NTNU
Kunnskap for en bedre verden

Tungmetaller i bekken Søra i Trondheim kommune

Thor Andre Karlsen

Environmental Toxicology and Chemistry
Innlevert: mai 2018
Hovedveileder: Trond Peder Flaten, IKJ
Medveileder: Øyvind Mikkelsen, IKJ
Terje Nøst, Miljøenheten, Trondheim kommune
Thomas Meyn, IBM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for kjemi

Sammendrag

I denne studien av bekken Søra blir konsentrasjoner av prioriterte tungmetaller og fosfor presentert for både filtrerte og ufiltrerte prøver. Bekken er betydelig påvirket av forurensning og leire, og Bekken har hatt en dårlig biologisk tilstand. Sammen med utbygging av ny E6 har det blitt gjort store endringer i bekken. Denne studiens mål er å bidra med ny data for klassifisering av bekken med hensyn på tungmetaller, etter ny veileder, ved ulik nedbørmengde og å se på biotilgjengelighet av tungmetaller og fosfor med hjelp av DGT og fraksjonering av prøver. Konsentrasjoner av kobber, nikkel, bly, kadmium, krom, sink, kvikksølv, arsen og fosfor er presentert. Søra ser ikke ut til å være belastet av tungmetaller i stor grad etter Miljødirektoratets veileder. Gjennomsnittsverdien av arsen i nedre del av bekken ligger i klasse III for både filtrerte og ufiltrerte prøver, som er over akseptabelt nivå. Fosfor fra kloakkutslipp har tidligere vært Søras største problem. Fosfornivåene har gått ned, men er fremdeles tidvis for høye, noe som ser ut til å tidvis resultere i algevekst. Prøver filtrert med $0,22\mu m$ og $0,45\mu m$ filter gir tilnærmet like resultater i Søra. Konsentrasjonen av de fleste metallene ser ut til å være påvirket av nedbør i forskjellig grad, med unntak av sink og bly.

Nøkkelord Tungmetaller; Fosfor; Søra; Bekk; Klassifisering; Vann

Forord

Jeg vil takke min veileder professor Trond Peder Flaten fra Institutt for kjemi, mine medveiledere professor Øyvind Mikkelsen fra Institutt for kjemi, naturforvalter Terje Nøst fra Miljøenheten i Trondheim kommune og førsteamanuensis Thomas Meyn fra Institutt for bygg og miljøteknikk. Jeg vil også takke senioringeniør Syverin Lierhagen ved Institutt for kjemi for analysering av prøver på ICP-MS. Jeg vil også rette en takk til andre ved NTNU og Bydriften som har hjulpet meg med å fullføre denne studien.

Innhold

Sammendrag **i**

Forord **ii**

Innhold **iv**

Tabelliste **v**

Figurliste **viii**

Forkortelser **ix**

1 Introduksjon **1**
1.1 Bekken Søra 1
1.2 Målsetning 2

2 Teori **3**
2.1 Klassifisering 3
2.2 Flow field-flow fractionation 4
2.3 DGT 6

3 Område **9**
3.1 Kattem 10
3.2 Prøvepunkt 3 11
3.3 Heggstadbekken 11
3.4 Prøvepunkt 2 12
3.5 Leirbekken 13
3.6 Søra målestasjon 13
3.7 Observasjoner ved prøvetaking 14
3.8 Nedbør 15
3.9 Tidligere studier 17
3.10 Status i bekken Søra 18

4 Eksperimentelt **21**
4.1 Prøvetaking 21
4.2 Prøvebehandling 23
4.3 Analyse 24
4.4 Vurderinger 24

5 Resultater **25**
5.1 Kobber 30
5.2 Nikkel 31
5.3 Bly 32
5.4 Kadmium 33
5.5 Krom 34
5.6 Sink 35
5.7 Kvikksølv 36
5.8 Arsen 37
5.9 Fosfor 38
5.10 Korrelasjoner 38
5.11 Fraksjoner 41
5.12 Konsentrasjoner i fraksjoner 44
5.13 DGT 50

6 Diskusjon **55**
6.1 Generell karakteristikk av Søra 55
6.2 Tidstrender og påvirkning fra nedbør 58
6.3 Sammenligning med studie fra 2006 62
6.4 Leirbekken og Heggstadbekken 63
6.5 Feilkilder og påvirkninger 64

7 Konklusjon **67**

Bibliografi **69**

Appendiks **71**

Tabeller

2.1 Klassifisering etter Statens forurensningstilsyns veileder av 1997. Verdier i $\mu g/l$ 3
2.2 Klassifisering etter Miljødirektoratets veileder av 2016. Verdier i $\mu g/l$ . . 4

3.1 Målinger gjort av Trondheim kommune i bekken Søra i 2017. Nøst (2018) 19

4.1 Tabell over antall prøver 21

5.1 Konsentrasjoner målt ved Søra målestasjon og prøvepunkt 2 i $\mu g/l$ 26
5.2 Konsentrasjoner ved prøvepunkt 3 og Kattem i $\mu g/l$ 27
5.3 Konsentrasjoner målt ved Leirbekken og utløpet ved Kattem i $\mu g/l$ 28
5.4 Konsentrasjoner målt ved Heggstadbekken ved Søra og Heggstadbekken rørutløp i $\mu g/l$ 29
5.5 Fraksjoner fra fraksjonering 44

7.1 Konsentrasjoner målt av Trondheim kommune i ufiltrerte prøver fra Søra målestasjon i 2006. Verdier i $\mu g/l$. (Nøst (2006)) 72

Figurer

1.1 Nedslagsfeltet til bekken Søra 2

2.1 Flow field-flow fractionation. Kilde: https://commons.wikimedia.org/ . . 5
2.2 Asymmetrisk flow field-flow fractionation. Kilde: https://commons.wikimedia.org/ 5
2.3 DGT 7

3.1 Kart som viser prøvepunkter markert i rødt. Åpen bekk vist i blått, steinsatt i oransje og rørlagt i brunt. Fortykninger i linjen viser dammer i bekken. . 9
3.2 Kattem. Rett nedenfor prøvepunkt Kattem møter Søra et vannutløp 10
3.3 Prøvepunkt 3. 11
3.4 Heggstadbekken 12
3.5 Prøvepunkt 2 befinner seg under broen. 12
3.6 Leirbekken er igjengrodd og vanskelig å nå. 13
3.7 Søra målestasjon 14
3.8 15. juni 2017 15
3.9 Bekken Søra 21. Februar 2017 16
3.10 Nedbørsdata fra yr.no for prøver tatt i august 2017. Yr (2018) Data fra Voll målestasjon 16
3.11 Nedbørsdata fra yr.no for prøver tatt i september 2017. Yr (2018) Data fra Voll målestasjon 17
3.12 Årsmiddel for total fosfor målt fra 1995 til 2016 (Nøst (2017)) 17
3.13 Målinger av kobber, kadmium, bly, nikkel, krom og sink i ufiltrerte prøver tatt fra 2003 til 2006. Gul linje viser øverste grense for klasse II, moderat forurenset etter SFT veileder fra 1997. Merk. logaritmisk skala for kobber, nikkel, bly og sink. (Nøst (2006)) 18
3.14 20

4.1 Det ble plassert ut DGT ved prøvepunkt 2. 23

5.1 Målt kobber i filtrerte og ufiltrerte prøver 30

5.2 Målt nikkel i filtrerte og ufiltrerte prøver 31
5.3 Målt bly i filtrerte og ufiltrerte prøver 32
5.4 Målt kadmium i filtrerte og ufiltrerte prøver 33
5.5 Målt krom i filtrerte og ufiltrerte prøver 34
5.6 Målt sink i filtrerte og ufiltrerte prøver 35
5.7 Målt kvikksølv i filtrerte og ufiltrerte prøver 36
5.8 Målt arsen i filtrerte og ufiltrerte prøver 37
5.9 Målt fosfor i filtrerte og ufiltrerte prøver 38
5.10 Korrelasjoner i mellom aluminium og (a) titan; (b) nikkel; (c) krom; og (d) fosfor. 39
5.11 Korrelasjoner i mellom (a) aluminium og kadmium; (b) kadmium og kobber; (c) aluminium og bly; og (d) sink og aluminium. 40
5.12 UV (ultra fiolett) signal målt for de ulike prøvene fra (a) Søra målestasjon; (b) prøvepunkt 2; og (c) prøvepunkt 3. 41
5.13 OCD (organic carbon detection) signal målt for de ulike prøvene fra (a) Søra målestasjon; (b) prøvepunkt 2; og (c) prøvepunkt 3. 42
5.14 LS (light scattering) signal målt for de ulike prøvene (a) Søra målestasjon; (b) prøvepunkt 2; og (c) prøvepunkt 3. 43
5.15 Kadmium i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$) 45
5.16 Kobber i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$) 45
5.17 Nikkel i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$) 46
5.18 Bly i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$) 46
5.19 Krom i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$) 47
5.20 Sink i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$) 47
5.21 Kvikksølv i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$) 48
5.22 Arsen i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$) 48
5.23 Fosfor i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$) 49
5.24 Aluminium i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$) 49
5.25 Kadmium målt med DGT. DGT-verdier i orange og filtrerte prøver i blått. 50
5.26 Kobber målt med DGT. DGT-verdier i orange og filtrerte prøver i blått. . . 51
5.27 Nikkel målt med DGT. DGT-verdier i orange og filtrerte prøver i blått. . . 51
5.28 Bly målt med DGT. DGT-verdier i orange og filtrerte prøver i blått. 52
5.29 Krom målt med DGT. DGT-verdier i orange og filtrerte prøver i blått. . . 52
5.30 Sink målt med DGT. DGT-verdier i orange og filtrerte prøver i blått. . . . 53
5.31 Fosfor målt med DGT. DGT-verdier i orange og filtrerte prøver i blått. . . 53
5.32 Kvikksølv målt med DGT. DGT-verdier i orange og filtrerte prøver i blått. 54

7.1 Korrelasjoner gjort av Syverin Lierhagen ved NTNU for å se om klor vasker ut kvikksølv fra prøveintroduksjonssystemet i ICP. 71

Forkortelser

Forkortelse		definisjon
FlFFF	=	Flow field-flow fractionation
AF4	=	Asymmetric flow field flow fractionation
DGT	=	Diffusive gradients in thin films
AA-EQS	=	Annual average-environmental quality standard
MAC-EQS	=	Maximum admissible (or allowable) concentration-environmental quality standard
TKB	=	Termotolerante koliforme bakterier
LS	=	Light Scattering
OCD	=	Organic Carbon Detection
UV	=	Ultra Fiolett

Kapittel 1

Introduksjon

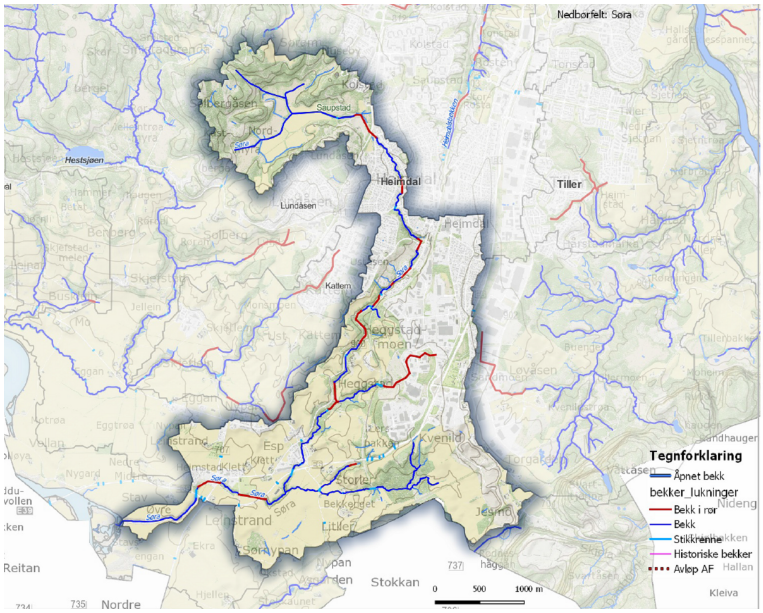
1.1 Bekken Søra

Søra er en større leirpåvirket bekk med sammensatt forurensing, lokalisert sør i Trondheim kommune (figur 1.1). Nedbørfeltet er 10,4 km^2. Søra har utspring i skog- og myrområder ved Nordmyra vest for Saupstad skistadion, følger Søradalen fra Heimdal mot Klett og renner ut i Gaula. Søra passerer bebygd område (Kattem/Heimdalsområdet) inkludert avfallsfylling (Heggstadmoen). Nedre deler består hovedsakelig av landbruksområde, men også noe bebyggelse samt industri, virksomheter og veianlegg. Selve Søradalen har opprinnelig vært en typisk ravinedal med trang passasje og store avsetninger av marin leire. Deler av bekken har vært lukket (lagt i rør) i flere tiår.

Søra har hatt høy forurensning over flere tiår og vannkvaliteten har vært svært dårlig. Forurensningen har kommet fra flere kilder, blant annet kloakkvann fra boligområdene på Kattem og Heimdal på grunn av overbelastning av kloakkavløpsnettet ved mye nedbør. Det har vært diffus avrenning fra avfallsdeponiet på Heggstadmoen (tildels med høyt metallinnhold) over lengre tid. Det har også lekket om lag 180 000 liter diesel fra Statoilstasjonen på Klett ut i elva Søra og videre ut i Gaula, Gaulosen og Trondheimsfjorden (M. A. Bergan (2015)). Den økologiske tilstanden i Søra, vurdert ut ifra bunndyr og fiskesamfunn, har vært svært dårlig. Trondheim kommune har siden 1997 hatt et årlig måleprogram på vannkvalitet tatt på målestasjon i nedre del av Søra ved Klett. I hovedsak er det analysert på tarmbakterier og fosfor. Andre kjemiske parametre inkl. tungmetaller er målt i kortere tidsperioder. Disse målingene er gjort med ufiltrerte prøver og de har vist høye nivåer av tungmetaller. Det har vert uklart hvor mye leirepartikler har påvirket disse målingene. Dataene publiseres i egne årsrapporter (Nøst 2002-2016).

Bekken har i stor grad blitt omgjort sammen med at Søradalen i forbindelse med byggingen av ny E6 sør for Trondheim blitt ombygd til å fungere som en avlastningstrasé for sykkel,

gang og biltrafikk. Det er store forekomster av leire og det har vært nødvendig med større sikkerhetstiltak ved utgraving. Det er gjort store endringer i dalen og bekken har blitt hevet. Samtidig har kloakken blitt sanert og ledet om til renseanlegg. Det er derfor trolig at kloakkforurensningen vil holde seg stabilt lavt fremover. Det er også gjort forbedringer i forhold til avfallsfyllingen på Heggstadmoen og diesellekkasjen på Klett (M. A. Bergan (2015)). Etablering av nytt veisystem ved Klett er nettopp påbegynt. Her vil også Søra bli steinsatt og delvis åpnet.



Figur 1.1: Nedslagsfeltet til bekken Søra

1.2 Målsetning

Målsetningene for denne masteroppgaven er å:
-Klassifisere forurensningsnivået i bekken med tanke på tungmetaller og fosfor etter gjeldene veileder fra Miljødirektoratet, ved bruk av både filtrerte og ufiltrerte prøver.
-Bruke samme prøvepunkter som kommunen for å kunne sammenligne resultatene med tidligere studier av bekken.
-Finne ut av hvor mye leire kamuflerer (ved å binde) eller bidrar til den reelle forurensningen av spesielt tungmetaller og fosfor, ved bruk av resultatene fra filtrerte prøver, ufiltrerte prøver og andre hjelpemidler som DGT (Diffusive gradients in thin films) passive prøvetakere og AF4 (asymmetric flow field-flow fractionation).
-Videre kunne antyde i hvilken grad tungmetaller og fosfor er bioaktive ut i fra om de er bundet og eventuelt hvilken størrelsesfraksjon de tilhører.
-Synliggjøre trender og variasjoner ved ulike nedbørsmengder med nedbørsdata.

Kapittel 2

Teori

2.1 Klassifisering

Inntil nylig har Statens foruensnignstilsyn sin veileder fra 1997 (SFT) (Tabell 2.1) vært brukt til klassifisering av vannkvalitet i Norge. Miljødirektoratet publiserte i 2016 en ny veileder (Tabell 2.2) som overtar for den eldre utgaven. Den baserer seg på bakgrunnsdata fra Aquateam, NIVA og NGI. Den er produsert for å gi ulike faggrupper som saksbehandlere innen forvaltning, rådgivning og forskning osv. et verktøy for vurdering og bestemmelse av miljøtilstand i forskjellige vannforekomster. Den nye veilederen har flere endringer. Nivåer for kobber og kvikksølv som før var klassifisert som klasse V, meget sterkt forurenset etter den gamle veilederen kan nå klassifiseres som klasse II. For sink og i noen tilfeller også krom har nivåene derimot blitt strengere. (Miljødirektoratet (2016); Norsk institutt for vannforskning (1997))

Tabell 2.1: Klassifisering etter Statens forurensningstilsyns veileder av 1997. Verdier i $\mu g/l$

Parametere	Tilstandsklasser				
	I Ubetydelig Forurenset	II Moderat Forurenset	III Markert Forurenset	IV Sterkt Forurenset	V Meget Sterkt Forurenset
Kobber	<0,6	0,6-1,5	1,5-3	3-6	>6
Sink	<5	5-20	20-50	50-100	>100
Kadmium	<0,04	0,04-0,1	0,1-0,2	0,2-0,4	>0,4
Bly	<0,5	0,5-1,2	1,2-2,5	2,5-5	>5
Nikkel	<0,5	0,5-2,5	2,5-5	5-10	>10
Krom	<0,2	0,2-2,5	2,5-10	10-50	>50
Kvikksølv	<0,002	0,002-0,005	0,005-0,01	0,01-0,02	>0,02

Tabell 2.2: Klassifisering etter Miljødirektoratets veileder av 2016. Verdier i $\mu g/l$

AA-EQS = Annual average-environmental quality standard, MAC-EQS = Maximum admissible (or allowable) concentration-environmental quality standard.
* "1) Klasse II kadmium verdier er avhengig av vannets hardhet: 0.08 $(40mg\ CaCO_3/L)$; 0.08 $(40-50mg\ CaCO_3/L)$; 0.09 $(50-100mg\ CaCO_3/L)$; 0.15 $(100-200mg\ CaCO_3/L)$; 0.25 $(200mg\ CaCO_3/L)$ 2) Klasse III Cd verdier avhengig av vannets hardhet: 0.45 $(40mg\ CaCO_3/L)$; 0.45 $(40-50mg\ CaCO_3/L)$; 0.60 $(50-100mg\ CaCO_3/L)$; 0.9 $(100-200mg\ CaCO_3/L)$; 1.5 $(200mgCaCO_3/L)$3) Klasse IV Cd verdier avhengig av vannets hardhet: 4.5 $(40mg\ CaCO_3/L)$; 4.5 $(40-50mg\ CaCO_3/L)$; 6.0 $(50-100mg\ CaCO_3/L)$; 9.0 $(100-200mg\ CaCO_3/L)$; 15 $(200mg\ CaCO_3/L)$. Verdier over tilhører klasse V."Hentet fra Miljødirektoratet (2016)

Parametere	Tilstandsklasser				
	I Bakgrunn	II AA-EQS	III MAC-EQS	IV	V Akutt tox eff.
Kobber	0.3	7.8	7.8	15.6	>15.6
Sink	1.5	11	11	60	>60
Kadmium	0.003	*	*	*	*
Bly	0.002	1.2	14	57	>57
Nikkel	0.5	4	34	67	>67
Krom	0.1	3.4	3.4	3.4	>3.4
Kvikksølv	0.001	0.047	0.07	0.14	>0.14

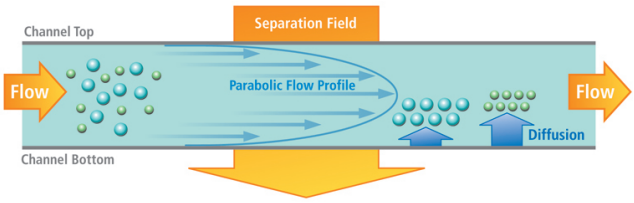
Klasse I tilsvarer det som er regnet som bakgrunnsnivå, uten nevneverdig menneskelig forurensning. Sett bort fra øvre grense for klasse I er alle klassene basert på risiko/effekt beregninger. Kriteriene for øvre grense innen klasse II og III er i samsvar med Vanndirektivets miljøkvalitetsstandarder AA-EQS og MAC-EQS. AA-EQS tilsvarer øvre grense for klasse II. Dette er grenseverdien for kroniske effekter ved langtidseksponering. Innenfor Klasse II skal man derfor ikke se noen toksiske effekter. MAC-EQS tilsvarer øvre grense for klasse III. Dette er grenseverdien for akutt toksiske effekter ved korttidseksponering. For klasse IV er øvre grense satt til akkutt toksisk effekt uten sikkerhetsfaktorer. Som vil si at over denne grensen vil man se mer omfattende akutte toksiske effekter. Veilederen nevner ikke hvordan prøver skal taes, analyseres eller om de skal være filtrerte. (Miljødirektoratet (2016))

2.2 Flow field-flow fractionation

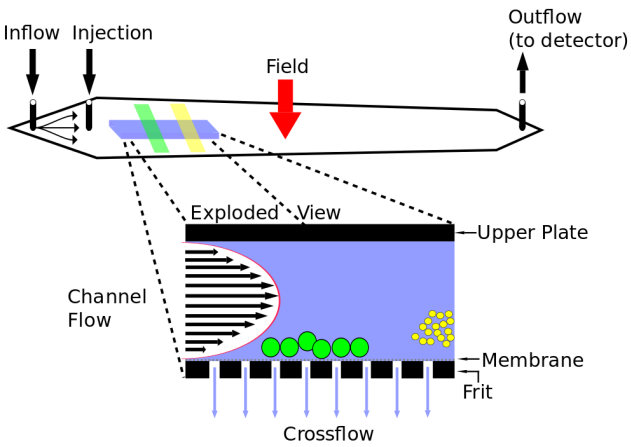
Flow field-flow fractionation (FlFFF) er en metode for karakterisering av kolloider og nanopartikler. Bruken av denne metoden har økt i de siste årene. (Baalousha et al. (2011)) Teorien for metoden ble utviklet av J. Calvin Giddings. (Giddings et al. (1976)) FiFFF er basert på hydrodynamikk prinsipper, hvor partikler separeres på grunn av en kryssende strøm av bærerveske over en tynn flat kanal med membraner i topp og bunn (figur 3.1).

I bunnen av kanalen suger en sprøytepumpe kontinuerlig ut væske. Partiklene blir på grunn av dette presset ned mot membranen. Mindre partikler vil klare å diffundere inn i den laminære strømmen mot utgangen av kanalen før de større partiklene. Dette er mekanismen som separerer partiklene etter størrelse. En av de største fordelene med metoden er at prøven kan injiseres ubehandlet. En av ulempene er at det er vanskelig å forhindre at partikler adsorberer på membranen og kan komme ut på et senere tidspunkt.

