringen, och flertalet olika metaller, t.ex. järn, nickel, zink, koppar, aluminium och kadmium, riskerar att mobiliseras och lakas ut vilket påverkar vattenkvaliteten i närliggande vattendrag. Även sulfat- och vätejoner lakas ut och kan påverka vattendragen i omgivningen (Åström och Björklund 1995).

Vattendrag som rinner igenom områden med sulfatjordar karaktäriseras därför ofta av låga pH-värden och höga metall- och sulfathalter, särskilt vid de höga vattenflöden som uppkommer vid snösmältningen samt vid rikliga regnmängder på hösten (Lindgren et al. 2022). Det har även visat sig att konduktivitet, det vill säga vattnets elektriska ledningsförmåga kan vara en indikator för sulfathalten i en recipient. Detta beror på att konduktivitet är ett mått på mängden lösta joner i vattnet. Olika joner har varierande elektrisk ledningsförmåga och just sulfat är en av de effektivaste jonerna sett till elektrisk ledningsförmåga. Detta gör att konduktiviteten ofta samvarierar med sulfathalterna i ett

vattendrag (Åström och Åström 1997). Sambandet mellan sulfathalt och pH är inte lika tydligt (Ivarsson och Jansson 1995). Något som däremot kan konstateras är att vattendrag som är påverkade av sur sulfatjord ofta karaktäriseras av lågt pH i kombination av hög konduktivitet. Påverkan på vattnets kvalitet, i framför allt mindre kustmynnande vattendrag, kan vara stor och påverka ekosystemen och särskilt fiskbestånden negativt (Lindgren et al. 2022, Länsstyrelsen Västerbotten 2020). Det finns även ett flertal dokumenterade fall där den yttersta konsekvensen har varit fiskdöd (Lindgren et al. 2022).

Hantering av sulfatjord är ofta problematiskt ur både ett tekniskt, ekonomiskt och miljömässigt perspektiv. Jorden karaktäriseras av höga halter vatten och organiskt material som resulterar i en sättningsbenägenhet och dålig bärighet, vilket ofta kräver åtgärder i form av bortgrävning eller förstärkningsarbete. Den pågående landhöjningen kan frilägga nya jordmassor ovan grundvattennivån. Detta innebär att sulfatjordar som friläggs riskerar att syresättas och bli aktivt sura sulfatjordar till följd av detta (Vägverket 2007). Landhöjningens hastighet varierar på olika platser i Sverige men längs den Bottniska vikens kust stiger landet i snabbast takt. Inom bottenvikenområdet är landhöjningen som snabbast i Västerbotten med cirka 0,9 cm/år. Att landhöjningen går som fortast här beror på att inlandsisen var som tjockast och därmed pressade ned landytan som mest (Berghlund 2012). Det är vanligt att sulfatjordar dräneras artificiellt för att kunna brukas inom jordbruket. Sedan 1800-talet har stora arealer mark torrlagts genom dikning för att effektivisera jordbruket (Jordbruksverket 2020). Idag är det även vanligt att mark dräneras och att grundvattennivån sänks i samband med olika infrastrukturprojekt. Det är vanligt att grundvatten läcker in i tunnlar och schakter vilket gör att grundvattennivån i omgivningen sjunker (Statens geotekniska institut 2023). En ytterligare konsekvens av detta blir att potentiellt sura sulfatjordar riskerar att bli aktiva. Att lägga massorna på deponi är ofta förenat med stora kostnader och inte sällan finns det andra lösningar. Andra möjliga lösningar varierar från projekt till projekt men kan exempelvis innebära in situ-täckning av jordmassor för att minimera kontakten med syre. En del i att klassificera och bedöma sulfatjordar med avseende på deras försurningsegenskaper är att utföra relevanta fält- och laboratorieundersökningar samt analyser för att kunna besluta om adekvata åtgärdsförslag (Vägverket 2007).

Trafikverket är i slutfasen av att anlägga en ny trafikplats i Sikeå för korsningen mellan väg E4 och väg 651/667 och i det arbetet har sulfatjordar provtagits, karakteriserats och utifrån detta hanterats på olika sätt. En del massor har körts i väg på deponi medan andra delar har kunnat återanvändas inom projektet som bland annat fyllningsmassor i de vägramper som kommer utgöra en del av trafikplatsen. För att kontrollera omgivningspåverkan har provtagning i två närliggande vattendrag påbörjats för att undersöka parametrarna pH, sulfathalt, konduktivitet samt metallhalter.

1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med denna studie är att på uppdrag av Trafikverket undersöka om anläggningsarbetet under konstruktionen av den nya trafikplatsen resulterat i en omgivningspåverkan och därmed påverkat vattenkvaliteten på de två vattendragen som rinner genom byggområdet. Därutöver är även syftet att undersöka hur den isostatiska landhöjningen eventuellt kommer att påverka avrinningsområdet i framtiden genom att potentiellt syresätta ytterligare jordmassor. Frågeställningarna som ligger till grund för studien är:

I) Finns det några skillnader i recipientvattnet, uppströms respektive nedströms trafikplatsen, gällande pH, sulfathalter och konduktivitet?

II) Finns det något samband mellan pH och koncentrationen av kadmium, nickel och zink eller mellan sulfat och konduktivitet?

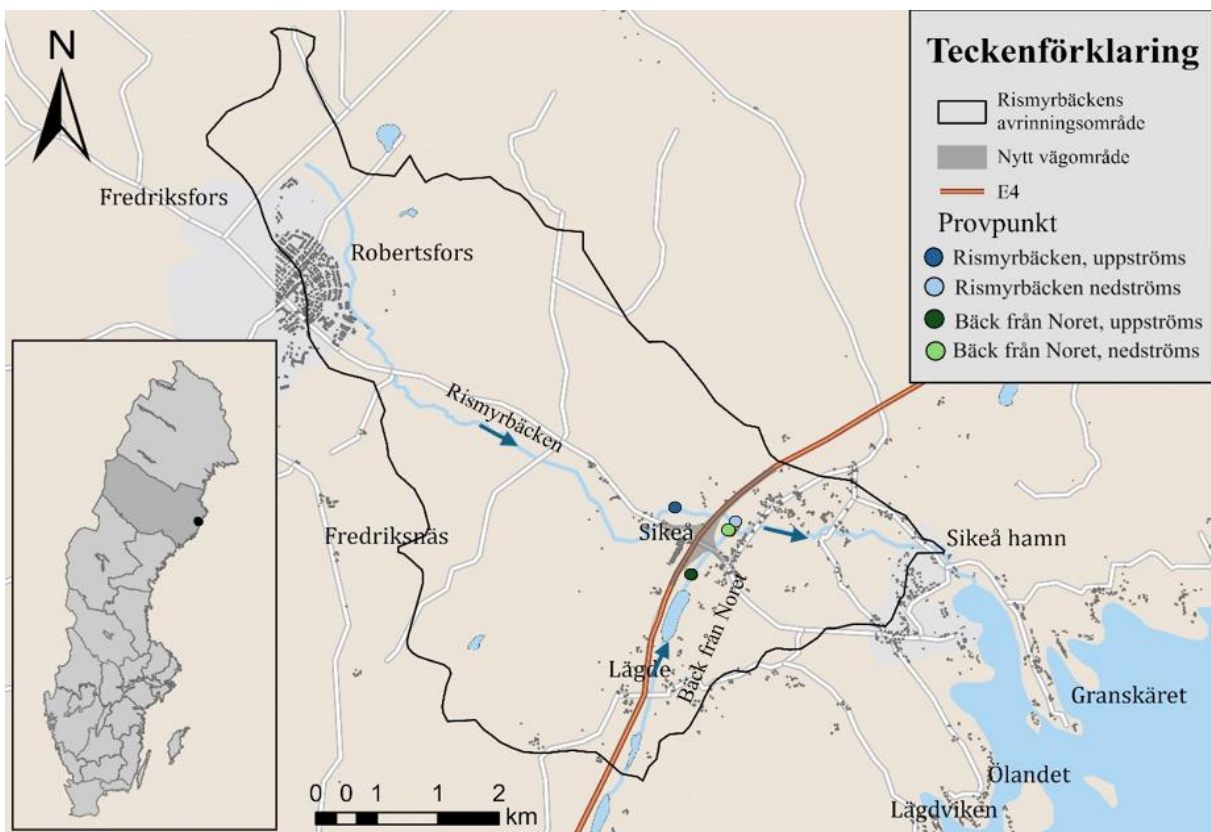
III) Hur stor volym sura sulfatjordar syresätts årligen till följd av den pågående landhöjningen inom aktuellt avrinningsområde?

III) Hur stor volym sura sulfatjordar har transporterats bort och lagts på deponi i samband med projektet, och till vilken kostnad, i jämförelse med den volym som riskerar att syresättas årligen till följd av landhöjningen?

2 Material och metoder

2.1 Studieområde

Studieområdet omfattar Rismyrbäckens avrinningsområde på 18,3 km² (Vatteninformationssystem Sverige 2021). Inom avrinningsområdet återfinns påverkansområdet för den nya trafikplatsen i korsningen mellan E4 och väg 651/667 (Figur 1). Landskapet består främst av skogsmark och åkermark men det finns även industri- och villabebyggelse inom avrinningsområdet. Åkermark är den dominerande marktypen och är likaledes den som kommer att påverkas mest av trafikplatsen då ca sex hektar jordbruksmark kommer att tas i anspråk (Trafikverket 2021). Då en hög andel av marken är jordbruksmark finns det även dikningsföretag som påverkar området. Genom området rinner vattendraget Rismyrbäcken samt en namnlös bäck från sjön Noret. Allt vatten som avrinner från trafikplatsen kommer avledas via Rismyrbäcken till Sikeåfjärden som ligger drygt 2 km från trafikplatsen (Trafikverket 2022).



