

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP





---

## Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB), institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT), vårsemesteret 2010. Oppgaven er skrevet for Vestfold Interkommunale Vannverk IKS (VIV). Lasse Vråle har vært veileder fra IMT og Roar Finsrud har vært engasjert som veileder via VIV.

Forsøk og laboratoriearbeid har blitt gjennomført på VIVs vannrenseanlegg på Seierstad ved Larvik.

I forbindelsen med oppgaven fikk jeg muligheten til å ha sommerjobb i VIV, som blant annet ble brukt til å gjøre i stand pilotanlegget og til å gjøre meg kjent med analysemetoder og arbeid på laboratoriet. Jeg fikk også være med på noe arbeid knyttet til drift og vedlikehold.

Jeg vil takke mine veiledere for god hjelp og oppfølging underveis. Vil også takke alle ansatte på VIV for å ha blitt tatt godt i mot, noe som gjorde at jeg trivdes veldig godt i tiden jeg var der. Må også takke for all hjelp jeg fikk underveis i forbindelse med pilotanlegget og laboratoriearbeid.

---

Sondre Alvem

Ås 14. mai 2010



---

## Sammendrag

Bakgrunnen for oppgaven er at Vestfold Interkommunale Vannverks anlegg på Seierstad produserer vann med for lavt innhold av kalsium i henhold til anbefalinger i drikkevannsforskriften. Det er derfor et ønske om å bygge om prosessen, der vannet karboniseres ved filtrering gjennom marmorgrus etter kontaktfiltrering, og at det legges til rette for ytterligere desinfeksjon for økt hygienisk sikring av vannet.

Opgaven er delt inn i tre deler:

- Litteratur/teoridel, som omhandler:
  - Bruk av alkaliske filtre, og hvordan de fungerer.
  - Hva som gjør vann korrosivt.
  - Vurdering av hygienisk sikkerhet, og eventuelle mulige utvidelser av desinfeksjon på renseanlegget.
- Feltarbeid:

Feltarbeidet har bestått av forsøkskjøring i pilotanlegget hos Vestfold Interkommunale Vannverk. Forsøkskjøringen har blitt gjennomført for å avdekke hvordan en ny foreslått prosess ved vannverket på Seierstad vil fungere. I pilotanlegget har følgende forsøk blitt kjørt:

  - Utprøving av kontaktfiltrering med bruk av koagulant og lut for pH-justering ved felling.
  - Sammenligning av dagens prosess mot ny planlagt prosess.
  - Utprøving av alkalisk filter for å undersøke tilførsel av kalsium, alkalitet og pH- heving, ved å prøve ut forskjellige CO<sub>2</sub>- doser og kontakttider.
- Bruk av resultater til:
  - Vurdering av oppnådd vannkvalitet.
  - Beregning av vannpris på ny planlagt prosess i forhold til dagens prosess.

For å bestemme vannets korrosive egenskaper er det vannets pH, alkalitet og kalsiuminnhold som er avgjørende for om vannet vil være korrosivt mot materialer i ledningsnettet. Et ledningsnett vil være bygget opp av ulike materialer som har forskjellige krav til vannets sammensetning, for at det ikke skal være utsatt for korrosjon. Et vann som ligger innenfor anbefalingene i drikkevannsforskriften vil ha god korrosjonskontroll ovenfor de fleste materialene i ledningsnettet.

For å styre tilførselen av kalsium og alkalitet fra alkaliske filtre til vannet, er det CO<sub>2</sub>- dosen og kontakttiden med filtermassen som er avgjørende. Ved en gitt CO<sub>2</sub>- dose og tilstrekkelig kontaktid, vil det innstilles en likevekt, der økt kontaktid ikke vil gi større tilførsel av kalsium og alkalitet til vannet.

Mine resultater viser at det vil være nødvendig å øke pH etter filtrering gjennom marmorgrus, for at pH skal ligge innenfor anbefalingen i drikkevannsforskriften for ikke- korrosivt vann.

---

Kontaktfiltrering med koagulant og lut for pH-justering har vist seg å fungere tilfredsstillende vannkvalitetsmessig. Prosessens stabilitet i forhold til fellings- pH viser at nødvendig lutdose for å holde konstant pH ved felling har variert noe. Det er vanskelig å avgjøre om prosessen vil fungere bra kun ved mengdeproporsjonal dosering av lut, eller om det vil være nødvendig med andre styringsparametre i tillegg som for eksempel styring etter fellings- pH.

Hvis ombygging av anlegget gjennomføres vil det føre til en økt vannpris på omtrent 10 øre/m<sup>3</sup>, men det vil gi et vann som har bedre korrosjonskontroll, og som derfor vil gjøre at korrosjonen på ledningsnettet vil bli mindre. Det vil gjøre at investering i nytt ledningsnett kan utsettes.

Det er også tatt hensyn til at hygienisk sikkerhet kan økes ved ombygging av anlegget.

---

## Abstract

The background for this masterthesis is that Vestfold Intermunicipal Waterworks plant at Seierstad produce water with low levels of calcium in accordance with the recommendations in the drinking water regulations. It is therefore a desire to build on the process, where the water filters through limestone gravel after contact filtration to increase the waters level of pH, alkalinity and calcium, and that it is made possible to improve the hygienic protection of the water.

This thesis is divided into three parts:

- Literature / theory part, which deals with:
  - Use of alkaline filters, and how they work.
  - What makes water corrosive.
  - Assessment of the hygienic safety, and possible expansions of disinfection at the treatment plant.
- Field work:

The field work consisted of experiments run in the pilot plant at Vestfold Intermunicipal Waterwork. The experiments have been conducted to determine how a new proposed process at the waterwork on Seierstad will work. In the pilot plant the following experiments were carried out:

  - Testing of contact filtration with use of coagulant and caustic soda for pH adjustment.
  - Comparing the current process towards the new scheduled process.
  - Testing of alkaline filter to examine the supply of calcium, alkalinity and pH-elevation, by trying out different doses of CO<sub>2</sub> and contact times.
- Use of results to:
  - Assessment of water quality.
  - Calculate water prices of new scheduled process in relation to the current process.

To determine the water's corrosive characteristics, it is the water's pH, alkalinity and calcium content which are crucial if the water will be corrosive to materials in the pipelines. The pipelines are built up of different materials that having different requirements for not be attacked by corrosion. Produced water that is within the recommendations of the drinking water regulations will have good corrosion control above most of the materials in the pipeline.

To control the supply of calcium and alkalinity from alkaline filters to the water, the CO<sub>2</sub> dose and contact time with filter mass is crucial. At a given dose of CO<sub>2</sub>, it will set an equilibrium, where increased contact time not will lead to increased resolution and supply from the filter mass to the water.

My results show that it will be necessary to increase the pH after filtration through the limestonegravel, so that the pH should be within the recommendation in drinking water regulation for non-corrosive water.

---

Contact filtering with coagulant and caustic soda for pH adjustment has proven to be satisfactory in terms of water quality. The stability of the process according to pH at precipitation shows that the dose of caustic soda that's needed for keeping pH constant at precipitation has varied. It's therefore difficult to decide if the process will work well only with quantity proportional dosing of caustic soda, or whether it will be necessary with other control parameters as well, such as pH at precipitation.

If rebuilding of the water work is carried through it will lead to an increase in water price of approximately 10 øre/m<sup>3</sup>, but it will provide water that has better corrosion control, and therefore cause less corrosion on the pipelines. Then investment in new pipelines can be postponed.

It is also taken into account that the hygienic safety can be increased if rebuilding of the water work is carried through.

---

## Innholdsfortegnelse

1.	Innledning .....	8
1.1	Bakgrunn for oppgaven .....	8
1.2	Problemstilling .....	8
2.	Prosessbeskrivelse .....	10
2.1	Sammenligning av prosessene .....	10
2.1.1	Filterhastighet og kontakttid .....	12
2.2	Kontaktfiltrering .....	13
2.2.1	Trykktapskurver .....	13
2.2.2	Sykluslengde .....	15
3.	Litteraturstudie .....	16
3.1	Innvendig korrosjon på ledningsnett .....	16
3.1.1	Erfaringer med korrosjonskontroll .....	16
3.1.2	Forbruk av kalsium og CO <sub>2</sub> ved filtrering gjennom alkaliske filtre .....	17
3.1.3	pH på rentvann .....	17
3.2	Bruk av alkalisk filter for korrosjonskontroll .....	17
3.2.1	Karbonatsystemet .....	19
3.3	Oppløsning av kalsiumkarbonat .....	20
3.4	Alkalitet .....	21
3.5	Korrosjon av sement-/ betongbaserte produkter .....	22
3.5.1	Karbonatbalanse .....	23
3.6	Korrosjon på jern og stål materialer .....	24
3.7	Hygienisk barriere .....	26
4.	Forsøksanlegget .....	29
4.1	Driftsproblemer .....	31
5.	Prøverensing i pilotanlegget .....	32
5.1	Beskrivelse av forsøk .....	32
5.1.1	Sammenligne dagens prosess med ny planlagt prosess .....	32
5.1.2	Sykluslengde og trykktapsutvikling .....	32
5.1.3	Filtrering gjennom marmorgrus .....	33
5.1.4	Utblanding av kjemikalier som ble brukt i forsøkene .....	34
6.	Resultater .....	35
6.1	Sammenligne dagens prosess med ny planlagt prosess .....	35
6.2	Bestemme optimal fellings- pH med ny prosess .....	39
6.3	Lutmengde for optimal fellings- pH .....	40
6.4	Sykluslengde .....	42
6.5	Trykktapsutvikling .....	44
6.6	Resultater fra forsøk med marmorfilter .....	46
6.6.1	Kalsium, alkalitet og pH etter marmorfilter .....	46
6.6.2	Hvordan påvirker marmorfilteret andre parametre .....	47
7.	Diskusjon .....	50
7.1	Sammenligning av dagens prosess mot ny planlagt .....	50
7.2	Fellings- pH med ny prosess .....	50
7.3	Lutmengde .....	50
7.4	Sykluslengde .....	51
7.5	Trykktap i filter .....	51
7.6	Marmorfilter .....	51
7.7	Anbefalt kjemikaliedosering .....	53



---

8.	Økonomi.....	54
8.1	Anleggskostnader.....	54
8.2	Kapital og driftskostnader.....	54
8.3	Vannpris.....	55
8.4	Utsettelse av investering.....	55
9.	Konklusjon.....	57
10.	Figurliste.....	58
11.	Tabeller.....	59
12.	Kilder.....	60
13.	Vedlegg.....	61

---

## 1. Innledning

Vestfold Interkommunale Vannverk IKS (VIV) er et interkommunalt selskap som eies av 10 medlemskommuner. Selskapet har to vannverk, ett på Seierstad og ett på Eidsfoss. Disse to vannverkene leverer vann til medlemskommunene. VIV produserer omtrent 24 mill. m<sup>3</sup> vann hvert år. Vannverket på Seierstad stod ferdig i 1968, men har blitt bygget om flere ganger, sist i 2001, da det ble bygget om til et kjemisk renseanlegg med kontaktfiltrering gjennom tomedia filtre bestående av sand og antrasitt/filtralite. Vannverket i Eidsfoss har Eikeren som vannkilde og dette ble satt i drift i 2006. Kvaliteten på vannet fra Eikeren er såpass god at vannet kun blir filtrert gjennom marmorgrus for karbonatisering og deretter desinfisering med klor og UV.

Anlegget på Seierstad bruker Farris som råvannskilde. Farrisvannet har et høyt innhold av humus, og har fargetall på omtrent 30 mg Pt/l.

### 1.1 Bakgrunn for oppgaven

Renseprosessen på Seierstad består av kontaktfiltrering, der PAX16 brukes som koagulant, og mikronisert marmor + CO<sub>2</sub> brukes for korrosjonskontroll og justering av fellings- pH. Det doseres polymer rett før filterene. Etter filtrering doseres det klor for desinfeksjon og ammoniakk for danning av kloramin. For oppjustering av pH doseres det lut til rentvannsbassengene.

Denne prosessen gir ikke tilfredsstillende resultat for korrosjonskontroll i henhold til anbefalingene i drikkevannsforskriften. Det blir ikke tilført nok kalsium til vannet ved bruk av mikronisert marmor, og økning av dosen har vist seg å være vanskelig.

For å bedre korrosjonskontrollen, særlig med tanke på kalsium, ønsker VIV å bygge om prosessen der råvannet først renses ved kontaktfiltrering med de samme filterene som i dag, men uten dosering av mikronisert marmor og CO<sub>2</sub>. Det skal isteden brukes lut for justering av pH ved felling. Etter felling skal det doseres CO<sub>2</sub> til vannet før det filtreres gjennom et alkalisk filter for økning av kalsium, alkalitet og pH.

Det er også planlagt at et eventuelt UV- anlegg skal kunne plasseres i den nye delen av anlegget, som kan bli aktuelt etter hvert hvis den hygieniske sikkerheten må økes.

### 1.2 Problemstilling

I masteroppgaven skal det prøves ut et alkalisk filter der det skal undersøkes hvilken effekt kontakttid og CO<sub>2</sub>- mengde har for oppløsning av filtermassen, og hvilke verdier for kalsium, alkalitet og pH som kan forventes på vannet fra filteret. Det skal prøves ut hvordan kontaktfiltrering fungerer når mikronisert marmor og CO<sub>2</sub> blir erstattet med lut for pH-justering.

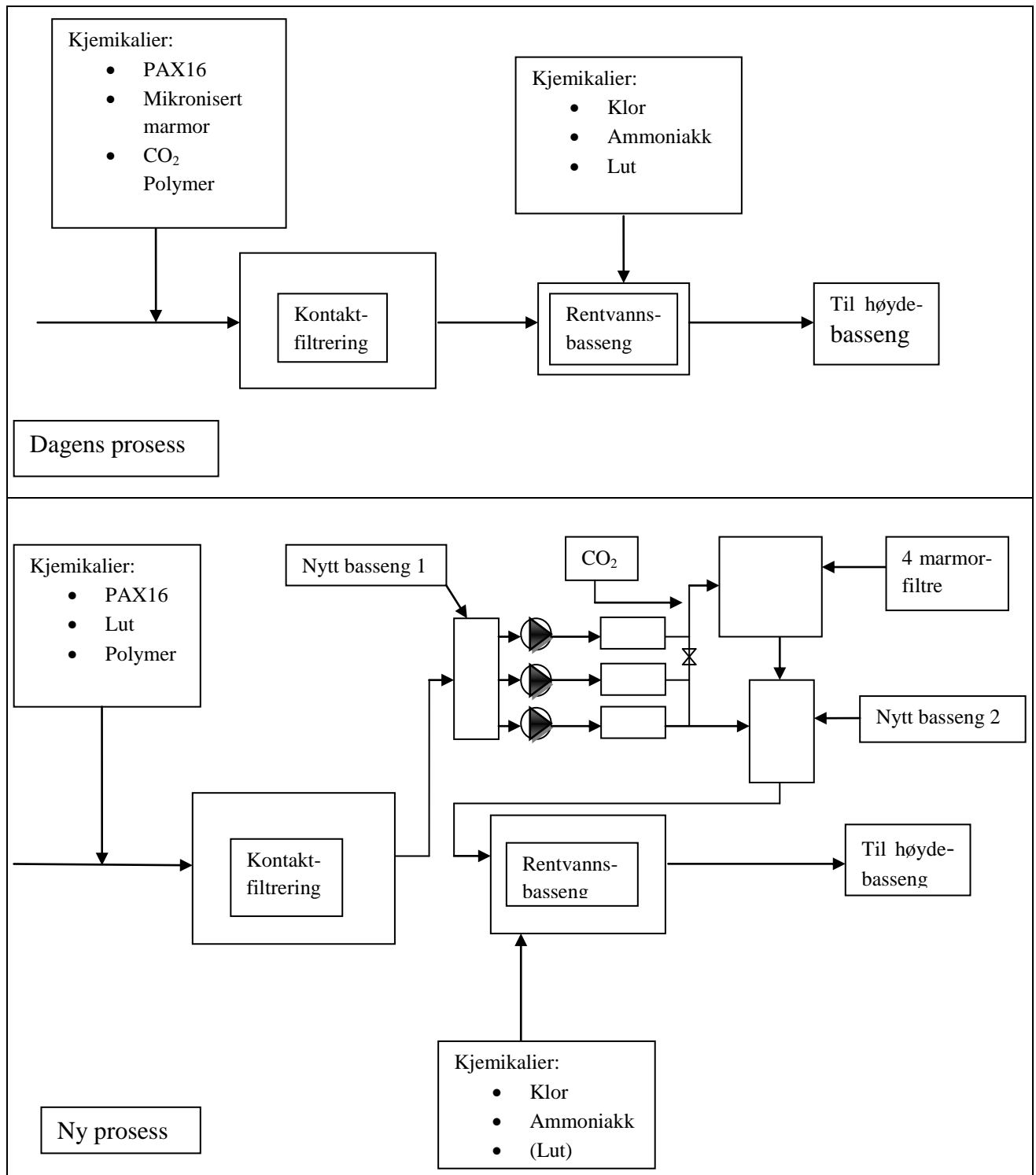
Resultatene fra forsøkskjøringen i pilotanlegget til VIV skal brukes for å beregne prisen på vannet i ny prosess i forhold til dagens prosess.

---

Den nye prosessen vil gi bedre korrosjonskontroll av vannet som vil gjøre at levetiden på ledningsnettene vil bli lengre. I oppgaven skal det derfor ses på hvilke verdier det ligger i å forlenge levetiden til ledningsnettene ved å se på besparelsen ved å utsette en investering i et visst antall år.

## 2. Prosessbeskrivelse

### 2.1 Sammenligning av prosessene



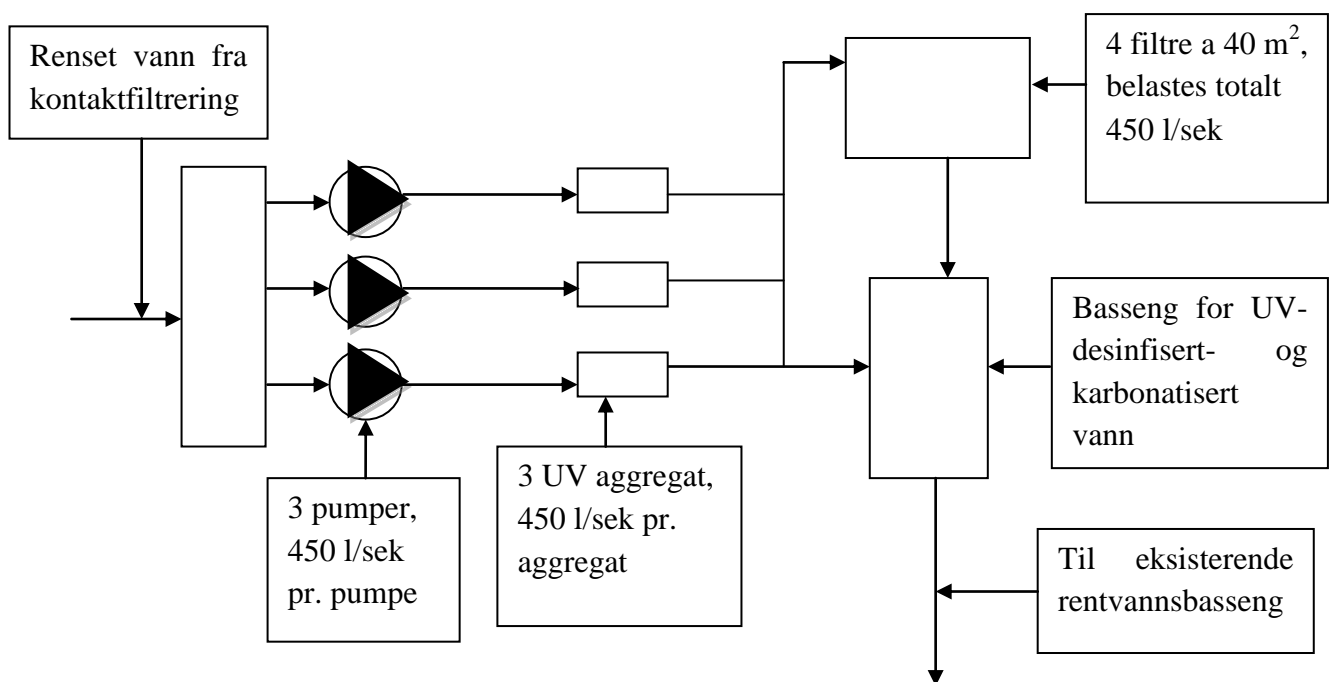
Figur 1: Prosesskisse for dagens prosess og ny planlagt prosess

Figur 1 viser en prinsippskisse av forskjellen på dagens prosess og den nye planlagte prosessen på Seierstad. For å få plass til den nye delen av anlegget må vannverket bygges ut, og det er planlagt en forlengelse av filtersalen med omtrent 25 meter. Den nye delen av bygget skal ha plass til et nytt basseng for vann som har blitt rensert ved kontaktfiltrering.

Videre er det planlagt tre pumper som pumper vann fra dette bassenget, eventuelt gjennom UV- aggregat før det filtreres gjennom alkalisk filter for karbonatisering. Vannet ender i et nytt basseng før det overføres til det eksisterende rentvannsbassenget. Anlegget er dimensjonert for å klare 1200 l/sek med UV- desinfeksjon, og 450 l/sek for karbonatisering. Grunnen til dette er at det ved normal drift produseres mest vann på Eidsfoss, og man anser det som unødvendig å bygge alkaliske filtre for å kunne karbonatisere 1200 l/sek i de få tilfellene der Seierstad må produsere mer enn 450 l/sek. Ved største belastning vil de alkaliske filterne kunne produsere 14 mill.m<sup>3</sup> årlig, som er nesten det dobbelte av hva Seierstad produserer til vanlig. Ved produksjon over 450 l/sek blandes vannet som er karbonatisert med vann som kun er renet og eventuelt UV- desinfisert. For å opprettholde god korrosjonskontroll må det da doseres større mengde CO<sub>2</sub> for oppløsning av filtermassen og doseres mer lut for å øke pH på rentvannet i forhold til normal drift.

UV- anlegget vil gi bedre hygienisk sikkerhet mot parasitter, og det er derfor lagt til rette for at det ved behov kan installeres.

Figur 2 viser den nye delen av anlegget med tilhørende dimensjonerende mengder.



Figur 2: Dimensjonerende mengder for ny prosess

### 2.1.1 Filterhastighet og kontakttid

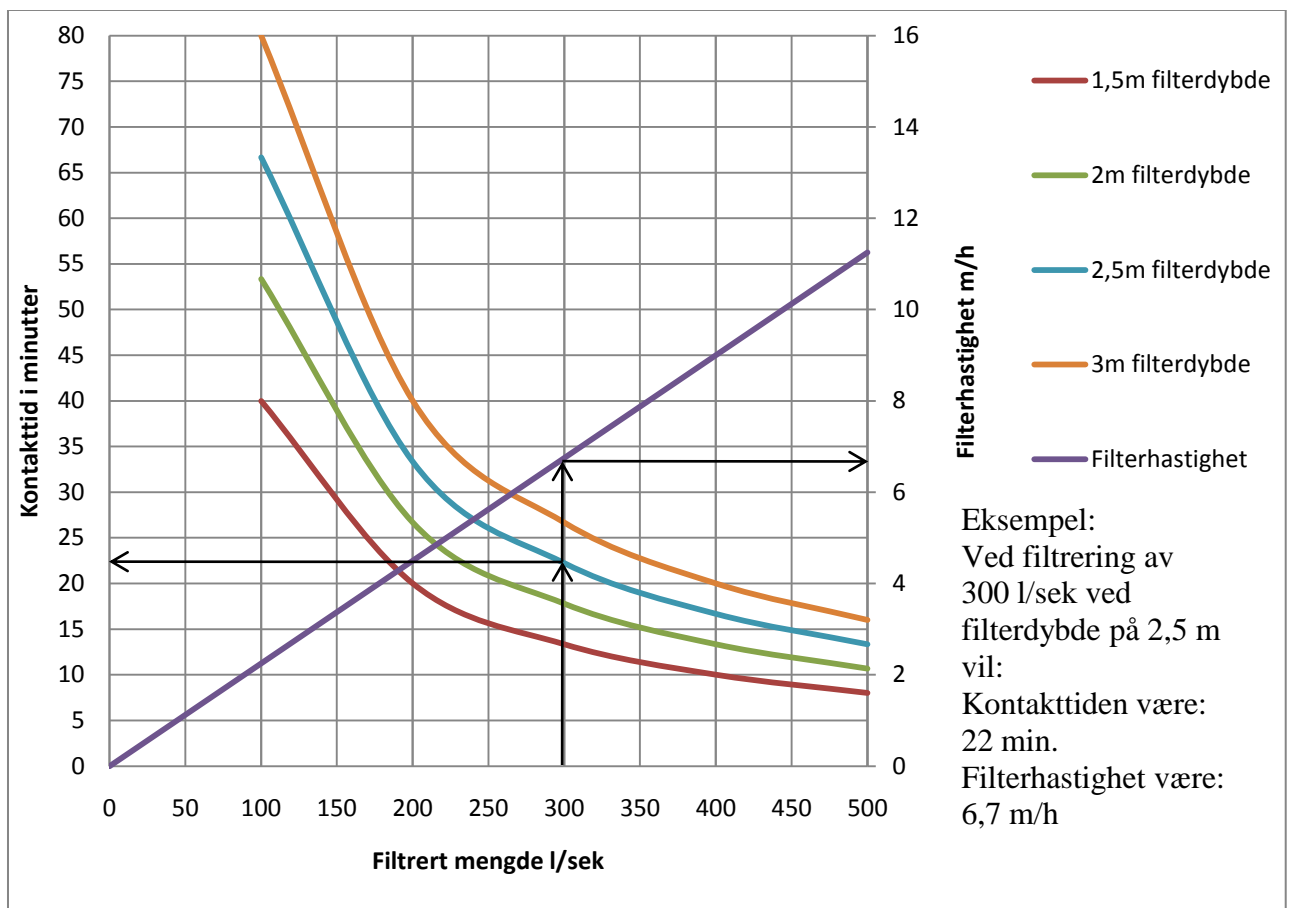
Det er planlagt fire filtre a 40 m<sup>2</sup> i det nye anlegget, totalt 160 m<sup>2</sup> filterareal. Ved filtrering gjennom marmorgrus vil vannets kontakttid med filtermassen ha betydning for oppløsning av filtermassen. Kontakttiden beregnes som EBCT(empty bed contact time). EBCT er en tenkt kontakttid som beregnes som om hele filtersengen er fylt med vann, kontakttiden regnes som om filteret er tomt for filtermasse.

$$EBCT = \frac{V_m}{Q}$$

Der:

V<sub>m</sub> er volumet av filtermassen og Q er vannføring.

Figur 3 viser hvordan filterdybden vil påvirke kontakttiden regnet som EBCT ved forskjellige filtreringsmengder.



Figur 3: Kontakttid og filterhastighet i forhold til filtrert vannmengde

## 2.2 Kontaktfiltrering

Kontaktfiltrering er definert som en renseprosess der man etter koagulering og flokkulering separerer partikler og fnokker direkte i et filter, uten forutgående grovseparasjon (Eikebrokk 2005). Flokkulering skjer ikke separat. Ved vannverket på Seierstad blir fellingskjemikaliene dosert på råvannsledningen ett godt stykke unna filtrene. Koagulering og flokkulering vil da skje i vannledningen inn til filtrene. Polymer blir dosert like før filtrene, som gjør at fnokkene som allerede er dannet blir både større og sterkere. Separering av partikler og fnokker i filteret gjør at filteret tettes igjen, og trykktapet øker. Filteret vil til slutt ikke klare å holde tilbake partikler og fnokker, og de blir transportert gjennom, filteret har da gått i gjennombrudd.

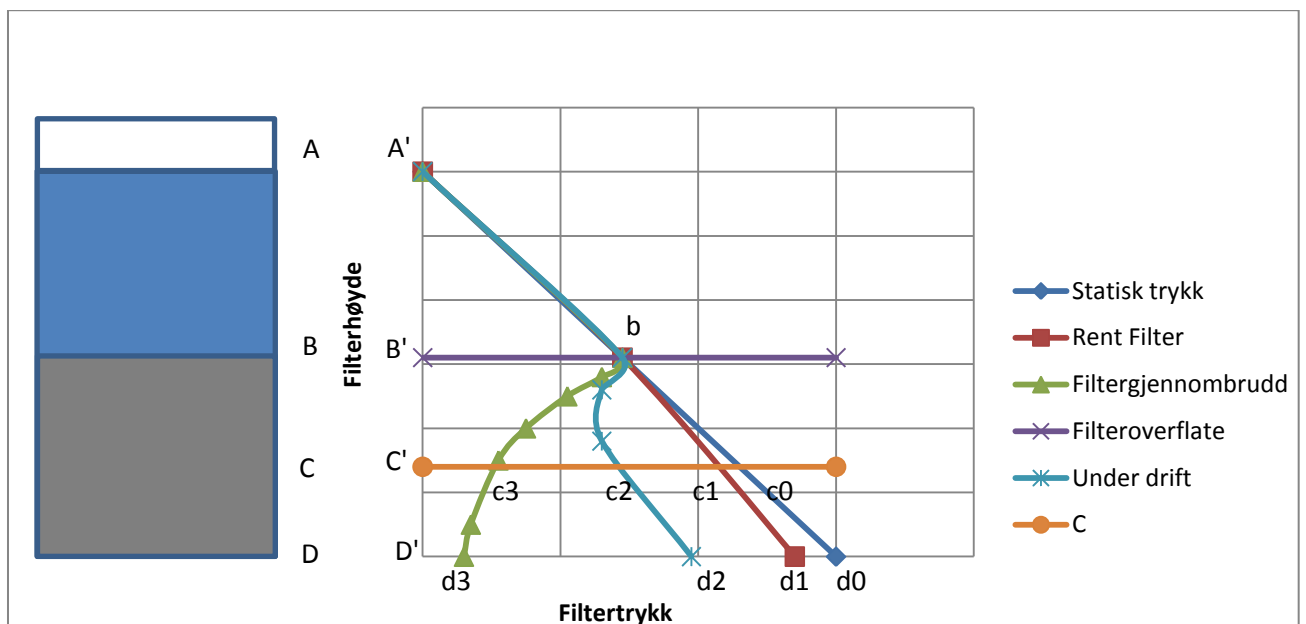
### 2.2.1 Trykktapskurver

Når filteret holder tilbake fnokkene vil det gradvis tettes igjen, og trykktapet igjennom filteret vil derfor øke. Bilde 1 viser stigerørene som er montert på filteret som har vært i bruk i pilotanlegget på Seierstad. Ved hjelp av disse kan man se hvordan trykktapet utvikler seg gjennom filteret over tid, og hvor i filteret forurensningene sitter.

