



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2021 30 stp.

Fakultet for realfag og teknologi

Hovedveileder: Harsha Ratnaweera

Klimaendringenes påvirkning på råvannskilder: Konsekvenser og tiltak

Shafici Adib

Vann- og miljøteknikk

Fakultet for realfag og teknologi

Førord

Denne masteroppgaven markerer slutten på min masterstudie ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng og er skrevet våren 2021 ved fakultetet for realfag og teknologi.

Oppgaven tar for seg hvordan klimaendringene påvirker vannforsyningen, og med dette ønsker jeg å formidle et behov for klimatilpasning knyttet til utfordringene som venter i fremtiden.

Først og fremst vil jeg rette en stor takk til min hovedveileder Harsha Ratnaweera for god veiledning, nyttige innspill og faglige tilbakemelding gjennom hele denne prosessen.

Sist vil jeg rette en stor takk til familien min, for deres motivasjon på veien mot fullført mastergrad ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

Ås, 01.juni 2021

Shafici Hussein Adib

Sammendrag

Klimaendringene har allerede påført verden observerbare endringer. Økningen i omfang og hyppighet av ekstremnedbørhendelser blir observert over store deler av verden. Man ser denne problematikken i Norge også, og i fremtiden vil problemene knyttet til økt nedbørsmengde og temperatur gi problemer til vannforsyningen i Norge. For å forbedre oss på fremtiden er det viktig å legge til rette for vurdering og planlegging av systemer for klimatilpasning i vannforsyningen, og samt er det derfor viktig at dagens løsninger utformes for fremtidig klima og vannmengder.

Det overordnede målet med oppgaven er å rette oppmerksomhet mot et tema som er lite undersøkt i norsk sammenheng, og vil påvirke våre liv i et stort skala i fremtiden. Jeg ønsker å bidra til at diverse aktører kan få en bevissthet om utfordringene som er knyttet til et klima som er i endring, øke kunnskapen om eventuelle utfordringer på vannforsyningen og forebyggende tiltak andre land har brukt.

Vannforsyning er en kritisk infrastruktur og tjeneste som er berørt av klimaendringene. Det er viktig å utrede hvordan klimaendringer påvirker norske råvannsresurser og hvordan Norge kan imøtekomme disse utfordringene. Denne oppgaven setter derfor søkelys på problemstillinger tilknyttet dette for å belyse overnevnte tema.

Funnene i litteraturen påpekte at nedbørsrike perioder medfører høyere fargetall i råvannskilder, eksempelvis i Norge var det i tilfeller fordobling av fargetall ved nedbørsrike perioder, samt betraktelig økning i partikler etter flom. Økt innhold av organisk materiale vil redusere råvannskvaliteten, samt man vil man få en økning i antall patogene mikroorganismer ved høyere temperatur og dette kan medføre sykdomsutbrudd ved ikke tilstrekkelig vannbehandling.

Det blir sett på hvordan Norge kan hente kunnskap fra andre europeiske land, som eksempelvis nabolandene Sverige og Finland i deres planer, tiltak og strategier for å motvirke påvirkningene klimaendringene har på vannforsyningen.

Abstract

The ongoing climate crisis has caused irrefutable changes in the contemporary world. There has been reported an increase in not only the quantity of observations in occurrences of extreme temperatures and increased precipitation across the globe. However, there is also the widespread nature of these incidents to consider. The challenges this brings are apparent in Norway as well. In the future, challenges related to increased precipitation and temperatures will cause complications for Norway's water supplies. In preparation, it is vital to facilitate the proper means for the assessment and organization for systems of climate adaptation in our water supplies, which is why it is crucial that we have the future climate and water resources in mind, when we design today's solutions.

The water supply industry is a crucial infrastructure and service which has been affected by climate change. It is with great importance that it is examined how climate changes will impact Norwegian water resources, and how Norway can encounter these challenges

The overall objective of this paper is directing a conversation surrounding a theme, which has not been given the proper attention or exploration it needs in Norway, as it is a matter that will affect us on an even bigger scale in the future. With this thesis as my contribution, I wish to raise awareness directed towards the various challenges an altered environment brings. Furthermore, with this thesis, I would like to partake in the assisting of giving an understanding of possible future issues within the water industry and what interventions other nations have taken to, regarding these issues.

The research I have studied connected to this theme, noted that periods with abundant precipitation results in higher color-coded numbers in natural water resources. For instance, in Norway, there were occurrences in which the color-coded numbers had a doubled increase during abundant precipitation periods. There was also an increase in particles after floods as well. An increase in organic material will result in a decrease in quality of the water source, whilst there will also be an increase in pathogenic microorganisms during higher temperatures. It will also be shown a study of documents from five European nations to demonstrate if other nations are a step ahead, and if Norway can be able to draw knowledge from other European countries, in their planned measures and their strategies for how to counteract the effects climate change has on the water supply.

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	ii
Abstract	iii
Innholdsfortegnelse	iv
Figurliste	vi
Tabelliste	viii
Forkortelser	ix
1 Innledning /Introduksjon	1
1.1 Problemstilling og mål.....	2
1.2 Oppgavens struktur.....	2
2 Metode	3
3 Bakgrunn	5
3.1 Generelt om vannforsyning.....	5
3.1.1 Råvann.....	5
3.1.2 Vannforsyningssystem.....	7
3.2 Klima som påvirker vannforsyningen.....	11
3.2.1 Klima generelt.....	11
3.2.1.1 Nedbør.....	12
3.2.1.2 Ekstremnedbør.....	13
3.2.2 Klima i Norge.....	15
3.2.2.1 Flom og flomfare.....	18
3.2.2.2 Temperaturøkning.....	19
3.2.2.3 Nedbør.....	22
3.2.2.4 Stormflo.....	23
4 Konsekvenser	24
4.1 Globale.....	24
4.1.1 Klimaendringer som påvirker vannprosesser.....	24
4.1.2 Påkjenning på vannkilder.....	28
4.1.3 Menneskelig påkjenning.....	33
4.1.4 Kostnader ved tilpasning.....	40
4.2 Norge.....	41
4.2.1 Oslos råvannskilder.....	41
4.2.1.1 Organiske stoffer.....	42
4.2.1.2 Mikrobiologisk forurensning.....	44

4.2.1.2.1	Koliforme bakterie	45
4.2.1.2.2	E. coli	46
4.2.1.2.3	Clostridium perfringens	47
4.2.1.2.4	Intestinale enterokokker	48
4.2.1.3	Turbiditet.....	49
4.2.2	Storefjorden i Vansjø	50
4.2.2.1	Organiske stoffer.....	50
4.2.2.2	Mikrobiologisk forurensning	54
4.2.2.2.1	Koliforme bakterie	54
4.2.2.2.2	E. coli	54
4.2.2.2.3	Intestinale enterokokker	55
4.2.2.3	Turbiditet.....	55
4.3	Kostnader ved å tilpasse seg klimaendringer i Norge.....	58
5	Tiltak	59
5.1	Norge.....	59
5.1.1	Andre tiltak Norge kan ha.....	60
5.2	Sverige.....	62
5.3	Finland.....	65
5.4	Irland	68
5.5	England.....	71
6	Diskusjon	73
6.1	Oslos råvannkilder:.....	73
6.1.1	Organiske stoffer.....	73
6.1.2	Mikrobiell forurensning	74
6.1.3	Turbiditet.....	75
6.2	Storefjorden i Vansjø.....	75
6.2.1	Fargetall:	75
6.2.2	Mikrobiell forurensning	76
6.2.3	Turbiditet:	76
6.3	Oppsummering av tiltak	77
7	Konklusjon	78
8	Anbefaling til videre arbeid	79
9	Referanseliste	80

Figurliste

Figur 1: Lutvann (Østmarkas venner, 2021).....	6
Figur 2: Eksempel på en grunnvann (Tollan, 2020).....	7
Figur 3: Eksempel på en vannkilde med et nedbørsfelt (Glitre-vannverket, 2021).....	8
Figur 4: Langevatn vannbehandlingsanlegg (IVAR, 2021).....	9
Figur 5: Hovedvannledningsnett i Trondheim (Ødegaard, 2013, s. 27).....	10
Figur 6: Oversikt over energibalansen bestående av, innstråling fra sola, atmosfærens sammensetning og refleksjon både fra jorda og atmosfære (Bjerknessenteret, 2015).....	12
Figur 7: Værsituasjon som gir ekstremnedbør. Konturlinjene gir trykk over havnivå, pilene indikerer transport av fuktig luft og L og H viser lavtrykk og høytrykk (Sorteberg, 2014, s. 228).....	15
Figur 8: Årsmiddeltemperatur i referanseperioden 1971-2000 (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 40)	16
Figur 9: Gjennomsnittlig mildere årsnedbør (mm) i perioden 1971-2000 (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 50).....	17
Figur 10: Prosentvis endring i 200-årsflom fra periode 1971-2000 til periode 2071-2100 for RCP4.5 og RCP8.5 (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 124).....	18
Figur 11: Gjennomsnittlig hetebølgehendelser i Norge for perioden 1990-2019 (Tajet, 2020, s. 13)...	20
Figur 12: Gjennomsnittlig hetebølgehendelser i Norge for perioden 1961-1900 (Tajet, 2020, s. 12)...	20
Figur 13: Hetebølgehendelser for året 2019 (Tajet, 2020, s. 14)	21
Figur 14: Hetebølgehendelser for året 2018 (Tajet, 2020, s. 14)	21
Figur 15: Middeltemperatur-endringen fra periode 1971-2000 til 2031-2060 til venstre, og til 2071-2100 til høyre. For sommeren i Norge ved middels utslippsscenario (Norsk Klimaservicesenter, 2021)	22
Figur 16: Relativ forandring prosentvis i dager med kraftig nedbør fra perioden 1971-200 til 2031-2060 (a) og 2071 – 2100 (b) (Hanssen-Bauer et al., 2015).....	23
Figur 17: Stormflo fra ekstremværet Vidar i Bergen (Sunnmørsposten, 2017).....	24
Figur 18: Drivhuseffekten (Regjeringen, 2021).....	25
Figur 19: Snøen smelter (NHH, 2019).....	26
Figur 20: : Hvor overskuddvarmen går (Miljøstatus, 2020).....	28
Figur 21: Gjennomsnittlig global havtemperatur. Det skraverte området viser usikkerhetsområdet i dataene, basert på antall innsamlede målinger og presisjonen til metodene som brukes (EPA, 2016i).....	29
Figur 22: De viktigste årsakene til havnivåstigning oppgir i mm per år (Miljøstatus, 2020).....	30
Figur 23: Gjennomsnittlig havnivåendring, 1880-2015. Det skraverte området viser sannsynlig verdiområde, basert på antall målinger samlet og presisjonen til metodene som brukes (EPA, 2016h).....	31
Figur 24: Gjennomsnittlig kumulativ massebalanse for isbreer over hele verden, perioden 1945 – 2015 (EPA, 2016d)	32
Figur 25: Trend for tørker i perioden 1962-1990, rød- betydelig positiv trend (mot tørrere forhold) og blå – betydelig negativ trend (mot våtere forhold (van Lanen et al., 2007).....	34
Figur 26: Temperaturer i statene, 1901 -2015 (EPA, 2016j).....	37
Figur 27: Dødsfall klassifisert som varmerelatert dødsfall i USA, 1979 – 2014 (EPA, 2016e).....	38
Figur 28: Rapporterte tilfeller av borreliose i USA, 1991–2014 (EPA, 2016f).....	39
Figur 29: Utvikling av fargetall i Oslos vannkilder 1974- 2006 (CICERO, 2008a).....	42
Figur 30: Nedbørstall fra Blindern i perioden 2000-2006 (Bomo et al., 2017).....	43
Figur 31: Fargetallmålinger fra Oset i perioden 1991 – 2021.....	43

Figur 32: Fargetallmålinger fra Skullerud i perioden 2009 – 2021.	44
Figur 33: Sammenhengen mellom økning i avrenning (vannføring) og økning i bakterier og parasitter i en drikkevannskilde, resultater fra en tysk studie (CICERO, 2008b).....	44
Figur 34: Målinger av Koliforme bakterier fra Maridalsvannet i perioden 2001 – 2021.	45
Figur 35: Målinger av Koliforme bakterier fra Elvåga i perioden 2001 – 2021.....	45
Figur 36: Målinger av E. coli fra Maridalsvannet i perioden 2001 – 2021.....	46
Figur 37: Målinger av E. coli fra Elvåga i perioden 2001 – 2021	46
Figur 38: Målinger av Clostridium perfringens i Maridalsvannet i perioden 2001 – 2021	47
Figur 39: Målinger av Clostridium perfringens i Elvåga i perioden 2001 – 2021	47
Figur 40: Målinger av intestinale enterokokker i Maridalsvannet, perioden 2001 – 2021.	48
Figur 41: Målinger av intestinale enterokokker i Elvåga, perioden 2001 – 2021.....	48
Figur 42: Målinger av turbiditet i Maridalsvannet, perioden 1991 – 2021.....	49
Figur 43: Målinger av turbiditet i Elvåga, perioden 1991 – 2021.....	49
Figur 44: Årlig nedbør i blå kurve og fargetall i grå kurve, periode 1985 – 2015. Lysere farge (fargetall) tilsvarer april – oktober og mørkere farge juni – september (E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 15).....	50
Figur 45: Fargetall i råvannet til Vansjø i perioden 2006-2015, MOVAR (E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 10).	51
Figur 46: Fargetallsverdier i råvannet til Vansjø i perioden 2006 – 2015. Perioder med flom er gitt i røde ring, og andre høye perioder er gitt i grønne ring (E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 17). ...	52
Figur 47: Flomhendelse i Hobølelva, 2018 (E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 16).....	52
Figur 48: Fargetallmålinger fra Vansjø i perioden 2012 – 2021.....	53
Figur 49: Målinger av koliforme bakterier fra Vansjø i perioden 2012 – 2021.....	54
Figur 50: Målinger av E. coli fra Vansjø i perioden 2012 – 2021.	54
Figur 51: Målinger av Intestinale enterokokker fra Vansjø i perioden 2012 – 2021.	55
Figur 52: Målte turbidetsverdier i råvannet Vansjø i perioden 2006- 2015 (E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 11).	56
Figur 53: Gjennomsnittlige turbidetsverdier i råvannet Vansjø i tidsrommet desember- februar, perioden 2006-2015. Tallet 1 tilsvarer vinteren 2006/2007 og tallet 10 tilsvarer bare desember 2017 (E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 11).	56
Figur 54: Turbiditetsverdier i råvannet i Vansjø perioden 2006 - 2015. Perioder med flom i Hobølelva er i røde ring(E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 17).....	57
Figur 55: Målinger av Intestinale enterokokker fra Vansjø i perioden 2012 – 2021.	57
Figur 56: Ansvarsfordelingen for klimatilpasning i Sverige (Sandberg et al., 2020, s. 29).....	62
Figur 57: Ansvarsfordelingen for klimatilpasning i Sverige (Sandberg et al., 2020, s. 34).....	66
Figur 58: (Government of Ireland, 2019).....	68

Tabelliste

Tabell 1: Gjennomsnittlige verdier for stasjoner i gruppe Sør, Midt og Nord i perioden 1955 – 2014 (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 46)	19
Tabell 2: Relativ prosentvis forandring i årsnedbør fra periode 1971-2000 til 2071-2100 (Hanssen-Bauer et al., 2015).....	23
Tabell 3: Konsekvenser mot vannkilder.	33
Tabell 4: Oppsummering av de menneskelige påkjenningene.....	36
Tabell 5: Oppsummering av globale konsekvenser	39
Tabell 6: Tilpasningstiltak for vannrelaterte effekter av klimaendringer.	40
Tabell 7 : kostnadsbehov for oppgradering av ledningsanlegg frem til 2040 (Vann, 2021, s. 21).	58
Tabell 8: Oversikt over en samfunnsøkonomisk perspektiv i VA-sektor (NOU, 2010: 10, s. 109).....	60
Tabell 9: Oversikt over investeringsbehov i kommunalt vann- og avløpsanlegg (Vann, 2021).....	61
Tabell 10: Redusert tilgang til vann (Vatten, 2007, s. 39)	63
Tabell 11: Sveriges tiltaksplan (Vatten, 2007, s. 46)	64
Tabell 12: Oppsummering av veiledende tilpasningstiltak (Marttila et al., 2005, s. 201)	67
Tabell 13: Beskrivelse, konsekvens og tiltak mot klimaendringer (Government of Ireland, 2019, s. 44 - 79)	69
Tabell 14: Wessex water sine klimatilpasning (Wessex, 2015, s. 14 - 15).....	71

Forkortelser

ICP waters: The International Cooperative Program on Assessment and Monitoring of Acidification of Rivers and Lakes.

WHO: Verdens helseorganisasjon

NOM: Naturlig organisk materiale

TOC: Total organisk karbon

DOC: Oppløst organisk karbon

VAV: Vann- og avløpsetaten

1 Innledning /Introduksjon

Globale klimaendringer har de siste årene fått økt oppmerksomhet i mediene. Senest 15.mai 2021 publiserte Dagbladet en nyhetsartikkel med overskriften *Slår alarm etter ny rapport: Helt forandret om 50 år (Andresen, 2021)*. Klimaendringene er ifølge FN-sambandet en av de største utfordringene verden står ovenfor i dag. Gjennomsnittstemperaturen på jorda er høyere i dag enn den har vært før, og for hvert av de siste tre tiårene har temperaturen vært varmere enn det forrige. Samtidig stiger havet raskere enn før, med smelting av isbreer og varmere havtemperatur (FN-Sambandet, 2019).

Klimaendringene vil ikke bare føre til globale endringer, men også lokale endringer. Klimaet i Norge vil bli varmere, våtere, villere og ikke minst mer uforutsigbart. Det virker som at klimatilpasningsarbeidet i Norge i stor grad handler om overvannshåndtering, men ikke i like stor grad på virkningen i drikkevannskvalitet og drikkevannskilder. Klimaendringene som vil oppstå med mildere og middeltemperatur om vinteren og økt vekstsesong. Disse klimaendringene med de tidligere nevnt vil påvirke drikkevannskvalitet og drikkevannskilder på flere måter.

Et eksempel på det er den nedbørsrike høsten 2000, som nesten viste en fordobling av fargetall i flere av Oslos råvannskilder. Dette vil redusere råvannskvaliteten, som følge av økt innhold av NOM og kan påvirke andre faktorer i tillegg (Bomo, Tryland, & Liltved, 2017).

Gjennom å se på noen råvannskilder i Norge sammen med noen utvalgte målingsparametere, skal denne oppgaven belyse om utfordringer klimaendringer kan påføre vannforsyningen, samt se på ulike tiltak som andre europeiske land har gjort og Norge kan hente kunnskap og inspirasjon fra.

1.1 Problemstilling og mål

Et utvalg valgt av Norges regjering la frem sin utredning *Tilpassing til eit klima i endring – Samfunnet si sårbarheit og behov for tilpassing til konsekvensar av klimaendringane*, som også refereres som NOU 2015:10. Der fremkommer det at klimaendringene angår hvert enkelte av oss, og samfunnet i sin fulle bredde, og truer mange verdier som samfunnet setter høyt. Vannforsyning er en kritisk infrastruktur og tjeneste som er berørt av klimaendringene. Det er viktig å utrede hvordan klimaendringer påvirker norske råvannsressurser og hvordan Norge kan imøtekomme disse utfordringene. Dette er formålet med hovedoppgaven

Denne oppgaven setter søkelys på tre problemstillinger for å belyse overnevnte tema

- 1) Hvilke klimaendringer i Norge kan påvirke vannforsyningen?
- 2) Hvordan påvirker klimaendringene råvann som igjen påvirker vannforsyningen i Norge?
- 3) Hvordan jobbes det med klimatilpasning i utlandet i forhold til Norge, og kan kunnskapen overføres til Norge?

Det overordnede målet med oppgaven er å rette oppmerksomhet mot et tema som er lite undersøkt i norsk sammenheng, og vil påvirke våre liv i et stort skala i fremtiden. Jeg ønsker å bidra til at diverse aktører kan få en bevissthet om utfordringene som er knyttet til et klima som er i endring, øke kunnskapen om eventuelle utfordringer på vannforsyningen og forebyggende tiltak andre land har brukt.

1.2 Oppgavens struktur

Denne gradsoppgaven er delt inn i syv hovedkapitler med underkapitler. Den starter med en innledning som presenterer oppgaven, og deretter problemstillingen og målet med oppgaven.

Kapittel 2 går gjennom metode og metodevalg, samt nevner inklusjon og eksklusjon av artikler brukt i oppgaven.

Neste kapittel, kapittel 3, er delt inn i to deler. Del en beskriver vannforsyningssystemet, mens del to tar opp hvilke klimaendringer i Norge som kan påvirke vannforsyningene.

Kapittel 4 tar opp konsekvenser. Både i Norge og globalt. Med tanke på Norge nevnes også kostnader ved klimatilpasning og hvordan klimaendringene påvirker råvann og vannforsyninger.

Kapittel 5 tar til seg tiltak i Norge og fire andre europeiske land, og deres måter å håndtere klimautfordringene på. Her nevnes det også hva slags tiltak Norge kan implementere i fremtiden.

I kapittel 6 diskuteres det funnene i de tidligere kapitlene som Oslos råvannskilder og Vansjø. Samt oppsummering og sammenligning av tiltak.

Gradsoppgaven avsluttes med kapittel 7 og 8, som presenterer gradsoppgavens konkludering og anbefaling til videre arbeid.

2 Metode

Valg av metode

I dette kapittelet gjøres det rede for valg av metode. Jeg ville som nevnt tidligere blant annet finne ut hvordan klimaendringene påvirker vannforsyningene i Norge. For å kunne besvare best mulig på de problemstillingene jeg har valgt, passet litteraturstudie som metode godt. Det var hensiktsmessig å velge litteraturstudie tatt i betraktning til tidsrammen satt for masteroppgaven.

Litteraturstudie, en teoretisk oppgave som er bygget på kunnskapsoppsummering fra andre skriftlige kilder og enkeltstudier. Til denne oppgaven har jeg benyttet meg av en systematisk søking etter data relevant til problemstillingen, før jeg sammenlignet informasjonen jeg satt igjen med (Forsberg & Wengström, 2008).

Inklusjon og eksklusjon av artikler

Når det gjelder utvelgning av litteratur og kilder har jeg utført litteratursøk for å finne relevant forskning som kan bistå og styrke oppgaven. Til tross for at klima er et veldig diskutert og abstrakt tema som er forsket mye rundt, var det ikke så lett å finne om råvann og generelt vannforsyninger tatt til betraktning av utallige studier som er gjort innenfor temaet generelt.

Ettersom problemstillingene omhandler Norge, og Norges råvann ekskluderte det en god del artikler.

Som nevnt er klima et bredt tema, så det første inklusjonskriteriet mitt var at de vitenskapelige artiklene skulle omhandle råvann, overvannkilder, og fargetall (Forsberg & Wengström, 2008). For å snevre inn antall artikler, måtte klimatilpasning også være inkludert. Ettersom det var veldig få rapporter om norsk råvann i sammenheng med klimaendringer, tok jeg i bruk engelske for å danne bakteppet for oppgaven. Men for selve problemstillingene inkluderte jeg Norge i søket ettersom det er hovedfokuset.

Jeg valgte også å ta med vitenskapelige artikler som omtaler andre land enn Norge, både for sammenligning, men også for å belyse hvordan de tar for seg problemstillingen landene jeg valgte er land som er tilnærmet lik Norges geografiske området.

For å kvalitetssikre oppgaven måtte artiklene være publisert i vitenskapelige tidsskrifter, de måtte kunne finnes i databaser, eller skrevet for firmaer, valide organisasjoner eller autoriteter og være autentiske. Dette gir kredibilitet til artiklene og rapportene.

Det ble systematisk søkt etter forskningsartikler og rapporter på disse følgende søkemotorene

- ScienceDirect
- Researchgate
- Oria
- Idunn
- EndNote
- Google Scholar

Ved å være så spesifikk ved valg av ord, kan søket etter artikler både være med på å snevre inn antallet og du kan sitte igjen med relevant fagstoff til å besvare problemstillingen. På en annen side kan det også resultere til at man går glipp av studier som kunne ha styrket oppgaven (Forsberg & Wengström, 2008).

3 Bakgrunn

Formålet med dette kapittelet er å gi en teoretisk bakgrunn for oppgavens praktiske del. Forhåpentligvis vil det bidra med forståelse til oppgavens problemstilling, slik det blir både enklere forstå og tolke litteraturfunnene som blir presentert senere i oppgaven.

Kapittelet er delt inn i to deler:

- Del 1: Beskriver vannforsyningsystemet.
- Del 2: Hvilke klimaendringer i Norge som kan påvirke vannforsyningene.

3.1 Generelt om vannforsyning

3.1.1 Råvann

Råvann er det vannet man bruker til å produsere drikkevann. Råvannkilde derimot er vannforekomsten som man henter råvannet fra. En råvannkilde kan være fra elv, sjø eller annet. Man regner også bunkringsvann som behandles før bruk som råvann (Mattilsynet, 2020, s. 9). Kvaliteten av råvannet avhenger av flere faktorer, men først og fremst hva slags type vannkilde man velger. Når det kommer til vannforekomster, har man to hovedtyper; overflatevann og grunnvann (Ødegaard, 2013, s. 41)

Overflatevann deles inn i elver og innsjøer, og utgjør om lag 90 % av vannforsyningen til befolkningen. Resterende får vannforsyningen fra grunnvann (Ødegaard, 2013, s. 134).

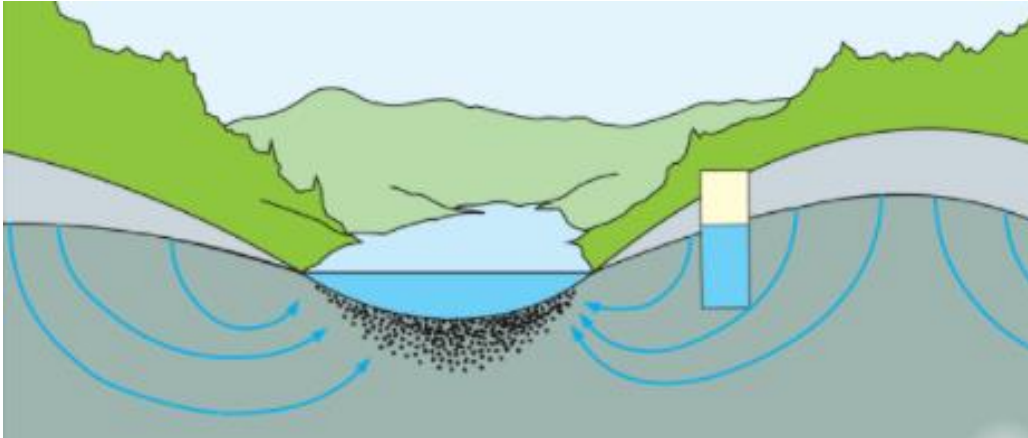
Innsjøer er den drikkvannkilden som de fleste vannverk bruker. I slike vannforekomster henter man vannet til vannforsyningen fra dypplagene, der sammensetningen av vannet er stabilt som følge av lagdelingene. Om innsjøen har et maks dyp større enn 20 m og en middeldyp større enn 10 m vil et temperatursjikt dannes i løpet av sommeren. Man vil ha et varmere overflatelag over et kaldere dypvannslag. Grenselaget som dannes som følge kalles temperatursprangsjiktet. Sjiktet vil virke som en barriere mot forurensing av dypvannet om sommeren, og om vinteren vil isen virke som et sjikt mot forurensningen. Men det vil være en periode som heter høst-vår-sirkulasjon, da temperaturen i vannet utjevnes. I en slik periode og i perioder med sterk vind, vil ikke den hygieniske barrieren være tilfredsstillende. Noen ulemper med overflatevann er variasjonen i både temperatur og pH. Overflatekilder er også sårbare mot menneskelig aktivitet og forurenses derav. Utslipp fra industri og jordbruk kan føre til at kilden blir rik på næringsstoffene fosfor og nitrogen, som fører minimumsfaktoren for algevekst. Mange

vannkilder er også basert på grunnere innsjøer og tjern, og slike innsjøer og tjern har ikke en stabil temperatursjiktning. Slike vannkilder er derfor mer utsatt for akutt forurensning siden oppholdstiden og fortynningsvolumet er mindre (Ødegaard, 2013, s. 135- 136).



Figur 1: Lutvann (Østmarkas venner, 2021).

Man definerer grunnvann som fritt vann som er ubundet av adhesjon og kapillaritet. Den forekommer i porerom i jord og bergarter, og fjellsprekker (Hovde, 1992). Generelt inneholder grunnvann som man henter fra løsmasser mindre oppløste bestanddeler enn grunnvann pumpet ut fra en brønn i fjell. Årsaken til dette er at berggrunn inneholder flere mineraler som løses i vann. Grunnvann i Norge har lite organisk stoff, men høyere elektrisk ledningsevne og pH enn overflatevann. Grunnvann har i tillegg en stabil temperatur og kvalitet gjennom hele året, men samt for høyt innhold av radon, jern og mangan er et problem i mange fjellbrønner. Løsmassebrønner derimot har for lav pH-verdi, lav alkalitet og alt for høyt jern- og manganinnhold. Det kan også være tilfeller av for lavt oksygeninnhold som kommer av mikroorganismer som forbruker oksygen (Ødegaard, 2013, s. 142).



Figur 2: Eksempel på en grunnvann (Tollan, 2020).

3.1.2 Vannforsyningssystem

Drikkevann er et viktig næringsmiddel, og det er nødvendig at forbrukerne er sikret tilfredsstillende vannforsyning hele året. Helsemyndighetene stiller derfor visse krav til vannforsyningen (L. Johannessen, 1998, s. 10 - 11):

- Vannmengden som distribueres skal gi tilstrekkelig mengde med hygienisk og bruksmessig kvalitet.
- Vannmengden som skal leveres må være uten mikroorganismer og kjemiske forbindelser som kan gi helseproblemer på kort eller lang sikt.

De første vannforsyningsanleggene i Norge ble bygget på 1600-tallet, men større utbygging startet ikke før rundt midten av forrige århundre. Det var da det ble gjort større utbygging av kommunale vannverk med offentlige ledningsnett (Bryn & Utvalget for samordning av, 1982, s. 11). Vannforsyningen var frem til 1850 mer eller mindre basert på brønner, bekker og enkle vannforsyningsanlegg. Flere trender dukket opp i midten av 1800-tallet, som førte til utvikling, og starten på vannforsyningssystemet man har i Norge i dag (Ødegaard, 2013, s. 16).

Formålet med et vannforsyningsanlegg er å skaffe abonnentene både nok og helsemessig betryggende vann. Når det nevnes betryggende, vil det si bruksmessig tilfredsstillende, som et krav med hjemmel i lovverket. Dette har helsemyndighetene ansvar for, som håndhever lovverket og kvalitetsnormenes bestemmelser og krav (Hovde, 1992, s. 13).

Å skaffe abonnentene nok vann, er et av de viktigste målene i prosjektering og drift av vannverk. Dette kan oppnås i ulike måter avhengig av hvilke kildevalg man velger, og det krever grundige forundersøkelser og beregninger (Hovde, 1992, s.13).

Vannforsyningssystemet er satt sammen av flere elementer, og sammensetningen av systemet er bestemt av en rekke forhold som: Vannets kvalitet, beliggenheten av kilden og områdets

topografiske forhold. Likedan består et vannverk av; Vannkilde med nedbørsfelt, et system for inntak av vann, vannbehandlingsanlegg, transportsystem som inkluderer pumpestasjon og høydebasseng, og distribusjonsnett (Hovde, 1992, s. 13);

Vannkilde med nedbørsfelt

Vannkilde kan være alt fra en innsjø, elv, grunnvann i fjell, løsmasser med infiltrasjonsområde eller en bekk. Generelt er det vanlig å unngå bekker og elver på grunn av problemer med god nok vannkvalitet på drikkevannet. Den vanligste vannkilden i Norge er innsjø eller en bekk med tilhørende nedbørsfelt. Nedslagsfeltet for en vannkilde er et område med felles avrenning, som forsyner kilden med vann (Hovde, 1992, s. 13).



Figur 3: Eksempel på en vannkilde med et nedbørsfelt (Glitre-vannverket, 2021).