Figur 1. Karta över Rismyrbäckens avrinningsområde samt fokusområdet för

vattenprovtagningen med provpunkterna 1-4. Data från Lantmäteriet, SGU och Vattenmyndigheterna. SWEREF 99 TM.

2.1.1 Rismyrbäcken

Rismyrbäcken (WA61428838/SE712802-175016) är ett 8km långt biflöde till Slättbäcken som slutligen mynnar ut i Sikeåfjärden (Vatteninformationssystem Sverige 2021). Enligt Vatteninformationssystem Sverige (VISS) är Rismyrbäcken en vattenförekomst med fastställda miljö kvalitetsnormer. I vattenförvaltningscykel 3 (2021-2027) bedöms den ekologiska statusen som måttlig bland annat till följd av markavvattningsföretag inom avrinningsområdet. Vattenförekomsten uppnår ej god kemisk ytvattenstatus vilket bedöms vara till följd av atmosfärisk deposition av ämnen som kvicksilver och bromerad difenyleter. Det är beslutat att kvalitetskravet om god ekologisk status samt god kemisk ytvattenstatus ska vara uppnått 2027. (Vatteninformationssystem Sverige 2021). Det bedöms att vägplanen inte kommer att påverka insatserna för att tillgodose miljö kvalitetsnormerna (Trafikverket 2021) och tidigare har Rismyrbäcken bedömts vara starkt sulfatjordspåverkad (Länsstyrelsen Västerbotten 2020).

2.1.2 Namnlös bäck från Noret

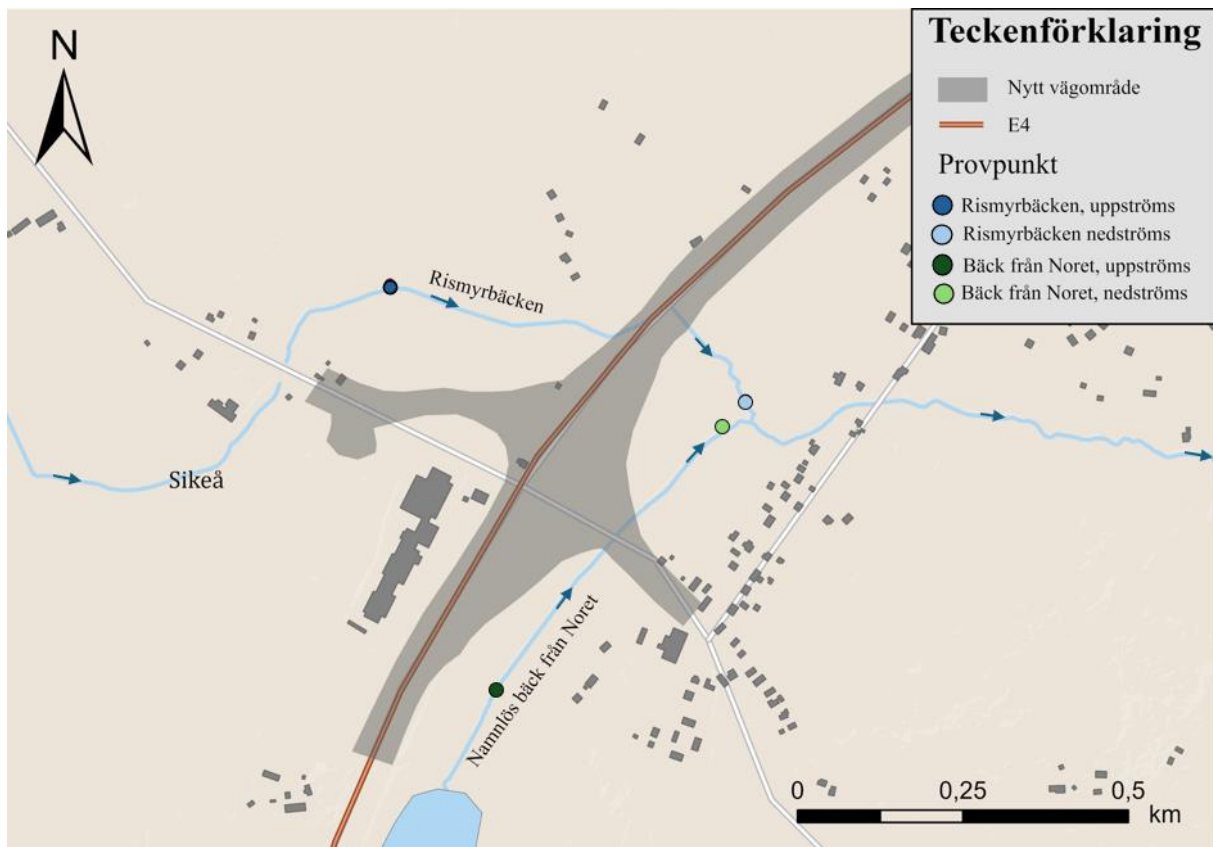
Enligt VISS utgör den namnlösa bäcken från Noret ingen vattenförekomst och går därmed under klassningen övrigt vatten. Inga fastställda statusklassningar eller miljö kvalitetsnormer existerar för vattendraget (Vatteninformation Sverige 2024) som ingår i ett dikningsföretag från 1929 (Lantbruksstyrelsen 1929). Bäck utgör ett knappt 1 km långt biflöde till Rismyrbäcken och går ihop med denna innan avrinning fortsätter till Sikeåfjärden. Den namnlösa bäcken från Noret har i likhet med Rismyrbäcken tidigare bedömts vara starkt sulfatjordspåverkad (Länsstyrelsen Västerbotten 2020).

2.2 Vattenprovtagning

Mellan januari och slutet av april 2024 utfördes provtagningar vid två provpunkter i Rismyrbäcken samt vid två provpunkter i den namnlösa bäcken från Noret (Figur 2). I de båda vattendragen valdes en provpunkt uppströms trafikplatsen och en provpunkt nedströms trafikplatsen. Sedan tidigare har Trafikverket utfört provtagningar en gång i månaden i januari, februari och mars 2024. Tätheten på dessa provtagningar har därefter ökat till en gång varje vecka med start den 26:e mars för detta arbete, och som en utökad kontroll under första snösmältningen efter genomfört anläggningsarbete.

Vid respektive provpunkt fylldes två rena 500 ml polyetenflaskor samt två flaskor av storleken 150 ml med vatten från recipienten. En teleskopsarm användes för att möjliggöra provtagning i vattendragets mitt strax under vattenytan. Dessa förvarades sedan svalt och mörkt innan de samma dag lämnades in till det ackrediterade SGS-laboratoriet i Umeå för vidare analyser. Parametrarna som analyserades var pH, konduktivitet samt sulfathalt. Provtagning av kadmium, nickel och zink hörde till en början inte till arbetets huvudfokus och analyserades därför totalt vid fem tillfällen i jämförelse med nio tillfällen för övriga parametrar.

De analysmetoder som användes av det ackrediterade laboratoriet SGS (Tabell 1) omfattas av svensk standard. För metallhalterna analyserades totalhalter efter uppslutning. Mätosäkerheten varierar mellan de olika analyseringstillfällena men generellt erhöles en högre mätosäkerhet vid analysresultat som visade på högre halter och en lägre mätosäkerhet vid analysresultat som visade på lägre halter. För pH var mätosäkerheten densamma vid varje analystillfälle.



Figur 2. Provpunkternas placering i Rismyrbäcken samt den namnlösa bäcken från Noret i förhållande till det nya vägområdet till trafikplatsen. Data från Lantmäteriet, SGU och Vattenmyndigheterna. SWEREF 99 TM.

Tabell 1. Analysmetoder samt mätosäkerhet för de olika analysvariablerna.

Analysvariabel	Metodbeteckning	Enhet	Mätosäkerhet
Kadmium	SS-EN ISO 17294-2:2023	µg/l	± 0,011 - 0,032
Konduktivitet, 25°C	SS-EN 27888, utg 1	mS/m	± 0,64 - 3,1
Nickel	SS-EN ISO 17294-2:2023	µg/l	± 0,63 - 1,2
pH	SS-EN ISO 10523:2012	pH-enheter	± 0,2
Sulfat	SS-EN ISO 10304-1:2009	mg/l	± 2,8 - 11
Zink	SS-EN ISO 17294-2:2023	µg/l	± 2,1 - 8,3

2.3 Databearbetning

Normalfördelning kontrollerades för de olika vattenkemiska parametrarna. Därefter utfördes flertalet t-tester i syfte att undersöka om det fanns en signifikant skillnad (för parametrarna pH, sulfat och konduktivitet) uppströms och nedströms trafikplatsens vägområde i Rismyrbäcken respektive den namnlösa bäcken från Noret. Signifikansnivån bestämdes till $p < 0,05$ och t-testerna som utfördes var *två sampel, antar olika varians*. Från SMHI:s vattenwebb laddades vattenföringsdata från Rismyrbäckens avrinningsområde ned. Det består av modellberäknade värden som sedan kompletteras med uppmätta värden (SMHI 2024). Detta för att kunna uppskatta när snösmältningen initierats inom avrinningsområdet. Regressionsanalyser utfördes för att undersöka sambandet mellan sulfathalt och konduktivitet samt mellan pH och sulfathalt, kadmium, nickel och zink.