Når man lager trykktapskurver er det vanlig å sette høyden på filteret på y-aksen og vanntrykket på x-aksen. Man bruker samme skala på begge aksene. I følge Darcys lov, vil trykktapet i homogen ren filtermasse være proporsjonalt med dybden av filtermassen når vannmengden er konstant (*Water treatment handbook* 1991).



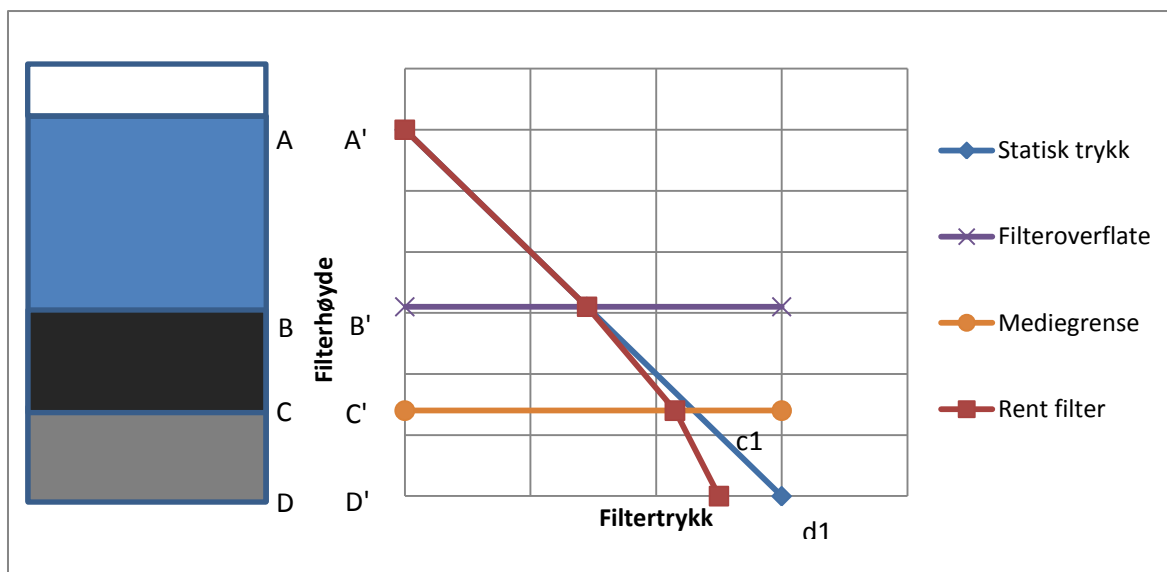
Bilde 1: Stigerør for trykkavlesning



Figur 4: Trykktap i enmediafilter

Figur 4 viser hvordan trykket fordeler seg i et filter med homogen filtermasse. A er total høyden i filteret. B viser filtermasseoverflaten. D er filterbunnen. I figuren viser linja A'd0 det statiske trykket i filteret. bd1 viser trykket gjennom et rent filter ved konstant vannstrømning. bc2d2 viser trykket når filteret har vært i drift en stund. bc3d3 viser trykket ved filtergjennombrudd. Kurven for rent filter viser at trykktapet øker proporsjonalt med dybden i filteret. Trykktapet i dybde C i filteret er avstanden c1c2. Når filteret har vært i drift en periode vil avsetningene i filteret ha rullet ned til dybde C. Kurven viser hvordan trykktapet har økt ned til dybde C. Fra c2 til d2 er tapet fortsatt proporsjonalt med dybden og vil ha samme stigningstall som kurven for rent filter. Der hvor kurven går fra å være buelinjet til lineær kalles for filtreringsfronten, og angir hvor langt avsetningene har kommet i filteret. Den siste kurven bc3d3 viser at filteret har gått til gjennombrudd da det ikke lenger er en linjær kurve mot filterbunnen. Hadde filteret vært dypere hadde det vært en linjær avslutning på kurven mot bunnen, hvis filtreringsfronten hadde vært ved dybde D.

For et tomediafilter som har vært i bruk i pilotanlegget på Seierstad vil teorien være den samme, men som figur 5 viser vil trykktapet gjennom filteret bli noe annerledes. De to filtermassene har ulik tetthet og kornstørrelse, og dermed er trykktapet gjennom dem også forskjellig.

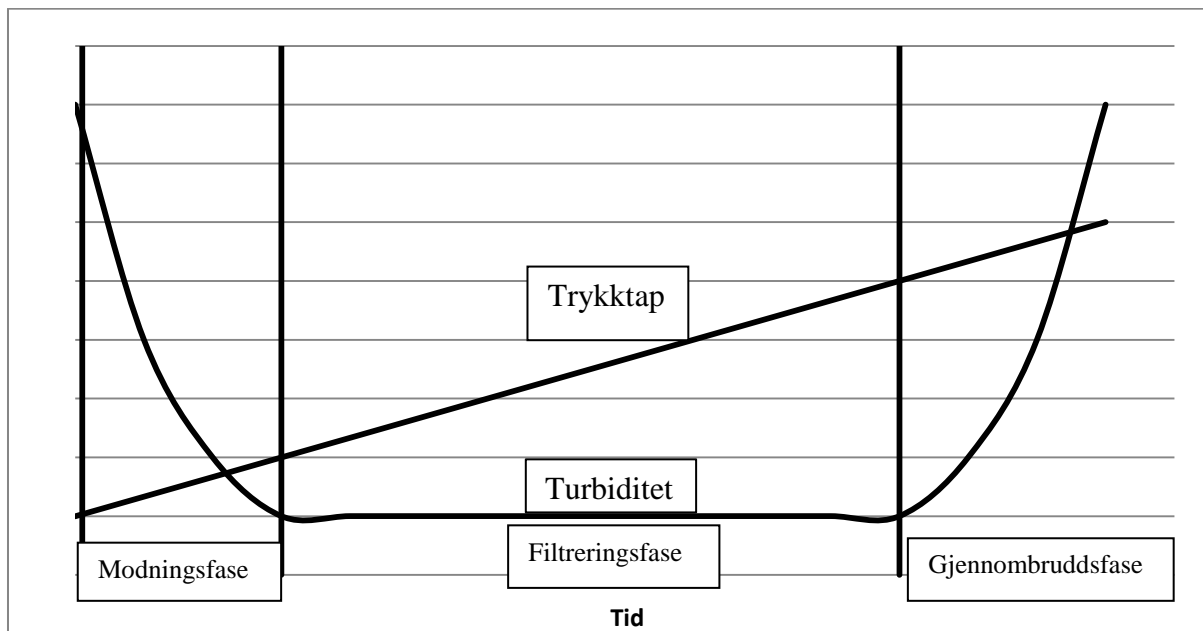


Figur 5: Trykktap i tomediafilter



### 2.2.2 Sykluslengde

Ved filtrering går filteret gjennom tre faser; modningsfase, filtreringsfase og gjennombruddsfase, som vist på figur 6. Etter filterspyling begynner filterets modningsfase, og vannet som går ut av filteret i denne fasen kalles 1. filtrat. Det vil være forskjellig hva som gjøres med 1. filtratet, men aktuelle løsninger vil være at 1. filtratet går direkte til rentvannsbasseng, til avløp eller tilbake til råvannet. Når modningsfasen er over begynner filtreringsfasen som er den fasen da det produseres rensset vann med god kvalitet. Når forurensinger begynner å trekke gjennom filteret begynner gjennombruddsfasen. Vannet fra denne fasen inneholder det som vi vil fjerne fra vannet, blant annet farge, partikler og mikroorganismer. Det er derfor viktig å avbryte filtreringen før gjennombruddsfasen begynner fordi filteret ikke fungerer som hygienisk barriere i gjennombruddsfasen. For å avgjøre når filtreringen bør stoppe kan man bruke tre parametre for styring; tid, turbiditet og trykktap. Ved å styre filterspyling på tid trengs det erfaring for å vite hvor lang filtersyklusen er. Det positive er at ved drift av flere filtre vil det være forutsigbart når filtre skal spyles, og man slipper at flere filtre får gjennombrudd samtidig og må spyles.



Figur 6: Prinsippskisse av trykktap- og turbiditetsutvikling over tid ved filtrering

### 3. Litteraturstudie

#### 3.1 Innvendig korrosjon på ledningsnett

Det er i hovedsak to grunner til at innvendig korrosjon er et problem i ledningsnett. Korrosjon fører til nedbryting av ledningene, rørveggene tæres på og blir tynnere. Materialene blir brutt ned og gjør ledningene svakere som lettere fører til brudd og huller. Nedbryting av materialene kan gjøre at det bygges opp korrosjonsprodukter i ledningene som gir dårligere hydraulisk kapasitet fordi ledningstverrsnittet minker, og ruheten øker. Det andre problemet er at nedbrytningsproduktene fører til endring av vannkvaliteten ved at de blir tilført vannet. Vannet kan få økt konsentrasjon av metaller som bly og kobber, jern kan gi farge til vannet og høy pH kan oppstå fra sementbaserte produkter (*Internal corrosion of water distribution systems* 1996). Korrosjonsangrep kan også føre til større biologisk vekst som kan gi slamdannelse og dårlig lukt og smak på vannet (Vik et al. 1988). Det er ikke mulig å produsere et vann som beskytter alle materialer like godt mot korrosjon. Derfor må man se på hvilke materialer som det ønskes å beskytte, og produsere et vann som er godt egnet ovenfor flere materialer. Anbefalingene i tabell 1 er hentet fra veileder til drikkevannsforskriften, og vil gi god beskyttelse av kobber, messing og sementbaserte produkter.

Parameter	Enhet	Konsentrasjon
pH	pH- enheter	8,0 – 9,0
Alkalitet (Karbonat)	mmol/l (mg/l HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,6 – 1,0 (36 – 60)
Kalsium	mg/l	15 – 25
Aciditet (Fri CO <sub>2</sub> )	mmol/l mg/l	lavest mulig lavest mulig

Tabell 1: Anbefalt vannkvalitet for å minimalisere korrosjon (Mattilsynet 2005)

Ved lavere pH vil innholdet av CO<sub>2</sub> øke fordi pH styrer likevekten i karbonatsystemet. Et vann med høy alkalitet og lav pH vil derfor være lite ønskelig fordi det gir økt korrosjon. For jern og stål kan det være ønskelig med lavere pH og høy alkalitet, som gir høyere innhold av fri CO<sub>2</sub>. Jern og stålprodukter som har sementbasert lining må korrosjonsbetyttes som sementbasert produkt fordi det er liningen som beskytter metallet mot korrosjon (Mattilsynet 2005).

##### 3.1.1 Erfaringer med korrosjonskontroll

Norsk vann, tidligere NORVAR har utarbeidet et par rapporter der det er samlet noen erfaringer med korrosjonskontroll fra en del norske vannverk. I rapport 55/95 (Aasen 1995) er erfaringene ved bruk av marmorfiltre og CO<sub>2</sub> gode. Fra vannverk i Mandal er det rapportert om lavere innhold av jern på nettet og mindre meldinger om brunt vann hos abonnenter etter at vannet ble karbonatisert. Ved bruk av alkaliske filtre er vannet blitt ”ikke- aggressivt”. Det er også målt reduksjon av aluminium, mangan og til dels jern etter filtrering gjennom marmorgrusen. I følge (NORVAR 2001) vil kobberkorrosjon være lav ved pH over 8. Fire vannverk har undersøkt hvordan kobberinnholdet i avløpsslam har utviklet seg etter at vannverkene begynte med karbonatisering, og det er målt stor reduksjon av kobber i avløpsslammet fra samtlige avløpsrensaneanlegg. Det er en god indikasjon på at korrosjon på

---

kobberinstallasjoner har gått ned. Korrosjonen er redusert fordi vannet har en stabil kvalitet, og med pH- verdi som ligger i overkant av 8.

Ved spørsmål om vannverkene har registrert redusert korrosjon i nettet er problemet at mange ikke har gode nok undersøkelser for hvordan kvaliteten på nettet var før karbonatisering begynte. Av anleggene som er med i undersøkelsen er det ni anlegg som kunne dokumentere at det var mindre korrosjon på nettet etter å ha startet med karbonatisering. Anleggseierne mener også at antall brudd har blitt redusert.

I undersøkelsen var det 10 av anleggene som fører god nok statistikk over klager på vannkvalitet, som kunne dokumentere at antall klager hadde gått ned etter å ha begynt med karbonatisering.

Ni av anleggene kan dokumentere at de har redusert behovet for spyling av ledningsnettet etter karbonatisering, men det er 15 anlegg som ikke har redusert behovet for spyling.

### **3.1.2 Forbruk av kalsium og CO<sub>2</sub> ved filtrering gjennom alkaliske filtre**

Anleggene som var med i undersøkelsen til NORVAR hadde et kalsiumforbruk som varierte fra 6,5 til 19,8 g Ca/m<sup>3</sup>, men de fleste lå på rundt 15 g Ca/m<sup>3</sup>. De fleste av disse anleggene ligger på et CO<sub>2</sub> forbruk på mellom 10 og 15 g/m<sup>3</sup>.

### **3.1.3 pH på rentvann**

Anleggene som karbonatiserer vannet ved bruk av alkaliske filtre oppnår pH i overkant av 8 på rentvannet. En positiv trend er også at nettprøver viser omtrent samme pH. Stabil pH er en indikasjon på at vannet i liten grad blir påvirket av ledningsnettet, og ikke er korrosivt mot rørmaterialene. Rapporten sier ingenting om pH på rentvannet blir etterjustert etter det alkaliske filteret, eller om pH oppnås kun ved karbonatisering.

## **3.2 Bruk av alkalisk filter for korrosjonskontroll**

I vannbehandling kan bruk av alkalisk filter ha ulike hensikter. Alkalisk filter kan brukes for; kun å heve pH, da doseres det ikke CO<sub>2</sub> til vannet, for fjerning av fri CO<sub>2</sub> fra vannet eller for full karbonatisering av vannet, da kreves det CO<sub>2</sub> dosering til vannet og lang EBCT. For å oppnå tilstrekkelig høy pH kan det være nødvendig å dosere lut etter filteret (Østerhus 1998). Ved full karbonatisering økes kalsiuminnholdet og vannets alkalitet, og man oppnår at vannets bufferegenskap blir større som gjør at vannet har større motstand mot å endre pH. Økt kalsiuminnhold er viktig for at korrosjon av sementprodukter går saktere (Folkehelseinstituttet 2008).

I rapport 87/1998 fra NORVAR (Østerhus 1998) anbefales det at vannrenseanlegg bygges fleksible med hensyn på hvilke verdier som ønskes for pH, alkalitet og kalsium. For å få et fleksibelt anlegg må det være mulig med høy EBCT og lutdosering til filtrert vann for å kunne justere pH til ønsket nivå. Det er ikke nødvendig å drive anlegget så det oppnår høyere verdier enn anbefalt, men at det ved behov er mulighet for det.

---

I alkaliske filtre kan det brukes ulike typer filtermaterialer. De ulike typene vil gi ulik effekt på vannet som filtreres gjennom massen, og filtermassen kan da tilpasses til de parameterne som skal endres. Aktuelle filtermasser som kan benyttes som alkalisk filter er rådolomitt, halvbrent dolomitt eller kalsiumkarbonat. Den massen som er best tilpasset de fleste norske overflatevannkilder er kalsiumkarbonat,  $\text{CaCO}_3$ . Kalsiumkarbonat kan bli dannet på ulike måter, og opptrer derfor i forskjellige former. Struktur, løselighet og kjemiske egenskaper skiller de ulike formene fra hverandre. Det er mest vanlig å bruke  $\text{CaCO}_3$  i form av kalsitt som filtermasse i alkaliske filtre. Kalsitt er den stabile formen under normalt trykk, men også kalsitt finnes i ulike former, etter hvordan den er dannet, og hvor stor omdannelsesgraden er. Kalsiumkarbonat gir en stor fordel ved bruk i alkalisk filter ved at pH aldri kan bli svært høy fordi den ikke kan overstige pH som gir  $\text{CaCO}_3$  likevekt (Østerhus 1998).

Faktorer som påvirker oppløsningshastigheten til et alkalisk filter (Østerhus 1998):

- *”Type alkalisk masse*
  - *De ulike typene alkalisk masse som kan brukes som filtermateriale har ulik oppløsningshastighet.*
- *Filtermassens kornstørrelsesfordeling*
  - *Oppløsningen av filtermassen skjer på massens overflate, jo større overflate filtermassen har, jo raskere vil oppløsningen gå. Mindre kornstørrelse vil gi større total overflate, og gir derfor raskere oppløsning.*
- *Vanntemperatur*
  - *For  $\text{CaCO}_3$  øker oppløsningshastigheten ved økende vanntemperatur.*
- *Filterhastigheten*
  - *Oppløsning av  $\text{CaCO}_3$  er massetransport kontrollert. Det vil si at oppløsningen går raskere ved høy vannhastighet gjennom filteret. I teorien vil man derfor kunne benytte et mindre filter hvis det er høyt og smalt, enn hvis det er lavt og bredt. Man kan da benytte kortere kontakttider i filteret for å oppnå samme effekt.*
- *Råvannskvaliteten*
  - *Det er parameterne pH,  $\text{CO}_2$ - innhold og  $\text{CaCO}_3$ - metning som vil avgjøre råvannets påvirkning på oppløsningshastigheten av  $\text{CaCO}_3$ . Høy oppløsningshastighet får man når råvannet har lav pH og  $\text{CaCO}_3$ - metning, og høyt  $\text{CO}_2$ - innhold. Råvannet kan også inneholde stoffer som kan gi avsetninger eller begroing i filteret, noe som kan begrense oppløsningshastigheten.”*

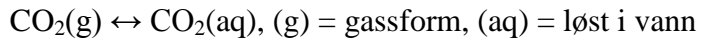
Ved oppløsning av alkalisk filtermasse i vann vil det alltid være noen kjemiske likevekter som gjør seg gjeldende i prosessen. De viktigste er de reaksjonene som inngår i karbonatsystemet.

---

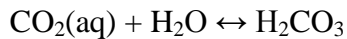
### 3.2.1 Karbonatsystemet

Karbonatsystemet utgjør det viktigste syre- base systemet i naturlig vann (Fiksdal 1993). Dette likevektssystemet består av følgende likevekter:

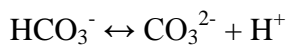
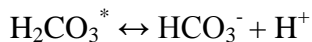
Oppløsning av CO<sub>2</sub> i vann:



Dannelse av karbonsyre:



Bikarbonat- og karbonat- ionene:



Der  $\text{H}_2\text{CO}_3^* = \text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{CO}_3$ . Denne likningen brukes fordi det er vanskelig å skille mellom CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (Fiksdal 1993).

Følgende likevektsuttrykk hører til reaksjonene over:

$$[\text{H}_2\text{CO}_3^*] = K_H * P_{\text{CO}_2}$$

$$[\text{H}_2\text{CO}_3^*] * K_1 = [\text{HCO}_3^-][\text{H}^+]$$

$$[\text{HCO}_3^-] * K_2 = [\text{CO}_3^{2-}][\text{H}^+]$$

$$K_{\text{SP}} = [\text{Ca}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}]$$

der:

$P_{\text{CO}_2}$  er partialtrykket til CO<sub>2</sub> i gassfasen

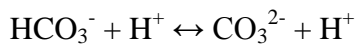
$K_H$  er Henrys konstant

$K_1$  og  $K_2$  er syrekonstantene for karbonsyre

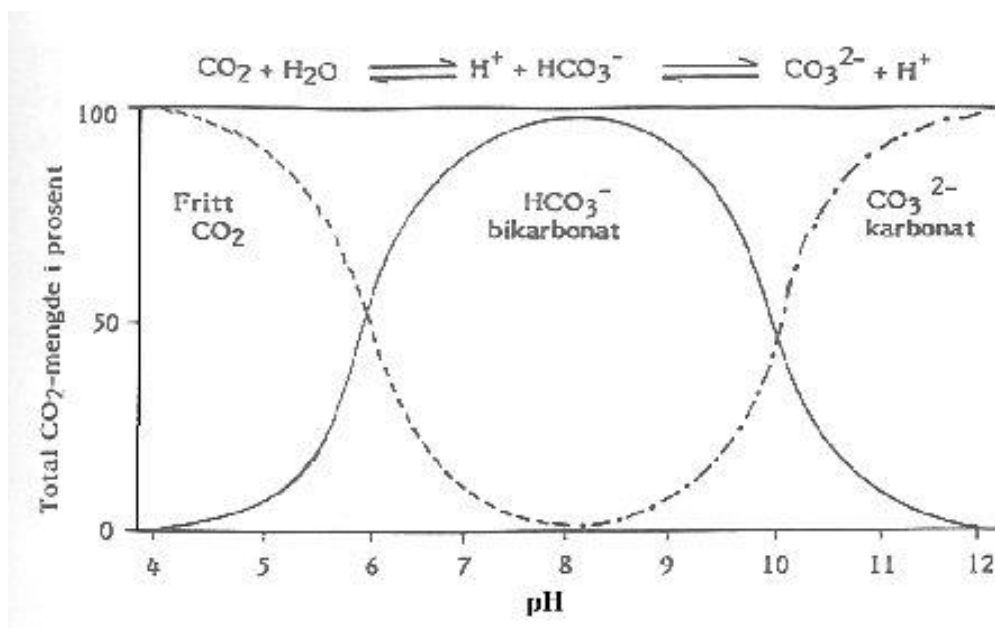
$K_{\text{SP}}$  er løselighetsproduktet til CaCO<sub>3</sub>.

Konstantene  $K_H$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  og  $K_{\text{SP}}$  er temperaturavhengige.

Karbonatsystemets likevekt er bestemt av vannets pH og følger likningen under (Winther et al. 2005).



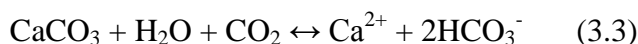
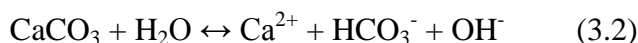
I følge Le Chateliers prinsipp vil likevekten forskyves mot venstre hvis det tilføres  $\text{H}^+$ -ioner, som betyr at pH synker. Hvis pH stiger,  $\text{H}^+$  ioner minker, vil likevekten forskyves mot høyre. Ved gitte pH verdier vil det være ett konstant forhold mellom de tre forbindelse  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  og  $\text{CO}_3^{2-}$ . Når pH synker vil vannets evne til økt  $\text{CO}_2$  innhold øke (Winther et al. 2005). Figur 7 viser at det ved pH på ca 8,3 vil det være lavest innhold av fritt  $\text{CO}_2$  i vannet, og innholdet av bikarbonat vil være størst.



Figur 7: Karbonatlikevektsystemet

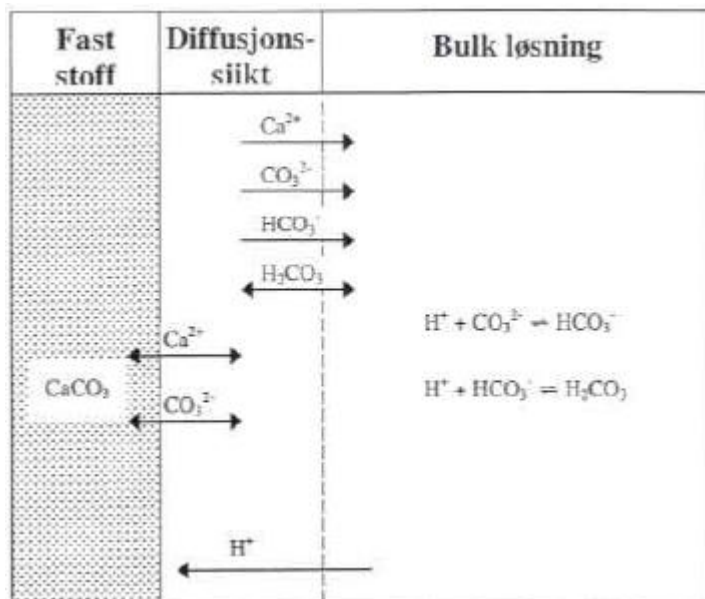
### 3.3 Oppløsning av kalsiumkarbonat

Kalsiumkarbonat vil løses opp i vann etter følgende reaksjoner:



$\text{CaCO}_3$  vil løses opp etter ligning (3.1) når vannet har pH under 6. Når vannet har høyt innhold av  $\text{CO}_2$  løses  $\text{CaCO}_3$  for det meste opp etter ligning (3.3) men også ligning (3.1) vil være gjeldende. Ved pH under 5-6 vil oppløsningshastigheten være en funksjon av  $\text{H}^+$  konsentrasjonen, den vil derfor øke med minkende pH. Hvis pH er høyere vil oppløsningshastigheten øke ved høyere  $\text{CO}_2$ -innhold. Er pH over 6 vil

oppløsningshastigheten være konstant med økende pH hvis det ikke er CO<sub>2</sub> tilstede (Østerhus 1998).



Figur 8: Oppløsning av CaCO<sub>3</sub> (Østerhus 1998)

Det er tre prosesser som vil løse opp CaCO<sub>3</sub>, slik det vises i figur 8:

- "Transport ved diffusjon av reaktanter fra bulk til væskefasen til CaCO<sub>3</sub> overflaten
- Kjemisk reaksjon på CaCO<sub>3</sub> overflaten
- Transport ved diffusjon av reaksjonsprodukter fra CaCO<sub>3</sub> overflaten til bulk væskefasen." (Østerhus 1998).

### 3.4 Alkalitet

Alkalitet er definert som vannets evne til å motstå pH- forandring. Alkalitet er et mål på vannets innhold av følgende stoffer:

$$\text{Alkalitet} = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+]$$

Likningen viser at H<sup>+</sup> ioner gjør at vannet får mindre alkalitet. Ved tilførsel av en syre, vil H<sup>+</sup> konsentrasjonen øke, og vannet får lavere alkalitet. Har vannet høy alkalitet, kan det tilsettes større konsentrasjon av H<sup>+</sup>- ioner før vannet endrer pH. Man regner med at mesteparten av alkaliteten i overflatevann vil komme fra bikarbonat ved normale pH nivåer (Winther et al. 2005).



---

### 3.5 Korrosjon av sement-/ betongbaserte produkter

I et ledningsnett finnes det mange former for sementbaserte produkter og installasjoner. Et ledningsnett kan bestå av betongrør, asbestsementrør eller jernrør med innvendig lining som er sementbasert. Høydebassenger og rentvannsbassenger kan også være bygget av betong. Betong er en blanding av sement, vann, tilslagsmaterialer og eventuelt tilsetningsmaterialer. Bindemiddelet i betongprodukter er sement. Sement består for det meste av kalkstein,  $\text{CaCO}_3$ , i tillegg til mindre mengder av bauxitt, gips, kvarts og kisavbrand (Søpler 1995). Det starter en kjemisk prosess når sement og vann blandes som gjør at sementen hydratiserer. Ut fra sementoverflata begynner det å vokse nåleforma krystaller. Reaksjonsmassen består av Kalsium- Silisium- Hydrat (CSH- fasen), og det er denne som gir betongen styrke, stivhet og bestandighet. I tillegg til CSH- fasen vil det også dannes porer og krystaller av Kalsiumhydroksid,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Kalsiumhydroksid bidrar ikke til å gi betongen styrke, men gjør betongen basisk, og vil bidra til at armeringen er vernet mot korrosjon (*Praktisk betongteknologi: [30. november-2. desember 1998, Lillehammer]*). Det er samme funksjon som gjør at støpejernsrør med sementmørtelforing også er beskyttet mot korrosjon (Aaby et al. 1989). Prosessen som fjerner kalk fra betongen kalles for utluting. Vann som kommer i kontakt med den lettløselige kalken,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , vil løse den opp i vannet og den kan da bli transportert videre med vannet. Denne prosessen kan skje med økende hastighet fordi tettheten til betongen vil over tid bli dårligere (*Praktisk betongteknologi: [30. november-2. desember 1998, Lillehammer]*). Utluting vil føre til at pH i betongen vil synke, og det beskyttende oksidlaget rundt armeringen i betongen vil kunne forsvinne. Da vil armeringen begynne å korrodere, og vil kunne føre til rustsprengning (*Kristiansen et al. 2004*). Når vannet har transportert bort kalsiumhydroksid fra porene, vil vannet begynne å tære, og løse av den hydratiserte kalsium- silisium fasen i betongen, og det løses ut som kalsiumhydroksid. Denne prosessen vil fortsette inntil det blir dannet nok kalsiumkarbonat til at vannet er i likevekt, det vil da slutte å løse ut kalsium fra betongen. Hvis vannet fortsatt er aggressivt, vil vannet fortsette å løse ut kalsium til det ikke er mer bindemiddel i betongen til å holde aggregatene sammen (*Internal corrosion of water distribution systems* 1996).