System for inntak av vann

Inntaket av vannet kan være plassert i tilknytning til kilden. Plasseringen av systemet spiller en viktig rolle når det kommer til kvaliteten og kapasiteten, og dermed kan en dårlig plassering av inntaket være årsak til dårlig vannkvalitet og begrenset kapasitet (Hovde, 1992, s. 14) . Et eksempel på vanninntak i en innsjø er plassering på dypt vann. Der vil vanntemperaturen være stabilt, og man vil få mindre problemer med luft og is (Ødegaard, 2013, s. 25).

Vannbehandlingsanlegg

Vannbehandlingsanleggets oppgave er å sørge for etablering av tilstrekkelig hygieniske barrierer for å sikre befolkningen mot smitte og sykdom. I store tilfeller må vannet fra kilden

gjennomgå en form for vannbehandling før det ledes ut på vannforsyningsnettet, som leder til forbruker. Det kan være flere årsaker til dette, alt fra at vannkilder har blitt forurenset eller at vannets naturlige tilstand ikke opprettholder kvalitetskravene som er satt (Ødegaard, 2013, s. 25). Når det gjelder behandling er det avhengig av formålet og må ses i sammenheng med råvannskvaliteten og områdets hygieniske forhold. Anlegget kan være alt fra en pumpestasjon med sil, til et mer avansert anlegg med kjemisk koagulering, filtrering og andre elementer. Hensikten er sikre et helsemessig betryggende drikkevann, og det er helsemyndighetene som fastsetter kravene (Hovde, 1992, s. 14 - 15)



Figur 4: Langevatn vannbehandlingsanlegg (IVAR, 2021).

Transportsystem

Oppgaven til transportsystemet er å transportere vannet fra vannkilden/vannbehandlingen til abonnentene. Transportsystemet har en innvirkning på vannkvaliteten og kapasiteten. Overføringssystemet består av (Ødegaard, 2013, s. 27):

- Vannledninger.
- Høydebasseng.
- Pumpestasjon.
- Trykkreduksjonsordninger.
- Utjevningsmagasin/høydebasseng.

- Fordelings-/tappeledninger.

Dermed er det viktig at vannledningsnettets dimensjoneres korrekt for å kunne dekke forskjellige behov (Hovde, 1992, s. 15). Transporten kan være basert på gravitasjon (selvfall) eller pumping, eller en kombinasjon av begge (Ødegaard, 2013, s. 27).



Figur 5: Hovedvannledningsnett i Trondheim (Ødegaard, 2013, s. 27)

Distribusjon

Hovedledningsnett er vannverkets nettverk som fordeler drikkevannet fra kilden eller behandlingsanlegget til enkelabonentene (L. Johannessen, 1998, s. 15). Vannledningsnett eller distribusjonsnett kan deles inn i to hovedsystemer, overføringsledninger og tappeledninger (Hovde, 1992, s.15).

Overføringsledninger overfører vann fra kilden eller vannbehandlingsanlegget til bassenger i nærheten av forbruksområdet. Disse ledninger er dimensjonert for å transportere jevne vannmengder hele døgnet (Hovde, 1992, s.15).

Tappeledninger derimot dekker varierende øyeblikkelige vannforbruk internt i områdene. Dette fører til at ledningsdimensjonene til tappeledninger varierer stort ut ifra behov (Hovde, 1992, s. 15).

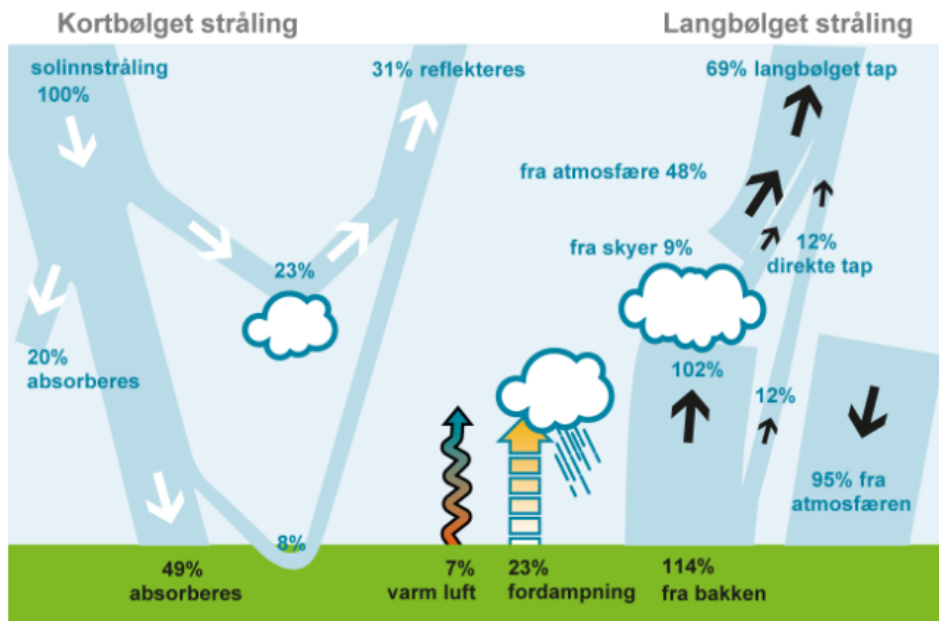
3.2 Klima som påvirker vannforsyningen

3.2.1 Klima generelt

Læren om de fysiske prosessene som foregår i de nederste lagene av atmosfæren kalles meteorologi. Den tar for seg atmosfæren slik den måles og observeres, hvordan den er akkurat nå og hvordan tilstanden vil være i fremtiden. Disse prosessene utgjør det som kalles vær, og derfor er meteorologi læren om været. Klima derimot er en beskrivelse av gjennomsnittsværet på et sted eller området, slik det framkommer etter observasjoner etter internasjonale retningslinjer. Dermed forteller klimaet om værforholdene på et sted over tid (Miljolare, 2020, mars 26). Mens klimaet er en viktig rolle i dagliglivet, er klimainformasjonen viktig for planleggingsformålet (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 17).

Værforholdet varierer mye, selv uten forandringer i ytre betingelser, som for eksempel ved at energiutvekslingen mellom hav og atmosfære varierer i tid. Slike indre variasjoner i klimasystemet kan være naturlig og er i så fall uforutsigbare. Imidlertid, kan variasjoner skapes ved endring i ytre betingelser eller ytre klimapådriv. Ytre klimapådriv kan enten være menneskeskapte eller naturlige, og skille endringer i ytre betingelser er en stor utfordring i klimaforskningen. Ytre klimapådriv kan skyldes endringer i solstrålinger og andre endringer som er naturlige, eller endringer i jordas varmeutstråling. Det er avhengig av konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren. Men hvor store klimaendringer det vil medføre vil være ukjent, selv om klimapådrivet er kjent. Norge har et stort netto energitap i verdensrommet, og en av årsaken er at Norge ligger langt mot nord. Landet ville vært ubeboelig dersom man ikke fikk tilført energi på andre måter, som storstilte sirkulasjoner av luft og hav (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 17 - 18)

Klimasystemet er basert på jordens interne dynamikk og ytre påvirkning. Det ytre påvirkningen inkluderer årsaker som vulkanutbrudd, endringer i solinnstråling og menneskeskapte endringer. I et stabilt klima, balanseres strålingsenergi fra sola og stråling til verdensrommet. Figur 6 viser energibalansen til jorden, innstråling fra solen, atmosfærens sammensetning og refleksjon fra jordflaten og atmosfære (Bjerknessenteret, 2015)



Figur 6: Oversikt over energibalansen bestående av, innstråling fra sola, atmosfærens sammensetning og refleksjon både fra jorda og atmosfære (Bjerknessenteret, 2015).

3.2.1.1 Nedbør

Nedbør oppstår når fuktig luft løftes opp til høyere lag, og luften blir avkjølt av kaldere luftlag hvor kondensasjon kan skje. Avhengig av temperaturen ned mot bakken, blir resultatet enten regn, sludd eller snø (Thorolfsson, 2013, s. 46). Horisontale bevegelser fra områder med høytrykk til lavtrykk kan produsere avkjøling, men som oftest ikke med tilstrekkelig hastighet for å produsere betydelig avkjøling. Slike hastigheter oppstår når kjøling skyldes vertikal løfting. Dannelsen av nedbør krever en firetrinnsprosess (Dingman, 1994, s. 87):

- Avkjøling av luft til omtrent duggpunktstemperaturen.
- Kondensering på kjerner for å danne skydråper eller iskrystaller.
- Vekst av dråper eller krystaller til regndråper, snøflak eller hagl.
- Import av vanndamp for å opprettholde prosessen.

Norge har et klima som er noe varmere enn andre områder på tilsvarende breddegrader, og dette skyldes i hovedårsak to forhold: Det første skyldes at det transporteres varme fra Atlanterhavstrømmen nordover langs norskekysten. Det andre forholdet er lavtrykk som går over Atlanteren, som bringer med seg varm luft nordover. Lavtrykkene som transporteres, transporterer ikke bare varme, men også fuktige luftmasser mot Norge. Dette gir Norge ikke

bare varme, men et fuktigere klima med opptil dobbelt så mye nedbør (Sorteberg, 2014, s. 221).

Det meste av nedbøren i Norge kommer i forbindelse med fuktighet som kommer fra Nord-Atlanteren. Selve nedbøren som følge av oppstigende fuktig luft lang en varm eller kaldfront. Det menes luftmasser med to forskjellige temperaturer. I tillegg til fuktig luft må det være en prosess som avkjøler luftmassene, som ofte oppstår ved at luftmassene stiger. Luftens evne til å holde på vanndamp reduseres med temperatur og av den grunn er trengs denne avkjølingen. Når avkjølingen av luftmassene oppstår vil luften bli mettet med vanndamp og det oppstår kondensasjon (overgang fra gass til væske) som gir skydannelse, og deretter nedbør (Sorteberg, 2014, s. 221 - 222).

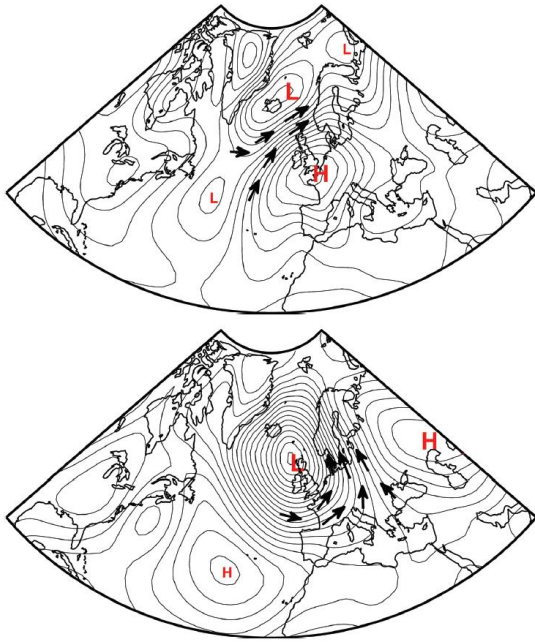
Man inndeler nedbøren etter hvilken mekanisme som gir avkjøling, kondensasjon og dråpedannelse. De forskjellige nedbørstypene er (Thorolfsson, 2013, s. 46 - 47):

- Frostnedbør: Det dannes ved at det lages bølger i polarfronten. Bølgene danner varmfronten som gir nedbør med lav intensitet og lang varighet, og baksiden av bølgen har en kaldfront. Den kalde fronten gir en mer intensiv nedbør som faller på et smalere belte.
- Ortografisk nedbør: Det dannes når en fuktig luftmasse tvinges over hindringer. Man vil på forsiden av fjellene få en nedbør som øker med høyden, og karakteristikkene er de store nedbørmengdene på kysten av Norge. Disse kan i tilfeller være en kombinasjon av både forstnedbør og ortografisk nedbør.
- Konvektiv nedbør: Denne type nedbør er kjent i den daglige livet som ettermiddagsbygene om sommeren. Det oppstår ved at varmen til bakken fører til ustabilitet, som fører til lokale vertikale luftstrømmer. Luftig luft føres opp som avkjøles, og dette vil gi lokal nedbør. Bygene som oppstår, kan forekomme både i frontnedbør og ortografisk nedbør. Den har lite arealutbredelse, men ofte høy intensitet.
- Konvergensnedbør: Konvergensnedbør oppstår når fuktig luft går sammen i lavere luftlag, og vil dermed tvinges opp og avkjøles.

3.2.1.2 Ekstremnedbør

Tilførselen av vann til mennesker, landbruk, økosystemer, nedbørs- og flomøkning er en konsekvens av den globale oppvarmingen. Nedbør er varierende, så i enkelte deler av verden vil nedbørsmengden bli redusert. Dette gjelder blant annet noen store regioner som, Middelhavet, Sør-Afrika og deler av det sørvestlige Nord-Amerika. Samtidig indikerer Clausius-Clapeyron ligningen at økt temperatur forårsaker økt atmosfæriske vanndamkonsentrasjoner, og endring i den hydrologiske syklusen (Solomon, Plattner, Knutti, & Friedlingstein, 2009, s. 1706). Flommer kommer tidligere, som følge av økt temperatur. En slik flom er vårflommene som kommer tidligere. En tendens til økt hyppighet har man observert, men endring i størrelse har man ikke observert (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 10). Det har ført blant annet til økning i årlig maksimal avrenning relatert til regn i uregulerte elver. Samtidig viser observasjoner at flomtopper knyttet til snøsmelting har redusert (Sorteberg, 2014, s.228).

Man har intense lavtrykk om vinteren, og man skulle tro at man da har de mest ekstreme nedbørshendelsene. Men det er ikke tilfelle. Som ofte er ekstremhendelser knyttet til hvor store vanndamp som kommer mot land. Man ser på to ting, mengden vanndamp i luftmassene og vindhastigheten. Under vinterperioden oppstår det kraftige vind, men luftmassene er ofte kaldere enn om høsten og inneholder derfor mindre fuktighet. Mengde som er i atmosfæren, er avhengig av temperaturen. Tilfellet man har om høsten er svakere lavtrykk, men samt er luftmassene varmere og derfor vil man ha mer vann tilgjengelig for nedbørsdannelse. Om sommeren er lavtrykkene for svake selv om mengde vanndamp er større her enn i andre perioder. Man får dermed ekstrem nedbørshendelse om høst og vinteren med fuktige luftmasser og kraftige vind. På Vestlandet er det ofte kombinasjon av et lavtrykk rundt de nordiske hav og et høytrykk over Europa eller i havområdene utenfor, som medførte til rekordhøye døgnnedbør i høst og vinterhalvåret. Figur 7 illustrerer dette. Hvor ekstremt situasjonen blir er ikke nødvendigvis avhengig av styrken av lavtrykket. Derimot er det kombinasjonen av et lavtrykk og et høytrykk, som fører til nok trykkdifferanse (Sorteberg, 2014, s. 226- 227).



Figur 7: Værsituasjon som gir ekstremnedbør. Konturlinjene gir trykk over havnivå, pilene indikerer transport av fuktig luft og L og H viser lavtrykk og høytrykk (Sorteberg, 2014, s. 228)

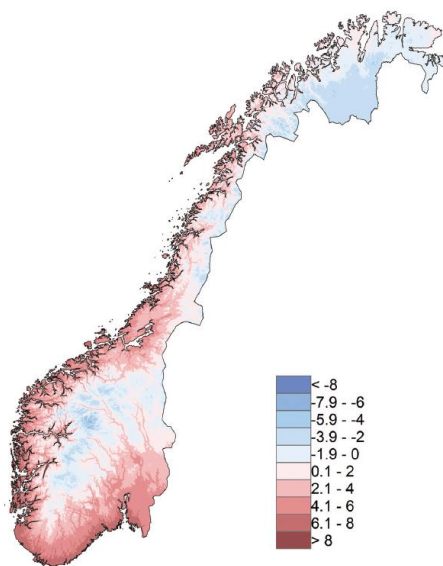
3.2.2 Klima i Norge

Norge har en gjennomsnittstemperatur som er 5 til 10 grader høyere enn tilsvarende for breddegraden rundt jorden. I tillegg er forskjellen i atmosfæren sin vintertemperatur enda høyere, og kan være opp til 20 grader over middeltemperaturen for breddegraden. Årsaken til dette er varmetransport som kommer fra sør i atmosfæren og havet. Det oppstår varmetransport i atmosfæren som følge av plasseringen til Norge. Norge er plassert sentral i det nordatlantiske vestavindsbeltet. Dermed kommer det vind fra sørvest som gir varm og fuktig luft mot Norges kyst. Topografien til Norge fører også til klimavariasjoner, særlig når det gjelder nedbør. Når det framkommer vestavind, vil området vest for vannskillet få mest nedbørs, mens vestlig- og østlig vindretning gir mer nedbør på Sør- og Østlandet. Det norske havet får varm transport ved forlengelse av Golfstrømmen. Den fører med seg næringsstoffer som er viktig for økosystemet i Nordsjøen og Norskehavet. Varme gjør at det norskekysten og en del av Barentshavet er isfritt om vinteren (Flæte & Klimatilpasningsutvalget, 2010, s. 40)

Landområder og hav reagerer forskjellig på innstrålt energi. Ved sammenligning vil landområder varmes opp og kjøles ned forttere enn havområder. Dette gjør at differansen mellom de høyeste og laveste lufttemperaturer blir større over innlandet enn ved over og nær havområdene. Dette gjør at man vil få et maritimt klima. Med maritimt klima vil en få

områder med varmere vintre og kjøligere somre enn det kontinentale klimaet. Med tanke på at Norge får luftmasser fra Atlanterhavet, får store deler av Norge et maritimt klima. Langs kysten vil dermed differansen mellom høyeste og laveste månedsmiddeltemperatur være mellom 10 – 15 °C. Innover i landet reduserer fjellkjedene den maritime innflytelsen, og derfor er klimaet i indre deler av Østlandet og av Nord- Norge mer kontinentalt (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 40).

Figur 8 viser at områdene med høyest normal årstemperatur ligger langs kysten. Vestlandet og Nord-Norge har en del fjell og fjorder som medvirker til en del forskjeller i årstemperatur over små avstander. Midlertidig, på Østlandet så avtar temperaturen jevnere med avstanden fra kysten. Høyeste middeltemperaturene finner man i Møre og Romsdal, og langs kysten til Færder i ytre Oslofjord. Området der det er kjøligst, hvis man ser bort fra høyfjellet, er Finnmarksvidda, hvor det laveste normal årstemperatur i perioden 1971-2000 nådde lavt som -2,8°C. Derimot i høyfjellsstrøkene er det områder som har en normal årstemperatur lavere enn -4°C (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 40).



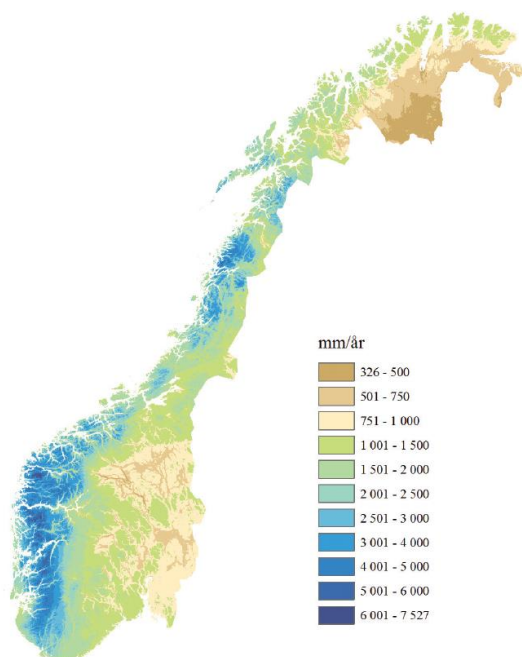
Figur 8: Årsmiddeltemperatur i referanseperioden 1971-2000 (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 40)

Nedbøren i Norge kommer i forbindelse med lavtrykkspassasjer, som innhenter fuktighet på vei over Nord-Atlanteren. Nedbøren kommer i forbindelse med oppstigende fuktig luft langs en varm eller kaldfront. Hvis vindretningen er mot en topografisk barriere vil det i tillegg tvinge lufta over fjellet, og får dermed et ekstra løft. Dette resulterer i en orografisk forsterkning av nedbøren på losiden av fjellet. Slike tilfeller oppstår som oftest på den første

fjellrekken innenfor kysten. I det luftmassene når lesiden av fjellet, vil den ha mistet mye av sin fuktighet i møte med den første fjellrekken. Dette vil si at mye av effekten av topografien avta innover i landet og lufta vil senkes ned og oppvarmes. Det fører til at det oppstår en regnskygge (Sorteberg, 2014, s. 222).

I Norge er nedbørforholdene påvirket av storstilte vindforhold. Man får både vind fra sørøst og sørvest, og vindmønsteret over Norge er med på å gi forskjeller i nedbørsmengde. Ved vind fra sørøst får man mest nedbør på Sør- og Østlandet, og mindre nedbør på Vestlandet. Samtidig vil vind fra sørvest gi mindre nedbør på Østlandet, mens nedbøren øker på Vestlandet og Nordland (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 49).

Figur 9 viser gjennomsnittlig midlere årsnedbør for perioden 1971-2000. Høyeste årsnedbør vil være i midtre strøk av Vestlandet, der gjennomsnittlig årsnedbør er mellom 3000-4000 mm. Derimot kom de største nedbørsmengde i fjellområder hvor det er vanskelig å få målt nedbøren. Verdiene i figuren er justert for oppfangningssvikt. Oppfangningssvikt vil si at noe av nedbøren blåser forbi og dermed ikke blir fanget opp av målerne. Går man nordover i Norge vil årsnedbøren avta noe. Men ved indre deler av Østlandet og Finnmarksvidda virker det som at årsnedbøren er lavest (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 49).

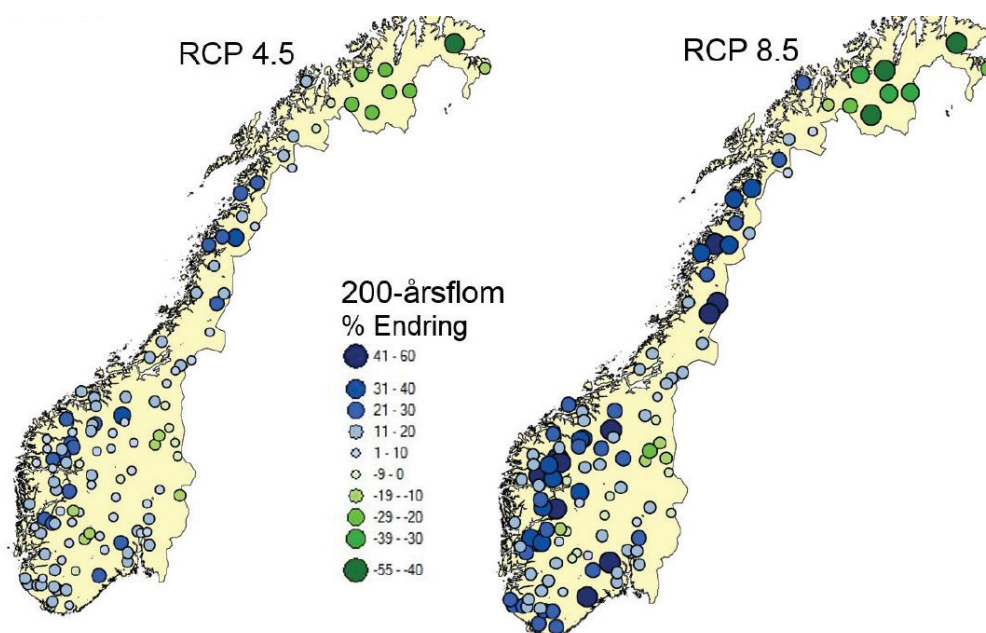


Figur 9: Gjennomsnittlig midlere årsnedbør (mm) i perioden 1971-2000 (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 50).

3.2.2.1 Flom og flomfare

Når det oppstår endring i både nedbør og temperatur, vil det føre til at flommene endrer seg. Dette vil gi en endring på hvor ofte flom inntreffer og størrelsen på flommene. Årsaker til flommer kan være som følge av; snøsmelting sammen med regnvær, langvarig regnvær, hyppigere regnvær og intense skybrudd. Årsaker kan variere fra periode til periode, og landsdel til landsdel. Av den grunn benytter man hydrologiske framskrivning for å anslå hvordan endringene i flomstørrelser blir i framtiden. Hvis man gir et eksempel, vil en 200-årsflom fortsatt inntreffe i gjennomsnitt en gang hvert 200 år. Rent prosentvis vil det si 0,5 % for at den inntreffer et gitt år. Figur 16 viser et eksempel på framskrivning. (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 123).

Figur 10 viser store forskjeller for flomstørrelser basert på regionale områder. For RCP4.5 er det største forandringene på Vestlandet og i Nordland. Her får man økning på nedbørsmengde mellom 20-40 %. Samtidig vil man finne lite forandring i innlandet, mens på Finnmarksvidda får man en reduksjon på 20 %. Hvis man ser det fra et RCP8.5 perspektiv tyder framskrivningene på større økninger og reduksjon i de samme fylkene som for RCP4.5. I enkelte områder vil man får økning opp mot mellom 40-60 %. Med andre ord tyder det på større endringer hvis man legger utslippsscenarioet RCP8.5 som grunnlag, og dette vil føre til både større og frekvente flommer i fremtiden (Hanssen-Bauer et al., 2015).



Figur 10: Prosentvis endring i 200-årsflom fra periode 1971-2000 til periode 2071-2100 for RCP4.5 og RCP8.5 (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 124).

3.2.2.2 Temperaturøkning

I Norge har antall varme døgn økt de siste årene, samt har antall kalde dager og døgn avtatt. Disse endringene er i sammenheng med en økning i minimumstemperaturen. Ved å undersøke trender i både minimumsmiddel- og maksimumstemperatur har man fått oversikt over den historiske klimautviklingen. Stasjonene generelt har ikke kvalitetssikrede målinger fra tidligere av, men de fleste analysene er derfor basert på perioden 1955 – 2014. Tabellen 1 viser en oversikt over de stasjonene som inngår i analysen, og stasjonene er gruppert i forhold til beliggenhet og i forhold til kyst/innland (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 45).

Tabell 1 viser en oversikt over gjennomsnittlig trender i ekstreme- og middeltemperaturer på sesongbasis i perioden, for stasjoner i inndelte grupper. Gjennomsnittlige trender i ekstrem- og middeltemperaturer Man ser en klar økning i middeltemperaturen for alle stasjoner for alle sesonger under perioden. Et stort antall av stasjonene viser større økning i gjennomsnittlig døgnminimum enn i middeltemperaturen, samt en større økning i laveste sesongminimum. Imidlertid, om vinteren er økningen i gjennomsnittlig døgnmaksimum mindre enn i middeltemperaturen. Det er også variasjoner i stasjonene avhengig av årstid. Økningen i minimumstemperaturen er større enn økningen i middeltemperaturen. Det vil si denne økningen har ført til økningen i døgnmiddeltemperaturen, og som vises i økningen av dager med høyere temperaturer (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 45 - 46).

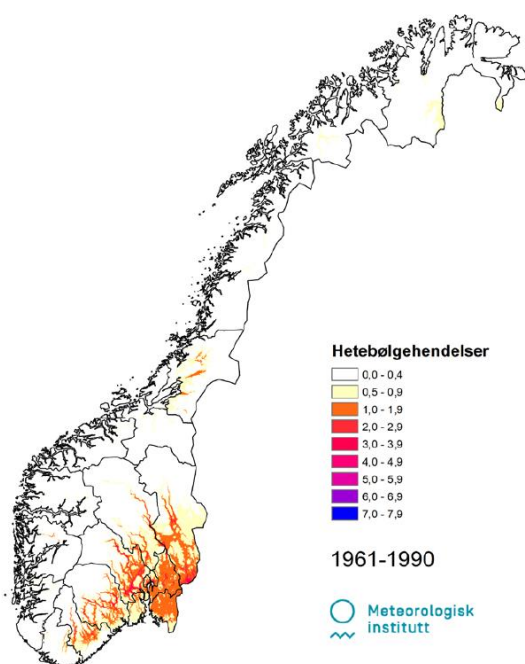
Tabell 1: Gjennomsnittlige verdier for stasjoner i gruppe Sør, Midt og Nord i perioden 1955 – 2014 (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 46)

Gruppe	Stasjonsnavn	Sesong	Laveste minimum	Midlere døgn-min	Middel	Midlere døgn-maksimum	Høyeste maksimum
Sør	Gardermoen	Vinter	0,74	0,50	0,41	0,33	0,15
	Færder	Vår	0,55	0,39	0,34	0,31	0,40
	Sauda	Sommer	0,30	0,29	0,20	0,15	0,13
	Utsira	Høst	0,46	0,20	0,15	0,11	0,11
Midt	Værnes	Vinter	0,50	0,43	0,38	0,34	0,10
	Ørland	Vår	0,30	0,27	0,25	0,27	0,39
	Snåsa	Sommer	0,19	0,22	0,25	0,30	-0,02
	Bodø	Høst	0,52	0,13	0,16	0,19	0,31

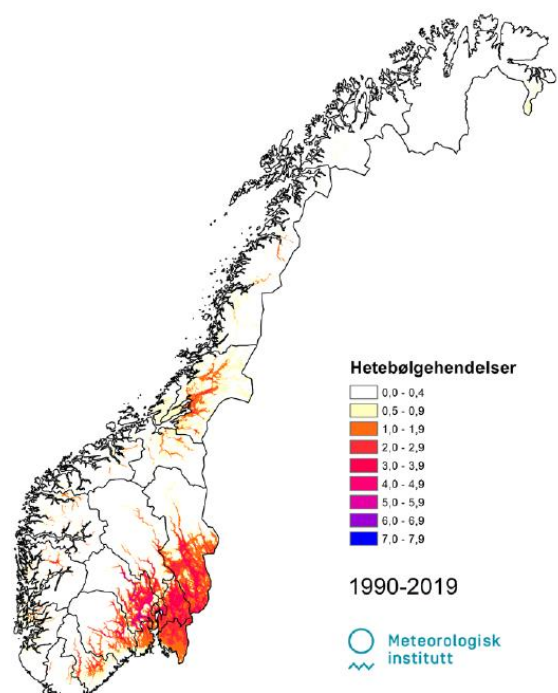
Nord	Bardufoss	Vinter	0,45	0,41	0,37	0,37	0,16
	Tromsø	Vår	0,29	0,32	0,31	0,35	0,64
	Sihccajavre	Sommer	0,30	0,20	0,17	0,21	-0,04
	Vardø	Høst	0,38	0,22	0,21	0,24	0,34

I en rapport fra Meteorologisk institutt er hetebølger i Norge studert for perioden 1957 – 2019. Den meteorologiske verdensorganisasjonen (WMO) definerte det at man har fem dager på rad med minst 5 grader over maksimumstemperaturnormalen fra normalperioden som hetebølger. Følger man denne definisjonen vil man møte på hetebølger om vinteren, da det ikke er så varmt. Derimot definerer Danske meteorologiske institutt en hetebølge som når maksimumstemperaturen har vært over 28 grader i tre sammenhengende dager. Rapporten viser til en økning i hetebølger de siste tretti årene, og hendelsene går lenger innover i landet (Tajet, 2020, s. 9- 10).

Figur 12 viser hetebølgehendelser i Norge for normalperioden 1961-1990. Man ser at Østlandet skiller seg ut, og domineres mest av hetebølger. Det som kjennetegner hendelsene, er at det ikke er like utsatt i områder rundt kyst- og dalområder. Figur 11 viser oversikten for de siste tretti årene, perioden 1990 – 2019. Sammenlignet med perioden 1961- 1990 ser man en økning i både antall og utstrekning. På det meste har man hatt et gjennomsnitt med over syv hendelser i gjennomsnitt per år (Tajet, 2020, s. 11 - 13).