För att beräkna volymen sulfatjord som potentiellt kan friläggas ovan grundvattennivån till följd av landhöjningen användes SGU:s kartunderlag som visar var det kan finnas sur sulfatjord längst Norrlandskusten (SGU 2023). Det är en modell där sannolikheten för att det ska finnas sur sulfatjord har tagits fram med hjälp av sambandet mellan observationer ute i fält och miljövariabler som exempelvis höjdm modeller och jordartskartor. Kartunderlaget användes i ArcGIS Pro för att kvantifiera antalet celler inom studieområdet av de tre kategorierna; *Aktiv sur sulfatjord på potentiellt sur sulfatjord*, *Potentiellt sur sulfatjord* samt *Ej sur sulfatjord*. Genom att kvantifiera antalet celler för respektive kategori i ArcGIS pro kunde dessa beräknas om till en yta då varje cells storlek var 50x50 m (Ekvation 1).

Landhöjningen vid studieområdet är bland den snabbaste i hela Sverige och uppgår till 0,9 cm per år (Lantmäteriet 2016). Genom att multiplicera landhöjningen med ytan för de olika sulfatjordarna kunde en volym för potentiell friläggning ovan grundvattennivån beräknas (Ekvation 2). Trafikverket har tillhandahållit information om hur mycket sulfatjord som transporterats till deponi samt kostnaden för detta. För att kunna jämföra den beräknade volymen med massan för den borttransporterade sulfatjorden omvandlades volymen till massa med hjälp av jordens skrymdensitet (Ekvation 3). Skrymdensiteten uppskattades till 1600 kg/m³ med hjälp av den geotekniska undersökningen som utförts i ett tidigt skede av projektet där ett antal provborrningar gjordes.

Ekvation 1. $\text{Antal sulfatjordsceller} \times 2500 \text{ m}^2 = \text{Sulfatjordsyta (m}^2\text{)}$

Ekvation 2. $\text{Sulfatjordsyta (m}^2\text{)} \times 0,009 \text{ m} = \text{Sulfatjordsvolym (m}^3\text{)}$

Ekvation 3. $\text{Sulfatjordsvolym (m}^3\text{)} \times 1600 \text{ kg/m}^3 = \text{Sulfatjordsmassa (kg)}$

3 Resultat

3.1 pH

3.1.1 Rismyrbäcken

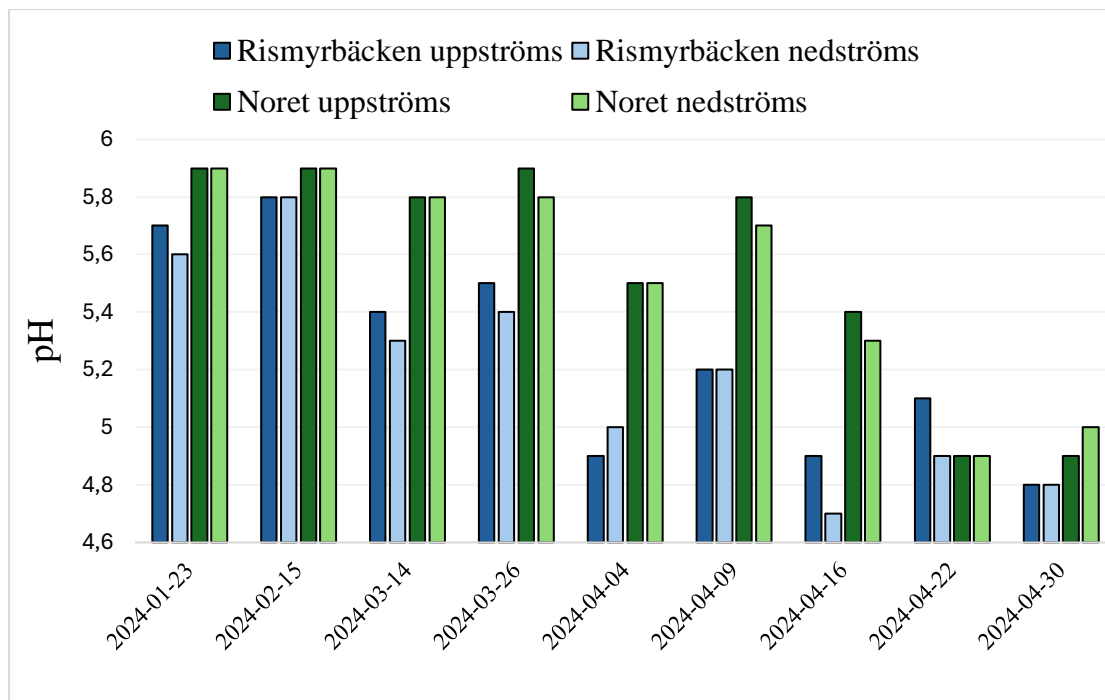
Generellt var pH högre under den inledande perioden med provtagning för att sedan gradvis sjunka under våren (Figur 3). Högsta uppmätta värde var 5,8 både uppströms och nedströms trafikplatsen medan lägsta uppmätta värde var 4,8 uppströms respektive 4,7 nedströms. Median var 5,2 för respektive provpunkt och medelvärdet var 5,26 uppströms samt 5,19 nedströms (Tabell 2). Det fanns ingen signifikant skillnad mellan provpunkten uppströms och provpunkten nedströms trafikplatsen. T-testet (tvåsvansat med antagen olika varians, n = 18) genererade p = 0,27. Både median och medelvärde är väldigt nära varandra för de två provpunkterna. Punkten nedströms har något större spridning samt det lägsta uppmätta värdet (Figur 4).

Tabell 2. Medelvärden, medianvärden och spridning för vattenkemiska parametrar i Rismyrbäcken. US står för uppströms trafikplatsen och NS står för nedströms.

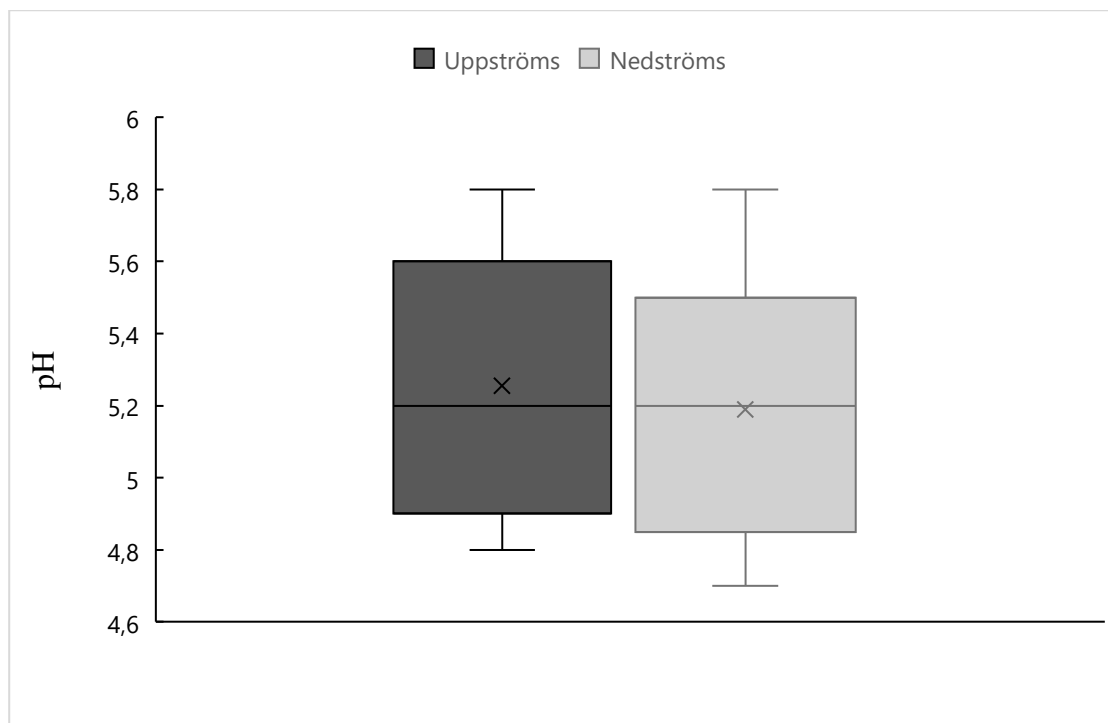
	Lägsta		Medel		Median		Högsta	
	US	NS	US	NS	US	NS	US	NS
pH	4,8	4,7	5,26	5,19	5,2	5,2	5,8	5,8
Sulfat (mg/l)	16,0	14,0	34,2	27,9	32,0	24,0	51,0	43,0
Konduktivitet (mS/m)	6,9	6,4	12,9	11,4	15,0	13,0	16,0	14,0
Kadmium (µg/l)	0,05	0,06	0,08	0,07	0,08	0,06	0,10	0,09
Nickel (µg/l)	5,0	4,2	7,3	6,0	7,5	5,9	9,7	7,9

Zink ($\mu\text{g/l}$)

22,0 18,0 26,6 27,4 27,0 22,0 31,0 55,0



Figur 3. Uppmått pH i Rismyrbäcken samt den namnlösa bäcken från Noret vid nio provtillfällen.