Nedbryting av betongprodukter kan forekomme av ulike årsaker. Den vanligste nedbrytningen er forårsaket av vann som er aggressivt ovenfor kalsiumkarbonat. Nedbrytning kan også forekomme hvis det er spesielle ioner i vannet, som sulfat og magnesium. Det kan også forekomme at stoffer som reagerer med hverandre i betongen ekspanderer, og vil føre til at betongen blir svakere. Hvis vannet har lavt innhold av total inorganisk karbon (samlet innhold av  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3^-$  og  $\text{CO}_3^{2-}$ ) kan betongen utsettes for nedbrytning fordi det ikke er nok totalt inorganisk karbon til at det skjer en utfelling av på stoffer på betongoverflaten som vil virke korrosjonsbeskyttende (*Internal corrosion of water distribution systems* 1996).

For å unngå utluting må vannet som er i kontakt med betongen inneholde  $\text{HCO}_3^-$ .  $\text{HCO}_3^-$  vil reagere med  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  som finnes i porevannet til betongen, og danne et beskyttende lag av  $\text{CaCO}_3$  på betongoverflaten. Kontaktflaten mellom vannet som transporteres og rørveggen er veldig stor, porene i betongen bidrar her med stor overflate. I porene i betongen vil det blant annet være ioner som  $\text{OH}^-$  og  $\text{Ca}^{2+}$  som vil trekke ut i vannet som blir transportert. Ioner som  $\text{CO}_3^{2-}$  og  $\text{HCO}_3^-$  i vannet vil samtidig trekke inn i porene i betongen. I denne transporten kan



---

flere reaksjoner skje avhengig av vannets sammensetning. Porevannets  $\text{OH}^-$  og vannets  $\text{HCO}_3^-$  kan reagere og danne  $\text{CO}_3^{2-}$ .  $\text{CO}_3^{2-}$  - kan sammen med  $\text{Ca}^{2+}$  danne  $\text{CaCO}_3$  som da felles ut som fast stoff som kan blokkere porene og forhindre videre utlekking fra betongen. Utfelt  $\text{CaCO}_3$  vil være effektivt hvis laget er stabilt, og ikke blir nedbrutt av vannet som blir transportert, og må derfor ikke være aggressivt mot  $\text{CaCO}_3$ . Hvis vannet er aggressivt vil porene være blokkert for en begrenset periode, for så å bli åpne igjen fordi  $\text{CaCO}_3$  blir brutt ned videre (*Internal corrosion of water distribution systems* 1996). For å korrosjonsbeskytte betongprodukter er det viktig at materialene utsettes for et miljø der kalsium ikke løses ut fra sementen. Det er derfor ønskelig at vannet har:

- $\text{pH} > 8$
- Kalsium  $> 15 \text{ mg/l}$
- Alkalitet  $0,6\text{-} 1,0 \text{ mmol/l}$

### 3.5.1 Karbonatbalanse

Vann som er i karbonatbalanse er verken aggressivt eller utfellende med hensyn på kalsiumkarbonat. I tillegg til ionene som inngår i karbonatsystemet vil også ionestyrken fra blant annet  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  og  $\text{SO}_4^{2-}$  ha innvirkning på karbonatbalansen. Løselighetskonstanten for kalsiumkarbonat er også temperaturavhengig (*Water treatment handbook* 1991). Ved oppvarming av vann vil utfelling av kalsiumkarbonat øke, og kan føre til kjelestein, kalkavleiringer i rør, varmtvannsbeholdere og varmeelementer (Winther et al. 2005). For bestemmelse av karbonatbalansen må metnings-  $\text{pH}$  ( $\text{pH}_s$ ) beregnes, det er den  $\text{pH}$  verdien vannet må ha på bakgrunn av vannets sammensetning for at vannet skal være i balanse.  $\text{CO}_2$  mengden som behøves for at vannet skal være i likevekt kalles likevekts-  $\text{CO}_2$ . Ved  $\text{pH}$  lavere enn  $\text{pH}_s$  vil vannet ha overskudd av fri  $\text{CO}_2$ , som da regnes som aggressiv  $\text{CO}_2$ .

Langeliers indeks benytter beregnet metnings-  $\text{pH}$  og vannets målte  $\text{pH}$  for å beskrive om vannet er i balanse, aggressivt eller ufellende med hensyn på kalsiumkarbonat. Formelen som brukes er:

$\text{SI} = \text{pH} - \text{pH}_s$ , der:

$\text{SI}$  = metningsindeks

$\text{pH}$  = vannets målte  $\text{pH}$

$\text{pH}_s$  = metnings-  $\text{pH}$

Hvis resultatet er 0, er vannet i balanse, negativt resultat vil si at vannet er aggressivt og positivt resultat vil si at vannet kan felle ut kalsiumkarbonat. I Langliers indeks beregnes  $\text{pH}_s$  ut fra vanntemperatur, kalsiuminnhold, alkalitet og ioneinnhold i vannet. Vannets  $\text{CO}_2$  innhold kan avgjøre om  $\text{pH}_s$  er lavere enn  $\text{pH}$ , og derfor aggressivt (*Water treatment handbook* 1991).

### 3.6 Korrosjon på jern og stål materialer

De vanlige jernbaserte produktene som blir brukt er støpejern, duktilt støpejern og stål. Egenskapene er forskjellige etter hvilke andre stoffer enn jern som produktet er laget av, det er i underkant av 10 % av produktets vekt som ikke er jern. Den største forskjellen mellom de ulike typene er at stål har et mye lavere innhold av karbon og silisium enn de to andre typene. Tettheten til karbon og silisium er mye lavere enn jern, så derfor blir forskjellen i volum mye større mellom stål og de to andre materialene. Det gjør at det er opptil 18 % forurensninger i støpejern og duktilt støpejern, mens stål kun har litt over 1 % forurensninger. Det gjør at det på overflaten av støpejern og duktilt støpejern finnes omtrent 15 ganger mer forurensninger enn på stål. Det gjør at det er betydelige forskjeller på korrosjonsreaksjoner på de ulike materialene (*Internal corrosion of water distribution systems* 1996).

Korrosjon kan forekomme over større avstander på ledningsnett, eller mer lokalt. Korrosjon over større avstander skjer ved at det dannes anoder og katoder med kort virketid. Korrosjon kan begynne med at det dannes en anode ved at det dannes brudd i det beskyttende laget. Etter hvert vil forandringene i det elektrokjemiske potensialet opphøre, og korrosjonen stopper opp i det punktet, men kan fortsette i et nytt punkt i nærheten. Den beskyttende filmen vil bli brutt tilfeldig, men reparerer seg selv når korrosjonen stopper (*Internal corrosion of water distribution systems* 1996).

Lokal korrosjon forekommer på enkeltsteder i ledningsnett og skjer fordi det er vedvarende tilstedeværelse av for eksempel stoffer som fører til korrosjon. Det kan være at det er forurensninger i materialet og vannkvalitet som gjør det mer utsatt for korrosjon. Slike forhold kan forekomme hvis stålet inneholder sulfid, det beskyttende laget ikke reparerer seg selv, et korrosjonspunkt som holdes ved like og forverres på grunn av lav pH eller dannelse av diffusjonsbegrensende korrosjonslag over overflaten som virker som anode (*Internal corrosion of water distribution systems* 1996).

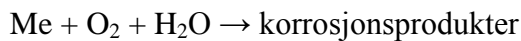
Lokal korrosjon på jernholdige materialer fører til at det dannes korrosjonsprodukter over korrosjonsstedet, som kan gi knolldannelser som dekker store deler av overflaten på rørveggen. Bilde 2 viser hvordan et vannrør ser ut hvis det utsettes for knolldannelser. Disse knollene vil etter hvert gjøre at rørets diameter blir mindre, og øker rørets ruhet som fører til at vannmengden som kan transporteres gjennom røret går ned. Mikroorgansimer kan bruke rustknollene til å gro og vokse på. Rustknollene kan løsne fra overflaten og dermed gjøre at vannet blir rødt og rustent hos forbrukerne (*Internal corrosion of water distribution systems* 1996).



Bilde 2: Knolldannelse (Kilde: <http://www.ncc.no/>)

---

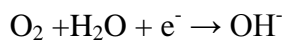
Korrosjon på metaller skjer ved reaksjon mellom metallet og oksygen i vannet:



Metallkorrosjon skjer på grunn av to reaksjoner, anode- og katodereaksjon. Det er anodereaksjonen som løser opp metallet etter likning:



Katodereaksjonen er en reaksjon mellom  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  og elektronene som er frigjort ved anodereaksjonen:



Anode- og katodereaksjonene fører til et elektrisk kretsløp der elektronene går gjennom metallet fra anoden til katoden, og metall- og hydroksylionene går gjennom vannet (Vik et al. 1988).

For at korrosjon ikke skal forekomme er det viktig at metallet beskyttes av et belegg. Beskyttelse av jern kan forklares ved hjelp av beleggdannelse etter siderittmodellen (Østerhus 2002). Det beskyttende belegget dannes av relativt uløselige stoffer som inneholder redusert jern, som for eksempel  $\text{Fe}^{2+}$ . Det må oksideres jern fra overflaten som deretter reagerer med stoffer i vannet for at beskyttende lag kan dannes.  $\text{Fe}^{2+}$  kan reagere med karbonat,  $\text{CO}_3^{2-}$ , til sideritt,  $\text{FeCO}_3$ . Skjer oksidasjonen av jern for fort vil det dannes et mye mer porøst lag som gir dårligere korrosjonsbeskyttelse. Vannets alkalitet vil styre korrosjonshastigheten fordi høy alkalitet vil forhindre at  $\text{OH}^-$  ioner som dannes ved katoden øker pH. Høy pH gjør at oksidasjon av toverdigg jern til treverdigg jern skjer hurtigere, og derfor ikke danner et like tett beskyttende lag (*Internal corrosion of water distribution systems* 1996).

For å korrosjonsbeskytte jernmaterialer er det viktig at alkaliteten er høy, ikke for høy pH (<7,5), økende kalsiuminnhold ved lav alkalitet i vannet og økende innhold av NOM. Det er også gjort undersøkelser som viser av vannhastigheten avgjør om ledningene vil korrodere eller ikke. Ved lave hastigheter dannes det ikke beskyttende belegg (NORVAR 2001).

### 3.7 Hygienisk barriere

I drikkevannsforskriften (Mattilsynet 2005) defineres en hygienisk barriere som fjerning av 99,9 % (log3) bakterier og virus, og 99 % (log2) av parasitter. For å unngå at befolkningen blir syke av drikkevannet må vannet ha tilstrekkelig hygienisk sikkerhet. Det kan oppnås ved å:

- Beskytte råvannet, der det gjøres:
  - Tiltak i nedslagsfeltet.
  - Tiltak i kilden.
- Ha vannbehandlingstiltak der:
  - Mikroorganismer fjernes i behandlingen.
  - Mikroorganismer inaktiveres/drepes ved desinfeksjon.

Drikkevannsforskriften sier at det skal være minimum to hygieniske barrierer. I Veiledning til bestemmelse av god desinfeksjonspraksis (GDP- veiledningen) (Ødegaard et al. 2009) er det lagt opp til at barrierekravet kan oppsummeres som ”multiple barrierer”. Det vil si at det summeres opp tiltak som til sammen dekker kravet om to barrierer.

#### Nødvendig barrierehøyde

VIV har gjennomført en analyse ved hjelp av GDP- veiledningen for å bestemme nødvendig barrierehøyde, og hvilke log- reduksjoner dagens anlegg på Seierstad oppnår.

Ut fra tabell 2 bestemmes råvannskvaliteten ut fra historisk registrering basert på rutineanalyser de siste tre år. Resultatene herfra vil avgjøre om det er behov for utvidet prøveprogram for fastsetting av kvalitetsnivå. Råvannets kvalitetsnivå vil avgjøre barrierehøyden som er det sett av log reduksjoner vannverket må håndtere. b, v og p er en forkorting for bakterier, virus og parasitter.

	Vannverks- størrelse	Vannkvalitetsnivå i kilde			
		A	B	C	D
Barrierehøyde (nødvendig log- reduksjon i vannverket totalt)	< 1000	3,0b+3,0v+1,0p	4,0b + 4,0v +1,5	a. 4,5b+4,5v+1,5p b. 4,5b+4,5v+2,0p c. 4,5b+4,5v+2,5p	a. 5,0b+5,0v+2,0p b. 5,0b+5,0v+2,5p c. 5,0b+5,0v+3,0p
	1000 – 10000	3,5b+3,5v+1,5p	4,5b+4,5v+2,0p	a. 5,0b+5,0v+2,0p b. 5,0b+5,0v+2,5p c. 5,0b+5,0v+3,0p	a. 5,5b+5,5v+3,0p b. 5,5b+5,5v+3,5p c. 5,5b+5,5v+4,0p
	> 10000	4,0b+4,0v+2,0p	5,0b+5,0v+2,5p	a. 5,5b+5,5v+3,0p b. 5,5b+5,5v+3,5p c. 5,5b+5,5v+4,0p	a. 6,0b+6,0v+4,0p b. 6,0b+6,0v+4,5p c. 6,0b+6,0v+5,0p

Tabell 2: Sammenheng mellom barrierehøyde, anleggsstørrelse og kvalitetsnivå, dette er tabell 3.2. i GDP-veiledningen (Ødegaard et al. 2009)

På bakgrunn av kvaliteten på råvannet havner Farris i klasse B som gir nødvendig barrierehøyde:

$$5,0b + 5,0v + 2,5p$$

---

Vannet fra Farris kan risikere å bli klassifisert som klasse Cc etter hvert, hvis vannkvaliteten blir dårligere. Å klassifisere råvannet i klasse Cc direkte gjør at man ikke trenger å gjennomføre et omfattende kartleggingsprogram, man velger en ”føre var” linje. Ved klassifisering som Cc må vannverket ha høyere hygienisk sikkerhet. Nødvendig barrierehøyde vil da bli:

$$5,5b + 5,5v + 4,0p$$

#### **Log- kreditt tiltak i nedslagsfeltet**

I vannkilden og nedbørfeltet får vannverket logkreditt for tiltak tilsvarende:

$$1,25b + 1,25v + 1,0p$$

#### **Log kreditt i vannbehandling utover sluttdesinfeksjon**

I vannbehandlingen gis det logkreditt for koagulering/kontaktfiltrering som gir logkreditt:

$$3,0b + 3,0v + 2,0p$$

#### **Logkreditt utover desinfeksjon**

På bakgrunn i tiltak i nedbørfeltet og kilden, og vannbehandlingen oppnår VIV logkreditt på:

$$4,25b + 4,25v + 3,0p$$

For å klare barrierehøyden må vannet desinfiseres. Kloreringsanlegget må ha log- reduksjon på:

$$0,75b + 0,75v - 0,5p$$

med råvannskvalitet B. Hvis råvannskvaliteten havner i klasse Cc må sluttdesinfeksjonen oppnå log- reduksjon på:

$$1,25b + 1,25v + 1,0p$$

Kloreringsanlegget klarer en log- reduksjon på:

$$3,0b + 1,5v + 0,0p$$

Log- reduksjonen som oppnås for hele anlegget er:

$$7,25b + 5,75v + 3,0p$$

---

Det er høyere enn nødvendig barrierehøyde, og anlegget er derfor tilstrekkelig hygienisk sikret med råvannskvalitet B. Men hvis råvannskvaliteten blir dårligere vil nødvendig barrierehøyde bli høyere. Oppnådd log- reduksjon er ikke høy nok for parasitter med råvannskvalitet Cc. Det vil da bli nødvendig med ytterligere desinfeksjon for at vannet som produseres skal være tilstrekkelig sikret. Det vil da være nødvendig med ytterligere log 1 reduksjon for parasitter.

### **Desinfeksjonsmetoder som er effektive mot parasitter**

#### **UV- anlegg**

Med et UV- anlegg oppnås det maksimalt logkreditt på:

$$4,0b + 3,5v + 4,0p$$

Oppnådd logkreditt er forutsatt at man ikke får fratrukk på grunn av manglende tiltak i forbindelse med UV- anlegget, og at dosen må være  $40 \text{ mJ/cm}^2$  bestemt biosimetrisk. VIV vil da være tilstrekkelig sikret også mot parasitter, i tillegg til at sikkerheten mot bakterier og virus blir meget god.

#### **Ozon**

Ozon kan oppnå logkreditt på:

$$4,0b + 4,0v + 3,0p$$

Desinfeksjon med ozon er effektiv mot parasitten Giardia, men er dårligere mot Cryptosporidium, dosen som skal til for å oppnå høy log- reduksjon for Cryptosporidium blir høy. VIV mangler kun log 1 mot parasitter for å oppnå barrierehøyden, som vil være mulig med ozonering.

#### **Filtrering gjennom marmorgrus**

Ved ny prosess vil alkalisk filter gi logkreditt ved filterhastighet  $< 7,5 \text{ m/h}$  på:

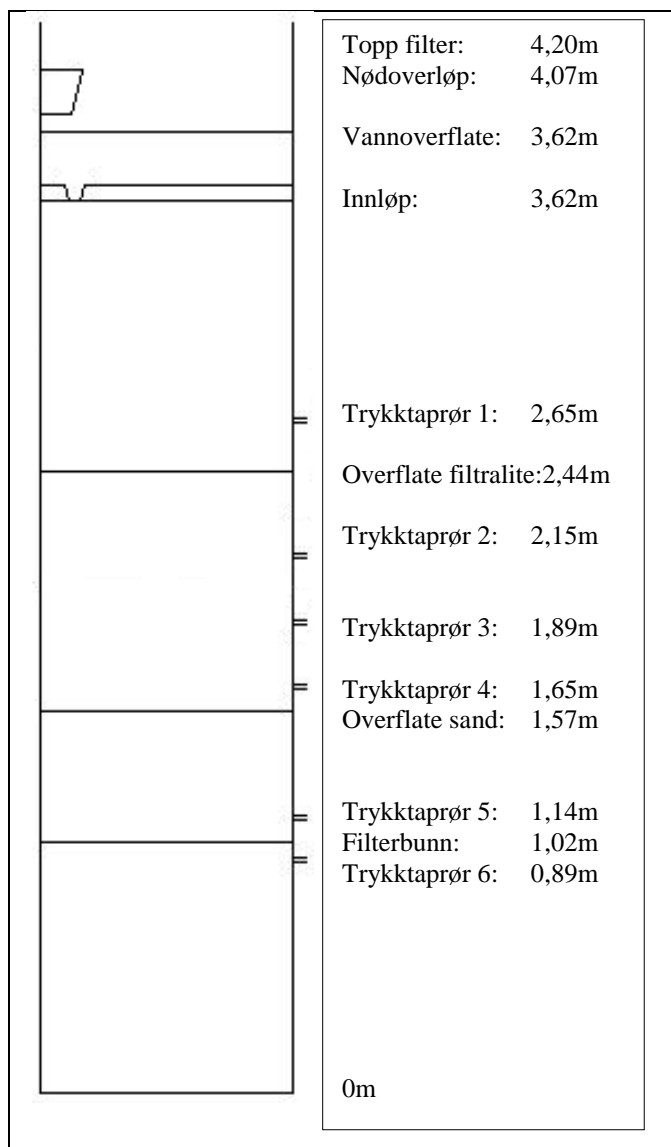
$$0,5b + 0,25v + 0,5p$$

---

## 4. Forsøksanlegget

Pilotanlegget hos VIV er plassert i samme bygg som råvannet kommer inn. En delstrøm fra råvannet ledes inn til pilotanlegget og mengden kan justeres med en frekvensstyrt pumpe. Vannet går videre fra pumpa og gjennom en manuell stengeventil, og en som blir automatisk styrt. Vannet ender opp i et målekar med V- overløp som kan brukes for avlesning av vannmengden, men nå brukes elektroniske vannmengdemålere istedenfor. Det er doseringspunkter for kjemikalier før og etter målekaret. Etter dosering av kjemikalier går vannet gjennom vannmengdemåleren og inn på filteret. Filteret er en stålsylinder som er 4,2 m høy, og har en diameter på 1 meter. Filteret kjøres nedstrøms. Filtermassen består av et lag sand nederst og et lag antrasitt øverst. Filteret har et smalt glassvindu i hele høyden for å kunne se inn på filtermaterialet. Det er også montert stigerør som går ut fra filteret i ulike høyder for å følge med på utviklingen av trykktapet. Ut av filteret reguleres vannmengden av en spjelventil som blir regulert av en pneumatisk aktuator. Vannmengden styres etter vannivået i filteret som skal holdes konstant, og det gjør at vannmengden gjennom filteret også holdes konstant ved at ventilen åpnes mer når trykktapet gjennom filteret øker. Vannet ender opp i et lite rentvannsbasseng. Kjemikaliene oppbevares i plasttønner. Doseringspumpene er frekvensstyrte for regulering av doseringsmengde, og fordi pumpene er relativt store i forhold til de mengdene som doseres må alle kjemikaliene tynnes ut med vann. Kontroll av doseringsmengde gjøres ved å måle forbruk i et stigerør som er montert på sugesiden av pumpa over tid. Ventilen ut av kjemikalietanken må stenges før målingen kan begynne. Måler så senkning i røret og tida, og regner enkelt ut mengde ved enkel forbruk/tid-beregning. CO<sub>2</sub> mengden reguleres med et rotameter, og mengden kontrolleres ved at beholderen med CO<sub>2</sub> står på en vekt. Anlegget er utstyrt med onlinemåling av fellings- pH, turbiditet og ledningsevne på rentvann, det er også trykktapsmåling i filteret. I tillegg har jeg brukt håndholdt pH meter for måling av pH ved felling og på rentvannet. Spyling av filteret går automatisk, og kan styres av turbiditet, trykktap eller på tid. Ved spyling brukes både luft og vann, og spylehastigheten kan reguleres. Har kjørt spyling så filteret ekspanderer omtrent 25 %, det tilsvarer en vannmengde i filteret på 27 m<sup>3</sup>/h. Spylehastigheten blir da i overkant av 34 m/h. Uttak av prøvevann gjøres før rentvannsbassenget.

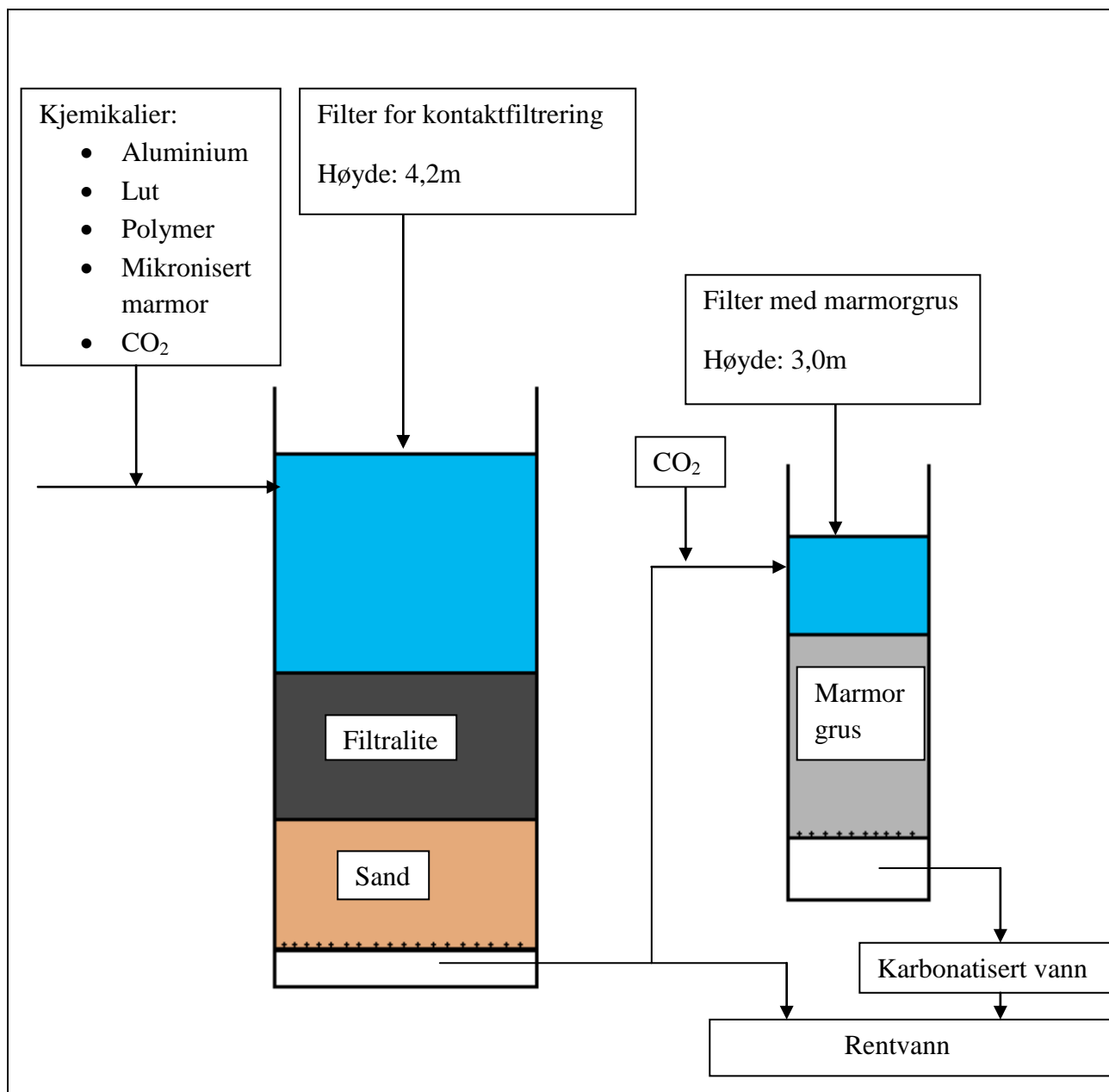
Anlegget er utvidet med et filter for testing av alkalisk masse. Dette filteret er 3 meter høyt og har en diameter på 0,35 meter. Filtermassen er marmorgrus fra Visnes kalk med produktnavn: Vannverksmarmor 1-3 mm. En delstrøm av vannet fra hovedfilteret ledes inn på marmorfilteret. Mengden reguleres med rotameter. CO<sub>2</sub> doseres inn på røret og blandes med vannet i en statisk mikser. Dette er også et nedstrømsfilter. Spyling av filteret gjøres manuelt ved å åpne og stenge de rette ventilene. Spylebehovet er lite, da det er rensed vann fra filteret som filtreres. Dosering av CO<sub>2</sub> reguleres på samme måte som for hovedfilteret. Uttak av prøvevann gjøres før rentvannsbassenget.



Figur 9 viser en skisse av filteret som brukes i pilotanlegget. Høydene som er lagt inn er regnet fra gulvet filteret står på.

**Figur 9: Skisse av filter i pilotanlegget**





Figur 10: Skisse over pilotanlegg, med alle doseringsmuligheter

#### 4.1 Driftsproblemer

Ventilene i anlegget er styrt av pneumatiske aktuatorer. Ventilen som regulerer vannmengden ut av filteret har det vært mye problemer med. Fant etter hvert ut at aktuatoren var veldig treg, og ikke greide å justere ventilen til riktig åpning. Det resulterte i at anlegget ikke greide å holde konstant nivå og vannstrøm gjennom filteret. Løsningen ble at jeg skrudde den fra hverandre, og gjorde den ordentlig ren for fett og smøring. Det ble også byttet O- ringer på stemplene som tettet bedre, og alle bevelige deler ble smurt opp igjen før montering i anlegget. Etterpå har det ikke vært problemer med ventilen. Fikk også bedre rutiner med å tappe av kondensvann i luftsystemet, unngikk derfor å få fuktig luft inn i aktuatorene, som også bidro til å løse problemet. Når det var problemer med aktuatoren ble det ikke tatt ut prøver fra anlegget, så ingen av resultatene mine skal være påvirket av dette problemet.

## 5. Prøverensing i pilotanlegget

### 5.1 Beskrivelse av forsøk

#### 5.1.1 Sammenligne dagens prosess med ny planlagt prosess

Ved dagens prosess gir dosering av mikronisert marmor og CO<sub>2</sub> råvannet høyere alkalitet når det skal felles ved bruk av aluminiumkoagulant. Alkaliteten gir vannet bedre bufferkapasitet, det vil si bedre motstand mot pH forandring, som da gjør det enklere og holde fellings- pH i det optimale området. I den nye prosessen vil ikke vannet få økt alkalitet når det felles, og det kan bli vanskeligere å holde fellings- pH i det optimale området. I forsøket har jeg sammenlignet de to prosessene mot hverandre, og jeg har da brukt restaluminium i rentvannet som indikator for hvor effektiv fellingen har vært. Lav restaluminium indikerer at fellingen har vært effektiv. For å måle fellings- pH ble det brukt et håndholdt pH- meter. Forsøkene skulle også avdekke lutbehovet til den nye prosessen. Forsøkene ble gjennomført med filterhastighet på 4- og 7 m/h med mikronisert marmor og med 10 m/h i tillegg i forsøkene med lut.

#### Forsøk med mikronisert marmor

I forsøkene ble det dosert konstant dose med PAX16, mikronisert marmor og polymer, CO<sub>2</sub> mengden ble variert for å endre fellings- pH. Forsøkene er nummerert som 1.1. og 1.2.

#### Forsøk med lut

I forsøkene ble det dosert konstant dose med PAX16 og polymer, mengden lut ble variert for å endre fellings- pH. Forsøkene er nummerert som 2.1., 2.2. og 2.3. Fordi dette er den nye planlagte prosessen ble det gjennomført to forsøksserier for hver filterhastighet.