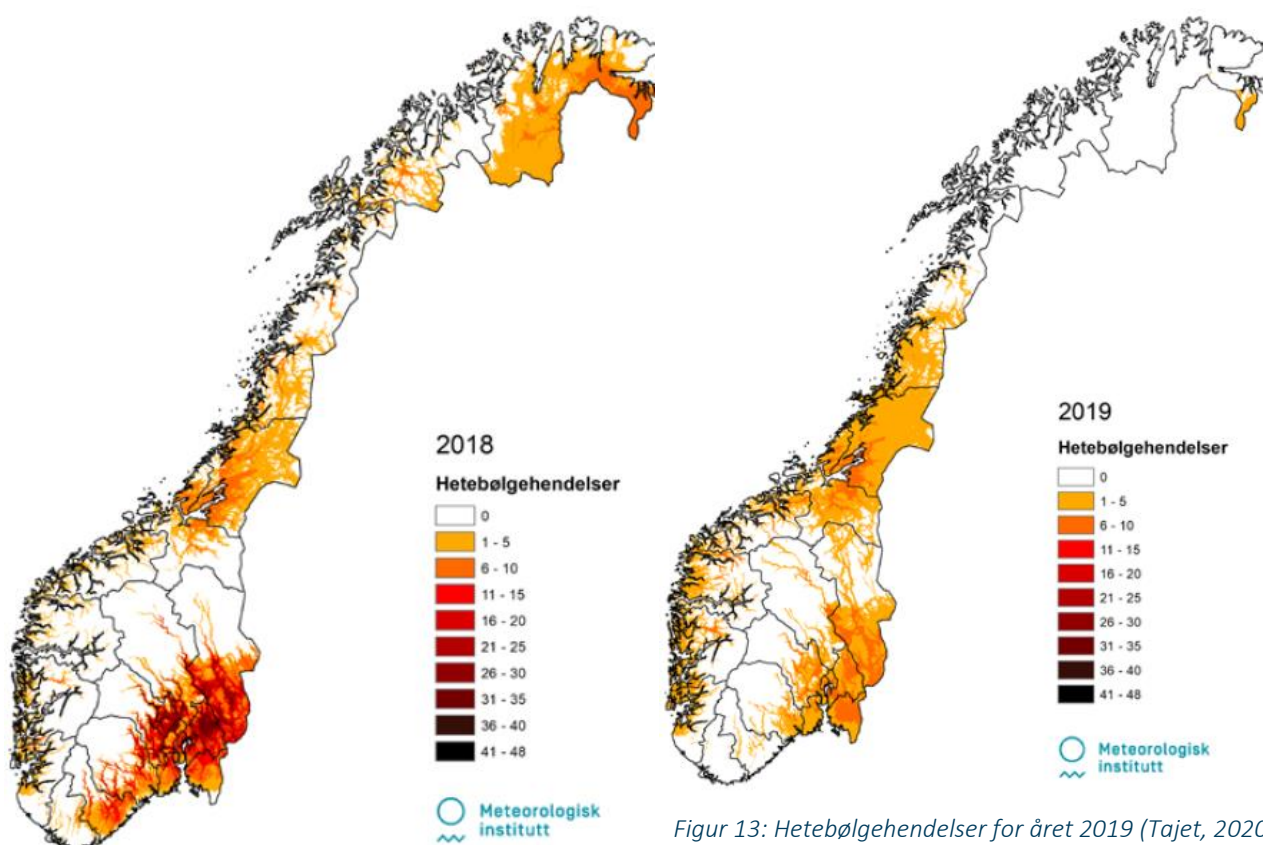


Figur 12: Gjennomsnittlig hetebølgehendelser i Norge for perioden 1961-1990 (Tajet, 2020, s. 12).



Figur 11: Gjennomsnittlig hetebølgehendelser i Norge for perioden 1990-2019 (Tajet, 2020, s. 13).

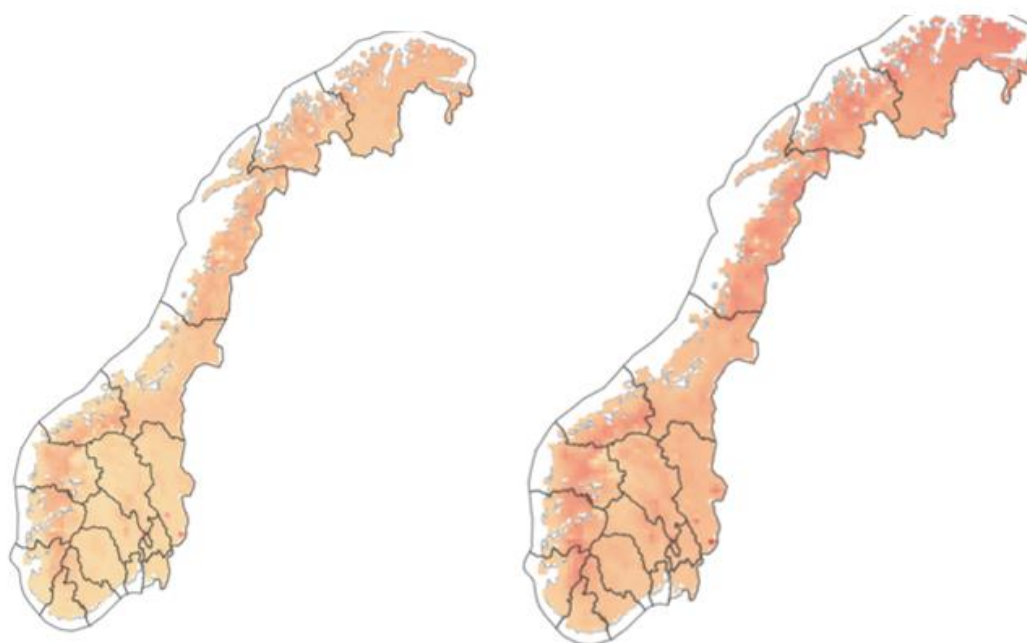
Det ble utført en case-studie for å se på somrene 2018 og 2019 (figur 14 og figur 13). Det oppsto en uvanlig sommer 2018 med en kombinasjon tørr og varm sommer, spesielt på Østlandet. Man ser tydelig flere dager med hetebølger, og det nådde over førti hetebølgehendelser i noen områder. Men antall hetebølgehendelser reduserte veldig sommeren 2019, med en maks tolv hendelser. Hetebølgen var kortere, men maksimumstemperaturen var høyere enn 2018 (Tajet, 2020, s. 14).



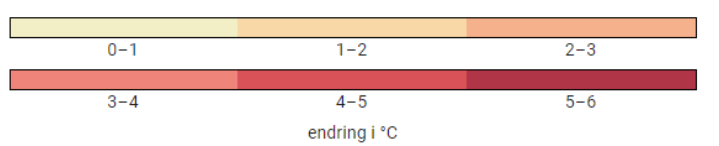
Figur 13: Hetebølgehendelser for året 2019 (Tajet, 2020, s. 14)

Figur 14: Hetebølgehendelser for året 2018 (Tajet, 2020, s. 14)

Norsk klimaservicesenter gjorde en temperaturframskrivning for å vise utviklingen av middeltemperatur fra perioden 1971 – 2000 til 2021-2060, og 2071-2100. Figur 15 viser endringer i grader i middeltemperatur om sommeren i Norge ved et middels utslippsscenario, i 2031-2060 og 2071-2100, hvor 1971-2000 er brukt som sammenligningsgrunnlag (Norsk Klimaservicesenter, 2021).



Figur 15: Middeltemperatur-endringen fra periode 1971-2000 til 2031-2060 til venstre, og til 2071-2100 til høyre. For sommeren i Norge ved middels utslippsscenario (Norsk Klimaservicesenter, 2021)



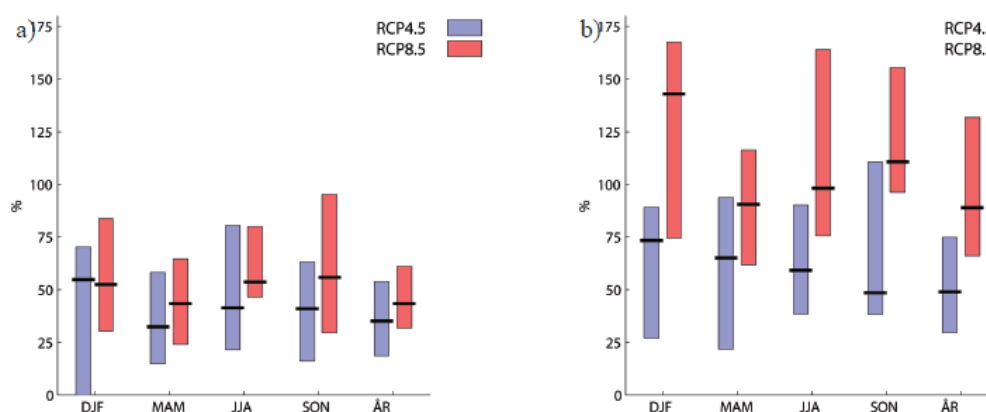
3.2.2.3 Nedbør

Ved bruk av utslippsscenarioene til modellene RCP4.4 og RCP8.5 får man en forandring i årsnedbør på henholdsvis 8 % og 18 %, i Norge ved slutten av århundret. Målingene har en simulering mellom 3 % og 14 % for RCP4.5, og varierer mellom 7 % og 23 % for RCP8.5 (tabell 2). En ting som ble observert er at forandringene for RCP8.5 gir framskrivninger, som er tendensene til det man så i klimautviklingen i det forrige århundre. Derimot for RCP4.5 indikerer framskrivningen at nedbørforandringene vil være betydelig mindre i fremtiden enn det som er observert tidligere. Dette kan også forklares med at modellen legger opp til mindre utlipp. De største forandringene ser man i de nordlige deler av Norge. Ser man på absolutte tall er forandringene størst på Vestlandet og i Midt-Norge og muligens her man vil møte de største overvannsutfordringene i fremtiden (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 103).

Tabell 2: Relativ prosentvis forandring i årsnedbør fra periode 1971-2000 til 2071-2100 (Hanssen-Bauer et al., 2015).

Region	Sesong	RCP 4.5			RCP 8.5		
		Med	Lav	Høy	Med	Lav	Høy
Norge	År	8	3	14	18	7	23
	Vinter DJF	5	2	15	16	3	26
	Vår MAM	12	2	19	13	6	20
	Sommer JJA	12	1	17	16	8	27
	Høst SON	7	3	15	16	7	26

Det finnes prognoser for dager med høy nedbør. Når det gjelder RCP8.5 får man en økning på 89 % sammenlignet med perioden 1971-2000, og man får en økning på 49 % for RCP4.5 scenarioet. Dette betyr en betydelig økning i antall dager med høynedbør, og det kan ikke utelukkes at man vil se en fordobling i antall dager med kraftig nedbør ved slutten av århundret i alle årstider. Modellene viser en økning på alle årstider (figur 16). I tillegg vil man også se en økning i nedbørsmengde på dager med kraftig nedbør (Hanssen-Bauer et al., 2015, s. 108).



Figur 16: Relativ forandring prosentvis i dager med kraftig nedbør fra perioden 1971-200 til 2031- 2060 (a) og 2071 – 2100 (b) (Hanssen-Bauer et al., 2015).

3.2.2.4 Stormflo

Når vannstanden øker raskt innenfor en kort tid, vil stormflo inntreffe. Dette påvirkes av ytre faktorer, som trykk og oppstuvning av vann og tidevannskrefter. Sammenligner man Norge mot andre land, er Norge lite utsatt for stormflo på grunn av bratt terreng langs kysten, og manglende lavereliggende partier. Derimot er land som Nederland og andre land der deler av landområdene som ligger under havnivå løst denne problematikken ved å bygge diker med

porter som lukkes. Dette blir en beskyttelse mot oversvømmelse ved stormflo. Skader oppstår ved stormflo. Det erfarte man i 1600-tallet, da en del mennesker døde ved en episode på Grip i Kristiansand og Ona på Romsdalskysten (Aaheim et al., 2009, s. 85).



Figur 17: Stormflo fra ekstremværet Vidar i Bergen (Sunnmørsposten, 2017).

4 Konsekvenser

I forrige kapittel beskrev jeg klima som påvirker vannforsyningen og hvilke klimaendringer i Norge som kan påvirke vannforsyningene.. I dette kapittelet presenterer jeg konsekvensene ved klimatilpasning ved vannforsyning. Både i Norge og globalt. Det skal også besvares problemstillingen; Hvordan påvirker klimaendringene råvann som igjen påvirker vannforsyningen i Norge?

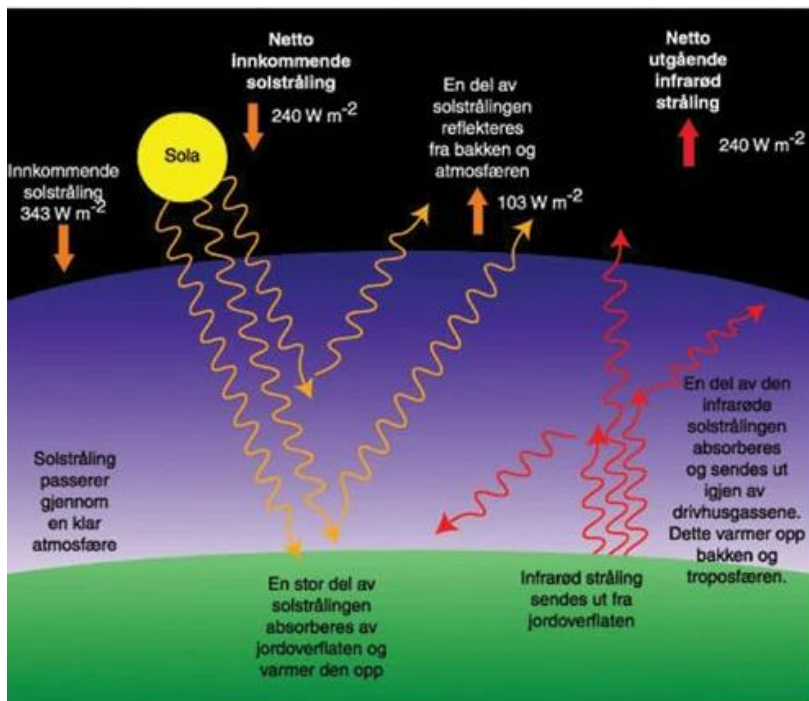
4.1 Globale

4.1.1 Klimaendringer som påvirker vannprosesser

Endring i været varierer naturlig over tid, og er ikke statisk. Klimaendringer er gjennomsnittlig endring over en lengre periode. Generelt bruker man tretti år som årsperiode (Klimaetaten, 2019, s. 8). Endring i klimaet oppstår som følge av at det slippes ut mer drivhusgass i atmosfæren, enn det som er naturlig. Et eksempel på slike gasser er karbondioksid (CO_2) og metangass (CH_4). Drivhuseffekten blir sterkere, og det blir reduksjon i varme som

slippes ut gjennom atmosfæren. Dette medfører en varmere klode, som man ikke hadde fått uten gassen. Drivhuseffekten er atmosfærens evne til å slippe gjennom sollys, og holde på varme. Som følge av dette har landene inngått togradersmålet, og det går ut på å begrense temperaturstigningen mellom år 1850 og 2100 til to grader. Parisavtalen har enda større begrensning, til 1,5 grader. FNs klimapanel listet opp noe konsekvenser som vil oppstå som følge av klimaendringene (FN-Sambandet, 2019):

- Tilgangen til mat og vann blir vanskeligere.
- Økonomisk ulikheter øker enda mer.
- Skader på infrastruktur og bygninger.
- Konflikter og flyktninger.



Figur 18: Drivhuseffekten (Regjeringen, 2021).

Man ser på visse indikatorer over tid for å overvåke klimaendringene. Disse dataene gir oversikt over hastigheten på endringene man ser i klimaet, og samt vurdere effekten av klimaendringene. Dette er viktig blant annet for å vurdere effektene i vann- og avløpssystemene (Bruaset, 2014, s.510) :

- Lufttemperaturen øker.
- Man får økning av nedbør om vinteren.
- Det oppstår økning i antall stormer.
- Variasjonene i temperaturforskjeller øker.

- Mer tørke om sommeren, som følge av nedgang i nedbør.
- Endringer i årsnedbør.

Det er forventet flere effekter på drikkevannsystemet. En av tingene er variasjon i kildene i drikkevannet når det kommer til mengde. Mengde av nedbør vil endres, og det endrer også tilgjengelig kapasitet. Grunnen er endringen i avrenningsmønsteret. Mye av avrenningen kan flytte fra vår til vinter, mer smelting om vinteren. En annen ting er dårligere vannkvalitet på grunn av økt avrenning, temperatur, biofilmvekst og redusert renseseffektivitet (Bruaset, 2014, s. 511).

Overvannskilder har islegging om vinteren, og dette vil ikke være til stede i like stor grad ved varmere vær. I tillegg vil man ha sterke vind og det i kombinasjon med sterk vind, vil sirkulasjonen og sirkulasjonsperiodene øke i overvannskildene. Dette vil gi utslag i form av at den stabile laget i kildene forsvinner, eller at den får kortere varighet. Dette vil føre til redusert barriereeffekt, for kilder som er stabile om vinteren på grunn av frost (Bruaset, 2014, s. 512).



Figur 19: Snøen smelter (NHH, 2019).

Økt avrenning og erosjon vil øke muligheten for at mikroorganismer og andre forurensninger transporteres til overvannskilden. Økt intensitet i nedbøren øke risikoen at avføring fra dyr fraktes til kilden. En varmere temperatur vil føre til lengre tid mellom istiden, og tilgangen til kildene blir lengre. Dette gjør at dyrnærværet blir lengre, og øker risikoen for forurensning fra dyr. samt økt vanntemperatur i kilden fører til økt mikrobiologisk vekst som følge av høyere vanntemperatur. En annen konsekvens er økte NOM-verdier, som følge av økt avrenning og vanntemperatur. Det fører med seg risikoen for biprodukter fra klorering. Det vil kunne

redusere effekten av andre desinfisering og gi økt lukt og smakproblemer (Bruaset, 2014, s. 511 - 512).

Ved økt grunnvann øker muligheten for at forurenset vann kommer til drikkevannsledninger, ved fellesanlegg. I steder man benytter felleskum vil drikkevannsledningen være i nærheten av avløpsvann eller overvann, noe som betyr at sannsynligheten for inlekking av avløpsvann til drikkevannsnett vil øke. Andre problemer som vil oppstå i ledningsnett er (Bruaset, 2014, s. 512 - 514):

- redusert levetid på ledningsnett for drikkevann. Årsaker til det kan forårsakes av økt korrosiv grunnnet nivået til havet stiger. Det oppstår anaerobisk korrosjon fordi man får økt mengde av partikler på ledningsnett. Som tidligere nevnt er det forventet at havnivået vil stige langs kysten. Dette vil gjøre at saltvannet kommer lengre inn i grunnvannet, og dette vil kunne påvirke ledninger som ligger i nærheten av kystlinjen.
- Økt mengde sedimenter i ledningsnett. Klimaendringer vil føre til økt avrenning fra nedbørfeltet til drikkevannskilder, og kan være en årsak til økt turbiditet i råvannet. Økt turbiditet vil gi kortere tid til gjennombrudd av partikler i filtrene og derav vil det komme økt partikler til ledningsnett. Økningen av sedimentering vil komme derifra, og dette vil forårsake korrosjon på grunn av anaerobe forhold.
- Fryse og tine-sykulsen gjennom vinteren øker. Kortere periode med vinteren, og økning av temperaturer fører til frysing og tining flere ganger i løpet av vinteren. Dette øker det mekaniske påkjenningen ledningsnett får, og øker sannsynligheten for brudd på drikkevannsledningene i forhold til tidligere.

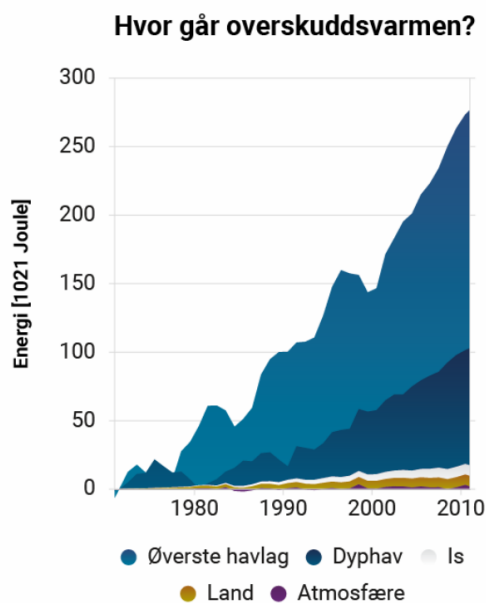
Variasjonene man får i råvannskvalitet krever mer av renseanleggene. Temperaturen i råvannskilder vil øke på grunn av manglende islegging. Dette kan blant annet føre til endring i sirkulasjon i de forskjellige drikkevannskildene. Det blir også større variasjoner av vannkvalitet gjennom hele året, og vil skape problemer for renseanleggene. Det vil oppstå problemer med tanke på doser og oppholdstid, samt få større muligheter for forurensning av kildene (Bruaset, 2014, s. 512).

4.1.2 Påkjenning på vannkilder

Økning i havtemperatur

Havets temperatur er en viktig fysisk egenskap for verdenshavene. Temperaturen i verdenshavene varierer hovedsakelig med breddegrader. Generelt er det varmest vann nær ekvator, og det kaldeste er mot Arktis og Antarktis. Når havene absorberer mer varme, øker havtemperaturen og havsirkulasjonsmønstrene som transporterer varm og kaldt vann rundt kloden endrer seg (EPA, 2016i)

Det er en sammenheng mellom CO₂ i atmosfæren og ismelting. Når mengde CO₂ øker i atmosfæren, vil jorda absorbere mer energi enn den sender tilbake til verdensrommet. Dette betyr at jorden varmes opp, og dette overskuddsvarmen gjør at hav, luft og landområder øker i temperatur, og at is smelter. Ifølge FNs klimapanel (Miljøstatus) har havet tatt opp over 90% av overskuddsvarmen siden 1970 (figur 20). Oppvarmingen av havet vil fortsette i århundrer, selv om utslippene skulle avta eller holdes konstante. Dette er på grunn av treghet i varmeoverføringen fra overflaten og ned i dyphavet (Miljøstatus, 2020).

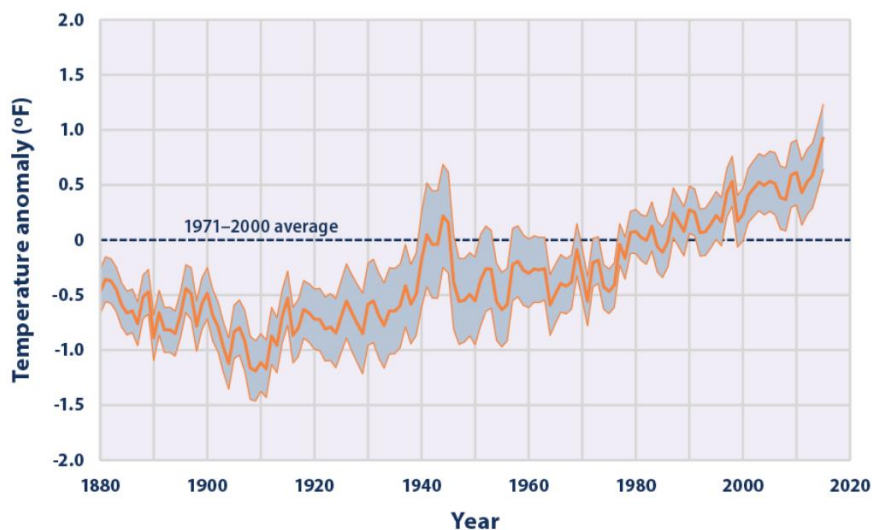


Figur 20: : Hvor overskuddsvarmen går (Miljøstatus, 2020).

Temperaturen i havtemperaturen har økt over hele verden i løpet av 20. århundre, selv med variasjoner i noen år er den totale økningen tydelig. Havtemperaturen har de siste tre tiårene vært høyere enn noen ganger siden observasjoner startet på slutten av 1800-tallet (EPA, 2016g). Når havtemperaturen endrer seg, vil også marine økosystemer endre seg på flere

måter. For eksempel vil variasjoner i havtemperatur påvirke arter av planter og dyr bli påvirket i form av hvor de befinner seg og det vil endre vandrings- og avlsmønstre. Samt andre ting som gir endring av frekvens og intensiteten av skadelige algeblomstring, som røde tidevann. Endring i næringstilførsel kan endre økosystemene i havet, og føre til nedgang i fiskebestanden, som igjen vil påvirke befolkningen som er avhengige av å fiske etter mat eller i jobbsammenheng (EPA, 2016i).

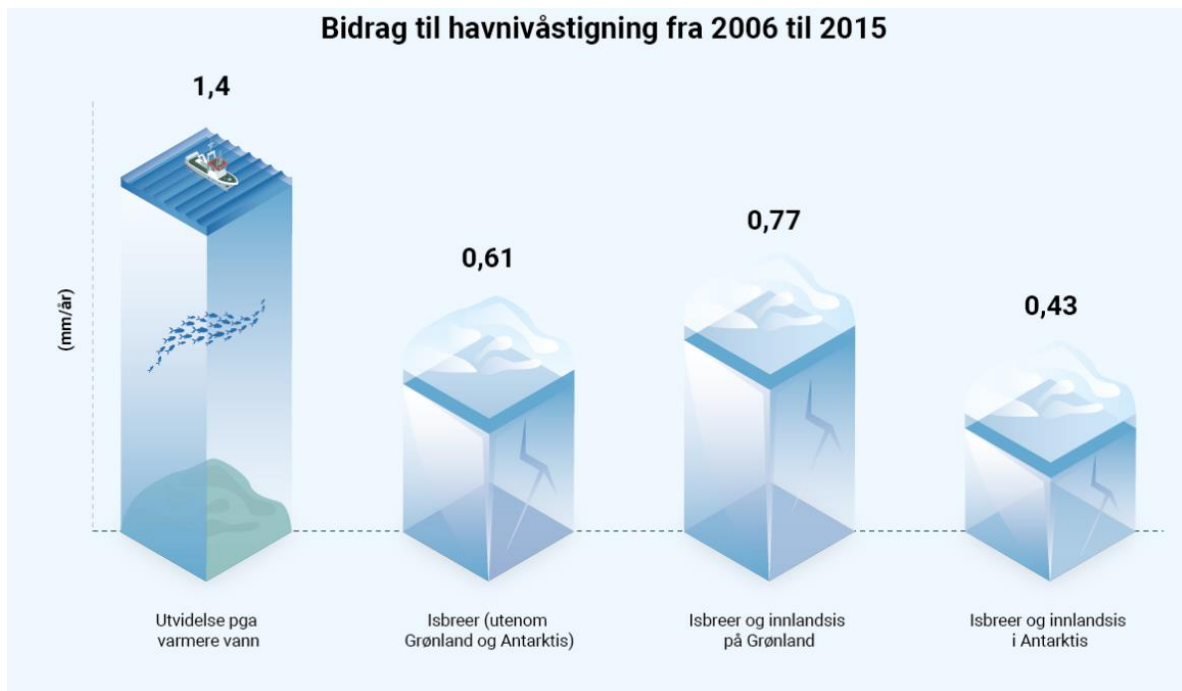
Figur 21 viser hvordan den gjennomsnittlige temperaturen i havet har endret seg siden 1880. Grafen bruker gjennomsnittet fra 1971-2000 som et grunnlag for å skildre endringene. Man ser en økning i løpet av 20. århundre og en stigende trend. Fra 1901 til 2015 steg temperaturen med en gjennomsnittlig hastighet på 0,13 °F per tiår. Stort sett ser man at økninger i havtemperatur har skjedd i to perioder, mellom 1910-1940 og fra omtrent 1970 til i dag. Samt ser man nedgang i temperaturen mellom 1880-1910 (EPA, 2016i).



Figur 21: Gjennomsnittlig global havtemperatur. Det skraverte området viser usikkerhetsområdet i dataene, basert på antall innsamlede målinger og presisjonen til metodene som brukes (EPA, 2016i).

Havnivåstigning:

Når temperaturen øker, utvider det seg og tar dermed større plass. Dette vil føre til økning av havnivået. Det samme gjelder når det oppstår smelting av is på land, som renner ut i havet. Dette gjør også at havnivået stiger, og dette sies å være det største bidraget til havnivåstigning i dag. Noe annet normalt er smelting av havis som flyter på havet, men selv om det også fører til havstigning, er det bare minimalt (Miljøstatus, 2020).



Figur 22: De viktigste årsakene til havnivåstigning oppgir i mm per år (Miljøstatus, 2020).

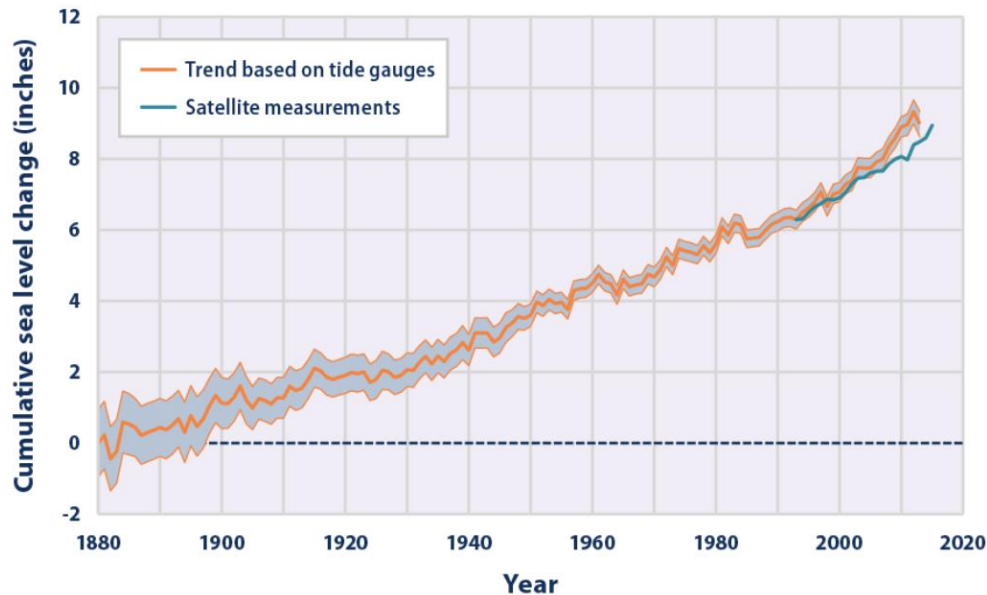
I mange land fortsetter landområdene å løfte seg som konsekvens av at isen under siste istid har smeltet. Det vil oppstå en nivåforskjell mellom havnivået og landhevingen, og dette kalles endring i relativt havnivå. Et av konsekvensene med relativ havnivåstigning er økningen av stormflo øker. Spesielt hvis en stormflo sammenfaller med springflo (Klimaetaten, 2020, s. 50). Konsekvenser av den globale havnivåstigningen er alvorlig mange steder i verden, og spesielt for tettbygde områder og byer som ligger nær eller under dagens havnivå (Klimaetaten, 2020, s. 53).

Når man ser på hvordan havnivået har endret seg i verdenshavene, så ser man en økning på omtrent 15 mm per tiår siden 1880 (figur 23). Økningen har betydelig økt de siste årene til omtrent 25 mm per tiår (EPA, 2016g). Når temperaturen på jorden endres, vil nivået på havnivået også endres. Temperatur og havnivå er knyttet til to årsaker (EPA, 2016h):

- Når det oppstår endring i volum av vann og is på land, vil det enten øke eller redusere vannvolumet i havet.
- Når vannet varmes opp, vil det utvides litt. Dette er en effekt som er kumulativ over hele dybden av havene.

Endring av havnivået vil påvirke menneskelige aktiviteter i kystområder, samt man vil få stigende havnivå som vil oversvømme lavtliggende våtmarker og land. Andre ting vil være erodering av strandlinjer, bidra til flom ved kysten og øker strømmen av saltvann til

elvemunninger. Et punkt man ikke skal se bort fra er at høyere havnivå vil også gjøre kystinfrastrukturen mer sårbar for stormskader. I noen tilfeller vil land stige og få en geologisk løfting, mens i andre tilfeller kan noen land synke på grunn av erosjon og andre geologiske endringer (EPA, 2016h).



Figur 23: Gjennomsnittlig havnivåendring, 1880-2015. Det skraverte området viser sannsynlig verdiområde, basert på antall målinger samlet og presisjonen til metodene som brukes (EPA, 2016h).