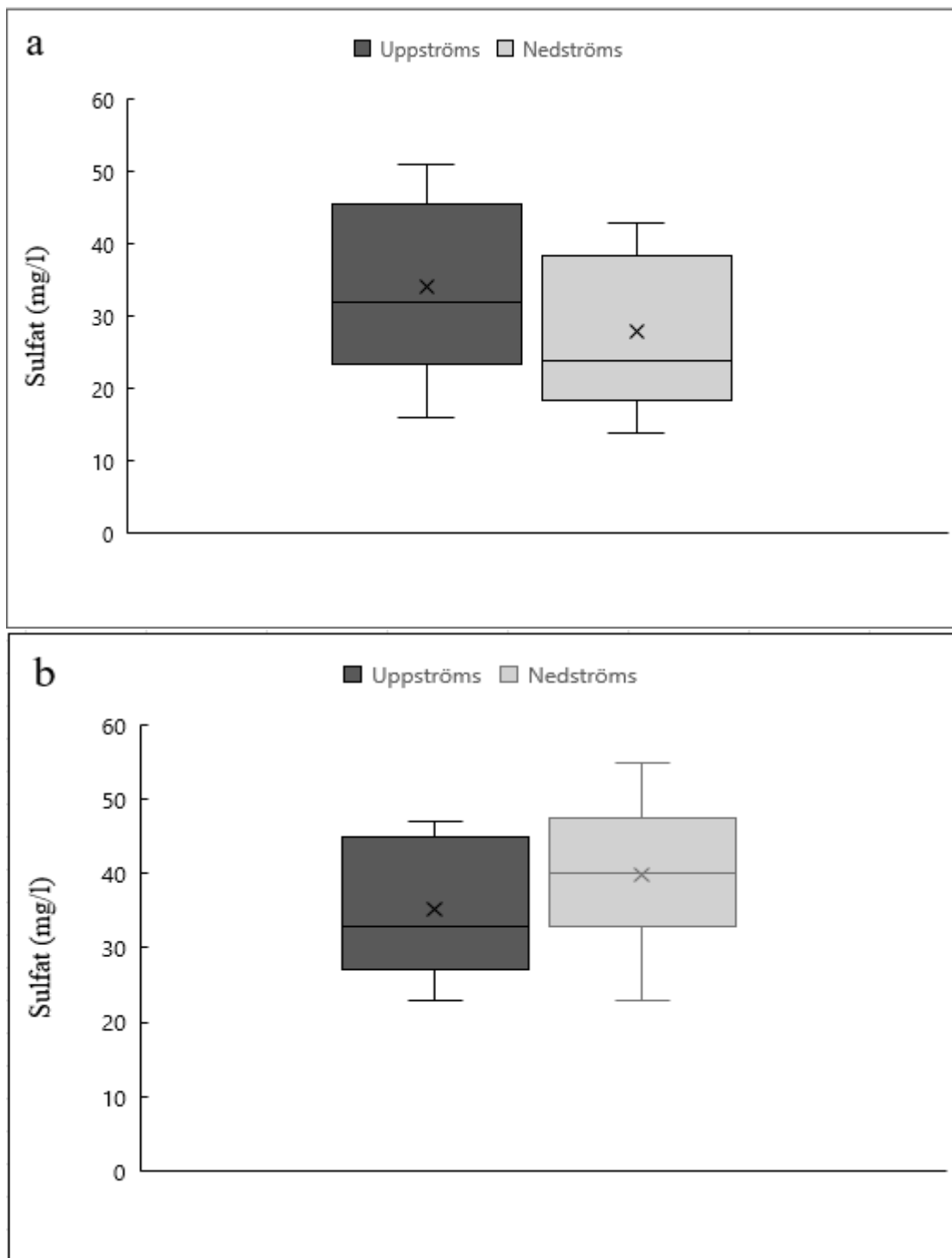
Figur 4. Låddiagram som visar spridning av uppmått pH vid de två provpunkterna i Rismyrbäcken. Vardera av de fyra kvartilerna innehåller 25% av värdena, krysset markerar medelvärdet och strecket genom lådan markerar medianen. I ytterkant av varje låddiagram återfinns minsta samt största värde.

3.1.2 Den namnlösa bäcken från Noret

Även i den namnlösa bäcken från Noret var pH högre under den inledande perioden med provtagning för att sedan gradvis sjunka under våren. Det går även att urskilja att pH är högre jämfört med Rismyrbäcken vid samtliga provtillfällen med undantag 2024-04-22 (Figur 3). Högsta uppmätta värde var 5,9 både uppströms och nedströms trafikplatsen medan lägsta uppmätta värde var 4,9 uppströms respektive nedströms (Tabell 3). Median var 5,8 uppströms och 5,7 nedströms. Medelvärde uppströms trafikplatsen var 5,56 och 5,53 nedströms.

Tabell 3. Medelvärden, medianvärden och spridning för vattenkemiska parametrar i den namnlösa bäcken från Noret. US står för uppströms trafikplatsen och NS står för nedströms.

	Lägsta		Medel		Median		Högsta	
	US	NS	US	NS	US	NS	US	NS
pH	4,9	4,9	5,56	5,53	5,8	5,7	5,9	5,9
Sulfat (mg/l)	23,0	23,0	35,2	39,9	33,0	40,0	47,0	55,0
Konduktivitet (mS/m)	11,0	11,0	21,8	22,6	19,0	20,0	31,0	32,0
Kadmium (µg/l)	0,03	0,04	0,07	0,09	0,06	0,09	0,11	0,14
Nickel (µg/l)	4,3	8,1	7,8	12,3	7,7	10,0	10,0	24,0
Zink (µg/l)	12,0	14,0	18,4	33,4	13,0	27,0	34,0	65,0



Figur 5. Låddiagram illustrerandes sulfathalt och spridning för a) Rismyrbäckens två provpunkter och b) de två provpunkterna i den namnlösa bäcken från Noret. Vardera av de fyra kvartilerna innehåller 25% av värdena, krysset markerar medelvärdet och strecket genom lådan markerar medianen. I ytterkant av varje låddiagram återfinns minsta samt största värde.

3.2 Sulfat

3.2.1 Rismyrbäckens

T-testet för sulfathalt visade att $p = 0,27$, $n = 18$. Det var därmed ingen signifikant skillnad

mellan provpunkterna uppströms jämfört med provpunkterna nedströms trafikplatsen. Median och medelvärdet var högre uppströms trafikplatsen och det högsta värdet uppmättes också där (Figur 5).

3.2.2 Den namnlösa bäcken från Noret

Det var ingen signifikant skillnad mellan de båda provpunkterna i den namnlösa bäcken från Noret. T-testet resulterade $p = 0,31$, $n = 18$. Det högsta värdet uppmättes nedströms trafikplatsen och vid den provpunkten var även median och medelvärdet högre jämfört med provpunkten uppströms (Figur 5).

3.3 Konduktivitet

3.3.1 Rismyrbäcken

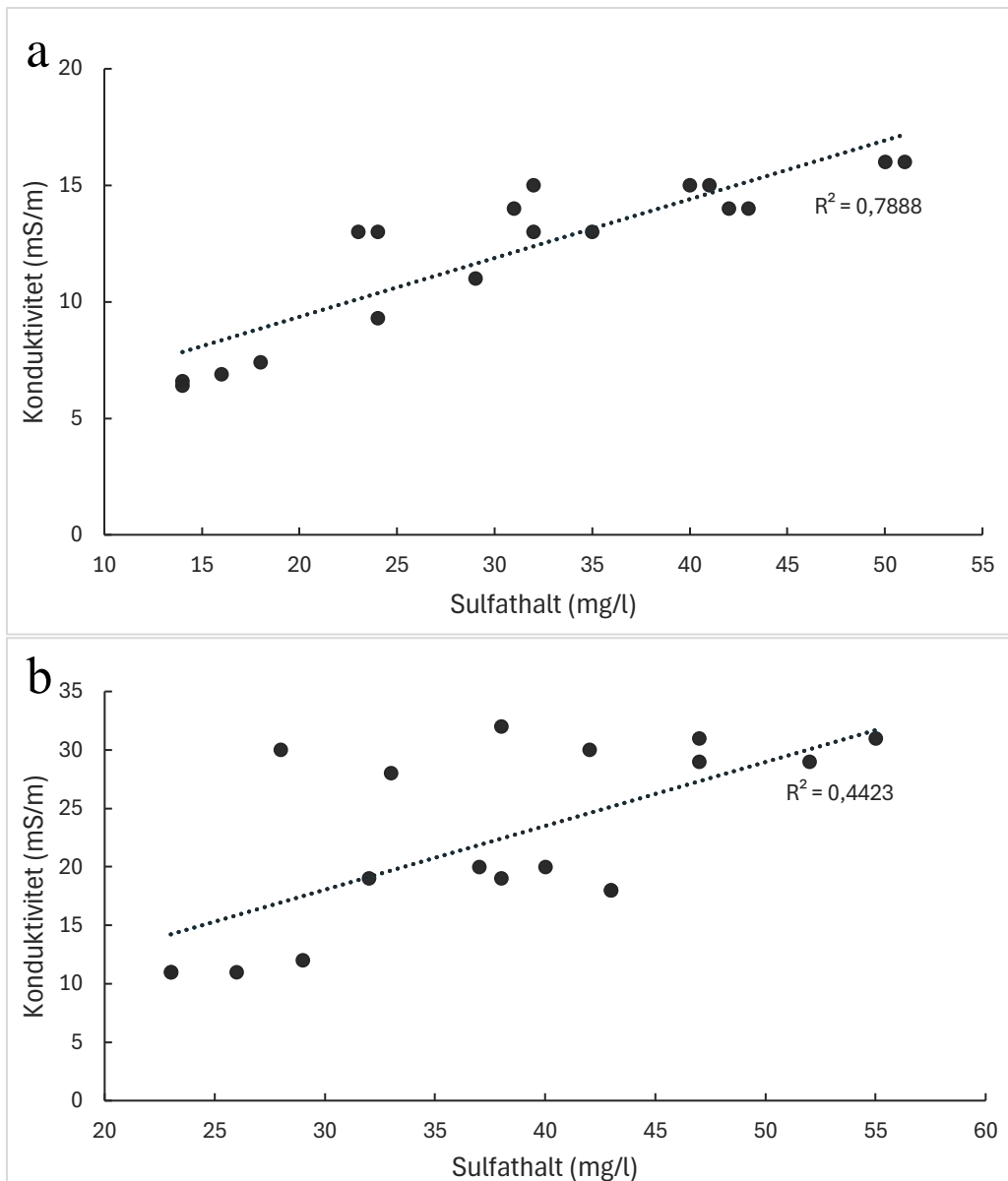
Det påvisades ingen signifikant skillnad gällande konduktiviteten uppströms respektive nedströms trafikplatsen i Rismyrbäcken. T-testet visade $p = 0,34$, $n = 18$.