Tabell 3 viser forsøksoppsett for alle sammenligningsforsøkene som er gjennomført.

Forsøksnummer	Filterhastighet m7h	PAX 16 gAl/m <sup>3</sup>	Polymer g/m <sup>3</sup>	Mikr.marmor g Ca/m <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> g/m <sup>3</sup>	Lut g/m <sup>3</sup>
1.1.*	4	1,6	0,12	6,5	Varies	
1.2.*	7	1,6	0,12	6,5	Varies	
2.1.*	4	1,6	0,12			Varies
2.1.1.	4	1,6	0,12			Varies
2.2.*	7	1,6	0,12			Varies
2.2.1.	7	1,6	0,12			Varies
2.3.	10	1,6	0,12			Varies
2.3.1.	10	1,6	0,12			Varies

Tabell 3: Forsøksoppsett for utprøving av dagens og ny planlagt prosess

\* = Forsøkene er gjennomført i forbindelse med semesteroppgave (Alvem 2009).

#### 5.1.2 Sykluslengde og trykktapsutvikling

Forsøkene har blitt gjennomført ved filterhastigheter på 4, 7 og 10 m/h. I dette filteret tilsvarer det vannmengder på henholdsvis 3,14-, 5,5- og 7,85- m<sup>3</sup>/h. For hver filterhastighet ble det tatt ut prøver gjennom filtreringsfasen til det ble gjennombrudd i filteret. Brukte online-

måleutstyr for turbiditet for å se når filtreringsfasen var i gang. Modningsfasen hadde en lengde på ca 45 til 90 minutter. Prøvene ble analysert, og resultater for turbiditet og restaluminium brukes for å vise hvor lang filtreringsfasen er for hver filterhastighet. I tillegg ble trykktapet gjennom filteret lest av underveis helt til det ble gjennombrudd i filteret. Når restaluminiuminnholdet og turbiditeten på vannet begynner å øke ut av filteret indikerer det filtergjennombrudd. Hvis filteret fungerer som det skal vil filtermassen da holde tilbake partikler i hele massen. Ved hjelp av trykktapskurver kan man se hvor i filteret partiklene holdes tilbake. I tabell 4 vises oversikt over forsøkene er gjennomført.

Forsøksnummer	Filterhastighet m7h	PAX 16 gAl/m3	Polymer g/m3	Lut g/m3
Sykluslengde 1	4	1,6	0,12	2,8 - 2,9
Sykluslengde 2	4	1,6	0	2,9
Sykluslengde 3	7	1,6	0,12	2,8
Sykluslengde 4	10	1,6	0,12	3,2

Tabell 4: Forsøksoppsett sykluslengde og trykktap

### 5.1.3 Filtrering gjennom marmorgrus

Forsøkene er gjennomført etter samme prosess som det er foreslått å bygge om til. Råvann blir rensed ved kontaktfiltrering der det benyttes PAX16 som koagulant og lut doseres for justering av pH. pH ble prøvd holdt konstant under forsøkene. Filterhastigheten ble holdt på 4 m/h i hovedfilteret under alle forsøkene. Det har liten betydning for vannkvaliteten hvilken hastighet som blir brukt, men det er mer praktisk å bruke lav filterhastighet for å få lange sykluser så man slipper å spyle for ofte. Det ble tatt ut en delstrøm som ble ført til marmorfilteret. Vannmengden gjennom filteret ble regulert etter hvor lang kontakttid vannet skulle ha med filtermassen. Det ble brukt fire kontakttider i filteret. En del av CO<sub>2</sub> mengden som ble dosert går tapt på grunn av dårlig innblanding, i resultatene har jeg regnet med 40 % tap av dosert mengde. Vannet ut av marmorfilteret har i hovedsak blitt analysert på korrosjonsparameterne kalsium, alkalitet og pH, men har også analysert for andre parametre for å se om filteret har andre effekter på rentvannet. Tabell 5 viser forsøkene som er gjennomført med marmorfilteret.

Forsøksnummer	Filterhastighet m7h	PAX 16 gAl/m3	Polymer g/m3	Lut g/m3	Kontakttid marmorgrus min	CO2 g/m3
3	4	1,6	0,12	2,6 - 3,1	6	Varies
4	4	1,6	0,12	2,6 - 3,2	10	Varies
5	4	1,6	0,12	2,8 - 3,1	15	Varies
6	4	1,6	0,12	2,8 - 3,2	20	Varies

Tabell 5: Forsøksoppsett marmorfiltrering

### 5.1.4 Utblanding av kjemikalier som ble brukt i forsøkene

Tabell 6, 7, 8 og 9 viser utblanding av kjemikaliene som er brukt i forsøkene.

#### PAX16

Spes. Vekt av PAX16 Al. konsentrasjon			1,3 kg/l 8%	
Liter vann Til liter PAX16 Kg	Total vekt PAX 16 + vann kg	Volum PAX16 + vann liter	Spes. Vekt av blandingen kg/l	Al- mengde i blandingen g/l
4,0	5,3	5,0	1,06	20,8

Tabell 6: Utblanding av PAX16

#### Lut

Spes. vekt av lut Konsentrasjon Lut i 50%- blanding				1,524 kg/l 50% 0,762 kg/l	
Liter vann til liter 50% lut	Total vekt lut + vann kg	Lutmengde 100% kons. g/l	Kons. Lut %	Mengde lut + vann liter	Spes. vekt av blanding kg/l
15,0	16,524	48	4,6	16,0	1,033

Tabell 7: Utblanding av lut

#### Mikronisert marmor

Konsentrasjon av mikr. marmor før utbl: Spes. vekt av mikr. marmor:				75% 1,9 kg/l	
Liter vann til liter mikr. marmor	Total vekt mikr. marmor + vann kg	Volum mikr. marmor + vann liter	Spes. vekt av blandingen kg/l	Marmor i blandingen kg/l	Kalsium mengde i blandingen g/l
30,0	31,9	31,0	1,029	0,061	24,5

Tabell 8: Utblanding av mikronisert marmor

#### Polymer

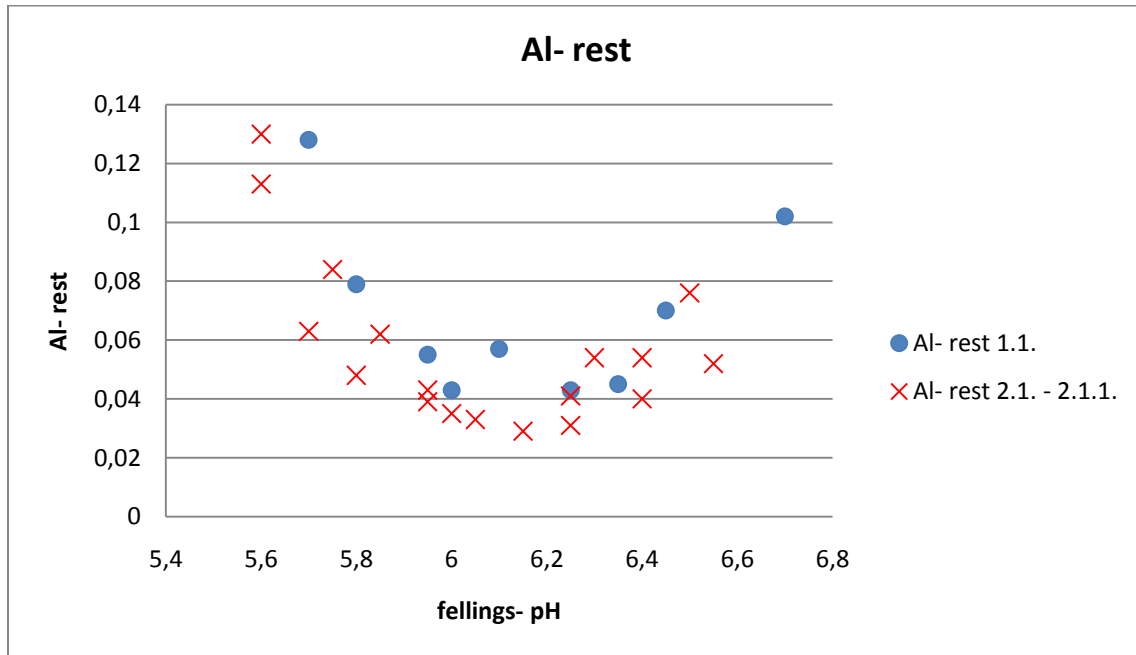
Spesifikk vekt			0,8 kg/l		
Liter vann til liter polymer	Total vekt polymer + vann kg	Volum polymer + vann liter	Spes. vekt av blandingen kg/l	Polymer i blandingen kg/l	
200	200,8	200	0,999	0,0040	

Tabell 9: Utblanding av polymer

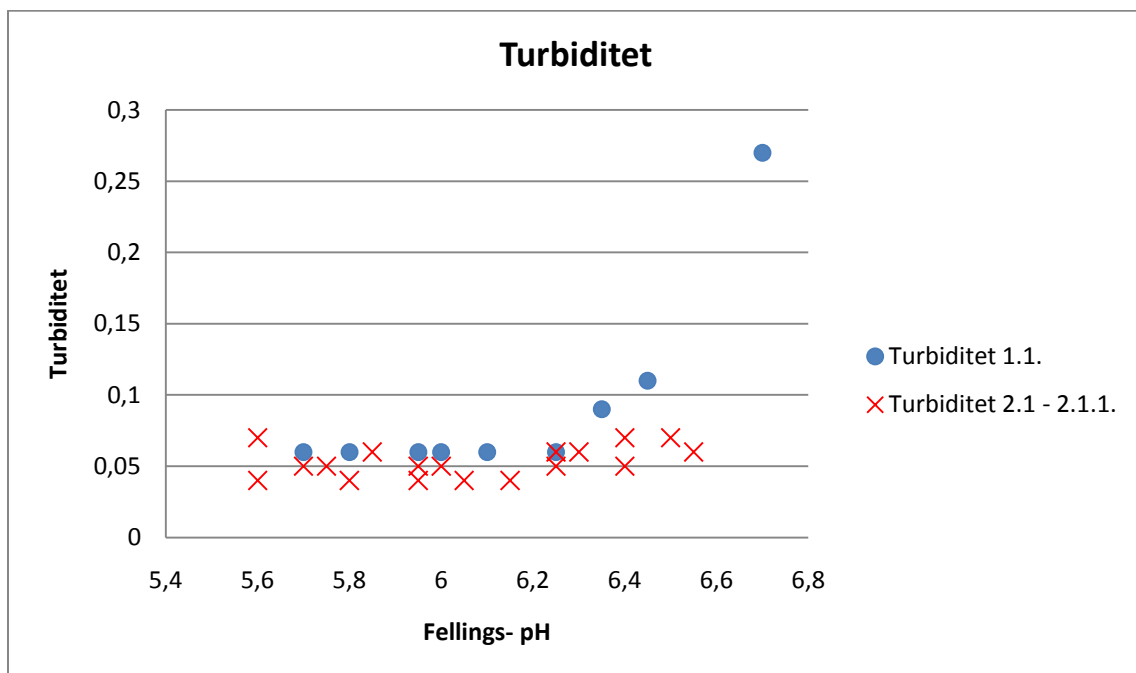
## 6. Resultater

### 6.1 Sammenligne dagens prosess med ny planlagt prosess Filterhastighet 4 m/h

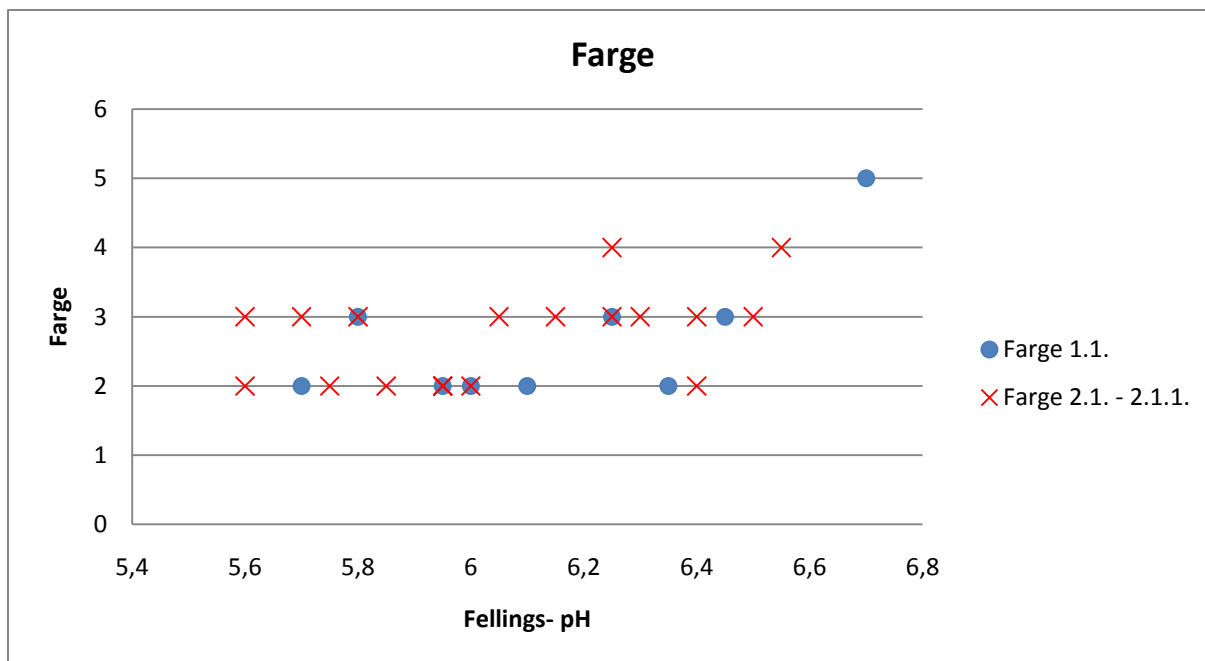
Figurene 11, 12, 13 og 14 viser resultatene ved sammenligning av dagens prosess (blå farge) og ny planlagt prosess (rød farge) ved filterhastighet på 4 m/h. Resultatene er fra forsøk 1.1, 2.1. og 2.1.1.



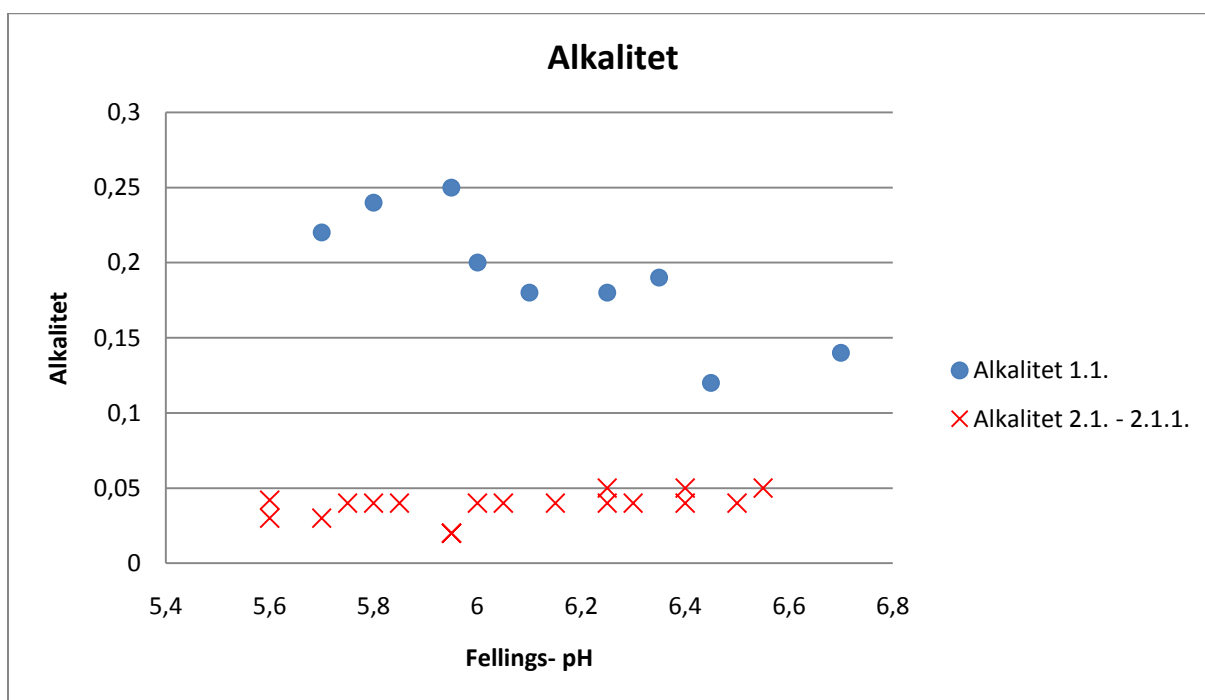
Figur 11: Aluminiumrest, sammenligning ved 4 m/h



Figur 12: Turbiditet, sammenligning ved 4 m/h



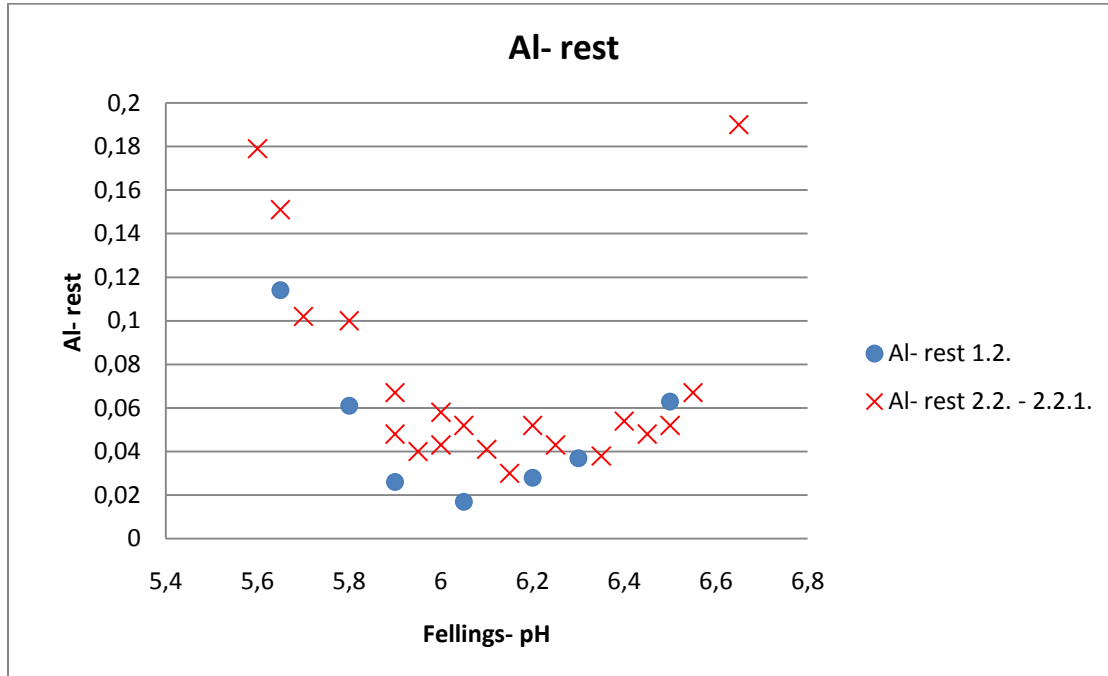
Figur 13: Farge, sammenligning ved 4 m/h



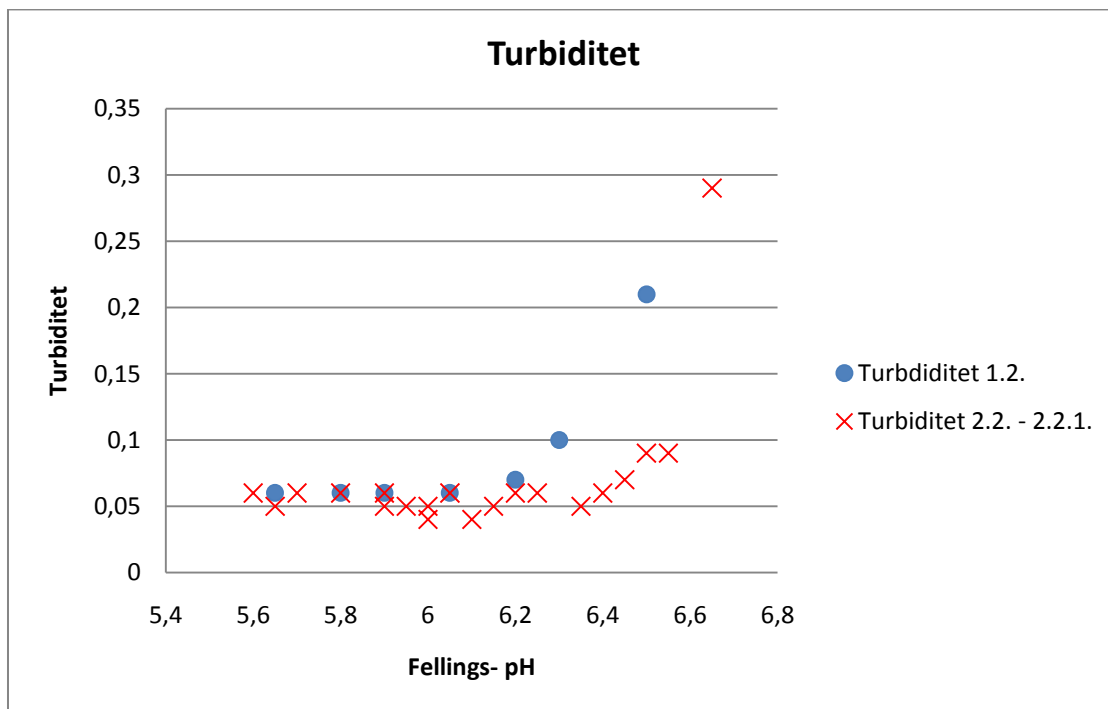
Figur 14: Alkalitet, sammenligning ved 4 m/h

### Filterhastighet 7 m/h:

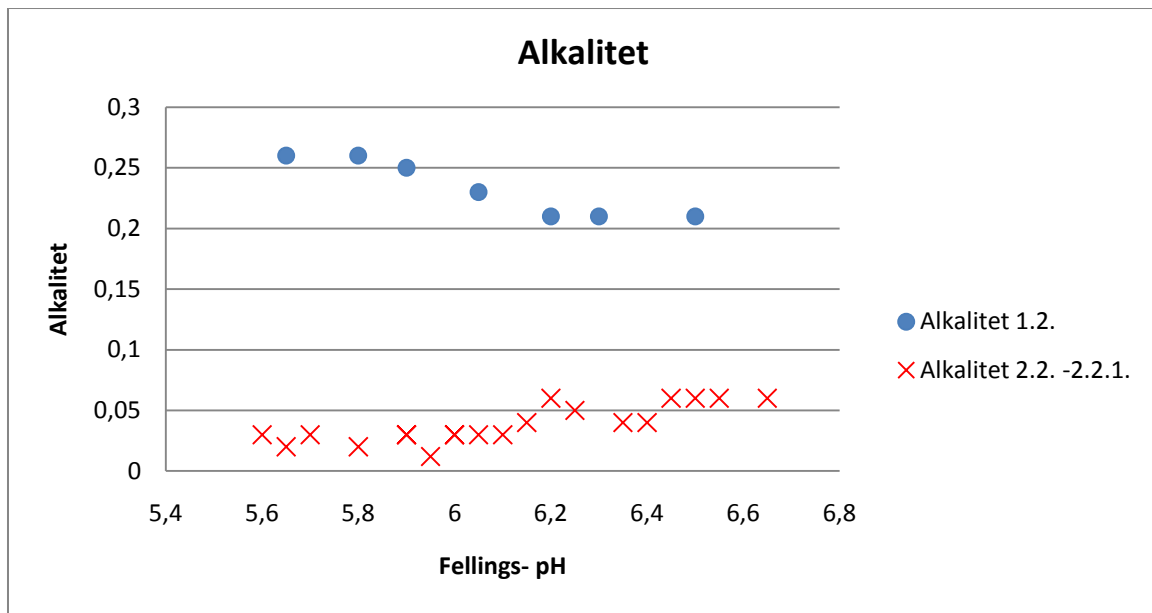
Figurene 15, 16, 17 og 18 viser resultatene ved sammenligning av dagens prosess (blå farge) og ny planlagt prosess (rød farge) ved filterhastighet på 7 m/h. Resultatene er fra forsøk 1.2, 2.2. og 2.2.1.



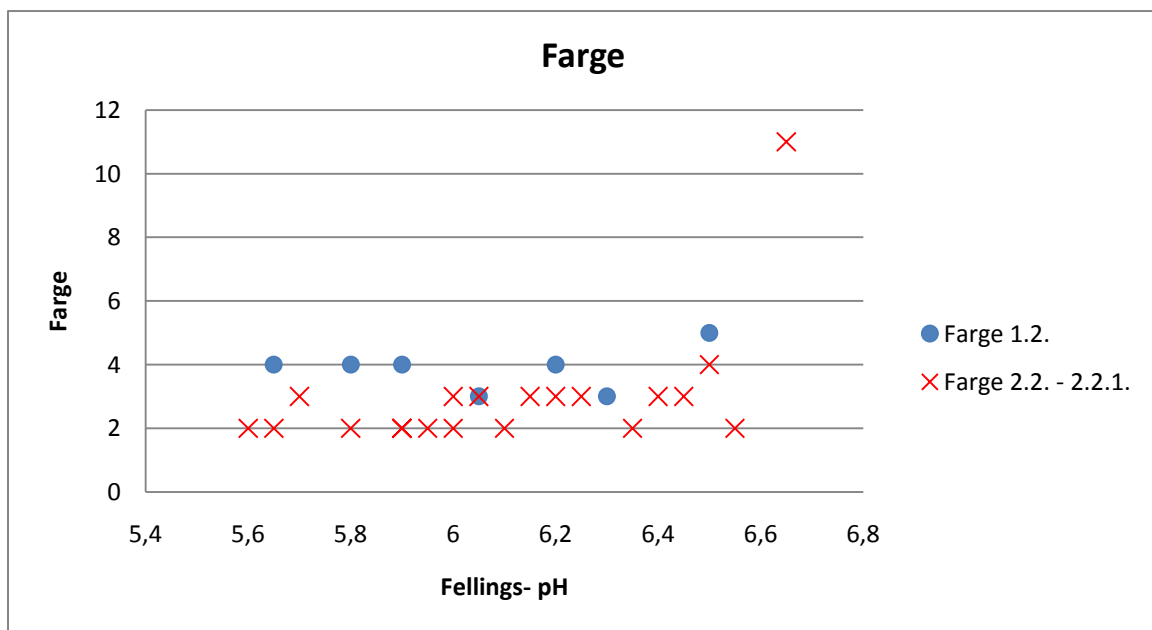
Figur 15: Aluminiumrest, sammenligning ved 7 m/h



Figur 16: Turbiditet, sammenligning ved 7 m/h



Figur 17: Alkalitet, sammenligning ved 7 m/h

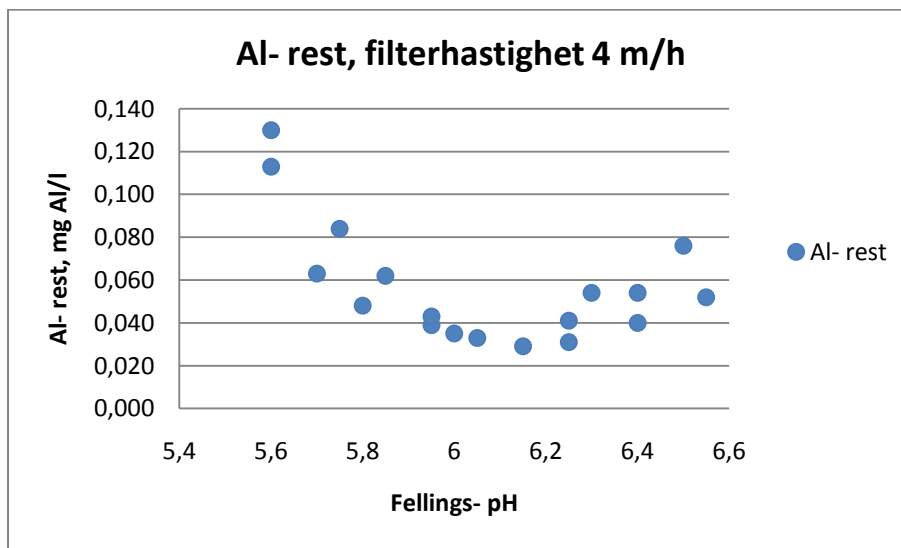


Figur 18: Farge, sammenligning ved 7 m/h

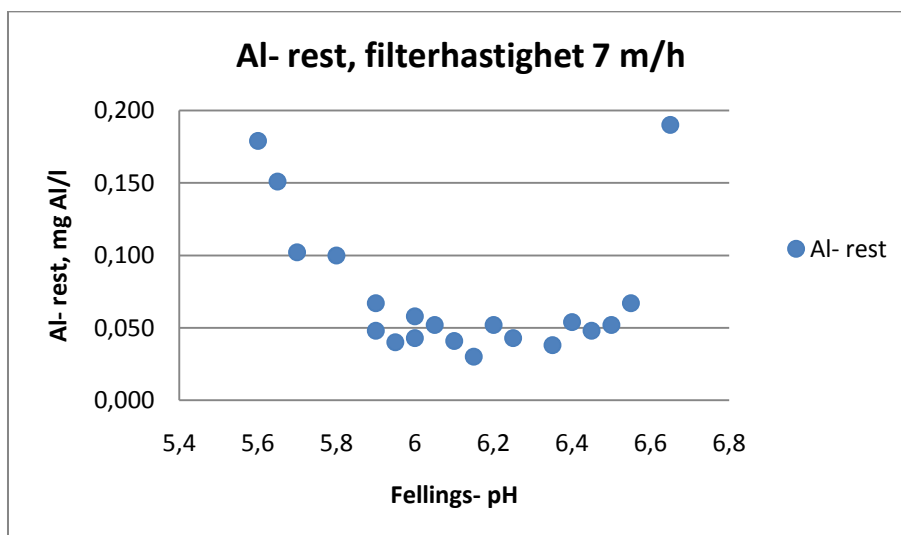


## 6.2 Bestemme optimal fellings- pH med ny prosess

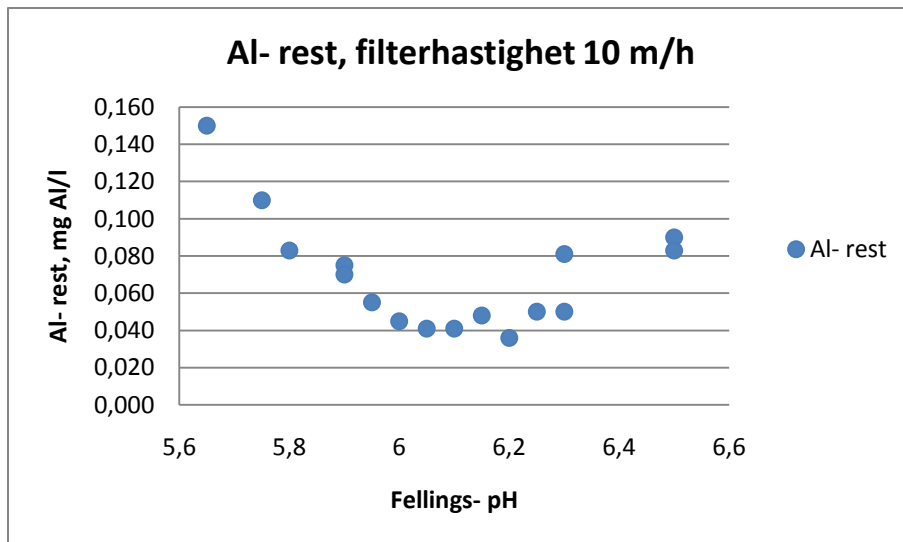
Figurene 19, 20 og 21 viser restaluminiuminnholdet i vannet etter felling ved ulike fellings- pH ved tre filterhastigheter. Resultatene er fra forsøk 2.1. til 2.3.1.