Asymmetrical flow field-flow fractionation (AF4) er en seperasjonsmetode basert på Flow field-flow fractionation. Metoden ble utviklet i 1986. Den skiller seg fra FlFFF med å bare ha en membran i kanalen (figur 2.2), krysstrømmen er derfor bare generert av bærevesken. Krysstrømmen blir til ved at bærevesken konstant går igjennom membranen i bunnen av kanalen. Metoden har vært brukt til å karakterisere størrelse og konsentrasjonen av organisk karbon uten forbehandling. (Vernhet et al. (2011); Meyn and Hallé (2017))



Figur 2.1: Flow field-flow fractionation. Kilde: https://commons.wikimedia.org/



Figur 2.2: Asymmetrisk flow field-flow fractionation. Kilde: https://commons.wikimedia.org/

2.3 DGT

En DGT (Diffusive gradients in thin films) er en passiv prøvetaker bestående av en plasthylse som tres over en plastsylinder. (figur 2.3(b)) På plastsylinderen plasseres en bindende gel (ionebyttergel), ofte Chelex, som absorberer metaller. På Chelex-gel'en plasseres en diffusjonsgel som hjelper til med å oppkonsentrere metallionene i den bindende gel'en. Deretter plasseres et filter med $0.45\mu m$ porestørrelse, som forhindrer større partikler å nå diffusjonsgelen samtidig som den virker beskyttende.(DGT Research (2017)) DGT er spesielt nyttig for å bestemme labile metallspecier. Da disse speciene er mest biotilgjengelige for akvatiske organismer gjør det at DGT er ofte brukt i naturmiljøkjemi.(Munksgaard and Parry (2003)) Kolloidkomplekser har vert antatt å være blokkert av diffusjonsgelen på grunn av størrelsen. (Zhang et al. (1995)) Noen av de mer labile kolloidkompleksene kan derimot penetrere gel'en. På grunn av veldig lav diffusjonshastighet er derimot bidraget fra disse partiklene lite. (L. R. Van der Veeken et al. (2009))

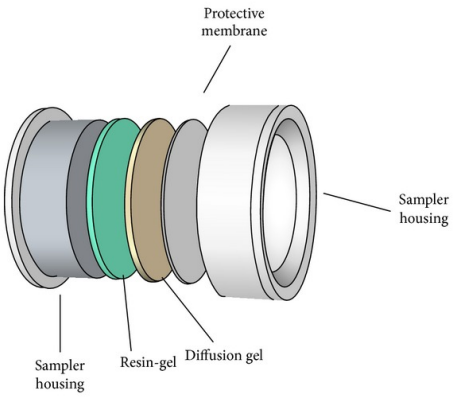
Etter at prøvetakerene har stått ute i ett visst tidsrom (t) (i sekunder), brukes et visst volum (V_e) 1M salpetersyre for å eluere ut ioner fra ionebyttergelen. Konsentrasjonen av ioner (C_e) bestemmes dermed med ICP-MS. Forholdet mellom eluert og bundet metall (f_e) er forskjellig for flere av de ulike metallene og kan finnes i tabeller fra DGT Research. Med denne informasjonen og volumet av chelex (V_g) kan de oppsamlede massen (M) av ioner i chelex beregnes med følgende ligning. (Zhang et al. (1995))

$$M = C_e(V_g + V_e)/f_e$$

Konsentrasjonen i bulkløsningen (C) kan dermed beregnes ut i fra tykkelsen til diffusjonsgelen og filtermembranen til sammen (Δg), diffusjonskoeffisienten (D) og arealet av diffusjonslaget som er eksponert (A) ved hjelp av følgende ligning. (Zhang et al. (1995))

$$C = M\Delta g/DAt$$

(a) En åpen DGT passiv prøvetaker. Kilde: DGT Research

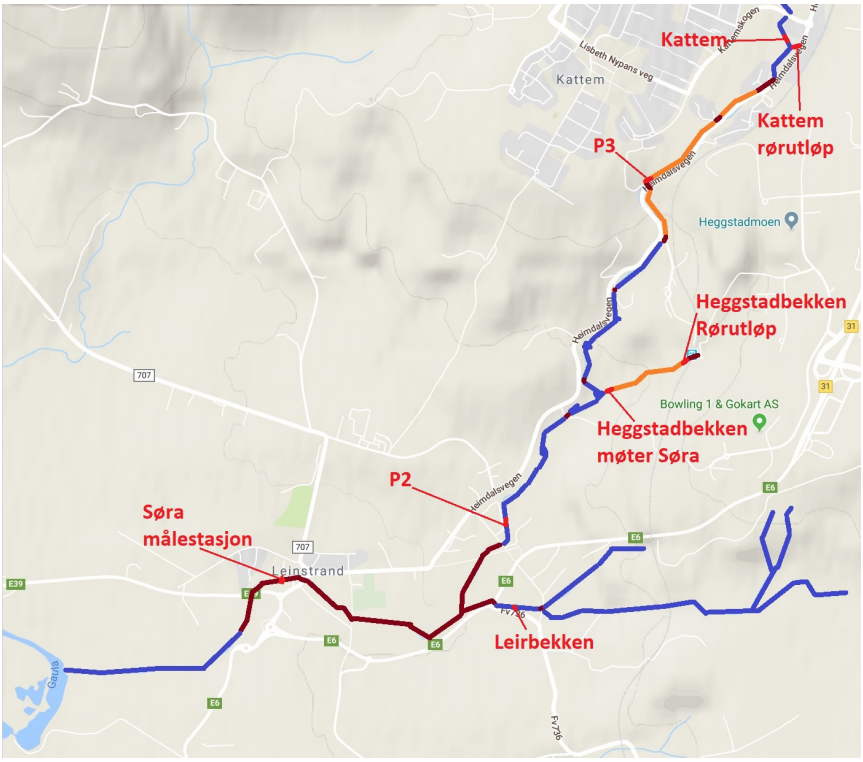


(b) Oppbygningen av en DGT passiv prøvetaker. Kilde: DGT Research

Figur 2.3: DGT

Kapittel 3

Område



Figur 3.1: Kart som viser prøvepunkter markert i rødt. Åpen bekk vist i blått, steinsatt i oransje og rørlagt i brunt. Fortykninger i linjen viser dammer i bekken.

Prøvene ble hovedsaklig tatt i bekken Søra. Det høyeste prøvepunktet i bekken er like nedenfor Kattemskogen barnehage (figur 3.1). Det laveste er Søra målestasjon som ligger like ved Circle K bensistasjon på Klett. Det ble valgt å ta prøver ved prøvepunkt 2, 3 og Søra målestasjon på grunn av at disse brukes av kommunen og vil dermed gi resultater sammenlignbare med andre studier. Det ble også tatt prøver i Hegstadbekken og Leirbekken for å se hva disse tilfører Søra. Ettervert ble det også tatt noen prøver fra et rørutløp rett nedenfor prøvepunkt kattem for å se hva dette tilførte.

.

3.1 Kattem

Figur 3.2: Kattem. Rett nedenfor prøvepunkt Kattem møter Søra et vannutløp

Prøvepunkt Kattem er det høyeste prøvepunktet i Søra for denne oppgaven (figur 3.2). Det ble også tatt prøver i et utløp som på grunn av lukt virket å være oksygenfattig. Utløpet befinner seg rett nedenfor prøvepunkt Kattem. Vannet i er visuelt i mindre grad påvirket av leire ved Kattem, i forhold til nedstrøms i bekken. Dette prøvepunktet er nedenfor marin grense, men bekken er i større grad urørt og har fått vaske ut mye av leiren i bekkeleiet. Ovenfor dette punktet har bekken i stor grad vegetasjon ved breddene. Prøver ble tatt her for å se hvilke konsentrasjoner man ville se lengre oppstrøms i bekken enn prøvepunkt 3 og ovenfor der endringer av bekken har blitt utført.

3.2 Prøvepunkt 3

Figur 3.3: Prøvepunkt 3.

Prøvepunkt 3 ligger nedenfor prøvepunkt Kattem (figur 3.3). Store deler av bekken i mellom disse prøvepunktene har blitt steinsatt. Det er lite vegetasjon ved bekken. Prøvepunkt 3 er visuelt sett en god del mer påvirket av leire enn ved Kattem. Prøvepunkt 3 er et av kommunens prøvepunkt og brukes også i denne oppgaven.

3.3 Heggstadbekken

Prøver ble tatt i Heggstadbekken rett før den møter Søra (figur 3,4). Det ble også tatt noen prøver oppstrøms i Heggstadbekken. Dvs ved rørutløpet som kommer ut ved jernbanen (figur 3.4(b)). Bekken stammer delvis i fra drenering av Heggstadmoen avfallsenter. Denne bekken er tydelig jernforurenset med sin gulbrune farge. Fargen avtar før den når Søra. Vannføringen er liten i forhold til vannføringen i Søra. Bekken har blitt stensatt fra jernbanen og ned til den møter Søra. Det ble tatt prøver i Heggstadbekken for å se hvordan den påvirker Søra.

(a) Heggstadbekken møter Søra

(b) Utløp

Figur 3.4: Heggstadbekken

3.4 Prøvepunkt 2

Figur 3.5: Prøvepunkt 2 befinner seg under broen.

Prøvepunkt 2 ligger nedstrøms for prøvepunkt 3 (figur 3.5), og for der Heggstadbekken møter Søra. Prøvene ble tatt rett under en gangbro som knytter to boligfelt sammen. Prøvepunkt 2 er et av kommunens prøvepunkt og brukes også i denne oppgaven.

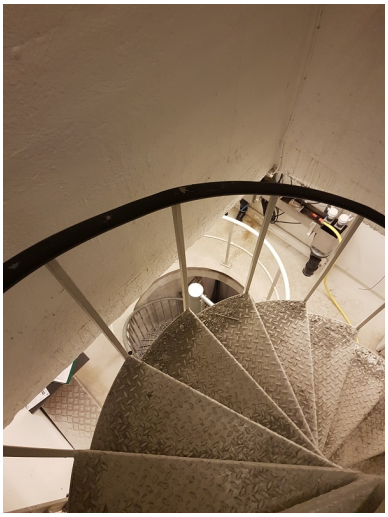
3.5 Leirbekken

Figur 3.6: Leirbekken er igjengrodd og vanskelig å nå.

Det ble tatt prøver i Leirbekken ovenfor E6 (figur 3.6), før den når Søra. Leirbekken er sterkt påvirket av leire. Leirbekken har en litt mindre men sammenlignbar vannføring med Søra. Den øvre delen av leirbekken går igjennom jordbruksområder og har tett skog ved breddene. Den nedre delen har blitt lagt i rør. Prøver ble tatt her for å se hva leirbekken tilfører Søra.

3.6 Søra målestasjon

Prøver ble tatt i Søra målestasjon (figur 3.7). Dette prøvepunktet er nedstrøms for prøvepunkt 2 og leirbekken. Målestasjonen befinner seg ved bensinstasjonen på Klett. Søra målestasjon ble valgt over kommunens prøvepunkt 1 pga. den er enklere å komme til.



(a) Søra målestasjon

(b) Søra renner under målestasjonen

Figur 3.7: Søra målestasjon

3.7 Observasjoner ved prøvetaking

10. Februar 2017.
Bekken var delvis fryst over. Det var allikevel uproblematisk å ta prøver. Visuelt sett lite leirepartikler ved prøvepunkt ovenfor Søra målestasjon. Mer ved Søra målestasjon. Releativt lite vannføring

21. Februar 2017
Bekken var delvis fryst over. Vannet var noe leirefarget ved alle prøvepunkt. Noe mer ved Søra målestasjon. Heggstadbekken hadde funnet et nytt leie under bakken. Moderat vannføring.

10. Mai 2017
Tørt og relativt lite vannføring. Mindre leire i bekken ved alle prøvepunkt.

15. Juni 2017
Noe plast, isopor og en god del skum i Heggstadbekken og sterk lukt av bilsjampo (figur 3.8b). Mye leire i bekken nedenfor prøvepunkt 2 på grunn av anleggsvirksomhet (figur 3.8a). Dermed mye leire i prøver tatt i Søra målestasjon.

05. August 2017
Tørt med lite leire og lite vannføring. Det var vanskelig å ta prøve på prøvepunkt 3 på grunn av lite vann. Søra målestasjon hadde visuelt mye mindre leirepartikler enn vanlig.

22. August 2017
Relativt stor vannføring. Vannet ved Kattem og ned var markant gulfarget. Selv ved Søra målestasjon var vannet lite farget av leire.

20. September 2017
Algevekst fra Kattem og ned til der Heggstadbekken møter Søra. Klart vann med moderat vannføring ovenfor Søra målestasjon.

(a) Nedenfor prøvepunkt 2 er bekken full av leire på grunn av annleggsvirksomhet

(b) Heggstadbekken lukter bilsjampo og har plast i bekkeløpet

Figur 3.8: 15. juni 2017

3.8 Nedbør

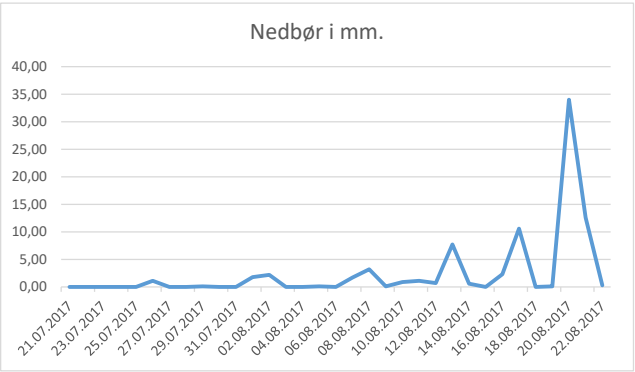
Siden mengden nedbør var tenkt å ha stor innvirkning på konstrasjonen av metaller i bekken ble det tatt prøver under forskjellige nedbørssituasjoner. Den 5. august ble det tatt prøver siden det var relativt tørt over lengre tid, dagen før var det ingen nedbør. Det var imidlertid 3 mm. nedbør 2 dager før, men på grunn av lengre tids tørke kan man anta at bakken og vegetasjon vil ta til seg det meste av dette. Etter relativt mye nedbør ble det igjen tatt prøver den 22. august. Dagen før falt det 13 mm. nedbør og 2 dager før 34 mm. nedbør. Nedbørsdata for prøver tatt i august kan man se i figur 3.10. Den 10. mai hadde det vært relativt tørt i to uker før prøvetaking. (Yr (2018))
Det ble satt ut DGT passive prøvetakere i september 2017. Den første prøvetakeren ble satt ut den 20.09.2017 samtidig som det ble tatt en runde med prøver i Søra. Disse DGTene ble tatt opp den 23. og nye ble satt ut. Det samme ble gjort den 26. De siste DGTene ble tatt opp den 29.09.2017. Som man kan se fra figur 3.11 hadde de første DGT-prøvetakerne noe mer nedbør før utplassering enn de to siste partiene. En uke før de første ble satt ut falt

(a) Bekken Søra ved Kattem

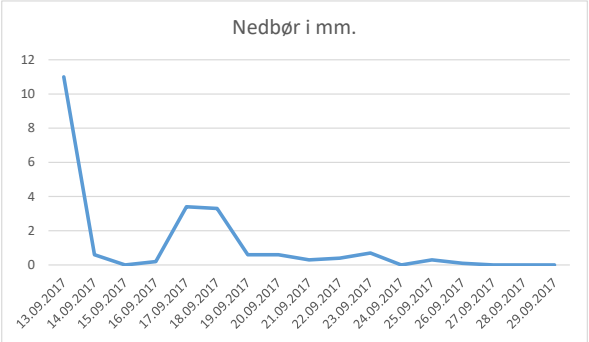
(b) Søra møter Heggstadbekken

Figur 3.9: Bekken Søra 21. Februar 2017

det 13 mm, to dager før 3 mm. og tre dager før 3 mm. For de senere falt det bare minimale mengder nedbør.



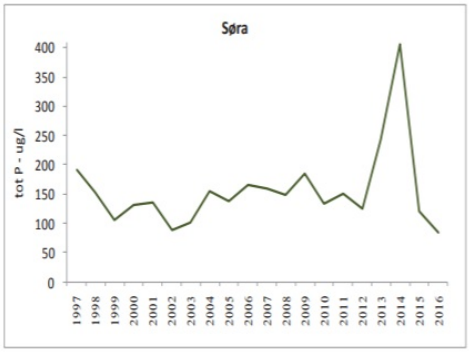
Figur 3.10: Nedbørsdata fra yr.no for prøver tatt i august 2017. Yr (2018) Data fra Voll målestasjon



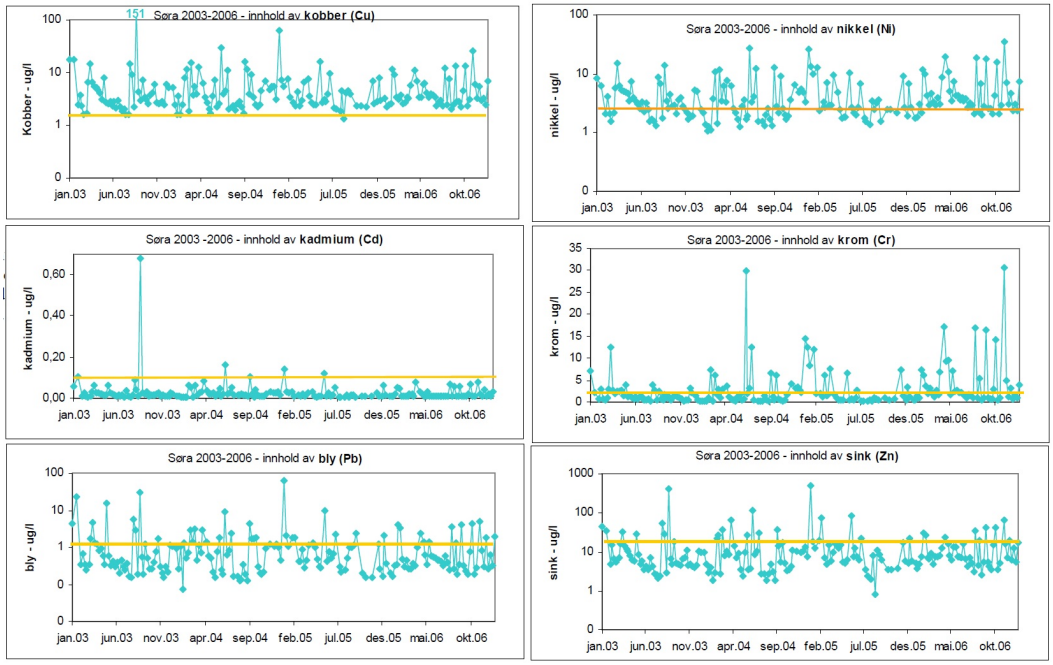
Figur 3.11: Nedbørsdata fra yr.no for prøver tatt i september 2017. Yr (2018) Data fra Voll målestasjon

3.9 Tidligere studier

Siden 1997 har Trondheim kommune gjort målinger av total fosfor og TKB (Termotolerante koliforme bakterier) i Søra. Dette har blitt publisert i årlige rapporter. Nøst (2017) Fra resultatene for TKB og næringsalter har bekken blitt klassifisert som meget dårlig. Årsmiddel for total fosfor hadde variert i fra 90 til 400 mg/l frem til 2016 (figur 3.12). Det ble i 2004-2006 tatt ukentlige ufiltrerte prøver som av Trondheim kommune i bekken Søra ved Søra målestasjon. Disse prøvene ble analysert ved hjelp av ICP-MS for nivåer av kobber, kadmium, kvikksølv, bly, nikkel, krom, sink og arsen (figur 3.13). Resultatene viste toksiske verdier av kobber etter SFT veileder fra 1997 og en viss forurensningsbelastning for nikkel og krom. For enkeltverdier se tabell 7.1 i appendiks. (Nøst (2006)). Det har også vert tatt prøver senere med samme tendens. (pers.medd. Terje Nøst)



Figur 3.12: Årsmiddel for total fosfor målt fra 1995 til 2016 (Nøst (2017))



Figur 3.13: Målinger av kobber, kadmium, bly, nikkel, krom og sink i ufiltrerte prøver tatt fra 2003 til 2006. Gul linje viser øverste grense for klasse II, moderat forurenset etter SFT veileder fra 1997. Merk. logaritmisk skala for kobber, nikkel, bly og sink. (Nøst (2006))

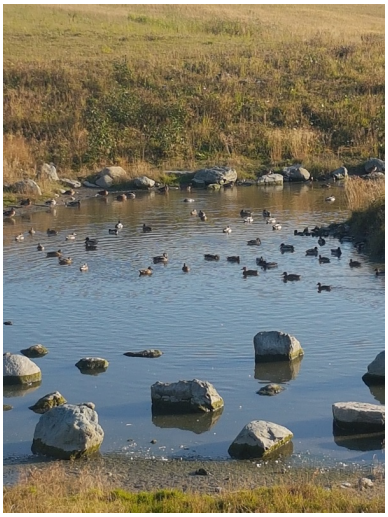
3.10 Status i bekken Søra

Etter at det i mange år vært store svinginger i konsentrasjonen av tarmbakterier og fosfor i Søra har situasjonen forbedret seg. Etter saneringstiltak i Søradalen, startet nivåene av tarmbakterier i bekken å falle mot slutten av 2015. I 2016 ble det like ovenfor Klett påvist ørret i Søra og i restaurerte strekninger av bekken har bunndyr startet å rekolonisere. (Nøst (2016, 2017)) I 2017 ble det observert et større antall gressender (over 40) ved Lersbakken i bekken Søra (figur 3.14(a)). Noe som ikke har vært normalt i følge lokale på stedet. I september 2017 ble det observert algevekst i bekken ovenfor prøvepunkt 2 og oppstrøms (figur 3.14(b)). Man kan fremdeles se større verdier av TKB og fosfor i Søra. I starten av februar 2017 ble det sluppet ut kloakk i bekken over flere dager. Dette kan man se gjør utslag i TKB og fosfor i tabell 3.1

Tabell 3.1: Målinger gjort av Trondheim kommune i bekken Søra i 2017. Nøst (2018)

TKB = Termotolerante koliforme bakterier, Tot P = Total fosfor

	Søra st.1		Søra st.2		Søra st.3	
	TKB	Tot P	TKB	Tot P	TKB	Tot P
Dato	/100ml	μg P/l	/100ml	μg P/l	/100ml	μg P/l
12.01.2017	310	156	460	34	90	21
07.02.2017	11000	85	15000	33	18000	210
07.03.2017	270	127	320	95	2000	118
04.04.2017	220	61	100	27	480	31
02.05.2017	160	28	240	22	2200	28
06.06.2017	40	35	100	20	140	34
04.07.2017	30	59	30	35	80	60
01.08.2017	120	25	60	19	80	37
05.09.2017	140	57	10	21	130	28
03.10.2017	80	44	90	20	250	26
07.11.2017	120	65	150	39	70	41
05.12.2017	1700	58	2400	48	410	38
Median	150	59	125	30	195	36
Middel	1183	67	1580	34	1994	56
90-persentil	1561	123	2206	47	2180	112
Maks.	11000	156	15000	95	18000	210
Min.	30	25	10	19	70	21



(a) Søra hadde i 2017 besøk av et større antall gressender

(b) Det ble observert algevekst i midten av september

Figur 3.14

Kapittel 4

Eksperimentelt

4.1 Prøvetaking

Prøver ble tatt ved Kattem, prøvepunkt- 2, 3 og Søra målestasjon. Dette er punkter i selve bekken Søra. Det ble også tatt prøver i Heggstadbekken, Leirbekken og et utløp nedenfor Kattem for å se hva disse tilfører Søra. Antall prøver og koordinater for hvert punkt kan man se i tabell 4.1. Prøvetaking ved punkt 2, 3 og Søra målestasjon ble gjort med en plastbøtte med snor, av samme type som Bydriften i Trondheim kommune bruker. Bøtten ble skylt i vannet minst to ganger før prøver ble tatt fra bøtten. En 20 ml polyetylensprøyte ble så brukt for å skylle et 15 ml teflonprøverør 2 ganger før røret ble fylt med en prøve av sprøyten. Skyllingen ble gjort ved å fylle røret for deretter sette på korken, uten å ta på innsiden av korken eller røret. Røret ble dermed ristet før røret ble tømt og prosedyren gjentatt. For filtrerte prøver ble samme metode brukt, med den forskjellen at et $0,45\mu m$ eller et $0,22\mu m$ filter ble brukt respektivt. Filteret ble også brukt ved skylling av prøverør slik at filteret også ble skylt med prøven. Prøvetaking ved de andre stedene ble gjort direkte med sprøyten i rennende vann. Ellers på samme måte som tidligere beskrevet.