3.3.2 Den namnlösa bäcken från Noret

I den namnlösa bäcken från Noret påvisades det inte heller någon signifikant skillnad mellan konduktiviteten uppströms och nedströms trafikplatsen. $P = 0,84$, $n = 18$.

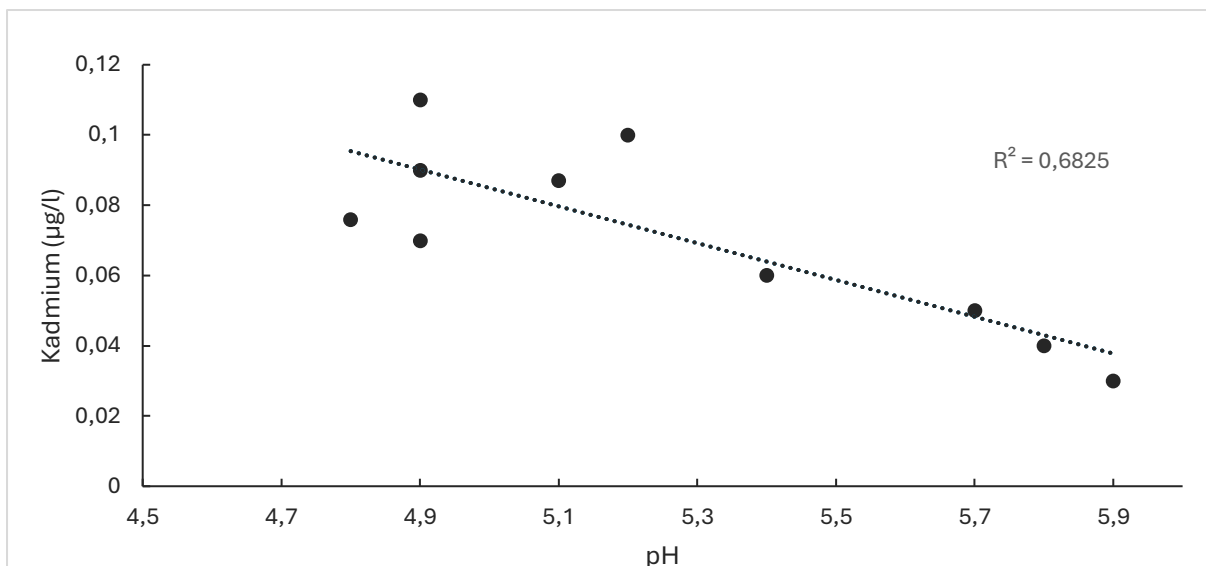
3.4 Regressionsanalyser och samband

I regressionsanalysen mellan sulfathalt och konduktivitet i rismyrbäcken var $r^2 = 0,79$, $p = 8,62 \cdot 10^{-7}$ och $n = 18$. Regressionsanalysen för den namnlösa bäcken från Noret genererade $r^2 = 0,44$, $p = 0,003$ och $n = 18$. Ett signifikant samband mellan de två parametrarna där en högre sulfathalt genererar en högre konduktivitet kunde därmed konstateras i båda bäckarna (Figur 6). För Rismyrbäcken fanns ett signifikant samband mellan pH och sulfathalt med $r^2 = 0,32$, $p = 0,01$, $n = 18$ (Bilaga 2) medan de för den namnlösa bäcken från Noret inte fanns någon korrelation mellan pH och sulfathalt med $r^2 = 0,1$, $p = 0,17$, $n = 18$.



Figur 6. Sambandet mellan sulfathalt och konduktivitet i a) Rismyrbäcken och b) den namnlösa bäcken från Noret.

I Rismyrbäcken fanns en signifikant korrelation mellan pH och kadmium (Figur 7) ($r^2 = 0,68$, $p = 0,003$, $n = 10$). Sambandet mellan pH och zink ($r^2 = 0,32$, $p = 0,09$, $n = 10$) och mellan pH och nickel ($r^2 = 0,09$, $p = 0,37$, $n = 10$) var inte statistiskt signifikant. För den namnlösa bäcken från Noret fanns inga signifikanta samband gällande pH och metallhalter.



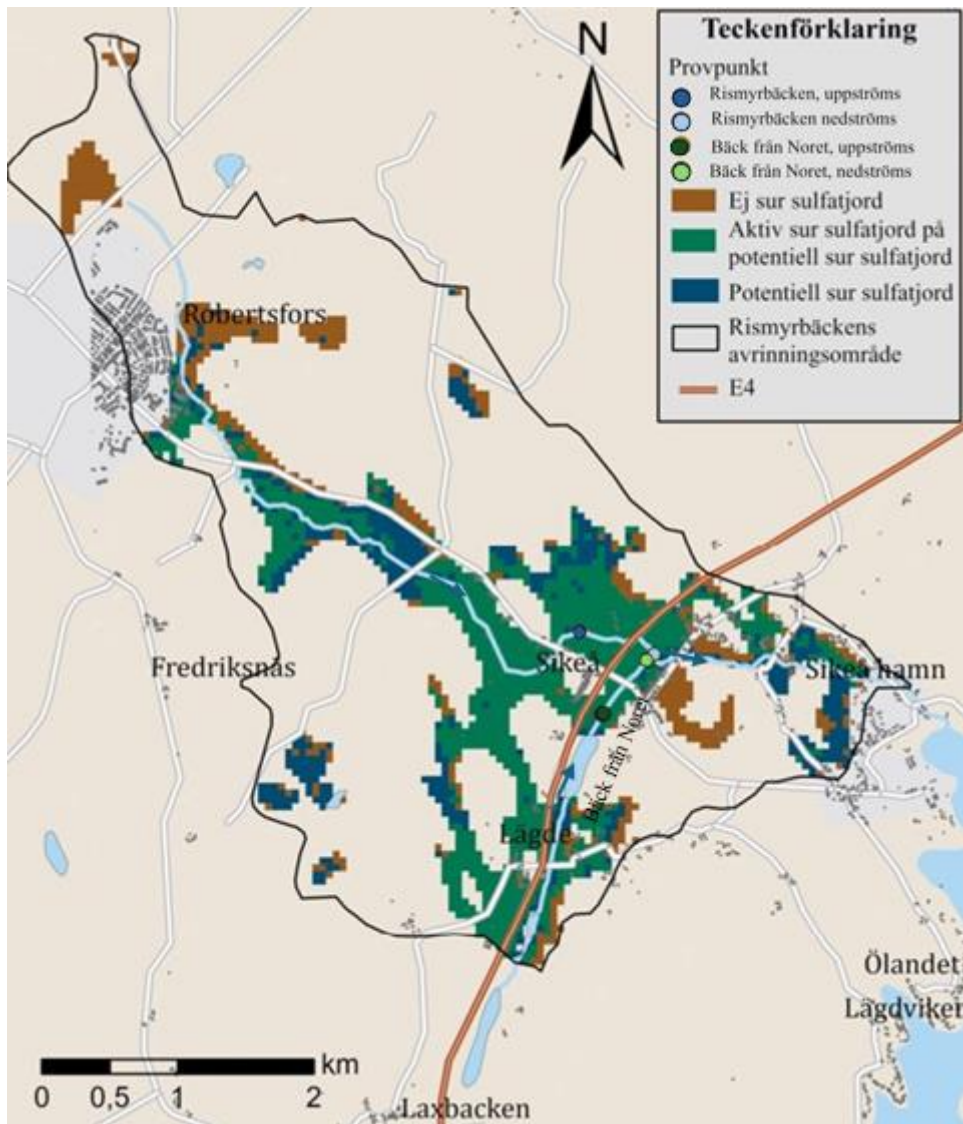
Figur 7. Sambandet mellan pH och kadmium i Rismyrbäckens.

3.5 Årlig syresättning av sulfatjordar och bortfraktad massa

Den beräknade mängden sulfatjord som potentiellt kan syresättas årligen till följd av landhöjningen inom Rismyrbäckens avrinningsområde var totalt 50 086 m³ vilket motsvarar cirka 80 138 ton (beräknat med ekvation 1-3). Den vanligast förekommande jordtypen var aktiv sur sulfatjord på potentiellt sur sulfatjord (Figur 8). Volym för respektive jordtyp finns sammanställt i tabell 4. Massan som fraktats i väg till deponi från anläggandet av trafikplatsen uppgår till cirka 35 000 ton och en kostnad på cirka 57 miljoner svenska kronor (uppgifter från GRK, entreprenören på Sikeå trafikplats).