Figur 19: Aluminiumrest, filterhastighet 4 m/h



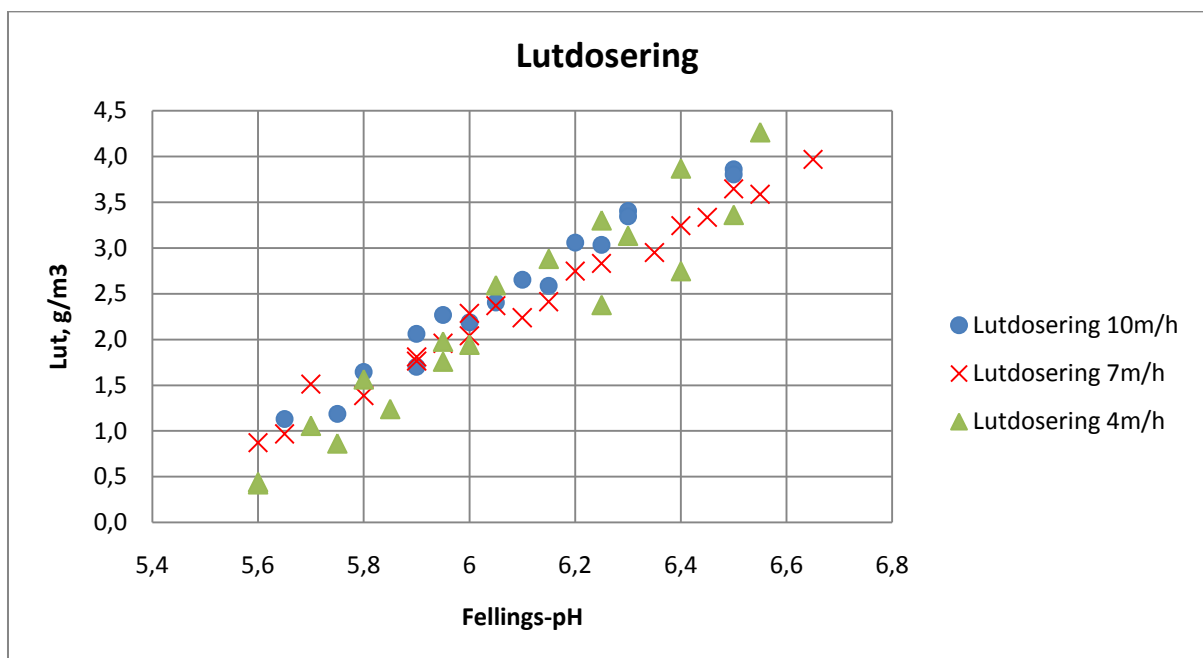
Figur 20: Aluminiumrest, filterhastighet 7 m/h



Figur 21: Aluminiumrest, filterhastighet 10 m/h

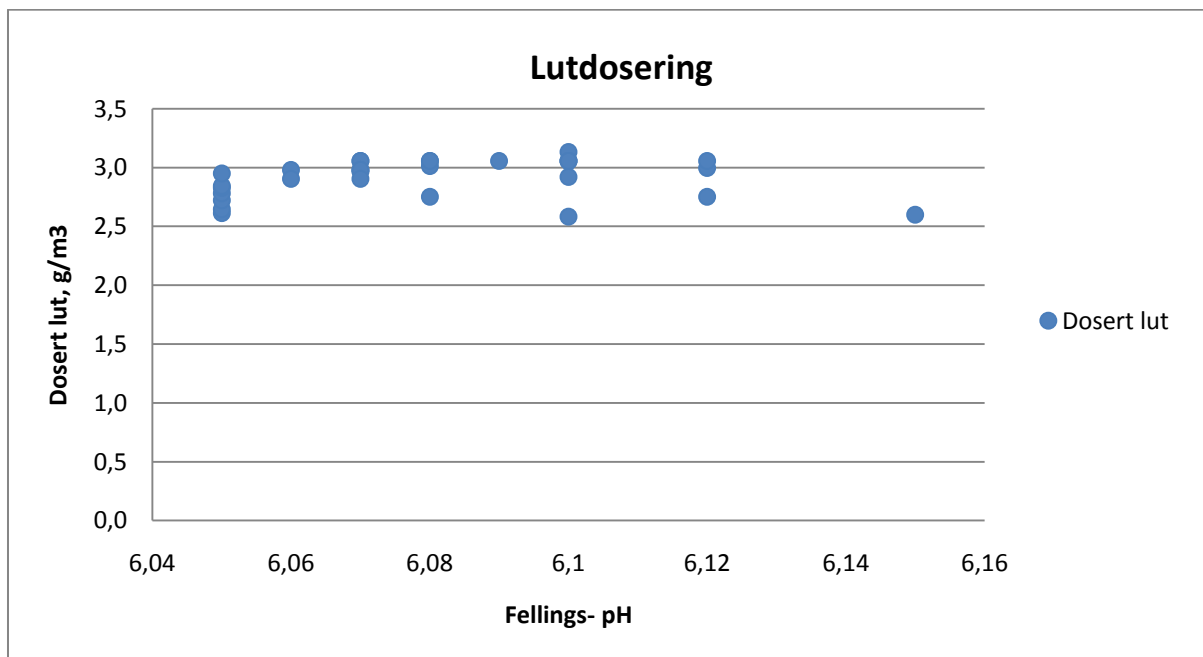
### 6.3 Lutmengde for optimal fellings- pH

Figur 22 viser lutmengden som ble dosert for å justere fellings- pH i forsøkene ved sammenligning av de to prosessene. Resultatene er fra forsøk 2.1 til 2.3.1.



Figur 22: Lutdosering ved forsøk 2.1 til 2.3

Ved forsøkene med marmorfilteret ble det kjørt konstant vannmengde i hovedfilteret, og pH ved felling ble prøvd holdt konstant. Figur 23 viser hvilke lutmengder som ble brukt og hva pH ved felling ble målt til i forsøk 3, 4, 5 og 6.

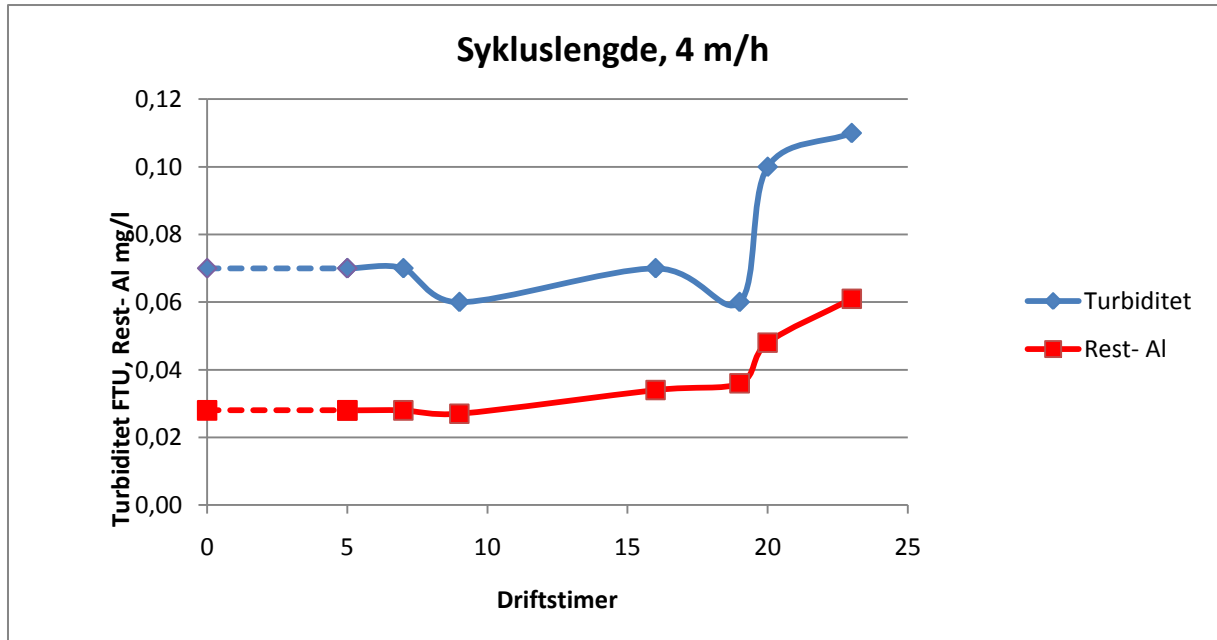


Figur 23: Lutdosering i forsøk 3 til 6

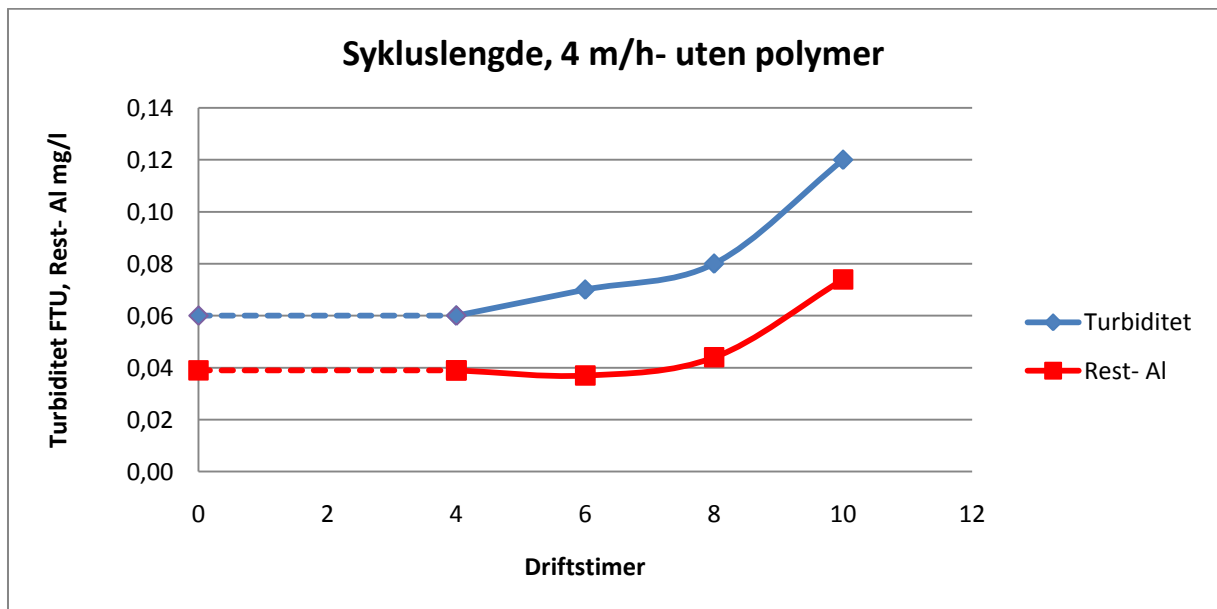
## 6.4 Sykluslengde

Figur 24, 25, 26 og 27 viser hvordan innholdet av restaluminium og turbiditet utvikler seg over tid ved ulike filterhastigheter. Stiplet linje antyder forventet verdi av turbiditet og restaluminium, da det ikke ble tatt ut prøver før hel linje begynner.

### Filterhastighet 4 m/h:

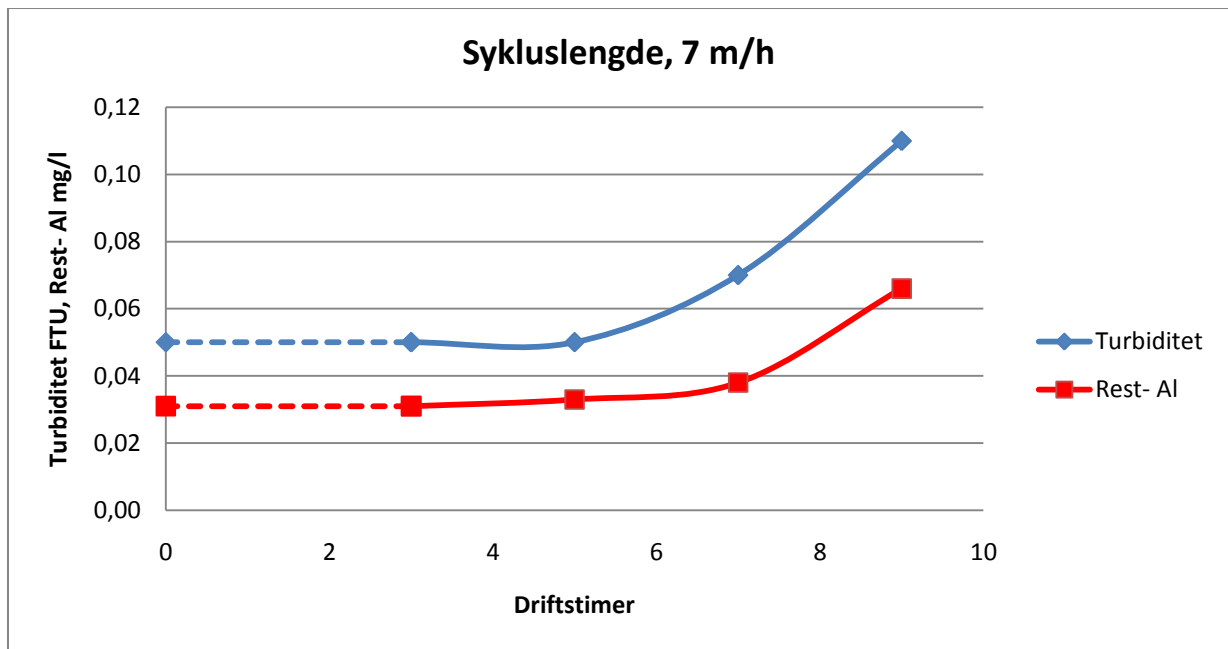


Figur 24: Målt sykluslengde ved filterhastighet 4 m/h



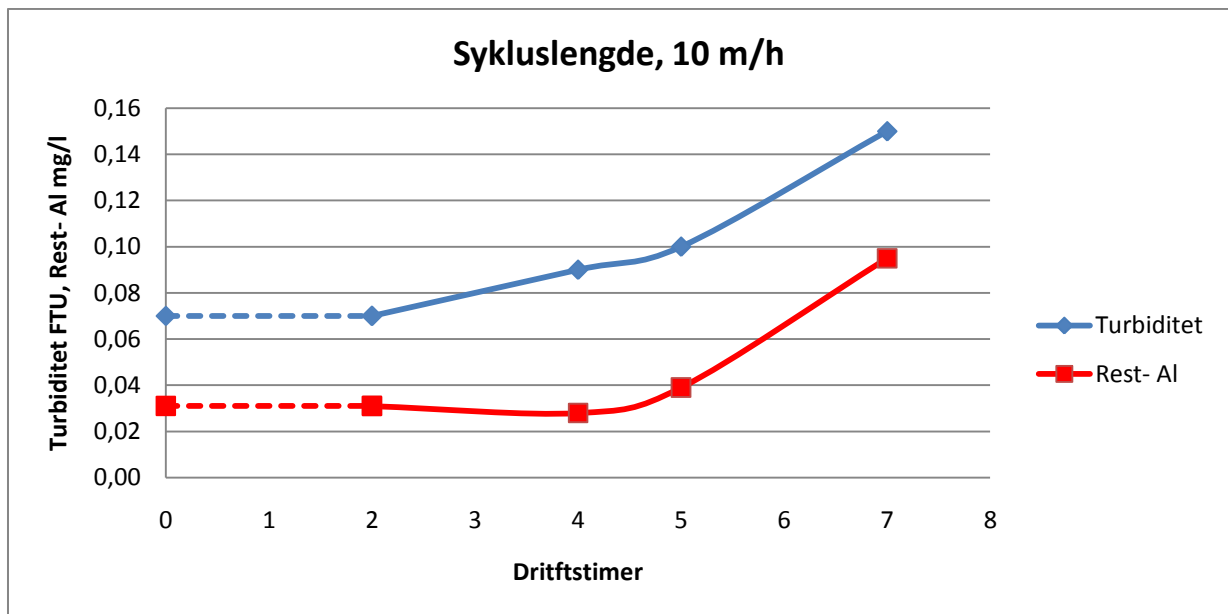
Figur 25: Målt sykluslengde ved filterhastighet 4 m/h uten polymer

### Filterhastighet 7 m/h:



Figur 26: Målt sykluslengde ved filterhastighet 7 m/h

### Filterhastighet 10 m/h:

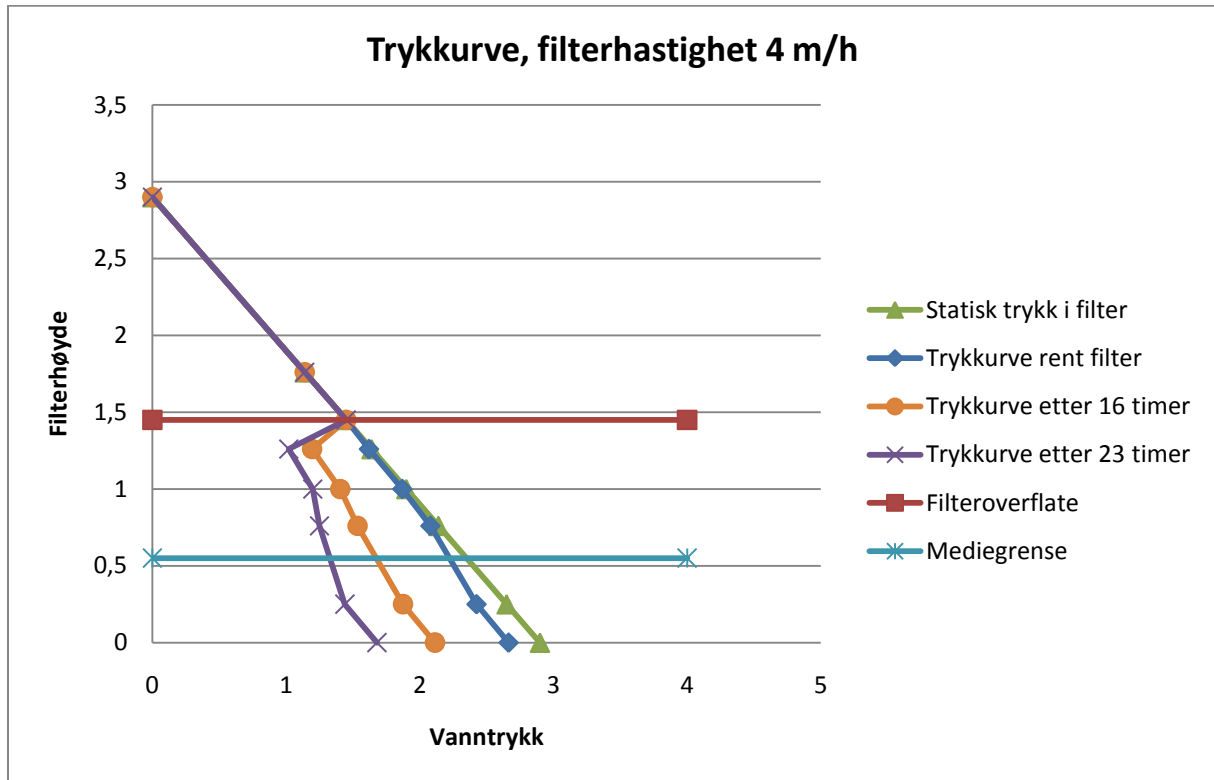


Figur 27: Målt sykluslengde ved filterhastighet 10 m/h

## 6.5 Trykktapsutvikling

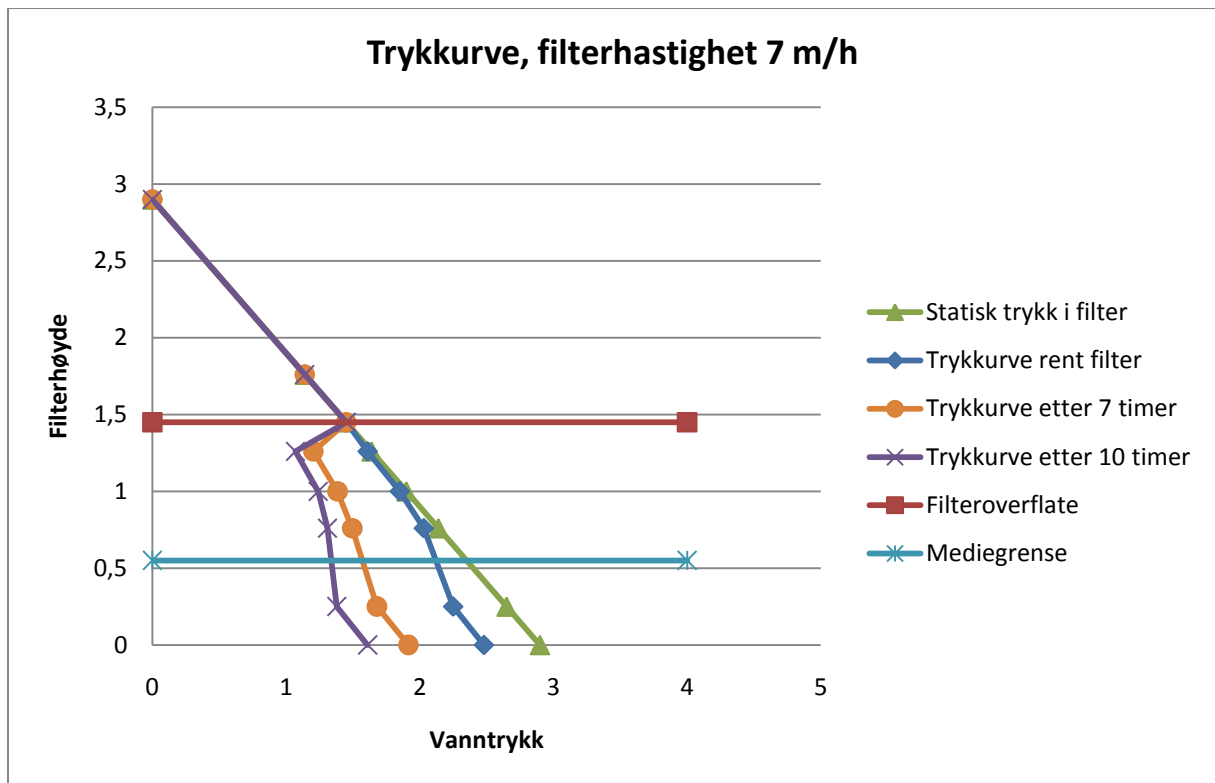
Figur 28, 29 og 30 viser trykktapsutviklingen i hovedfilteret ved ulike filterhastighet. Målingene er gjennomført samtidig som sykluslengdeforsøkene.

**Filterhastighet 4 m/h:**



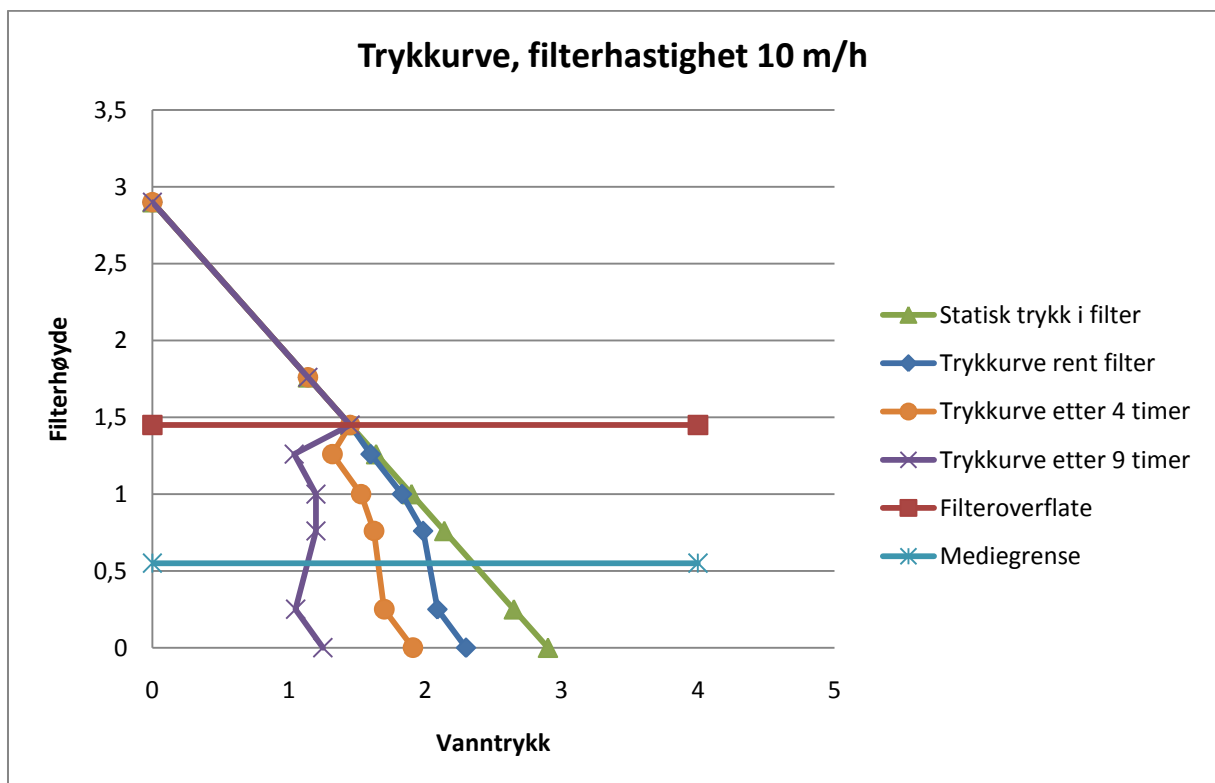
Figur 28: Trykktapsutvikling i filter ved 4 m/h