Smelting av isbreer og havis:

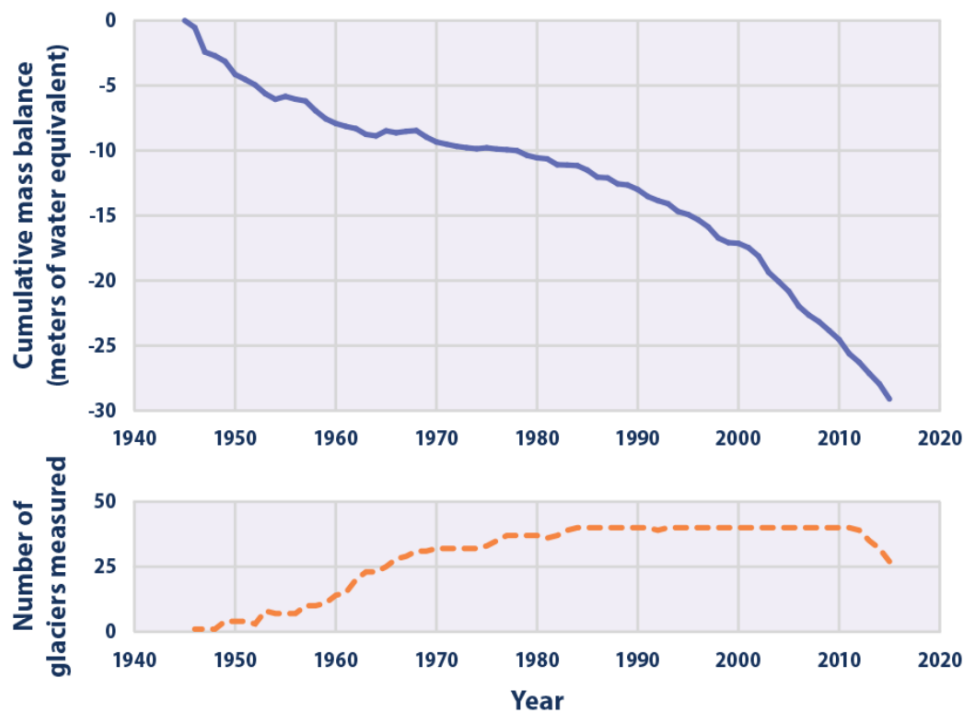
Havis er en del av Polhavet, og i løpet av vintermånedene dekker havis hele Polhavet. Under sommerperioden smelter noe av denne isen på grunn av varmere temperaturer og lengre soltimer. En viktig indikator på endringer er omfanget av området som er dekket av havis på Arktis. Etersom varmere luft- og vanntemperaturer reduserer mengde is på havis. Endringer i havis kan påvirke helsen til det arktiske økosystemet. Enkelte arter som pattedyr som isbjørn og hvalross er avhengige av tilstedeværelsen av havis for jakt, avl og vandring. Disse dyrene står ovenfor begrenset tilgang til matkilder på grunn av redusert havismengde og tykkelse. Det vil også påvirke andre urfolk som lever av å jakte. Samtidig kan det gi kommersielle muligheter, for eksempel åpner det for skipstrafikk og øker tilgangen til naturressurser i den arktiske regionen (EPA, 2016c).

I likhet med arktisk havis påvirker havis i Antarktis globalt klima, regionalt klima og økosystemer. Den er viktig for å opprettholde jordens energibalanse, og bidra til å holde

polare regioner kjølige. Den er også en viktig del for arter som pingviner, sel og andre dyr (EPA, 2016b).

En isbre er en stor masse av snø og is som har samlet seg gjennom mange år, og som er til stede året rundt. En isbre flyter naturlig som en elv, bare mye saktere, og ved høyere høyder vil isbreene akkumulere snø som til slutt blir komprimert til is. Ved lavere høyder mister isbreen naturlig masse på grunn av smelting og is som bryter løs, og som flyter bort. Isbreer gir samfunn og økosystemer en pålitelig kilde til strømning og drikkevann, spesielt i tider med langvarig tørke og sent på sommeren. Samtidig påvirker ferskvannsavrenning fra isbreer også økosystemene i havet. Når isbreer mister mer is enn de kan akkumulere gjennom et nytt snøfall, så tilføres det mer vann til havene. Dette vil føre til en økning i havnivået. Dette skjer i de gigantiske isene som dekker Grønland og Antarktis, noe som kan føre til en større implikasjoner for havnivået. Det skal sies at små isbreer responderer fortere på klimaendringer enn de gigantiske isbreene (EPA, 2016d).

Figur 24 representerer gjennomsnittet av alle isbreene som målt. Negative verdier indikerer et nettotap av is og snø sammenlignet med basisåret 1945. Det lille diagrammet under viser hvor mange isbreer som ble målt hvert år. I gjennomsnitt har isbreer over hele verden mistet masse siden 1970-tallet, som har bidrar til markante endringer i havnivået. Hastigheten som isbreene mister masse på, ser ut til å ha akselerert de siste tiårene (EPA, 2016d).



Figur 24: Gjennomsnittlig kumulativ massebalanse for isbreer over hele verden, perioden 1945 – 2015 (EPA, 2016d)

Konsekvensene mot vannkilder er oppsummert i tabell 3.

Tabell 3: Konsekvenser mot vannkilder.

Økning i havtemperatur
Havnivåstigning
Smelting av isbreer og havis

4.1.3 Menneskelig påkjenning

Matmangel

Endring i temperatur, nedbørsmønstre og ekstremvær vil endre måten og muligheten man produserer mat på, både på land og i havet. Generelt er konsekvensene av klimaendringene dårlig for matproduksjonen, samt vil gi fiskere mer fisk i nordlige områder og mindre fisk i tropiske områder. Ifølge rapporter gitt av FNs klimapanel vil det komme en økning på 30 – 70 % i nordområdene, og en nedgang på 40 % i tropene (Naturvernforbundet, 2018).

Drikkevannsmangel

En av forventede effekter av klimaendringer på drikkevannsystemet er mindre drikkevann i kildene (Bruaset, 2014, s. 511). Et av årsakene til det er smelting av isbreene. Det vannet mange land får fra isbreene er avgjørende for deres vannforsyning og jordbruk, både i tett og store befolkede områder (Aaheim et al., 2009).

Lengre vekstsesong

Lengre vekstsesong vil komme som følge av et varmere klima, og dette gjelder globalt. Derimot vil det forventes de største endringene i vekstsesongen langs kysten. Man vil få muligheter til å starte sesongen tidligere, høsting av flere avlinger i løpet av året og dyrking av arter som trenger mer varme (Menon Economics, 2017, s. 13).

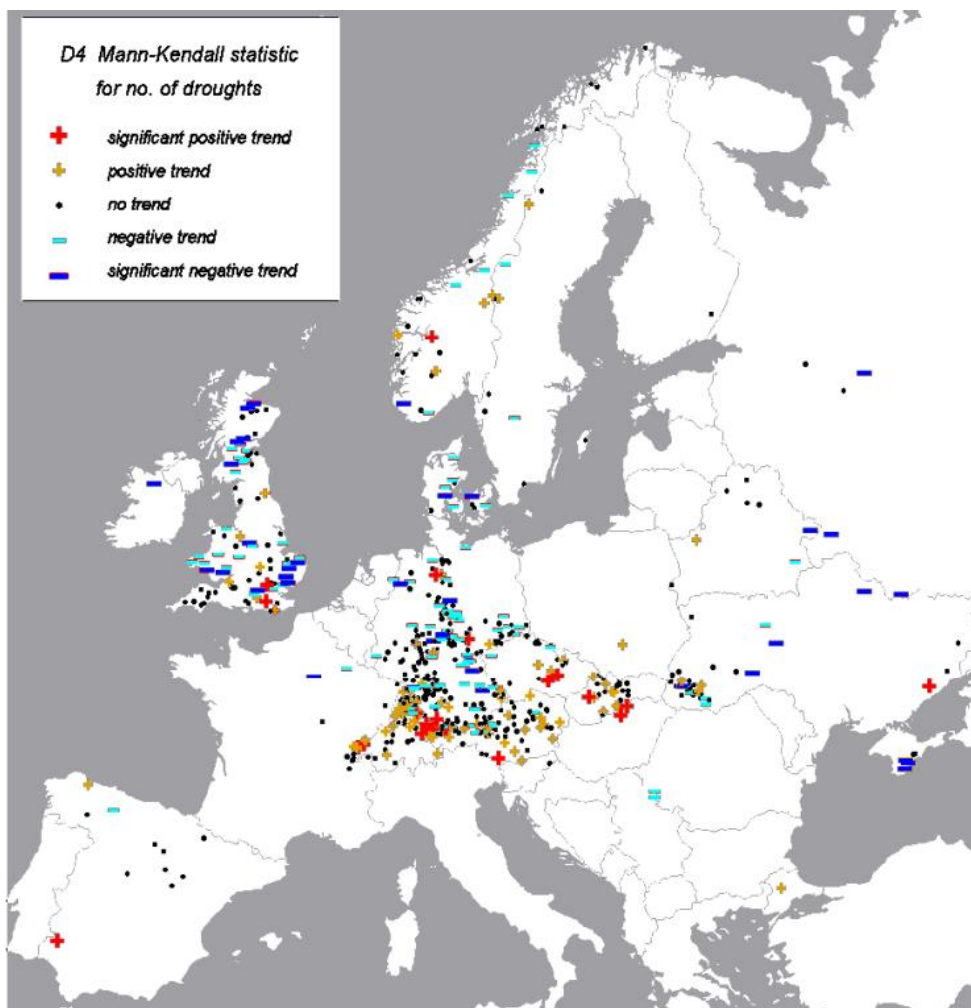
Migrasjon

De direkte effektene av klimaendringer er mangt, og en av dem er migrasjon, som kan være en direkte konsekvens. Med endring i nedbørsmønstre, færre kulde- og flere varmebølger, økning i ekstremværhendelser også videre, vil dette føre til at folk flytter rundt og kanskje skape en ny problematikk (Aall et al., 2018, s. 55). FNs klimapanel mente at klimaendringene i dette århundret ville resultere i mer migrasjon, og spesielt gjelder det folk med få ressurser i fattige klimautsatte land (Tønnessen, 2014, s. 3).

Tørke

Det er store regionale variasjoner i klima basert på områder, men de fleste målestasjoner i perioden 1962- 1990 viste imidlertid ikke store endringer, men heller regionale forskjeller. Man så mer alvorlige tørker i Spania, den vestlige delen av Øst-Europa og i store deler av Storbritannia. Samtidig viste det mindre alvorlige tørke i store deler av Sentral-Europa (figur 28) (van Lanen, Tallaksen, & Rees, 2007, s. 4).

Tørke er underskudd på vann over en lengre periode over et større område. Lengre og oftere tørkeperiode vil gi en negativ konsekvenser mot jord- og skogbruk, vannforsyning og vannkraftproduksjon (Menon Economics, 2017, s. 12).



Figur 25: Trend for tørker i perioden 1962-1990, rød- betydelig positiv trend (mot tørrere forhold) og blå – betydelig negativ trend (mot våtere forhold (van Lanen et al., 2007).

Erosjon

Den høye temperaturendringen gjennom vinteren kan forårsake flere fryse/tine hendelser, og kortere perioder med snø og isdekke, som øker risikoen for erosjon (Miljødirektoratet, 2020). Høyere elvenivåer og avrenning vil resultere i økt suspendert stoff i vannforekomster. Dette vil påvirke vannkvaliteten og tilgjengeligheten av drikkevannskilder. Et eksempel er hvordan økt sedimentering vil påvirke lagringskapasiteten til magasinene, og øke behovet for behandling ved vannforsyninger (EPA, 2016a).

Det at man får økt nedbør og større avrenning vil påvirke flere ledd. Både overflateerosjon, men også erosjon i bekke- og elvekanter. Hvis man får økt tilførsel av partikler til vassdragene, som følge av erosjon fra jordbruk, kan dette føre til økte fosforkonsentrasjoner i vannet. Fosfor er blant annet et av faktorene for algevekst, og dette kan resultere i økt algevekst og i noen tilfeller dannelse av giftige blågrønnalger. Dermed vil det være viktig med tiltak for å hindre dette, og ting man kan gjøre er redusert jordarbeiding, effektiv drenering, buffersoner, bruk av hydrotekniske tiltak og fangdammer (Miljødirektoratet, 2020).

Økt nedbørintensitet kan være en konsekvens i et fremtidig klima, og dette vil føre til økt hyppighet og størrelse på flomtopper, og dette må tilpasses med økt behov for erosjonssikring. En type erosjonssikring kan være planting av busker langs elvekanter (Molversmyr et al., 2020).

Erosjonsrisiko og erosjonshendelser vil bli påvirket av klimaendringer, som en konsekvens av endringer i nedbørmengde. Hvis man ser det fra et erosjonsperspektiv, vil man se endringer i hastigheten på grunt skred, kløft og vinderosjon. For de fleste erosjon vil forekomsten av kraftige regnskyll være kritisk. Det vil være økende tørke i enkelte områder i verden, og i de områdene vil man se en større påkjenning av vinderosjon. Så type endring vil være avhengig av endringer i ekstremnedbør og tropiske sykkloner. Derimot er det en økt potensial for destruktiv kysterrosjon på grunn av en kombinasjon av havnivåstigning, stormhendelser og stormflo (Matua, 2014).

Et annet problemstilling mange land vil møte på i forbindelse med erosjon er kvikkleireproblemet. Kvikkleire er en type leir som finnes i områder som tidligere var havbunn, men som har hevet seg etter siste istid. Det at man får større nedbørmengder og avrenning kan bidra til erosjon i vassdrag og vassdragsnære områder under marin grense. Hvis det befinner seg kvikkleire der kan det utløse et skred. Så økt skred kan være en konsekvens av erosjonsøkning (Klimaetaten, 2020).

Økt erosjon kan føre til å forverre skadene av ekstremvær, noe som vil skape problemer for infrastrukturen og påvirke den lokale befolkningen. Det vil også være fare for utvasking av partikler og salter, som vil øke snøsmelting på frossen jord. Dette vil føre til veksling mellom tining og frysing, og derav trolig øke dannelsen av lystgass (Miljøverndepartementet, 2005).

De menneskelige påkjenningene oppsummeres i tabell 4:

Tabell 4: Oppsummering av de menneskelige påkjenningene.

Matmangel
Drikkevannsmangel
Lengre vekstsesong
Migrasjon
Tørke
Lengre vekstsesong
Migrasjon
Erosjon

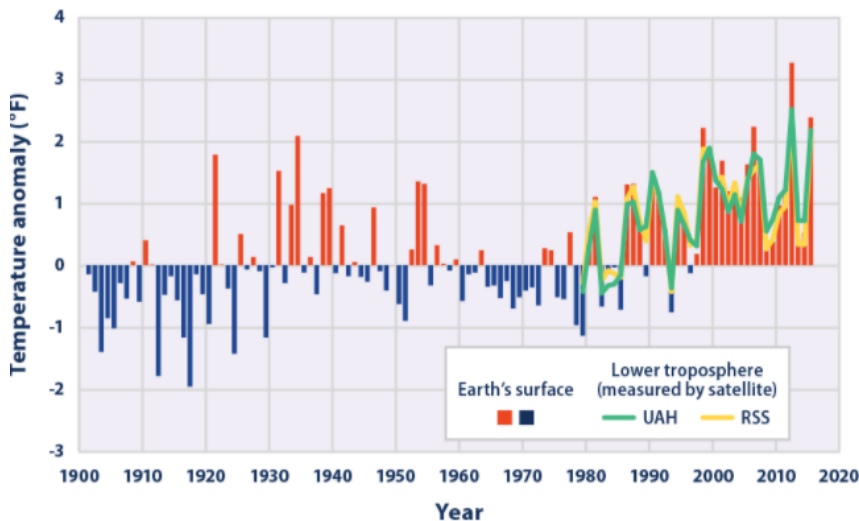
Hetebølger

Klimaetaten (2020) definerer hetebølge som en lengre periode med særdeles varmt vær, i sammenheng med høy luftighet. Det er ingen universell definisjon på en hetebølge, og definisjonen vil variere etter klima (Klimaetaten, 2020, s. 44).

Ser man på Sverige, så er varmebølger uvanlig sammenlignet med Sør-Europa. Ettersom samfunnet i gjennomsnitt er kaldere enn andre, kan normale temperaturer i andre land oppleves som høye i Sverige. De siste års forskning viser til at varme perioder resulterer til økt dødelighet i Sverige også. Forskere i Sverige har beregnet at ekstremt varme, som hittil har skjedd hver tjuende år i gjennomsnitt, kan forekomme hver tredje til femte år på slutten av århundret (Miljö- och energidepartementet, 2017, s. 33).

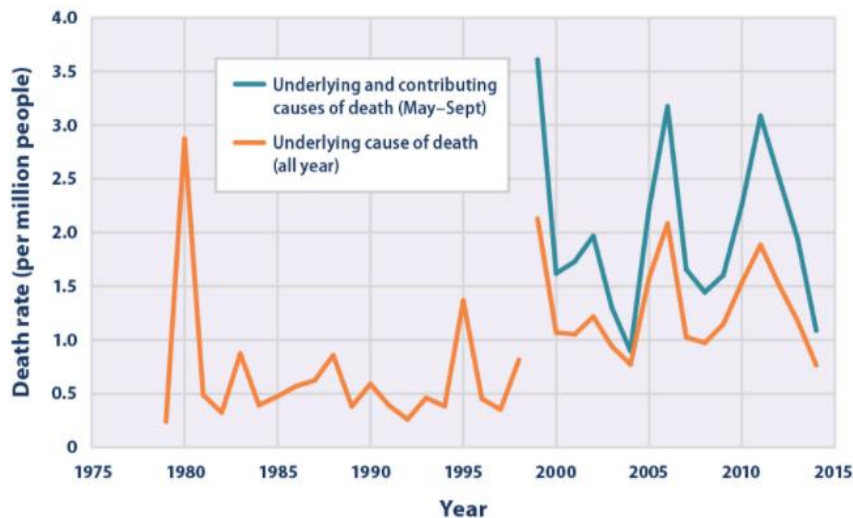
WHO meldte at det ble registrert ekstra dødsfall på over 70 000 sommeren 2003 i 12 europeiske land. Analyser som har blitt utført i etterkant estimerte en 2% økning i dødelighet i nordlige byer og 3% i særlige byer, for hver 1-graders-økning i temperatur over byens terskelnivå (WHO, 2021). Dødsfallene var primært eldre, og for industrialiserte land vil det ha betydning siden levealderen er høy og det er forventes økning i årene fremover (Den Norske Legeforeningen, 2021).

Ser man derimot på hvordan hetebølger vil påvirket et helt annet land, som ligger i et annet verdensdel av verden, kan man se på USA. Siden 1901 har den årlige gjennomsnittstemperatur i statene i USA steget med en gjennomsnittlig hastighet på 0,14 ° F per tiår (figur 26) (EPA, 2016j).



Figur 26: Temperaturer i statene, 1901 -2015 (EPA, 2016j).

Dette har ført til økning i dødsfall relatert til hetebølger. Figur 31 viser årlige dødsfall klassifisert som varmerealteerte dødsfall av medisinske fagpersoner. Den oransje linjen viser dødsfall hvor varme var listet som den underliggende årsaken til dødsfallet, mens den blå linjen viser dødsfall var enten listet som underliggende eller en medvirkende dødsårsak i løpet av månedene fra mai til september (EPA, 2016e). I de årene hvor grafene overlapper hverandre legger man merke til dobling i grafen, underliggende eller en medvirkende dødsårsak. En annen ting å bemerke er toppen i varmerealteerte dødsfall i 2006, et år som var assosiert med utbredte hetebølger og en av de varmeste årene som ble registrert i samtlige stater (figur 27) (EPA, 2016e) .



Figur 27: Dødsfall klassifisert som varmerelatert dødsfall i USA, 1979 – 2014 (EPA, 2016e).

Allergi:

Med økt temperatur vil man måtte regne med økt risiko for plager og forekomst av pollenallergier. Det antas at pollensesongen vil utvides, og dermed føre til større plager for allergikerne gjennom store deler av året. I tillegg er det mulighet for økning i mengde pollenkorn eller introduksjon av nye type planter og allergier. Dette kan utløse eller forverre astma, samt gi redusert ytelse i forhold til fritidsaktiviteter, utdanning, skole og arbeid (Ottesen, 2010, s. 23).

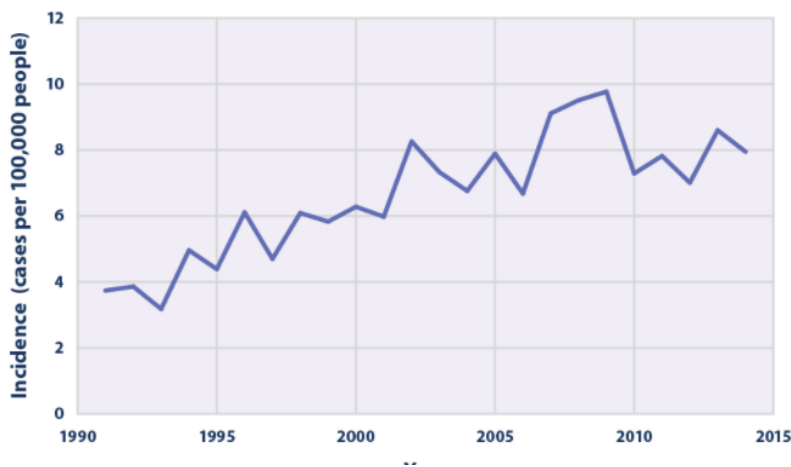
Et varmere klima gir utslag ved at vekstsesongen utvides, og blomstring og løvspring kommer tidligere enn før. Allerede viser observasjoner at økte temperaturer har bidratt til forlengelse av pollensesongene i Europa (Ottesen, 2010, s. 23).

Infeksjonssykdommer:

Klimaendringer vil påvirke folkehelsen på flere måter. Et varmere og fuktigere vil legge til rette for infeksjonssykdommer, ved at smittebærerne får en bedre levevilkår (Flæte & Klimatilpasningsutvalget, 2010, s. 76). Global og lokal oppvarming medfører økt utbredelse av vektoroverførte sykdommer, dvs. sykdommer som overføres fra en bærer (Ottesen, 2010, s. 57).

Forekomsten av Lyme-sykdommen / borreliose i USA har nesten fordoblet seg siden 1991. Det går fra rundt 4 rapporterte tilfeller per 100 000 mennesker til rundt 8 rapporterte tilfeller per 1000 000 mennesker i 2014 (figur 28). Sykdommen overføres gjennom bitt av visse typer

arter av infiserte flått. Disse flåttene bærer bakterier, og en av konsekvensen av klimaendringene er endringen av livssyklusen. Utvalget av flått har økt, samt overlever dem i områder som de ikke klarte å leve i før (EPA, 2016f).



Figur 28: Rapporterte tilfeller av borreliose i USA, 1991–2014 (EPA, 2016f).

Vannkvalitet

I tidligere kapitler er det nevnt effekter av klimaendringer, og en av disse av kraftige regnvær. Man vil få en større belastning på overvannslendinger, og avløpsvannsledninger. Dette vil føre til overløp fra pumpestasjoner, og kan føre til større lekk og kloakkforurensede flommer. I tillegg vil større mengde vann på avløpsrenseanleggene føre til dårligere rensing og alle disse forholdene vil føre til dårlige vannkvalitet i mange vannkilder. Temperaturstigning gir også bedre levevilkår til mikroorganismer og bakterier, og samt påvirke badevannet. Dette vil ikke bare påvirke drikkevannet, men også badevann, som vil påvirke menneskers helse (Ottesen, 2010).

Konsekvensene i menneskelig påkjenning oppsummeres i tabell 5.

Tabell 5: Oppsummering av globale konsekvenser

Hetebølger
Allergi
Infeksjonssykdommer
Vannkvalitet

4.1.4 Kostnader ved tilpasning

I Københavnsavtalen som ble inngått i 2009 lovet industrilandene å bidra med 1000 milliarder dollar til utviklingsland innen 2020, for å støtte dem med klimatiltak og tilpasning. I Paris i 2015 ble dette målet igjen tatt opp, og landene ble enige om å sette et nytt kollektivt kvantifisert mål før 2025, og bruke de 100 milliarder dollaren som grunnlag. Om målet på ble oppnådd er ikke mulighet å si noe om på dette tidspunktet, siden industrilandene ikke er pålagt å rapportere sine klimafinansieringsdata for 2020 til FNs rammekonvensjon om klimaendringer før januar 2022 (Neufeldt, Christiansen, & Dale, 2021, s. 24).

FNs miljøprogram 2016 konkluderte med at årlige tilpasningskostnader i industriland kan variere fra 140 – 300 milliarder dollar årlig innen 2030, og stige fra 280 – 500 milliarder dollar innen 2050. Tilpasningskostnadene er høyere for høyinntektsland i absolutt dollarverdi, mens kostnadene er høyere i forhold til bruttonasjonalprodukt for lavinntektsland. Gode klimatiltak vil føre til at verden havner i et relativt lavrisikoscenario (RCP2.6) og tilpasningskostnadene kan reduseres med 75% sammenlignet med et høyrisikoscenario (RCP8.5). Det vil si at lønnsomt fra et kostnadsperspektiv å investere i klimatiltak. Det ble gitt ut estimering at en investering på 1,8 billioner dollar i områder med tidlig varslingsystemer kan skape 7,1 billioner dollar av fordeler. Disse fordelene gjelder for det meste unngåtte kostnader på grunn av tidlige tiltak, og ikke fordeler i form av miljø (Neufeldt et al., 2021, s. 24).

Det skal nevnes at det ikke er unike klassifisering av hva et tiltak kan være, og hva som er nødvendig og ikke. Tabellen 6 under presenterer flere eksempler på tiltak som kan gjøres.

Tabell 6: Tilpasningstiltak for vannrelaterte effekter av klimaendringer.

Type tilpasningstiltak	Tilpasningstiltak
Generell reduksjon i vanntilgjengelighet og økning av risikoen for tørke	Etablering av pris- og markedsmekanismer
	Programmer for økt effektivitet når det kommer til vanning, industri og husholdninger.
	Lekkasjestyring
	Øke bevissthet, i form av utdanningskampanjer og kommunikasjoner
	Øke reservoarkapasiteten

Økning av risikoen for flom	Øke pumping av grunnvann
	Høsting av regnvann
	Avsalting
	Gjenbruk av kommunalt avløpsvann
	Beredskapsplaner
	Sysselsettingsalternativer etter tørke
	Hjelp til befolkning og økonomisk sektorer
	Bærekraftige urbane dreneringssystemer
	Lage vannskille ved passende vegetasjon
	Implementering av flomsletter og våtmarker
	Forbedre infiltrasjon
	Implementering av tidlige varslingsystemer og prognoser
	Flomforsvarsinfrastruktur som dammer, magasiner osv.
	Begrensning av arealbruk i flomsletter
	Befolkningsflytting
	Nød- og evakueringsplaner
Vedtakelse av forsikringsordninger	

4.2 Norge

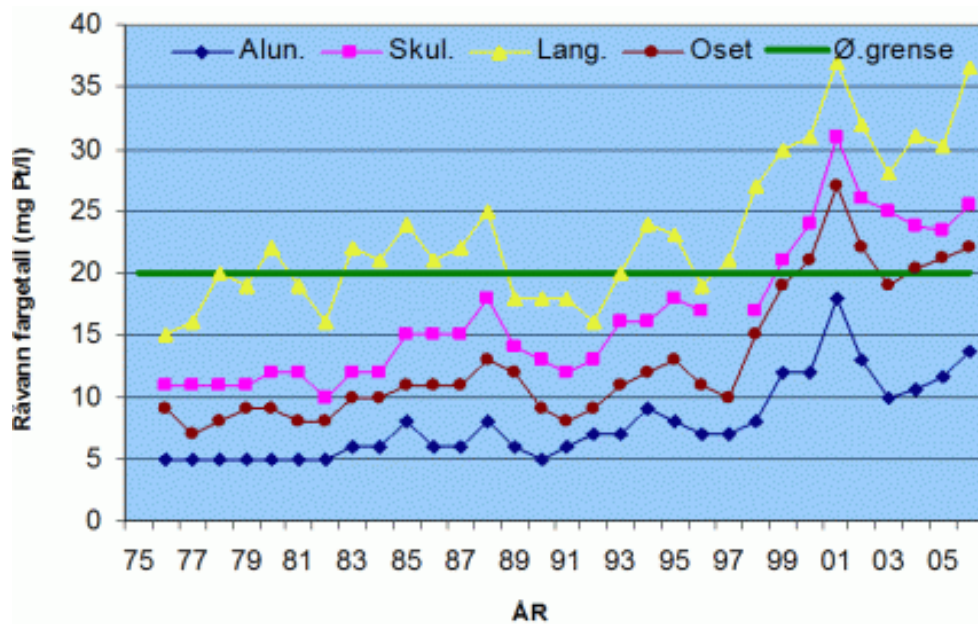
4.2.1 Oslos råvannskilder

Oslos råvannskilder nedenfor er basert på tidsserier og tester gjort av norske forskere i samarbeid med NIVA for fargetall i Oslos råvannskilder (Alunsjøen, Skullerud ((Elvåga)), Langlia og Maridalsvannet (Oset)) fra 1974 til 2006. Samtidig er målingene gjort av Oslo VAV for Elvåga og Maridalsvannet.

4.2.1.1 Organiske stoffer

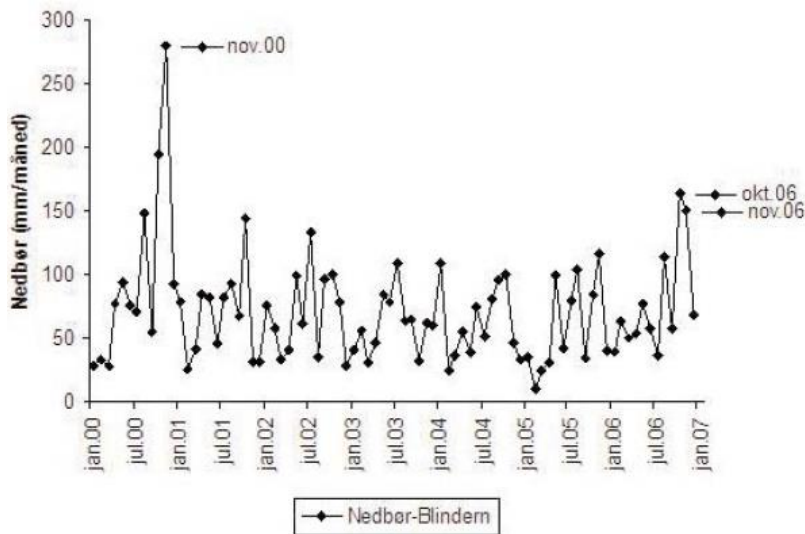
I Norge det som oftest humus man assosierer med organiske stoffer, siden man har høyt innhold av det i det norske råvannskilder. Fargetall forteller om innholdet av organiske stoffer i kilden, og mattilsynet har anbefalt at fargetallet ikke overskrider 20 Pt mg/l (FHI, 2021).

Målingene av fargetall i perioden 1974 – 2006 (Figur 29) viser endringen av fargetallet gjennom årene, og målingene hadde en stigende verdi på slutten av 90-tallet og inn i år 2000 (Bomo et al., 2017, s. 145).



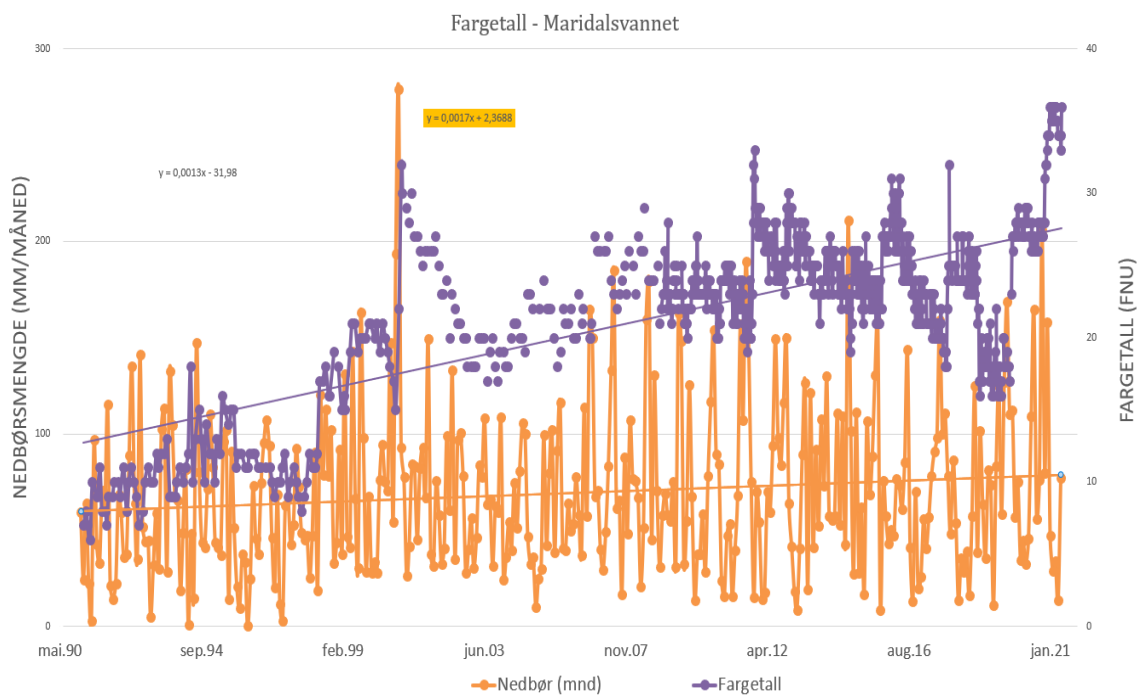
Figur 29: Utvikling av fargetall i Oslos vannkilder 1974- 2006 (CICERO, 2008a).