Tabell 4. Antal celler, area, volym och massa för respektive jordtyp inom Rismyrbäckens avrinningsområde.

Jordtyp	Antal celler (50x50 m)	Area (m ²)	Volym (m ³)	Massa (ton)
Aktiv sur sulfatjord på potentiellt sur sulfatjord	1157	2 892 500	26 033	41 653
Potentiellt sur sulfatjord	543	1 357 500	12 218	19 549
Ej sur sulfatjord	526	1 315 000	11 835	18 936
Totalt	2226	5 565 000	50 086	80 138



Figur 8. Klassade ytor med sulfatjord inom Rismyrbäckens avrinningsområde. Data från Lantmäteriet, SGU och Vattenmyndigheterna. SWEREF 99 TM.

4 Diskussion

4.1 Vattenkemi

Resultatet visade att det inte fanns någon signifikant skillnad mellan provpunkterna uppströms och nedströms trafikplatsen för varken pH, sulfathalt eller konduktivitet i varken Rismyrbäcken eller den namnlösa bäcken från Noret. Under vinterns lägre flöde är detta resultat relativt förväntat eftersom vattnet under vintern i princip motsvarar grundvattnet då urlakningen begränsas av att marken är frusen (Toivonen, Österholm och Fröjdö 2013).

Provtagningen pågick däremot under en längre period där vårsmältningen hade initierats. Att resultatet inte visade någon signifikant skillnad mellan uppströms och nedströms liggande provpunkter trots att snösmältningen kommit i gång kan vara en indikation på att de vidtagna åtgärderna gällande sulfatjordshanteringen under anläggningsarbetet har varit tillräckliga. Åtgärderna innefattar bland annat bortfraktning av jordmassor på deponi men även att bygga in och täcka delar av sulfatjorden så att syret inte kommer i kontakt med jordmassorna i annat än i en liten omfattning. En annan orsak skulle kunna vara att det fortfarande var tjäle i

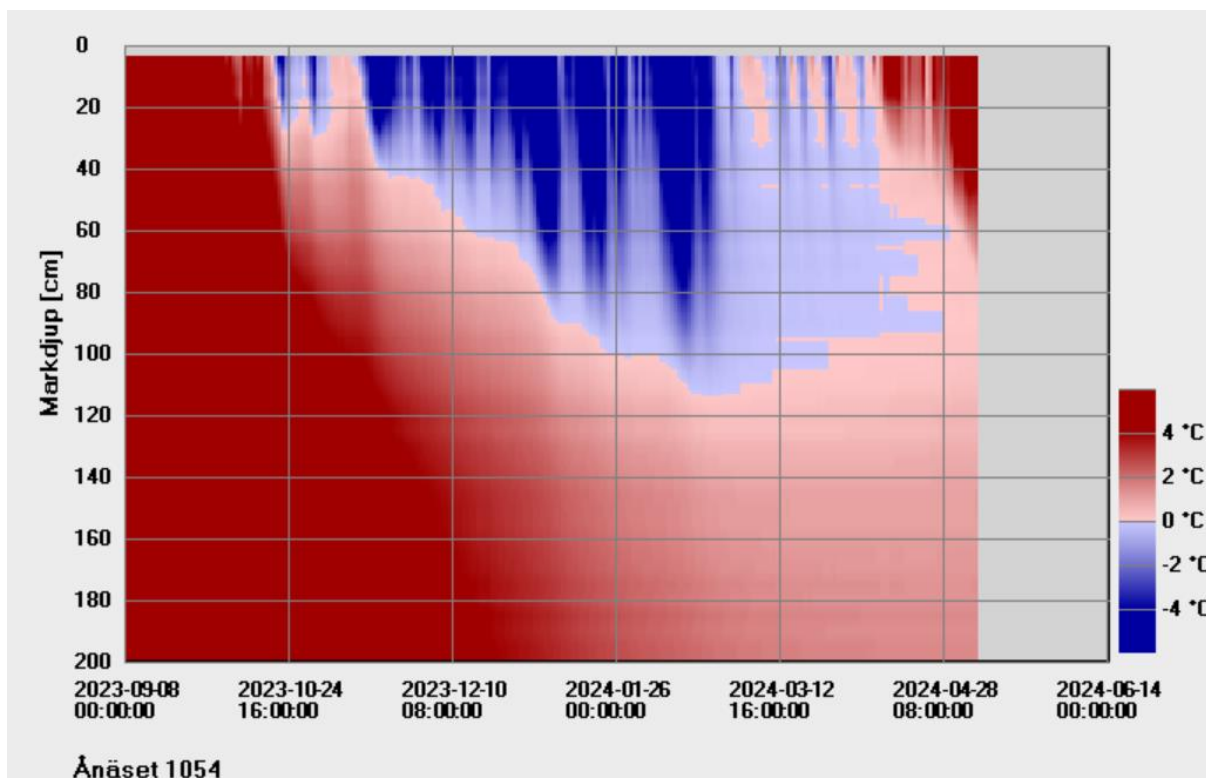
marken och att det var en begränsad urlakning trots det högre vårflödet (Toivonen, Österholm och Fröjdö 2013).

4.1.1 pH, sulfat och konduktivitet

Naturvårdsverket har tagit fram bedömningsgrunder för kemiska parametrar i sjöar och vattendrag. Enligt dessa bedömningsgrunder befinner sig de båda recipienterna inom ramen för klass 4 och 5 (där 5 innebär lägst pH) i surhetstillstånd, det vill säga att tillståndet är surt eller mycket surt. Sulfathalten är relativt hög men inga halter stiger till extremt höga i någon av vattendragen. Det samma gäller för konduktiviteten där det inte uppmätts några extremhalter. Medelvärdet för konduktiviteten låg på 17 mS/m i Rismyrbäcken och 22 mS/m i den namnlösa bäcken från Noret och normalvärden för exempelvis svenska insjöar är 2-20 mS/m (Bydén, Larsson och Olsson 2003). Något som även kan påverka sulfathalten och konduktiviteten är det faktum att det sker en utspädningseffekt av dessa när vattenföringen ökar på våren. Det har visat sig att under snösmältningen minskar ytvattnets jonkoncentration och konduktivitet till följd av det ökade vattenflödet (Fureder et al 2001). Detta eftersom nederbörd generellt sett är jonsvag (med pH-värden som i Sverige varierar mellan 5-5,5) samt att pH-värdet till stor del styrs av kolsyrasystemet. Utspädningseffekten har inte lika stor inverkan på pH vilket skulle kunna förklara varför pH har en minskande trend oavsett vattenföring medan sulfat och konduktivitet har de högsta noteringarna innan flödestoppen inträffar (Fureder et al 2001).

Något som kan ha inverkan på resultatet är det faktum att mätosäkerheten för de kemiska analyserna är relativt hög. Ett alternativ för att minska osäkerheten hade varit att mäta en del av parametrarna, som exempelvis pH, även ute i fält. Analyser av pH är väldigt känsliga för förändringar av exempelvis syrehalt och temperatur. Dessa faktorer kan förändras ju längre tid det tar mellan provtagningen och påbörjandet av analysen på laboratoriet. Analyseras pH i stället direkt ute i fält minskar risken att dessa faktorer ska påverka resultatet (SGF 2022). Det är även väldigt svårt att pricka in flödestoppen under vårsmältningen. Vid snösmältningen kan den första fjärdedelen av smältvattnet innehålla mer än tre fjärdedelar av jonerna (Bydén, Larsson och Olsson 2003). Detta år började vattenföringen öka i mitten av mars för att nå en flödestopp i mitten av april på 1,14 m³/s. Därefter blev det åter igen kallare med minusgrader och flödet minskade (Vatteninformation Sverige 2024). När perioden för provtagningen var över blev det varmare och flödet ökade igen vilket inte fångades upp inom ramarna för provtagningen.

Något som nämnts tidigare är det faktum att i norra Sverige kan marken fortfarande vara tjälad när flödestoppen nås (Toivonen, Österholm och Fröjdö 2013). Om marken inte har ett isolerande snötäcke (vilket är vanligt förekommande vid anläggningsområden då marken ofta snöplogas) når tjälen dessutom oftare djupare ner i marken. Trafikverket har ca 55 mätstationer med tjälstavar som mäter tjälen runt om i Sverige. Den tjälstav som ligger närmast trafikplatsen i Sikeå är belägen i Änåset. På denna plats råder liknande förhållanden med snöplogade ytor vilket gör mätdata relativt överförbart till marken i Sikeå (Trafikverket u.å.). Detta år gick inte tjälen ur marken förens i slutet av april (Figur 9). Provtagningen inom ramarna för detta arbete pågick endast under en begränsad del av året då faktorer som snösmältning och tjäle i marken kan ha påverkat resultatet. Under större delen av provtagningen var marken troligtvis inte fri från tjäle och därmed var urlakningen från marken troligtvis begränsad trots en hög vattenföring. För att generera en bättre helhetsbild kan provtagning under en längre tidsperiod vara att föredra för att få med alla säsongsvariationer under ett år. Under hösten kan en stor andel ämnen lakas ur marken då det ofta är en riklig nederbördsperiod samt att det ännu inte bildats någon tjäle som bromsar **urlakningen** ur sulfatjorden inom avrinningsområdet (Frei, Bielert och Heinrichs, 1998).