**Filterhastighet 7 m/h:**



Figur 29: Trykktapsutvikling i filter ved 7 m/h

**Filterhastighet 10 m/h:**

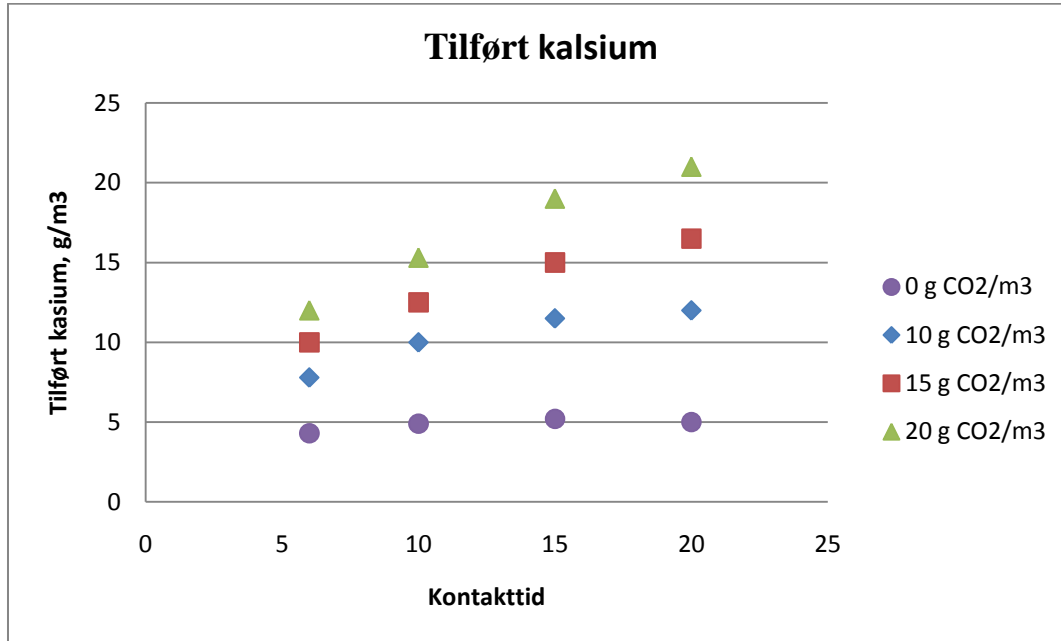


Figur 30: Trykktapsutvikling i filter ved 10 m/h

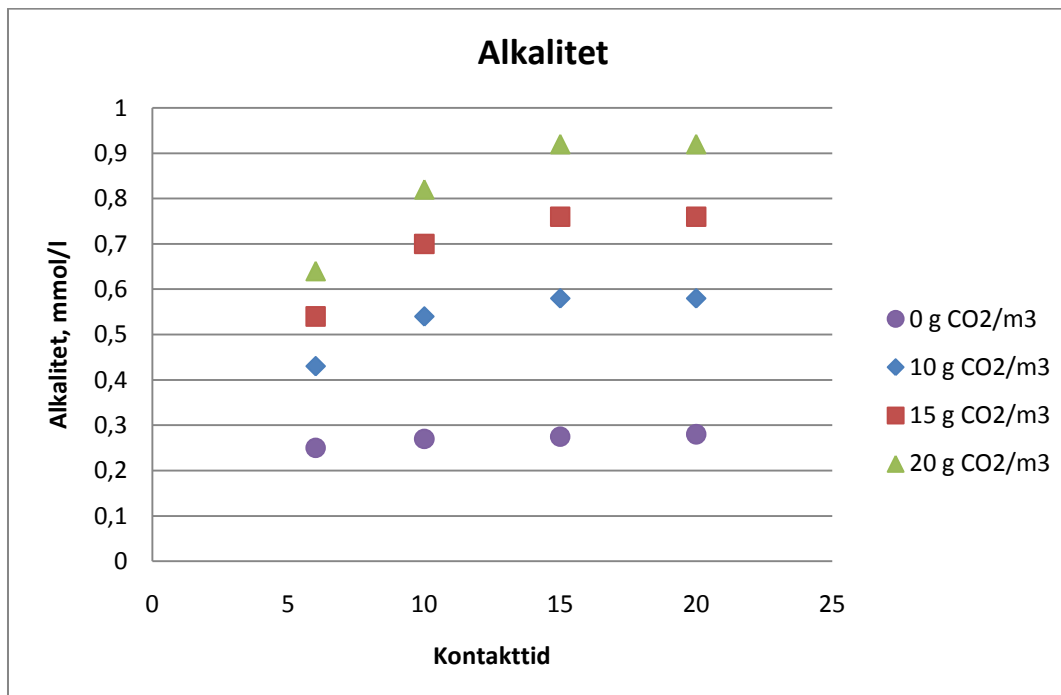
## 6.6 Resultater fra forsøk med marmorfilter

### 6.6.1 Kalsium, alkalitet og pH etter marmorfilter

Figurene 31 og 32 viser hvor mye kalsium og alkalitet som ble tilført vannet etter filtrering gjennom marmorfilteret ved forskjellige CO<sub>2</sub>-doser og kontakttider i forsøk 3, 4, 5 og 6



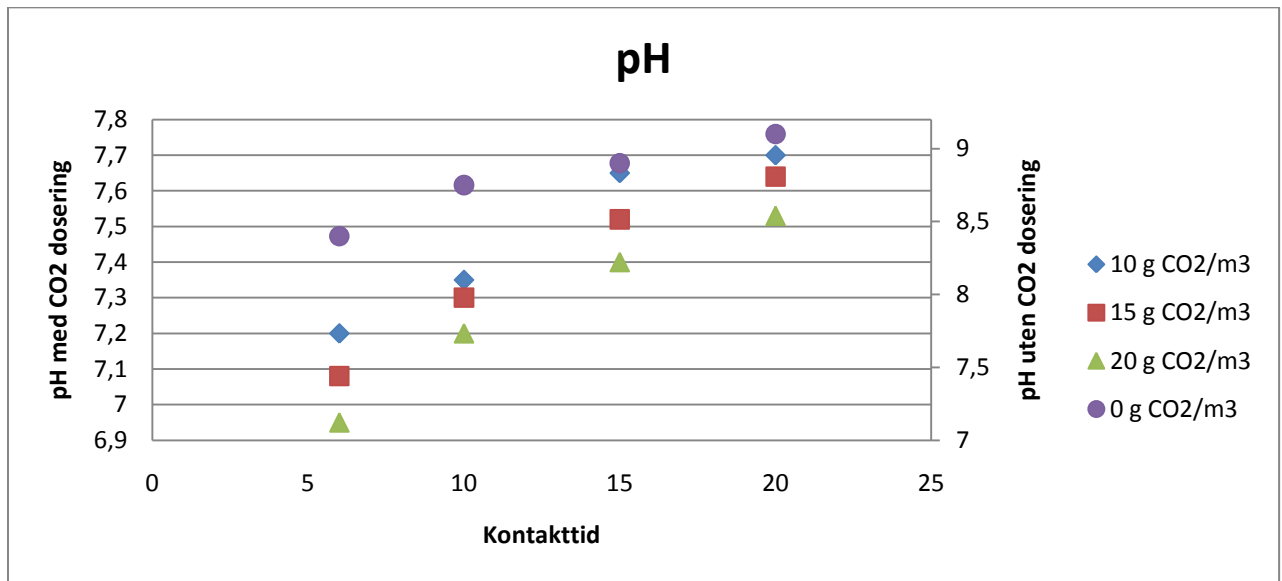
Figur 31: Tilført kalsium



Figur 32: Tilført alkalitet



Figur 33 viser pH på filtrert vann etter marmorfilter i forsøk 3, 4, 5 og 6. pH etter filtrering uten dosering av CO<sub>2</sub> er vist på sekundæraksen i figuren.

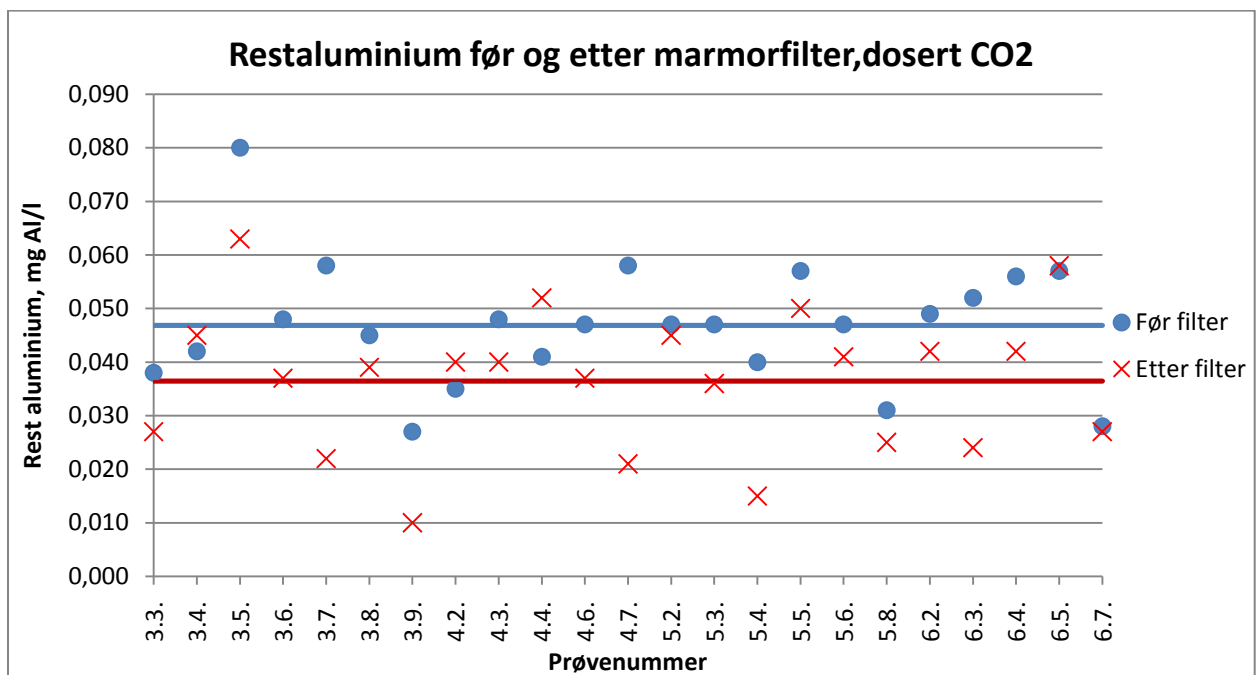


Figur 33: pH etter filtrering

## 6.6.2 Hvordan påvirker marmorfilteret andre parametre

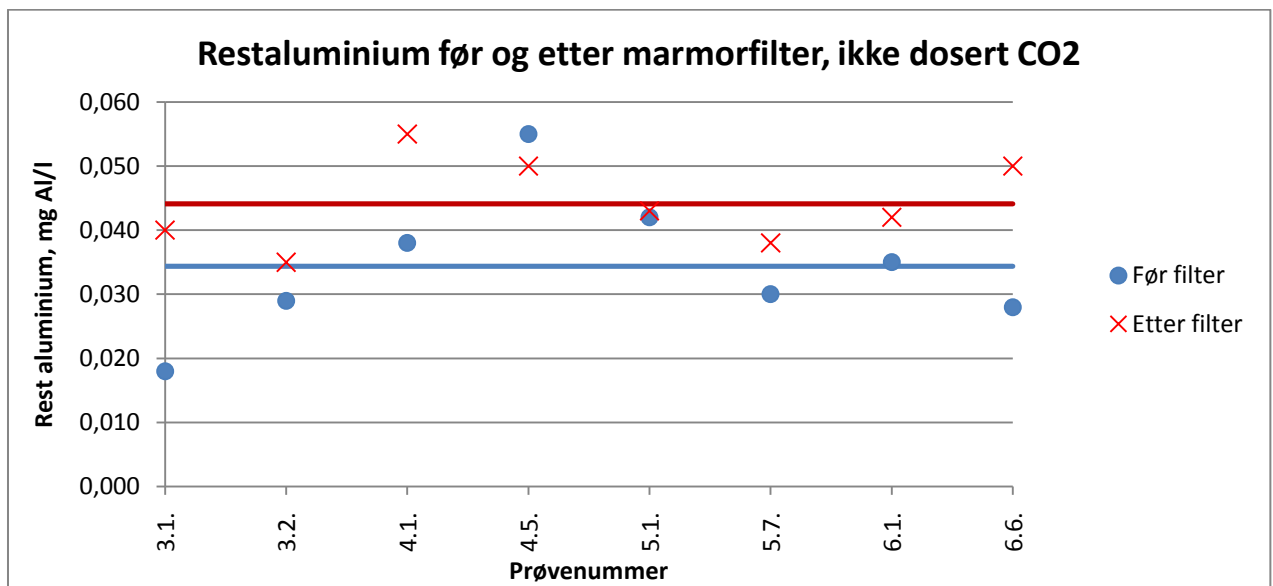
### Rest- Aluminium

Figur 34 viser restaluminiuminnholdet før og etter marmorfilteret i de forsøkene der det ble dosert CO<sub>2</sub> til vannet før filteret. Gjennomsnittlig restinnhold er 0,047 mg Al/l før filter, og 0,036 mg Al/l etter filter.



Figur 34: Restaluminium før og etter filter, dosert CO<sub>2</sub>

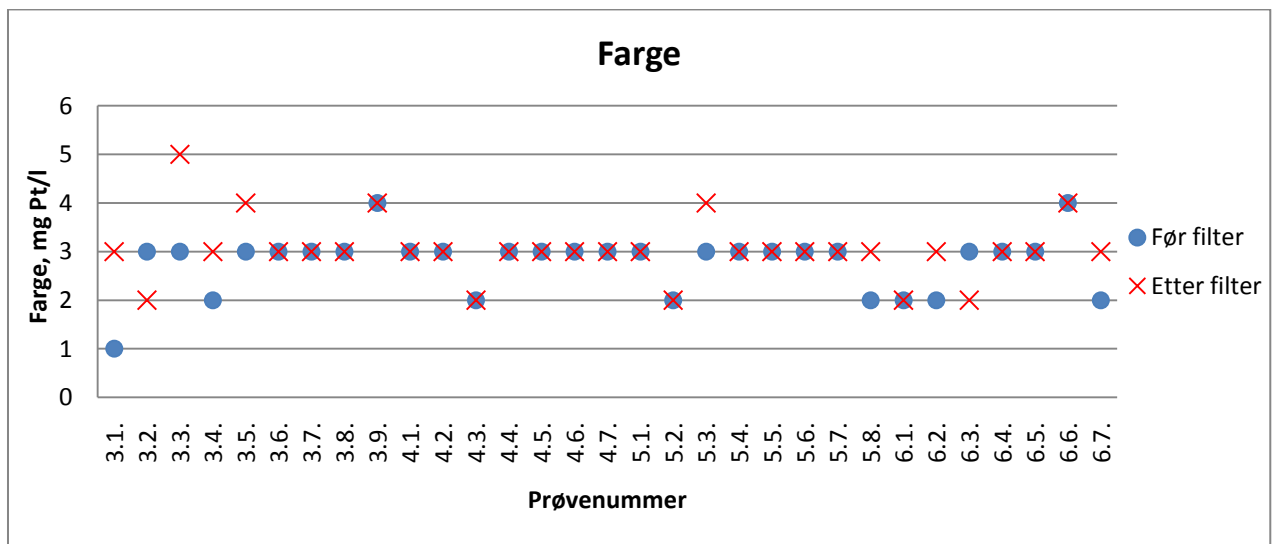
Figur 35 viser restaluminiuminnholdet før og etter marmorfilteret i de forsøkene der det ikke ble dosert CO<sub>2</sub> til vannet før filteret. Gjennomsnittlig restinnhold 0,034 mg Al/l før filter, og 0,044 mg Al/l etter filter.



Figur 35: Restaluminium før og etter filter, ikke dosert CO<sub>2</sub>

## Farge

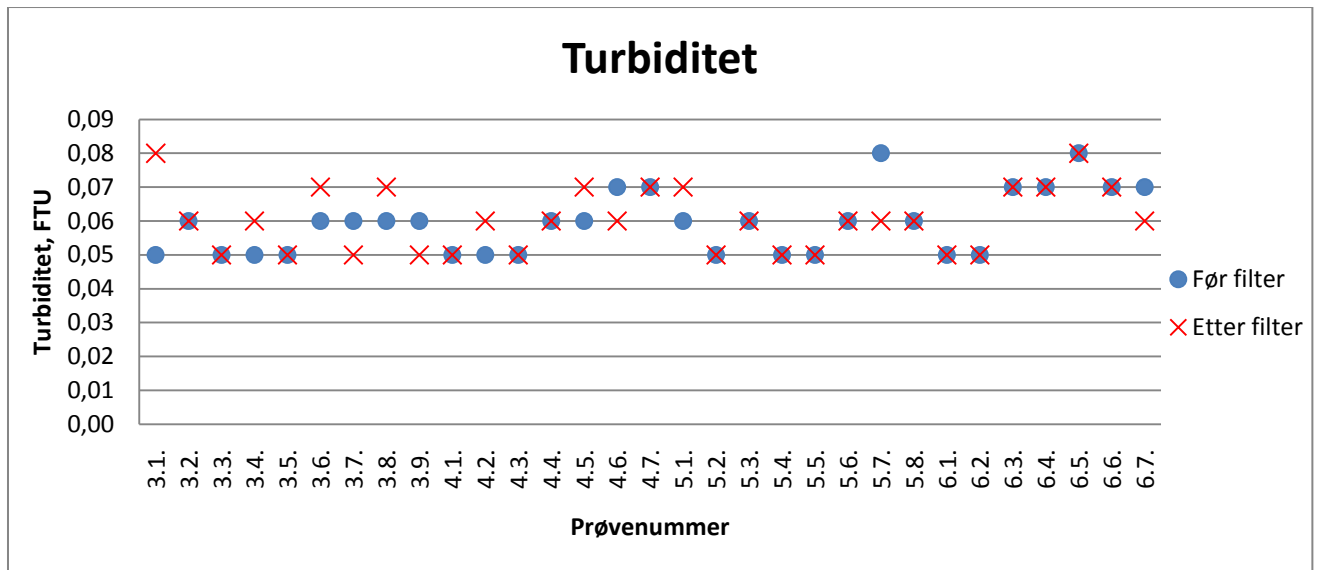
Figur 36 viser vannets fargetall i mg Pt/l før og etter marmorfilteret.



Figur 36: Farge før og etter marmorfilter

## Turbiditet

Figur 37 viser vannets turbiditet i FTU før og etter marmorfilteret.



Figur 37: Turbiditet før og etter marmorfilter

---

## 7. Diskusjon

### 7.1 Sammenligning av dagens prosess mot ny planlagt

Sammenligning av de to prosessene ble gjennomført ved 4 m/h og 7 m/h. Hovedforskjellen er at alkaliteten på vannet ved felling er ulik. Dagens prosess gir høyere alkalitet ved felling enn når det brukes lut for justering av pH. Det er CO<sub>2</sub> og karbonat fra mikronisert marmor som bidrar til at vannet får høyere alkalitet i dagens prosess. I den nye prosessen er det ingen kjemikalier som tilsettes som gir høyere alkalitet. Sammenligningen av kvaliteten på rentvannet viser at det er liten forskjell for farge og turbiditet ved optimal fellings- pH. I forsøket med dagens prosess ble CO<sub>2</sub> dosen variert for å endre pH. Det har gjort at alkaliteten har blitt lavere ved høyere pH, på grunn av lavere CO<sub>2</sub> dose, og at turbiditeten også har blitt høy fordi CO<sub>2</sub> innholdet i vannet vil avgjøre hvor mye av den mikroniserte marmoren som kan løses opp. Vurderingen av restaluminiuminnhold og optimalt fellingsområde viser at det er liten forskjell mellom de to prosessene.

### 7.2 Fellings- pH med ny prosess

Resultatene viser at optimal fellings- pH er i området fra 5,9 til 6,4. Det er et relativt bredt område som er positivt ved at fellingen fungerer bra selv om pH varierer en del. Det gjør det enklere å kjøre renseanlegget optimalt. Det kan være mulig å redusere koagulantdosen noe, men det vil føre til at det optimale fellingsområdet blir smalere, og derfor vanskeligere å drifte. Etter felling skal vannet filtreres gjennom marmorgrus, og det vil være best om vannet er så surt og aggressivt som mulig, det vil derfor være anbefalt å felle vannet ved så lav pH som mulig. Det vil også gjøre at mengden lut som må doseres for pH justering ved felling blir mindre.

### 7.3 Lutmengde

Nødvendig mengde lut ser ut til å være omtrent 2,5- 3 g/m<sup>3</sup>. På grunn av høy fortykning av luten vil det være noe usikkerhet rundt mengdene som er brukt. Lutdoseringen har blitt brukt til å justere pH ved felling, og som resultatene viser må dosen varieres noe for å kunne holde konstant pH. Men på grunn av bredt fellingsområde vil det nok ikke ha stor betydning for om prosessen er enkel å styre. Det bør vurderes om det er tilstrekkelig at lutdosering bare justeres mengdeproporsjonalt, eller om det bør legges inn styring som tar hensyn til råvannets pH og pH ved felling. Resultater fra alle forsøkene med den nye planlagte prosessen viser at lutmengden som har blitt dosert for å holde pH konstant ved felling varierer fra ca 2,6- til 3,2 g/m<sup>3</sup>. Det kan bety at alkaliteten på vannet ved felling er såpass lav at det kan være vanskelig å holde pH konstant over tid. Fordi det er vanskelig å justere og måle dosering av kjemikalier i pilotanlegget kan det også være at for eksempel dosering av PAX16 har variert noe, som også vil endre pH, og derfor gi ulikt behov for lutmengde for å heve pH til ønskelig nivå. De forsøksseriene som er kjørt på samme dag med de samme kjemikaliemengdene har mye mindre variasjon i lutmengden som ble dosert. I sykluslengdeforsøkene er dosert lutmengde omtrent den samme gjennom hele forsøket og pH har variert lite. Ved gjennomføring av disse forsøkene har det vært enkelt å holde konstant pH, men det har vært mer vanskelig å dosere riktig mengde lut når forsøkene har gått over flere dager.

---

## 7.4 Sykluslengde

Sykluslengden forteller hvor lengde filteret kan være i drift før det må spyles. Spyling på tid er det mest hensiktsmessige, da man unngår problemer med at flere filter går i gjennombrudd på likt, og da havner i spylekø. I pilotanlegget ble det prøvd ut tre ulike filterhastigheter; 4 m/h, 7 m/h og 10 m/h. Ved 4 m/h ble det også prøvd ut hvordan sykluslengden ble påvirket hvis det ikke doseres polymer. For å bestemme starten på filtreringsperioden har onlinemålingen av turbiditeten på rentvannet blitt benyttet. Filterets modningstid er ikke regnet inn i sykluslengden. Modningstiden har variert fra omtrent 45 til 90 minutter. Måling av restaluminium og turbiditet underveis viser når filteret går i gjennombrudd. Ved filterhastighet på 4 m/h blir sykluslengden opp mot 19 timer med polymer og åtte timer uten polymer. Dosering av polymer fører til at sykluslengden mer enn dobles. Ved filterhastighet på 7 m/h blir sykluslengden opp mot sju timer. Og for filterhastighet 10 m/h blir sykluslengden opp mot fem timer. I forhold til hovedanlegget på Seierstad vil det gå bra å kjøre med så høy filterhastighet. Filtersalen består av seks filter som kan kjøres kontinuerlig. Hvert filter går da med syklus på fem timer drift pluss en time spyling. Da vil det være fem filter i drift til enhver tid, og ett i spyling. Så høy filterhastighet vil kun være nødvendig når Seierstad må produsere vann til hele VIV- regionen.

## 7.5 Trykktap i filter

For å se hvordan forurensingene i filteret bygger seg opp gjennom syklusen benyttes stigerør på filterkolonnen. Stigerørene er plassert i ulik høyde i filteret for å lese av det aktuelle trykket i en bestemt filterhøyde. Hvis filtermassen fungerer optimalt vil forurensninger holdes tilbake i hele filtermassen. Resultatene fra kolonnen i pilotanlegget viser at filteret ikke holder tilbake forurensninger i hele filtermassen før det går i gjennombrudd. Det ser ut som nedre del av det øverste laget med antrasitt ikke holder tilbake noe særlig av forurensningene. Det som slipper igjennom det øverste laget, holdes igjen i lag to. Forklaringen kan være at det øverste filterlaget har blitt gradert ved at de minste partiklene har lagt seg øverst, og de største ligger mot bunnen, som også til dels er synlig i vinduet på filterkolonnen. Det er også godt synlig at de to filtermaterialene er blandet sammen i skillet mellom dem. Det er vanskelig å si om det gjør at filteret fungerer dårligere, men trykktapet gjennom det laget blir nok påvirket i noe grad. Hvis hele filteret hadde vært effektivt i forhold til å holde tilbake forurensninger, ville også sykluslengdene ved de ulike filterhastighetene blitt lengre.

## 7.6 Marmorfilter

Vannet inn på marmorfilteret ble prøvd og holdt mest mulig konstant med tanke på vannkvalitet. Resultatene viser at det har vært liten variasjon i farge og turbiditet på vannet inn på marmorfilteret. Restaluminium har variert mer enn ønsket, men det er vanskelig å si noe om dette har påvirket resultatene. Resultatene har gitt svar på hvilken betydning kontakttid og CO<sub>2</sub>- dose har for oppløsning av filtermassen, og hva som kan forventes å få tilført av kalsium, alkalitet og pH. Resultatene ble plottet i excel- ark, og det ble lagt på trendlinje i resultatene for kalsium, alkalitet og pH.

Som forventet vil høy CO<sub>2</sub>- dose, som gjør vannet mer aggressivt, føre til at mer av filtermassen løses opp og øker tilførselen av kalsium og alkalitet. Ved økt kontakttid, øker også oppløsning av filtermassen, men som resultatene viser vil oppløsningen gå mot en

---

likevekt der det ikke lenger vil ha effekt å øke kontakttiden. Det er tydelig å se ved dosering av små mengder CO<sub>2</sub>. Ved økt dosering av CO<sub>2</sub> må kontakttiden også økes for at all CO<sub>2</sub> som er dosert skal brukes til oppløsning av filteret, og at oppløsningen skal gå mot likevekt. pH på vannet ut av marmorfilteret viser at ikke all CO<sub>2</sub> som er dosert ved høye doser bidrar til å løse opp filtermassen fordi pH er lavere ved høy dose av CO<sub>2</sub>. Det er veldig tydelig å se når kontakttiden er kort, og det må derfor antas at det fortsatt er mye fri CO<sub>2</sub> i vannet som gir lav pH. Ved lengre kontakttider blir pH høyere selv om CO<sub>2</sub> dosen er høy, og det må antas at mer CO<sub>2</sub> har blitt brukt til oppløsning av filtermassen og at det blir lavere innhold av fri CO<sub>2</sub> i vannet.

Anlegget er dimensjonert for å filtrere 450 l/sek, og det er den vannmengden det tas utgangspunkt i videre anbefalinger.

Drikkevannsforskriften anbefaler minst 15 mg Ca/l i drikkevann for at vannet ikke skal være korrosivt mot sementprodukter. Råvannskilden Farris har rundt 2,5 mg Ca/l, så det vil derfor være nødvendig med en tilførsel på 12,5 mg Ca/l fra marmorfilteret for å nå minstekravet. Det må derfor doseres omtrent 12 g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

Drikkevannsforskriften anbefaler alkalitet på 0,6- 1,0 mmol/l for at vannet ikke skal være korrosivt. For å tilfredsstille kravet må det doseres omtrent 11 g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> til vannet før marmorfilteret.

I følge drikkevannsforskriften er det ønskelig med en pH mellom 8 og 9 for god korrosjonsbeskyttelse for sementprodukter. Resultatene fra forsøkskjøringen viser at det er vanskelig å oppnå så høy pH ut fra marmorfilteret. Høyeste oppnådde pH var mellom 7,6 og 7,7 med kontakttid på 15 og 20 minutter. Det hadde vært ønskelig og sett hva lengre kontakttid ville gjort med pH, men med den marmorkolonnen som er i pilotanlegget gjør det vanskelig å prøve ut lengre kontakttider da vannmengden blir veldig liten gjennom filteret. Filtrering gjennom marmorfilteret skal bedre korrosjonsbeskyttelsen. Sammenlignet med dagens prosess er det ikke sikkert at vannet ut av marmorfilteret gir bedre korrosjonsbeskyttelse, selv om kalsiuminnholdet er økt hvis pH ikke blir høyere enn det resultatene viser. pH kan enkelt endres ved å etterjustere med lut for eksempel ut av rentvannsbassenget. Ved å bruke Langliers index for å avgjøre i hvilken grad vannet er korrosivt på sementprodukter, viser det seg at vannet fra marmorfilteret i pilotanlegget faktisk vil gi dårligere korrosjonsbeskyttelse enn vannet som blir produsert i dag uten etterjustering av pH. Vannet vil heller ikke tilfredsstille anbefalingene i drikkevannsforskriften i forhold til korrosjonskontroll. Mengden lut som må doseres for å etterjustere pH til over 8 har ikke blitt forsøkt. Men beregnet mengde ut fra vannets pH og alkalitet vil det være nødvendig med omtrent 2 g/m<sup>3</sup>. Det vil dermed øke kjemikaliekostnadene noe.

Figur 3 viser hvordan filtermassedybde og filtrert mengde påvirker kontakttiden vannet har med filtermassen. Ved dimensjonerende vannmengde på 450 l/sek er det nødvendig med minimum 2,5 meter dybde på filtermassen for å ha kontakttid over 15 minutter. Filtermassen blir levert med bil som tar omtrent 30 tonn filtermasse. Filtermassen har en tetthet på 1,45 tonn/m<sup>3</sup>, og det blir da levert omtrent 21 m<sup>3</sup>/lass. Filtrene som er planlagt er på 40 m<sup>2</sup>, og til sammen 160 m<sup>2</sup>. Ett billass vil derfor tilsvare omtrent 0,5 m høyde i ett filter.

Normalproduksjon på Seierstad er omtrent 8 mill m<sup>3</sup>/år. Ved tilførsel av 13 g Ca/m<sup>3</sup> fra filteret vil det årlig brukes omtrent 184 m<sup>3</sup>/år eller 267 tonn/år. Det vil tilsvare omtrent 9 billass årlig. Hvis filtrene bygges med mulighet for tre meter dybde på filtermassen vil anlegget kunne driftes enkelt uten at det blir under 2,5 meter dybde på massen. Da dybden på filtrene kan variere fra 2,5 til tre meter mellom hver fylling av filtermasse.