Tabell 4.1: Tabell over antall prøver

Prøvepunkt	Antall prøver tatt				Koordinater	
	Ufiltert	$0.45\mu m$	$0.22\mu m$	DGT		
Kattem	6	6	1	0	63°20’48.7”N	10°21’08.1”E
Kattem utløp	3	3	0	0	63°20’48.7”N	10°21’08.1”E
Prøvepunkt 3 (P3)	7	7	2	0	63°20’27.9”N	10°20’19.5”E
Heggstadbekken Søra	5	5	1	0	63°19’55.9”N	10°20’06.0”E
Heggstadbekken utløp	2	2	1	0	63°20’01.4”N	10°20’31.1”E
Prøvepunkt 2 (P2)	10	10	2	9	63°19’36.8”N	10°19’32.1”E
Leirbekken	3	3	1	0	63°19’24.1”N	10°19’35.0”E
Søra målestasjon	7	7	2	0	63°19’28.4”N	10°18’17.1”E

Prøver for AF4 (asymmetric flow free flow fractionation) ble gjort med bøtte med snor ved prøvepunkt 2, 3 og Søra målestasjon den 20.03.2018. Bøtten ble skylt minst to ganger. Prøven ble så tatt direkte fra bøtten i en 250ml teflonflaske. Flasken ble sammenpresset før korken ble skruvd på, for å minimere mengden luft i flasken. Flaskene med prøvene ble levert til Tomas Meyn ved institutt for bygg og miljøteknikk, NTNU. Prøvene ble fraksjonert samme dag som de ble tatt.

For å kunne få resultater representative for et lengre tidsrom ble det satt ut 3 passive prøvetakere av typen DGT ved prøvepunkt 2 den 23.09.2017. Etter 3 dager ble disse tatt opp og byttet ut. 3 dager etter dette igjen ble DGT-prøvetakerene igjen byttet ut. Den 29.09.2017 ble de siste DGT-prøvetakerene tatt opp. Det ble tatt ufiltrerte og $0,45\mu m$ filtrerte prøver ved utsetting og opptaking av DGT. Dette ble gjort på samme måte som tidligere beskrevet med unntak av at prøver ble tatt direkte i bekke og ikke via en bøtte.

Prøvetakerne ble preparert ved å plassere en ionebyttergel (Chelex-100 gel) på toppen av en DGT-plastsylinder produsert av DGT-Research. Chelex-gelen ble nøysommelig plassert så den dekker hele toppen av sylinderen med et plastpinsett. Deretter ble diffusjonsgel og en $0,45\mu m$ filtermembran plassert på Chelex-gelen før en plasthylse ble tredd over den tilhørende sylinderen (Se figur 3.2) . Under prosessen ble hansker brukt og arbeidet ble gjort i rene omgivelser. Det ble sett til at ingen luftbobler ble igjen i mellom lagene. De preparerte DGT'ene ble oppbevart i zip-lock poser med en mindre mengde 0,1 M NaNO2 løsning. Dette ble gjort for å forhindre uttørking. Posene ble lagt i kjøleskap og oppbevart ved 4 celsiusgrader før bruk.

DGT'ene ble rett før utsetting festet til en flaske ved hjelp av fiskesnøre (figur 4.1). Flasken var fylt med sand og vann for å kunne holde seg stødig i bekken. Det ble også lagt en kvist på tvers bak hode på flasken som ble gjort fast ved pålegging av steiner for å kunne forsikre seg om at DGT-prøvetakerne ikke ble tatt av strømmen i bekken. Flaskenhalsen ble fastbundet med fiskesnøre til kvisten og bunnen av flasken hvilte mot en stein. DGT'ene ble plassert slik at vannet i bekken strømmer over filtermembranen men ikke rett mot. Det ble flyttet på flere steiner for å bidra til att dette skjedde tilfredstillende. DGT'ene fikk stå i 3 dager før de ble tatt opp, skylt med avionisert vann og oppbevart i zip-lock poser. De ble dermed tatt med direkte til laboratorium for demontering.

Figur 4.1: Det ble plassert ut DGT ved prøvepunkt 2.

4.2 Prøvebehandling

De ufiltrerte prøvene ble surgjort til 0,1 M HNO3 (5 dråper konsentrert ultrapure HN03 til 15 ml). Prøvene ble så splittet i to, en del ble videre surgjort for dekomponering i Ultraclave. Del to fikk stå til de gjenværende partiklene hadde sedimentert, etterpå ble den overliggende væsken dekantert. Prøver tatt i mai 2017 og senere ble ikke behandlet i Ultraclave siden de to metodene ikke ga større forskjeller i resultat. Prøver filtrert med et $0,45\mu m$ eller et $0,22\mu m$ filter ble også surgjort til 0,1 M HNO3.

Blanke prøver for ufiltrerte prøver ble produsert i laboratorium ved å bruke renset og avionisert vann, Som på samme måte som i felt ble trukket opp med en 20 ml sprøyte. Sprøyten ble skylt 2 ganger i et teflonprøverør før prøverøret ble fylt med sprøyten. Det samme ble gjort for filtrerte prøver med $0,45\mu m$ eller et $0,22\mu m$ filter, bare at her ble filter også brukt.

DGT'ene ble demontert ved å kile et knivblad i mellom sylinderen og hylsen. Filtermembranen og diffusjonsgelen ble deretter tatt av med et plastpinsett og kastet. Chelex-gelen ble dermed tatt av og ført i et 15 ml teflonprøverør stående på en kalibrert vekt. Vekten av prøverøret med og uten gel ble notert. 1 ml 1 M HNO3 ble dermed tilsatt for å trekke ut metallioner av gelen. Syren dekket hele gelen og fikk stå i et døgn. Gelen ble tatt ut

ved å snu prøverøret opp ned, for deretter å snu det sakte tilbake til væsken hadde samlet seg i bunn av prøverøret, i mens chelex-gelen hang fast i prøverørsveggen. Gelen ble dermed tatt ut med et pinsett og kastet. Prøverøret med væsken ble dermed veid og vekten notert. Vekten av væsken ble beregnet ved å trekke fra vekten av det tomme prøverøret. Prøverøret ble så tilsatt 9x vekten av væsken i av-ionisert vann (fortynnet 1/10).

Blanke-DGT prøver ble preparert ved å sette sammen to DGT som tidligere forklart. For dermed å la disse stå i en liter med renset og avionisert vann i et rent begerlass forseglet med parafilm i 3 dager. Blank prøvene ble dermed behandlet på samme måte som andre prøver.

4.3 Analyse

Et AF2000 Multi Flow Free Flow Fractionation system fra Postnova analytics ble brukt for fraksjonering av prøver. Injiseringsstørrelsen var 5ml og alle prøver ble kjørt to ganger. Det ble også laget en blankprøve for hver fraksjon. For fraksjoneringen ble det brukt en 1 kDa polyethersulfon-membran med en porestørrelse på ca. 1 nm. 10mM NaCl ble brukt som eluent. En lineær kryssflytningsgradient ble brukt, hvor detektor-strømningsmengden var 0,5 mL/min. Gradienten startet med 2,5 mL/min igjennom membranen til 0 mL/min over en periode på 20 minutter per prøve. Systemet var koblet til en UV-detektor (254 nm), OCD-detektor og en Light scattering detektor.

Etter prøvebehandling ble AF4, DGT, de filtrerte og de ufiltrerte prøvene analysert ved hjelp av ICP-MS, av Syverin Lierhagen ved Institutt for kjemi, NTNU. Apparatet brukt er et Thermo Scientific ELEMENT 2 HR-ICP-MS. Verdiene ble korrigert for blank og fortynning. For å unngå interferens ble 3 forskjellige oppløsninger på henholdsvis 400, 5500 og 10000 benyttet.

4.4 Vurderinger

For å undersøke hvilke størrelsesfraksjoner de forskjellige partiklene hadde, ble det tatt prøver med $0,22\mu m$ filter den 10. og den 21. februar 2017. De ufiltrerte prøvene ble først bestemt at skulle homogeniseres i ultraclave. På grunn av at tidligere studier hadde benyttet en annen metode ble det bestemt at denne også skulle benyttes. Derfor ble de ufiltrerte prøvene i februar splittet i to. Alle prøver tatt disse to dagene ble sendt til analyse på ICP-MS den 28. februar. Etter at resultater kom den 02. mars 2017 ble det bestemt at $0,22\mu m$ filter kuttes ut på grunn av mindre forskjeller til resultatene fra $0,45\mu m$ filter. Prøver etter dette ble heller ikke kjørt i ultraclave. Dette på grunn av at verdiene fra de ulike metodene var sammenlignbare og fraksjonen som ikke løses i syre, men i ultraclave er lite interessant for denne oppgaven.

Kapittel 5

Resultater

Tabell 5.1 til 5.4 viser resultater for grunnstoff som ble bestemt med ICP-MS, sortert etter atomvekt, for Søra målestasjon og prøvepunkt 2, prøvepunkt Kattem og prøvepunkt 3, Leirbekken og rørutløpet nedenfor Kattem prøvepunkt, Heggstadbekken der den går ut i Søra og oppstrøms der den kommer ut av et rør ved jernbanen.
I del 5.1 til 5.9 er resultater fra ICP-MS analyser for kobber, nikkel, bly, kadmium, krom, sink, kvikksølv, arsen og fosfor vist som grafer sammen med linjer som viser klassifiseringer fra både 1997 (tabell 2.1) og den gjeldende veilederen fra 2016 (tabell 2.2). Når verdien overgår en klassifiseringslinje så er man i klassen over. Det vil si at klassifiseringslinjene viser maksverdien for den respektive klassen. Dette er gjort så man kan vise både SFT 1997 og Miljødirektoratets veileder av 2016 under samme forutsetninger. For verdier som går utenfor figurområdet er verdien markert med tekst.
Del 5.10 tar for seg signalene fra UV, OCD og LS detektorer som ble brukt for oppdeling av fraksjoner av prøver tatt den 20.03.2018. Del 5.11 tar videre for seg resultatene av ICP-MS analyse av disse fraksjonene.
Del 5.12 viser resultatene av ICP-MS analyser av DGT-prøver tatt ved prøvepunkt 2.

Tabell 5.1: Konsentrasjoner målt ved Søra målestasjon og prøvepunkt 2 i $\mu g/l$

	Søra målestasjon						Prøvepunkt 2					
Grunnstoff	Ufiltrert			0,45um			Ufiltrert			0,45um		
	Min	G.snitt	Maks	Min	G.snitt	Maks	Min	G.snitt	Maks	Min	G.snitt	Maks
Bor	29,1	37,0	49,1	27,7	35,3	49,0	17,7	31,2	43,8	18,0	32,7	47,1
Magnesium	11858	14977	21790	10551	11745	14286	6227	7679	9387	6160	7749	9227
Aluminium	749	4064	15646	11,4	21,7	33,2	91,2	149	269	19,3	24,7	36,0
Silisium	3722	8261	21104	2253	3024	4013	1457	2484	3409	1235	2391	3078
Fosfor	17,9	105	450	5,9	13,9	38,0	8,1	23,6	100	5,8	17,4	82,7
Svovel	9293	11822	14166	8407	11699	14311	4884	6502	9025	4903	6698	9114
Klor	34052	62945	113466	34536	61088	113466	26018	45653	92124	26476	46066	92028
Kalium	5993	8419	12868	5475	6397	7301	3978	5460	7818	3797	5319	7569
Kalsium	58149	65844	73801	55259	61384	69376	41838	50867	58430	42869	51340	58901
Scandium	0,0462	0,5306	2,288	0,0065	0,0162	0,0246	0,0094	0,0195	0,0559	0,0097	0,0148	0,0257
Titan	44,22	126	356	0,19	0,29	0,66	3,94	6,80	12,6	0,28	0,41	0,88
Vanadium	2,499	11,27	42,67	0,332	0,593	0,729	0,770	1,03	1,34	0,377	0,692	0,861
Krom	2,81	14,27	54,91	0,120	0,209	0,396	0,395	0,710	1,26	0,161	0,268	0,469
Mangan	82,8	188	496	56,1	83,5	120	19,6	40,5	65,1	13,8	27,5	54,5
Jern	1351	5652	20904	12,7	57,2	127	253	363	583	72,3	96,0	165
Kobalt	0,712	3,97	15,6	0,162	0,239	0,294	0,177	0,329	0,729	0,119	0,164	0,215
Nikkel	4,26	18,8	74,2	2,05	2,71	3,47	1,38	2,04	3,02	1,14	1,76	2,95
Kobber	3,12	12,7	49,8	1,97	3,01	4,81	2,85	4,06	6,14	2,73	3,74	6,43
Sink	3,60	19,25	75,6	-0,255	1,76	4,07	1,16	3,88	7,36	0,095	1,39	5,58
Gallium	0,208	1,29	4,10	0,013	0,020	0,025	0,037	0,052	0,083	0,013	0,025	0,039
Arsen	0,880	1,36	1,69	0,649	0,960	1,34	0,711	1,31	1,63	0,655	1,30	1,52
Brom	122	153	188	126	150	189	85,4	116	155	88,9	120	152
Selenium	0,153	0,201	0,302	0,156	0,186	0,237	0,083	0,128	0,151	0,105	0,139	0,166
Rubinium	5,86	17,0	56,0	3,50	4,00	4,82	3,00	4,28	6,67	2,73	4,13	6,38
Strontium	179	195	221	169	184	212	118	142	167	120	145	166
Yttrium	0,433	4,35	18,9	0,050	0,134	0,221	0,120	0,174	0,311	0,065	0,092	0,179
Molybden	0,864	1,08	1,30	0,847	1,21	1,44	0,699	1,08	2,03	0,715	1,17	2,04
Kadmium	0,0066	0,0319	0,120	0,0032	0,0044	0,0060	0,0042	0,0067	0,0104	0,0028	0,0039	0,0063
Tinn	0,0142	0,0193	0,0229	0,0052	0,0067	0,0092	0,0084	0,0103	0,0115	0,0062	0,0077	0,0088
Antimon	0,174	0,198	0,256	0,170	0,224	0,286	0,207	0,239	0,326	0,190	0,241	0,327
Cesium	0,138	0,641	2,38	0,0054	0,0132	0,0189	0,0258	0,0361	0,0548	0,0132	0,0194	0,0234
Barium	36,0	67,8	175	20,9	28,6	37,0	7,58	15,5	35,2	6,66	11,9	17,2
Lantan	0,787	8,52	37,4	0,022	0,123	0,264	0,125	0,214	0,395	0,034	0,062	0,145
Cerium	18,0	176	769	0,39	1,69	3,55	2,40	4,06	6,84	0,60	0,94	1,78
Praseodym	0,194	2,03	8,89	0,0065	0,0267	0,0534	0,0321	0,0521	0,0943	0,0097	0,0157	0,0336
Neodym	0,781	8,22	36,1	0,0286	0,1161	0,2261	0,1356	0,2169	0,3846	0,0432	0,0697	0,1508
Terbium	0,0180	0,1726	0,7507	0,0010	0,0029	0,0050	0,0035	0,0054	0,0103	0,0014	0,0021	0,0043
Holmium	0,0171	0,1697	0,7379	0,0015	0,0043	0,0073	0,0043	0,0063	0,0116	0,0021	0,0031	0,0063
Ytterbium	0,0437	0,4099	1,7738	0,0069	0,0137	0,0203	0,0136	0,0196	0,0335	0,0086	0,0110	0,0194
Lutetium	0,0069	0,0614	0,2650	0,0013	0,0025	0,0037	0,0022	0,0033	0,0058	0,0016	0,0023	0,0040
Wolfram	0,0487	0,0633	0,0752	0,0680	0,0867	0,1053	0,0685	0,0931	0,1096	0,0736	0,0953	0,1154
Gull	0,0002	0,0007	0,0014	0,0003	0,0010	0,0017	0,0005	0,0010	0,0020	0,0003	0,0010	0,0020
Kvikksølv	0,0101	0,0302	0,0488	0,0181	0,0435	0,0579	0,0050	0,0286	0,0486	0,0157	0,0300	0,0420
Thallium	0,0186	0,0839	0,3197	0,0061	0,0081	0,0114	0,0056	0,0072	0,0108	0,0043	0,0053	0,0067
Bly	0,3645	4,2719	19,1095	0,0312	0,0468	0,0757	0,1297	0,1996	0,3075	0,0469	0,0589	0,0823
Thorium	0,0813	0,5591	2,2399	0,0059	0,0185	0,0361	0,0112	0,0177	0,0345	0,0066	0,0117	0,0256
Uran	2,0007	2,6302	4,1410	1,9920	2,2595	2,5768	0,6830	0,9428	1,0797	0,7033	0,9589	1,0696

Tabell 5.2: Konsentrasjoner ved prøvepunkt 3 og Kattem i $\mu g/l$

Grunnstoff	Prøvepunkt 3						Kattem					
	Ufiltrert			0,45um			Ufiltrert			0,45um		
	Min	G.snitt	Maks	Min	G.snitt	Maks	Min	G.snitt	Maks	Min	G.snitt	Maks
Bor	13,4	16,5	20,3	13,3	16,6	20,9	7,5	11,3	15,7	8,1	10,8	15,1
Magnesium	5262	5837	7298	5147	5725	7149	2427	3379	4201	2400	3249	4149
Aluminium	163,1	215,9	303,1	9,5	15,9	27,8	52,4	77,0	127,6	19,8	35,5	69,0
Silisium	1958	2795	3481	1515	2520	3216	995	2104	2853	904	1834	2861
Fosfor	14,6	59,1	266,1	8,2	43,7	216,7	12,1	25,6	44,9	9,1	19,7	38,0
Svovel	4264	5305	7325	4230	5299	7402	2008	2947	3797	1996	2910	3817
Klor	26052	38612	73398	27327	39824	73032	16492	22824	31016	16932	23587	33960
Kalium	3220	4042	5271	3173	3915	5425	1616	2318	3058	1591	2251	2834
Kalsium	38855	50514	72905	37117	45320	53878	29501	35397	41559	29460	34795	41432
Scandium	0,0158	0,0320	0,0998	0,0109	0,0161	0,0256	0,0073	0,0136	0,0266	0,0121	0,0181	0,0271
Titan	7,80	10,08	12,77	0,22	0,46	1,00	1,64	2,83	4,38	0,30	0,79	1,77
Vanadium	0,706	0,895	1,059	0,235	0,304	0,424	0,320	0,438	0,662	0,177	0,312	0,504
Krom	0,648	1,056	2,063	0,117	0,193	0,297	0,254	0,381	0,586	0,118	0,228	0,379
Mangan	16,7	75,9	321,3	3,9	63,7	316,3	30,9	43,5	63,5	26,0	39,2	61,5
Jern	351,5	1292,2	5251,6	51,5	105,3	207,3	238,0	344,0	469,6	123,5	232,5	346,1
Kobalt	0,266	0,337	0,458	0,060	0,114	0,173	0,119	0,159	0,196	0,064	0,108	0,134
Nikkel	1,603	2,156	3,201	0,909	1,573	2,229	0,852	1,242	1,938	0,749	1,144	1,782
Kobber	2,939	4,564	5,910	1,972	3,352	5,130	1,441	2,615	4,042	1,354	2,414	3,882
Sink	8,754	19,724	59,048	3,373	8,235	13,942	2,041	3,796	5,408	1,549	3,066	6,497
Gallium	0,046	0,198	0,739	0,007	0,009	0,011	0,010	0,015	0,021	0,002	0,006	0,009
Arsen	0,584	0,880	1,291	0,426	0,667	1,119	0,246	0,411	0,568	0,208	0,338	0,532
Brom	66,9	77,6	90,9	68,9	75,7	81,7	53,7	64,2	81,0	51,0	63,6	82,0
Selenium	0,072	0,106	0,140	0,096	0,110	0,148	0,082	0,114	0,150	0,057	0,100	0,179
Rubinium	2,767	3,227	3,836	2,200	2,874	3,461	1,387	1,856	2,279	1,304	1,708	2,173
Strontium	101,3	116,5	137,0	99,6	115,9	133,8	48,7	65,1	74,7	47,8	61,8	75,5
Yttrium	0,177	0,214	0,271	0,057	0,102	0,183	0,095	0,133	0,211	0,069	0,104	0,180
Molybden	0,383	0,509	0,633	0,393	0,523	0,621	0,127	0,181	0,236	0,132	0,182	0,223
Kadmium	0,0035	0,0069	0,0099	0,0035	0,0069	0,0099	0,0037	0,0056	0,0087	0,0028	0,0045	0,0074
Tinn	0,0098	0,0156	0,0313	0,0052	0,0084	0,0129	0,0026	0,0051	0,0075	0,0023	0,0038	0,0056
Antimon	0,1160	0,1957	0,2569	0,1178	0,2050	0,2644	0,0404	0,0960	0,1298	0,0409	0,0984	0,1344
Cesium	0,0349	0,0429	0,0465	0,0140	0,0183	0,0226	0,0133	0,0186	0,0218	0,0100	0,0129	0,0149
Barium	15,29	16,64	17,50	13,05	15,25	16,80	7,66	10,22	12,03	6,71	9,01	11,59
Lantan	0,223	0,267	0,290	0,039	0,075	0,135	0,090	0,138	0,222	0,052	0,089	0,165
Cerium	4,23	5,17	6,12	0,50	0,82	1,43	1,37	2,09	3,24	0,63	1,13	2,12
Praseodym	0,0544	0,0657	0,0726	0,0097	0,0178	0,0340	0,0207	0,0314	0,0501	0,0125	0,0203	0,0382
Neodym	0,2200	0,2726	0,3047	0,0451	0,0774	0,1459	0,0928	0,1349	0,2151	0,0535	0,0890	0,1591
Terbium	0,0052	0,0066	0,0075	0,0016	0,0024	0,0042	0,0027	0,0037	0,0060	0,0017	0,0027	0,0045
Holmium	0,0063	0,0075	0,0087	0,0020	0,0033	0,0058	0,0033	0,0047	0,0079	0,0021	0,0035	0,0064
Ytterbium	0,0206	0,0240	0,0314	0,0076	0,0128	0,0217	0,0112	0,0166	0,0264	0,0088	0,0133	0,0223
Lutetium	0,0036	0,0041	0,0052	0,0015	0,0024	0,0041	0,0018	0,0030	0,0052	0,0016	0,0025	0,0038
Wolfram	0,0636	0,1117	0,2726	0,0494	0,0569	0,0682	0,0125	0,0173	0,0262	0,0075	0,0106	0,0150
Gull	0,0004	0,0031	0,0118	0,0002	0,0010	0,0032	0,0000	0,0007	0,0024	0,0002	0,0030	0,0106
Kvikksølv	0,0106	0,0216	0,0425	0,0156	0,0267	0,0552	-0,0010	0,0150	0,0362	0,0017	0,0223	0,0384
Thallium	0,0077	0,0085	0,0089	0,0048	0,0054	0,0064	0,0043	0,0050	0,0060	0,0032	0,0045	0,0053
Bly	0,1902	0,3097	0,5820	0,0231	0,0489	0,0763	0,1054	0,1596	0,3135	0,0300	0,0801	0,1946
Thorium	0,0150	0,0194	0,0275	0,0066	0,0120	0,0224	0,0085	0,0167	0,0310	0,0077	0,0179	0,0309
Uran	0,3651	0,4856	0,5410	0,3612	0,4666	0,5274	0,1437	0,2147	0,2692	0,1381	0,2011	0,2487