Figur 9. Temperaturdata från olika markdjup hämtat från en tjälstav belägen i Ånäset, Västerbotten.

4.1.2 Samband och metallhalter

Flertalet studier har tidigare visat på sambandet mellan sulfathalt och konduktivitet (exempelvis Åström och Åström 1997). Det stämmer överens med resultatet i denna studie som visade på ett signifikant samband mellan sulfathalt och konduktivitet. Det nämns även i flertalet studier att lägre pH kan öka urlakningen av flertalet metaller (Exempelvis Lindgren et al. 2022 och Toivonen, Österholm och Fröjdö 2013). För Rismyrbäcken stämmer det överens med att det fanns ett samband med lägre pH och högre koncentrationer av kadmium. För nickel och zink kunde ett samband urskiljas, dock ej signifikant. I den namnlösa bäcken från Noret fanns det däremot ingen signifikans mellan pH och kadmium, nickel eller zink. En orsak till detta kan vara att de högsta halterna av dessa metaller uppmättes vid provpunkt 4 (nedströms trafikplatsen) när pH fortfarande var relativt högt. De höga metallhalter som uppmättes vid detta tillfälle (2024-04-09) beror med stor sannolikhet på att det utfördes rensningsarbeten av två diken som har direkt avrinning till detta vattendrag. Arbetet orsakade stor grumling vilket också syntes tydligt ute i fält i form av brunt vatten med tydliga partiklar. Anledningen till att pH inte blev lägre till följd av grumlingen kan ha flera förklaringar. Dels innebar arbetet med rensning av diken att endast ytliga jordmassor grävdes bort (uppgift från GRK som utförde arbetet). Inom hela avrinningsområdet finns sulfatjordarna på olika djup och på denna plats skulle det kunna vara så att sulfatjorden fanns djupare och därmed inte bidrog till att sänka pH medan metallerna mobiliserades till följd av grumlingen. Vid samma provtagningstillfälle uppmättes heller inga extremhalter av sulfat eller konduktivitet vilket kan stödja denna teori ytterligare. Hade grumling skett med sulfatjordar borde dessa parametrar ha påverkats. Analysen gjordes även på ofiltrerade prover, hade den skett på fältfiltrerade prover skulle resultatet kunnat bli annorlunda. Resultaten kan även ha påverkats av det faktum att metallhalterna endast uppmättes under fem provtillfällen.

4.1.3 Påverkansfaktorer och årligt tillskott av sulfatjord

En möjlig påverkansfaktor innefattar att en privatperson gjort tydliga ändringar och grävningsarbeten i ett stort krondike söder om Noret. Krondiket ingår i det dikningsföretag från 1929 som nämnts tidigare. Om nya sulfatjordar kommit i kontakt med syre till följd av grävningsarbetet kan detta innebära en tillförsel med försurad avrinning till Noret, och i förlängningen den namnlösa bäcken. Avrinningen kontrollerades därför med hjälp av höjddata samt ett fältbesök. Där kunde det konstateras att det var en tydlig avrinning söderut mot Rickleån och inte mot Noret. Enligt en rapport från Länsstyrelsen Västerbotten var dikningsföretaget ursprungligen utformat med en avrinning i riktning mot Noret. Under 2016-2017 utfördes rensningar i kanalen som resulterat i att flödet nu sker i riktning mot Rickleån (Länsstyrelsen Västerbotten 2020).

Den totala volymen sulfatjord som årligen beräknas tillskjutas ovan grundvattennivån inom avrinningsområdet till följd av landhöjningen är ungefär 50 000 m³ vilket motsvarar ungefär 80 000 ton. Den uppskattade massan som fraktats i väg till deponi uppgår till cirka 35 000 ton, till en kostnad av cirka 57 miljoner svenska kronor, vilket innebär att det potentiellt kan syresättas mer än dubbelt så mycket jordmassor på grund av naturliga processer årligen i jämförelse med det som lagts på deponi. Enligt skälighetsregeln i miljöbalken ska en rimlighetsbedömning alltid göra där nyttan av skyddsåtgärderna ska jämföras med kostnaden som inte får vara ekonomiskt orimliga (2 kap. 7 § första stycket miljöbalken). Det är en intressant aspekt då en betydande del av budgeten i projektet gått till deponikostnaderna för sur sulfatjord. Resultatet visar att anläggningsarbetet med hög sannolikhet inte förvärrat försurningsproblematiken inom avrinningsområdet. Det är däremot svårt att fastställa om detta beror på de åtgärder som gjorts i samband med uppläggning av jordmassor på deponi eller om andra åtgärder som exempelvis en höjning av dikesnivåerna inom delar av anläggningsområdet har bidragit till en mindre omgivningspåverkan.

Ytterligare en osäkerhetsfaktor är att jag räknat med att den *ej sura sulfatjorden* potentiellt skulle kunna bidra med ett tillskott av jordmassor ovan grundvattennivån årligen. Däremot är det inte fastställt vad som befinner sig under detta jordlager vilket adderar en osäkerhetsfaktor. Något som är viktigt att komma ihåg är att SGU:s kartering av dessa sulfatjordar endast är en uppskattning av var det är troligast att dessa jordar befinner sig, inte var de med säkerhet befinner sig. Upplösningen för kartunderlaget är dessutom låg (50x50 m) vilket också påverkar exaktheten i beräkningarna. Ett antagande som gjorts är dessutom att 0,9 cm landhöjning innebär att 0,9 cm jord kommer att lyftas ovanför grundvattennivån. I verkligheten finns det många faktorer som påverkar grundvattennivån. Dels fluktuerar nivån mellan olika år, dels fluktuerar nivån också mellan olika årstider (Croley och Luukkonen 2003). Vidare har finkorniga jordar en väldigt hög kapillär stighöjd som hela tiden påverkar var vattennivån står i jordprofilen. Så länge dessa faktorer inte förändras nämnvärt borde dock 0,9 cm landhöjning och grundvattensänkning kunna ses som ett medelvärde över en längre tidsperiod. Det bekräftas även i flertalet studier att landhöjningen förväntas bidra till en ökning av urlakning från sulfatjordar (Virtanen, Puustinen och Yli-Halla 2017 och Saarinen och Klöve 2012). Något som förväntas öka med de pågående klimatförändringarna är nederbörden vid de nordligaste delarna av jordklotet (IPCC 2023). Detta kan troligtvis medföra annorlunda avrinningsmönster och en eventuell höjning av grundvattennivån. En ökad nederbörd kommer även mest troligt leda till ökad lakning (Frei, Bielert och Heinrichs 1998). Klimatförändringarna förväntas även medföra fler perioder av extremväder som exempelvis torka (IPCC 2023). Detta kan också påverka grundvattennivåerna och i förlängningen urlakningen av sulfatjord. För framtida studier kan det därför vara intressant att undersöka denna process där man tar hänsyn till dessa parametrar.

4.2 Slutsatser

Slutsatserna som kan dras utifrån detta arbete är att det inte fanns någon signifikant skillnad mellan provpunkterna uppströms och nedströms trafikplatsen. Det fanns signifikanta samband mellan pH och sulfat samt mellan pH och en del av metallerna. Detta visar på vikten av att inte orsaka ytterligare sänkningar av pH under konstruktionsarbete då det kan leda till förhöjda metall- och sulfathalter. Det fanns även ett signifikant samband mellan sulfat och konduktivitet vilket även redovisats i studier sedan tidigare och indikerar att sulfatjordar påverkar vattendragens kemi.

Det är svårt att dra några slutsatser kring vilken eller vilka åtgärder som förhindrat en negativ omgivningspåverkan men i nuläget verkar de åtgärder som genomförts vara tillräckliga. För att få en bättre översiktsbild är provtagning under lång tid av stor betydelse för att kunna fånga upp eventuell påverkan, speciellt när marken är tjälfri. Trafikverket kommer därför fortsätta med provtagningen i vattendragen, dock med en lägre intensitet på en gång per månad.

Att göra en avvägning kring miljönyttan kontra kostnader är en komplex fråga där många parametrar bör vägas in. Anläggandet av trafikplatsen kan klassas som ett relativt litet projekt i jämförelse med exempelvis anläggandet av Norrbottniabanan som Trafikverket också ansvarar för. I det projektet kommer frågan om sura sulfatjordar vara ytterst aktuell och mängden som kommer att hanteras vara betydligt större än vid projektet för trafikplatsen i Sikeå. Kostnaderna kan bli betydligt högre i ett sådant stort projekt och man kan ställa sig frågan om det är en rimlig avvägning av miljönyttan att köra bort stora mängder jord på deponi när det naturligt potentiellt sker en syresättning av mycket mer årligen genom den naturliga landhöjningen? Miljöpåverkan i form av koldioxidutsläpp från transporter till deponi är även något som kan tas i beaktning. Genom att implementera hantering av sulfatjordsmassor in situ kan minska mängden massor som behöver köras i väg på deponi och därmed minska kostnaderna och koldioxidutsläppen för detta. Att i framtiden göra ordentliga provtagningar och karteringar av både jordlager och vattendrag kan underlätta kring beslutsfattandet om hanteringen av dessa jordar och möjliggöra ett bättre underlag när miljönytta ska avvägas mot den ekonomiska faktorn. Att göra noggranna undersökningar i ett tidigt skede kan säkerligen spara pengar på sikt då det minskar risken att underskatta mängden sura sulfatjordar och ger i stället bra förutsättningar att planera hur de ska hanteras i det enskilda fallet.