Samtidig angir figuren nedenfor nedbørstall fra Blindern i perioden 2000 – 2006, som kan ses i kontekst i forhold til verdiene man fikk i utviklingen av fargetallet.



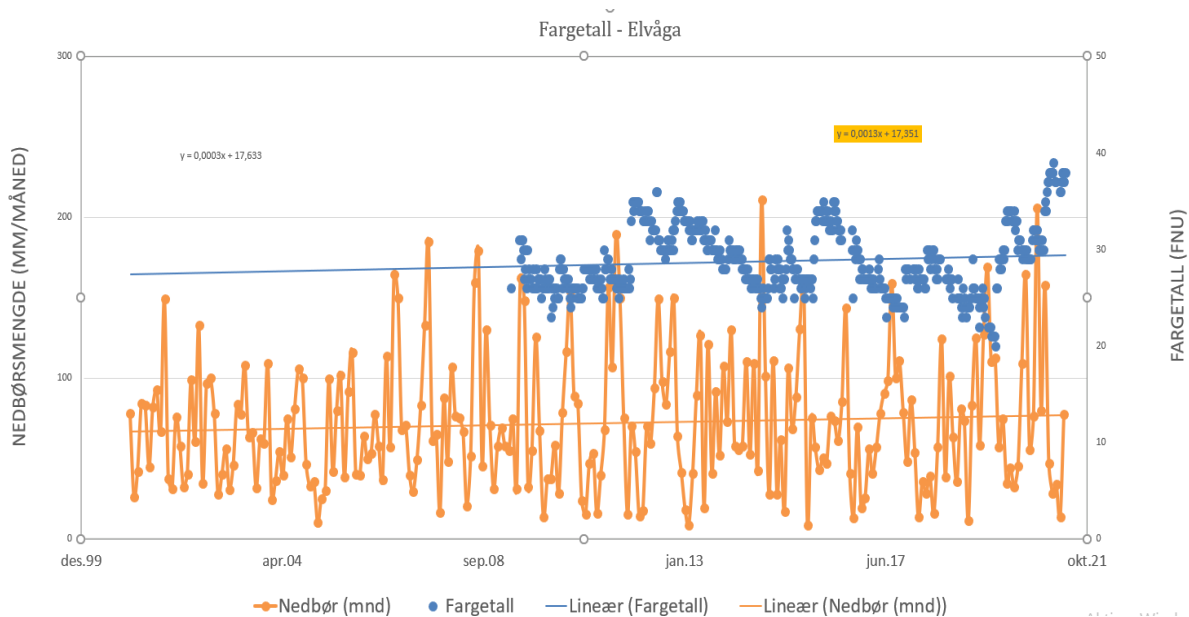
Figur 30: Nedbørstall fra Blindern i perioden 2000-2006 (Bomo et al., 2017).

Figur 31 viser en sammenligning mellom fargetallsutviklingen i Maridalsvannet, og nedbørsmengden i Oslo fra Blindern målestasjon fra perioden 1991- 2021. I begge tilfeller har man en stigende trendlinje, selv om fargetalls-utvikling er mer stigende. Dette samstemmer godt med målingene fra de norske forskerne (figur 29).



Figur 31: Fargetallmålinger fra Oset i perioden 1991 – 2021.

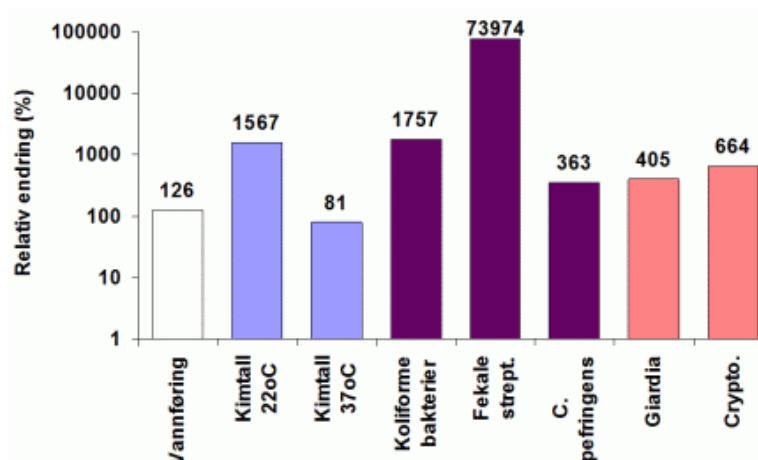
Figur 32 viser en sammenligning mellom fargetallsutviklingen Elvåga, og nedbørsmengden i Oslo fra Blindern målestasjon mellom perioden 2009 - 2021. Man startet å ta målinger fra Elvåga 18 år etter man tok de første fargetallsmålinger fra Maridalsvannet.



Figur 32: Fargetallmålinger fra Skullerud i perioden 2009 – 2021.

4.2.1.2 Mikrobiologisk forurensning

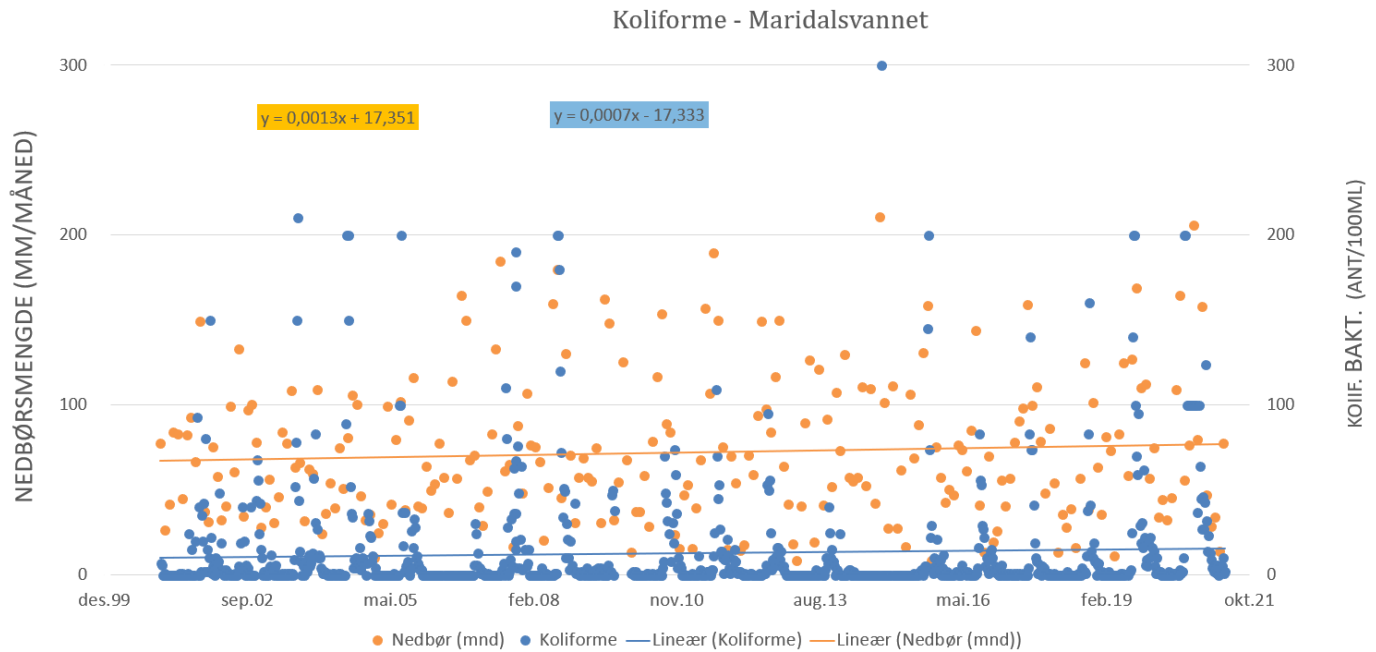
Figur 33 viser resultatet av en tysk studie, som skulle vise sammenhengen mellom økningen i avrenningen, og økningen i mikroorganismer i en drikkevannskilde (Bomo et al., 2017, s. 148).



Figur 33: Sammenhengen mellom økning i avrenning (vannføring) og økning i bakterier og parasitter i en drikkevannskilde, resultater fra en tysk studie (CICERO, 2008b).

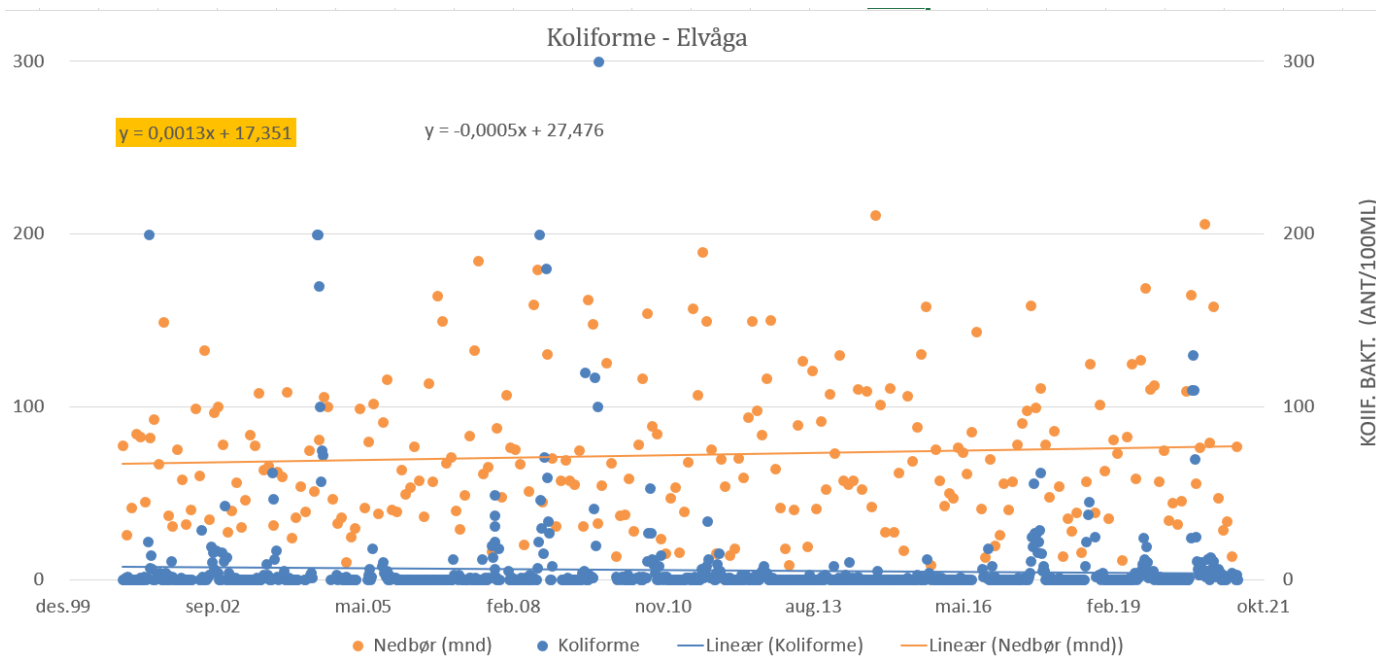
4.2.1.2.1 Koliforme bakterie

Figur 34 viser resultatet fra drikkevannsprøver av koliforme bakterier i Maridalsvannet, i sammenheng med nedbørsmengden i Oslo fra Blindern målestasjon i perioden 2001 – 2021.



Figur 34: Målinger av Koliforme bakterier fra Maridalsvannet i perioden 2001 – 2021.

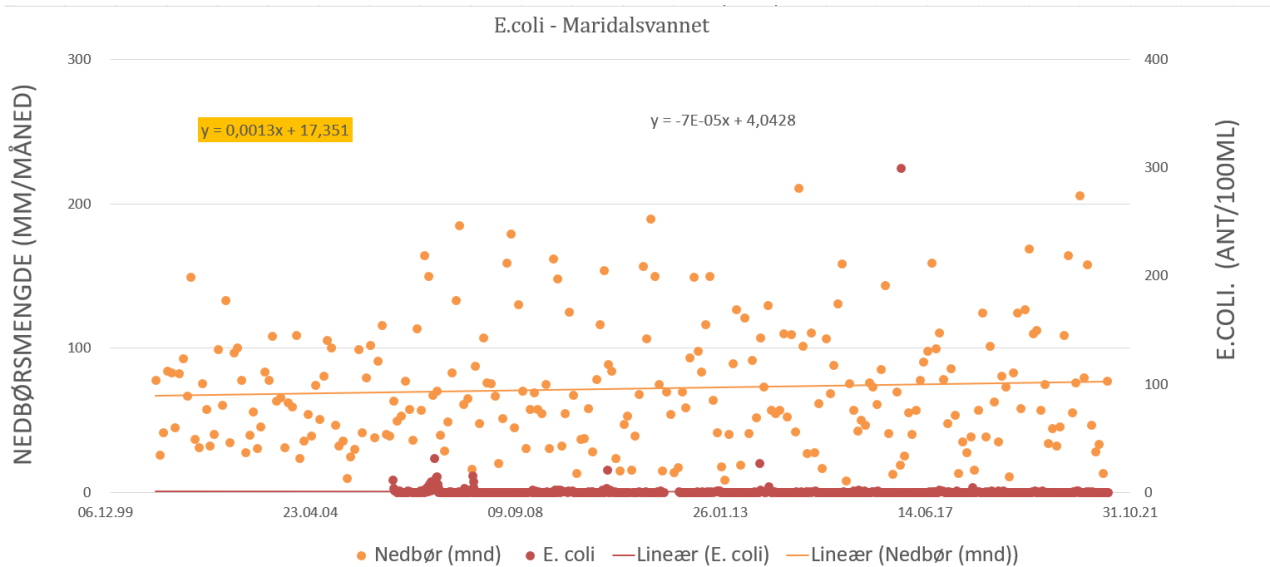
Figur 35 viser resultatet fra drikkevannsprøver av koliforme bakterier i Elvåga, i sammenheng med nedbørsmengden i Oslo fra Blindern målestasjon i perioden 2001 – 2021.



Figur 35: Målinger av Koliforme bakterier fra Elvåga i perioden 2001 – 2021.

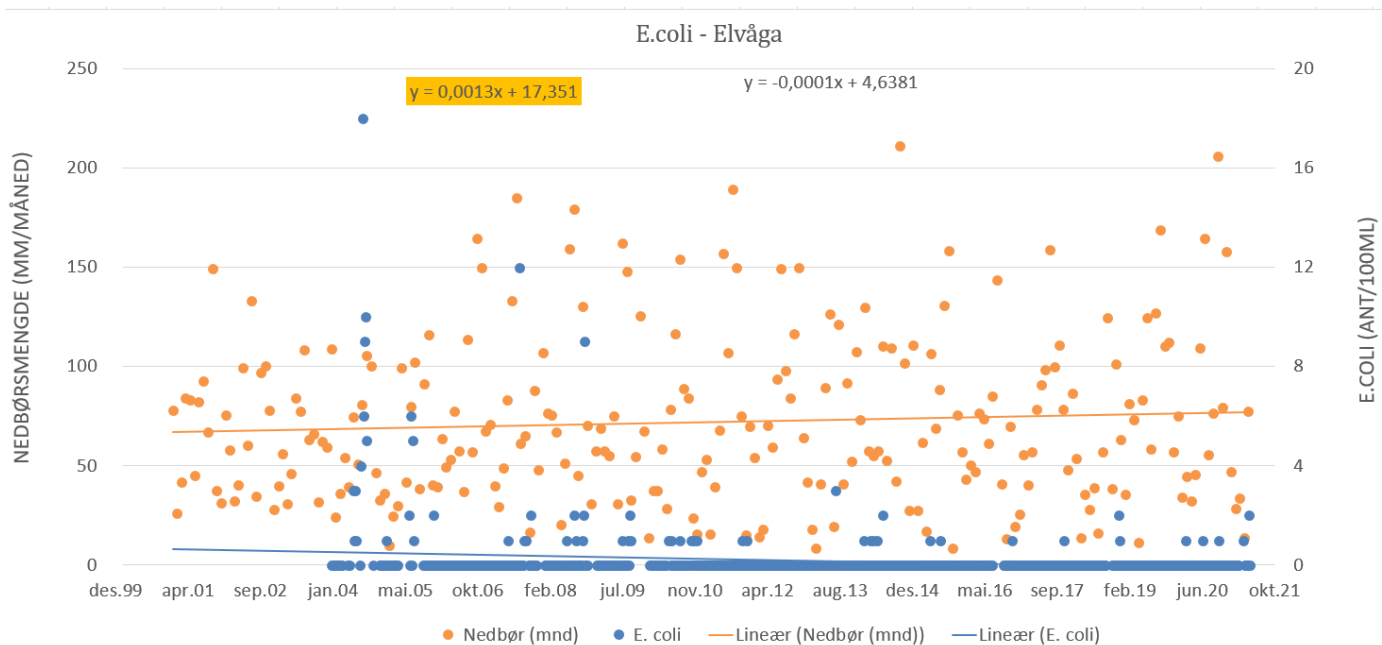
4.2.1.2.2 E. coli

Figur 36 viser resultatet fra drikkevannsprøver av E. coli i Maridalsvannet med nedbørsmengden i Oslo fra Blindern målestasjon, i perioden 2001 – 2021.



Figur 36: Målinger av E. coli fra Maridalsvannet i perioden 2001 – 2021.

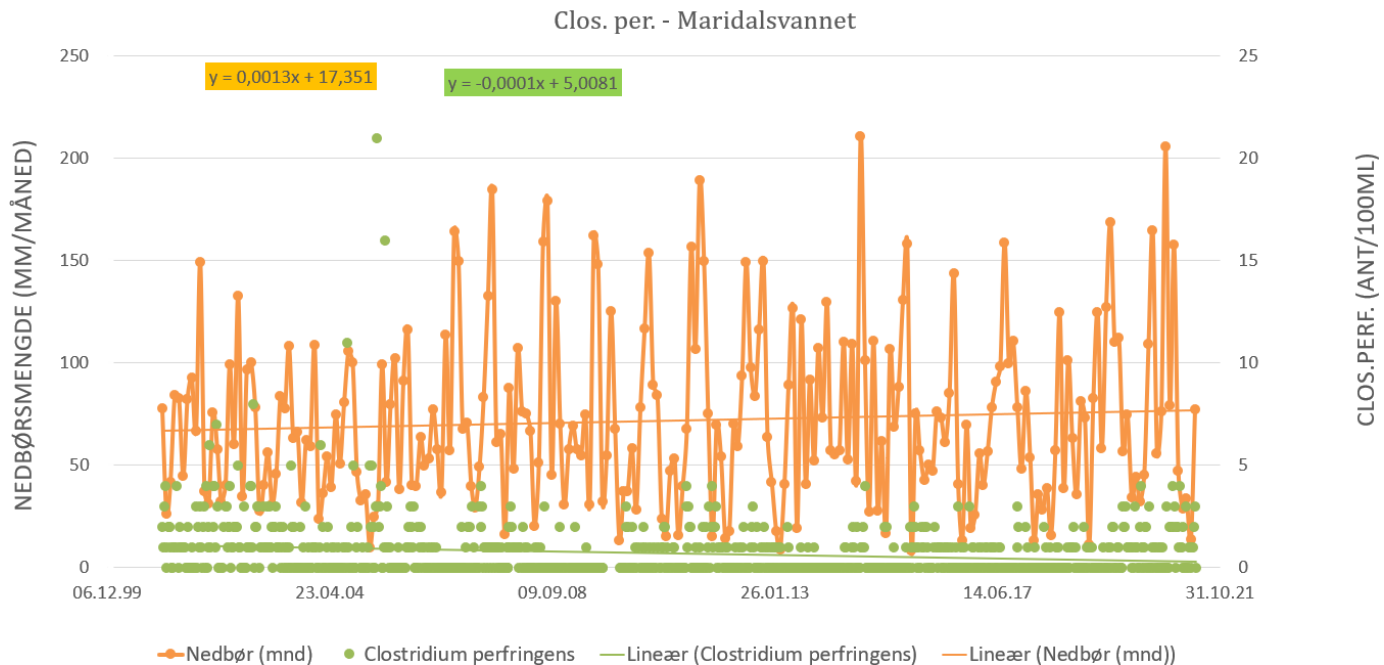
Figur 37 viser resultatet fra drikkevannsprøver av E. coli i Elvåga med nedbørsmengden i Oslo fra Blindern målestasjon, i perioden 2001 – 2021.



Figur 37: Målinger av E. coli fra Elvåga i perioden 2001 – 2021

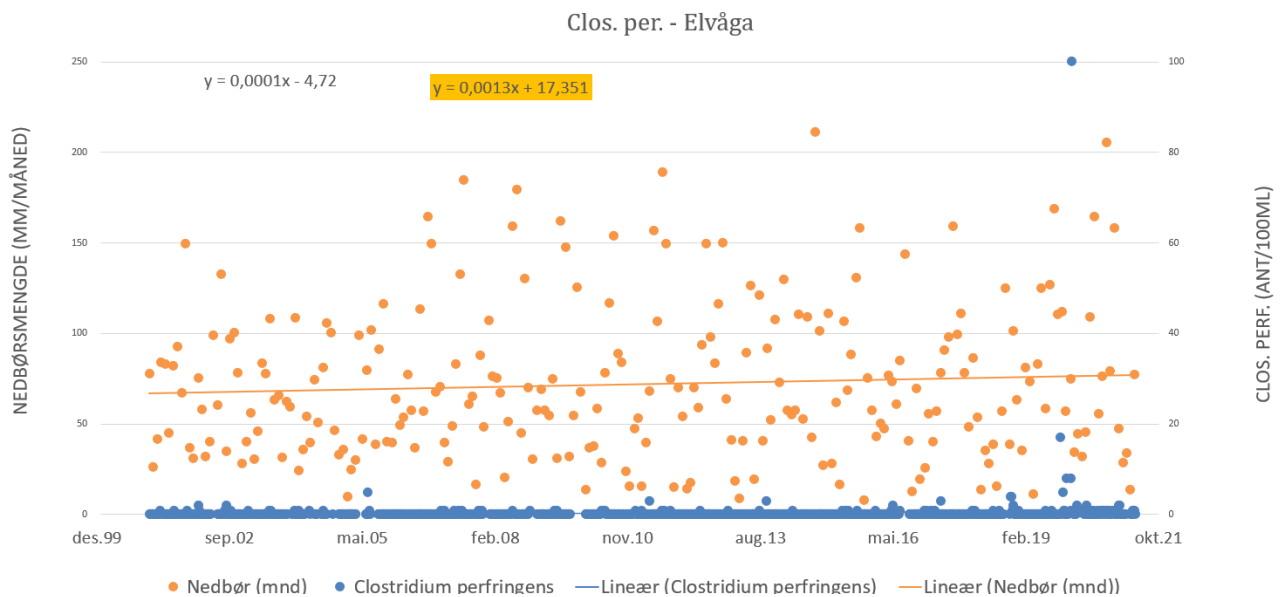
4.2.1.2.3 Clostridium perfringens

Figur 38 viser resultatet fra drikkevannsprøver av Clostridium perfringens i Maridalsvannet med nedbørsmengden i Oslo fra Blindern målestasjon, i perioden 2001 – 2021.



Figur 38: Målinger av Clostridium perfringens i Maridalsvannet i perioden 2001 – 2021

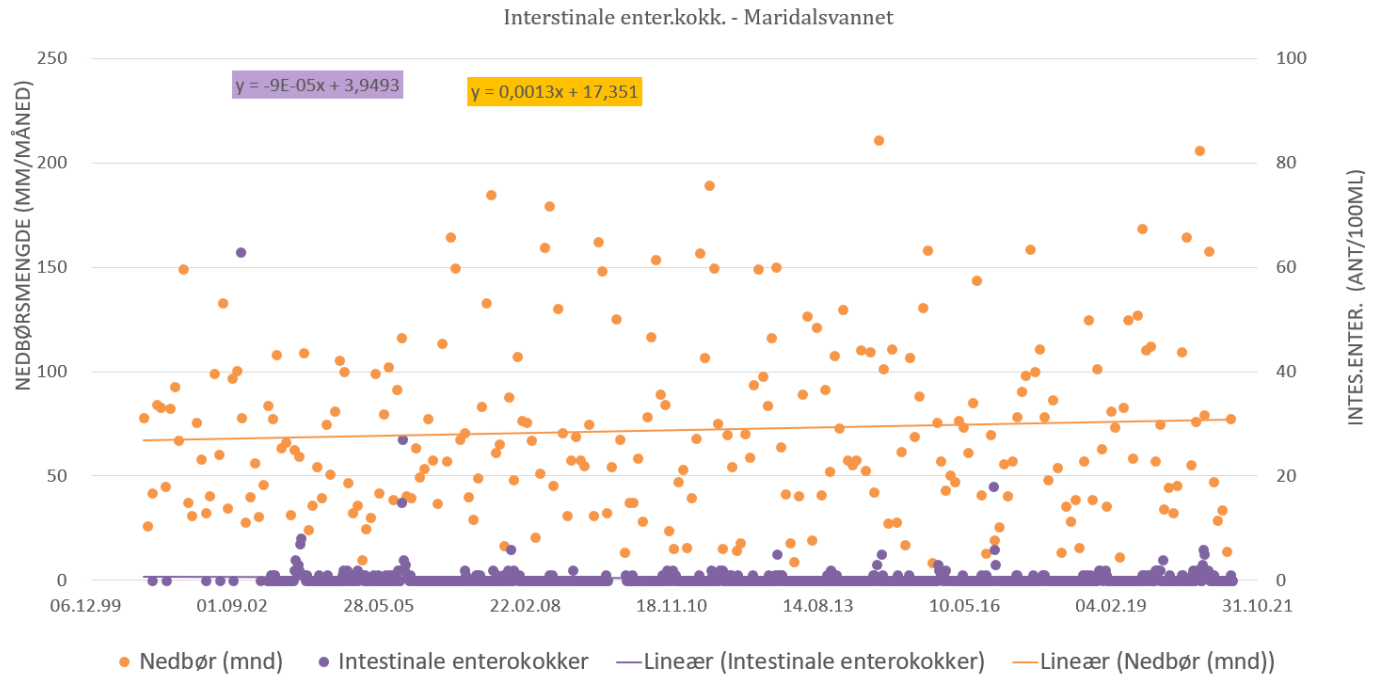
Figur 39 viser resultatet fra drikkevannsprøver av Clostridium perfringens i Elvåga med nedbørsmengden i Oslo fra Blindern målestasjon, i perioden 2001 – 2021.



Figur 39: Målinger av Clostridium perfringens i Elvåga i perioden 2001 – 2021

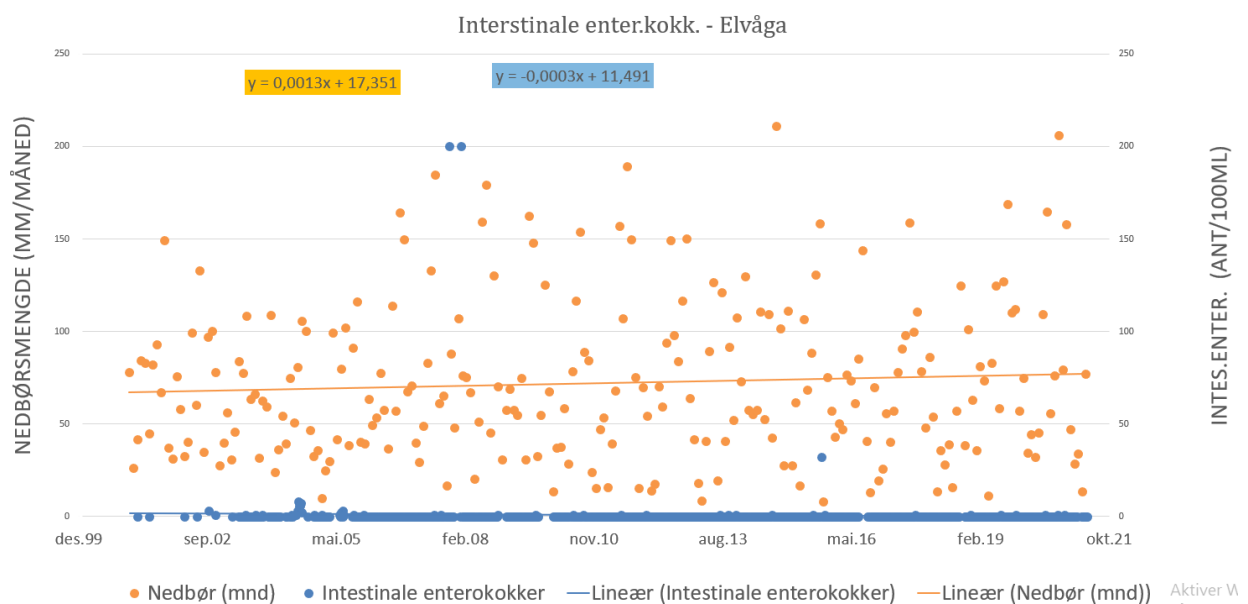
4.2.1.2.4 Intestinale enterokokker

Figur 40 viser resultatet fra drikkevannsprøver av intestinale enterokokker i Maridalsvannet med nedbørsmengden i Oslo fra Blindern målestasjon, i perioden 2001 – 2021.



Figur 40: Målinger av intestinale enterokokker i Maridalsvannet, perioden 2001 – 2021.

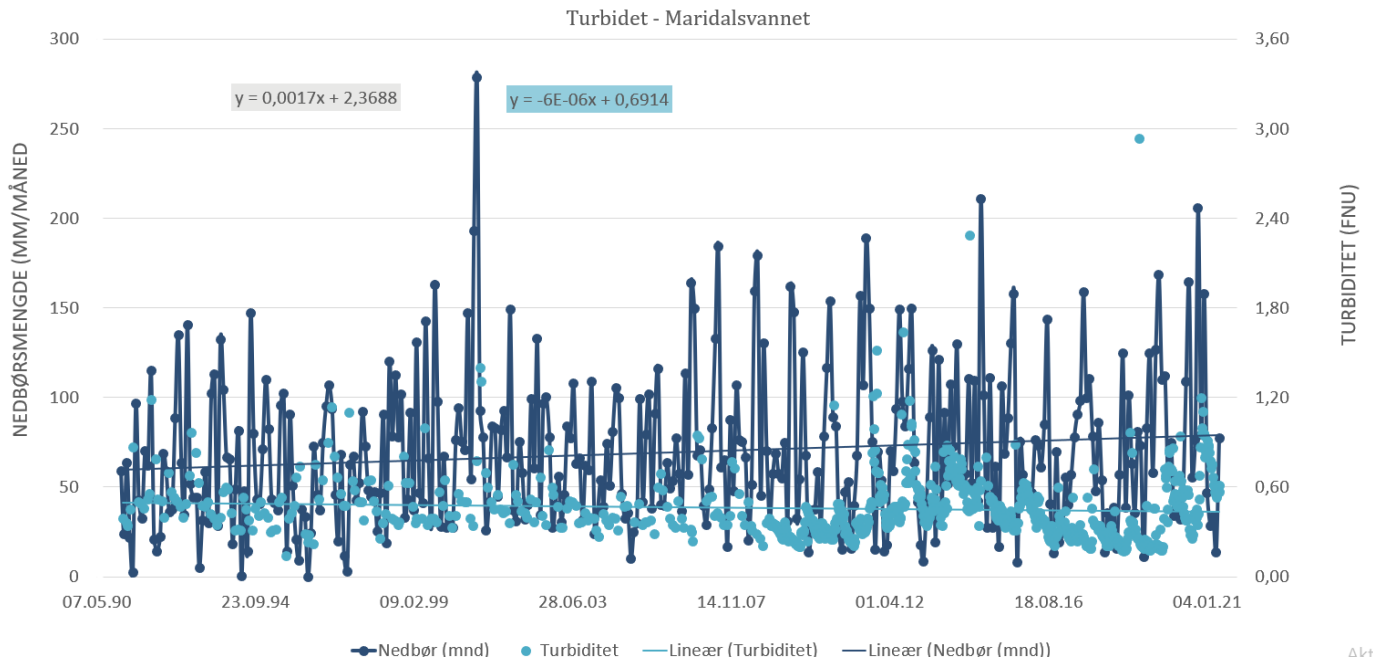
Figur 41 viser resultatet fra drikkevannsprøver av intestinale enterokokker i Elvåga med nedbørsmengden i Oslo fra Blindern målestasjon, i perioden 2001 – 2021.