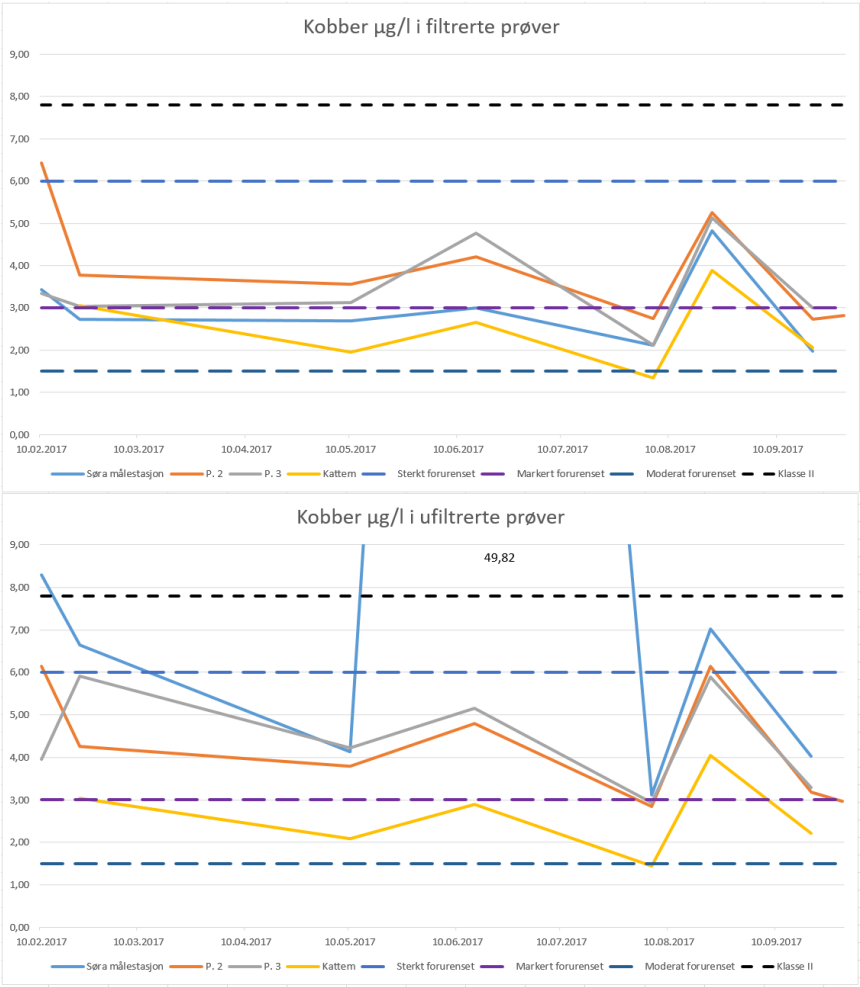
Tabell 5.3: Konsentrasjoner målt ved Leirbekken og utløpet ved Kattem i $\mu g/l$

	Leirbekken						Utløp ved Kattem					
Grunnstoff	Ufiltrert			0,45um			Ufiltrert			0,45um		
	Min	G.snitt	Maks	Min	G.snitt	Maks	Min	G.snitt	Maks	Min	G.snitt	Maks
Bor	50,2	53,2	58,0	48,3	50,8	55,5	24,6	26,7	29,3	24,6	26,5	28,4
Magnesium	22346	24007	26645	19445	20405	22187	12677	14402	16895	12498	14341	17041
Aluminium	3997,60	4238,21	4708,46	3,03	3,94	4,48	156,39	198,17	280,13	7,34	9,09	10,23
Silisium	11902	12483	13535	4748	5056	5643	5921	6031	6172	5558	5743	5978
Fosfor	80,35	121,21	201,20	4,35	5,03	5,40	11,76	13,75	15,19	3,88	4,98	5,99
Svovel	21662	22817	25061	22160	23219	25029	11453	13779	17964	11655	13861	17953
Klor	48065	55320	59108	49461	56697	60541	18169	22047	26257	18357	21771	25056
Kalium	11033	11864	13072	8032	8668	9439	7318	7898	8291	7378	8067	8811
Kalsium	96198	99500	105737	92649	94735	97754	69858	70716	71947	69717	70738	71817
Scandium	0,585	0,649	0,709	0,009	0,010	0,012	0,024	0,033	0,040	0,012	0,022	0,035
Titan	262,133	269,864	284,726	0,088	0,126	0,145	9,237	11,923	17,082	0,217	0,233	0,251
Vanadium	12,523	13,252	14,473	0,293	0,430	0,501	0,610	0,834	1,128	0,196	0,253	0,319
Krom	15,751	16,485	17,896	0,082	0,099	0,108	0,700	1,018	1,313	0,144	0,214	0,279
Mangan	219,86	230,82	252,37	44,87	105,00	135,29	277,68	326,02	398,17	277,57	324,32	394,08
Jern	5944,95	6426,89	7371,73	2,99	4,32	5,01	1593,82	2274,46	2829,08	881,29	1546,09	2082,76
Kobalt	3,97	4,23	4,70	0,14	0,23	0,27	0,89	1,41	1,87	0,73	1,24	1,71
Nikkel	19,94	20,91	22,56	3,57	3,65	3,75	1,79	2,93	3,53	1,27	2,34	3,11
Kobber	9,22	9,44	9,62	0,90	1,11	1,22	1,16	1,97	2,96	0,50	0,87	1,35
Sink	15,826	17,219	19,901	-0,432	-0,346	-0,285	1,418	2,690	3,894	0,677	1,336	1,891
Gallium	1,145	1,194	1,276	0,011	0,012	0,014	0,061	0,073	0,093	0,023	0,025	0,026
Arsen	1,115	1,205	1,366	0,543	0,615	0,661	0,661	0,854	1,106	0,528	0,626	0,780
Brom	212,1	218,5	231,3	208,0	210,0	211,8	80,0	92,3	99,3	78,7	88,6	94,8
Selenium	0,212	0,216	0,225	0,205	0,219	0,243	0,104	0,153	0,246	0,079	0,164	0,268
Rubinium	23,32	25,31	28,84	5,09	5,45	6,08	4,38	5,36	6,53	4,11	4,92	5,84
Strontium	274	289	313	268	278	296	281	289	301	284	291	301
Yttrium	2,55	2,87	3,49	0,04	0,12	0,15	0,27	0,33	0,38	0,13	0,18	0,21
Molybden	0,95	1,09	1,17	1,14	1,31	1,41	0,66	0,98	1,37	0,68	1,04	1,49
Kadmium	0,0221	0,0262	0,0339	0,0022	0,0031	0,0036	0,0042	0,0066	0,0092	0,0024	0,0038	0,0047
Tinn	0,0250	0,0277	0,0291	0,0019	0,0045	0,0059	0,0059	0,0073	0,0098	0,0014	0,0025	0,0031
Antimon	0,1092	0,1413	0,1595	0,1138	0,1653	0,1919	0,0486	0,1089	0,1712	0,0597	0,1112	0,1781
Cesium	1,023	1,122	1,301	0,012	0,014	0,019	0,055	0,072	0,096	0,031	0,042	0,051
Barium	102,3	113,3	132,6	64,8	70,4	81,4	31,4	34,7	37,5	30,0	33,2	35,4
Lantan	5,4214	5,9552	6,9020	0,0109	0,0311	0,0419	0,2805	0,3521	0,4914	0,0571	0,0863	0,1098
Cerium	119,883	132,613	156,683	0,176	0,579	0,783	7,094	8,745	11,675	1,766	2,490	2,906
Praseodym	1,2418	1,3668	1,6124	0,0026	0,0085	0,0116	0,0753	0,0932	0,1244	0,0181	0,0263	0,0314
Neodym	5,0069	5,5086	6,4323	0,0137	0,0387	0,0516	0,3265	0,3958	0,5073	0,0760	0,1204	0,1451
Terbium	0,1090	0,1213	0,1442	0,0007	0,0020	0,0027	0,0082	0,0100	0,0119	0,0031	0,0047	0,0056
Holmium	0,1018	0,1140	0,1371	0,0013	0,0031	0,0041	0,0100	0,0122	0,0145	0,0046	0,0067	0,0079
Ytterbium	0,2362	0,2655	0,3227	0,0046	0,0119	0,0159	0,0335	0,0430	0,0491	0,0191	0,0268	0,0310
Lutetium	0,0348	0,0393	0,0480	0,0013	0,0023	0,0031	0,0064	0,0080	0,0093	0,0034	0,0052	0,0065
Wolfram	0,0236	0,0399	0,0481	0,0279	0,0597	0,0771	0,0255	0,0281	0,0301	0,0231	0,0281	0,0306
Gull	0,0008	0,0013	0,0021	0,0006	0,0012	0,0022	0,0002	0,0004	0,0006	0,0002	0,0003	0,0005
Kvikksølv	0,0125	0,0192	0,0273	0,0408	0,0462	0,0517	0,0078	0,0131	0,0161	0,0084	0,0150	0,0231
Thallium	0,1054	0,1175	0,1384	0,0070	0,0080	0,0091	0,0061	0,0107	0,0155	0,0026	0,0051	0,0074
Bly	2,2071	2,5623	3,2578	0,0271	0,0427	0,0507	0,0984	0,1261	0,1805	0,0129	0,0146	0,0161
Thorium	0,8688	1,0050	1,1790	0,0037	0,0064	0,0080	0,0308	0,0413	0,0560	0,0136	0,0158	0,0182
Uran	4,475	4,687	4,983	4,286	4,442	4,694	0,481	0,665	0,796	0,478	0,669	0,814

Tabell 5.4: Konsentrasjoner målt ved Heggstadbekken ved Søra og Heggstadbekken rørutløp i $\mu g/l$

Grunnstoff	Heggstadbekken ved Søra						Heggstadbekken rørutløp					
	Ufiltrert			0,45um			Ufiltrert			0,45um		
	Min	G.snitt	Maks	Min	G.snitt	Maks	Min	G.snitt	Maks	Min	G.snitt	Maks
Bor	175,6	399,4	630,4	175,1	397,0	635,8	92,8	105,1	117,4	91,2	101,7	112,1
Magnesium	8692	15318	19326	8750	15024	18991	926	7102	13277	44	5601	11159
Aluminium	57,74	262,24	581,05	17,79	55,93	146,82	85,53	1477,47	2869,40	5,99	7,63	9,27
Silisium	4858	5730	6795	4615	5462	6284	1322	4229	7137	964	2051	3138
Fosfor	9,14	14,51	17,94	7,63	9,84	14,50	15,06	199,91	384,76	4,78	9,82	14,85
Svovel	14748	23014	41512	13825	23389	43809	7402	70099	132797	6901	67430	127960
Klor	39017	64692	98163	37283	63684	94547	22493	160262	298031	22909	145369	267829
Kalium	20109	27619	31900	20421	27287	32430	10630	68404	126179	8395	65794	123192
Kalsium	40643	55291	60645	40440	53546	59488	74385	199058	323732	65829	180172	294515
Scandium	0,007	0,011	0,020	0,006	0,009	0,012	0,015	0,319	0,623	0,008	0,020	0,032
Titan	2,597	11,760	31,145	0,303	0,366	0,439	4,392	65,234	126,076	0,061	0,108	0,155
Vanadium	0,794	1,941	3,197	0,643	1,380	2,857	0,338	5,773	11,208	0,094	0,110	0,126
Krom	0,567	2,811	6,222	0,359	2,090	5,849	11,152	20,718	30,285	0,310	14,721	29,131
Mangan	68,21	174,42	287,23	44,42	150,46	279,41	21,09	279,53	537,97	0,10	193,68	387,26
Jern	185,19	469,10	1026,72	13,24	20,22	33,23	256,76	9043,08	17829,39	67,99	3951,23	7834,47
Kobalt	0,79	1,13	1,43	0,67	0,98	1,39	6,73	7,62	8,52	2,05	5,63	9,22
Nikkel	3,20	4,59	5,19	2,82	4,12	5,30	1,80	8,38	14,97	1,61	3,05	4,48
Kobber	4,07	6,15	8,36	3,87	5,41	8,22	9,76	15,88	22,01	1,85	5,80	9,75
Sink	1,979	4,883	9,632	0,190	0,817	1,093	2,712	52,575	102,439	-0,440	9,895	20,229
Gallium	0,093	0,184	0,312	0,081	0,136	0,189	0,055	0,397	0,738	0,028	0,029	0,031
Arsen	0,792	1,157	1,660	0,696	0,990	1,248	0,250	1,722	3,194	0,152	0,370	0,588
Brom	229,4	465,4	716,8	246,5	466,3	732,7	164,8	265,4	366,1	170,6	281,0	391,4
Selenium	0,306	0,347	0,450	0,295	0,384	0,561	0,235	0,855	1,475	0,188	0,847	1,505
Rubinium	18,19	29,20	56,61	17,45	29,25	60,02	12,56	193,38	374,20	7,31	186,10	364,88
Strontium	337	430	640	325	425	659	302	4280	8257	271	4195	8119
Yttrium	0,08	0,16	0,33	0,03	0,05	0,07	0,10	1,34	2,59	0,05	0,06	0,08
Molybden	5,96	19,62	60,13	6,14	20,24	62,18	1,45	155,84	310,24	2,47	154,18	305,88
Kadmium	0,0121	0,0225	0,0453	0,0099	0,0194	0,0428	0,1047	0,1304	0,1561	0,0109	0,0810	0,1510
Tinn	0,0179	0,0250	0,0279	0,0125	0,0185	0,0272	0,0182	0,1109	0,2036	0,0137	0,0435	0,0732
Antimon	0,4666	0,6080	0,6935	0,4612	0,6013	0,6660	0,1071	0,4188	0,7305	0,0867	0,3457	0,6047
Cesium	0,053	0,124	0,196	0,048	0,107	0,190	0,402	1,686	2,969	0,045	1,528	3,010
Barium	29,3	38,8	49,2	27,0	36,2	47,3	103,7	181,4	259,1	60,9	181,3	301,8
Lantan	0,0639	0,2145	0,5555	0,0111	0,0185	0,0243	0,0652	2,1695	4,2737	0,0033	0,0140	0,0247
Cerium	0,954	4,377	12,143	0,139	0,244	0,381	1,303	6,616	11,930	0,009	0,024	0,039
Praseodym	0,0141	0,0502	0,1302	0,0025	0,0045	0,0067	0,0146	0,5797	1,1448	0,0004	0,0033	0,0062
Neodym	0,0578	0,2031	0,5223	0,0136	0,0224	0,0312	0,0645	2,2478	4,4311	0,0013	0,0141	0,0268
Terbium	0,0019	0,0051	0,0127	0,0005	0,0009	0,0012	0,0015	0,0501	0,0986	0,0001	0,0007	0,0013
Holmium	0,0031	0,0060	0,0133	0,0012	0,0019	0,0022	0,1004	1,5551	3,0098	0,0001	0,0016	0,0031
Ytterbium	0,0156	0,0218	0,0400	0,0066	0,0104	0,0134	0,0092	0,1442	0,2791	0,0003	0,0065	0,0127
Lutetium	0,0030	0,0040	0,0066	0,0014	0,0022	0,0026	0,0004	0,0243	0,0482	0,0001	0,0013	0,0026
Wolfram	0,3376	0,3709	0,4167	0,3398	0,3933	0,4840	0,0013	0,2000	0,3987	0,2438	0,3324	0,4209
Gull	0,0006	0,0021	0,0061	0,0005	0,0045	0,0155	0,0001	0,0025	0,0049	0,0009	0,0062	0,0116
Kvikksølv	0,0148	0,0540	0,0970	0,0260	0,0405	0,0681	0,0019	0,0131	0,0242	-0,0005	0,0075	0,0155
Thallium	0,0147	0,0184	0,0239	0,0137	0,0160	0,0177	0,0421	0,0656	0,0891	0,0064	0,0475	0,0886
Bly	0,1218	0,3952	0,7883	0,0245	0,0647	0,1359	0,3556	3,5676	6,7796	0,0120	0,1115	0,2110
Thorium	0,0052	0,0155	0,0411	0,0022	0,0040	0,0055	0,0099	0,4116	0,8134	0,0020	0,0033	0,0046
Uran	1,944	2,779	3,245	1,895	2,733	3,224	0,065	0,402	0,739	0,006	0,253	0,500

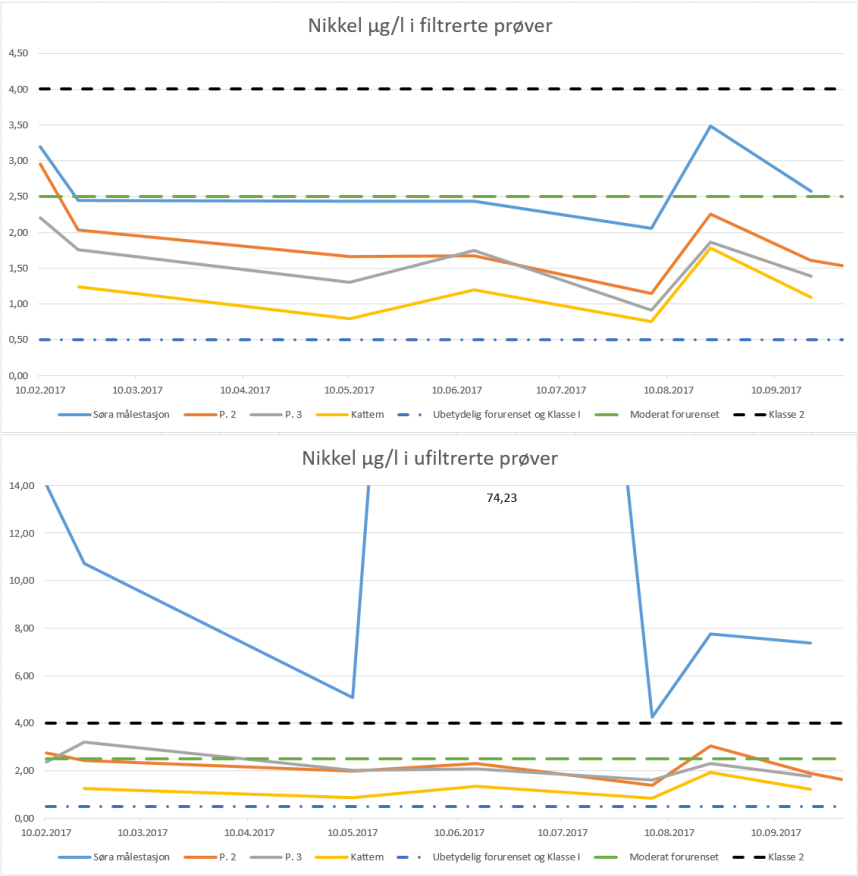
5.1 Kobber



Figur 5.1: Målt kobber i filtrerte og ufiltrerte prøver

Det er minst kobber ved Kattem i både filtrerte og ufiltrerte prøver. Kobber går for alle filterte prøver og de fleste ufiltrerte inn under klasse II. Ved Kattem går nesten all kobber igjennom et $0,45\mu m$ filter. Det er derimot større forskjeller lengre ned i bekken, spesielt ved Søra målestasjon. Det ble målt høyere verdier enn vanlig av kobber i den ufiltrerte prøven den 15.06.2017.

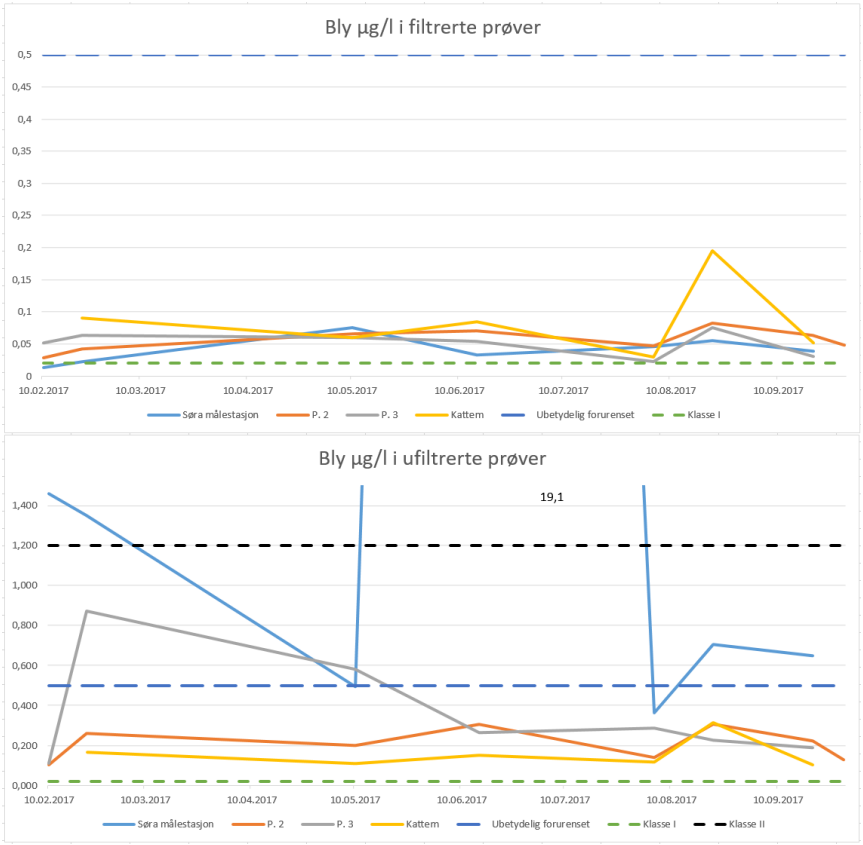
5.2 Nikkel



Figur 5.2: Målt nikkel i filtrerte og ufiltrerte prøver

Verdier for nikkel går generelt sett opp for både filtrerte og ufiltrerte prøver nedover bekken. En stor andel av nikkel er enten løst eller bundet til så små partikler at de går igjennom et $0,45\mu m$ filter. Et unntak er Søra målestasjon som tidvis har en del større konsentrasjoner i de ufiltrerte prøvene. Ved Kattem er nesten all nikkel løst eller bundet til mindre partikler. Nikkel holder seg for filtrerte prøver innenfor klasse II. Det ble også målt en svært høy verdi av nikkel den 15.06.2017 i den ufiltrerte prøven i Søra målestasjon.

5.3 Bly



Figur 5.3: Målt bly i filtrerte og ufiltrerte prøver

For filtrerte prøver ligger blyverdiene rett ovenfor klasse I (bakgrunn). Det er lite bly bundet til større partikler ved Kattem. Den 22.08.2017 ble det målt en høyere verdi enn vanlig ved Kattem. Søra målestasjon og tildels prøvepunkt 3 skiller seg ut ved å tidvis ha høyere verdier av bly i ufiltrerte prøver. Det ble også målt en høyere verdi av bly den 15.06.2017 i Søra målestasjon.

5.4 Kadmium

Figur 5.4: Målt kadmium i filtrerte og ufiltrerte prøver

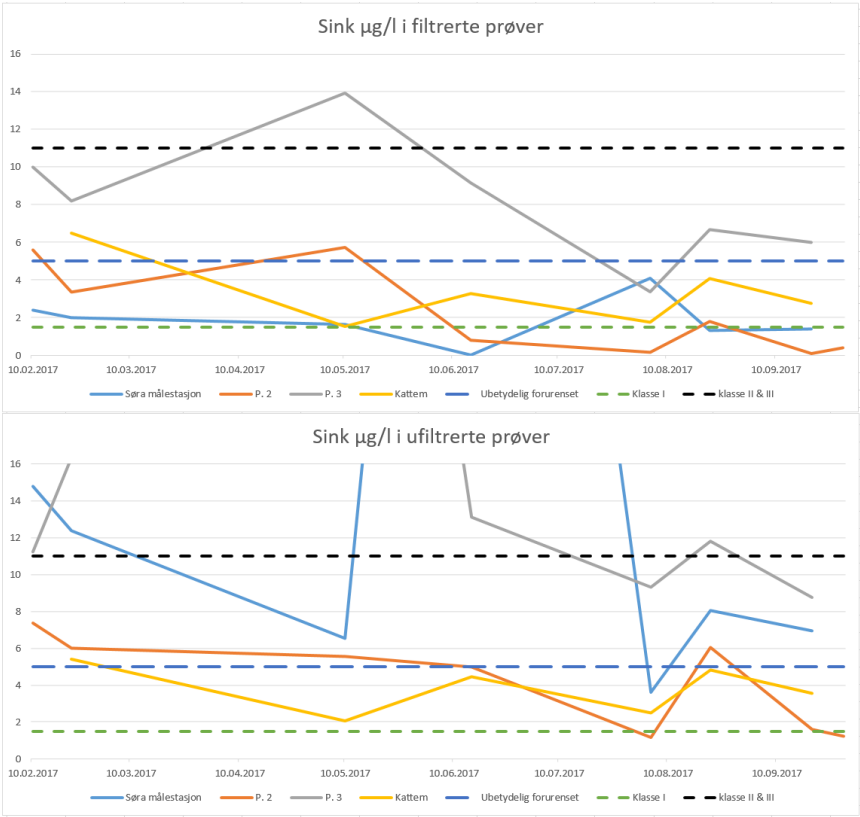
Innhold av kadmium ved Kattem er for det meste løst eller bundet til partikler mindre enn $0,45\mu m$. Den 10.02.2017 ble det målt høyere verdier av kadmium i både den filtrerte og den ufiltrerte prøven ved prøvepunkt 3 som var det øverste punktet i bekken prøvetatt denne datoen. Det ble også målt noe høyere enn vanlig nivåer på prøvepunkt 2 denne datoen. Den 15.06.2017 ble det målt høyere verdier av kadmium i den ufiltrerte prøven ved Søra målestajon.