Tack

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Niclas Nilsson på Trafikverket som med stor entusiasm har väglett mig under detta arbete och bidragit med många idéer och diskussioner. Jag vill även tacka Tord Anderson som varit min handledare på universitetet och alltid gett snabb respons. Till sist vill jag även tacka Rebecca Häggström på Infra Action som varit med mig ute i fält under provtagningen. Hon har gett mig en lärorik inblick i arbetslivet och även hjälpt mig med många funderingar under processens gång.

Referenser

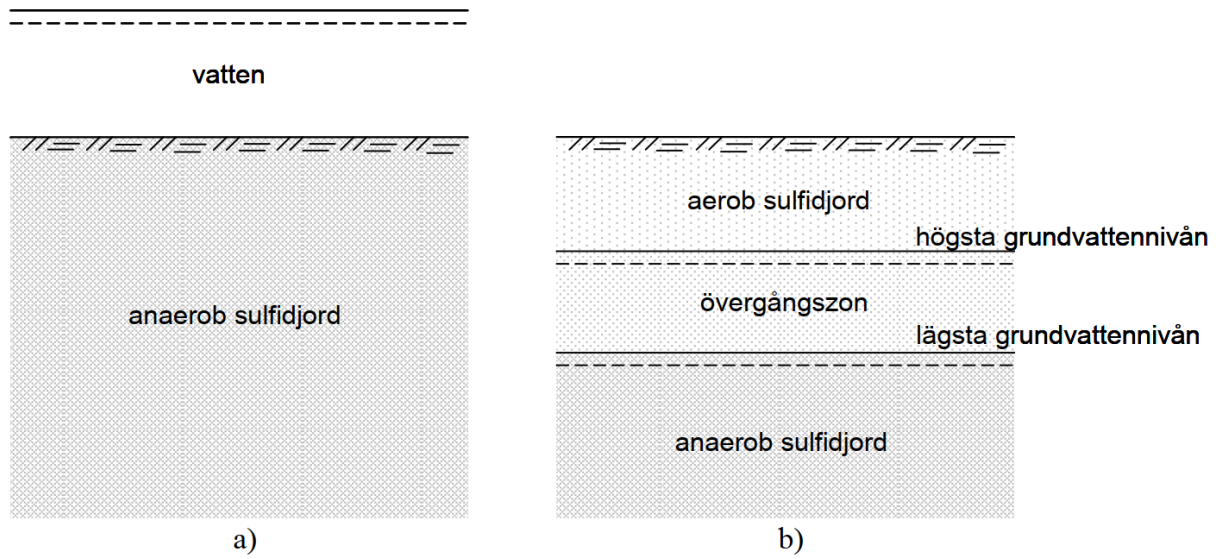
- Berglund, M. 2012. The highest postglacial shore levels and glacio-isostatic uplift pattern in northern Sweden. *Geografiska annaler: Series A, Physical Geography*, 94:321-337.
- Boman, A., Fröjdö, S., Backlund, K. och Åström, M. E. 2010. Impact of isostatic land uplift and artificial drainage on oxidation of brackish-water sediments rich in metastable iron sulfide. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74:1268–1281.
- Boman, A., Mattbäck, S. och Becher, M. et al. 2023. Classification of acid sulfate soils and soil materials in Finland and Sweden: Re-introduction of para-acid sulfate soils. *Bulletin of the Geological Society of Finland*. 95:161-186.
- Bydén, S., Larsson, A-M. och Olsson, M. 2003. Mäta vatten. Undersökningar av sött och salt vatten. Institutionen för miljövetenskap och kulturvård. Göteborgs Universitet.
- Croley, ET. och Luukkonen CL. 2003. Potential effects of climate change on ground water in Lansing, Michigan. *Journal of the American Water Resources Association*. 39:149-163.
- Frei, M., Bielert, U. och Heinrichs, H. 1998. Effects of pH, alkalinity and bedrock chemistry on metal concentrations of springs in an acidified catchment (Ecker Dam, Harz Mountains, FRG). *Chemical Geology*. 170:221-242.
- Fureder, L., Schutz, C., Wallinger, M. och Burger, R. 2001. Physico-chemistry and aquatic insects of a glacier-fed and a spring-fed alpine stream. *Freshwater Biology*. 46:1673-1690.
- IPCC. 2023. *Climate change 2023. Synthesis report of the IPCC sixth assessment report (AR6)*
- Ivarsson, H. och Jansson, M. 1995. Sources of acidity in running waters in central northern Sweden.
- Jordbruksverket. 2020. *Långa tidsserier – Basstatistik om jordbruket åren 1866-2020*. JO1901.
- Lantbruksstyrelsen. 1929. Lögdeåsjöns sänkningsföretag av år 1929 i Bygdeå socken av Västerbottens län. Akt 4048.
- Lantmäteriet. 2016. *Landhöjning*. <https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/gps-geodesi-och-swepos/Referenssystem/Landhojning/> (Hämtat 2024-05-11).
- Lindgren, A., Kling Jonasson, I., Öhrling, C. och Giese, M. 2022. Acid sulfate soils and their impact on surface water quality on the Swedish west coast. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 40:101019.

- Länsstyrelsen Västerbotten. 2020. *Sulfatjordspåverkan i kustmynnande småvattendrag i Västerbotten - tolkningar av nuläget med hjälp av en kemisk bedömningsmodell och provfiske*. Miljöanalysenheten, Umeå. 64s.
- Nyberg, M. E., Österholm, P. och Nystrand, I. M. 2012. Impact of acid sulfate soils on the geochemistry of rivers in south-western Finland. *Environ Earth Sci*, 66:157-158.
- Saarinen, TS och Klöve, B. 2012. Past and future seasonal variation in pH and metal concentrations in runoff from river basins on acid sulphate soils in Western Finland. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*. 47:1614-1625.
- SFS 1998:80. Miljöbalk.
- SGS. 2022. *Fältanalys grund- och ytvatten*.
<https://www.fororenadeomraden.se/index.php/provtagningmetoder/grundvatten/faelt-analyser-vatten> (Hämtad 2024-06-07).
- Sohlenius, G. och Oborn I. 2004. Geochemistry and partitioning of trace metals and acid sulphate soils in Sweden and Finland before and after sulphide oxidation. *Geoderma* 122: 167-165.
- Statens geotekniska institut. 2023. *Omgivningspåverkan*. <https://www.sgi.se/sv/vagledning-i-arbetet/grundlaggning-och-forstarkning/omgivningspaverkan/> (Hämtad 2024-06-15).
- Sveriges geologiska undersökning (SGU). 2019. *Det här är sur sulfatjord*.
<https://www.sgu.se/anvandarstod-for-geologiska-fragor/hur-man-kanner-igen-och-undersoker-sur-sulfatjord/det-har-ar-sur-sulfatjord/> (Hämtad 2024-03-26).
- Sveriges geologiska undersökning (SGU). 2007. *Geofysiska metoder för att identifiera områden med sulfidhaltiga sediment*. SGU-rapport 2007:31.
- Sveriges geologiska undersökning (SGU). 2023. *Kartvisaren Sur sulfatjord*.
<https://www.sgu.se/produkter-och-tjanster/kartor/kartvisaren/jordkartvisare/sur-sulfatjord/> (Hämtad 2024-04-29).
- Sverige meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI). 2024. *Modelldata per område*.
<https://vattenwebb.smhi.se/modelarea/> (Hämtad 2024-05-18).
- Toivonen, J., Österholm, P. och Fröjdö, S. 2013. Hydrological processes behind annual and decadal-scale variations in the water quality of runoff in Finnish catchments with acid sulfate soils. *Journal of Hydrology*. 487:60-69.
- Trafikverket. U.å. *Tjaldjup*. <https://tjaldjup.trafikverket.se/#/> (Hämtad 2024-06-06).
- Trafikverket. 2021. *Planbeskrivning, Trafikplats Sikeå*. Sweco, Johanna Lindberg Munter. 68s.
- Trafikverket 2022. *PM sulfidjordshantering Trafikplats Sikeå*. Sweco. 27s.
- Vatteninformationssystem Sverige. 2021. *Rismyrbäcken*.
<https://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterMSCD=WA61428838> (Hämtad 2024-04-18)
- Vatteninformation Sverige. 2024. *Vattenkartan*. <https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/standard/?appid=1589fd5a099a4e309035beb900d12399> (Hämtad 2024-04-12).
- Virtanen, S., Puustinen, M och Yli-Halla, M. 2017. Oxidation of iron sulfides in subsoils of cultivated boreal acid sulfate soil fields – based on soil redox potential and pH measurements. *Geoderma*. 308:252-259.

- Vägverket. 2007. *Råd och rekommendationer för hantering av sulfidjordsmassor*. Teknikavdelningen, Sektionen för vägteknik. 2007:100, Borlänge. 56s. ISSN 1401-9612.
- Åström, M. och Björklund, A. 1995. Impact of acid sulfate soils on stream water geochemistry in western Finland. *Journal of Geochemical Exploration*, 55:163-170.
- Åström, M. och Åström, J. 1997. Geochemistry of stream water in a catchment in Finland affected by sulphidic fine sediments. *Applied Geochemistry*, 12:593-605.

Bilagor

Bilaga 1 a) Sulfidjordsprofil på havsbotten. b) Sulfidjordsprofil efter landhöjning (Vägverket 2007).



Bilaga 2. Sambandet mellan pH och sulfathalt för Rismyrbäcken.