Figur 41: Målinger av intestinale enterokokker i Elvåga, perioden 2001 – 2021.

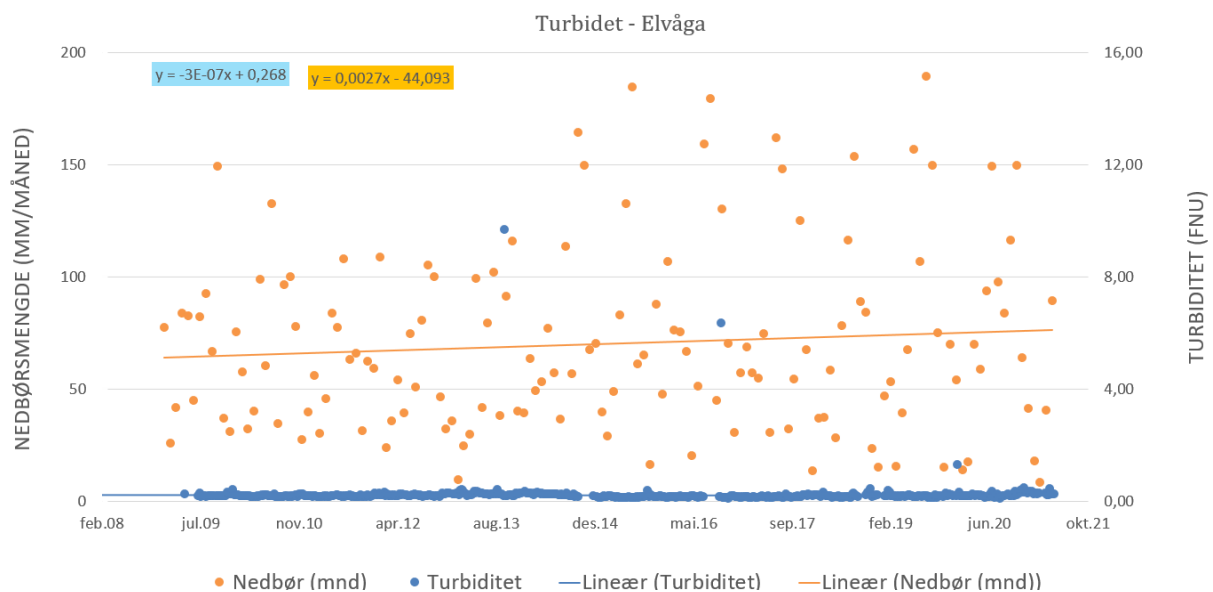
4.2.1.3 Turbiditet

Figur 42 viser resultatet fra drikkevannsprøver av turbiditet i Maridalsvannet med nedbørsmenge i Oslo fra Blindern målestasjon, i perioden 1991 – 2021.



Figur 42: Målinger av turbiditet i Maridalsvannet, perioden 1991 – 2021.

Figur 43 viser resultatet fra drikkevannsprøver av turbiditet i Elvåga med nedbørsmenge i Oslo fra Blindern målestasjon, i perioden 2009 – 2021.



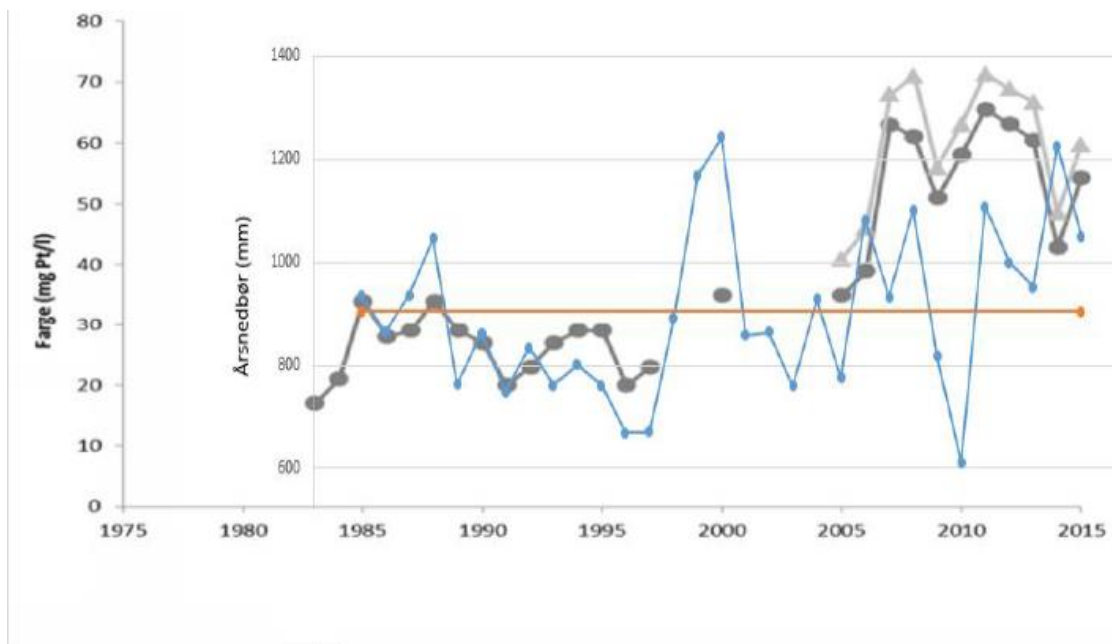
Figur 43: Målinger av turbiditet i Elvåga, perioden 1991 – 2021.

4.2.2 Storefjorden i Vansjø

Funnet av litteraturen som skal representeres nedenfor er undersøkelser gjort av NIVA/NIBIO og MOVAR om utviklingen i råvannet Vansjø. MOVAR er et interkommunalt selskap som eies av fire forskjellige kommuner, og en av dem er Moss. MOVAR produserer regionens drikkevann ved Vansjø vann, og forbrukerne får det via kommunens ledningsnett (MOVAR, 2021). Samtidig benyttes det målinger man direkte har fått fra Moss kommune, for å se på utviklingen de siste årene.

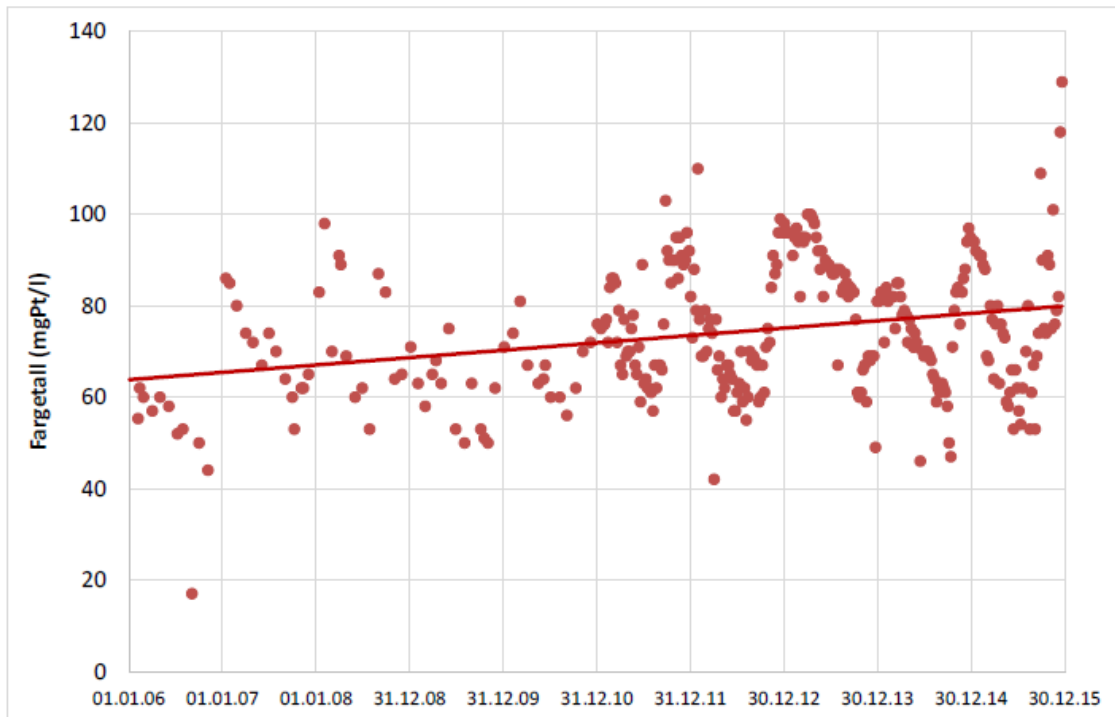
4.2.2.1 Organiske stoffer

Figur 44 viser årlig nedbør (Rygge målestasjon) sett i sammenheng med fargetall i Vansjø i perioden 1985 – 2015. En ting å legge ved denne undersøkelsen er at de kun er tatt i sommerhalvåret, og lysere farge i fargetall tilsvarer sesongen april – oktober og den mørkere juni – september (E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 15).



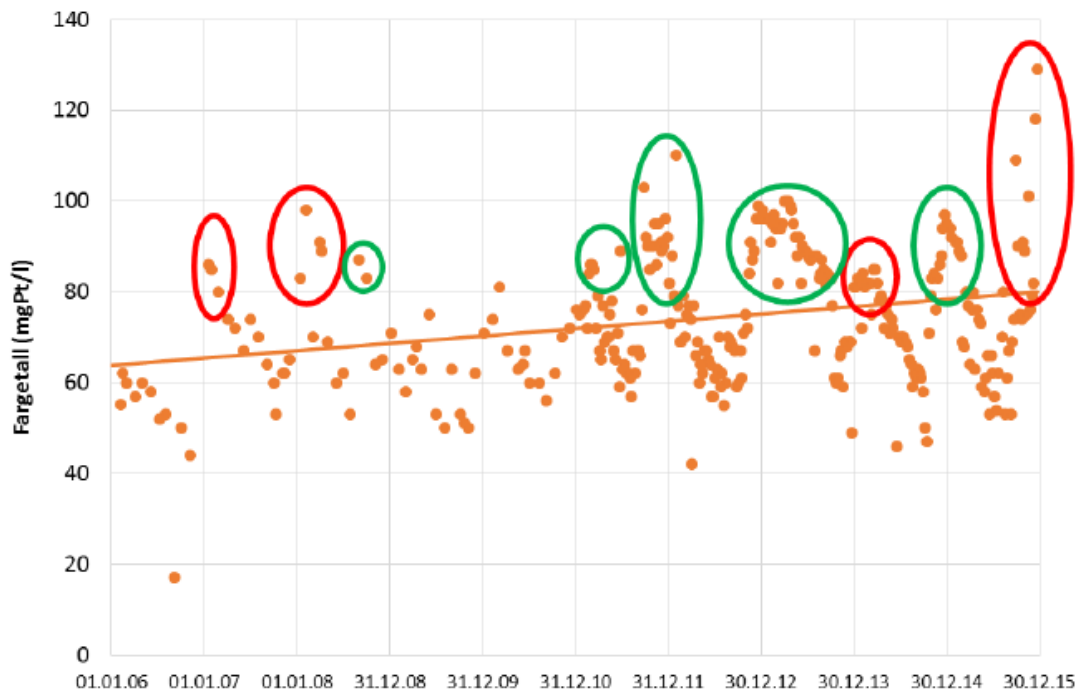
Figur 44: Årlig nedbør i blå kurve og fargetall i grå kurve, periode 1985 – 2015. Lysere farge (fargetall) tilsvarer april – oktober og mørkere farge juni – september (E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 15).

Samtidig ble det gjort eksterne analyser fra MOVAR, som vises i figur 45, periode 2006 – 2015 (E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 10).



Figur 45: Fargetall i råvannet til Vansjø i perioden 2006-2015, MOVAR (E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 10).

Figur 46 viser en dataserie på hvordan fargetall blir påvirket av flomhendelser. Figur 47 viser en flomhendelse som skjedde i januar 2008. Tilsvarende flom oppsto også i November 2006, desember 2003 og høsten 2015 (E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 16).

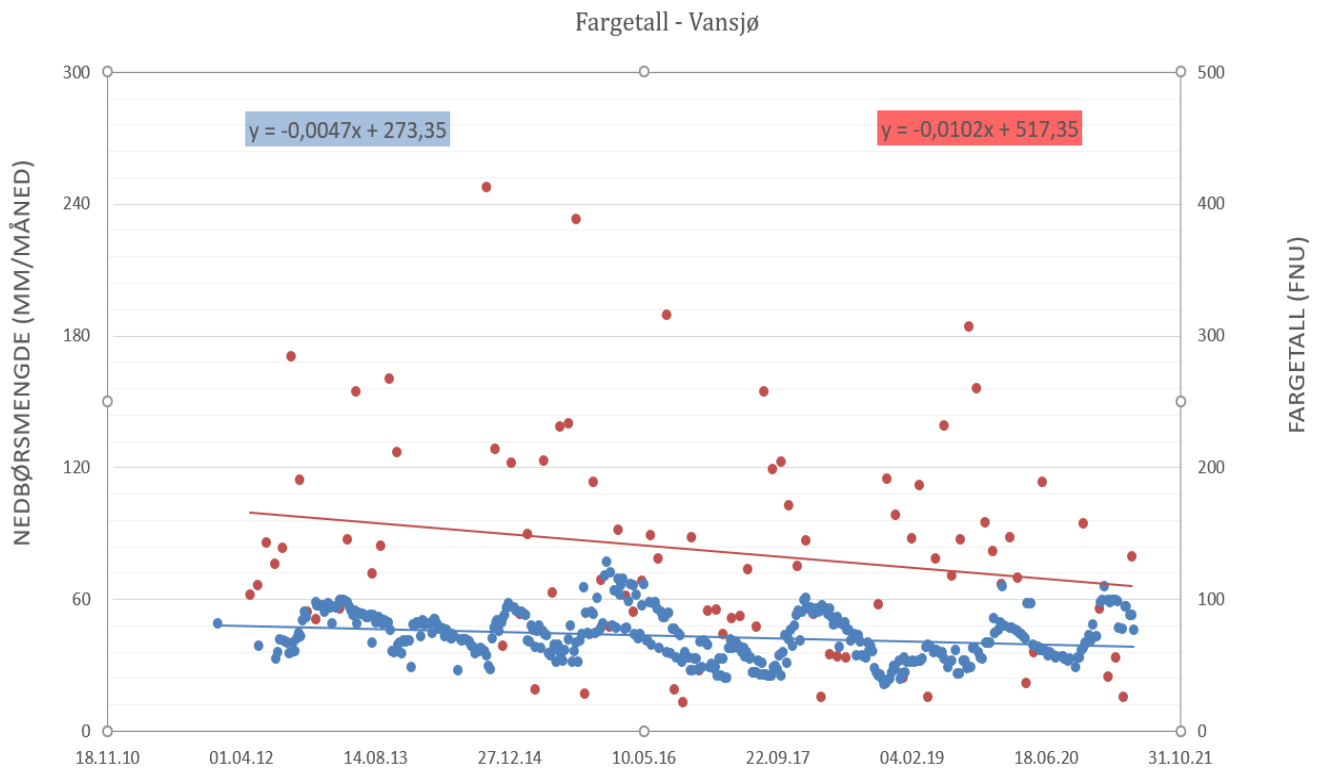


Figur 46: Fargetallsverdier i råvannet til Vansjø i perioden 2006 – 2015. Perioder med flom er gitt i røde ring, og andre høye perioder er gitt i grønne ring (E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 17).



Figur 47: Flomhendelse i Hobølelva, 2018 (E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 16)

Figur 48 viser en sammenligning mellom fargetallsutviklingen i råvannet Vansjø, og nedbørsmengden i Moss fra Rygge målestasjon, i perioden 2012 – 2021.

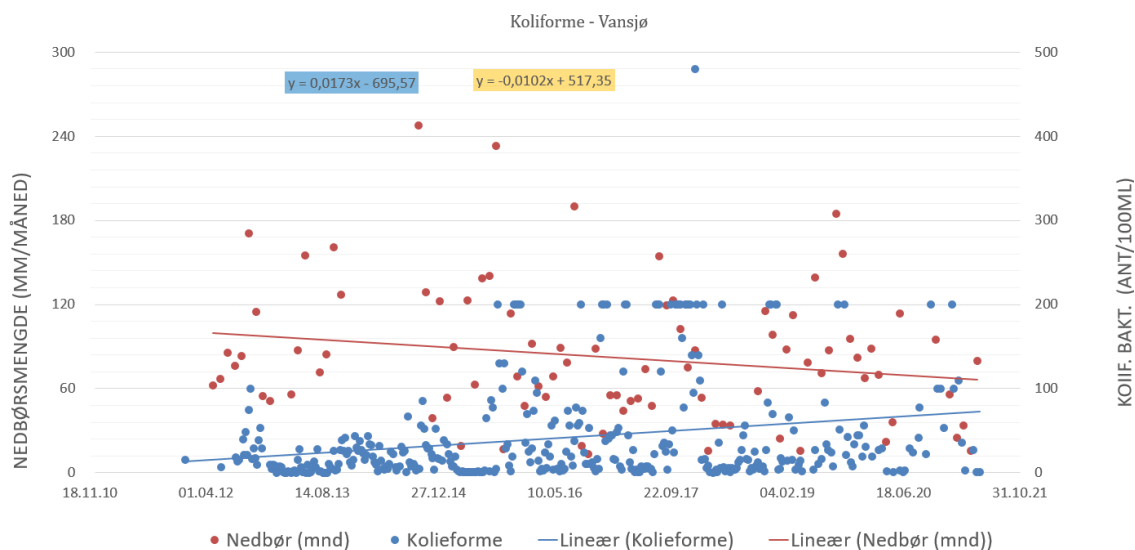


Figur 48: Fargetallmålinger fra Vansjø i perioden 2012 – 2021.

4.2.2.2 Mikrobiologisk forurensning

4.2.2.2.1 Koliforme bakterie

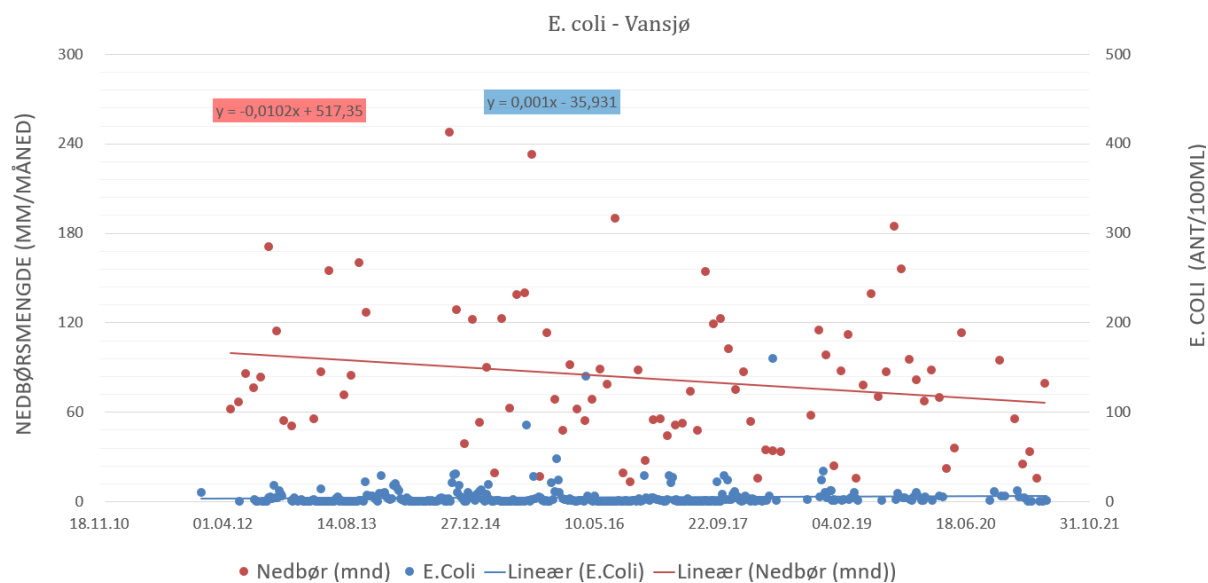
Figur 49 viser resultatet fra drikkevannsprøver av koliforme bakterier i råvannet fra Vansjø, i sammenheng med nedbørsmengden i Moss fra Rygge målestasjon, i perioden 2012 – 2021



Figur 49: Målinger av koliforme bakterier fra Vansjø i perioden 2012 – 2021.

4.2.2.2.2 E. coli

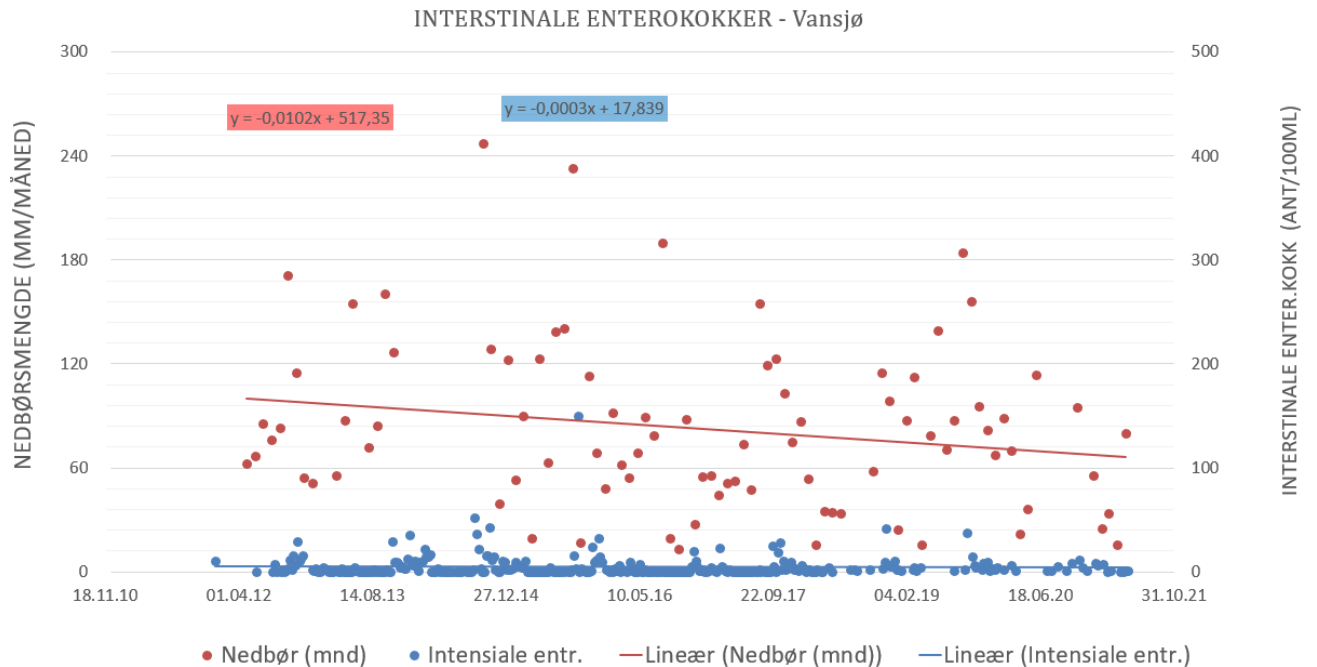
Figur 50 viser resultatet fra drikkevannsprøver av E. coli i råvannet fra Vansjø med nedbørsmengden i Moss fra Rygge målestasjon, i perioden 2012 – 2021.



Figur 50: Målinger av E. coli fra Vansjø i perioden 2012 – 2021.

4.2.2.2.3 Intestinale enterokokker

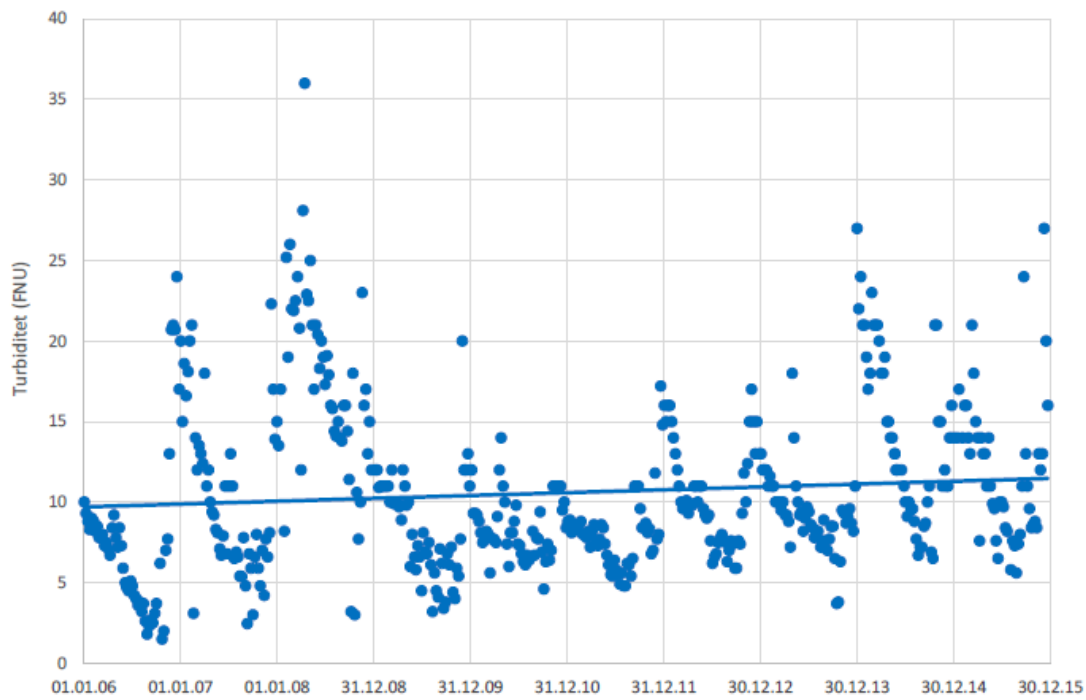
Figur 51 viser resultatet fra drikkevannsprøver av Intestinale enterokokker i råvannet fra Vansjø med nedbørsmengden i Moss fra Rygge målestasjon, i perioden 2012 – 2021.



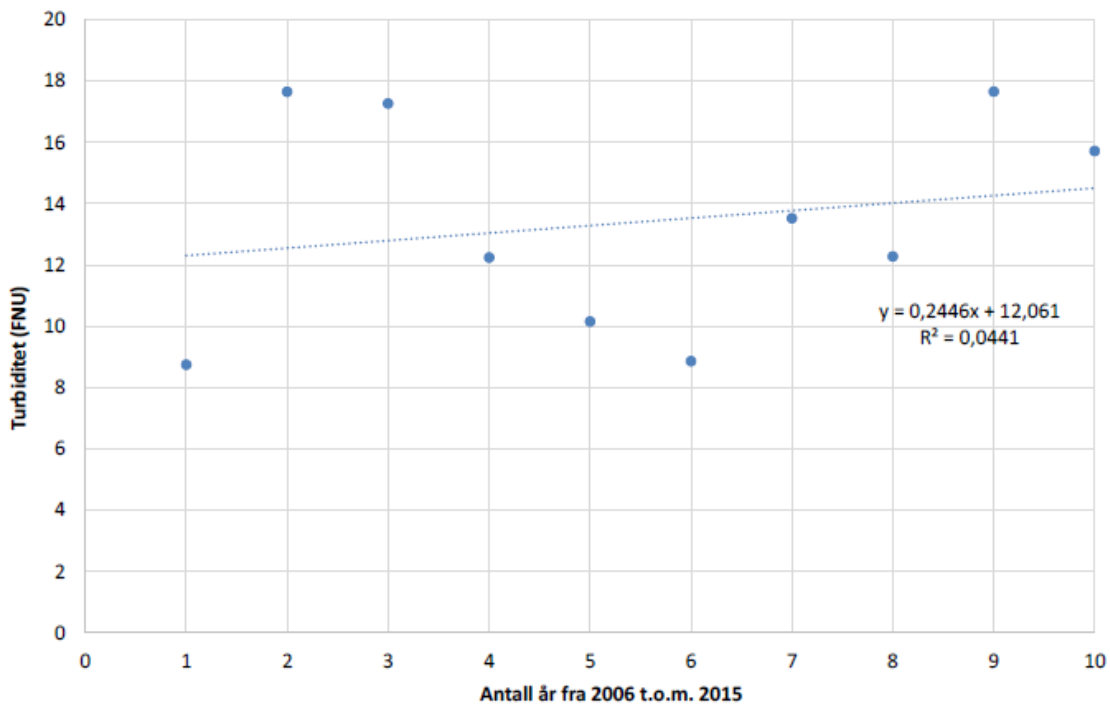
Figur 51: Målinger av Intestinale enterokokker fra Vansjø i perioden 2012 – 2021.

4.2.2.3 Turbiditet

I figur 52 under er det en oversikt over målte turbiditetsverdier i råvannet til Vansjø vannverk i perioden 2006 -2015. Samtidig viser figur 53 gjennomsnittlige turbiditetsverdier i Vansjø, og det er sett for perioden desember – februar hvert år fra vinteren 2006 til desember 2015 (E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 11).

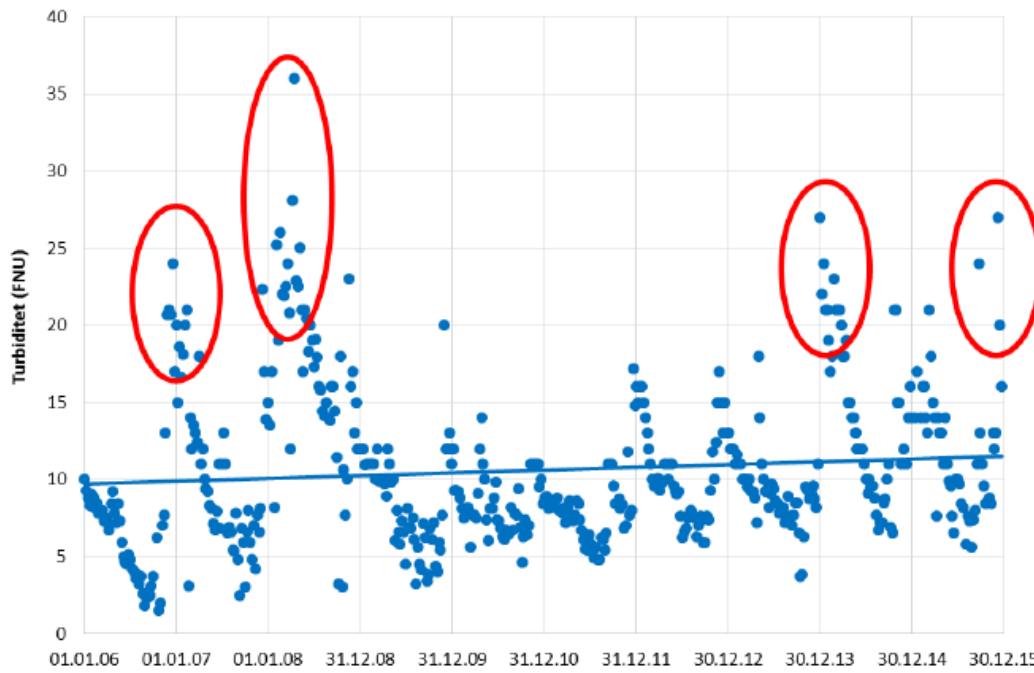


Figur 52: Målte turbidetsverdier i råvannet Vansjø i perioden 2006- 2015 (E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 11).