5.5 Krom

Figur 5.5: Målt krom i filtrerte og ufiltrerte prøver

For krom skiller den 22.08.2017 seg ut for filtrerte prøver med høyere verdier ved alle prøvepunkt. Nivåene er like ovenfor klasse I for filtrerte prøver. For ufiltrerte prøver skiller Søra målestasjon seg ut med høyere verdier, spesielt den 15.06.2017.

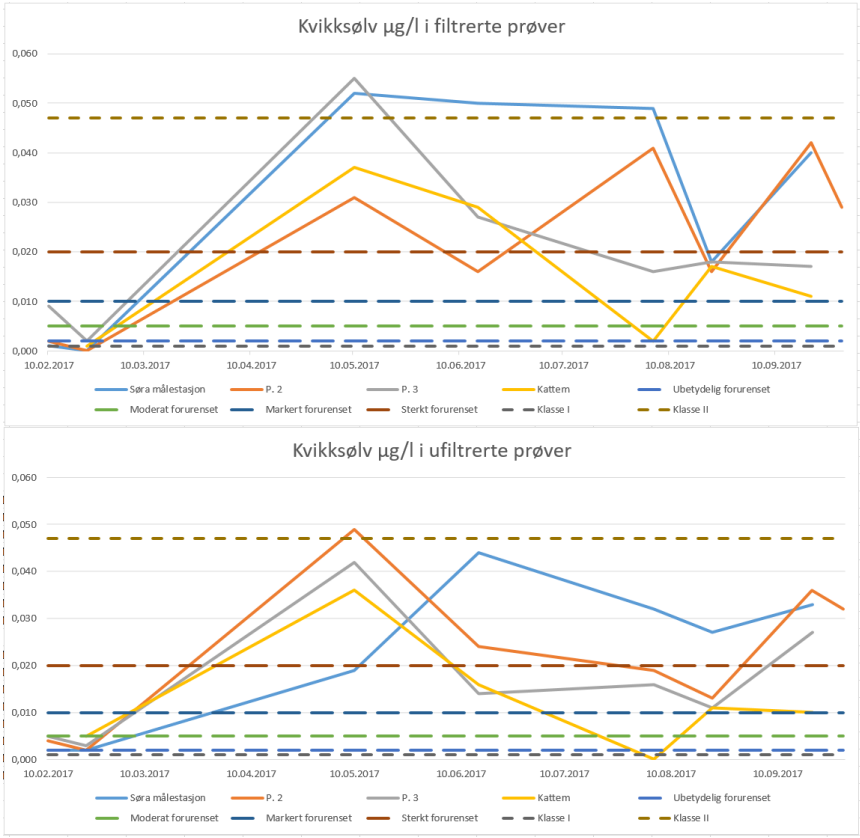
5.6 Sink



Figur 5.6: Målt sink i filtrerte og ufiltrerte prøver

Sink har høyere verdier ved prøvepunkt 3 enn ved prøvepunkt 2 som ligger under og også Kattem som ligger over. For filtrerte prøver ligger verdiene som regel i klasse II/III, men den 10.05.2017 ble det målt 13.94 $\mu g/l$ som havner i klasse IV. For ufiltrerte prøver ble det målt høyere verdier enn vanlig den 10.05.2017 ved prøvepunkt 3 og den 15.06.2017 for Søra målestasjon.

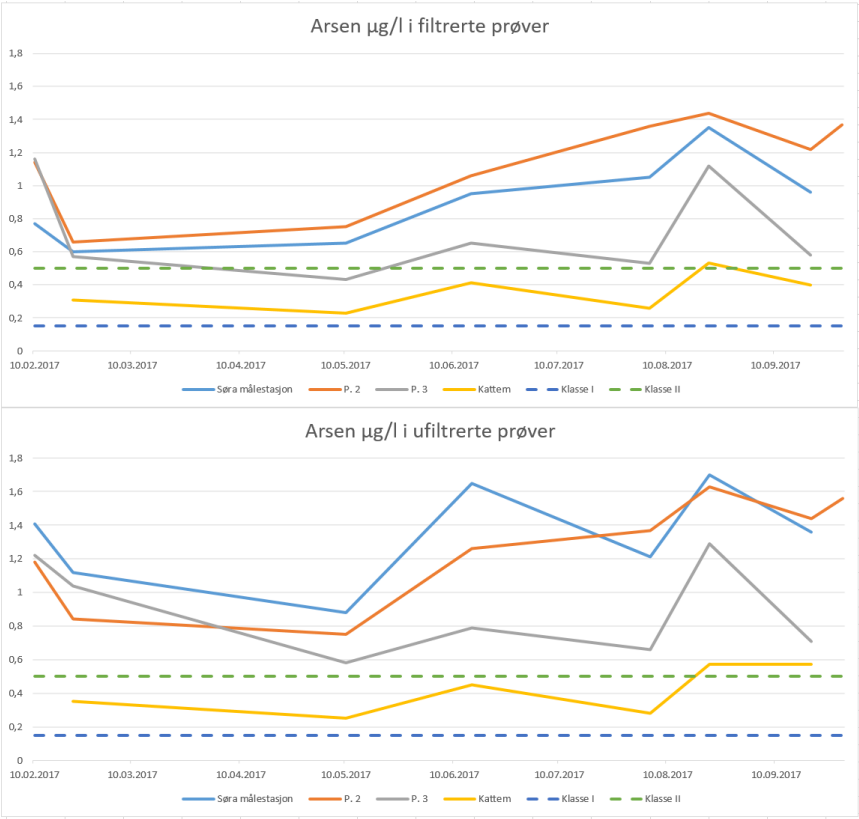
5.7 Kvikksølv



Figur 5.7: Målt kvikksølv i filtrerte og ufiltrerte prøver

Kvikksølv har lavere verdier for både filtrert og ufiltrerte prøver i februar i forhold til senere, med et klart skille. Flere verdier er høyere for filtrerte prøver enn for ufiltrerte.

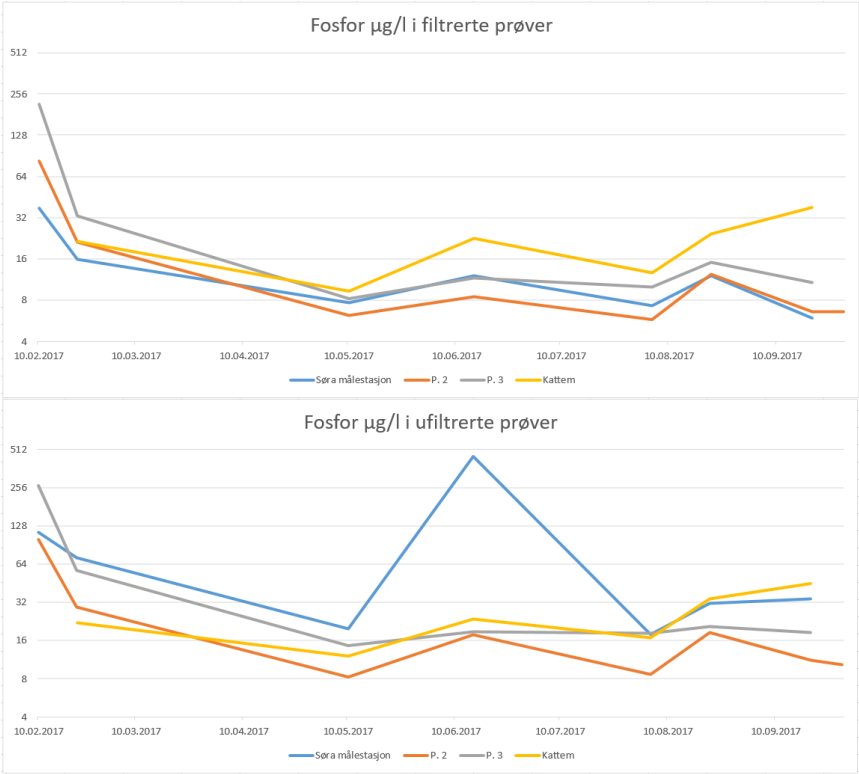
5.8 Arsen



Figur 5.8: Målt arsen i filtrerte og ufiltrerte prøver

Verdiene for arsen er lavest ved Kattem. Prøvepunkt 2, 3 og Kattem har relativt like verdier i mellom filtrerte og ufiltrerte prøver. Arsenkonsentrasjonen i filtrerte prøver ser ut til å stige nedover bekken før den synker litt ved Søra målestasjon. Søra målestasjon skiller seg ut ved å tidvis ha en litt høyere konsentrasjon i ufiltrerte enn filtrerte prøver.

5.9 Fosfor

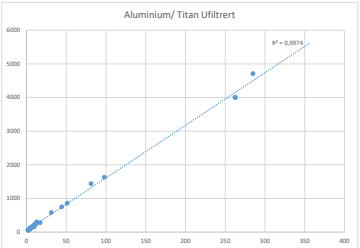


Figur 5.9: Målt fosfor i filtrerte og ufiltrerte prøver

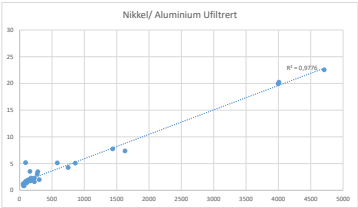
Det ble målt høyere verdier for fosfor den 10.02.2017 enn vanlig. Verdiene var høyest ved prøvepunkt 3 som var det punktet lengst oppstrøms i bekken målt denne datoen. Verdiene synker så nedover bekken for filtrerte prøver. Verdiene er i stor grad like for filtrerte og ufiltrerte prøver for Prøvepunkt 2, 3 og Kattem. Det ble målt en høyere enn normalt verdi av fosfor den 15.06.2017 i den ufiltrerte prøven tatt i Søra målestasjon. Merk at x-aksen har en logaritmisk skala og starter på 4 $\mu g/l$.

5.10 Korrelasjoner

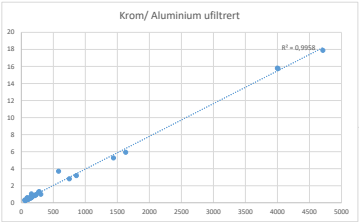
Aluminium og jern brukes ofte til å vurdere andelen av leire i sedimentprøver i havet. På grunn av et stort bidrag av jern fra Heggstadmoen (se tabell 5.4) ble aluminium brukt for se bidraget av andre metaller fra leire i Søra. Dette er gjort på samme måte som i K. Halvorsen (2015). Aluminium skal korrelere med titan i sedimenter. Det ble derfor gjort en korrelasjon i mellom disse for å verifisere at aluminium ikke kommer fra andre kilder. Aluminium og titan korrelerer veldig sterkt (figur 5.10(a)). Nikkel og aluminium korrelerer



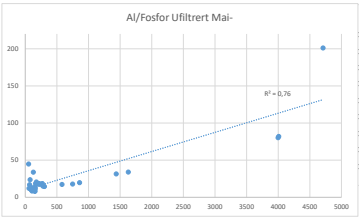
(a)



(b)



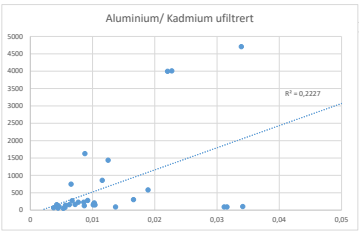
(c)



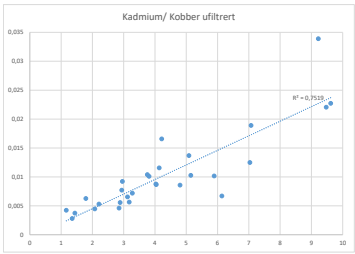
(d)

Figur 5.10: Korrelasjoner i mellom aluminium og (a) titan; (b) nikkel; (c) krom; og (d) fosfor.

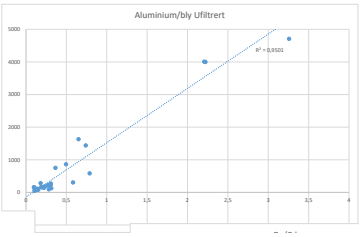
relativt sterkt (figur 5.10(b)). Krom og aluminium korrelerer veldig sterkt (figur 5.10(c)). Fosfor og aluminium korrelerer derimot bare til en viss grad (figur 5.10(d)). Kadmium og aluminium korrelerer ikke (figur 5.11(a)). Kadmium og kobber korrelerer derimot til en viss grad (figur 5.11(b)). Bly og aluminium korrelerer til en viss grad (figur 5.11(c)). Sink og aluminium korrelerer i mindre grad (figur 5.11(d)). Kobber og aluminium korrelerer dårlig (ikke vist i figur, R=0,32). Arsen og aluminium korrelerer svært dårlig (ikke vist i figur, R=0,06).



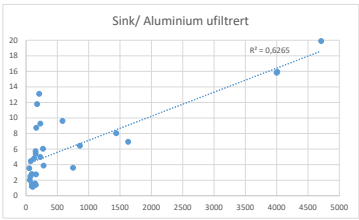
(a)



(b)



(c)

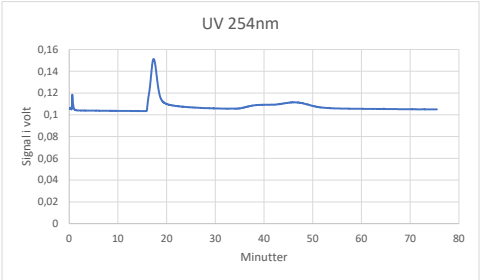


(d)

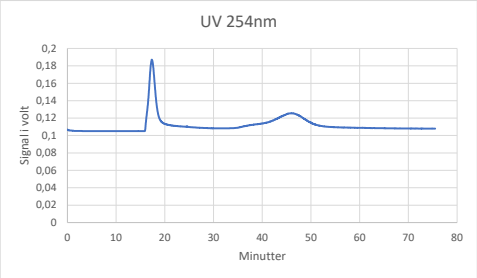
Figur 5.11: Korrelasjoner i mellom (a) aluminium og kadmium; (b) kadmium og kobber; (c) aluminium og bly; og (d) sink og aluminium.

5.11 Fraksjoner

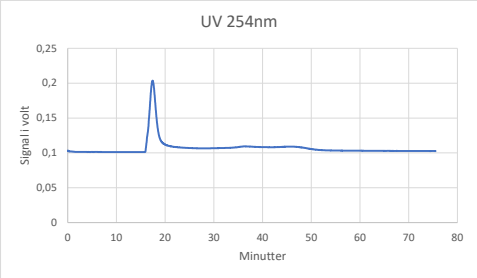
Resultater fra instrumenter på asymmetric flow field-flow fractionation (AF4) gjort med prøver tatt den 20.03.2018. Størrelsesfordelingen var lik for alle prøver. Fraksjon 1 ser ut til å være for det meste humus. Denne fraksjonen gjør utslag på UV og OCD ved rundt 20 minutter (figur 5.12 og 5.13). Fraksjon 2 er partikler større enn humuspartiklene men fortsatt for små for estimering av partikkelstørrelse med light scattering (LS). Fraksjon 2 er fraksjonen i mellom 1 og 3 og gir ingen distinktive utslag på instrumentene. Fraksjon 3 detekteres med LS ved 40-50 minutter (figur 5.14) og ble estimert til å inneholde partikler i størrelsene 200-450 nm. Volum, antall injeksjoner og start-slutt for hver fraksjon kan man se i tabell 5.5



(a)

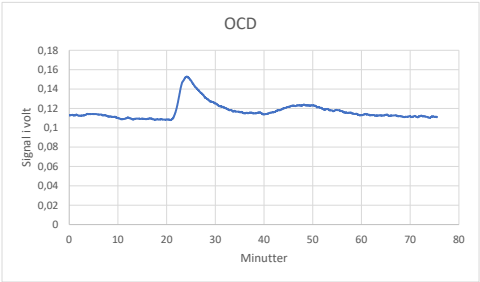


(b)

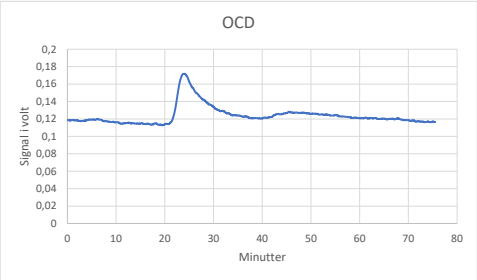


(c)

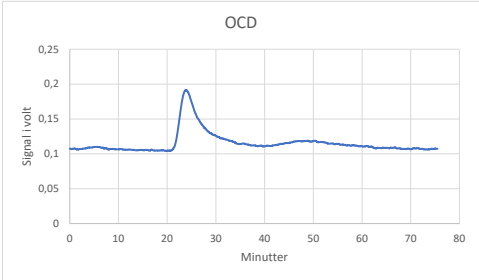
Figur 5.12: UV (ultra fiolett) signal målt for de ulike prøvene fra (a) Søra målestasjon; (b) prøvepunkt 2; og (c) prøvepunkt 3.



(a)

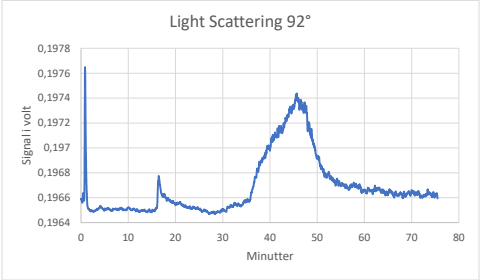


(b)

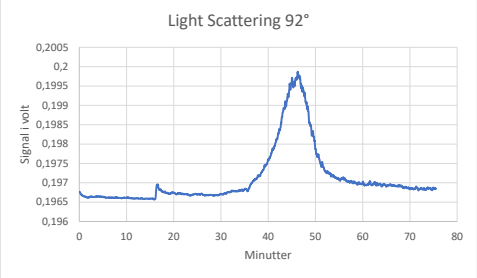


(c)

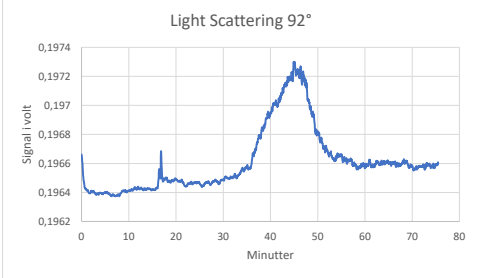
Figur 5.13: OCD (organic carbon detection) signal målt for de ulike prøvene fra (a) Søra målestasjon; (b) prøvepunkt 2; og (c) prøvepunkt 3.



(a)



(b)



(c)

Figur 5.14: LS (light scattering) signal målt for de ulike prøvene (a) Søra målestasjon; (b) prøvepunkt 2; og (c) prøvepunkt 3.

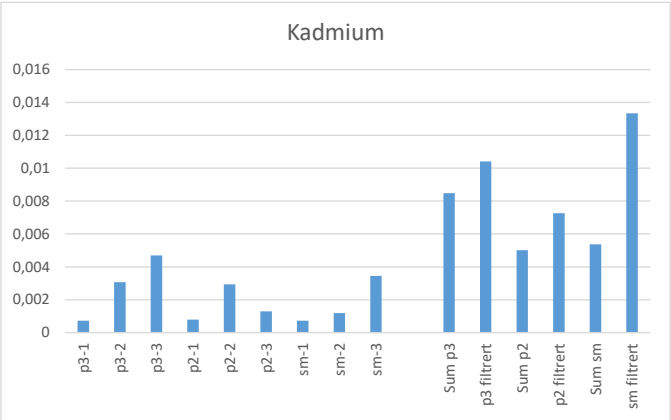
Tabell 5.5: Fraksjoner fra fraksjonering

	Start	Slutt	Tid	Volum	Injeksjoner	Injeksjonsvolum	Fraksjonsvolum
	min	min	min	mL		mL	mL
Topp 1	35,9	40	4,1	2,05	2,0	10,0	4,1
Topp 2	40	54	14	7	2,0	10,0	14,0
Topp 3	55	70	15	7,5	2,0	10,0	15,0

5.12 Konsentrasjoner i fraksjoner

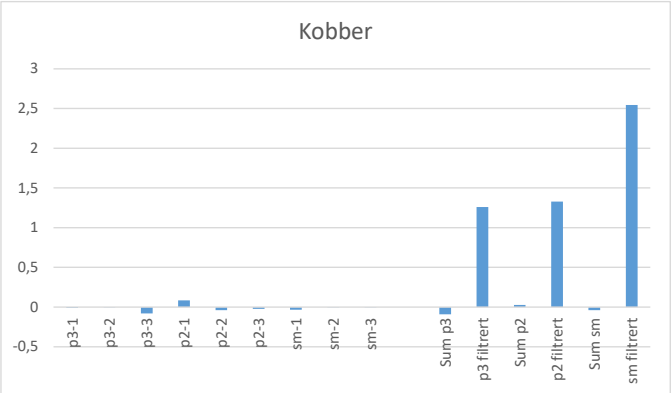
Resultatene fra analysen av de fraksjonerte prøvene presenteres med fraksjon 1, 2 og 3 for hvert prøvepunkt. Fraksjon 1 er antatt å for det meste være humus. Fraksjon 2 er større enn humus men mindre enn 200 nm. Fraksjon 3 er estimert til å inneholde partikler i mellom 200-450 nm. De tre første stolpene i grafene er fraksjon 1, 2 og 3 fra prøvepunkt 3, de neste tre for prøvepunkt 2 og de siste for Søra målestasjon. Det er dermed et mellomrom for å markere overgangen til sammenligningen av fraksjonene mot de filtrerte prøvene tatt på vanlig måte med et $0.45\mu m$ filter. Denne sammenligningen starter med å vise summen av fraksjonene fra prøvepunkt 3, for dermed å vise konsentrasjonen i den filtrerte prøven tatt samtidig ved prøvepunkt 3. Parvis følger prøvepunkt 2 og Søra målestasjon på samme måte.

Siden fraksjon 3 som er fraksjonen med de største partiklene er estimert til å ha størrelsene 200-450 nm, er tanken at summen av fraksjonenes konsentrasjon ved hvert prøvepunkt vil være sammenlignbar med en prøve tatt med et $0.45\mu m$ filter. Når summen av fraksjonenes konsentrasjon er lavere enn konsentrasjonen i den filtrerte prøven, indikerer det at resterende fraksjon er løst som ioner, eller tilhørende humuspartikler mindre enn 1 kDa som vil passere membranen i fraksjoneringsinstrumentet.