Vannet ut av marmorfilteret ble også analysert på farge, turbiditet og rest aluminium for å se om filteret har negativ effekt på vannet kvalitetsmessig. Det kunne vært ønskelig og kjørt noen lengre serier der det ble dosert samme mengde med CO<sub>2</sub> og lik kontakttid i marmorfilteret for bedre å se kvaliteten over tid. Resultatene mine viser at farge og turbiditet ikke blir positivt eller negativt påvirket av å bli filtrert gjennom filteret. Restaluminiuminnholdet ble påvirket av filtreringen gjennom filteret. Resultatene som er presentert er med ulik CO<sub>2</sub> dose og kontakttid. Prøvene der det ikke ble dosert CO<sub>2</sub> viste høyere innhold av aluminium etter filteret for syv av åtte prøver. Prøvene der CO<sub>2</sub> ble dosert viser det seg at innholdet av aluminium i gjennomsnitt er lavere etter filteret enn før. Lavest innhold av aluminium er det ved de høyeste CO<sub>2</sub>- dosene som er prøvd. Ved de aktuelle CO<sub>2</sub> dosene vil marmorfilteret ikke påvirke rentvannet negativt med hensyn på aluminiuminnhold. For å få bedre inntrykk av om filteret holder tilbake aluminium ville det vært interessant å analysere på spylevannet fra filteret, men det har ikke blitt gjennomført.

### 7.7 Anbefalt kjemikaliedosering

På bakgrunn av forsøk og resultater vil anbefalte mengder som doseres og tilførsel for å oppnå god vannkvalitet og tilfredsstillende korrosjonskontroll være som foreslått i tabell 10 og 11:

Ved kontaktfiltrering:

Kjemikalie	Mengde
PAX16	1,6 g/m <sup>3</sup>
Lut	3,0 g/m <sup>3</sup>
Polymer	0,12 g/m <sup>3</sup>

Tabell 10: Kjemikaliedose for felling

For korrosjonskontroll:

Kjemikalie	Mengde
Kalsium fra CaCO <sub>3</sub>	13 g/m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub>	12 g/m <sup>3</sup>
Lut for etterjustering	2 g/m <sup>3</sup> *

Tabell 11: Kjemikaliedose for korrosjonskontroll

\* = antatt mengde, er ikke gjort forsøk for bekreftelse

---

## 8. Økonomi

I oppgaven her tar jeg ikke med utgifter knyttet til UV- anlegget. Men det bør legges til rette for at det kan bygges UV- anlegg hvis det blir behov for det i fremtiden. Anlegget bør derfor ikke bygges mindre enn det som er planlagt.

### 8.1 Anleggskostnader

Kostnadsberegningene jeg har tatt utgangspunkt i ble utarbeidet våren 2008. Dagens kostnader er funnet ved å legge økningen i konsumprisindeks til grunn. Denne har vært på 6 % fra mars 2008 til mars 2010 (Statistisk sentralbyrå 2010). Kostnadene blir da som følger:

Bygg og anlegg	: 17,3 mill.kr.
<u>Maskinelt, elektro, automatikk og VVS</u>	<u>: 20,5 mill.kr.</u>
<u>Total anleggskostnad</u>	<u>: 37,8 mill.kr.</u>

### 8.2 Kapital og driftskostnader

Kapital- og driftskostnadene vil utgjøre årskostnadene for anlegget.

Kapitalkostnader beregnes ut fra rente og avskrivninger på investeringen som må gjøres. Bygninger avskrives over 50 år, de øvrige investeringene avskrives over 20 år. Kapitalkostnaden er beregnet etter annuitetsprinsippet.

#### Kapitalkostnad:

Bygg og anlegg:	: 0,950 mill.kr.
<u>Øvrige investeringer:</u>	<u>: 1,643 mill.kr.</u>
<u>Total årlig kapital kostnad</u>	<u>: 2,593 mill.kr.</u>

#### Driftskostnader:

I oppgaven har jeg sett på hva endringen i driftskostnader vil bli ved ombygging til ny prosess. I hovedsak vil det være kjemikaliekostnadene som vil bli påvirket mest ved ombygging til ny prosess. I tillegg vil kostnader knyttet til mikronisert marmor forsvinne. Driftskostnader ved ny prosess er hentet fra en beregning som ble gjennomført i 2008, men i den er også kostnader knyttet til UV- desinfeksjon tatt med. For å gjøre et estimat av hva driftskostnadene til kun marmorfiltrene vil bli, brukes hele energikostnaden og halvparten av kostnaden til vedlikehold og pass/driftskontroll.

#### Kjemikaliekostnader:

Med dagens prosess brukes det kjemikalier for 20,5 øre/m<sup>3</sup>. I den planlagte prosessen vil det brukes kjemikalier for 12,5 øre/m<sup>3</sup>. Det vil gi en besparelse på 8,0 øre/m<sup>3</sup>. Ved en produksjon på 8,0 mill. m<sup>3</sup> vann på Seierstad gir det besparelser på omtrent 640 000 kr. årlig.

#### Årskostnader

Ved utbygging av anlegget vil årskostnadene øke med 2,273 mill. kr.



### 8.3 Vannpris

Høyere årskostnader vil gi en høyere vannpris. Prisøkningen på vannet som produseres på Seierstad fordeles med vannet som blir produsert på Eidsfoss, og ved en produksjon på 24 mill. m<sup>3</sup>/år vil prisen øke med omtrent 10 øre/m<sup>3</sup>.

### 8.4 Utsettelse av investering

VIVs ledningsnett har en lengde på omtrent 10 mil. Man regner med at kostnadene for ledningsnett i denne dimensjonen ligger på omtrent 10 000 kr/m. Gjenskaffelseskostnaden på ledningsnettet vil da være på omtrent 1 milliard kr. Ved å gjøre vannet mindre korrosivt kan ledningsnettet brukes lengre før det må byttes ut. Det er vanskelig å bestemme hvor lenge dagens ledningsnett vil vare fordi man ikke vet hvordan tilstanden er i dag, og også vanskelig å si noe om hvor mye levetiden vil øke ved bedret korrosjonskontroll. For å få et inntrykk av hvilken verdi det ligger i å kunne utsette investering i nytt nett er det som eksempel valgt å ta utgangspunkt i at nettet vil vare i 50 år til, og antatt at levetiden vil forlenges ved bedre korrosjonskontroll. I tabell 12 er det foretatt en nåverdiberegning som viser hva besparelsen vil være i å utsette investeringen i 10, 20 og 30 år. Det er regnet med 2,5 % prisstigning og at langsiktig rentenivå vil være på 5 %. Som utgangspunkt er det regnet med en investering på 100 mill. kroner.

Realrente regnes ut etter formel:

$$Realrente = \frac{\left(\frac{Lånerente}{100} - \frac{Prisstigning}{100}\right)}{1 + \frac{Prisstigning}{100}}$$

Nåverdi regnes ut etter formel:

$$Nåverdi = \frac{Investering}{\left(1 + \frac{Realrente}{100}\right)^{Antall \text{ år}}}$$

Utsettelse av investering mill.kr.	Utsettelse		Realrente %	Besparelse mill.kr.
	Fra år	Til år		
100	50	60	2,439	6,41
100	50	70	2,439	11,46
100	50	80	2,439	15,42

Tabell 12: Besparelse med forventet langsiktig realrente

Å forutse hva realrenta framover vil være, og spesielt over så mange år gjør at det vil være noe usikkerhet knyttet til hva besparelsen vil være. Tabell 13 viser hvordan ulik realrente vil påvirke hvor store besparelser det vil være i å utsette en investering.

Utsettelse av investering mill.kr.	Utsettelse		Realrente %	Besparelse mill.kr.
	Fra år	Til år		
100	50	60	1,0	5,75
100	50	70	1,0	10,97
100	50	80	1,0	15,69
100	50	60	2,0	6,67
100	50	70	2,0	12,15
100	50	80	2,0	16,64
100	50	60	3,0	5,83
100	50	70	3,0	10,18
100	50	80	3,0	13,41
100	50	60	4,0	4,56
100	50	70	4,0	7,64
100	50	80	4,0	9,73
100	50	60	5,0	3,36
100	50	70	5,0	5,43
100	50	80	5,0	6,70

**Tabell 13: Besparelse ved endring av realrente**

---

## 9. Konklusjon

CO<sub>2</sub> dosering og filtrering gjennom marmorgrus vil gi ønsket tilførsel av kalsium og alkalitet til rentvannet, men pH bør heves etter filteret for å få god korrosjonskontroll. Det er CO<sub>2</sub>-dose og kontakttid som bestemmer hvor mye av filtermassen som løses opp og tilføres vannet. Ved høy kontakttid vil vannets aggressivitet bli lavere fordi dosert CO<sub>2</sub> har blitt brukt opp, og det vil derfor ha mindre og mindre effekt å øke kontakttiden for å løse opp filtermassen.

Kontaktfiltrering fungerer bra selv om alkaliteten på vannet ved felling er lavere ved pH-justering med lut, enn med mikronisert marmor og CO<sub>2</sub>. Parametre som turbiditet og farge viser at prosessen fungerer like bra for farge- og turbiditetsfjerning.

Ombygging av rensesprosessen vil gi økt pris på vannet. Prisøkningen skyldes i hovedsak kapitalkostnader forbundet med bygging av større rensenanlegg. Den planlagte prosessen vil gi lavere kjemikaliekostnader, og med en produksjon på 8,0 mill. m<sup>3</sup>/år spares omtrent 640 000 kr. årlig på kjemikalier.

En ombygging vil føre til at vannprisen vil øke med omtrent 10 øre/m<sup>3</sup> når prisøkningen fordeles på VIVs totale vannproduksjon.

Planlagt prosess vil gi vann med bedre korrosjonskontroll, og som vil gjøre at ledningsnett kan brukes i flere år enn hvis man fortsetter med dagens prosess. Beregningen som er gjort viser at det er store beløp å spare ved å utsette investeringer ved å forlenge levetiden til ledningsnett.

### Fordeler og ulemper med ny prosess

Fordeler:

- Vannet blir mindre korrosivt, gir lengre levetid på ledningsnett til VIV og alle medlemskommunene.
- Lavere kjemikaliekostnader.
- Enklere å justere vannkvalitet for ønsket korrosjonskontroll.
- Hvis det bygges ut er det enkelt å installere ytterligere desinfeksjon i anlegget hvis det blir behov for det senere.

Ulemper:

- Gir høyere årskostnader, som vil gi økt vannpris.

---

## 10. Figurliste

Figur 1: Prosesskisse for dagens prosess og ny planlagt prosess .....	10
Figur 2: Dimensjonerende mengder for ny prosess.....	11
Figur 3: Kontakttid og filterhastighet i forhold til filtrert vannmengde .....	12
Figur 4: Trykktap i enmediafilter .....	13
Figur 5: Trykktap i tomediafilter.....	14
Figur 6: Prinsippkisse av trykktap- og turbiditetsutvikling over tid ved filtrering.....	15
Figur 7: Karbonatlikevektsystemet .....	20
Figur 8: Oppløsning av CaCO <sub>3</sub> (Østerhus 1998) .....	21
Figur 9: Skisse av filter i pilotanlegget .....	30
Figur 10: Skisse over pilotanlegg, med alle doseringsmuligheter.....	31
Figur 11: Aluminiumrest, sammenligning ved 4 m/h .....	35
Figur 12: Turbiditet, sammenligning ved 4 m/h .....	35
Figur 13: Farge, sammenligning ved 4 m/h .....	36
Figur 14: Alkalitet, sammenligning ved 4 m/h .....	36
Figur 15: Aluminiumrest, sammenligning ved 7 m/h .....	37
Figur 16: Turbiditet, sammenligning ved 7 m/h .....	37
Figur 17: Alkalitet, sammenligning ved 7 m/h .....	38
Figur 18: Farge, sammenligning ved 7 m/h .....	38
Figur 19: Aluminiumrest, filterhastighet 4 m/h .....	39
Figur 20: Aluminiumrest, filterhastighet 7 m/h .....	39
Figur 21: Aluminiumrest, filterhastighet 10 m/h .....	40
Figur 22: Lutdosering ved forsøk 2.1 til 2.3 .....	40
Figur 23: Lutdosering i forsøk 3 til 6 .....	41
Figur 24: Målt sykluslengde ved filterhastighet 4 m/h .....	42
Figur 25: Målt sykluslengde ved filterhastighet 4 m/h uten polymer .....	42
Figur 26: Målt sykluslengde ved filterhastighet 7 m/h .....	43
Figur 27: Målt sykluslengde ved filterhastighet 10 m/h .....	43
Figur 28: Trykktapsutvikling i filter ved 4 m/h.....	44
Figur 29: Trykktapsutvikling i filter ved 7 m/h.....	45
Figur 30: Trykktapsutvikling i filter ved 10 m/h.....	45
Figur 31: Tilført kalsium .....	46
Figur 32: Tilført alkalitet.....	46
Figur 33: pH etter filtrering .....	47
Figur 34: Restaluminium før og etter filter, dosert CO <sub>2</sub> .....	47
Figur 35: Restaluminium før og etter filter, ikke dosert CO <sub>2</sub> .....	48
Figur 36: Farge før og etter marmorfilter .....	48
Figur 37: Turbiditet før og etter marmorfilter .....	49

---

## 11. Tabeller

Tabell 1: Anbefalt vannkvalitet for å minimalisere korrosjon (Mattilsynet 2005) .....	16
Tabell 2: Sammenheng mellom barrierehøyde, anleggsstørrelse og kvalitetsnivå, dette er tabell 3.2. i GDP- veiledningen (Ødegaard et al. 2009) .....	26
Tabell 3: Forsøksoppsett for utprøving av dagens og ny planlagt prosess.....	32
Tabell 4: Forsøksoppsett sykluslengde og trykktap .....	33
Tabell 5: Forsøksoppsett marmorfiltrering .....	33
Tabell 6: Utblending av PAX16.....	34
Tabell 7: Utblending av lut.....	34
Tabell 8: Utblending av mikronisert marmor .....	34
Tabell 9: Utblending av polymer .....	34
Tabell 10: Kjemikaliedose for felling .....	53
Tabell 11: Kjemikaliedose for korrosjonskontroll .....	53
Tabell 12: Besparelse med forventet langsiktig realrente .....	55
Tabell 13: Besparelse ved endring av realrente .....	56

---

## 12. Kilder

Aaby, L., Kristiansen, H., Holtan, H. & Gjessing, E. (1989). Røyken kommune: bruk av Sætervann som drikkevannskilde : vannbehandling, ledningsnettets tilstand og konsekvenser ved vannbehandling.

Aasen, A. (1995). Vannbehandling og innvendig korrosjonskontroll i vannledninger. 41.

Alvem, S. (2009). Kjemisk felling på vann med lav alkalitet; Semesteroppgave i THT310. UMB, Ås.

Eikebrokk, B. (2005). Optimalisering og videreutvikling av koagulering og kontaktfiltreringsprosessen.

Fiksdal, L. (1993). *Kompendium i vannkjemi*. Trondheim: Institutt for vassbygging, NTH. iv, 258 s.

Folkehelseinstituttet. (2008). Vannforsyningens ABC, Kapittel D Vannbehandling.

*Internal corrosion of water distribution systems*. (1996). Denver, CO: American Water Works Association Research Foundation. XVI, 586 s.

Kristiansen, B., Østmoen, T. & Lindland, J. (2004). *Betongrehabilitering: metoder og utførelse*. Lillestrøm: Byggenæringens forl. 168 s.

Mattilsynet. (2005). *Veileder til drikkevannforskriften*.

NORVAR. (2001). Oppfølging av behandlingsmetoder for reduksjon av innvendig korrosjon.

*Praktisk betongteknologi: [30. november-2. desember 1998, Lillehammer]*. (1998). Norsk betongforening.

Statistisk sentralbyrå. (2010). Tilgjengelig fra: [www.ssb.no/kpi](http://www.ssb.no/kpi).

Søpler, B. (1995). *Betongboka*. Oslo: Norcem. 264 s.

Vik, E. A., Hongve, D. & Nilsen, T. (1988). *Innvendig korrosjon av vannledninger*. [Oslo]: NTNFs utvalg for drikkevannsforskning. 44 s.

*Water treatment handbook*. (1991). Rueil-Malmaison: Degrémont. 2 b. s.

Winther, L., Linde, J. J. & Winther, H. (2005). *Vandforsyningsteknik*. Lyngby: Polyteknisk forl. 627 s.

Ødegaard, H., Østerhus, S. & Melin, E. (2009). Veiledning til bestemmelse av god desinfeksjonspraksis. 99 s.

Østerhus, S. W. (1998). *Kalsiumkarbonat filtre for korrosjonskontroll: utprøving av forskjellige marmormasser*. NORVAR-rapport. Hamar: Norsk vann og avløp. 56 s.

Østerhus, S. W. (2002). Karbonatisering og vannglass, hva skal vi velge hvor?

---

## 13. Vedlegg

Vedlegg 1: Resultater fra forsøkskjøring i pilotanlegget

Vedlegg 2: Tilført kalsium, alkalitet og pH etter filtrering gjennom marmorfilter

Vedlegg 3: Forbruk av marmorgrus

Vedlegg 4: Vurdering av logkreditt for Seierstad VBA

Vedlegg 5: Økonomi

## **Vedlegg 1: Resultater fra forsøkskjøring i pilotanlegget**

Forsøk 1.1 og 1.2. er fellingsforsøk med bruk av PAX16, mikronisert marmor og CO<sub>2</sub> ved to ulike filterhastigheter.

Forsøk 2.1. til 2.3.1. er fellingsforsøk med bruk av PAX16 og lut ved tre ulike filterhastigheter.

Forsøk 3 til 6 er kjørt med filterhastighet på 4 m/h i hovedfilteret og fire ulike kontakttider i marmorfilteret.



## Forsøk 1.1.

Forsøk nr:	1.1.1.	1.1.2.	1.1.3.	1.1.4.	1.1.5.	1.1.6.	1.1.7.	1.1.8.	1.1.9.
<b>Filterhastighet:</b>	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<b>Fellings- pH:</b>	6,7	6,45	6,35	6,25	6,1	6	5,95	5,8	5,7
<b>Doseringsmengder:</b>									
PAX	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Polymer	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Mikronisert marmor	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
CO2	0	5	7,5	11	18,5	22	28	49,5	64
<b>Laboratorie-</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Filtrert</b>
<b>analyser</b>	<b>vann</b>	<b>vann</b>	<b>vann</b>	<b>vann</b>	<b>vann</b>	<b>vann</b>	<b>vann</b>	<b>vann</b>	<b>vann</b>
pH	6,67	6,39	6,3	6,27	6,08	6,08	6,1	6,05	5,85
Farge mg Pt/l	5	3	2	3	2	2	2	3	2
Alkalitet m mol/l	0,14	0,12	0,19	0,18	0,18	0,2	0,25	0,24	0,22
Turbiditet FTU	0,27	0,11	0,09	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Ledn. Evne */s/cm	61,8	61,5	63,9	64,9	65,3	66,7	66,6	67,4	68,5
Alum. Rest mg/l	0,102	0,07	0,045	0,043	0,057	0,043	0,055	0,079	0,128
Magnesium, mg Mg/l	0,68	0,63	0,66	0,58	0,73	0,63	0,68	0,58	0,66
Kalsium, mg Ca/l	7,2	7,4	7,5	7,4	8,0	7,6	8,0	7,8	7,8

## Forsøk 1.2.

Forsøk nr:	1.2.1.	1.2.2.	1.2.3.	1.2.4.	1.2.5.	1.2.6.	1.2.7.
<b>Filterhastighet:</b>	7	7	7	7	7	7	7
<b>Fellings- pH:</b>	6,5	6,3	6,2	6,05	5,9	5,8	5,65
<b>Doseringsmengder:</b>							
PAX	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Polymer	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Mikronisert marmor	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
CO2	3,8	10	13,4	16,5	26	47,5	72
<b>Laboratorie-</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Filtrert</b>
<b>analyser</b>	<b>vann</b>	<b>vann</b>	<b>vann</b>	<b>vann</b>	<b>vann</b>	<b>vann</b>	<b>vann</b>
pH	6,58	6,45	6,52	6,21	6,18	5,96	5,83
Farge mg Pt/l	5	3	4	3	4	4	4
Alkalitet m mol/l	0,21	0,21	0,21	0,23	0,25	0,26	0,26
Turbiditet FTU	0,21	0,1	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06
Ledn. Evne */s/cm	62,8	66,3	65,9	68,5	67,8	68,2	68,1
Alum. Rest mg/l	0,063	0,037	0,028	0,017	0,026	0,061	0,114
Magnesium, mg Mg/l	0,56	0,58	0,83	0,53	0,66	0,61	0,61
Kalsium, mg Ca/l	7,4	8,3	7,8	8,4	8,0	8,4	8,4

## Forsøk 2.1.

Forsøk nr:	2.1.1.	2.1.2.	2.1.3.	2.1.4.	2.1.5.	2.1.6.	2.1.7.	2.1.8.	2.1.9.
<b>Filterhastighet:</b>	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<b>Fellings- pH:</b>	6,5	6,4	6,3	6,25	6	5,95	5,85	5,75	5,6
<b>Doseringsmengder:</b>									
PAX	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Polymer	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Lut	3,4	2,7	3,1	2,4	1,9	1,8	1,2	0,9	0,4
<b>Laboratorie-analyser</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>
pH	6,45	6,35	6,38	6,24	6,13	6,15	5,98	5,91	5,85
Farge mg Pt/l	3	2	3	3	2	2	2	2	2
Alkalitet m mol/l	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,042
Turbiditet FTU	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,07
Ledn. Evne *s/cm	42,6	38,9	46,00	40,30	38	42,6	40,4	42,6	39,3
Alum. Rest mg/l	0,076	0,054	0,054	0,041	0,035	0,039	0,062	0,084	0,130

### Forsøk 2.1.1.

Forsøk nr:	2.1.1.1	2.1.1.2	2.1.1.3.	2.1.1.4.	2.1.1.5.	2.1.1.6.	2.1.1.7.	2.1.1.8.	2.1.1.9.
<b>Filterhastighet:</b>	4	4	4	4	4	4	4	4	4
<b>Fellings- pH:</b>	5,95	5,8	5,7	5,6	6,15	6,05	6,25	6,4	6,55
<b>Doseringsmengder:</b>									
PAX	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Polymer	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Lut	2,0	1,6	1,1	0,4	2,9	2,6	3,3	3,9	4,3
<b>Laboratorie-analyser</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>
pH	6	5,85	5,80	5,65	6,2	6,14	6,23	6,3	6,4
Farge mg Pt/l	2	3	3	3	3	3	4	3	4
Alkalitet m mol/l	0,02	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
Turbiditet FTU	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06
Ledn. Evne *s/cm	45	44,4	43,20	39,50	47,4	45,8	46,3	46,7	48,9
Alum. Rest mg/l	0,043	0,048	0,063	0,113	0,029	0,033	0,031	0,040	0,052

## Forsøk 2.2.

Forsøk nr:	2.2.1.	2.2.2.	2.2.3.	2.2.4.	2.2.5.	2.2.6.	2.2.7.	2.2.8.	2.2.9.
<b>Filterhastighet:</b>	7	7	7	7	7	7	7	7	7
<b>Fellings- pH:</b>	6,55	6,45	6,35	6,2	6,05	6	5,9	5,7	5,6
<b>Doseringsmengder:</b>									
PAX	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Polymer	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Lut	3,6	3,3	2,9	2,7	2,4	2,3	1,8	1,5	0,9
<b>Laboratorie-analyser</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>
pH	6,4	6,36	6,30	6,31	6,11	6,03	6,03	5,9	5,74
Farge mg Pt/l	2	3	2	3	3	2	2	3	2
Alkalitet m mol/l	0,06	0,06	0,04	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Turbiditet FTU	0,09	0,07	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06
Ledn. Evne *s/cm	45	42,7	45,10	42,30	45,3	42,6	43,7	42,5	42,5
Alum. Rest mg/l	0,067	0,048	0,038	0,052	0,052	0,058	0,067	0,102	0,179

**Forsøk 2.2.1.**

<b>Forsøk nr:</b>	<b>2.2.1.1.</b>	<b>2.2.1.2.</b>	<b>2.2.1.3.</b>	<b>2.2.1.4.</b>	<b>2.2.1.5.</b>	<b>2.2.1.6.</b>	<b>2.2.1.7.</b>	<b>2.2.1.8.</b>	<b>2.2.1.9.</b>	<b>2.2.1.10.</b>	<b>2.2.1.11.</b>
<b>Filterhastighet:</b>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
<b>Fellings- pH:</b>	6,15	6,25	6,5	6,65	6	5,9	5,8	5,65	5,95	6,1	6,4
<b>Doseringsmengder:</b>											
PAX	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Polymer	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Lut	2,4	2,8	3,6	4,0	2,0	1,8	1,4	1,0	2,0	2,2	3,2
<b>Laboratorie-analyser</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>
pH	6,2	6,25	6,40	6,40	6,02	5,95	5,85	5,65	6	6,05	6,25
Farge mg Pt/l	3	3	4	11	3	2	2	2	2	2	3
Alkalitet m mol/l	0,04	0,05	0,06	0,06	0,03	0,03	0,02	0,02	0,012	0,03	0,04
Turbiditet FTU	0,05	0,06	0,09	0,29	0,04	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04	0,06
Ledn. Evne *s/cm	44,5	45,8	46,90	47,70	42,1	44,4	44,2	38,8	42,4	43,5	44,8
Alum. Rest mg/l	0,030	0,043	0,052	0,190	0,043	0,048	0,100	0,151	0,040	0,041	0,054

### Forsøk 2.3.

Forsøk nr:	2.3.1.	2.3.2.	2.3.3.	2.3.4.	2.3.5.	2.3.6.	2.3.7.	2.3.8.
<b>Filterhastighet:</b>	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Fellings- pH:</b>	6	5,9	5,75	6,15	6,25	6,3	6,05	6,5
<b>Doseringsmengder:</b>								
PAX	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Polymer	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Lut	2,2	1,7	1,2	2,6	3,0	3,4	2,4	3,9
<b>Laboratorie-analyser</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>
pH	6	5,85	5,75	6,15	6,2	6,25	6,15	6,4
Farge mg Pt/l	2	3	3	3	3	5	3	5
Alkalitet m mol/l	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,04	0,06
Turbiditet FTU	0,05	0,06	0,06	0,01	0,07	0,12	0,05	0,12
Ledn. Evne *s/cm	43,4	43,6	43,80	44,70	45,3	45,8	43,8	47
Alum. Rest mg/l	0,045	0,075	0,110	0,048	0,050	0,081	0,041	0,090

### Forsøk 2.3.1.

Forsøk nr:	2.3.1.1.	2.3.1.2.	2.3.1.3.	2.3.1.4.	2.3.1.5.	2.3.1.6.	2.3.1.7.	2.3.1.8.
<b>Filterhastighet:</b>	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Fellings- pH:</b>	5,9	5,8	5,65	5,95	6,1	6,3	6,2	6,5
<b>Doseringsmengder:</b>								
PAX	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Polymer	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Lut	2,1	1,6	1,1	2,3	2,7	3,3	3,1	3,8
<b>Laboratorie-analyser</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>
pH	6	5,8	5,70	5,95	6,1	6,15	6,15	6,4
Farge mg Pt/l	2	3	3	3	3	3	2	5
Alkalitet m mol/l	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,05
Turbiditet FTU	0,04	0,05	0,06	0,04	0,04	0,05	0,05	0,1
Ledn. Evne *s/cm	43,4	42,6	43,10	43,30	44,1	45,1	44,1	46
Alum. Rest mg/l	0,070	0,083	0,150	0,055	0,041	0,050	0,036	0,083

### Forsøk 3

Forsøk nr:	3.1.		3.2.		3.3.		3.4.		3.5.		3.6.		3.7.		3.8.		3.9.	
Filterhastighet:	4		4		4		4		4		4		4		4		4	
Kontaktid																		
marmorfilter:	6		6		6		6		6		6		6		6		6	
Fellings- pH:	6,12		6,25		6,05		6,05		6,05		6,05		6,05		6,07		6,1	
Doseringsmengder:																		
PAX	1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6	
Polymer	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap
Lut	3,0	40%	2,6	40%	2,6	40%	2,6	40%	2,7	40%	2,8	40%	2,8	40%	3,1	40%	3,1	40%
CO2	0	0	0	0	42	25	27	16	18	11	15	9	41	25	10	6	63	38
Laboratorie-analyser	Filtrert vann	Marmor- filter vann	Filtrert vann	Marmor- filter vann	Filtrert vann	Marmor- filter vann	Filtrert vann	Marmor- filter vann	Filtrert vann	Marmor- filter vann	Filtrert vann	Marmor- filter vann	Filtrert vann	Marmor- filter vann	Filtrert vann	Marmor- filter vann	Filtrert vann	Marmor- filter vann
pH	6,35	8,30	6,25	8,55	6,00	6,86	6,05	7,00	61,00	7,20	5,95	7,30	5,95	6,85	6,03	7,25	6,08	6,55
Farge mg Pt/l	1	3	3	2	3	5	2	3	3	4	3	3	3	3	3	3	4	4
Alkalitet m mol/l	0,04	0,25	0,04	0,25	0,03	0,59	0,03	0,52	0,04	0,43	0,03	0,41	0,03	0,84	0,03	0,37	0,03	1,05
Turbiditet FTU	0,05	0,08	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,06	0,05	0,06	0,07	0,06	0,05
Ledn. Evne *s/cm	45,90	66,70	43,70	63,30	44,70	98,40	45,30	90,20	44,80	85,10	45,50	83,00	45,00	123,20	48,20	80,50	49,2	146
Alum. Rest mg/l	0,018	0,040	0,03	0,04	0,038	0,027	0,042	0,045	0,080	0,063	0,048	0,037	0,058	0,022	0,045	0,039	0,027	0,01
Magnesium	0,49	0,68	0,51	0,49	0,70	0,78	0,66	0,75	0,70	0,68	0,70	0,63	0,00	0,78	0,00	0,58	0	0,486
Kalsium	2,24	6,80	3,08	6,60	2,20	13,44	2,12	11,40	1,80	10,76	2,16	9,20	0,00	16,96	0,00	9,92	0	23,12