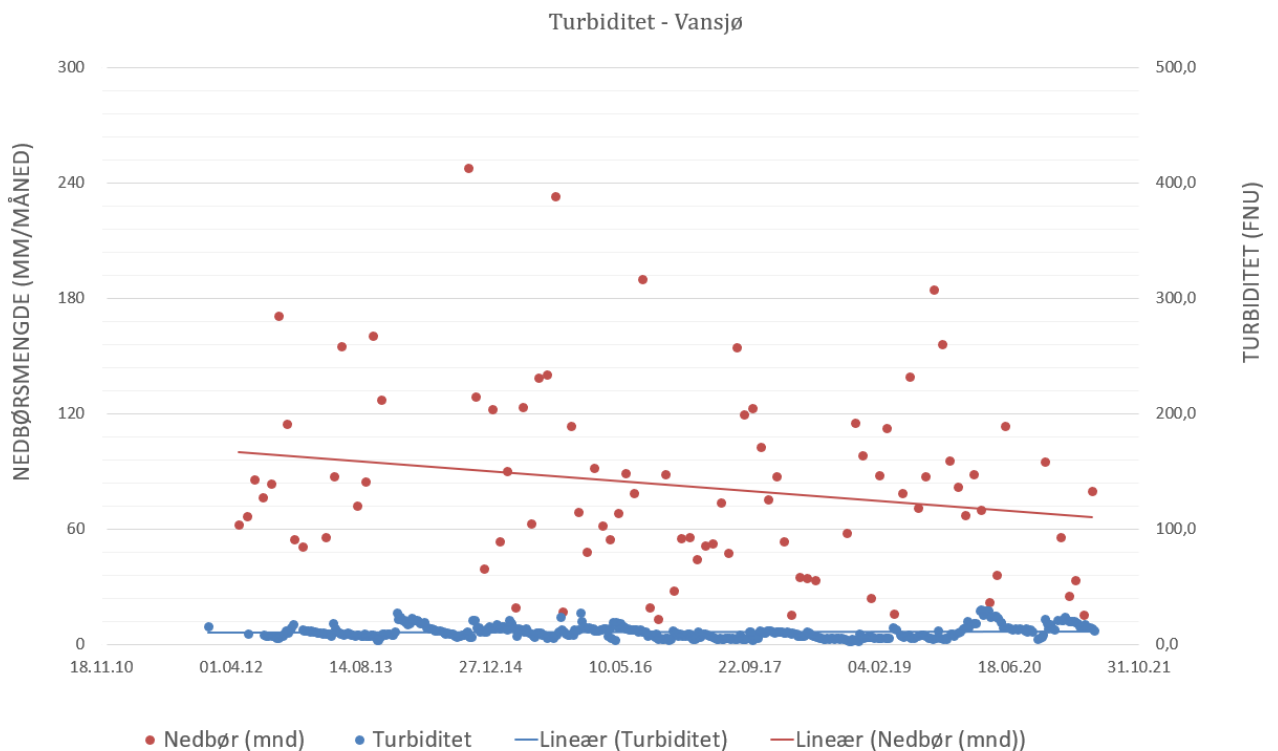
Figur 53: Gjennomsnittlige turbidetsverdier i råvannet Vansjø i tidsrommet desember- februar, perioden 2006-2015. Tallet 1 tilsvarer vinteren 2006/2007 og tallet 10 tilsvarer bare desember 2017 (E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 11).

Figur 54 viser partikkelkonsentrasjonen i Vansjø råvann etter flomhendelser (røde sirkler) (E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 17).



Figur 54: Turbiditetsverdier i råvannet i Vansjø perioden 2006 - 2015. Perioder med flom i Hobølelva er i røde ring(E. Johannessen & Halvorsen, 2017, s. 17).

Figur 55 viser resultatet fra drikkevannsprøver av koliforme bakterier i råvannet fra Vansjø, i sammenheng med nedbørsmengden i Moss fra Rygge målestasjon, i perioden 2012 – 2021.



Figur 55: Målinger av Intestinale enterokokker fra Vansjø i perioden 2012 – 2021.

4.3 Kostnader ved å tilpasse seg klimaendringer i Norge

Klimaendringer vil føre med seg kraftigere nedbør, som kan føre til at ledninger eller renseanlegg som mottar vann ikke klarer å ta unna den mengde vann. Overløp til vassdrag kan resultere i spredning av bakterier og parasitter, samt ligger drikkevannsledningen ofte i samme grøft som avløpsledningen. Dette gjør at det man må være merk varsom og gjør situasjonen mer betent, siden hvis det oppstår lekkasjer kan det gi katastrofale konsekvenser (Aall et al., 2018, s. 31).

Kvaliteten og forsynings sikkerheten på drikkevannet, og en hygienisk håndtering av avløpsvann er nødvendig, selv med klimaendringer. Konsekvenser som kan oppstå på vann- og avløp er at anlegget blir ødelagt og må repareres, spesielt bli det kritisk i begge sektorer ved stor økning av overvann og for drikkevannskvaliteten blir det økning av fargetall, mikrobiologisk forurensning og økende partikkelkonsentrasjon som renseanlegget må kunne ta for seg. Norsk vann (2013) har et kostnadsoverslag å fornye for overvann og spillvann innen 2030 på 16 milliarder kroner (Skaaraas et al., 2015, s. 37).

Anleggene pleier å ha en levetid på 40 år. Hvis man har omtrent et 20-års perspektiv fram mot 2040, kan man anta at halvparten av anleggene vil enten trenge utskifting eller oppgradering. Med tanke på klimaendringer vil andelen anlegg som vil trenge oppgradering øke, og det forutsettes at 70 % av anleggene vil trenge utskifting/oppgradering mot 2040 (Vann, 2021, s. 15). Investeringsbehovene i ledningsanlegg frem til 2040 er gitt i tabell 5 under. Total er det behov for å investere 175mrd.kr i ledningsanlegg for Va frem til 2040 (Vann, 2021, s. 21). Klimaendringene vil også føre til endring av råvannskvalitet i overflatekilder. Dette vil gi utslag i behov for endret renseprosess i vannbehandlingsanlegg, i form av økt kjemikaliebruk og kanskje ombygging av anlegg. Det skal sies at det er uklart i hvilken grad dette vil endre investeringsbehovet den neste 20-årsperioden (Vann, 2021, s. 31).

Tabell 7 : kostnadsbehov for oppgradering av ledningsanlegg frem til 2040 (Vann, 2021, s. 21).

Ledningsanlegg	Estimert investeringsbehov frem til 2040
Vannledninger	71 mrd. kr
Spillvannsledninger og fellesavløpsledninger	85,7 mrd. kr
Overvannsledninger	18,5 mrd. kr
Totalt:	175 mrd. kr

5 Tiltak

I dette kapittelet skal det presenteres forskjellige klimatiltak som Norge og andre europeiske land har satt opp. Dette kapitlet gjør også rede for delproblemstillingen: *Hvordan jobbes det med klimatilpasning i utlandet, og kan kunnskapen overføres til Norge?* De utvalgte landene er: Sverige, Finland, Irland og England.

5.1 Norge

I NOU sin utredning til miljøverndepartement *Tilpassing til eit klima i endring – Samfunnet si sårbarheit og behov for tilpassing til konsekvensar av klimaendringane* tas det opp ulike tilrådninger som skal styrke tilpassingene til klimaendringene i vann- og avløpssektoren. Det nevnes til miljøverndepartementet at for å imøtekomme klimaendringene, må følgende tiltak iverksettes (NOU, 2010: 10, s. 111 - 112):

- Overvåkingen må forsterkes og økes. Det er for å tilegne seg kunnskap, samt holde øye med endringer i nedbørsdata i for eksempel urbane områder.
- Prioritere teknologiutvikling, ved å legge vekt på forskning. Dette for å forsterke vann- og avløpssektoren.
- Kartlegge vannforsyningssystemet og beregne økonomiske konsekvenser av klimatilpasningstiltak ved å innføre gebyrordninger.
- Styrke retningslinjer til kommuner når det gjelder håndtering av overvann og flomveier.
- Styrke kompetansen i kommunene, samt investere i rekrutteringer til utdanninger innenfor dette feltet.
- Sette statlige retningslinjer for dimensjonering av vannforsyningssystemet for å imøtekomme ventede klimaendringer.

NOU har i tillegg lagt til en tabell fra et samfunnsøkonomisk perspektiv som følge av klimaendringene i vann- og avløpssektoren. Utover det virker det ikke som det er satt andre spesifikke tiltak når det gjelder vannforsyning.

Tabell 8: Oversikt over en samfunnsøkonomisk perspektiv i VA-sektor (NOU, 2010: 10, s. 109)

	Tilpassingstiltak	Uløyste problem	Samfunnsøkonomisk kostnad
Vassforsyning	Auka krav til reinseanlegg gjennom lover/forskrifter. Kostnad blir velta over på brukar. Vasskvalitet og forsyningstryggleik blir tekne vare på.	Lekkasjar frå leidningsnettet tek kapasitet frå avløpssystemet med tilhøyrande reinseanlegg. Auka risiko for inntrenging av forureining i vassleidningen som følgje av forureina vatn i grøftene.	Helse – ubetydeleg, men kan gi brukarane periodar med redusert drikkevasskvalitet. Auka kostnad for avløpssystemet – ikkje verdsett. Avheng av eksisterande kapasitet i avløpssystemet og graden av lekkasje i vassforsyninga.
Avløp	Nye anlegg blir dimensjonerte etter venta nedbørauke, noko av etterslepet i dag blir teke igjen. Miljøomsyn i utslepp blir over tid teke vare på av forureiningsmyndigheit – kostnader i samband med utbetring av avløpsreinseanlegg.	Vedlikehaldsetterslepegir auka risiko for bygningskadar ved nedbør utover det delar av avløpssystemet er dimensjonert for.	Ytre påverknad på bygningar som følgje av auka grunnvatn og inntrenging av vatn pluss tilbakeslag avløp. Forsikringsutbetaling, differansen mellom 2008 og 2007, multiplisert med den venta auken i realkapitalen gjennom hundreåret, til saman om lag 0,5 mrd. kroner
Overflatevatn – drenering	Nye anlegg blir dimensjonerte og utforma for framtidige klimaendringar. Etterslep og manglar i delar av dreneringssystema i dag blir vidareførte.	Auka risiko for lokal flaum med tilhøyrande skadar som følgje av mangelfull drenering. Auka risiko for skadar på bygningar og annan infrastruktur.	Kortare tid mellom flaum og overfløyningar med kostnadskonsekvensar. Kostnader på transportinfrastruktur og andre ferdsselsårer. Skadeutbetaling mangelfull drenering bygningar 0,05 mrd. kr.
Reduserte frostskeidar			Ubetydeleg innsparing, forsikringsutbetalingar i dag ligg mellom 17 og 98 mill. kroner rapportert.

5.1.1 Andre tiltak Norge kan ha

Hvilke tiltak kan man settes i gang for å motvirke effektene av klimaendringene.

Klimaendringene på vannsyklusen vil gi nye utfordringer og farer, og derfor må vannverkene iverksette tidlige tiltak. En studie oppsummerte hovedutfordringene til vannverkene i Norge når det kommer til klimatilpassing (Bruaset, 2014, s. 510):

- Det inkluderes tilpassing til klimaendringer i kommuneplaner.
- Etablere et godt vannforsyningsnett og vannrensningsanlegg.
- Fordele ansvar mellom lokale og regionale myndigheter.
- Sikre og øke kapasiteten i organisasjonen for klimatilpassing.

- Lage utformingskriterier for ledningsnett og vannbehandlingsanlegg rettet mot forventede klimaendringer.

Andre tiltak er tiltak som har en langvarig effekt, og eksempler på tiltak i vannforsyningssystemet kan være (Bruaset, 2014, s. 516):

- Beskyttelse av drikkevannskildene, helst en økning.
- Overvåke ledningsnettet for å identifisere nye lekkasjer.
- Bruk av separate kummer for nye utbygging og rehabilitering.
- Omlegge brønner til høyereliggende områder (flomsikring).
- Reservevann

Fornyelse av ledningsnettet

Det er stort etterslep i norsk VA-sektor og spørsmålet blir da om man skal planlegge etter dagens klima, siden dagens ledningsnett uansett ikke er bærekraftig, eller planlegge til et fremtidig klima? En mulighet er å inkludere en klimafaktor slik mange andre sektorer gjør. Faktoren kan være en prosentsats som representerer den reduserte levetiden, som følge av klimaendringer. Et slik valg krever også en forskning, for å komme til en reell verdi som vil påvirke ledningsnettet (Bruaset, 2014, s. 516).

Andre tiltak (Bruaset, 2014, s. 516):

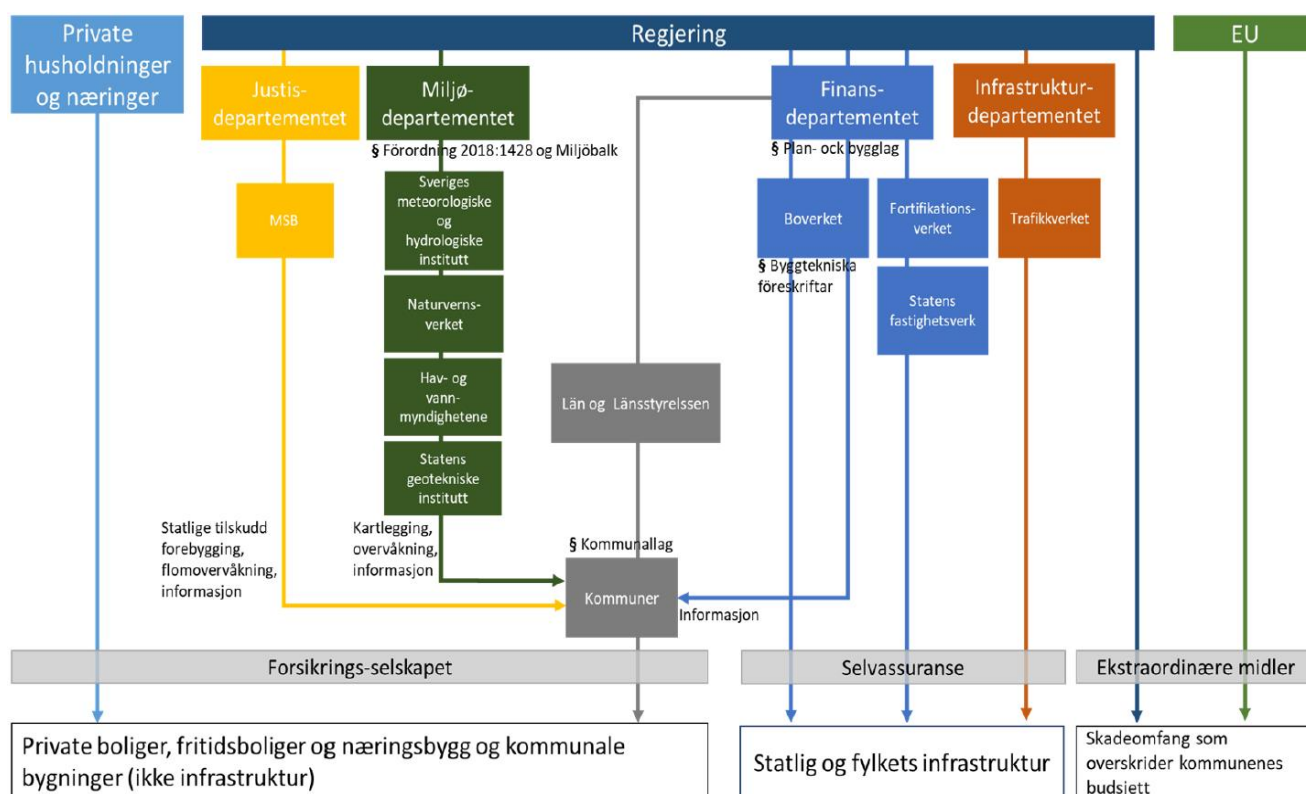
- Sikre god kvalitet på nyanlegg.
- Øke kompetanse.
- Hyppig testing av produktene som brukes i drikkevannsnettene.

Tabell 9: Oversikt over investeringsbehov i kommunalt vann- og avløpsanlegg (Vann, 2021).

Anlegg	Investeringsbehov per 2021 frem til 2040 (mrd. kr)	Kommentar til anslag per 2021
Ledningsanlegg vann	81	Inklusive 10 mrd. kr til andre tiltak enn fornyelse og oppgradering
Ledningsanlegg avløp	114	Inklusive overvann i rør og 10 mrd. kr til andre tiltak enn fornyelse og oppgradering
Vannbehandlingsanlegg	65	Inklusive inntaksledninger for råvann, overføringsledninger til vannbehandlingsanlegg og bassenger i tilknytning til vannbehandlingsanleggene
Avløpsrenseanlegg inkl. slam-anlegg	72	Inklusive overføringsledninger til renseanlegg og slambehandling
Sum	332	

5.2 Sverige

Figur 56 viser ansvarsstrukturen for klimatilpasning i Sverige. Det er primært kommunene som har hovedansvaret for klimatilpasningen, mens justisdepartementet har øverste myndighet for samfunnssikkerheten. I tråd med EUs strategi, vedtok Sverige en nasjonal klimatilpasningsstrategi i 2018 (Sandberg, Økland, & Tyholt, 2020, s. 29, s. 31).



Figur 56: Ansvarsfordelingen for klimatilpasning i Sverige (Sandberg et al., 2020, s. 29).

Etter hvert som klimaendringene intensiveres, forsterkes også effektene og risikoene gradvis. Det betyr at de er viktig i perioden 2011 – 2040, men enda viktigere for perioden 2041- 2070 og 2071 – 2100. Årsaken er at situasjonen forverres av fremtidige klimaendringer (Vatten, 2007, s. 38).

Redusert tilgang til vann:

Tabell 10 nedenfor beskriver og oppsummerer de mest sannsynlige effektene og risikoene for nedbørsendringer. I Sverige er det gitt forskjellige klimatilpasninger. Et av dem er vannbesparende tiltak, som kan bestå i å bytte deler av drikkevannsrøret, som lekker eller mulige restriksjoner på vannbruket (Vatten, 2007).

Det ble gjort undersøkelser for nitten grunnvannskilder i østlige Gotland, og det ble uttalt at vannmangler kan oppstå i åtte av dem, under tørkeperioder. Det ble også eksaminert sytten overflatevannkilder, hvor risikoen for vannmangel var to av dem. Til sammen forsyner disse overflate- og grunnvannskildene omtrent 60 % av fylkets innbyggere. Klimaendringene vil øke risikoen for vannmangel, og dette vil gjelde for flere vannkilder enn i dag (Vatten, 2007).

Et av alternativene ved klimatilpasning er å ha en overføringsledning fra en vannkilde til en annen vannkilde. Kostnadene vil ikke være store sammenlignet ved å bygge en ny vannkilde. Å bygge en ny vannkilde med et nytt vannverk for et mindre samfunn vil koste mellom 10 – 40 millioner sek, og for en mellomstor by mellom 200- 400 millioner sek. Det er hvis man utelukker kostnadene til vannledninger, og det forutsetter at en ny vannforsyning kan bli funnet innen rimelig avstand. Sammenlignet med å benytte en overføringslinje fra en annen vannkilde, vil koste for et mindre samfunn mellom 1 - 3 millioner SEK/km, og 4 – 6 millioner SEK/km for en mellomstor by (Vatten, 2007). Dette viser at tiltaksplanen også ses fra et samfunnsøkonomisk perspektiv. Ved å bygge nye vannkilder vil man få redusert driftskostnader, forsyne større mengde vann og unngå vannmangel

Tabell 10: Redusert tilgang til vann (Vatten, 2007, s. 39)

Sårbarhet for klimaendring -- konsekvens	Behov for handling	Tiltak
<u>Både overflate- og grunnvannskilder</u>		
Redusert kapasitet i vannkilder i det sørøstlige Sverige	Behov for kapasitetsstyrkende tiltak ved vannkilder som får vannmangel	<ul style="list-style-type: none"> - Vannbesparende tiltak mot befolkningen. - Bygge en ny vannkilde - Overføringsledning fra en annen vannkilde
<u>Grunnvannskilder</u>		
Mulighet for økt forvitring av naturlig stoffer fra jord/berggrunn til grunnvann. I kystområder er det også risiko for saltinntrenging.	Økt behov for separasjon av uønskete stoffer i drikkevannskildene.	<ul style="list-style-type: none"> - Installere ulike typer renseanlegg avhengig av type stoff - Utvikle en ny vannkilde

Økende humusnivå i overflatevann

Det vil komme en økning i humusstoffer i råvannkilder og hvis det ikke kommer tiltak, kan drikkevannskvaliteten påvirkes av misfarget drikkevann og vekst av mikroorganismer i distribusjonssystemet (tabell 11). Tiltak mot økende humusnivå er (Vatten, 2007, s. 40):

- En kraftig økt kjemisk dosering
- Membranfilter
- Oksidasjonsteknologi
- Endring av vannkilde
- Beskyttelse av råvann

Tabell 11: Sveriges tiltaksplan (Vatten, 2007, s. 46)

Sårbarhet for klimaendring -- konsekvens	Behov for tiltak	Tiltak
<u>Overvannskilder</u>		
<ul style="list-style-type: none"> - Økt tilførsel av humusstoffer. - Økt risiko for økt tilførsel av partikler - Forurensende stoffer fra regnvann, veier osv. 	<ul style="list-style-type: none"> - Forbedre råvannsbeskyttelse. - Om nødvendig innføre ekstra desinfeksjonsteknologi - Økt behov for analyser - Økt brukerinformasjon 	<ul style="list-style-type: none"> - Etablere/revidere verneområder med forskrifter - Forskjellige typer beskyttelsestiltak for å hindre forurensning - Økt dose av utfellende kjemikaler - Økt klordose - UV + klor - Membranfiltrering - Karbonfilter - Prøvetaking og analytisk beredskap.
<u>Grunnvannskilder</u>		
<ul style="list-style-type: none"> - Generelt høyere grunnvannsnivå og økt tilgang på vann i vannkilder - Risiko for redusert umettet sone 	<ul style="list-style-type: none"> - Forbedre råvannsbeskyttelse - Økt behov for rengjøring - Økt behov for analyse 	<ul style="list-style-type: none"> - Kontinuerlig bruk av både klor og UV-desinfeksjon. Eller andre avanserte renseteknologi.

- Kortere oppholdstid kan forekomme		- Etablere beskyttelsestiltak eller verneområder med forskrifter.
Ledningsnett		
- Økt risiko for vannkvalitetsvariasjoner fra vannverket	- Økt behov for mekanisk rengjøring - Kanskje øke desinfisering av vann i ledningsnettet	- Økt frekvens av luft/vannspyling av ledningsnettet - Mulig behov for andre forsyningsmåter - Økt prøvetaking

Økt risiko for algeoppblomstring

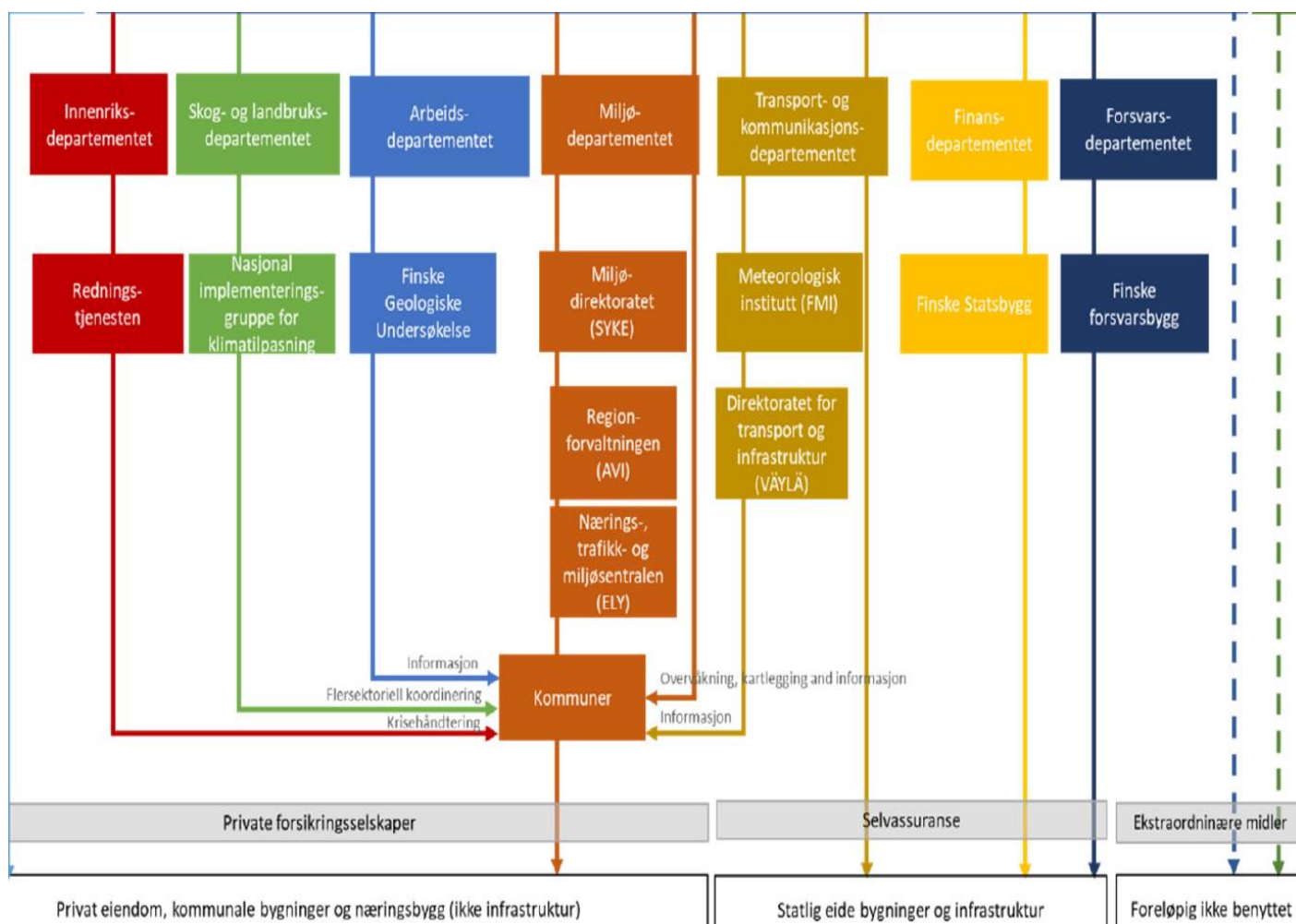
Med økende næringstilførsel, spesielt i kombinasjon med fosfor og økt temperatur kan det føre til algeoppblomstring. Dette kan føre til lukt på drikkevannet, økt mikrobiologisk vekst i distribusjonssystemet og algetoksiner. Tiltak kan være (Vatten, 2007, s. 52):

- Beskytte råvannskilden
- Oksidasjonsteknologi
- Endre vannkilde
- Aktivt karbon

5.3 Finland

Figur 57 illustrerer ansvarsfordelingen for klimatilpasningen i Finland. Fylkeskommunene har ingen formell rolle når det gjelder klimatilpasningen, men kan bidra med midler. Før EUs anbefaling, lanserte Finland sin nasjonale klimatilpasningsstrategi i 2012. Klimatilpasningen følger en sektorinndeling, og det er handlingsplanen for vann som ansees som mest fremstående (Sandberg et al., 2020, s. 34 -35).

Ansvarfordelingen, koordinering og samarbeidet er definert og illustreres nedenfor. Det er også bestemt tilpasningsmål i strategien. Det er enda usikkerhet i hvordan målene skal nås, samt at ansvarsforholdene fortsatt er uklart. Mye av årsakene ligger i at fokuset tidligere har vært på å redusere klimagassutslipp, og mindre på å tilpasse seg klimaendringene (Sandberg et al., 2020, s. 36).



Figur 57: Ansvarsfordelingen for klimatilpasning i Sverige (Sandberg et al., 2020, s. 34).

Årlige variasjoner i vannressurser og vanlige flom- og tørkesesonger av varierende størrelser har gitt fagpersonene som arbeider med vannressurser muligheten til å lære og forbedre seg på forskjellige typer værvariasjoner skapt av klimaendringene (Marttila et al., 2005, s. 196).

Kvaliteten på husholdningsvann er høy i Finland, og organiseringen av vanntjenestene er utarbeidet av kommuner i samarbeid med regionens vannforsyningsanlegg. Flom og tørke forårsaker de største problemene for små vannverk, som for eksempel bruker grunnvann. Det er ikke alltid de har desinfiseringsanlegg. En annen utfordring er det aldrende personalet, og konsekvensene det medfører. Et av spørsmålene den nasjonale klimastrategien var hvordan man skulle kunne opprettholde kompetansen til de som jobber i vannressurser i fremtiden, både i det offentlige forvaltningen og på vannforsyningsanlegget. Et av løsningene var å gi tilstrekkelig opplæring i sektoren til den yngre generasjonen gjennom veiledning og prosessutvikling (Marttila et al., 2005, s.196 - 197).

Tabellen 12 under oppsummerer Finlands veiledende tilpasningstiltak for klimaendringene.

Tabell 12: Oppsummering av veiledende tilpasningstiltak (Marttila et al., 2005, s. 201)

	<u>Behov for tiltak</u>	<u>Tiltaksalternativer</u>
Administrasjon og planlegger.	<ul style="list-style-type: none"> • Planlegging av vanntjenester • Kartlegging av risikosteder og forberedelse av generelle planer • Beredskapsplanlegging • Arealplanlegging for å redusere flomrisiko, og oversvømte områder • Planlegging av grøft og overvannstjenester 	<ul style="list-style-type: none"> • Flomforebygging • Samarbeid mellom autoriteter
Forskning og informasjon	<ul style="list-style-type: none"> • Kartlegging av kvalitetskravene til vann • Kartlegging av behov for tiltak mot flom, deres anskaffelse og hvem som skal ha ansvaret • Faresignal for flom 	<ul style="list-style-type: none"> • Informasjon om flom- og tørkesituasjoner • Ordre fra myndighetene for reduisering av flomskader • Begrense vannbruket
- Miljøtekniske tiltak	<ul style="list-style-type: none"> - Bygging av reserverenseanlegg - Sammenkobling av nettverk av vannforsyningsanlegg - Utvidelse av vannforsyningsnettet 	<ul style="list-style-type: none"> - Bruk av reservesystemer på vannforsyningsanlegg - Transport av vann og vannoppsamlingssteder - Distribuere lavere kvalitet av vann

		- Støtte konstruksjonen av vanningsanlegg for jordbruk.	
--	--	---	--

5.4 Irland

Den irske regjeringen lanserte et rammeverk for den nasjonale klimatilpasningen, som beskriver en rekke viktige mulige tilpasningstiltak (Government of Ireland, 2019, s. 43).

Tabell 13 vil beskrive grundige vurderinger for akutte prioritering identifisert for vannkvalitetssektoren, konsekvenser og tilpasningstiltak (Government of Ireland, 2019, s. 47)



Figur 58: (Government of Ireland, 2019)

Tabell 13: Beskrivelse, konsekvens og tiltak mot klimaendringer (Government of Ireland, 2019, s. 44 - 79)

Beskrivelse	Konsekvens	Tiltak
Økt flom	Forurensede stoffer	<ul style="list-style-type: none"> - Overvåkningsprogram og forskning. Ha en rutinemessig overvåkning av forurensningskonsentrasjonen ved utgangspunktet og endring under store nedbørshendelser - Integrert fangstsystem/oppsamlingsstyring. Tiltak i nedbørsfelt kan gi et kostnadseffektivt middel for å redusere kildene til forurensede stoffer, og å bremse, begrense eller begrense forurensningsveiene til vannmassene.
Lav strømming- og vannstand	Redusert fortykning av forurensninger	<ul style="list-style-type: none"> - Overvåkningsprogram og forskning av konsentrasjonen av forurensede stoffer, og økninger i konsentrasjoner i tørre perioder. - Integrert fangstsystem/oppsamlingsstyring: Et eksempel kan utslipp av landbruksforurensede stoffer som næringsstoffer og plantevernmidler reduseres ved å forbedre lagring på gården av disse og informere aktører om potensielle risikoer.
Spredning av / økt levedyktighet av patogener	<ul style="list-style-type: none"> - Miljørisiko - Helserisiko 	<ul style="list-style-type: none"> - Overvåkningssystem og forskning: Årsaken er kompleksiteten og samspillet mellom faktorer som påvirker patogenes levedyktighet, dermed er det betydelige usikkerheter rundt dette. Dermed vil registrering og forskning gi en bedre forståelse. Overvåkning vil hjelpe med raske respons på forurensningshendelser for å begrense ytterligere forverring av vannkvaliteten, og i verste fall konsumering. - Integrert fangstsystem/oppsamlingsstyring: Kan medføre til en kostnadseffektiv og bærekraftig måte for å redusere kildene til patogener, og for å begrense veier til vannkildene. Et eksempel er forbedret

		<p>sedimentfeller, vegetasjon som buffer og oppdrettspraksis, for å redusere spredning av patogener fra husdyrkilder til overflatevannkilder.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Forbedre/oppgradering av råvannsbehandling: Høyere patogenkonsentrasjoner vil endre råvann og kvalitetskategorien, og vil kreve høyere behandlingsnivå.
Økning i husholdningens vannbehov	<ul style="list-style-type: none"> - Økt konkurranse om vannressurser og mulig holdningsendring i måten man får tilgang til vann - Risiko for konsum av forurensede vann, som kan være konsekvens av det ovenpå" - Økende kostnad på private husholdninger - Økende energibruk, ved økt behandling/ pumpebehov. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vannressursplanlegging: ha en effektiv vannressursplanlegging vil være viktig for å opprettholde den langsiktige balansen mellom tilbud og etterspørsel. Denne problemet ved en kombinasjon av langsiktig planlegging og operasjonelle planleggingsmetoder. - Overvåkningsprogram og forskning: aktiviteter som grunnvannskartlegging for å forstå ressursens omfang og levedyktighet. Eksempler på det er 3D-geologisk kart. - Passende rammeverk: For eksempel utvinningstillatelser for å opprettholde balansen mellom vannforsyning og etterspørsel på en bærekraftig måte,
Redusert tilgjengelighet av vannressurser	<ul style="list-style-type: none"> - Risiko for boring av brønner til å erstatte eller supplere offentlige vantjenester - Mulighet for overdreven bruk vis nye ressurser ikke overvåkes. - Økende belastning på vannoverførings- og distribusjonsnettet <p>Økende merkostnader for tjenesteleverandøren</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vannressursplanlegging og operativ tørkeplanlegging

Det siste trinnet i tilpasningsplanleggingen etter å ha observert konsekvenser og tiltak man kan benytte, er implementering, overvåking og evaluering. Man må se på tilpasningsplanen som et dokument som regelmessig blir evaluert og gjennomgått, som følge av endringer basert på vitenskapelige og sosioøkonomiske forhold. Dette vil gjøre det enkelt og mulig å identifisere viktige tiltak, for organisasjoner og interesseaktører (Government of Ireland, 2019, s. 90).

