



NTNU

Kunnskap for en bedre verden

Bachelorprosjekt i kjemi, KJ2900.

Hvilke tiltak kan gjøres for å forminske miljøpåvirkningene fra krom i forurenset jord?

Terjesen, Robin Nikolai.

Kandidatnummer: 10012

Veileder: Mikkelsen,
Øyvind.

NTNU Trondheim.

Innhold

Abstrakt.....	1
Introduksjon	2
Hva er greia med krom? (Teori).....	3
Hvor kommer kromforurensingen fra?.....	3
Antropogene faktorer.	3
Naturlige faktorer.	4
Kroms påvirkning av miljøet rundt seg.....	5
Redoksformen til krom.....	5
pH verdi.....	6
Påvirkninger på omgivelsene.	6
Tiltak som kan gjøres. (Diskusjon)	8
Forebyggende tiltak.....	9
Metoder som fjerner eller immobiliserer krom.	10
Redusering av krom.....	11
Hvilken metode er mest fordelaktig å bruke?.....	12
Avslutning.....	16
Vedlegg.....	17
Kilder.....	17

Abstrakt.

Krom er et metall som er mye brukt i industrisammenheng. En finner blant krom annet i stålindustrien, farging av lær, blekk og malings produksjon samt impregnering av treverk. Disse industriene er bare noen eksempler på forurenserne av krom. Dette forekommer ofte i form av avfallsvann, eller at det med tiden lekkes ut, som for eksempel gjennom impregnert treverk.

Kromforurensinger kan være svært skadelig. Dette gjelder både for det forurensede miljøet og individer i sagt miljø. Disse forurensingene kan påvirke mennesker gjennom etseskader, sår slimhinne i magesekk og tarm, skade det mannlige reproduksjonssystemet, gi rennende nese, irritasjon av nesens slimhinne, samt føre til pusteproblemer som hoste, tungpustethet og kortpustethet. Det er i tillegg påvist at krom kan være kreftfremkallende. Disse virkningene kommer i all hovedsak fra seksverdig krom, noe som gjør treverdig krom et mindre problem i forhold.

En kan redusere disse forurensingene gjennom et bredt utvalg av metoder. Eksempelvis kan restriksjoner og forbud innføres. Dette har blitt gjort i Norge, da impregnert treverk som inneholder seksverdig krom verken kan selges eller produseres. En kan også redusere forurensingenes effekt ved å redusere krommet fra seksverdig til treverdig. Flere muligheter kan være fjerne krom fra joden ved hjelp av biomasse, eller immobilisere krom gjennom bruken av kapsler med en jordkjerne og bulkmetallskall. Hvilken metode som er mest egnet å bruke, varierer fra tilfellet til tilfellet.

Introduksjon

I en verden hvor polene smelter, vannivået stiger og gjennomsnittstemperaturen øker er miljø blitt et «hett» tema. Forurensinger kommer til stadighet opp i media og har i det siste fått stort fokus. Senest i desember 2020 publiserte «The Statesman» en artikkel om helsefarene rundt kromforurensing i India. I denne artikkelen blir det blant annet vist til norsk forskning, hvor det nevnes at opptil 85% av dødsfallene i Sukindas gruveområder i 1995 kan knyttes til kromforurensinger.[1] «Medical News Today» publiserte 29. mars 2021 en artikkel kalt «7 lung cancer risk factors and how to reduce them». I denne artikkelen blir blant annet krom nevnt som et giftstoff som kan øke risikoen for lungekreft. [2] Med andre ord er krom noe som dukker opp i media fra tid til annen.

I denne oppgaven skal vi ta for oss kromforurensinger i jord, og til dels vann der det faller seg naturlig. Hovedfokuset er altså på litosfæren, jorden og jordskorpen, men ettersom mye av kromforurensninger kommer til jorden gjennom avfallsvann, vil dette også bli inkludert i oppgaven.

Gjennom oppgaven vil det bli tatt opp en rekke aspekter rundt kromforurensing. Første aspektet som blir tatt frem er kilder til forurensing. Å vite hvor kromforurensinger kommer fra er til god hjelp når vi skal finne ut hvordan vi kan redusere problemet. Her vil det både tas hensyn til naturlige og antropogene faktorer. Videre skal det også gjennomgås hvilke faktorer som påvirker kromforurensinger. I tillegg skal de forskjellige miljøeffektene kromforurensing forårsaker belyses. Denne delen vil i all hovedsak omhandle:

- Redoksform.
- Innvirkningen av pH.
- Kroms påvirkning på omgivelsene.

Formålet med denne oppgaven er å besvare spørsmålet: «**Hvilke tiltak kan gjøres for å forminske miljøpåvirkningene fra krom i forurenset jord**».

Her vil en rekke tiltak og mulige løsninger på kromforurensingene bli diskutert. De tiltakene og metodene som blir omtalt i denne oppgaven er:

- Forebyggende tiltak.
- Bruk av biomasse for å fjerne krom.
- Redusering av krom fra seksverdig til treverdig.
- Immobilisering av krom.

Opgaven har et begrenset ordomfang, så av hensyn til dette vil ikke mekaniske tiltak, som å fjerne jorden, tas med. I oppgaven er det biologiske og kjemiske metoder og tiltak som blitt tatt hensyn til.

Problemstillingen ble valgt da dette er et svært dagsaktuelt problem. Miljøforurensinger har blitt et stadig større problem i verden, noe som krever at vi finner gode løsninger for å håndtere situasjonen. Jeg valgte å ta for meg kromforurensinger. Dette fordi metallet kan gi store konsekvenser for miljøet rundt seg, men det er mindre omtalt en metaller som bly og kvikksølv. Gjennom denne oppgaven skal vi altså både belyse problemet, få en sammenheng mellom påvirkende faktorer, samt diskutere mulige løsninger.

Hva er greia med krom? (Teori)

Hvor kommer kromforurensingen fra?

Det er flere kilder til kromforurensing i jord, både naturlige faktorer og antropogene faktorer. Kildene til kromforurensning er altså både naturlige og menneskeskapt. Mye av forurensingene er menneskeskapt, mens bare en liten andel kommer naturlig fra jordskorpen.[3]

Antropogene faktorer.