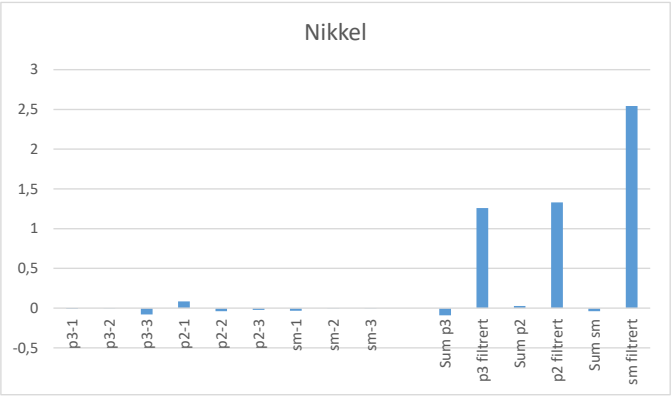
Figur 5.15: Kadmium i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$)

Konsentrasjonen av kadmium (figur 5.15) varierer for de ulike prøvepunktene. Det ser ut til at kadmium finnes i større grad i fraksjon 2 og 3 enn fraksjon 1. Summen av fraksjonene tilsvarer nesten prøven filtrert med $0.45\mu m$ filter for prøvepunkt 2 og 3.



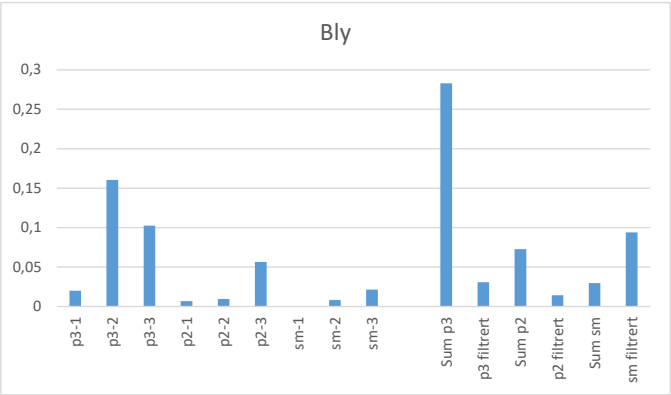
Figur 5.16: Kobber i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$)

Kobber ser ikke ut til å finnes i partikelfraksjonene (figur 5.16). Det indikeres derfor at målinger av kobber i filtrerte prøver fra Søra vil vise løst kobber.



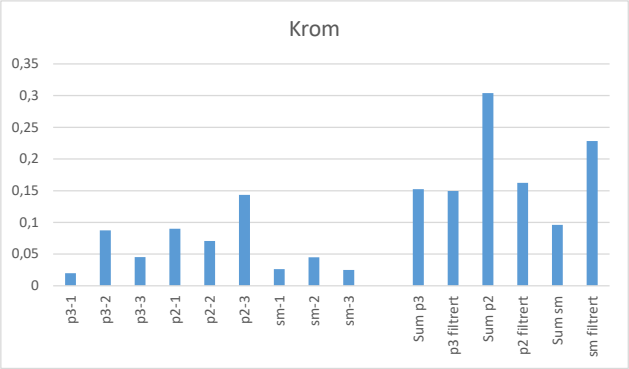
Figur 5.17: Nikkel i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$)

Nikkel ser ikke ut til å finnes i partikkelfraksjonene (figur 5.17). Det indikeres derfor at målinger av nikkel i filtrerte prøver fra Søra vil vise løst nikkel.



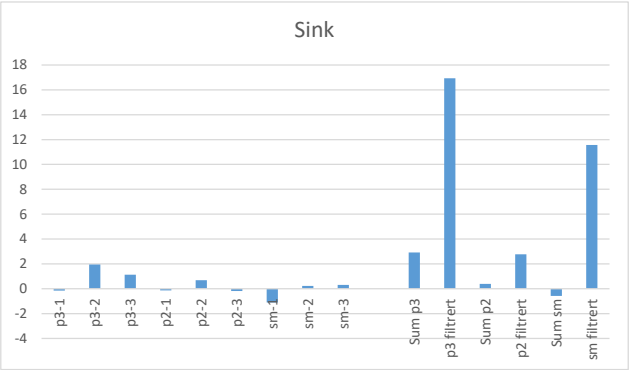
Figur 5.18: Bly i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$)

Bly ser ut til å ikke i stor grad finnes på humusfraksjonen (figur 5.18). Summen av fraksjonene overgår den filtrerte prøven i stor grad for prøvepunkt 2 og 3.



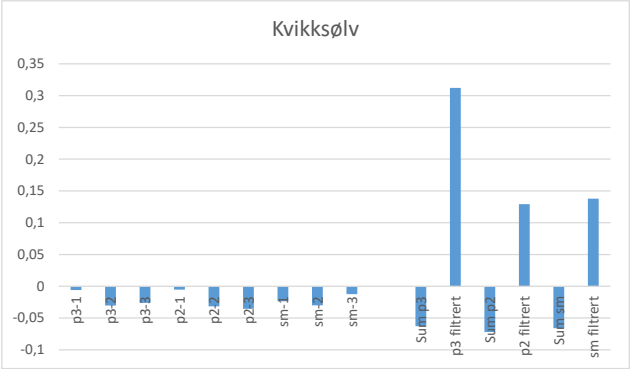
Figur 5.19: Krom i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$)

For prøvepunkt 3 er konsentrasjonen av krom i fraksjonene lik den filtrerte prøven (figur 5.19). Ved prøvepunkt 2 er derimot konsentrasjonen i fraksjonene nesten dobbelt så høy enn i den filtrerte prøven. Ved Søra målestasjon er derimot konsentrasjonene lavere i fraksjonene enn i den filtrerte prøven, som indikerer at det kan være krom løst som ioner der.



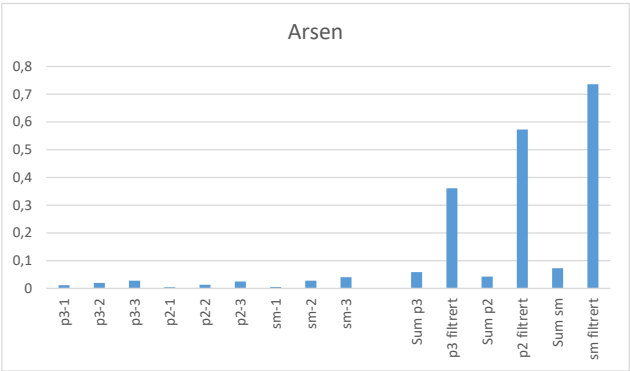
Figur 5.20: Sink i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$)

Humusfraksjonen (fraksjon 1) ser ut til å ikke inneholde sink ved noen av prøvepunktene (figur 5.20). Fraksjon 2 og 3 har bare mindre verdier. Sink ser derfor ut til å i liten grad være bundet til partikler i filtrerte prøver.



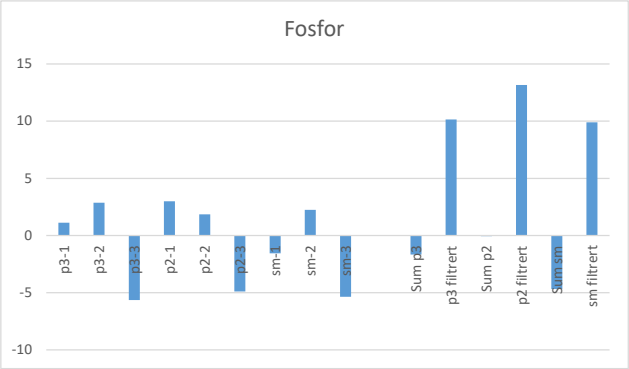
Figur 5.21: Kvikksølv i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$)

Fraksjonene for kvikksølv har gjennomgående lave negative verdier. (figur 5.21) Dette er på grunn av at blankprøven har høyere verdi enn den ukorrigerte målte verdien for kvikksølv.



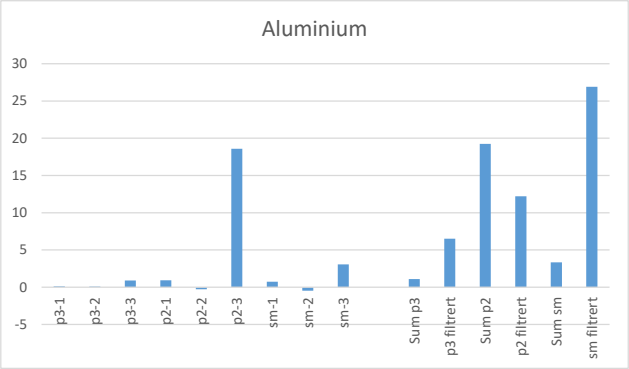
Figur 5.22: Arsen i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$)

Fraksjon 3 ser ut til å inneholde noe arsen og fraksjon 1 og 2 mindre mengder (figur 5.22). Filtrerte prøver har en god del større verdier av arsen, dette indikerer at arsen i liten grad er bundet til partikler større en 1 kDa.



Figur 5.23: Fosfor i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$)

For fraksjonene er verdiene av fosfor ved flere tilfeller negative, spesielt for fraksjon 3 (figur 5.23). Dette er fordi blankprøver hadde høyere verdier enn de faktiske prøvene. Verdiene er ikke satt til 0 på grunn av at det er sett på som viktig å vise usikkerheten i tallene. Verdiene indikerer at fosfor i stor grad ikke er bundet til partikler større enn 1 kDa.

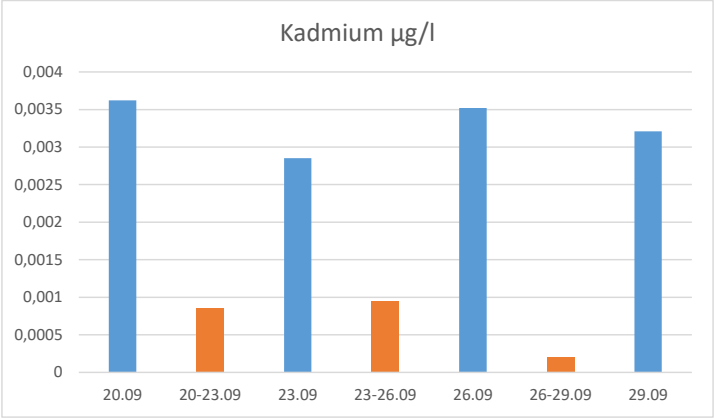


Figur 5.24: Aluminium i fraksjonerte prøver ($\mu g/l$)

Det er lave verdier av aluminium i de fleste fraksjonene, for fraksjon 3 er det derimot en relativ høy verdi ved prøvepunkt 2 (se figur 5.24). For prøvepunkt 3 og Søra målestasjon ser det ut til at størstedelen av aluminium ikke er bundet til partikler større enn 1 kDa.

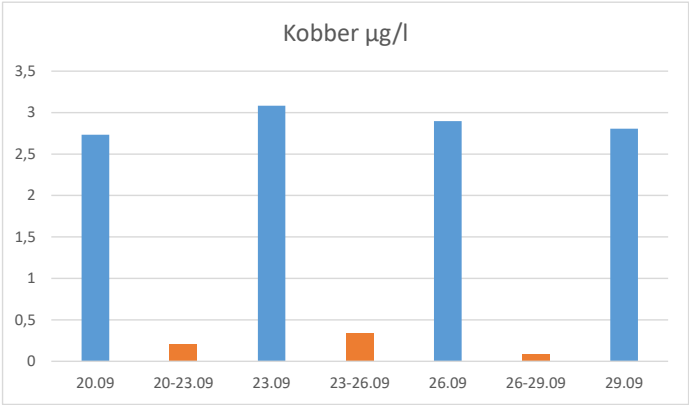
5.13 DGT

Alle DGT målinger ble tatt på prøvepunkt 2, innen tidsrommet fra 20.09.2017 til 29.09.2017. DGT-målingene er tilbakeberegnet til konsentrasjonene målt ved hjelp av ligningene nevnt i seksjon 2.3. De målte konsentrasjonene er presentert med resultatene fra prøver filtrert med $0,45\mu m$ filter. De filtrerte prøvene har blå stolper, i mens verdiene målt med DGT har oransje stolper. Hver DGT verdi ligger i mellom to verdier fra filtrerte prøver, dette er prøven tatt da DGT'en ble satt ut og da den ble tatt opp respektivt. Konsentrasjonen for DGT utsatt 20-23.09 er beregnet ut i fra gjennomsnittet av 2 DGTer, da den tredje hadde fått skade på membranen. Verdier for DGT utsatt 23-26.09 og 26-29.09 ble beregnet ut fra gjennomsnitt av 3 DGT målinger hver. Det er tatt utgangspunkt i at krom er i oksidasjonstrinnet krom(III) og dennes diffusjonskoeffisient. Diffusjonskoeffisienter for 10 °C er brukt på grunn av at dette er gjennomsnittstemperaturen meldt av yr.no. (Yr (2018))



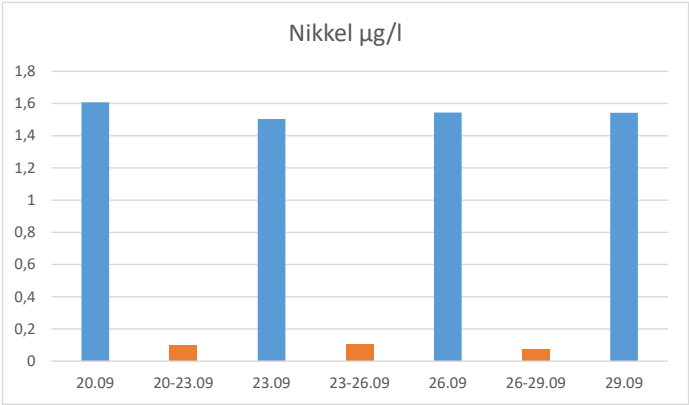
Figur 5.25: Kadmium målt med DGT. DGT-verdier i orange og filtrerte prøver i blått.

Kadmium blir i en viss grad oppkonsentrert i DGT (figur 5.25, dette vil si at det ser ut til at det finnes labile metallspecier ved prøvepunkt 2 i Søra, men størsteparten av den målte konsentrasjonen i filtrerte prøver er i mindre grad biotilgjengelig.



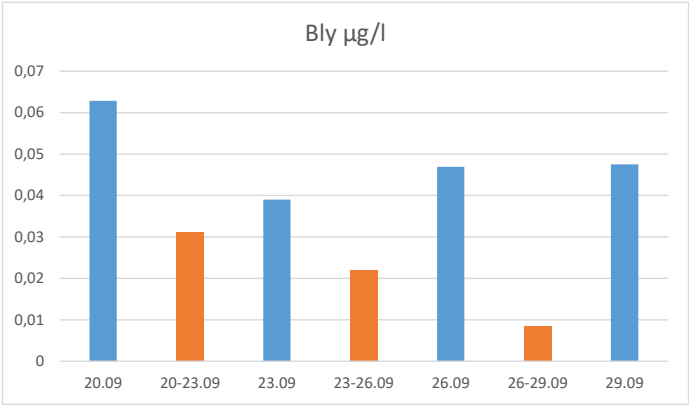
Figur 5.26: Kobber målt med DGT. DGT-verdier i orange og filtrerte prøver i blått.

Kobber blir i mindre grad oppkonsentrert i DGT (figur 5.26), andelen kobber som går igjennom et $0,45\mu m$ filter som er biotilgjengelig ser ut til å være lav.



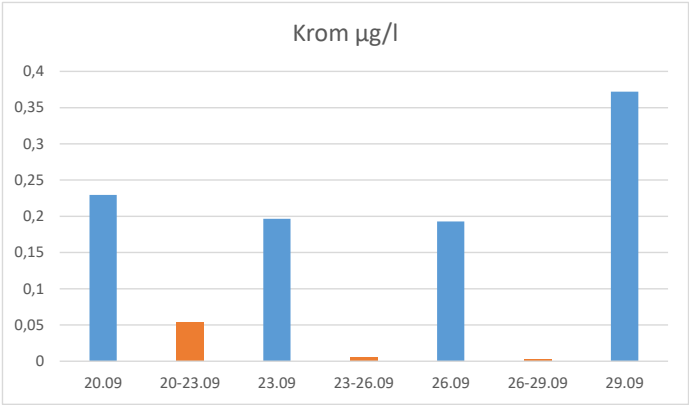
Figur 5.27: Nikkel målt med DGT. DGT-verdier i orange og filtrerte prøver i blått.

Nikkel blir i mindre grad oppkonsentrert i DGT (figur 5.27). Andelen nikkel som går igjennom et $0,45\mu m$ filter som er biotilgjengelig ser ut til å være lav.



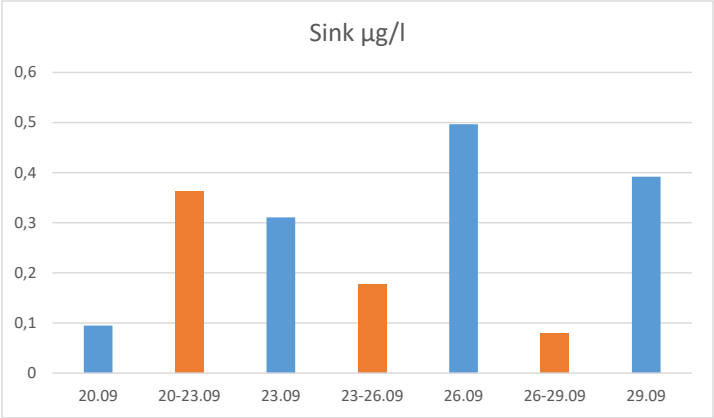
Figur 5.28: Bly målt med DGT. DGT-verdier i orange og filtrerte prøver i blått.

Bly blir i stor grad tatt opp av av DGT (figur 5.28), Av andelen bly som går igjennom et filter indikeres det at det er en større del labilt og biotilgjengelig.



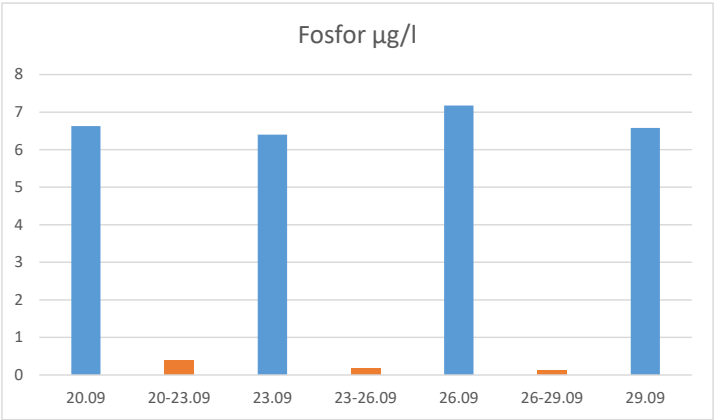
Figur 5.29: Krom målt med DGT. DGT-verdier i orange og filtrerte prøver i blått.

Det ble målt noe krom i DGT utsatt den 20 til den 23 september. For de følgende er nivået derimot veldig lavt (figur 5.29).



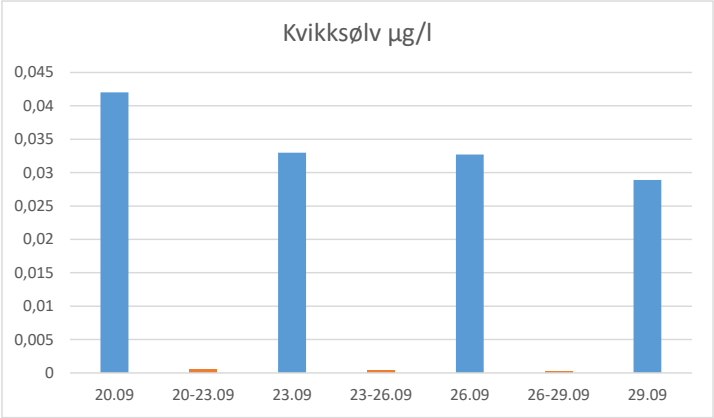
Figur 5.30: Sink målt med DGT. DGT-verdier i orange og filtrerte prøver i blått.

Det ble målt mer sink i DGT utsatt den 20 til den 23 september enn i filtrerte prøver tatt før utsetting og etter opptaking. For de følgende er derimot nivået lavere (figur 5.30).



Figur 5.31: Fosfor målt med DGT. DGT-verdier i orange og filtrerte prøver i blått.

Det ble bare målt mindre verdier av fosfor med DGT prøvetakere (figur 5.31).



Figur 5.32: Kvikksølv målt med DGT. DGT-verdier i orange og filtrerte prøver i blått.

Det ble bare målt minimale verdier av Kvikksølv med DGT prøvetakere (figur 5.32).

Kapittel 6

Diskusjon

I del 6.1 av dette kapitlet blir de ulike nivåene av tungmetaller i både filtrerte og ufiltrerte prøver i bekken Søra brukt til å klassifisere bekken etter den gjeldende veilederen fra Miljødirektoratet (tabell 2.2).
I del 6.2 blir trendene i resultatene diskutert for blant annet å kunne se hvordan ulike nedbørsmengder og mengder leire påvirker bekken. Det vil også bli sett på muligheten til å antyde en eventuell biotilgjengelighet for metallene og fosfor.
I del 6.3 blir resultatene fra denne studien sammenlignet med resultater fra Trondheim kommunes resultater fra prøvetaking i 2006.
I del 6.4 blir påvirkningene fra Leirbekken og Heggstadbekken på Søra diskutert.
I del 6.5 blir ulike feilkilder og påvirkninger på resultatene diskutert.

6.1 Generell karakteristikk av Søra

Verdiene for kobber, nikkel, bly, kadmium, krom, sink og kvikksølv holder seg for det meste innen klasse II for filtrerte prøver, etter Miljødirektoratets veileder fra 2016 (tabell 2.2). Det vil si at for de fleste metaller er det ikke toksiske nivåer i bekken Søra. Verdiene for arsen holder seg derimot relativt stabilt ved klasse III i den lavere delen av bekken. Dette vil si at man kan forvente kroniske effekter for organismer ved langtidseksponering i bekken Søra. Det er også målt noen forhøyde verdier for kvikksølv, men verdiene ligger som oftest i klasse II og er antas derfor å ikke i stor grad være bekymringsverdige.

Krom ligger etter gjennomsnittsverdier i klasse V for ufiltrerte prøver ved Søra målestasjon (tabell 5.1). Innen klasse V er man over grensen for omfattende akutte toksiske effekter ved korttidseksponering. Kobber og sink har gjennomsnittsverdier som tilsvarer klasse IV for ufiltrerte prøver tatt ved Søra målestasjon. For Sink også ved prøvepunkt 3. Når man når klasse IV har man gått over grenseverdien for akkutt toksiske effekter ved korttidseksponering. Nikkel og bly går inn under klasse III ved Søra målestasjon for ufiltrerte prøver. Det er dog ikke forklart i veileder fra hverken 1997 eller 2016 om prøver

skal være filtrerte eller ikke. For leirpåvirkede vassdrag er det ofte større forskjell i mellom filtrerte og ufiltrerte prøver. Det ser man også i Søra. Fraksjonen i mellom en filtrert og en ufiltrert prøve er hovedsaklig partikler som ikke kan gå igjennom et filter. Slike partikler er i liten grad biotilgjengelige. Man kan derfor anta at for leirpåvirkede vassdrag er det filtrerte prøver som gir best informasjon knyttet opp klassifisering av vannkvalitet.

For filtrerte prøver har sink nådd klasse IV ved et tilfelle ved prøvepunkt 3, men holder seg som regel ved klasse II (figur 5.6). Sink viser ved fraksjonering veldig lave verdier for alle fraksjonene. Det tyder på at det meste av sink som går igjennom et filter er løst og ikke bundet til partikler større en 1 kDa. Andelen sink som blir tatt opp i en DGT er også målt veldig høy i forhold til andre grunnstoff. Kombinasjonen av dette gjør at sink ser ut til å være et av de mest problematiske metallene i Søra både ut i fra klassifisering og tilsynelatende biotilgjengelighet. Når det gjelder resultatene fra DGT'ene er de tatt ved prøvepunkt 2, og det er ikke i like stor grad påvirket av sink som prøvepunkt 3. Det er også målinger ved en tørr periode og dermed ikke nødvendigvis representative ved mer nedbør. Snittverdiene for sink er innen klasse II, så selv om sink ser ut til å være verst av metallene (sett bort fra arsen) er det innenfor akseptable konsentrasjoner. I følge veilederen fra 1997 er det kobber som er det mest problematiske metallet, klassifisert som markert forurenset for filtrerte prøver og sink klassifisert som moderat forurenset. I den nye veilederen havner kobber imidlertid innen klasse II, noe som er et eksempel på forskjellene i veilederene.

Fra resultatene i denne studien er det imidlertid arsen som virker å være mest problematisk på grunn av sin klassifisering som klasse III ved Søra målestasjon, prøvepunkt 2 og for prøvepunkt 3. Ved Kattem ligger nivået på klasse II ved unntak prøven tatt den 22.08.2017 etter større mengder nedbør. Fraksjoneringen viste også at arsen for filtrerte prøver enten er løst eller bundet til partikler mindre enn 1 kDa, noe som kan bety at arsen er i større grad biotilgjengelig. Arsenkonsentrasjonene stiger nedover bekken før det blir fortynnet av leirbekken, som også har problematisk arsenkonsentrasjon etter ufiltrerte prøver, men her er en god del bundet til større partikler og filtrerte prøver viser lavere konsentrasjon. En mulig kilde for arsen i Søra er den nye steinsettingen i bekken, hvis steinene skulle vise seg å inneholde arsen.

Blykonsentrasjonen i Søra synker nedover bekken for filtrerte prøver, men stiger for ufiltrerte. Ved kattem går størstedelen av bly igjennom et $0,45\mu m$ filter sammenlignet med ufiltrerte prøver. ved Søra målestasjon er så og si alt bly bundet til partikler. Det kan være flere grunner til dette. Det kan være at bly fra kilder ovenfor kattem blir fortynnet og at bly bundet til leire ned i bekken blir med når leiren løser seg opp. Eller det kan være at bly fester seg til partikler når det møter leirholdig vann nedstrøms i bekken. Uansett så er konsentrasjonen av bly i Søra lav og er som regel rett ovenfor klasse I for filtrerte prøver etter veileder fra 2016.

DGT-resultater viser at kobber, nikkel, krom, fosfor, og kvikksølv i liten grad ser ut til å være labile, som vil si at de22 i mindre grad er biotilgjengelige. For Kadmium, bly og sink ser man dette i litt mindre grad. Det ble bare satt ut DGT ved prøvepunkt 2 i Søra. Det var også bare over 9 dager i september, så det er ikke grunnlag for å si hvordan labiliteten ser ut over forskjellige årstider og nedbørsmengder. Prøvepunkt 2 er også bare et punkt i en lengre bekk. Hvis tendensen viser seg å være lik i resten av Søra under forskjellige årstider og nedbørsmengder, vil det kunne si at ved å bare ta filtrerte prøver vil man kunne overestimere biotilgjengelighet av metaller og fosfor.

Resultater fra ICP-MS analyser av fraksjoner fra AF4 fraksjonering indikerer at kobber, nikkel, sink, kvikksølv og arsen i liten grad finnes i fraksjonene i forhold til prøver tatt med $0,45\mu m$ filter. Fraksjonene er humusfraksjonen, partikler større enn humus men mindre enn 200nm og partikler fra 200 til 450 nm. Dette kan være motstridene resultater for DGT verdiene. Det er spesielt for kobber, sink og kvikksølv på grunn av at hvis disse er frie ioner vil en DGT kunne oppkonsentrere de. Membranen i AF4-apparatet slipper derimot igjennom humuspartikler mindre enn 1 kDa. Det er mulig disse partiklene har kompleksert en større andel av disse metallene. Resultatene vil da kunne se slik ut siden humuspartikler i liten grad er labile og oppkonsentreres tregt i DGT.

Kloakkforurensing har lenge vert et problem i Søra, det har forbedret seg i stor grad i de siste årene på grunn av forbedringer i kloakksystemet. Det ble allikevel sluppet ut en del kloakk over flere dager i februar 2017. Dette kan man se ved den høye konsentrasjoen av TKB (se tabell 3.1), og en høy konsentrasjonen av fosfor (se figur 5.9). Differansen mellom filtrert og ufiltrert prøve var liten den 10. februar. Man kan dermed anta at fosfor sluppet ut er i meget stor grad biotilgjengelig. Fosfornivåene var derimot lave sommeren 2017 noe også TKB verdiene var etter mai. I september 2017 var derimot konsentrasjonen ved kattem over 40 $\mu g/l$ og det ble observert tegn til eutrofiering (se figur 3.14(b)). Verdiene for fosfor er høyest ved Kattem for filtrerte prøver, de er derimot høyest for Søra målestasjon for ufiltrerte prøver. Dette kommer muligens av at fosfor som kommer fra kloakkutslipp og avrenning osv. ved Kattem er i stor grad løst, i forhold til fosfor som kommer fra Leirbekken i form av leirebundet fosfor. Det er mulig at noe fosfor i leirbekken kommer fra avrenning fra jordbruksområder rundt bekken. Dette er derimot lite sannsynlig at er den eneste kilden, da fosfor/aluminium (se figur 5.10(d)) korrelerer betydelig hvis man ser bort fra prøver med lite aluminium (hovedsaklig fra Kattem som mottar en del kloakk) som vil si at leiren selvfølgelig også bidrar med en betydelig andel fosfor.

6.2 Tidstrender og påvirkning fra nedbør

Konsentrasjonen av **krom** i filtrerte prøver ser ut til å i stor grad være avhengig av mengden nedbør (figur 5.5). Den 05.08.2017 ble det målt de laveste verdiene av krom for alle prøvepunkter i Søra, dette var etter en lengre tørr periode. De høyeste verdiene for krom ble målt for alle prøvepunkter i Søra den 22.08.2017. Det var spesielt mye regn i dagene før denne dagen (figur 3.10), med de største regnmengdene før noen prøvetaking i denne studien. I de ufiltrerte prøvene er konsentrasjonen av krom i liten grad påvirket av nedbør, med unntak av Kattem som har en lignende tendens i ufiltrerte og filtrerte prøver. Konsentrasjonen av krom i de ufiltrerte prøvene ser ut til å være betydelig påvirket av mengden leire i bekken. Dette på grunn av krom sin sterke korrelasjon med aluminium (figur 5.10(c)) og at de høyeste verdiene av krom i en ufiltrert prøve var målt samtidig som mye leire ble sluppet ut i bekken den 15.06.2017 (figur 3.8(a)). Dette understøttes med at prøvepunkt Kattem som visuelt sett har minst leire, har de laveste verdiene av krom i de ufiltrerte prøvene og at Søra målestasjon har de desidert største verdiene. Dette mest sannsynlig siden Søra målestasjon mottar en god del leire fra Leirbekken som kommer inn rett ovenfor Søra målestasjon. Prøvepunkt 3 og Søra målestasjon har begge ofte lavere verdier i filtrerte prøver enn Kattem og prøvepunkt 2 som er de som er minst påvirket av leire. Dette kan tyde på at løst krom i bekken fester seg til partikler når det møter leirpåvirket vann i Søra. Krom ser i stor grad ut til å være bundet til små partikler som vil gå igjennom et filter (figur 5.19), samtidig som DGT-resultater viser lave verdier for krom (figur 5.29). Dette tyder på at krom kan være lite bioaktivt i Søra og at det er mulig å overdrive krom sin påvirkning på biota med bare ufiltrerte og filtrerte prøver, hvis partikkelbundet krom ikke er bioaktivt og resultatene representerer normalen i Søra.

Kobberkonsentrasjonen for filtrerte prøver i Søra ser også ut til å være meget påvirket av mengden nedbør (figur 5.1), men ikke fullt så mye som for krom. lave verdier (i forhold til normalen) for kobber i filtrerte prøver ble målt den 05.08.2017 etter en lengre tørr periode for alle prøvepunkter. Det ble igjen målt lignende verdier den 20.09.2017 som var etter mindre mengder med nedbør. De høyeste verdiene for kobber i filtrerte prøver for alle prøvepunkt sett bort i fra Kattem ble målt den 22.08.2017 som hadde store mengder nedbør i dagene før. De ufiltrerte prøvene ser i stor grad ut til å følge samme mønster som de filtrerte, bortsett fra den 15.06.2017 for Søra målestasjon da store mengder leire ble sluppet ut ovenfor denne. Kobber korrelerer ikke med aluminium og konsentrasjonen er ofte sammenlignbar i filtrerte og ufiltrerte prøver. Dette indikerer at leire ikke er kilden til størstedelen av kobber. Utslippet av leire viser derimot at store mengder leire kan påvirke den målte kobberkonsentrasjonen i ufiltrerte prøver. De laveste verdiene av kobber er for både filtrerte og ufiltrerte prøver ved Kattem. Konsentrasjonen går dermed opp nedstrøms til prøvepunkt 3 og 2 som har relativt like verdier. Deretter går verdiene enda mer opp for ufiltrerte prøver men ned for filtrerte ved Søra målestasjon. Dette skjer på grunn av at Leirbekken tilfører bundet kobber (tabell 5.3) men lave verdier av kobber som kan gå igjennom et filter. Fraksjonerte prøver indikerer at kobber ikke sitter på partikler som kan gå igjennom et filter, hvis det ikke er små humuspartikler under 1kDa (figur 5.16). Resultatene av prøver tatt med DGT-prøvetakere (figur 5.26) viser derimot at kobber ikke

i stor grad er labilt i Søra. Hvis disse resultatene skulle representere normalen i Søra vil det tyde på at kobber i stor grad er bundet til små humuspartikler som i liten grad er labile i denne bekken.

Konsentrasjonen av **kadmium** i filtrerte prøver ser ut til i en viss grad å være påvirket av nedbørsmengde (figur 5.4). De laveste verdiene for kadmium ble målt i filtrerte prøver fra 05.08.2017 som er tatt etter en tørr periode. Det ble også for kadmium målt høyere verdier i prøver tatt den 22.08.2017 etter mye regn og lavere verdier igjen den 20.09.2017 etter en noe tørrere periode. De høyeste verdiene ble derimot målt den 10.02.2017 sammen med høyere verdier av fosfor enn vanlig. Det ble også målt høyere verdier av fosfor og TKB av kommunen den 07.02.2017 (tabell 3.1). Det er derfor grunn til anta at disse verdiene stammer fra kloakkforurensning og ikke fra en naturlig kilde. De ufiltrerte prøvene viser til en viss grad samme tendens som de filtrerte, hvis man ser bort i fra Søra målestasjon som har en del høyere verdier. Ved utslippet av leire den 15.06.2017 ble det også målt høyere verdier enn ellers av kadmium ved Søra målestasjon i ufiltrerte prøver. For filtrerte prøver derimot var det minimal påvirkning. Resultater fra ufiltrerte prøver indikerer at det er lavest konsentrasjon av kadmium ved Kattem og prøvepunkt 2 som er prøvepunktene minst påvirket av leire. For filtrerte prøver derimot er derimot varierende, sett bort fra at prøvepunkt 3 alltid viser høyest konsentrasjon. Kadmium ser i stor grad ut til å være bundet på partikler som kan gå igjennom et filter (figur 5.15). Dette tyder på at filtrerte prøver også vil vise noe bundet kadmium. Kadmium oppkonsentreres i DGT-prøvetakere til en viss grad (figur 5.25). Fraksjonen som oppkonsentreres i DGT er relativt lik den resterende fraksjonen i mellom filtrert prøve og totalen av fraksjonene. Dette tyder på at kadmium ikke bindes til små humuspartikler i stor grad.

Nikkelverdiene i filterte prøver ser ut til å være påvirket av nedbør til en viss grad (figur 5.2). Det er målt relativt lave verdier av nikkel i de filtrerte prøvene den 10.05.2017 og den 05.08.2017 som var tørre perioder, i forhold til prøver tatt den 20.09.2017 og spesielt den 22.08.2017 som hadde en god del nedbør i dagene før. De ufiltrerte prøvene følger samme mønster som for de filtrerte. Ved utlippet av leire den 15.06.2017 ble det også for nikkel målt svært mye høyere verdier enn vanlig i den ufiltrerte prøven. Det gjorde derimot minimalt med utslag i den filtrerte prøven. Konsentrasjonen av nikkel ser ut til å gå opp nedstrøms i bekken, med laveste konsentrasjon ved Kattem, en del høyere og like verdier ved prøvepunkt 3 og 2 både i filtrerte og ufiltrerte prøver. Ved Søra målestasjon er det målt en god del høyere verdier i filtrerte og spesielt i ufiltrerte prøver. Det ser ut til at dette kommer av at Leirbekken holder en ganske stabil konsentrasjon på 20 $\mu g/l$ nikkel i ufiltrerte prøver (tabell 5.3) som tilføres Søra ovenfor Søra målestasjon. For filtrerte prøver ser det ikke ut til at Søra påvirkes i like stor grad av Leirbekken. I ufiltrerte prøver korrelerer nikkel relativt sterkt med aluminium, noe som tyder på at disse har samme kilde og at nikkel i stor grad stammer fra leire. I prøvene fraksjonert med AF4 (figur 5.17) ble det ikke funnet nikkel, dette tyder på at nikkel i filtrerte prøver enten er løst eller bundet til små humuspartikler med størrelse under 1kDa. Resultatene av analysen av DGT-prøvene indikerer lave verdier av oppkonsentrert nikkel. Dette kan tyde på at nikkel i stor grad er

bundet til små humuspartikler.

Konsentrasjonen av **bly** i Søra ser i liten grad ut til å være påvirket av nedbør (figur 5.3), sett bort i fra prøvepunkt Kattem som i større grad er påvirket. I den ufiltrerte prøven fra den 22.08.2017 (som var etter større mengder nedbør) ble det målt en forhøyet verdi av bly ved Kattem. Det var også et mindre utslag ved prøvepunkt 3 som er neste punkt nedstrøms i bekken. Ved Kattem er konsentrasjonen av bly relativt lik i filtrerte og ufiltrerte prøver, noe som sannsynligvis kommer av at det er lite partikler og leirpåvirkning der. Konsentrasjonen er i filtrerte prøver høyest ved Kattem og blir dermed lavere nedover i bekken. For ufiltrerte prøver er det derimot omvendt og konsentrasjonen går opp nedstrøms. Dette kan komme av at bly binder til partikler når det møter leirpåvirket vann. Bly og aluminium korrelerer til en viss grad. Det tyder på at noe bly kan stamme fra leire, men at det også kan være andre kilder. Søra målestasjon har en god del større verdier i de ufiltrerte prøvene enn de andre målepunktene. I den ufiltrerte prøven fra den 15.06.2017 ble det også for bly målt en svært høy konsentrasjon på grunn av utslippet av leire nedenfor prøvepunkt 2 (figur 3.8(a)). I den filtrerte prøven ble det derimot målt en lavere verdi enn de andre fra samme årstid. De andre forhøyde verdiene i de ufiltrerte prøvene fra Søra målestasjon kan forklares av tilførsel av partikkelbundet bly fra Leirbekken (tabell 5.3). Ved prøvepunkt 3 er det målt høye verdier av bly i fraksjon 2 og 3 fra fraksjonering i forhold til filtrerte prøver(figur 5.18). Det er usikkert hva dette kommer av, det kan være at løst bly har bundet seg med mindre partikler og disse dermed feller ut, eller at de danner større partikler før de når prøvepunkt 2. Bly er i større grad labilt og blir oppkonsentrert i DGT-prøvetakere i en slik mengde at konsentrasjonen beregnet fra DGT er i samme område som for filtrerte prøver. Man kan dermed anta at filtrerte prøver vil gi en relativt god indikasjon på biotilgjengelighet for bly i Søra.

Sinkkonsentrasjonen for filtrerte prøver ser i liten grad ut til å være påvirket av nedbør (figur 5.6). Det ble målt lave verdier av sink i filtrerte prøver ved alle prøvepunkt sett bort i fra Søra målestasjon den 05.08.2017, som var etter en lengre tørr periode. Det er imidlertid målt flere høyere verdier ved relativt tørre perioder som den 10.05.2017 enn ved den 22.08.2017 som var den våteste perioden. Dette gjør at det ser ut til at det er andre faktorer som styrer nivået av sink i bekken Søra enn nedbør. Sinkverdiene ser ut til å variere en god del for både filtrerte og ufiltrerte prøver. Sink og aluminium korrelerer i liten grad, noe som tilsier at sink ikke nødvendigvis bare stammer fra leire i bekken. Noen mulige kilder til sink i vann er nedbrytning av galvaniserte rør, avfall, gjødsling og erosjon av mineraler. Heggstadbekken har derimot lavere verdier av sink enn Søra (tabell 5.4), så det er lite sannsynlig at Heggstadmoen avfallsenter er kilden til sink i Søra. Leirbekken tilfører Søra relativt store mengder med bundet sink men minimalt med sink som kan gå igjennom et filter. Det er derimot også målt større verdier av sink ved prøvepunkt 3 for både filtrerte og ufiltrerte prøver. En mulig kilde for dette kan være den nylige steinsettingen av bekken ved dette prøvepunktet. Sink finnes i liten grad i fraksjonene fra fraksjoneringen av prøver (figur 5.20). Sink er også blitt målt i prøver tatt med DGT-prøvetakere (figur 5.30) til å i stor grad være labilt i forhold til filtrerte prøver.

Dette vil kunne si at de filtrerte prøvene muligens vil kunne representere bioaktivt sink.

Konsentrasjonen av **kvikksølv** ser i liten grad til å være påvirket av nedbør (figur 5.7). Konsentrasjonene målt i filtrerte prøver er ved flere tilfeller høyere enn de ufiltrerte prøvene (diskutert videre i del 6.5). Dette gjør det vanskelig å se trender. Det er målt minimale mengder kvikksølv i fraksjonene fra fraksjonering av prøver (figur 5.21). Dette tyder på at det ikke er kvikksølv i små partikler opp til 450 nm. Det er målt minimale verdier av kvikksølv i DGT-prøvetakere (figur 5.32). Dette indikerer at kvikksølv, hvis dette skulle finnes i konsentrasjonene målt i filtrerte og ufiltrerte prøver ikke er spesielt labilt. Det vil videre kunne si at biotilgjengeligheten av kvikksølv er lav i Søra.

Fosforverdiene i filtrerte prøver ser ut til å være i noen grad påvirket av nedbør (figur 5.9). Det er målt en noe høyere konsentrasjon av fosfor i filtrerte og ufilterte prøver den 22.08.2017 etter en relativt våt periode enn ved de mer tørre periodene for alle prøvepunkt. Dette tyder på at nedbør har en viss betydning for nivåer av fosfor i bekken. Det er imidlertid målt høyere verdier av fosfor i bekken i februar 2017 sammen med høyere nivåer av kadmium. Kommunen målte også høyere verdier av total fosfor og TKB den 07.02.2017 (tabell 3.1). Dette tyder på at disse verdiene kommer fra ett kloakkutslipp. Det ble også målt en høyere verdi ved Kattem i både filtrerte og ufiltrerte prøver den 20.09.2017 sammen med en observasjon av algevekst ved samme punkt (figur 3.14(b)). Kattem ser ut til å ha de høyeste verdiene av fosfor i filtrerte prøver. Konsentrasjonen går derreter ned nedstrøms i bekken, for derreter å gå litt opp igjen ved Søra målestasjon. For ufiltrerte prøver er trenden ganske lik, sett bort i fra at nå har Kattem og prøvepunkt 3 relativt like verdier og Søra målestasjon ofte en del høyere. Søra ser ut til å tilføres en del bundet fosfor fra Leirbekken men andelen fosfor som går igjennom et filter er relativt lave (tabell 5.3). Fosforkonsentrasjonen ble også påvirket av utslippet av leire i bekken ovenfor Søra målestasjon i den ufiltrerte prøven. Den filtrerte prøven ble derimot minimalt påvirket. Fosfor og aluminium korrelerer til en viss grad. Det tyder på at en viss andel av fosfor kommer fra leire. Fosfor ser ikke ut til å i stor grad være bundet på fraksjonene fra fraksjoneringen av prøver (figur 5.23). Dette kan indikere at fosfornivåer i filtrerte prøver enten er bundet til små partikler under 1 kDa eller er løst. Fosfor er ikke i stor grad labilt ved prøvepunkt 2 i følge resultater fra DGT-prøvetakere (figur 5.31). Dette kan tyde på at fosfor i stor grad er bundet til humuspartikler mindre enn 1 kDa.

Arsenverdiene ser ut til å i stor grad være avhenging av nedbørsmengde for ufiltrerte og spesielt filtrerte prøver (figur 5.8). Det er målt forøyde verdier av arsen den 22.08.2017 etter større mengder nedbør og lavere verdier i de mer tørre periodene i både filtrerte og ufiltrerte prøver. Konsentrasjonen i filtrerte og ufiltrerte prøver er i stor grad lik, med unntak av at Søra målestasjon har noen høyere verdier i den ufiltrerte prøven. Dette ser ut til å komme av at Søra mottar en del bundet arsen i fra leirbekken (tabell 5.3), som i mindre grad finnes oppstrøms i Søra. Konsentrasjonen av arsen følger en klar trend i mellom prøvepunktene. Det ser ut til at det alltid måles lavest verdi av arsen ved prøvepunkt

Kattem. Konsentrasjonen stiger dermed nedstrøms til prøvepunkt 3 for både filtrerte og ufiltrerte prøver. Konsentrasjonen stiger da igjen nedstrøms til prøvepunkt 2, med unntak for ufiltrerte prøver tatt i februar. Konsentrasjonen går dermed litt ned for Søra målestasjon i filtrerte prøver. Det er derimot omvendt for ufiltrerte prøver der den ser ut til å oftest være høyest ved Søra målestasjon. Dette kommer mest sannsynlig av påvirkningen fra Leirbekken som tidligere nevnt. Det ble målt en noe høyere verdi av arsen etter utslippet av leire i Søra den 15.06.2017 ved Søra målestasjon i den ufiltrerte prøven. Det er derimot i en mye mindre grad enn for metaller som krom og nikkel. Arsen korrelerer svært dårlig med aluminium, så det er lite sannsynlig at leire er en stor kilde til arsen i Søra. Arsen finnes i liten grad i fraksjonene fra fraksjoneringen, det tyder på at en filtrert prøve muligens viser løst og biotilgjengelig arsen, hvis dette ikke er bundet til mindre humuspartikler som vil slippe igjennom membranen til fraksjoneringsinstrumentet.

6.3 Sammenligning med studie fra 2006

Trondheim kommune tok i 2003 til 2006 ukentlige ufiltrerte prøver ved Søra målestasjon. Disse ble analysert på ICP-MS på samme måte som i denne studien. Kobber hadde en middelverdi på 5,0 $\mu g/l$ i 2006 (tabell 7.1) i ufiltrerte prøver tatt ved Søra målestasjon. Middelverdien for kobber i denne studien er imidlertid 12,7 $\mu g/l$ (tabell 5.1) ved samme stasjon. Middelverdiene for kadmium er derimot relativt like med 0,027 $\mu g/l$ i 2006 og 0,032 $\mu g/l$ i 2017. For bly er verdiene i 2017 en god den høyere med en middelverdi på 4,27 $\mu g/l$ mot 0,99 $\mu g/l$ i 2006. Sink har også en noe høyere middelverdi i 2017 med 19,3 $\mu g/l$ mot 12,4 $\mu g/l$ i 2006. Det er større forskjell for nikkel som har en middelverdi på 5,8 $\mu g/l$ i 2006, mot 18,8 $\mu g/l$ i 2017. Middelverdien for viser samme tendens med 4,25 $\mu g/l$ i 2006 og 14,2 $\mu g/l$ i 2017. Det er også en viss oppgang i arsenkonsentrasjonen med 0,85 $\mu g/l$ i 2006 og 1,36 $\mu g/l$ i 2017.

Det er gjort større endringer i bekken siden 2006, med steinsetting og heving av bekken. Det er også mye anleggsvirksomhet på grunn av byggingen av ny E6. Det kan derfor anses som naturlig at bekken er mer påvirket av leire, jord og mineraler (mulig fra steinsettingen) og at dette kan forklare oppgangen i konsentrasjoner målt i ufiltrerte prøver. Middelverdiene for denne studien er også i veldig stor grad påvirket av leiren som hadde rast i Søra den 15.06.2017, men man kan også se lignende høyere verdier tidvis i målingene fra 2006. Det kan være at disse også stammer fra leirepåvirkning.

Rapporten i fra 2006 konkluderte med at Søra var sterkt påvirket av kobber, og at Søra hadde i 25% av målte prøver et nivå tilsvarende klasse V, meget sterkt forurenset (Nøst (2006)). Denne klassen vil si at konsentrasjonen er over 6 $\mu g/l$ kobber, for den da brukte veilederen fra 1997 (tabell 2.1). Etter nåværende veileder fra 2016 vil verdiene fra 2006 også klassifiseres i klasse V i 14% av tilfellene. Hvis disse høyere verdiene skulle stamme fra leirpåvirkning, er det stor sannsynlighet for at verdier i filtrerte prøver, hvis de hadde vert tatt, ville være for det meste innen moderat forurenset, på samme måte som prøver tatt i denne studien. Dette vil tilsvare klasse II etter dagens veileder. Klasse II regnes som

akseptable verdier uten stor forurensningsbelastning. De største forskjellene i mellom disse studiene når det gjelder tungmetaller er dermed muligens hvilken veilder som er brukt og at studien fra 2006 klassifiserte etter ufiltrerte prøver å ikke filtrerte prøver som i større grad ikke blir påvirket av leire. Arsenkonsentrasjonen var lavere i 2006, men ville etter dagens veileder allikevel bli klassifisert som klasse III. Øvre grense for klasse II når det gjelder arsen ligger på 0,5 $\mu g/l$ etter nåværende veileder fra 2016. Siden arsen har vist seg å i stor grad være løst og/eller bundet til små partikler som går igjennom et filter er det muligens lite sannsynlig at asen ville vert klassifisert lavere med filtrerte prøver i 2006 etter gjeldene veileder. Veilederen fra 1997 har konsentrasjons grenser for arsen.

Fosfor var i 2006 var målt til å ha en årsmiddel på 165 $\mu g/l$ (figur 3.12) i ufiltrerte prøver. Verdier for fosfor viser en lignende tendens i fra 1997 til 2012 med en årsmiddel som varierer rundt 150 $\mu g/l$. Det ble derimot målt en kraftig vekst i 2013 og 2014. Dette er mest sannsynlig på grunn av overbelastning av avløpssystemet med overflod av kloakk ved større nedbørsmengder og/eller et større bidrag i fra leirepartikler, som kan påvirke fosfornivået i ufiltrerte prøver. I 2016 ble det målt den laveste årsmiddelverdien av fosfor siden starten av overvåkningen. Dette er mest sannsynlig på grunn av saneringen av kloakken og stensettingen i bekken (Nøst (2017)). I denne studien er middelverdien i ufiltrerte prøver målt til 105 $\mu g/l$ i 2017 ved Søra målestasjon (tabell 5.1). Noe som representerer en begrenset økning i fra kommunens verdier i fra 2016. Denne middelverdien er imidlertid nokså påvirket av leiren som hadde rast i Søra den 15.06.2017, på grunn av anleggsvirksomheten vedrørende byggingen av ny E6. Hvis man ser på dette som et engangstilfelle og fjerner resultatet fra denne datoen vil den målte middelverdien være 46 $\mu g/l$ for fosfor. Det vil isåfall bety en betydelig forbedring i fra tidligere år. Middelverdien i filterte prøver er målt til 13.9 $\mu g/l$ i Søra målestasjon. Dette indikerer at størstedelen av fosfor ikke går igjennom et filter, den er derfor i liten grad biotilgjengelig. Det er derimot vanskelig å si hvordan dette forholdet var i 2006 eller andre år, siden det ikke ble tatt filtrerte prøver. Ved en eventuell senere studie bør det derfor tas både filtrerte og ufiltrerte prøver siden dette vil kunne si noe om kilden, da det ser ut som fosfor i fra kloakkutslipp i veldig stor grad løselig og går igjennom filter, i mens fosfor i fra leire i stor grad ikke går igjennom et filter.

6.4 Leirbekken og Heggstadbekken

Leirbekken tilfører Søra mye løst leire (figur 3.6). Dette kan man også se i resultatene som viser forhøyde verdier av mange metaller i de ufiltrerte prøvene (tabell 5.3), som høyere verdier av aluminium, magnesium, silisium og titan. Konsentrasjonen i Leirbekken for de filtrerte prøvene er i stor grad lavere enn i de ufiltrerte prøvene, sett bort fra for de alkaliske metallene. Leirbekken ser ut til å i stor grad påvirke Søra's ufiltrerte prøver ved å forhøye konsentrasjoner og i noen grad påvirke de filtrerte prøvene ved å vekselvis fortynne eller oppkonsentrere konsentrasjonene i Søra avhengig av grunnstoff.

Heggstadbekken har lavere verdier av de fleste grunnstoff i forhold til Søra (tabell 5.4). Det gjelder også til en viss grad for de prioriterte grunnstoffene kobber, nikkel, krom, kadmium, bly og arsen som har sammenlignbare eller mindre verdier i Heggstadbekken

enn Søra. Det er derimot høyere verdier av jern og sink der Heggstadbekken kommer ut ved jernbanen, men dette ser ut til å felle ut før det når Søra. Det er målt høyere verdier av bor, strontium, antimon og wolfram i Heggstadbekken enn i Søra, men dette er mest sannsynlig ikke av bekymring. Heggstadbekken har også veldig liten vannføring i forhold til Søra, så påvirkningsgraden til Heggstadbekken på Søra ser ut til å være veldig lav. Prøvene tatt i utløpet nedenfor prøvepunkt Kattem (tabell 5.3) viste lavere verdier for alle prioriterte grunnstoff. Man kan derfor anta at dette utløptet ikke bidrar til noen forhøyde verdier av de prioriterte grunnstoffene i Søra.

6.5 Feilkilder og påvirkninger

For bly, krom og aluminium er summen av enkelte fraksjoner større enn verdien for den filtrerte prøven. Fraksjon 3 som inneholder de største partiklene er estimert til å inneholde partikler fra 200 nm til 450 nm. Dette er likt det som vil være maks størrelse for å gå igjennom et $0,45\mu m$ filter. Siden den filtrerte prøven også inneholder eventuelle løste ioner skal totalen av de fraksjonerte prøvene ikke gå over de filtrerte, i teorien. Det er flere grunner til at man kan se at dette allikevel skjer. Det kan være at partiklenes form gjør at de ikke kan gå igjennom maskene på filteret. Eller at på grunn av stor leirepåvirkning i Søra, at det bygges opp et lag av partikler på filteret som vil forhindre partikler som etter størrelse egentlig skal gå igjennom filteret. Det kan også tenkes at det er feil i estimeringen av størrelsen på partiklene eller at det ved en feil i fraksjoneringen kom med større uønskede partikler med i de enkelte fraksjonene. Fraksjoneringen skjer med ufiltrerte prøver som ikke er behandlet på noen måte og fraksjoneringen ble gjort innen få timer. Det er allikevel mulig at fraksjoneringen bidrar til å splitte større skjøre partikler, eller på annen måte forandre prøven, selv om det muligens er tvilsomt dette vil skje i stor nok grad til å påvirke resultatene på en slik måte.

Fraksjon 3 inneholder også den fraksjonen som ville utgjort differansen i mellom prøver filtrert med $0,22\mu m$ filter kontra et $0,45\mu m$ filter. I februar 2017 ble det tatt prøver med begge type filter. Det ble derimot ikke tatt flere prøver med $0,22\mu m$ filter etter at resultatene fra februar kom inn og viste fra ingen til minimale forskjeller i mellom filtertypene. Prøver for fraksjonering ble tatt i mars 2018 og er derfor ikke nødvendigvis sammenlignbare. Det er derimot et tegn på at det kan være feil i resultatene at denne fraksjonen ble funnet (se figur 5.14) ved alle prøvepunkt. En mulighet for å forklare dette er at et $0,22\mu m$ filter også vil samle opp leirpartikler som danner et finere filterlag hvis et $0,45\mu m$ filter gjør det. Resultatene vil da kunne bli like hvis dette laget danner et eget filter.

Kvikksølvverdiene gikk opp for prøver etter 21. februar 2017. Dette er ved andre analysering med ICP-MS. Filtrerte prøver viser flere ganger høyere verdier enn ufiltrerte og er usammenhengende. Verdiene målt for kvikksølv ser derfor ut til å ikke være pålitelige. Grunnen for dette kan være utvasking av kvikksølv adsorbert i ICP-MS sitt prøveintroduksjonssystem. Dette kan skje på grunn av mye klorid i prøvene og at prøver

med høye verdier av kvikksølv ble kjørt før disse. Syverin Lierhagen lagde korrelasjoner på grunn av denne mistanken (se figur 7.1 i appendiks). Kvikksølv ser her ut til å ha en svak korrelasjon med klor. Det ble brukt samme type filter og prøverør i februar som senere, så det er lite sannsynlig at kontaminasjonen skulle stamme fra disse.

På grunn av anleggsvirksomhet relatert til byggingen av ny E6 hadde det rast leire i Søra nedenfor prøvepunkt 2, før prøver ble tatt den 15. juni (figur 3.8(a)). Dette gjorde at den ufiltrerte prøven den 15. juni ved Søra målestasjon fikk et unormalt høyt utslag for flere metaller. Utslaget for den filtrerte prøven var derimot meget lite da denne er relativt lik andre filtrerte prøver tatt ved Søra målestasjon. Dette viser derimot at filtrerte prøver kan gi et bedre bilde av tilstanden i bekken uavhengig av leirepåvirkning.

DGT utsatt fra 20-23.09 har høyere verdier for sink og krom enn DGTer utsatt senere. Dette kan komme av at det var mer nedbør før utsettingen av de første DGTene i forhold til senere (se figur 3.11). Det kan også komme av kontaminering under behandlingen under sammensetting, utvaskingen av metallioner eller annet for de første DGTene.

Fraksjonering med AF4 ble bare gjort med 3 prøver totalt, og med bare en prøve per lokalitet. noe som gjør at datagrunnlaget er dårlig. AF4 er også inntil nylig ikke gjennomprøvd for bruk til klassifisering av miljøtilstand.

Kapittel 7

Konklusjon

Søra ser ikke ut til å være belastet med tanke på tungmetaller i stor grad, etter veileder av 2016, i forhold til tidligere klassifiseringer av Trondheim kommune med veilederen fra 1997. Dette er hvis man tar utgangspunkt i filtrerte prøver for klassifisering. Med tanke på prøver ikke tatt med filter er nivåene problematiske for Nikkel, bly, krom og sink i nedre del av bekken. Med unntak av sink korrelerer disse metallene relativt sterkt med aluminium og ser derfor ut til å være fra leire. De inkludert sink går også i stor grad ikke igjennom et filter, så de ser ut til å fremdeles være bundet til leirepartikler som mest sannsynlig ikke er bioaktive i noen betydelig grad. Leire ser ut til å bidra mye til konsentrasjonen av krom og nikkel i ufiltrerte prøver. Leire bidrar også noe (tidvis mye) til konsentrasjonen av kobber, bly, sink og fosfor, men mindre til kadmium og arsen. Man kan dermed anta at filtrerte prøver gir best indikasjon på miljøtilstanden i Søra, siden disse i liten grad har vist seg å være påvirket av leire. Veilederen fra Miljødirektoratet burde også spesifisere om filtrerte eller ufiltrerte prøver skal brukes, siden det mest sannsynlig utgjør en større forskjell for klassifiseringen av flere leirpåvirkede vassdrag enn Søra.

Det er problematiske nivåer av arsen i Søra, som er klassifisert som klasse III fra prøvepunkt 3 og nedstrøms med filtrerte prøver. Det er mulig dette stammer fra steiner brukt i steinsettingen av Søra hvis disse stenene er arsenholdige. Det bør i så fall følges opp på et senere tidspunkt for å se om konsentrasjonen har gått ned. For 2017 var det fremdeles problemer med fosfornivået i Søra. Et utslipp av kloakk i februar ga store nivåer ved prøvepunkt 3. Det ble også observert algevekst i september. Dette kan delvis også skyldes lite vegetasjon ved breddene.

Prøver tatt med $0,22\mu m$ filter viste like konsentrasjoner ved analysering på ICP-MS som prøver tatt med $0,45\mu m$ filter. Det ser derfor ut til at prøvetaking med $0,22\mu m$ filter er unødvendig når man også bruker $0,45\mu m$ filter i Søra. DGT-prøver viser med unntak av sink og bly at de fleste metaller er lite labile i Søra. Dette kan være på grunn av at de er bundet til mindre humuspartikler, siden AF4 fraksjonering viste at de ikke satt på partikler større enn 1 kDa for kobber, nikkel, sink, kvikksølv og arsen. Krom og kadmium

ser derimot ut til å i stor grad være bundet på fraksjonerbare partikler under 450 nm. Disse fraksjonene vil derfor utgjøre en større andel av en filtrert prøve.

Konsentrasjonene av kobber, kadmium, nikkel, fosfor og arsen ser ut til å være påvirket av nedbør i fra noen til stor grad, med høyere konsetrasjoner ved mye nedbør. For sink og bly er derimot påvirkningsgraden liten og konsentrajonen av disse går ikke i like stor grad opp ved mye nedbør og har gjerne høyere konsentrasjoner ved tørre perioder.

Forslag til videre studie er å bruke DGT-prøvetakere ved flere lokasjoner, årstider og forskjellige nedbørsmengder for å få et mer helhetlig bilde av biotilgjengelighet for tungmetaller og fosfor i Søra. Det kan også være nyttig å ta flere prøver for fraksjonering ved hjelp ar AF4 (asymmetric flow field-flow fractionation) ved flere årstider for å om mulig verifisere og bygge videre på resultatene i denne studien. Når anleggsvirksomheten rundt byggingen av ny E6 har sluttet kan en ny studie se hvordan konsentrasjonene av tungmetaller og fosfor har forandret seg i fra nåværende situasjon. En annen mulighet er å videre se på andre mulige forurensninger som organiske forbindelser i bekken Søra.

Bibliografi

Baalousha, M., Stolpe, B., Lead, J., 2011. Flow field-flow fractionation for the analysis and characterization of natural colloids and manufactured nanoparticles in environmental systems: A critical review. Journal of Chromatography A 1218 (27), 4078 – 4103, flow-Field-Flow Fractionation.
URL http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967311005735

DGT Research, 2017. What dgt does. [Online; accessed 2018-02-24].
URL http://www.dgtresearch.com/what-dgt-does/

Giddings, J., Yang, F., Myers, M., 1976. Flow-field-flow fractionation: a versatile new separation method. Science 193 (4259), 1244–1245.
URL http://science.sciencemag.org/content/193/4259/1244

K. Halvorsen, 2015. Metode for å korrigere analyseresultater for tungmetall i ufiltrerte vannprøver for bakgrunnsnivå fra suspendert leire. basert på prøvetaking i søra og på heggstadmoen 2011 og 2013.

L. R. Van der Veeken, P., Pinheiro, J., P Van Leeuwen, H., 01 2009. Metal speciation by dgt/det in colloidal complex systems. Environmental science technology 42, 8835–40.

M. A. Bergan, T. Bongard, E. F. O. H. J. J., 2015. Biologiske miljøundersøkelser av søra og gaula etter diesellekkasje fra statoilstasjonen på klett. NIVA.

Meyn, T., Hallé, C., 2017. Characterisation of colloids using asymmetrical flow field-flow fractionation and online organic carbon detection. Water Science and Technology: Water Supply.
URL http://ws.iwaponline.com/content/early/2017/02/20/ws.2017.021

Miljødirektoratet, 2016. Grenseverdier for klassifisering av vann, sediment og biota. [Online; accessed 2018-04-21].
URL http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M608/M608.pdf

Munksgaard, N. C., Parry, D. L., 2003. Monitoring of labile metals in turbid coastal seawater using diffusive gradients in thin-films. Journal of environmental monitoring : JEM 5 (1), 145–149.

Norsk institutt for vannforskning, 1997. Veiledning 97:04, klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. [Online; accessed 2018-04-21].
URL http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/vann/1468/ta1468.pdf

Nøst, 2006. Vannovervåkning i trondheim 2006.

Nøst, 2016. Vannovervåkning i trondheim 2015. [Online; accessed 2018-04-21].
URL https://www.trondheim.kommune.no/globalassets/10-bilder-og-filer/10-byutvikling/miljoenheten/naturforvaltning/vannovervaking---rapporter/arsrapport-2015.pdf

Nøst, 2017. Vannovervåkning i trondheim 2016. [Online; accessed 2018-04-21].
URL https://www.trondheim.kommune.no/globalassets/10-bilder-og-filer/10-byutvikling/miljoenheten/naturforvaltning/vannovervaking---rapporter/vannovervakingsrapport-2016_til-nett.pdf

Nøst, 2018. Vannovervåkning i trondheim 2017. [Online; accessed 2018-04-21].
URL x

Vernhet, A., Dubascoux, S., Cabane, B., Fulcrand, H., Dubreucq, E., Poncet-Legrand, C., Sep 2011. Characterization of oxidized tannins: comparison of depolymerization methods, asymmetric flow field-flow fractionation and small-angle x-ray scattering. Analytical and Bioanalytical Chemistry 401 (5), 1559–1569.
URL https://doi.org/10.1007/s00216-011-5076-2

Yr, 2018. Været som var (detaljert), trondheim (trøndelag). [Online; accessed 2018-05-01].
URL https://www.yr.no/place/Norway/Tr\OT1\ondelag/Trondheim/Trondheim/detailed_statistics.html

Zhang, H., Davison, W., Miller, S., Tych, W., 1995. In situ high resolution measurements of fluxes of ni, cu, fe, and mn and concentrations of zn and cd in porewaters by dgt. Geochimica et Cosmochimica Acta 59 (20), 4181 – 4192.
URL http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016703795002939

Appendiks

Figur 7.1: Korrelasjoner gjort av Syverin Lierhagen ved NTNU for å se om klor vasker ut kvikksølv fra prøveintroduksjonssystemet i ICP.

Tabell 7.1: Konsentrasjoner målt av Trondheim kommune i ufiltrerte prøver fra Søra målestasjon i 2006. Verdier i $\mu g/l$. (Nøst (2006))

Dato	Kopper	Kadmium	Kvikksølv	Bly	Jern	sink	Nikkel	Krom	Arsen
04.01.2006	3,25	0,012	0,003	0,2	365	5	1,8	0,48	0,38
10.01.2006	2,22	0,013	0,005	0,16	408	3,7	1,8	0,53	0,48
17.01.2006	2,48	0,011	0,004	0,33	743	4,7	3	1,36	0,56
24.01.2006	2,59	0,019	0,024	0,34	673	7,5	2,2	1,02	0,71
31.01.2006	11,71	0,054	0,011	4,08	3762	29,5	11,9	7,32	1,04
07.02.2006	9,24	0,047	0,012	3,25	3190	27	9,9	6,22	0,79
14.02.2006	3,4	0,01	0,003	0,48	1412	7,2	4,2	3,55	0,57
21.02.2006	3,03	0,01	<0,03	0,31	939	6,5	2,9	1,98	<0,50
28.02.2006	3,72	0,01	<0,03	0,46	1471	9,2	4,7	3,08	<0,50
07.03.2006	2,56	0,01	<0,03	0,27	865	4,7	3,3	1,96	<0,50
14.03.2006	2,72	0,02	<0,03	0,26	773	7,5	2,9	1,34	<0,50
22.03.2006	3,42	0,02	<0,03	0,37	1293	7,4	3,9	2,78	0,53
28.03.2006	3,23	0,01	<0,03	0,32	934	7,9	3	1,75	0,51
04.04.2006	5,61	0,08	<0,03	0,99	2812	12,8	8,7	6,92	0,73
18.04.2006	11,01	0,03	<0,03	2,43	6165	23,7	19,1	17,15	0,99
26.04.2006	6,71	0,02	<0,03	1,41	3786	16,5	10,9	9,21	0,78
02.05.2006	3,43	0,01	<0,03	0,61	1844	7,8	5	9,65	0,51
09.05.2006	3,38	0,01	<0,03	0,34	896	6,1	3,4	1,75	0,6
16.05.2006	6,09	0,03	<0,03	1,37	2565	13,1	7,4	7,2	1,2
23.05.2006	6,3	0,01	<0,03	0,57	1855	12,9	4,3	2,4	0,9
30.05.2006	4,1	<0,01	<0,03	0,56	1381	7,3	4,3	2,8	0,6
06.06.2006	3,4	<0,01	<0,03	0,51	1196	7,3	3,6	2,2	0,7
13.06.2006	3,9	0,01	<0,03	0,45	1117	7	3,9	2,1	0,9
20.06.2006	3,8	0,01	<0,03	0,44	1018	15,8	3,5	1,8	1
27.06.2006	3,4	<0,01	<0,03	0,41	909	6,5	3,8	1,5	0,8
03.07.2006	2,3	<0,01	<0,03	0,33	759	4,2	2,7	1,1	0,8
11.07.2006	2,8	<0,01	<0,03	0,6	860	7,1	3,1	1,6	0,9
18.07.2006	2,9	<0,01	<0,03	0,38	841	5	2,9	1,5	0,8
25.07.2006	2,3	<0,01	<0,03	0,24	535	3,1	2,1	0,9	0,8
01.08.2006	12,2	0,07	<0,03	3,45	6846	34,3	18,2	16,9	1,8
09.08.2006	2,4	<0,01	<0,03	0,27	581	4,6	2,3	1	0,9
15.08.2006	7,4	0,06	<0,03	1,28	2012	19,2	6,7	5,3	1,2
22.08.2006	2	<0,01	<0,03	0,19	407	2,6	2	0,6	0,8
29.08.2006	2,5	<0,01	<0,03	0,35	483	5,3	2,8	0,9	0,9
05.09.2006	13,2	0,06	<0,03	4,06	6535	41,3	18	16,3	1,8
12.09.2006	2,8	<0,01	<0,03	0,32	611	5,4	2,6	1	0,8
19.09.2006	2,8	<0,01	<0,03	0,23	492	4,2	2,6	0,8	0,8
26.09.2006	2,2	<0,01	<0,03	0,19	424	3,4	2,1	0,7	0,7
03.10.2006	4,4	0,02	<0,03	0,75	1425	14,9	4,2	3	1
10.10.2006	13,4	0,07	<0,03	4,33	5631	41,4	15,4	14,3	1,4
17.10.2006	2,3	0,01	<0,03	0,19	385	3,5	2,1	0,6	0,7
24.10.2006	3,1	0,01	<0,03	0,28	545	5	2,9	1,1	0,7
07.11.2006	26,2	0,08	<0,03	5,08	11400	65,1	34,3	30,7	1,5
14.11.2006	5,9	0,02	<0,03	0,81	1707	16,5	7,1	4,9	1,2
21.11.2006	3,2	<0,01	<0,03	0,31	662	7,1	3	1,2	0,6
28.11.2006	5,5	0,04	<0,03	1,86	1464	19,4	4,7	3,1	0,8
05.12.2006	2,9	<0,01	<0,03	0,27	498	6,3	2,4	0,8	0,5
12.12.2006	3,3	0,02	<0,03	0,63	840	12,7	3	1,4	0,7
19.12.2006	2,5	0,01	<0,03	0,32	583	5,5	2,4	0,9	<0,5
27.12.2006	6,8	0,03	<0,03	1,99	1887	17,6	7,4	3,8	0,8
MEDIAN	3,39	0,02	<0,03	0,43	937	7,3	3,5	1,88	0,8
MIDDEL	5,04	0,027	<0,03	0,99	1816	12,4	5,8	4,25	0,85
MAKS	26,2	0,08	0,024	5,08	11400	65,1	34,3	30,7	1,8
MIN	2	<0,01	<0,03	0,16	365	2,6	1,8	0,48	<0,50