## Forsøk 4

Forsøk nr:	4.1.		4.2.		4.3.		4.4.		4.5.		4.6.		4.7.	
Filterhastighet:	4		4		4		4		4		4		4	
Kontakttid	10		10		10		10		10		10		10	
marmorfilter:														
Fellings- pH:	6,1		6,07		6,07		6,07		6,12		6,07		6,07	
Doseringsmengder:							0		0		0		0	
PAX	1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6	
Polymer	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap
Lut	2,6	40%	3,1	40%	3,0	40%	3,0	40%	3,1	40%	3,0	40%	3,0	40%
CO2	0	0	33,4	20,04	23	13,8	16,5	9,9	0	0	28	16,8	51	30,6
<b>Laboratorie-</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Marmor-</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Marmor-</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Marmor-</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Marmor-</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Marmor-</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Marmor-</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Marmor-</b>
<b>analyser</b>	<b>vann</b>	<b>filter vann</b>	<b>vann</b>	<b>filter vann</b>	<b>vann</b>	<b>filter vann</b>	<b>vann</b>	<b>filter vann</b>	<b>vann</b>	<b>filter vann</b>	<b>vann</b>	<b>filter vann</b>	<b>vann</b>	<b>filter vann</b>
pH	6,09	8,60	6,05	7,25	6,05	7,35	6,00	7,35	6,15	8,90	6,05	7,22	6,15	7,00
Farge mg Pt/l	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
Alkalitet m mol/l	0,04	0,28	0,03	0,72	0,03	0,59	0,03	0,50	0,04	0,26	0,03	0,87	0,04	1,20
Turbiditet FTU	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07
Ledn. Evne *s/cm	45,50	66,50	45,9	109,5	45,70	98,50	46,90	92,90	48,20	68,80	47,20	128,30	46,50	155,40
Alum. Rest mg/l	0,038	0,055	0,035	0,04	0,048	0,040	0,041	0,052	0,055	0,050	0,047	0,037	0,058	0,021
Magnesium	0,63	0,61	0	0,6318	0,00	0,70	0,00	0,56	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82
Kalsium	3,12	7,80	0	15,76	0,00	13,44	0,00	12,80	2,96	6,80	0,00	17,00	0,00	24,00
Tilført kalsium		5,4		13,4		11,0		10,4		4,4		14,6		21,6

## Forsøk 5

Forsøk nr:	5.1.		5.2.		5.3.		5.4.		5.5.		5.6.		5.7.		5.8.	
Filterhastighet:	4		4		4		4		4		4		4		4	
Kontakttid	15		15		15		15		15		15		15		15	
marmorfilter:																
Fellings- pH:	6,1		6,05		6,06		6,1		6,1		6,08		6,06		6,07	
Doseringsmengder:							0		0		0		0		0	
PAX	1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6	
Polymer	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap
Lut	2,9	40%	2,8	40%	3,0	40%	3,1	40%	3,1	40%	3,1	40%	2,9	40%	2,9	40%
CO2	0	0	22	13,2	26	15,6	70	42	22	13,2	34	20,4	0	0	42	25,2
Laboratorie- analyser	Filtrert vann	Marmor- filter vann	Filtrert vann	Marmor- filter vann	Filtrert vann	Marmor- filter vann	Filtrert vann	Marmor- filter vann	Filtrert vann	Marmor- filter vann	Filtrert vann	Marmor- filter vann	Filtrert vann	Marmor- filter vann	Filtrert vann	Marmor- filter vann
pH	6,15	8,90	6,00	7,55	6,00	7,55	6,05	6,85	6,05	7,55	6,05	7,40	6,10	8,95	6,12	7,25
Farge mg Pt/l	3	3	2	2	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3
Alkalitet m mol/l	0,05	0,28	0,03	0,64	0,03	0,69	0,03	1,69	0,03	0,67	0,02	0,98	0,03	0,27	0,04	1,12
Turbiditet FTU	0,06	0,07	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,08	0,06	0,06	0,06
Ledn. Evne *s/cm	45,80	70,50	46,20	105,50	47,50	110,50	46,50	203,00	46,50	107,50	47,30	133,00	49,00	71,10	48,50	150,00
Alum. Rest mg/l	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,02	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03
Magnesium	0,00	0,85	0,49	0,56	0,00	0,63	0,46	0,73	0,00	0,56	0,00	0,63	0,70	0,00	0,00	0,58
Kalsium	0,00	8,68	2,16	15,12	0,00	15,20	2,12	37,00	0,00	15,20	0,00	26,00	2,60	6,50	0,00	24,08
Tilført kalsium		6,3		12,7		12,8		34,6		12,8		23,6		4,1		21,7



## Forsøk 6

Forsøk nr:	6.1.		6.2.		6.3.		6.4.		6.5.		6.6.		6.7.	
Filterhastighet:	4		4		4		4		4		4		4	
Kontakttid	20		20		20		20		20		20		20	
marmorfilter:														
Fellings- pH:	6,08		6,05		6,08		6,09		6,1		6,08		6,12	
Doseringsmengder:							0		0		0		0	
PAX	1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6	
Polymer	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap	0,12	CO2- tap
Lut	3,0	40%	3,0	40%	3,1	40%	3,1	40%	3,1	40%4	2,8	40%	2,8	40%
CO2	0	0	29	17,4	44	26,4	36	21,6	24	14,4	0	0	30	18
<b>Laboratorie-</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Marmor-</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Marmor-</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Marmor-</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Marmor-</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Marmor-</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Marmor-</b>	<b>Filtrert</b>	<b>Marmor-</b>
<b>analyser</b>	<b>vann</b>	<b>filter vann</b>	<b>vann</b>	<b>filter vann</b>	<b>vann</b>	<b>filter vann</b>	<b>vann</b>	<b>filter vann</b>	<b>vann</b>	<b>filter vann</b>	<b>vann</b>	<b>filter vann</b>	<b>vann</b>	<b>filter vann</b>
pH	6,12	9,15	5,95	7,60	6,05	7,45	6,05	7,50	6,05	7,65	6,11	9,00	6,10	7,50
Farge mg Pt/l	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3	4	4	2	3
Alkalitet m mol/l	0,03	0,27	0,03	0,81	0,03	1,20	0,04	0,92	0,02	0,67	0,04	0,29	0,03	0,89
Turbiditet FTU	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06
Ledn. Evne *s/cm	46,30	70,40	47,20	119,50	47,00	157,80	47,00	130,50	47,40	108,00	47,80	71,30	48,40	127,50
Alum. Rest mg/l	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,02	0,06	0,04	0,06	0,06	0,03	0,05	0,03	0,03
Magnesium	0,49	0,46	0,00	0,61	0,00	0,70	0,68	0,00	0,00	0,00	0,51	0,41	0,00	0,63
Kalsium	2,00	7,36	0,00	16,88	0,00	32,00	2,56	24,00	0,00	20,00	2,08	7,48	0,00	18,88
Tilført kalsium		5,0		14,5		29,6		21,6		17,6		5,1		16,5

## Forsøk sykluslengde 1

<b>Forsøk nr:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Filterhastighet:	4	4	4	4	4	4	4
Fellings- pH:	6,08	6,12	6,1	6,05	6,1	6,12	6,11
Driftstimer	5	7	9	16	19	20	23
<b>Doseringsmengder:</b>							
PAX	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Polymer	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Lut	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9
<b>Laboratorie-analyser</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>
pH	6,11	6,10	6,08	6,09	6,1	6,08	6,1
Farge mg Pt/l	4	2	4	3	3	5	8
Alkalitet m mol/l	0,04	0,03	0,03	0,03	0,041	0,04	0,04
Turbiditet FTU	0,07	0,07	0,06	0,07	0,06	0,1	0,11
Ledn. Evne *s/cm	47,80	48,40	49,2	48,9	49,7	48,4	47,9
Alum. Rest mg/l	0,028	0,028	0,027	0,034	0,036	0,048	0,061

## Forsøk sykluslengde 2

### Uten polymer

<b>Forsøk nr:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Filterhastighet:	4	4	4	4
Fellings- pH:	6,05	6,11	6,15	6,14
Driftstimer	4	6	8	10
<b>Doseringsmengder:</b>				
PAX	1,6	1,6	1,6	1,6
Polymer	0	0	0	0
Lut	2,9	2,9	2,9	2,9
<b>Laboratorie-analyser</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>
pH	6,10	6,10	6,12	6,15
Farge mg Pt/l	4,00	4,00	5	7
Alkalitet m mol/l	0,03	0,03	0,03	0,03
Turbiditet FTU	0,06	0,07	0,08	0,12
Ledn. Evne *s/cm	48,00	48,60	48,7	49,1
Alum. Rest mg/l	0,039	0,037	0,044	0,074

### Forsøk sykluslengde 3

<b>Forsøk nr:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Filterhastighet:	7	7	7	7
Fellings- pH:	6,07	6,08	6,1	6,12
Driftstimer	3	5	7	9
<b>Doseringsmengder:</b>				
PAX	1,6	1,6	1,6	1,6
Polymer	0,12	0,12	0,12	0,12
Lut	2,8	2,8	2,8	2,8
<b>Laboratorie-analyser</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>
pH	6,06	6,05	6,05	6,08
Farge mg Pt/l	2,00	2,00	4	5
Alkalitet m mol/l	0,03	0,03	0,03	0,03
Turbiditet FTU	0,05	0,05	0,07	0,11
Ledn. Evne *s/cm	47,90	48,20	48,2	48,6
Alum. Rest mg/l	0,031	0,033	0,038	0,066

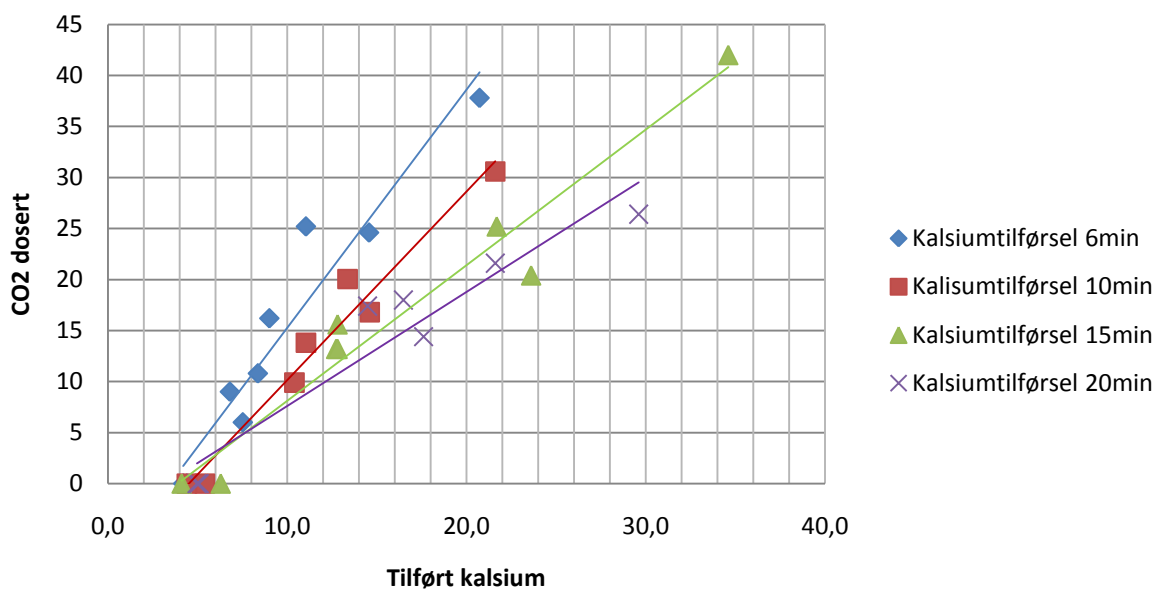
### Forsøk sykluslengde 4

<b>Forsøk nr:</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Filterhastighet:	10	10	10	10
Fellings- pH:	6,09	6,09	6,1	6,12
Driftstimer	2	4	5	7
<b>Doseringsmengder:</b>				
PAX	1,6	1,6	1,6	1,6
Polymer	0,12	0,12	0,12	0,12
Lut	3,2	3,2	3,2	3,2
<b>Laboratorie-analyser</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>	<b>Filtrert vann</b>
pH	6,08	6,05	6,03	6,06
Farge mg Pt/l	2,00	3,00	4	7
Alkalitet m mol/l	0,02	0,04	0,04	0,04
Turbiditet FTU	0,07	0,09	0,1	0,15
Ledn. Evne *s/cm	47,70	49,30	49,1	48,3
Alum. Rest mg/l	0,031	0,028	0,039	0,095

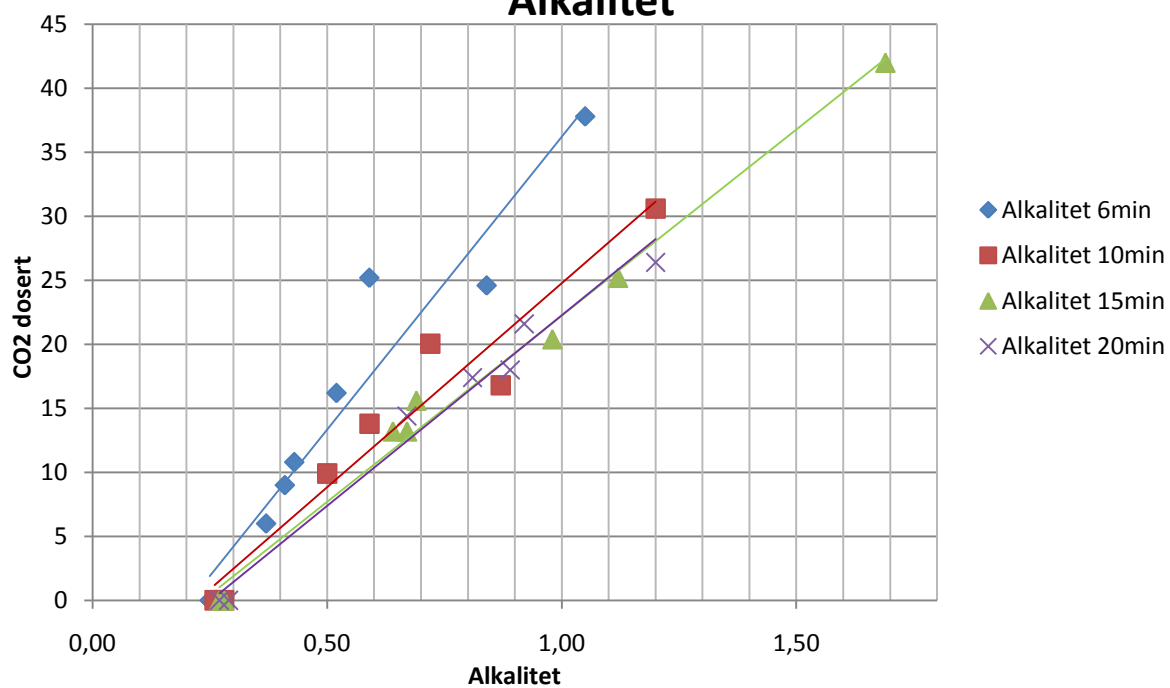
## **Vedlegg 2: Tilført kalsium, alkalitet og pH etter filtrering gjennom marmorfilter**

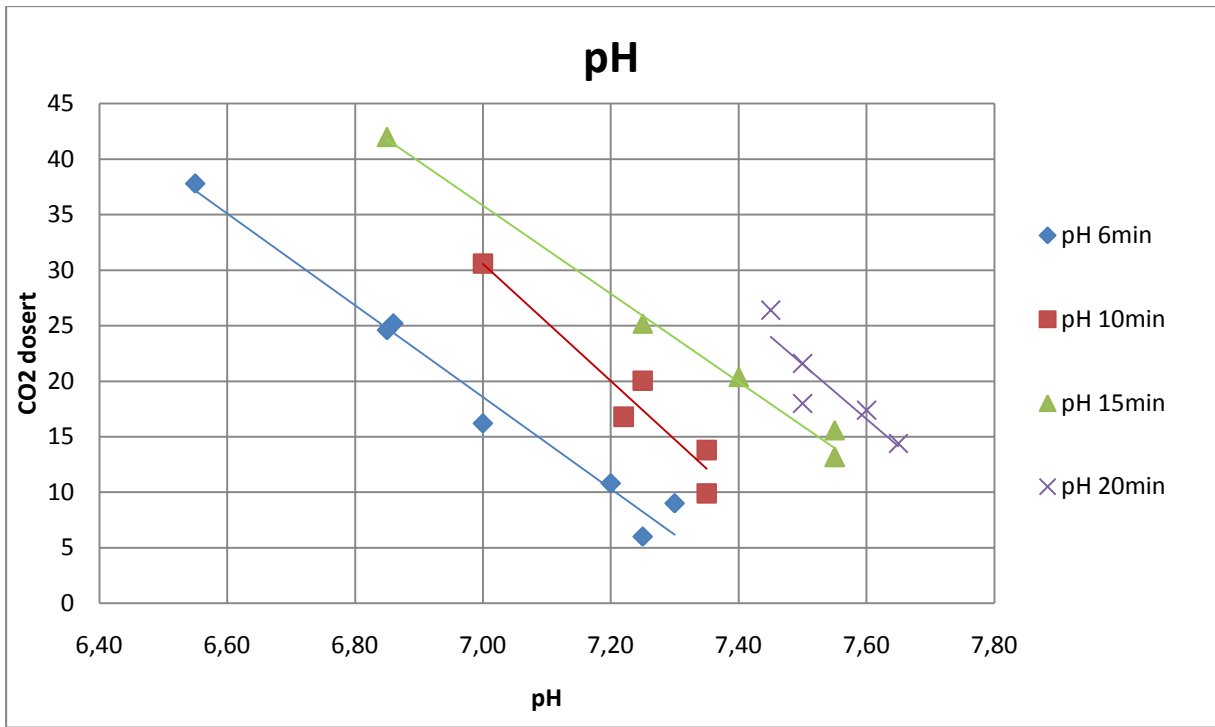
Figurene viser tilførsel av kalsium, alkalitet og pH ved forsøkene med filtrering gjennom marmorgrus.

## Tilført Kalsium



## Alkalitet





## **Vedlegg 3: Forbruk av marmorgrus**

## Forbruk av marmorgrus

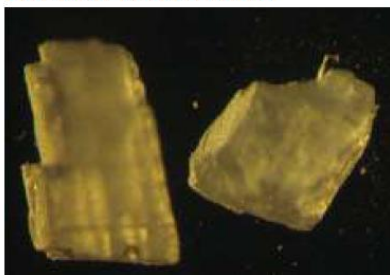
Visnes kalk 1-3mm

Bulkvekt av marmorgrus	Kalsium i marmorgrus	Ca mengde vannet tar fra marmorgrusen	Filtrert mengde		Forbruk av marmorgrus	
			m3/h	m3/år	m3/år	tonn/år
1,45	565,5	13	685	6 000 000	137,9	200,0
1,45	565,5	13	799	7 000 000	160,9	233,3
1,45	565,5	13	913	8 000 000	183,9	266,7
1,45	565,5	13	1027	9 000 000	206,9	300,0
1,45	565,5	13	1142	10 000 000	229,9	333,3
1,45	565,5	13	1256	11 000 000	252,9	366,7
1,45	565,5	13	1370	12 000 000	275,9	400,0
1,45	565,5	13	1484	13 000 000	298,9	433,3
1,45	565,5	13	1598	14 000 000	321,8	466,7



Produktdatablad for marmorgrus som er brukt i pilotanlegget

## PRODUKTDATABLAD



### VANNVERKSMARMOR 1-3 mm

Visnes Vannverksmarmor er en svært rein kalsiumkarbonat, grovkrySTALLIN av mineralogi, av ordovicisk-silursk alder (ca. 400-500 millioner år), men sterkt omdannet under de kaledonske fjellkjedefoldingene. Kalken er svært reint karbonat, med  $\text{CaCO}_3$  (kalsitt) som dominerende mineral. Ved levering fra kalkverk er Visnes Vannverksmarmor et tørt produkt (ca. 0,6% vann).

Registrert hos Mattilsynet: Iht. Drikkevannsforskriften av 4. des. 2001 nr. 1372, §15.

Godkjenningensdato 02.10.1997, Statens Næringsmiddeltilsyn.

Varetype: Vannverksmarmor iht. NS-EN 1018 Kalsiumkarbonat

Klasse 1 – Grad 1 – Type 1

Deklarerbare hovedkomponenter:  $\text{CaCO}_3$  : 98%  $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$  : 98,5%

NV (nøytraliserende verdi e. A.2.2) : 98,5

Syreuløselig rest: 0,7%

Frivillig deklarete komponenter: Kalsium (Ca): 39%

Magnesium (Mg): Mindre enn 0,5%

Findelingsgrad:  
Percentilverdier  
(leverandør-  
spesifikke)

Deklarert	Toleranse
d98 = 3,15 mm	98-100% < 3,15 mm
d20 = 1,0 mm	10-30% < 1,0 mm
d4 = 0,5 mm	2-6% < 0,5 mm
d1 = 0,063 mm	0-1% < 0,063 mm

Sorteringsgrad (d60/d10): 2,2

d10 = 0,6 mm, d90 = 1,8 mm

Sporelement:

Element	Typiske verdier	Krav NS-EN 1018 – reneste vare
Sb	< 0,90 mg/kg	≤ 3 mg/kg
As	0,90 mg/kg	≤ 3 mg/kg
Cd	< 0,09 mg/kg	≤ 2 mg/kg
Cr	2,4 mg/kg	≤ 10 mg/kg
Pb	0,6 mg/kg	≤ 15 mg/kg
Hg	<0,001 mg/kg	≤ 0,5 mg/kg
Ni	< 2,3 mg/kg	≤ 10 mg/kg
Se	< 0,9 mg/kg	≤ 3 mg/kg

Volumvekt: 1,4-1,5 kg/dm<sup>3</sup> (tørr vare)

Leveringsmåte: I bulk (løst) - i sekk (1000 kg)

Bruk: Visnes Vannverksmarmor brukes som alkaliske filter- og støttmasser i vannverk.

Lagring: - Bulkvare: Innendørs planlager el. silo.

- Sekkevare: Innendørs/utendørs. Pass på at plast/emballasje ikke skades!

Sikkerhetsforskrifter:

Vannverksmarmor støver normalt ikke under håndtering – bruk evt. vernebriller og maske.



## Visnes Kalk AS

6493 LYNGSTAD

TLF. 71299220

E-post: [post@visneskalk.no](mailto:post@visneskalk.no)

Internett: <http://www.visneskalk.no>

## **Vedlegg 4: Vurdering av logkreditt for Seierstad VBA**

**Vurdering av barrierehøyde og logkreditt for Seierstad VBA, utarbeidet av VIV.**

Vurdering manglende log-reduksjon i sluttdeinfiseringen			Seierstad VBA				Seierstad VBA		
			Bakterier	Virus	Parasitt		Bakterier	Virus	Parasitt
Nødvendig barrierehøyde i forhold til vannkvalitet	Tab 3.2	B	5	5	2,5	Cc	5,5	5,5	4
Maksimal log-kreditt for tiltak knyttet til vannkilde og nedbørfelt - innsjøer	Tab 3.4 og tab 3.8		1,25	1,25	1		1,25	1,25	1
Maksimal logkreditt for vannbehandling utover sluttdeinfeksjon	Tab 3.90 og tab 3.10		3	3	2		3	3	2
<b>Behov for log-reduksjon i sluttdeinfiseringen</b>			<b>0,75</b>	<b>0,75</b>	<b>-0,5</b>		<b>1,25</b>	<b>1,25</b>	<b>1</b>
Klordesinfeksjon			3	1,5	0		3	1,5	0
<b>Ytterligere behov for behandling (+ verdier )</b>			<b>-2,25</b>	<b>-0,75</b>	<b>-0,5</b>		<b>-1,75</b>	<b>-0,25</b>	<b>1</b>

## **Vedlegg 5: Økonomi**

### Kjemikaliekostnader ved bruk av mikronisert marmor

Kjemikalie	Kostnad kr./tonn	Al %	CaCO3 %	Al kr./kg.	Ca kr./kg	CO2 kr./kg.	Polymer kr/kg	NaOH kr./kg	NaOCl kr./kg.	NH3 kr./kg.	Dosering g/m3	øre/m3	%
PAX 16	2461	8,0		30,763							1,6	<b>4,9</b>	24,0
CaCO3	1610		75		5,37						6,5	<b>3,5</b>	17,0
CO2	1510					1,51					18,5	<b>2,8</b>	13,6
Polymer	39560						39,6				0,12	<b>0,5</b>	2,3
NaOH	5236							5,236			15	<b>7,9</b>	38,4
NaOCl (15%)	2900								19,3		0,35	<b>0,7</b>	3,3
NH3	52452									52,452	0,05	<b>0,3</b>	1,3
											<b>Sum</b>	<b>20,5</b>	<b>100,0</b>

### Kjemikaliekostnader ved filtrering gjennom marmorgrus

Kjemikalie	Kostnad kr./tonn	Al %	CaCO3 %	Al kr./kg.	Ca kr./kg	CO2 kr./kg.	Polymer kr/kg	NaOH kr./kg	NaOCl kr./kg.	NH3 kr./kg.	Dosering g/m3	øre/m3	%
PAX 16	2461	8,0		30,763							1,6	<b>4,9</b>	39,5
CaCO3	525		100		1,31						13	<b>1,7</b>	13,7
CO2	1510					1,51					12	<b>1,8</b>	14,5
Polymer	39560						39,6				0,12	<b>0,5</b>	3,8
NaOH	5236							5,236			5	<b>2,6</b>	21,0
NaOCl (15%)	2900								19,3		0,35	<b>0,7</b>	5,4
NH3	52452									52,452	0,05	<b>0,3</b>	2,1
											<b>Sum</b>	<b>12,5</b>	<b>100,00</b>

## Utbygging av alkaliske filtre for korrosjonskontroll

Årskostnader, kapital og driftskostnader

Prisnivå vår 2010

Kostnadsdel	Investering mill.kr.	Rentefot %	Avskrivning år	Driftskost. mill.kr.	Kapitalkost mill.kr.
Bygg og anlegg	17,3	5	50		0,950
Maskinelt, el., automatikk, VVS	20,5	5	20		1,643
Sum investering	37,8		<b>Sum kapital</b>		2,593
Vedlikehold				0,1	
Pass/driftskontroll				0,05	
Lavere kjemikaliekost.				-0,64	
Kost.mikr.marmor				-0,03	
Energi				0,2	
			<b>Sum drift</b>	-0,32	
			<b>Årskostnad</b>		2,273

### Økt vannpris i forhold til produsert mengde på Seierstad

Produsert mengde m3	Kap. Kost. kr	drifts. Kost kr	Kap. Kost. kr./m3	drifts. Kost kr./m3	Sum kr./m3
8 000 000	2 593 081	-320 000	0,324	-0,040	0,284

### Økt vannpris i forhold til totalt vannforbruk, og 8,0 mill m3 fra Seierstad

Produsert mengde totalt m3	Kap. Kost. kr.	drifts. Kost kr	Kap. Kost. kr./m3	drifts. Kost kr./m3	Sum kr./m3
24 000 000	2 593 081	-320 000	0,108	-0,013	0,095

## Besparelse ved utsettelse av investeringer

Bruk av realrente.

Øket levetid for ledningsnettet ved korrosjonskontroll. Økonomisk besparelse.

Dagens kostnad for omlegging Nåverdi	Gjenværende levetid for ledningsnettet.	Realrente	Nåverdi ved utsettelse av omlegging	Besparelse ved øket levetid fra i dag og fremover. Nåverdi av utsettelsen
kr.	År	%	mill.kr.	mill.kr.
100 000 000	50	1,0	60 803 882	39 196 118
100 000 000	50	2,0	37 152 788	62 847 212
100 000 000	50	3,0	22 810 708	77 189 292
100 000 000	50	4,0	14 071 262	85 928 738
100 000 000	50	5,0	8 720 373	91 279 627
Dagens kostnad for omlegging Nåverdi	Gjenværende levetid for ledningsnettet.	Realrente	Nåverdi ved utsettelse av omlegging	Besparelse ved øket levetid fra i dag og fremover. Nåverdi av utsettelsen
kr.	År	%	mill.kr.	mill.kr.
100 000 000	60	1,0	55 044 962	44 955 038
100 000 000	60	2,0	30 478 227	69 521 773
100 000 000	60	3,0	16 973 309	83 026 691
100 000 000	60	4,0	9 506 040	90 493 960
100 000 000	60	5,0	5 353 552	94 646 448
Dagens kostnad for omlegging Nåverdi	Gjenværende levetid for ledningsnettet.	Realrente	Nåverdi ved utsettelse av omlegging	Besparelse ved øket levetid fra i dag og fremover. Nåverdi av utsettelsen
kr.	År	%	mill.kr.	mill.kr.
100 000 000	70	1,0	49 831 486	50 168 514
100 000 000	70	2,0	25 002 761	74 997 239
100 000 000	70	3,0	12 629 736	87 370 264
100 000 000	70	4,0	6 421 940	93 578 060
100 000 000	70	5,0	3 286 617	96 713 383
Dagens kostnad for omlegging Nåverdi	Gjenværende levetid for ledningsnettet.	Realrente	Nåverdi ved utsettelse av omlegging	Besparelse ved øket levetid fra i dag og fremover. Nåverdi av utsettelsen
kr.	År	%	mill.kr.	mill.kr.
100 000 000	80	1,0	45 111 794	54 888 206
100 000 000	80	2,0	20 510 973	79 489 027
100 000 000	80	3,0	9 397 710	90 602 290
100 000 000	80	4,0	4 338 433	95 661 567
100 000 000	80	5,0	2 017 698	97 982 302