Den største kilden til kromforurensing er uten tvil industri. Industri av diverse varer fører til store utslipp av krom gjennom avfallsvann som slippes ut i naturen. Tabell 2 under vedlegg viser et utdrag av hvilke type industrier som slipper ut heksavalent krom gjennom produksjon og bruk. Her kan det legges merke til at nevnes treverdig og seksverdig krom. Vi skal senere ta for oss forskjellige ladninger, men for nå tar vi for oss kildene vi observerer. [3][4]

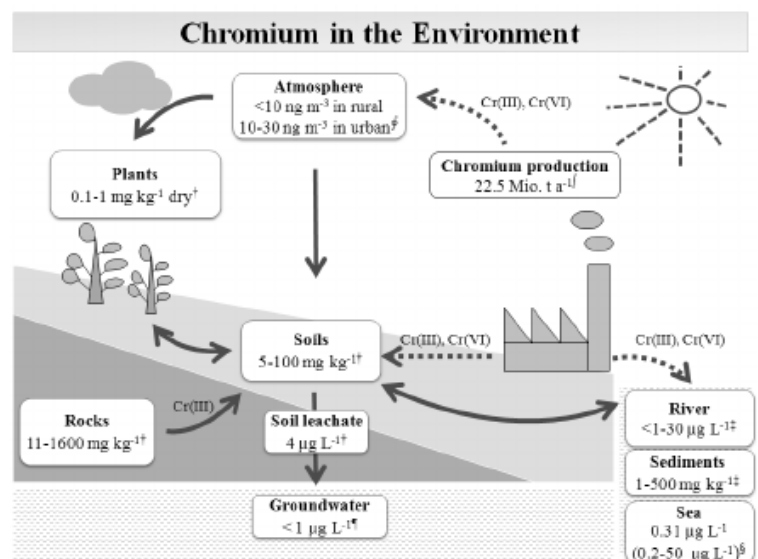
En stor kilde til kromforurensinger er impregnert treverk. Det er noe som over tid har gitt høy konsentrasjon av krom i jord, spesielt her til lands. I Norge er dette en hovedkilde til kromforurensinger. Over 60% av kromforurensingen i Norge kommer fra impregnert treverk. [5].

Andre industrier som bidrar til forurensing av krom er produksjon av blekk, maling og plastikk pigmenter, samt oppmykning og garding av skinn. Vi kan også fra tabell 1 observere at en industri som bidrar til kromforurensingen er produksjon av rustfritt stål. Krom finnes også i betong, og forkromming av diverse gjenstander er populært, da krom har en skinnende og fin sølvfarge. Flere av disse industriene kan påvirke negativt på miljøet rundt seg, samt medføre helsefarer for arbeiderne. Dette er noe som senere blir omtalt i oppgaven. [3]

Naturlige faktorer.

Jord inneholder krom naturlig. Dette er krom som kommer fra kildebergarter, bergarter som finnes i jordskorpen. Disse bergartene er ofte ultramafiske bergarter, som vil si at de er bergarter av størknet lava. [6] I Trondheim forekommer dette grunnet tilstedeværelsen av bergarten gabbro som er en slik bergart.[7] Når det er sagt er ikke dette en kilde til forurensing i stor grad. Mengden av krom i vanlig jord variere fra 10-100 mg/Kg. Dette sammenliknet med stålindustrien som slipper ut 2915 mg/Kg krom i avfallsvannet tilsvarer bare en liten brøkdel. Det er flere mineraler som inneholder krom, men mest interessant for oss er kromitt (FeCr_2O_4). Dette mineralet er det eneste som brukes til kommersiell fremstilling. [8]

Som en oppsummering kan vi ta i bruk figur 1 som vist til høyre. Her ser vi at treverdig og seksverdig krom kommer fra industri, som blir sluppet ut i jord, vann eller luft. Her kan man også se hvordan forurensningen videre kan forplante seg fra jord til elver og vers versa, samt gå fra elver til sedimenter og havet. En kan fra figuren også se at steiner, altså kildebergartene, kan bidra til treverdig kromforurensing i jorden. Denne figuren inneholder også verdier på hvor mye forurensing som kommer fra de forskjellige kildene. Disse verdiene



Figur 1: Kilder til kromforurensing. [9]

stemmer overens med hva vi har nevnt tidligere, da industri bidrar til signifikant mer forurensing en kildebergartene.

Kroms påvirkning av miljøet rundt seg.

Det er flere faktorer som er med på å endre krom sin påvirkning på dens omgivelser. De to mest essensielle faktorene er redoksformen til krom atomet, samt pH verdien på dens omgivelse.

Redoksformen til krom

Krom er et tungmetall i gruppe 6 av periodesystemet med atomnummer 24. En av egenskapene til krom er de forskjellige redoksformene det kan forekomme på. I forbindelser kan krom forekomme på redoksformer fra -IV til VI. De vanligste formene er metallisk krom med ladning 0, samt toverdige-, treverdige- og seksverdige-krom. Altså har de mest stabile ion-formene til krom følgende ladninger: II, III og VI. Det er derimot mulig å finne krom med ladning på IV og V, men dette er mer sjeldent. [10]

Krom med oksidasjonstall III er det mest stabile krom ionet. Det opptrer i blant annet krom(III)oksid Cr_2O_3 , Krom(III)sulfat $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ og krom(III)klorid. Det faktum at denne formen er det mest stabile, er en viktig kunnskap å ha med seg viere når vi skal diskutere hva vi kan gjøre for å redusere virkningen av krom i forurenset jord. [11]

Heksavalent krom er den mest giftige og kreftfremkallende kromformen. Dette kommer av at seksverdige krom er svært oksiderende. Som nevnt tidligere er denne kromformen svært gjennomtrengende i industrien. Det brukes bland annet i betong, rustfritt stål, impregnert treverk, tekstilfargestoffer osv. Disse industriene og flere er vist i tabell 2 under vedlegg. Denne formen er mest miljøskadelig og derfor et prioritert problem ved fjerning av giftstoffer fra forurenset jord. [3]

pH verdi.

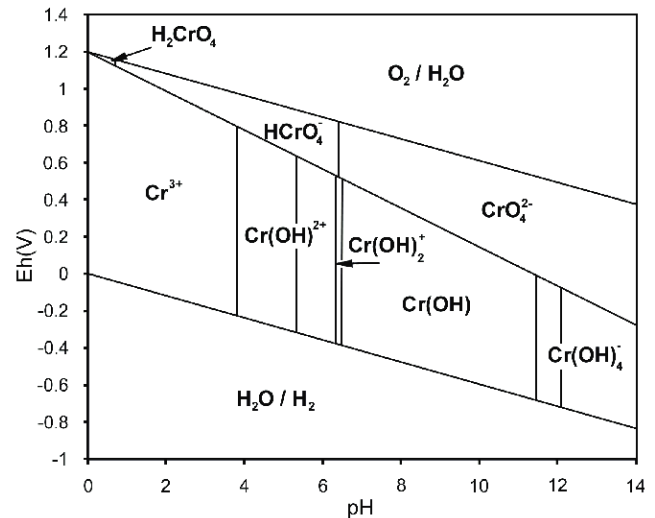
Som nevnt eksisterer det flere forskjellige redoksformer av krom, noe som i stor grad blir påvirket av pH. Både pH i jord og vann påvirker redoksformen til krom. Da mye av kromforurensinger kommer fra avfallsvann gjennom industri tar vi utgangspunkt i hvordan krom påvirkes av vannets pH. I figuren til høyre vises samspillet mellom potensial og pH i et Pourbaix diagram.

De tykke linjene viser i dette diagrammet område hvor vann er stabil. Utenfor disse linjene er vann i gassfase, noe vi i ikke tar hensyn til i denne oppgaven. Dersom en går over den stabile fasen til vann oksideres vannet og oksygen gass dannes. Skulle en beveger seg under dette området for stabilt vann, vil protoner bli redusert til hydrogen gass. I dette diagrammet kan vi observere samspillet mellom redoksformene til krom, hvilke forbindelser krom inngår under diverse forhold, og hva slags ladning krom får i de forskjellige forbindelsene. Merk også at det går en diagonal linje mellom linjene som markerer vann. Denne linjen markerer en signifikant forskjell i oksidasjonstall!

Under den midterste diagonale linjen i figur 2, kan vi observere de ulike bindingene krom inngår i når oksidasjonstallet til krom er tre. Fra lavest til høyest pH ser vi at bindingene er som følger: $\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$, $\text{CrOH}^{2+}(\text{aq})$, $\text{Cr}(\text{OH})_2^+(\text{aq})$, $\text{Cr}(\text{OH})_3(\text{aq})$, $\text{Cr}(\text{OH})_4^-$. I alle disse bindingene får krom oksidasjonstallet III. Beveger vi oss derimot over den midterste diagonale linjen får vi noen andre bindinger. Ved lav pH og høy E finner vi H_2CrO_4 , videre ved økende pH og synkende E observerer vi HCrO_4^- og CrO_4^{2-} . I disse tre formene får krom oksidasjonstall VI. En kan fra dette se sammenhengen med at høyere E i en løsning med krom i, vil resultere i en oksidasjon av Cr(III) til Cr(VI). [12]

Påvirkninger på omgivelsene.

Forurensing er definert som «spredning av stoffer til luft, vann eller jord som fører til ulempe eller skade på helse eller trivsel for mennesker, dyr og planter, eller skade på dødt materiale.» [13]. Fra denne definisjonen er det naturlig for oss å stille spørsmål om hva slags ulempe eller skade krom har på helse eller trivsel for mennesker, dyr og planter.



Figur 2: Pourbaix diagram av krom. [12]

Innledningsvis er der verdt å nevne at krom, treverdig, betraktes som et viktig metall for mennesket. Vi bruker treverdig krom i diverse reaksjoner i kroppen, hvor metabolisme av glukose og insulin er noen av dem. Derimot er det stor enighet rundt at for mye krom gir skadelige effekter. Krom sitt oksidasjonstall har en innvirkning for hva slags effekter krom gir. Så hva skjer om man får i seg for mye treverdig krom? [14]

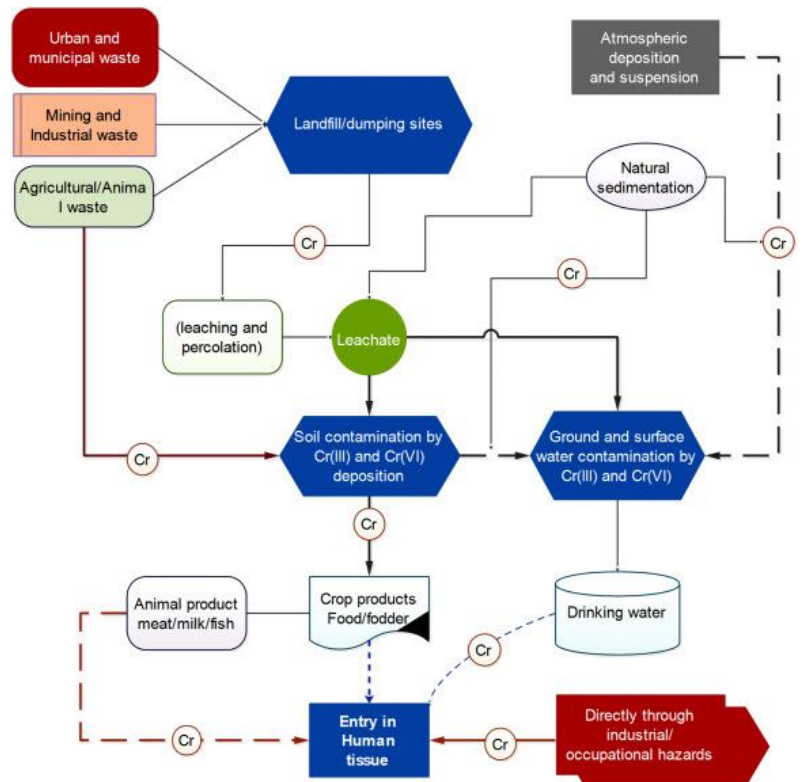
Treverdig krom er lite giftig, som vil si at en i utgangspunktet ikke får store skader av et høyt krom inntak. Dette kommer av hvordan krom transporteres gjennom kroppen fra inntak til utgang. Krom blir nemlig ikke i stor grad tatt opp av tarmsystemet eller fordøyelsessystemet. Det vil si at krom ikke skader kroppen, da den går rett gjennom. Det er også vist lite bivirkninger av å ta kosttilskudd som inneholder krom. En skal derimot vite at det kan i sjeldne tilfeller forekomme en forgiftning som et resultat av et for høyt krom konsum. Dette kan komme av at maten man spiser inneholder krom. Skulle en slik forgiftning forekomme vil man være i behov for medisinsk assistanse.[15][16]

De mer alvorlige virkningene mennesket kan utsettes for kommer fra seksverdig krom. Hvilke virkninger mennesket blir utsatt for avhenger helt av hvordan man blir eksponert for krom. Dersom en skulle inhalere seksverdig krom kan mulige bivirkninger være rennende nese og irritasjon av nesens slimhinne, i tillegg til at man kan få pusteproblemer som hoste, tungpustethet og kortpustethet. Ved inhalering av store konsentrasjoner av krom vil en også kunne utvikle lungekreft. Dersom man blir eksponert for direkte hudkontakt vil trolig en allergisk reaksjon, hudsår og eventuell etsning av hud forekomme. [15][16]

Det er gjerne industriarbeidere i de tidligere nevnte industriene som kan oppleve en slik eksponering. I figur 3 er denne eksponeringsveien markert med en rød sammentrukket linje. Skulle derimot jord bli forurenset kan dette videre forurense maten vi spiser eller vannet vi drikker. Da vil en kunne kjenne på virkningene av seksverdig krom. Dersom en inntar krom gjennom mat eller drikke kan en bli utsatt for virkninger som irritasjon av slimhinne i både mage og tarm. En kan fra figur 3 observere at dette kan skje fra animalske produkter (illustrert ved rød stiplet linje), mat fra avlinger (illustrert ved stiplet blå linje) eller gjennom drikkevann (illustrert ved stiplet lyseblå linje). Dersom kromforbindelsen skulle blitt tatt opp i tarmen kan en bli utsatt for nyre- og leverskade. Ved langvarig eksponering kan krom være med på å skade immunsystemet vårt. Enkelte kromforbindelser kan også skade arvestoffet og reproduksjonssystemet. Dette er derimot kun påvist å gjelde for det mannlige reproduksjonssystemet. [15][16][17]

Det kan være verdt å nevne at det har blitt gjennomført flere studier rundt virkningen av krom på mennesker og dyr. Enkelte av disse viser til at dyr og mennesker som har vært eksponert for høye konsentrasjoner av heksavalent krom over en lengre periode, har en høyere risiko for å utvikle magesvulster. Dette bør tas med en klype salt, da disse studiene baserer seg på forskning av usikker kvalitet.

Figur 3 til høyre viser oss de forskjellige eksponeringsveiene for krom. Her kan en se hvilke veier som kan føre til at et menneske blir eksponert for krom. Vi har diskutert mye av denne figuren før blant annet hvordan kromforurensinger kan komme seg til jord og vann. En kan også se her hvordan det videre kan bevege seg fra jordforurensing til maten vi spiser, samt fra grunnvann og overflatevann til vannet vi drikker. Begge disse veiene er illustrert i sentrum av figuren. Fra figuren kan vi også observere at det er fire hovedveier fra kromforurensing til der mennesket blir påvirket. Et menneske kan bli påvirket av krom ved å



Figur 3: Eksponeringsveier for kromforurensing [3]

konsumere mat fra jord med forurensing, som for eksempel korn og ris (illustrert ved blå stiplet linje) og animalske produkter (illustrert ved rød stiplet linje) som inneholder krom. En kan også få i seg krom fra drikkevann (illustrert ved lyseblå stiplet linje) eller direkte fra industriutslipp (illustrert ved rød linje).

Tiltak som kan gjøres. (Diskusjon)

Så hva kan vi gjøre for å forhindre disse virkningene? **Hvilke tiltak kan gjøres for å forminske miljøpåvirkningene fra krom i forurenset jord?**

Det finnes ulike tiltak og metoder for å fjerne eller redusere dette problemet på. I denne oppgavene er disse delt inn i tre grupper:

- Forebyggende tiltak.
- Tiltak som reduserer krom fra seksverdig krom til treverdig krom.
- Metoder som fjerner eller immobiliserer krom.

Med forebyggende tiltak menes gjerne statlig regulerte tiltak som gjelder for å forminske utslippet av krom. Enten ved å forby diverse industri av krominnholdige varer, eller restriksjoner rundt bruken av dem. Tiltak som reduserer krom fra Cr(VI) til Cr(III) omhandler akkurat hva det beskriver. Dette gjøres da treverdig krom har mindre skadelige effekter enn seksverdig. Tiltak som fjerner krom fra jorden eller immobiliserer krom dekker forskjellige teknikker og metoder som minsker konsentrasjonen av krom i jord. Dette enten ved å bruke planter og biomasse som tar opp krom i røttene sine, eller å lage kapsler som immobiliserer krom.

Forebyggende tiltak.

Som nevnt er forebyggende tiltak ofte restriksjoner som gjøres for å forhindre utslipp av krom. Det er ofte enklere å avverge et problem før det faktisk blir et problem. Vi har tidligere nevnt de forskjellige industriene som er ansvarlige for utslipp av krom, noe som kan gi en pekepinn på hvor utslippene kan reduseres. En kan ta utgangspunkt i Norge og bruker impregnert treverk som eksempel. Uten tvil er impregnert treverk det som har bidratt mest til kromforurensing. I 2019 ble nesten 100 tonn krom sluppet ut gjennom impregnert treverk. Fra 2002 ble det forbudt å produsere og omsette slik treverk, noe som til nå har bidratt til en 60% reduksjon av kromforurensing. Impregnert treverk bidrar fortsatt til over 60% av kromforurensingen, da det fortsatt lekkes ut av gammelt treverk som fortsatt er i bruk. En kunne selvfølgelig ha byttet ut alt treverk for å redusere utsleppene ytterligere, men dette vil da komme ned til et spørsmål om penger. [5]

I tillegg til at stater og land har egne restriksjoner og tiltak å forholde seg til, finnes også internasjonale. Vi har blant annet EUs kjemikalierregelverk å ta hensyn til. Her nevnes flere restriksjoner for å forhindre giftige utslipp. Noen av dem er «forbud mot å omsette lærvarer som inneholder seksverdig krom, og som kommer i kontakt med huden», «forbud mot å omsette lærvarer som inneholder seksverdig krom, og som kommer i kontakt med huden» og «forbud mot mange kromforbindelser i kjemikalier som selges til private». [5]

Metoder som fjerner eller immobiliserer krom.

Fjerning av krom fra jord og avfallsvann er en effektiv måte å senke konsentrasjonen av krom, og derav minske krom sin påvirkning på sine omgivelser. Det finnes mange måter å gjøre dette på, men bio-baserte fremgangsmåter er en metode vi i denne oppgaven velger å fokusere på. Dette er noe som blir tatt i bruk flere steder, og det menes altså å bruke biomasser til å fjerne krom.

Både levende og død biomasse har vist store evner til å både fjerne og redusere krom i diverse forurensede miljøer. Blant annet har agro-basert avfall, avfall fra jordbruk, vist seg å ha stor effekt på kromkonsentrasjonen i jord. Det finnes flere av disse som har stort potensial når det kommer til absorbering av krom. Gjennom forskning har man funnet ut at blant annet «Wheat straw (322.58 mg/g), bagasse fly ash (260 mg/g), rice bran (312 mg/g), og Maize bran (312 mg/g)...», har gode evner for dette formålet [18]. Tallene bak hver art indikerer dens evne til å ta opp krom. Ved å plante slike planter, kan krom fjernes direkte fra jorden. En må også ha i bakhodet at disse plantene da også ikke bør konsumeres da de har krom i seg.

Når det kommer til bruken av dette for å fjerne konsentrasjonen av krom i jord kan dette også gjøres med hjelp fra regnvann. Regn drar med seg ulike forurensinger fra jorden ned til tjenn og vann, hvor ulike planter tar opp metaller som bly og nevnt tidligere krom. En metode som brukes er konstrueringen av falske innsjøer langs motorveier og liknende. Kjøretøy slipper fra seg krom langs veiene da det blant annet er et metall som brukes i diverse deler av kjøretøy. Når krommet har lagt seg og regnet kommer, skylles regnvannet fra veiene ned til disse innsjøene. Her har vi mulighet til å plante ulike vannplanter som da tar opp krommet, noe som forminske forurensingen av krom.

I stedet for å fjerne krom, kan det immobiliseres ved hjelp av metallkapsler. Denne metoden blir kalt å immobilisere ved «core-shell lightweight aggregate», CS-LWA. Dette er en ganske lovende teknikk for jordsanering. Dette er en metode som blir brukt på Cr(VI) forurenset jord, hvor det forekommer høy konsentrasjon av krom. En forskningsartikkel av Hui Li med flere viser til bruken av CS-LWA kan være en effektiv måte å redusere miljøpåvirkningene fra krom. I denne forskningen er kjernen i CS-LWA forurenset jord med innhold av seksverdig krom. Barrieren rundt var rene bulkmaterialer som skulle forsegle kjernen. Dette gjøres for å forhindre lekkasje av kjernen, med andre ord immobilisering. Videre ble en reduktant, pulverisert kull tilsatt for å gjøre dette systemet mer hardt og solid, slik at krom ble bedre immobilisert.

Resultatene fra denne forskningen viser til at dette er en god måte å fjerne konsentrasjonen av krom i jorden. Under de forholdene som ble brukt i denne forskningen ble det normalt sluppet ut 1042.8 mg/L krom fra ubehandlet jord med kromforurensninger. Da de immobiliserte krommet ved å bruke denne metoden fikk de redusert utslippet til 0.02 mg/L.[19]

Det er flere måter å lage disse barrieren på, både i form av ulike løsninger og metaller. I en separat forskning utført av Wenyi Yuan ble det også laget slike barrierer for immobilisering av krom. Her ble det tilsatt natriumsulfid til den forurensede jorden for å sikre immobiliseringen. På denne måten fikk Yuan redusert kromutslippet fra 663.98 mg/L til 0.84 mg/L, noe som tilsvarer en reduksjon på 99.9%. [20] Problemet med disse valgene er at natriumsulfid er lett løselig i vann. Dette vil kunne resultere i en nedbrytning av barrieren, som da vil slippe ut seksverdig krom i jorden igjen. I tillegg til denne utfordringen vil også natriumsulfid i kontakt med syre reagere og danne hydrogensulfid. Stoffet er svært skadelig for mennesker da det i høye konsentrasjoner kan gi bevissthetstap, alvorlige symptomer og død.[20][21]

Redusering av krom.

Det ble tidligere nevnt at for å forminske krom sin påvirkning på sine omgivelser, er det mulig å redusere seksverdig krom til treverdig krom. Det er ikke alltid nødvendig å fjerne krom fra jorden dersom man reduserer den! Vi har tidligere gjennomgått miljøeffektene av seksverdig krom, og sett at de er svært uønskede. Det er flere måter å redusere krom på, blant annet ved hjelp av mikroorganismer og pH endringer.

Re-oksidering av krom er ikke uvanlig, da treverdig krom naturlig kan bli oksidert til seksverdig. Det har blitt forsket på hvordan dette kan reverseres, og en gruppe forskere har sett at kjemisk reduksjon kombinert med mikrobiell stabilisering kan være en løsning. Denne forskningen har tatt utgangspunkt for krom i forurenset jord, noe som er svært sentralt for denne oppgaven. Resultatene av undersøkelsen var blant annet at den kjemiske reduksjonen fikk en konverteringsgrad på 97%. Videre ble det observert at konsentrasjonen av krom i giftige løsninger kan reduseres med 95% etter 40 dager med mikrobiell stabilisering. Allerede her har denne forskningen sammenliknet to metoder. Bruken av soppsamfunn viste seg å være mindre effektivt enn et bakteriesamfunn. Vi skal selv sammenlikne enkelte metoder senere i oppgaven, men for nå kan det være interessant å vite at dette er en av grunnene til at bakterier og mikroorganismer er brukt i motsetning til soppkulturer. [22]

Tidligere i oppgaven har vi sett på hvordan pH endrer redoksformen til krom. Det ble tatt utgangspunkt i vann hvor vi så hvilke kjemiske former krom danner i vann. Denne informasjonen kan hjelpe oss å forstå hvordan pH regulering av miljøer kan være med å redusere ladningen til krom. Ofte vil det da være snakk om å redusere pH-verdien til miljøet. Dette kan gjøres ved hjelp av jernbærende reduktanter, svovelbaserte løsningsmidler og organiske tilsetningsstoffer. Dette gjøres da det er både billig, effektiv og tilpasningsdyktig til forskjellige jordområder. [23]

pH kan også ha innvirkninger på andre prosesser. Et eksempel på dette er henna (*Lawsonia inermis*) gjæring. Dette er gjæring forårsaket av planten henna. Denne type gjæring er med på å fjerne heksavalent krom. Dette gjøres ved at den tilbyr bio-tilgjengelige elektron donorer, VFA-er (volatile fatty acids). Gjæringen skjer over flere dager og «batcher», hvor den første batchen (dag 1-4) produserte nok VFA til å fjerne over 99% av Cr(VI). Denne fjerningen hadde noe høyere utbytte ved pH 9. De neste batchene (dag 5-13 og 14-23) hadde dårlige utbytte da det ikke lengre ble produsert mer elektron donorer. I denne forskningen ble det også tatt høyde for immobilisering av Cr(III), hvor det ble sett at selv om pH 11 ga mest elektrondoner på de senere batchene, førte det til lavere immobilisering av treverdige krom. Det ble påvist gjennom analyse at effekten til immobilisering av Cr(III) var 64% ved pH 9 mot 54% ved pH 11. Det ble derfor konkludert med at pH 9 var mest egnet i henna gjæring. Dette er et eksempel på at pH både direkte og indirekte kan påvirke krom konsentrasjonen i forurensede miljøer.[24]

Hvilken metode er mest fordelaktig å bruke?

Når det kommer til hvilken av disse metodene som er best, eller mest fordelaktig å bruke, er det flere ting å ta hensyn til. Hvor tilgjengelig er løsningen, hvor mye koster det, hvor miljøvennlig er det og i hvor stor grad hjelper det? Dette er bare noe av det å ta hensyn til, men det vi i denne oppgaven legger hovedvekt på. En kan generalisere dette ned til hvor bærekraftig, tilgjengelig og kostbar metoden er. En oppsummering av metodene med tanke på dette kan finnes i tabell 1 i slutten av diskusjonen.

Som nevnt tidligere i oppgaven ble det sagt at det er enklere å gjøre noe med problemet før det oppstår. På denne måten kan en argumentere at å innføre direktiver og restriksjoner kan være en effektiv måte å redusere problemet på. Da denne metoden heller ikke bidrar til noe direkte forurensing, er denne metoden svært bærekraftig. Hvis vi igjen bruker Norge som eksempel kan en se at kromutslippet til Norge har blitt redusert med 60% fra 1995-2019. Dette skyldes forbudet mot impregnert treverk av den typen som bidrar til kromforurensinger. Fortsatt skyldes om lag 60% av kromforurensningene impregnert treverk. Dette er da gammelt treverk som

fortsatt er i bruk, som lekker ut krom med tiden. Om Norge burde da fjerne all impregnering treverk for å redusere utslippet ytterligere 60% er et spørsmål å stille, men svaret har blitt nei, da dette anses å være lite kosteffektivt. Tilgjengeligheter på forebyggende tiltak er stor, da alle har et valg om å slippe ut kromforurensinger. Noen valg er vanskelige å ta, men valget er der uansett. Hvor kostbart det er avhenger selvfølgelig på hva en skal gjøre i stedet. Skal man la vær å bruke krom i rustfritt stål, må dette trolig substitueres med noe, som igjen kan være dyrere. Når dette er sagt kan denne metoden være svært bærekraftig og effektiv.

Metoden som tar i bruk biomasse for å fjerne krom har også sine fordeler. Denne metoden, altså absorpsjon av krom, har vist seg å være en av de mest effektive måtene å fjerne metaller fra jord og vann. Dette har utviklet seg til en verdensomspennende forskning på å finne gode og effektive absorbenter [25]. Effektivitet er viktig i valg av metode, men i tillegg til det, er denne metoden både trygg å bruke fra et økologisk perspektiv. Denne metoden er også økonomisk. En tilleggs gode ved bruken av denne metoden er at man kan ta i bruk noe av biomassen som er avfallsprodukt fra landbruk. Dette vil i så fall resultere i god avfallshåndtering. Baksiden av denne metoden er hva en må gjøre med biomassen da den har gjort sitt. Avfallshåndteringen av biomassen kan påvirke både bærekraften og kostnaden til metoden. Tilgjengeligheten av denne metoden antas å være variabel, da en må se mulighetene for planting av biomassen.

Immobilisering av krom har både sine fordeler og ulemper. Den største fordel med denne metoden er i hvilken grad den fungerer. Vi har sett at en immobilisering ved hjelp av pulverisert kull og bulkmetaller kan redusere lekkasje av seksverdig krom fra jord med over 99.99%. Vi har også sett et en løsning med natriumsulfid i kjernen kan være om lag 99.9% effektiv. De negative sidene med dette kan være med tanke på hvor miljøvennlig selve løsningen er. Det førstnevnte skallet er laget av kull, noe som ved produksjon kan slippe ut store mengder CO₂. I tillegg til dette vil den sistnevnte løsningen kunne bli reversert. Med dette menes at barrieren kan løse seg i vann og slippe ut det seksverdig krommet igjen. Verre kan det bli om det er syre barrieren kommer i kontakt med. I det tilfellet ville dannelse av hydrogensulfid forekomme. Metoden i seg selv virker ganske lukrativ med hensyn til effekten, men hvorvidt den bør brukes kommer helt an på valg av kjerne og barriere. Dette gjør at vi kan anse denne metoden som moderat bærekraftig, da noen av barrierene kan gi store miljøkonsekvenser.

Når det kommer til å redusere krom fra seksverdig til treverdig minker ikke konsentrasjonen av krom i jorden. Det som derimot minker, er de negative følgene av kromforurensingen. Vi har tidligere kommet frem til at seksverdig krom er mer skadelig enn treverdig, noe som gjør treverdig kromforurensinger mer ønsket enn seksverdig kromforurensinger. Denne metoden er

både billig, effektiv og tilpasningsdyktig til forskjellige jordområder. Ved å bruke kjemisk reduksjon kombinert med mikrobiell stabilisering kan en få en konverteringsgrad opp mot 97%. Hvor godt forskjellige reduksjon-metoder stabiliserer treverdige krom er ganske viktig for utførelsen. Dersom en re-oksidasjon av treverdige krom skulle forekomme er man tilbake til det punktet hvor en startet. Hvorvidt denne metoden er bærekraftig er vanskelig å si. Denne metoden fikser problemet med negativ påvirkning på miljøet fra krom. Det er derimot slik at en må bruke en del kjemikalier for å få oppnådd dette. En kan derfor argumentere for at denne metoden er moderat bærekraftig.

En kan altså se både fordeler og ulemper med alle disse metodene. Forebyggende tiltak hjelper med å redusere utslippet, men løser ikke et allerede eksisterende problem. Dersom man velger å fjerne krom ved hjelp av biomasse må en ta i betraktning hvor tilgjengelig biomassen er, samt hva man gjør med den. Vannplantene som er nevnt er billige og økovennlige, mens korn og ris ikke nødvendigvis kan brukes i alle type områder, og heller ikke konsumeres i ettertid. Immobilisering av krom kan være svært effektivt, men valg av kjerne og barriere er essensielt med tanke på bivirkninger. Holder skallet seg, eller løses det opp? Kan det medføre mer vondt enn godt, som å slippe ut hydrogensulfid? Reduksjon av seksverdige krom kan redusere de miljøskadelige effektene fra forurensingen, til tross for at ikke konsentrasjonen av krom minsker. Det kan utføres med stor effekt, men kromforurensing vil fortsatt være tilstede, og sannsynligheten for reoksidering må tas hensyn til gjennom denne metoden. Under finnes tabell 1, som oppsummerer og konkretiserer det vi har diskutert rundt de forskjellige metodene. Her er hovedfokuset lagt på hvor tilgjengelig og kostbar metoden er, om det finnes bivirkninger ved bruk av metoden, samt hvor bærekraftig metoden er,

Tabell 1: Hvor bærekraftig, tilgjengelig og kostbar er metoden?

Metode	Tilgjengelig	Kostbar	Bivirkninger på miljøet?	Bærekraftig
Forebyggende tiltak.	Svært tilgjengelig, men om det er ønskelig er en vurderingssak.	I utgangspunktet kosteffektiv, men total kostnad varierer fra sak til sak.	Ingen direkte bivirkninger.	Svært bærekraftig og effektiv.
Fjerning av krom ved hjelp av biomasse.	Hvor tilgjengelig denne løsningen er kommer helt an på hvilke områder det skal brukes i..	Lav kostbarhet. Dette kan påvirkes av avfallshåndteringen rundt biomassen.	Ingen direkte bivirkninger.	Svært bærekraftig og effektiv. Dette kan påvirkes av avfallshåndteringen rundt biomassen.
Immobilisering av krom ved bruk av barrierer .	Denne metoden er mindre tilgjengelig enn andre da forskjellige kjemikalier må tas i bruk.	Dette er nok en av de mer kostbare metodene, da både kostnad av kjemikalier og produksjon må tas i betraktning.	Kan ha små til store bivirkninger på miljøet.	Moderat bærekraftig.
Redusere krom fra Cr(VI) til Cr(III).	Denne metoden er mindre tilgjengelig enn andre da forskjellige kjemikalier må tas i bruk.	Dette er nok en av de mer kostbare metodene, da både kostnad av kjemikalier og produksjon må tas i betraktning.	Bivirkninger i form av at mer kjemikalier blir tilsatt til det forurensede området.	Moderat bærekraftig

Avslutning

Det er altså ikke lett å et generelt svar på hvilken metode som er mest fordelaktig. En kan derimot ta et valg av metode til et spesifikt problem. Når Norge så at det var mye kromforurensing fra impregnert treverk ble forebyggende tiltak satt, slik at utslippene ble redusert med 60%. Om vann skulle dra med seg krom i en innsjø kan fjerning av krom ved hjelp av vannplanter være en god ide. En kan også se for seg at immobilisering av krom kan være fordelaktig i forskjellig type jord, da den har en svært høy effektivitet.

Det er ikke alltid slik at når et problem oppstår finnes det kun én løsning. Det er heller ikke slik at alle mulighetene er en god og fordelaktig løsning på problemet. Dersom en skulle få et problem med kromforurenset jord er det viktigste at vi har løsninger for å håndtere det. Så **«Hvilke tiltak kan gjøres for å forminske miljøpåvirkningene fra krom i forurenset jord?»**.

Det finnes et rekke utvalg av tiltak og metoder som kan forminske miljøpåvirkningen fra krom i forurenset jord. Noen av disse er:

- Forebyggende tiltak som restriksjoner og forbud.
- Fjerning av krom ved hjelp av biomasse.
- Immobilisering av krom.
- Redusering av seksverdig krom til treverdig krom.
 - Ved hjelp av jernbaserte reduksjonsmidler, svovelbaserte løsningsmidler og organiske tilsetningsstoffer.
 - Kjemisk reduksjon kombinert med mikrobiell stabilisering.

Vedlegg.

Tabell 2: Kilder til kromforurensing fra industri. [3]

Type of hexavalent chromium [Cr(VI)] form used in various industries.

Cr- used in industries	Chemicals form
Anti-corrosion agent (chrome, spray coatings)	Barium chromate (BaCrO_4), Calcium chromate (CaCrO_4), Zinc chromate (ZnCrO_4), Strontium chromate (SrCrO_4), Sodium chromate (CrNaO_4),
Tanning of leather products	Ammonium dichromate [$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$]
Wood-preservatives	Chromium trioxide (CrO_3)
Stainless Steel	Potassium chromate (KCrO_4), Sodium chromate (CrNa_2O_4), Ammonium dichromate [$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$], Potassium dichromate ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
Paints, inks, and plastics, pigments	Barium chromate (BaCrO_4), Calcium chromate (CaCrO_4), Lead chromate (PbCrO_4), Zinc chromate (ZnCrO_4), Potassium dichromate ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), Sodium chromate (CrNa_2O_4)

Kilder

- 1) Naz A., Chowdhury A. & Rosencranz A. (2020), Cursed by contaminants, *The Statesman*, [Artikkel](#)
- 2) Sherrell Z. (2021), 7 lung cancer risk factors and how to reduce them, *Medical news today*, [Artikkel](#)
- 3) Prasad, S., Yadav, K. K., Kumar, S., Gupta, N., Cabral-Pinto, M. M. S., Rezanian, S., Radwan, N., & Alam, J. (2021). Chromium contamination and effect on environmental health and its remediation: A sustainable approaches. *Journal of Environmental Management*, 285, 112174. [Artikkel](#)
- 4) Kerur, S. S., Bandekar, S., Hanagadakar, M. S., Nandi, S. S., Ratnamala, G. M., & Hegde, P. G. (2021). Removal of hexavalent Chromium-Industry treated water and Wastewater: A review. *Materials Today: Proceedings*, 42, 1112-1121. [Artikkel](#)
- 5) Miljødirektoratet (2021), krom og kromforbindelser, hentet fra: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/krom>
- 6) Yan, T., Wang, X., Liu, D., Chi, Q., Zhou, J., Xu, S., Zhang, B., Nie, L., & Wang, W. (2021). Continental-scale spatial distribution of chromium (Cr) in China and its relationship with ultramafic-mafic rocks and ophiolitic chromite deposit. *Applied Geochemistry*, 126, 104896. [Artikkel](#)
- 7) Askheim, S. (2016) Trondheimsfeltet, Store Norske Leksikon. Hentet fra: <https://snl.no/Trondheimsfeltet>
- 8) Alloway B.J. (Red.). (2013). *Heavy metals in soil, chapter 11*. (3.utg) Springer, Dordrecht
- 9) Kim, R.-Y., Sung, J.-K., Lee, J.-Y., Kim, S.-C., Jang, B.-C., Kim, W.-I., & Ok, Y. S. (2010). Chromium Distribution in Korean Soils: A Review. *Korean Journal of Soil Science and*

Fertilizer, 43.

[Figur](#)

- 10) Kofstad P. K. og Pedersen B (2019), *Krom*, hentet fra: <https://snl.no/krom>
- 11) Katz, S. A.. (1991). The analytical biochemistry of chromium.. *Environmental Health Perspectives*, 92, 13–16. <https://doi.org/10.1289/ehp.919213>
- 12) Jeřábková, J., Tejnecký, V., Boruvka, L., & Drabek, O. (2018). Chromium in Anthropogenically Polluted and Naturally Enriched Soils: A Review. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 49, 297-312. [artikkel](#)
- 13) Thaulow H., Halleraker J.H. og Andersen G.(2021). *Forurensning*, hentet fra: <https://snl.no/forurensning>
- 14) Vincent, J. B. (2004). Recent advances in the nutritional biochemistry of trivalent chromium. *Proceedings of the Nutrition Society*, 63(1), 41-47. <https://doi.org/10.1079/PNS2003315>
- 15) SA Health (2020). Cromium: health effects, Hentet fra <https://www.sahealth.sa.gov.au/wps/wcm/connect/public+content/sa+health+internet/conditions/chemicals+and+contaminants/chromium+health+effects>
- 16) Folkehelseinstituttet (2018). Metaller, Hentet fra <https://www.fhi.no/nettpub/luftkvalitet/temakapitler/metaller---luftkvalitetskriterier/>
- 17) Richa Shrivastava, R.K. Upreti, P.K. Seth, U.C. Chaturvedi, Effects of chromium on the immune system, *FEMS Immunology & Medical Microbiology*, Volume 34, Issue 1, September 2002, Pages 1–7, <https://doi.org/10.1111/j.1574-695X.2002.tb00596.x>
- 18) Singh, P., Itankar, N., & Patil, Y. (2021). Biomanagement of hexavalent chromium: Current trends and promising perspectives. *Journal of Environmental Management*, 279, 111547. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111547>
- 19) Li, H., Yang, Y., Zheng, W., Chen, L., & Bai, Y. (2020). Immobilization of high concentration hexavalent chromium via core-shell structured lightweight aggregate: A promising soil remediation strategy. *Chemical Engineering Journal*, 401, 126044. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126044>
- 20) Yuan, W., Xu, W., Wu, Z., Zhang, Z., Wang, L., Bai, J., Wang, X., Zhang, Q., Zhu, X., Zhang, C., & Wang, J. (2018). Mechanochemical treatment of Cr(VI) contaminated soil using a sodium sulfide coupled solidification/stabilization process. *Chemosphere*, 212, 540-547. [Artikkel](#)
- 21) Helsenorge (2019). *Gjødselsgass – hydrogensulfid*, Hentet fra: <https://www.helsenorge.no/giftinformasjon/giftige-gasser/hydrogensulfid/>
- 22) Fu, L., Feng, A., Xiao, J., Wu, Q., Ye, Q., & Peng, S. (2021). Remediation of soil contaminated with high levels of hexavalent chromium by combined chemical-microbial reduction and stabilization. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123847. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123847>
- 23) Yang, Z., Zhang, X., Jiang, Z., Li, Q., Huang, P., Zheng, C., Liao, Q., & Yang, W. (2021). Reductive materials for remediation of hexavalent chromium contaminated soil – A review. *Science of The Total Environment*, 773, 145654. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145654>
- 24) Huang, J., Shi, B., Han, W., Qiu, S., Li, H., Hou, P., Wu, W., & Tang, J. (2021). Effect of pH on hexavalent chromium removal driven by henna (*Lawsonia inermis*) fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 167, 107919. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bej.2020.107919>
- 25) Chen, S., Yue, Q., Gao, B., & Xu, X. (2010). Equilibrium and kinetic adsorption study of the adsorptive removal of Cr(VI) using modified wheat residue. *Journal of Colloid and Interface Science*, 349(1), 256-264. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcis.2010.05.057>