5.5 England

Vannkvaliteten og vannressursene er under betydelig press som følge av en rekke menneskelige aktiviteter, og kravene satt av en økende befolkning. Samtidig fører klimaendringene til endringer i temperatur, nedbørsmønstre og elvestrømmer.

Vanneterspørsel etter offentlige vannforsyninger er forventet å øke i fremtiden, og anslag for fremtidig vanntilgjengelighet antyder til at England vil oppleve betydelige vannmangler innen 2050-tallet. Dette oppstår hvis det ikke iverksettes passende tiltak for å forhindre manglene. (Environment Agency, 2018, s. 8).

Wessex Water er en regional vann- og avløpsrenningsvirksomhet som betjener et område på 10 000 km² sørvest i England. Tabell 14 under er basert på hvordan de planlegger å tilpasse renseanleggssystem for klimaendringene i fremtiden (Wessex, 2015, s. 2 - 3)

Tabell 14: Wessex water sine klimatilpasning (Wessex, 2015, s. 14 - 15)

Beskrivelse	Tiltak
Flom	<ul style="list-style-type: none"> - Installasjon av: Klaffventiler og alarmer - Dreneringsforbedring - Pumpestasjon
Vannressursplanlegging og tørkeplanlegging	<ul style="list-style-type: none"> - Forskning og informasjon - Se etter andre reservoarer og drikkevannskilder
Kontrollere nedbørsfelt	Samarbeide med landbrukene for å kontrollere nitratkonsentrasjonen og plantevernmidler
Reservoar	<ul style="list-style-type: none"> - Opprettholde en stabil risikoprofil for dammer og magasiner

	<ul style="list-style-type: none"> - Passe på sedimentering i reservoarer ellers kan det påvirke råvannskvaliteten. - Videreføring av rutinemessige rensing, som innebærer å åpne et rør ved bunnen av en reservoardam.
Forbedret behandling	<ul style="list-style-type: none"> - Fortsette med å håndtere råvann ved kilden hvis mulig, eksempel ved nedbørsfelt håndtering. - Bytte kilder eller blande inn passende vann fra nærliggende i tilfelle ved mangler
Forsyning og etterspørsel	<ul style="list-style-type: none"> - Redusere lekkasjer for å ha overskudd for etterspørselen - Større vanneffektivitet, for å håndtere ekstreme værhendelser - Redusere vannet i vannforsyningsnett

Wessex Water nevner at deres suksess med tilpasningsarbeidet er basert på deres evne til å oppfylle standarder, som forventes av kunder og regulatorer. Samt å imøtekomme den gradvise klimaendringen, befolkningsvekst og økende strømmer. Dette for å opprettholde vanlig service under ekstreme værhendelser, og dermed er planlegging for klimaendringer ikke et alternativ, men et innebygd rammeverk i planlegging av vannressurser og forskning innen vannindustrien (Wessex, 2015, s. 18).

6 Diskusjon

6.1 Oslos råvannskilder:

6.1.1 Organiske stoffer

Resultatene fra utviklingen av fargetall som vises i figur 29 tyder på at fargetallet har steget jevnt med en tydelig økning fra 1974 og frem til 2006 i Oslos råvannskilder. En årsak for økning i fargetall og TOC i råvannskilder er endret nedbørsmønster. Derav kraftige regnskyll og høyere temperatur, derfor var ikke resultatet fra målingene uventede verdier. Hvis man sammenligner nedbørstall fra nedbørsmålestasjonen på Blindern og fargetallsmålinger kan det virke som en korrelasjon mellom nedbørsmengde og fargetall. Og det blir mer tydelig i perioder med kraftig nedbør da det oppstår de største endringer. Et eksempel på det er høsten 2020 da det var høyere nedbørsmengde enn normalt, og dette førte til større økninger i samtlige råvannskilder, hvis det sammenlignes året før og året etter. På den ene siden oppstår det en langsom nedgang i samtlige råvannskilder etter årene i takt med nedgang i nedbør. På den andre siden får man en økning i fargetall mot år 2006, hvor nedbørsmengdene var de høyeste målt siden år 2000. Disse observasjonene er med på å styrke perspektivet om at det er klare korrelasjoner mellom nedbørsmengde og fargetall. En annen ting å tenke over er at fargetallet har ligget over grenseverdien stort sett de siste årene, og verdiene vil mest sannsynligvis øke slik trendlinjen viser til.

Figur 31 og figur 32 viser fargetall i Maridalsvannet og Elvåga. Det første man legger merke til at trendlinjene viser en opptrend både i Maridalsvannet og Elvåga, samt er trendlinjen i Maridalsvannet større enn Elvåga sin. Dette kan kanskje forklares med at registreringen startet i et senere tidspunkt for Elvåga, og at Maridalsvannet er mer utsatt for påkjenning med tanke på at den dekker ca. 90 % av Oslos vannforbruk. Det mest oppsiktsvekkende er doblingen i fargetallet år 2000, fra 15 FNU til 32 FNU. Derimot skal det dog sies at prøvene er tatt noen dager per måned, som vil si at muligheten for at man ikke fanget opp høyere fargetallsnivåer er til stede. Men samtidig ble NIVAs resultater, og indikasjonene eller korrelasjonen den viste mellom nedbørsmengde og fargetall, tydelig forsterket med å se på utviklingen til år 2021. Samtidig er det viktig å ikke stole blindt på trendlinjer fra Excel, selv om de viser en indikasjon på forventete resultater i framtiden, er den ikke nøyaktig i sine verdier.

Med økende innhold av NOM i råvann, vil medføre dårligere kvalitet på vannet. Dersom Humusveksten utnyttes av bakterier og sopp, kan dette gi utslag i vekst av mikroorganismer i ledningsnett til drikkevannsforsyningen. På den ene siden vil det si at man måtte kunne endre behandlingen før det distribueres til forbrukerne, og et eksempel på et slik endring kan være høyere tilsetning av klor i vannet. På den andre siden kan slike endringer utfordre befolkningens holdninger i aksept av klorsmak på drikkevannet hvis man går for høyere doser. En svekket barriere i kilden kan påtvinge og iverksette flere barrierer i renseanlegget, eller at vannkilder som i dag er godkjent som hygienisk barriere kan miste denne godkjenningen.

6.1.2 Mikrobiell forurensning

Når man ser på trendlinjene både i Maridalsvannet og Elvåga får man to ulike trender basert på resultatene fra koliforme bakterier. For Maridalsvannet (figur 34) har man en opptredende trendlinje, det vil si økning i antall koliforme bakterier med årene. Derimot virker det ikke ved første øyekast en direkte korrelasjon mellom nedbørsmengde og koliforme bakterie, men samtidig ved alle høye verdier av koliforme bakterier har man en høy nedbørsmengde. Et eksempel på det er oktober 2014 hvor man hadde en nedbørstopp, samtidig som man hadde den høyeste verdien av koliforme bakterier. Derimot har råvannet i Elvåga (figur 35) en nedgående trendlinje. Man har heller ikke de klare samme tendensene som resultatet fra Maridalsvannet. Her ser man ikke ved første øyekast klare likehetstrekk mellom nedbørsmengde og mengde bakterier i råvannet. Som tidligere nevnt kan den større påkjenningen og eksponeringen i Maridalsvannet være årsaken til en høyere økning.

For *E. coli* både når det gjelder Maridalsvannet og Elvåga (figur 36 og 37) møter man på en negativ trendlinje, og synkende nivåer med årene uavhengig med økende nedbørsmengde. Det samme gjelder for prøveresultatene til *Clostridium perfringens* (figur 38 og 39). Trendlinjen er negativ for Maridalsvannet, mens den er positiv for Elvåga. Selv med et positivt resultat er stigningen med årene ganske labert. Resultatene viser sporadiske høye verdier, men derimot finner man en likhetstrekk tydelig, og det er at de høyere verdiene som oftest befinner seg i sommerhalvåret.

Dette styrkes igjen med drikkeresultatene til Intestinale enterokokker, som viser nedgang i begge råvannene. Fra det perspektivet som er gitt fra innledning, styrkes perspektivet om at

det ikke er noe klare korrelasjon i nedbørsmengde og mikrobiell forurensning, i hvert fall de man har beskrevet. Samtidig viser den tyske studie i figur 33 en sammenheng mellom økningen i avrenning og økning i mikroorganismer. Som tidligere nevnt er svakheten med prøven, mengden prøver som er tatt av hver mikroorganisme for få og dermed kan verdiene være høyere.

Ser man det fra et annet vinkel vil kraftigere nedbør og økt avrenning øke risikoen for at smittestoffer fra lekkasjer og overløp i kloakksystemer eller avføring fra andre arter i drikkevannskildene, vil det øke mikrobiologiske forurensningen. Samt vil man i vinterstid ha manglende islegging, og det vil føre til lengre sirkulasjonsperioder. Selv om man kanskje per dags dato ikke ser store endringer med tiden, vil mest sannsynligvis de indirekte påvirkningene fra klimaendringene føre til økt mikrobiell forurensning i råvannskildene.

6.1.3 Turbiditet

Resultatene som vises i Maridalsvannet og Elvåga (figur 42 og figur 43), viser en svak nedadgående trend. Det har tidligere blitt nevnt om klimaendringene vil oppstå med økt nedbør og nedbørintensitet. Dette vil føre til økt utvasking av farget oppløst organisk materiale fra jordvæsken. Hvis man samtidig legger til at man vil få økt erosjon og transport av partikler til vassdragene, burde man ha sett tendenser til økt partikkelkonsentrasjon gjennom de siste årene. Derimot vil det også avhengig av råvannets lokasjon med tanke på hvor eksponert det er. Fordi økt nedbør i råvann ved dyrkede arealer, vil få høyere partikkelkonsentrasjon. Det ses heller ikke signifikante forskjeller i sesonger,

6.2 Storefjorden i Vansjø

6.2.1 Fargetall:

Fargetallsutviklingen som vises i figur 44 tyder på en korrelasjon mellom verdien på fargetallet og mengde nedbør. Ser man på perioden 1985 - 2000, får man en oppgang mot år 1987, hvor det virker som at man får et lokalt toppunkt i fargetall før det avtar i samsvar med avtagende nedbørsmengde. De samme tendensene ses i perioden 2000 – 2015. Den høyeste nedbørsmengden oppstår i år 2000, noe som gir en forklaring på den drastiske økningen i fargetall fra perioden 1985 - 2000 til periode 2000 - 2015. Det er den samme reaksjonen Oslos råvannskilder hadde året 2000 med hensyn til den høye nedbørsmengden.

Hvis man sammenligner de eksterne analysene fra MOVAR (figur 45) og NIVAS målinger, stemmer resultatene godt med hverandre. Det skal dog sies at MOVARs tall er noe høyere, og dette kan ses i sammenheng med dybde prøvene som er tatt. MOVARs råvannsprøver er tatt på 30 meters dyp, mens NIVIA tok deres prøver i de øvre lagene (0-4 m). Dette kan være en årsak til forskjellene i målingene.

Dersom man ser på fargetallet etter flomhendelsene (figur 46) virker det som en sammenheng mellom økende partikkelkonsentrasjon i råvannet og økende fargetallsverdier. Imidlertid er det også i andre sammenheng hvor fargetallet er høyt uten relasjon til flomhendelser. På den ene siden er det i perioden vintertid når man ser bort fra flomhendelser (erosjon), kan det hevdes at økende fargetall kan kanskje ses i sammenheng med perioder med minst vegetasjon. Hvis man samtidig ser på fargetall i sommertid, kan man også ha høyere nivåer. Selv om det ikke er alltid en direkte sammenheng mellom fargetall og erosjon, viser tidligere grafer en viss sammenheng. Det må også nevnes at det ikke bare er erosjon som bidrar til tilførsel av CDOM i Vansjø, men også andre mer komplekse forhold som nedbør, nedbørintensitet og temperatur. Så høye fargetall må ses i en mer kompleks sammenheng

6.2.2 Mikrobiell forurensning

Når man ser på trendlinjen i samtlige mikroorganismer viser det en nedgående trend, som vil si en nedgang i antall koliforme bakterier med årene. Samtidig som man må se det fra et ståsted med manglende daglig prøvetaking, og at de indirekte påvirkningene kan endre bildet i framtiden.

6.2.3 Turbiditet:

Resultatene i perioden 2006 -2015 (figur 52) viser en økende partikkelkonsentrasjon i Vansjø. Det har tidligere blitt nevnt om klimaendringer som vil oppstå med økt flomhendelser, og hvordan det vil påvirke partikkelkonsentrasjonen i råvannet. Figur 54 viser at i perioden etter flom (røde sirkler) økte turbiditetsverdiene i råvannet. Flomsituasjoner som hendte i sommertidene hadde lavere verdier enn vintertid, igjen kan vegetasjon være årsaken til de lave verdiene. Tilsvarende endringer for fargetall etter flomhendelser ble også observert.

Siden tendensene viser til høye turbiditetsverdier i vintertid, sammenlignet med resten av året, viser figur 53 til turbiditetsverdier de siste 10 årene i vinterperioden. Man ser ikke noen

statistisk signifikant økning i de høyeste verdiene, selv om trendkurven antyder til en svak økende trend.

6.3 Oppsummering av tiltak

Når det gjelder tiltak i Norge og andre land, legges det merke til at det dannes store konsekvenser på grunn av klimaendringene. Alle nevnte land sliter med økt nedbør og/eller flom. Det er satt fokus på klimatilpasninger i samtlige land. Noen er i startfasen, mens andre land har kommet godt i gang med tiltakene. Finland er et av landene som er i startfasen. Landet har tilnærmet lik utfordringer som nabolandene, men det virker som de har lagt hovedvekt på utdanning grunnet aldrende fagpersoner. Ut ifra rapportene er kompetanseheving noe Norge også vil satse på. Ved å investere i utdanning er man rustet til fremtiden og dens utfordringer.

Sverige hadde som skrevet tidligere stort fokus på å danne nye vannkilder ettersom de slet med vannmangel, en bekymring flere land deler. Sverige og Norge er to av landene som rapportene viser sliter med humus. Sveriges tiltak mot humus er blant annet økt kjemisk dosering og membranfiltrering. Et annet alternativ som man benytter i Norge, er nanofiltrering.

Det var mer tilgjengelig informasjon når det gjelder råvann og generelt drikkevann i alle land utenom Norge. I NOUs rapport var overvann det sentrale, noe som tyder på at Norge har en lang vei å gå. Utvalget skriver mer om hva man kan og bør gjøre. Det er få tiltak, og få spesifikke løsninger. Hvis man ser på England, og deres regionale tiltak for Wessex Water, ser man at de har spesifikke løsninger for spesifikke utfordringer. Eksempelvis, det å kontrollere nedbørsfelt. Der har de en plan om å samarbeide med landbrukene for å overvåke og kontrollere blant annet nitratkonsentrasjonen.

Når det gjelder overvåkning, er det noe landene er samstemte i. Ved å overvåke vannforsyningene, følger man føre-var prinsippet. Det vil også føre til at man kan få bedre forståelse på klimautfordringene man står ovenfor, og være bedre forberedt og få kontroll over vannforsyningen ved å reagere hurtig ved kompilasjoner.

Konklusjonsvis for oppsummeringen av tiltak, er at arbeidet som er gjort i Norge i forhold til de andre landene hittil ikke er godt nok og det er derfor relevant å se til andre land for å tilegne seg deres kunnskap og erfaring. Landene har tilnærmet like utfordringer, dermed kan

et mulig samarbeid for å finne de beste løsningene være lønnsomt. Det er også viktig å legge frem at det muligens kan være et nyansert bilde av utfordringene og tiltakene som er lagt frem ettersom denne oppgaven baserer seg på tilgjengelig rapporter.

Hvis vi stiller oss spørsmål hva Norge kan gjøre videre basert på hva andre land har gjort; Så kan kommunene ha et rammeverk og en klar ansvarsstruktur for klimatilpasning, og hvilke institutter som har ansvar for hva. Selv om Miljøverndepartementet har kommet med Stortingsmeldingen om *Klimatilpasning i Norge* hadde den klare mangler. Rapporten inneholder mye om hvilke sektorer som vil bli påvirket av klimaendringer og konsekvenser, men ikke nok om løsninger. Fra et vannforsynings-perspektiv, sier det lite om det å styrke barrierene og bedre vannbehandlingen for å motvirke effektene, eller det å komme med tidlige tiltak for å motvirke de effektene de nevnte. Et tiltak kommunene kan foreta er å bedre beredskap i vannforsyningen, for å hindre akutte endringer i vannkvalitet eller svikt.

Variasjoner i råvannskvaliteten vil skape utfordringer for renseanleggene, og et automatisk svar på det er å forbedre anleggene man har i dag, og/eller i kombinasjon med mer avanserte renseteknologi. Dette vil føre til økt kjemikaliebruk og økte kostnader, men samtidig vil man få i det lange løp få en redusert belastning på renseanleggene.

Tidligere kapitler nevnte redusert effekt av sjiktning i råvannskildene og spesielt i sirkulasjonsperioder. Dette kan medføre at det bør etableres andre alternativer som hygienisk barriere enn kilden selv. Noe å vurdere er å etablere eller revidere beskyttelsessonene fra et strømningsforhold-perspektiv.

7 Konklusjon

Klimaendringene verden står ovenfor vil by på utfordringer i fremtiden. Klimaet i Norge blir varmere, våtere, villere og mer uforutsigbart. Nedbøren forventes å stige for de fleste områder og fylker i Norge, og nedbørsmengder og temperaturer vil øke om vinteren. Endret nedbørsmengde, hyppigere ekstremvær- og vindepisoder og høyere temperatur, som skjer på grunn av klimaendringene, vil føre til økt press på ledningsnett og renseanleggene.

Oppgaven satte søkelys på hvordan klimaendringer påvirker råvann, som kan påvirke vannforsyningen. Funnene i litteraturen påpekte at nedbørsrike perioder er det som hovedsak påvirker vannforsyningene ved å medføre høyere fargetall og turbiditet i råvannskilder.

Eksempelvis i Norge var det i tilfeller fordobling av fargetall ved nedbørsrike perioder, samt betraktelig økning i partikler etter flom. Økt innhold av organisk materiale vil redusere råvannskvaliteten, samt man vil man få en økning i antall patogene mikroorganismer ved høyere temperatur og dette kan medføre sykdomsutbrudd ved ikke tilstrekkelig vannbehandling.

Ved å se på andre europeiske land, blant annet nabolandene Sverige og Finland, ser man i klare trekk deres planer, tiltak og strategier for å motvirke påvirkningen klimaendringene har på vannforsyningen. Det var spesifikke løsninger på spesifikke utfordringer. I Norge var overvann det sentrale i NOUs rapporter, og det var mangler på tiltak og spesifikke løsninger. Dette er kunnskap som kan overføres til Norge, det å ha et rammeverk, en klar ansvarsstruktur og løsninger på utfordringer som venter den norske vannforsyningen. Arbeidet som hittil er gjort i Norge i forhold til de andre landene er ikke godt nok og det er derfor viktig å se til dem for å tilegne seg deres kunnskap og erfaring

8 Anbefaling til videre arbeid

Når det gjelder anbefaling til videre arbeid, bør fokuset være på å tilegne seg mer kunnskap og overvåking når det gjelder vannforsyningene i Norge. Tiltak som settes bør være mer spesifikke. Muligens kan det være klokt å forske med våre naboland, ettersom landene har mye av de samme problemområder når det gjelder klimaendringene.

9 Referanseliste

Andresen, F. (2021). Slår alarm etter ny rapport:

Helt forandret om 50 år. Retrieved from <https://www.dagbladet.no/nyheter/helt-forandret-om-50-ar/73765044>

Bjerknessenteret. (2015). Drivhuseffekten og jordens klima. Retrieved from <https://www.bjerknes.uib.no/artikler/fns-klimapanel/drivhuseffekten>

Bomo, A.-M., Tryland, I., & Liltved, H. (2017). Vil rent vann også være rent ifremtiden?

Effekter av ekstremvær på drikkevannskvalitet.

Bruaset, S. (2014). Forventede effekter av klimaendringer på

vannforsyningssystemet, fra nedbørfelt til

tappekran. Finnes det metoder for å tilpasse seg? .

Bryn, K. Ø., & Utvalget for samordning av, v. (1982). *Utredning om Norges vannforsyning* (2. utgave. ed.). Oslo: Miljøverndepartementet.

CICERO. (2008a). HUMUS OG FARGE I DRIKKEVANNSKILDER. Retrieved from http://www.klimakommune.no/drikkevann/Humus_og_farge_i_drikkevannskilder.shtml

CICERO. (2008b). KLIMAENDRINGER OG MIKROBIOLOGISK DRIKKEVANNSKVALITET. Retrieved from http://www.klimakommune.no/drikkevann/Klimaendringer_og_mikrobiologisk_drikkevannskvalitet.shtml

Den Norske Legeforeningen. (2021). Legeforeningens engasjement i klimaendring.

Dingman, S. L. (1994). *Physical hydrology*. Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall.

Environment Agency. (2018). Climate change impacts and adaptation Retrieved from https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/758983/Climate_change_impacts_and_adaptation.pdf

EPA. (2016a). Climate Adaptation and Erosion & Sedimentation. Retrieved from <https://www.epa.gov/arc-x/climate-adaptation-and-erosion-sedimentation>

EPA. (2016b). Climate Change Indicators: Antarctic Sea Ice. Retrieved from https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-antarctic-sea-ice_.html

- EPA. (2016c). Climate Change Indicators: Arctic Sea Ice. Retrieved from https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-arctic-sea-ice_.html
- EPA. (2016d). Climate Change Indicators: Glaciers. Retrieved from https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-glaciers_.html
- EPA. (2016e). Climate Change Indicators: Heat-Related Deaths. Retrieved from <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-heat-related-deaths>
- EPA. (2016f). Climate Change Indicators: Lyme Disease. Retrieved from <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-lyme-disease>
- EPA. (2016g). Climate Change Indicators: Oceans. Retrieved from https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-indicators/oceans_.html
- EPA. (2016h). Climate Change Indicators: Sea Level. Retrieved from https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-sea-level_.html
- EPA. (2016i). Climate Change Indicators: Sea Surface Temperature. Retrieved from https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-sea-surface-temperature_.html
- EPA. (2016j). Climate Change Indicators: U.S. and Global Temperature. Retrieved from <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-us-and-global-temperature>
- FHI. (2021). Kjemiske og fysiske stoffer i drikkevann. Retrieved from <https://www.fhi.no/nettpub/stoffer-i-drikkevann/kjemiske-og-fysiske-stoffer-i-drikkevann/kjemiske-og-fysiske-stoffer-i-drikkevann/>
- Flæte, O., & Klimatilpasningsutvalget. (2010). *Tilpassing til eit klima i endring : samfunnet si sårbarheit og behov for tilpassing til konsekvensar av klimaendringane : innstilling frå utval nedsett ved kongeleg resolusjon 5. desember 2008 : lagt fram for Miljøverndepartementet 15. november 2010* (Vol. NOU 2010:10). Oslo: Servicesenteret for departementa, Informasjonsforvaltning.
- FN-Sambandet. (2019). Klimaendringer. Retrieved from <https://www.fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer>
- Forsberg, C., & Wengström, Y. (2008). *At göra systematiska litteraturstudier. Utgave. Stockholm: Bokforlaget Natur och Kultur.*

Glitre-vannverket. (2021). Vannkilder og nedbørfelt. Retrieved from

<https://www.glitre.no/om-vann/vannkilder-og-nedborfelt/>

Government of Ireland. (2019). Water Quality and Water Services
Infrastructure

Climate Change Sectoral Adaptation Plan

Prepared under the National Adaptation Framework

Hanssen-Bauer, I., Drange, H., Førland, E., Roald, L., Børsheim, K., Hisdal, H., . . .

Sorteberg, A. (2015). Klima i Norge 2100, Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. *Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing., Norsk klimasenter, Oslo, Norway.*

Hovde, K. (1992). *Vannforsyning*. [Oslo]: Universitetsforlaget.

IVAR. (2021). Langevatn vannbehandlingsanlegg. Retrieved from

<https://www.ivar.no/langevatn/>

Johannessen, E., & Halvorsen, H. J. (2017). Vansjø vannverk.

Johannessen, L. (1998). *Vann- og avløpsteknikk*. Oslo: Universitetsforl.

Klimaetaten. (2019). Klimaetatens faggrunnlag til klimastrategi 2030.

Klimaetaten. (2020). Klimasarbarhetsanalyse for Oslo.

Marttila, V., Granholm, H., Laanikari, J., Yrjölä, T., Aalto, A., Heikinheimo, P., . . .

Merivirta, R. (2005). Finland's national strategy for adaptation to climate change. *Publications of the Ministry of Agriculture and Forestry 1a/2005.*

Mattilsynet. (2020). Veileder til drikkevannsforskriften.pdf.

Matua, M. A. (2014). Erosion and Climate Change.

Menon Economics. (2017). NATURBASERTE LØSNINGER FOR

KLIMATILPASNING.

Miljolare. (2020, mars 26). Hva er egentlig vær og klima? Retrieved from

<https://www.miljolare.no/aktiviteter/land/natur/ln16/fagstoff/verogklima.php>

Miljö- och energidepartementet. (2017). Nationell strategi för klimatanpassning.

Miljødirektoratet. (2020). Klimatilpasning i landbruket. Retrieved from

<https://www.miljodirektoratet.no/myndigheter/klimaarbeid/klimatilpasning/klimatilpasning-i-sektorer/landbruk/>

- Miljøstatus. (2020). Klimaendringer og havet. Retrieved from <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/global-klimaendringer/klimaendringer-og-havet/>
- Miljøverndepartementet. (2005). Rapport om sårbarhet for og tilpassing til klimaendringer i sektorer i Norge
- Molversmyr, Å., Bechmann, M., Kaste, Ø., Turtumøygard, S., Norling, M. D., Guerrero, J.-L., . . . Solheim, A. L. (2020). Analyse av hva klimaendringer og arealbruk betyr for vannmiljøet i Håelva. *NORCE rapport, Miljø*.
- MOVAR. (2021). INFROMASJON OM MOVAR IKS. Retrieved from <https://www.movar.no/movar/om-movar.html>
- Naturvernforbundet. (2018). Klimaendringer og mat. Retrieved from <https://naturvernforbundet.no/klima/konsekvenser-av-global-oppvarming/klimaendringer-og-mat-article31538-974.html>
- Neufeldt, H., Christiansen, L., & Dale, T. W. (2021). Adaptation Gap Report 2020.
- NHH. (2019). NORSK ØKONOMI STÅR OVERFOR BETYDELIG KLIMARISIKO. Retrieved from <https://www.nhh.no/nhh-bulletin/artikkelarkiv/2019/mars/-norsk-okonomi-star-overfor-betydelig-klimarisiko/>
- Norsk Klimaservicesenter. (2021). Klimaframskrivninger. Retrieved from https://klimaservicesenter.no/climateprojections?index=air_temperature&period=Summer&scenario=RCP45&area=NO
- NOU. (2010: 10). Tilpassing til eit klima i endring. Samfunnet si sårbarheit og behov for tilpassing til konsekvensar av klimaendringane
- Ottesen, P. (2010). Helsekonsekvenser av klimaendringer i Norge
- Bakgrunnsmateriale til NOU Klimatilpassing.
- Regjeringen. (2021). Drivhuseffekten, klimaendringer og FNs klimapanel. Retrieved from <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/stmeld-nr-25-2002-2003-/id402861/?ch=14>
- Sandberg, E., Økland, A., & Tyholt, I. L. (2020). Naturskadeforsikrings-og erstatningsordninger i seks land. *Klima 2050 Report*.

- Skaaraas, H., Hansen, A., Riise, E., Stenersen, J., Refling, D., Johansen, R., . . . Kippeberg, G. (2015). Overvann i byer og tettsteder: som problem og ressurs. *NOU (Norges offentlige utredninger)*. Hentet, 5(08), 2018.
- Solomon, S., Plattner, G.-K., Knutti, R., & Friedlingstein, P. (2009). Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(6), 1704-1709. doi:10.1073/pnas.0812721106
- Sorteberg, A. (2014). Nedbør i Norge siden 1900. *Naturen*, 138(06), 220-231.
- Sunnmørsposten. (2017). Ekstremværet Vidar er over. Retrieved from <https://www.smp.no/ntb/innenriks/2017/01/12/Ekstremv%C3%A6ret-Vidar-er-over-14049253.ece>
- Tajet, H. (2020). Hetebølger i Norge fra 1957 - 2019.
- Thorolfsson, S. (2013). Vann- og avløpsteknikk.
- Tollan, A. (2020). Grunnvann. Retrieved from <https://snl.no/grunnvann>
- Tønnessen, M. (2014). Vil klimaendringer gi økt innvandring?
- van Lanen, H. A., Tallaksen, L., & Rees, G. (2007). *Droughts and climate change*. Retrieved from
- Vann, N. (2021). Kommunalt investeringsbehov for vann og avløp 2021-2040. *Norsk Vann Rapport*, 259.
- Vatten, S. (2007). Dricksvattenforsörjning i förändrat klimat. *Stockholm, Svenskt Vatten AB, Meddelande M*, 135.
- Wessex. (2015). WESSEX WATER'S SECOND REPORT TO DEFRA UNDER THE CLIMATE CHANGE ADAPTATION REPORTING POWER.
- WHO. (2021). Heat threatens health: key figures for Europe. Retrieved from <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/Climate-change/activities/public-health-responses-to-weather-extremes2/heathealth-action-plans/heat-threatens-health-key-figures-for-europe>
- Ødegaard, H. (2013). Vann- og avløpsteknikk. 237.
- Østmarkas venner. (2021). Lutvann – dronningen blant Oslomarkas innsjøer? Retrieved from <https://www.ostmarkasvenner.no/lutvann-dronningen-blant-oslomarkas-innsjoer.5107634-261679.html>

- Aaheim, H. A., Dannevig, H., Ericson, T., Oort, B. v., Innbjør, L., Rauken, T., . . . Aall, C. (2009). Konsekvenser av klimaendringer, tilpasning og sårbarhet i Norge. Rapport til Klimatilpasningsutvalget. *Cicero Report*.
- Aall, C., Aamaas, B., Aaheim, H. A., Alnes, K., Oort, B. v., Dannevig, H., & Hønsi, T. (2018). Oppdatering av kunnskap om konsekvenser av klimaendringer i Norge. In: CICERO Center for International Climate and Environmental Research - Oslo.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway