

Til: Ringsaker kommune v/ Espen Mærde
Kopi: Norconsult AS v/ Tor Jostein Furu og Anne-Marie Bomo
Fra: Svein Forberg Liane
Dato: 2017-11-13

Mesnali vannverk -

Vurdering av vannbehandlingsløsning

Ringsaker kommune har bedt Norconsult om å utrede alternative vannbehandlingsløsninger for nye Mesnali vannverk – som en del av pågående forprosjektarbeid.

Innsjøen Nord-Mesna er valgt som ny drikkevannskilde, med forventet inntak på ca. 30 m dyp. Råvannsanalyser viser at vannet her har høyt fargetall og høyt innhold av organisk stoff og mangan, og er klart påvirket av fekal forurensing. Dette tilsier at omfattende vannbehandling blir nødvendig.

I notatet presenteres forutsetninger for ny vannbehandling og ulike prosessalternativ som er mulige for å oppfylle myndighetskrav og kommunens egne mål. I foreliggende notatutgave er det gjort detaljert teknisk og kostnadmessig vurdering av flere løsninger som kan være aktuelle. Hensikten er å gi et tilstrekkelig beslutningsgrunnlag for valg av vannbehandling, og underlag for nytt vannverksbygg – arealbehov og bygningsmessig løsning.

1. Forutsetninger og mål

Det overordnede mål er å forsyne nok og godt vann til dagens og framtidig hyttebebyggelse og fastboende på Sjusjøen og Mesnali, slik at alle krav i drikkevannsforskriften oppfylles. Det blir behov for prosessiltak for å sikre tilstrekkelig med mikrobiologiske hygieniske barrierer og akseptabel bruksmessig (fysisk/kjemisk) kvalitet.

1.1. Produksjonskapasitet

Forsyningskapasiteten til nye Mesnali vannverk skal tilpasses forventet framtidig bebyggelse på Sjusjøen og Mesnali. Det er planer om vesentlig utvidelse i hytte- og fritidsbebyggelsen, og dimensjonerende tilknytning og drikkevannsproduksjon avhenger av dette. Hva det skal dimensjoneres for, er foreløpig ikke avklart. Uansett må det leveres mye mer drikkevann enn det som skal til for å forsyne de 2.600 hytter/enheter som er tilknyttet dagens kommunale ledningsnett (som nå forsynes fra Lillehammer vannverk).

For foreløpig anskueliggjøring ser vi her for oss at vannbehandlingsanlegg og inntakssystem dimensjoneres for 400 m³/h for å møte framtidig maksimalforbruk, skaffe nødvendig intern spylevannmengde i vannbehandlingen (10-15 % av produksjonen), og for å tillate stopp i anlegget i 2 timer per døgn for prosess-spyling, service, o.l.

Bygger man nytt vannbehandlingsanlegg for full framtidig kapasitet nå, kan man få utfordringer med å drifte anlegget i lavsesong, samt at utbyggingen blir kostbar. Vi vil derfor foreslå en stegvis prosess-utbygging, og vi tar her utgangspunkt i:

Trinn 1: $Q_{dim} = 200 \text{ m}^3/\text{h}$ (tilpasset forsyning til 5.000 hytter/enheter)

Trinn 2: $Q_{dim} = 400 \text{ m}^3/\text{h}$ (tilpasset forsyning til 10.000 hytter/enheter)

De store prosessenhetene tilpasses trinn 1, med modulær utbygging egnet for variabel produksjon og framtidig utvidelse, mens bygning og maskininstallasjon allerede nå tilpasses framtidig behov i trinn 2. Konkret foreslås:

- Rørsystem, pumpearrangement, doseringsutrustning og bygningsmessige volum tilpasses framtidig produksjon $400 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Filtrevolum og UV-aggregat dimensjoneres for $200 \text{ m}^3/\text{h}$ (prosessavhengig).

Kritiske produksjonstrinn (spesielt UV-anlegg, vannpumper og doseringspumper) skal inneholde nødvendig reserver slik at utfall av enkeltelement skal kunne skje i en maksimal forsynings situasjon.

Det er en forutsetning at anlegget greit skal kunne produsere mindre vannmengder i lavsesong. Minimum momentanproduksjonen settes til $Q_{min} = 50 \text{ m}^3/\text{h}$.

1.2 Rentvannskvalitet og hygienisk sikkerhet

Vannbehandlingsanlegget skal inneholde tilstrekkelige hygieniske barrierer i vannforsyningen, ref. drikkevannsforskriften §13. Norsk Vann rapport 209/2014 «Veiledning i mikrobiell barriere analyse (MBA)» benyttes for å definere nødvendig barrierehøyde og barriereeffekter av de ulike prosesstrinn.

Mindre avvik i et foregående behandlingstrinn skal kunne håndteres av påfølgende behandlingstrinn og i sluttdeinfeksjonen. Hygienisk sikkert rentvann til enhver tid skal være hovedfokus.

Dimensjoneringskriterier gitt i Norsk Vann rapport 212/2015 «Veiledning for dimensjonering av vannbehandlingsanlegg» skal legges til grunn for de aktuelle vannbehandlingstrinn.

Det anbefales at følgende vannkvalitet oppnås ut av behandlingsanlegget:

Parameter	Mål	Krav
Koliforme bakterier (antall/100 ml)	0	0 (tiltaksgrense)
E. coli (antall/100 ml)	0	0 (grenseverdi)
Intestinale enterokokker (antall/100 ml)	0	0 (grenseverdi)
Clostridium perfringens (antall/100 ml)	0	0 (tiltaksgrense)
Kimtall (antall/ml)	< 50	100 (tiltaksgrense)
Fargetall (mg Pt/l)	< 5	
Organisk stoff - TOC (mg C/l)	< 3	
Turbiditet (NTU)	< 0,2	
Jern (mg Fe/l)	< 0,15	0,2 (tiltaksgrense)
Aluminium (mg Al/l)	< 0,15	0,2 (tiltaksgrense)
Mangan (mg Mn/l)	< 0,03	0,05 (tiltaksgrense)
pH	7,5-8,5	6,5-9,5 (tiltaksgrense)

Kravene er definert i parametertabeller i drikkevannsforskriftens vedlegg 1 og 2.

Parametermålene følger generelle faglige råd bl.a. gitt i drikkevannsforskriftens veileder. Målverdier for farge, TOC, turbiditet og restkoagulant (aluminium) indikerer hvorvidt nødvendig hygieniske barriereeffekt er oppnådd i et koaguleringsanlegg, og disse bør således anses som kravverdier.

Det legges til grunn at det bare er plastledninger på nettet, og at alkalitet og kalsiuminnhold derfor ikke blir styrende parametere for å forhindre materialkorrosjon.

Utover dette skal alle parameterkrav gitt i drikkevannsforskriften oppfylles.

Rentvannsmålene skal oppnås i alle driftssituasjoner og ved mindre forverring i råvannskvalitet. Registrert råvannskvalitet i Nord-Mesna framkommer i NIVA-rapport L.nr. 6881-2015 og i notater fra Norconsult av 08.05.2017 og 02.11.2017.

1.3 Avløpshåndtering

Slamproduksjonen fra koaguleringsanlegg og kjemikalieholdige avløpsstrømmer er i utgangspunktet tenkt ledet til spillvannsnettet og Moelv RA. Alternativet er lokal slamhåndtering på vannverket, med oppkonsentrering av koaguleringssslam, lagring i container og bortkjøring til deponi eller annet mottak.

Det kan trolig legges til grunn at renere avløpsstrømmer, f.eks. dekantat fra slamsedimentering og spylevann fra et eventuelt selvstendig manganfjerningstrinn, kan ledes direkte tilbake til Nord-Mesna. Dette må imidlertid først avklares med forurensingsmyndigheten.

1.4 Tilsyn og drift

Det er i utgangspunktet ønskelig med vannbehandlingsprosess som er lett å drifte. Vannverksbygget skal ikke være en varig arbeidsplass.

Det legges til grunn at anlegget fjernovervåkes og kan fjernstyres. Levert vannkvalitet skal måles online mht. kritiske parametere. Alarmer skal utløses ved avvik i produksjonen, og anlegget skal stoppes automatisk ved utfall eller alvorlige avvik i viktige behandlingstrinn.

2. Kilde, råvannskvalitet og hygienisk barrierehøyde

Det er mye aktivitet og bebyggelse i umiddelbar nærhet til Nord-Mesna. Ringsaker kommune anser det vanskelig og lite ønskelig å innskrenke dagens aktivitet og begrense framtidig utbygging i kildens nærområde. Innsjøen er stor, og fortynningsgrad av eventuell forurensing vil være ditto stor, forutsatt at forurensingen ikke skjer nært dypvannsinntaket til vannverket, noe vi anser lite sannsynlig.

Vi ser det som relativt lite effektivt for råvannskvaliteten å innføre klausuleringer i nedbørsfelt og kilde. Vi anbefaler og forutsetter heller at Ringsaker kommune tar hensyn til at Nord-Mesna er drikkevannskilde i overordna kommunale planer og reguleringsplaner. Det vises til drikkevannsforskriften §4 og §12.

Videre forventes at direkte kloakkutslipp til kilden og kildens tilførselselver unngås og eventuelt saneres, og at overløp fra kloakkpumpestasjoner begrenses og kontrolleres.

Forurensingsforskriften anses ellers som tilstrekkelig for å redusere forurensingsfare og begrense forurensende aktivitet.

Det vil si at alle nødvendige hygieniske barrierer må inngå i vannbehandlingsanlegget.

2.1 Råvannskvalitet

NIVA og Norconsult (ref. tidligere nevnte rapporter) har funnet at vannkvaliteten på aktuelt inntakssted på 20-30 m dyp i Nord-Mesna per i dag er slik:

Parameter	Råvannskvalitet
Koliforme bakterier (antall/100 ml)	0-30
E. coli (antall/100 ml)	0-11
Intestinale enterokokker (antall/100 ml)	0-5
Clostridium perfringens (antall/100 ml)	0-1
Kimtall (antall/ml)	10-460
Fargetall (mg Pt/l)	30-50
Organisk stoff - TOC (mg C/l)	4,5-7,0
Turbiditet (NTU)	0,2-1,5
Jern totalt (mg Fe/l)	0,06-0,19
Jern løst (mg Fe/l)	0,05-0,10
Mangan totalt (mg Mn/l)	0,03-0,09
Mangan løst (mg Mn/l)	0,003-0,09
Aluminium (mg Al/l)	0,05
pH	6,4-6,9
Alkalitet (mmol/l)	0,09-0,11
Kalsium (mg Ca/l)	2,7-3,3
Oksygenmetning (%)	2-60

Det bemerkes spesielt:

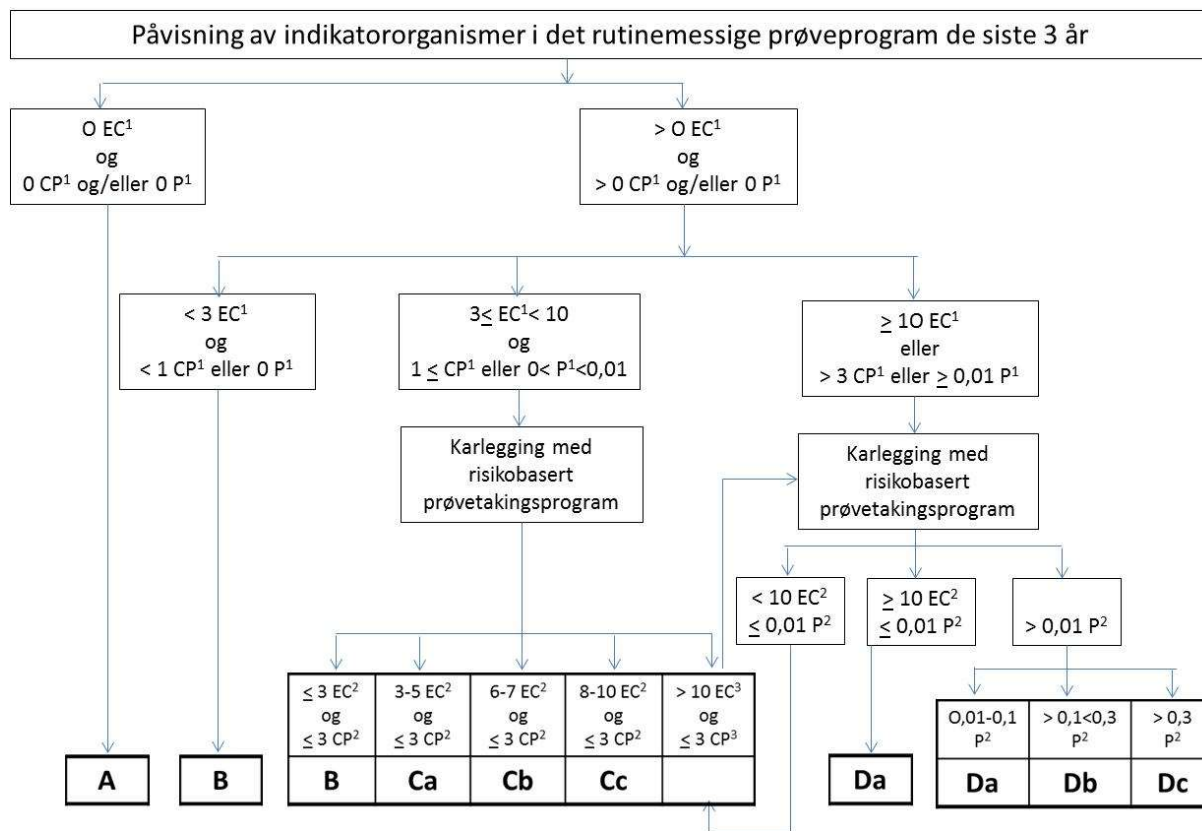
- Råvannet på aktuelt inntaksdyp har tidvis høyt innhold av tarmbakterier, dvs. fersk fekal forurensing. (Hygienisk vannkvalitet er enda dårligere nærmere overflaten.)
- Fargetall og organisk innhold er stabilt svært høyt.
- Innholdet av mangan varierer og er til tider godt over tiltaksverdi.

Etter lengre tids stagnasjon – spesielt tidlig på våren med islagt vann – er oksygeninnholdet svært lavt under 20 meters dyp, noe som her gir løst mangan og jern (på ioneform). Høyere opp i vannmassene foreligger mangan og jern i oksydert og bundet form, noe som er lettere å filtrere ut.

Dette er forhold det må tas hensyn til ved valg av vannbehandling. Det kan også være at man visse tider av året (spesielt på våren) tar ut vann fra høyere vannlag for å unngå løst mangan og dermed kunne forenkle vannbehandlingsprosessen.

2.2 Hygienisk barrierehøyde - MBA

For å definere nødvendig barrierehøyde for en kilde, benyttes følgende skjema hentet fra Norsk Vann rapport 209/2014 (MBA-rapporten):



¹Funn av angitt indikator (EC – *E. Coli*, CP – *Clostridium Perfringens*) over angitt verdi (antall/100 ml) én eller flere ganger i løpet av de siste 3 år

²Middelkonsentrasjon (antall/100 ml) av angitt indikator over prøvneperioden eller registrering av angitt nivå i mer enn 1/6 av prøvene (16,7 %) over perioden
For parasitter gjelder summen av Giardia og Cryptosporidium/100 ml

³Eller > 20 EC eller > 6 CP i enkeltprøver

Videre står det i MBA-rapporten: *Hvis det er utslipp av spillvann (behandlet eller ubehandlet) direkte til vannkilden, skal man gå direkte til D-kategori uavhengig av funn av E.coli eller Clostridium perfringens gjennom rutineanalyser.*

I Nord-Mesna har man funnet E.coli-verdier over 10 pr. 100 ml selv på større dyp, men det er ikke gjort spesifikke analyser på parasitter i et utvidet prøveprogram. Det kan forventes at de er til stede i små mengder. Videre har man ifølge kommunen ikke kontroll med alle kloakkløsninger i nærområdet til innsjøen. Begge forhold tilsier at man her får en drikkevannskilde i kategori D, og vi velger her kildekategori Da med lavt parasittinnhold pga. innsjøens størrelse.

Nødvendig barrierehøyde for Da-kilde som forsyner mer enn 10.000 personer, slik som her, er i MBA-rapporten satt til:

- 6 log fjerning av bakterier
- 6 log fjerning av virus
- 4 log fjerning av parasitter

Eller i kortversjon: **6,0b + 6,0v + 4,0p**

I og med at det ikke innføres spesifikke sikringstiltak rundt kilden i et slikt omfang at innholdet av E.coli og andre patogener reduseres i vesentlig grad, må all nødvendig log-reduksjon (for fjerning eller inaktivering av mikroorganismer) tas i vannbehandlingsprosessen.

3. Vannbehandling

Vannbehandlingen skal løse følgende:

- Redusere vannets fargetall, TOC-innhold og turbiditet til ønskede målverdier, dvs. til hhv. under 5 mg Pt/l, under 3 mg C/l og under 0,2 NTU.
- Redusere vannets innhold av mangan til ønsket målverdi, dvs. til under 0,03 mg Mn/l.
- Heve pH til ønsket målverdi 7,5-8,5.
- Oppnå nødvendig hygienisk sikkerhet (log-kreditt), hvorav minst ett selvstendig desinfeksjonstrinn skal inngå.

3.1 Reduksjon av organisk stoff og turbiditet

De alternative prosessløsninger vi her ser for oss som aktuelle for høygradig reduksjon av organisk stoff (farge og TOC) og turbiditet, samt øke vannets UV-transmisjon (se kap. 3.4), er:

- Koagulering – kontaktfiltrering på flermedia filter (intermittent spykende)
- Koagulering – kontaktfiltrering på kontinuerlig spykende sandfilter
- Koagulering – ultramembranfiltrering (UF)
- Membranfiltrering på nanomembraner (NF)

Disse vil også redusere innholdet av bundet (oksydert) jern og mangan, men vil ikke redusere innhold av løste metaller i vannet.

Fordeler og ulemper med prosessalternativene er vurdert i tabellen under.

Prosess	Fordeler	Ulemper
Koagulering – kontaktfiltrering på flermediafilter med alkalisk del (Moldeprosess)	<p>God renseeffekt forutsatt stabil koagulering og filterdrift.</p> <p>Restkoagulant (jern) fjernes i marmorlag.</p> <p>Få kjemikalier, kun koagulant og kanskje CO₂-tilsats.</p> <p>Lave energikostnader.</p> <p>pH-kontroll og karbonatisering i samme prosessstrinn.</p>	<p>Jernklorid eller evt. kitosan er eneste egnede koagulanter.</p> <p>Filterspyling og modningstid må kalibreres godt inn for å oppnå gode resultat.</p> <p>Fare for skjevbelastning mellom parallelle filter – automatiserte reguleringstiltak kreves.</p> <p>Avvik i koagulering og filterdrift vil raskt gi brudd på hygienisk barriere.</p> <p>Mange automatiserte deler, og kompleks driftsstyring.</p> <p>Krever hyppig tilsyn og kontroll, spesielt ved variabel produksjon og raske endringer i råvannskvalitet.</p> <p>Dårlig råvann (høy farge) gir høy slamproduksjon og utfordring med slamakkumulering i filter – hyppig filterspyling går ut over produksjonskapasitet.</p> <p>Lite egnet for modulær utbygging.</p>

<p>Koagulering – kontaktfiltrering på kontinuerlig spykende filter (DynaSand)</p>	<p>God renseeffekt forutsatt stabil koagulering og filterbelastning.</p> <p>Ingen slamakkumulering i filtersenga, og kan derfor håndtere dårlig råvannskvalitet og høy slamproduksjon.</p> <p>Ingen avbrudd i filtertid ved spyling og modning.</p> <p>Jevn produksjonsfordeling mellom parallelle filter.</p> <p>Alle koagulanter kan anvendes.</p> <p>Kan greit tilpasses variabel vannproduksjon.</p> <p>Enkel driftsstyring og få bevegelige komponenter.</p> <p>Modulbaserte filtertanker – enkelt å utvide kapasitet senere.</p> <p>Passer inn i industribygg med enkel konstruksjon.</p>	<p>Større sannsynlighet for filterbrudd – etterfølgende marmorfilter er en fordel for å fange opp evt. partikkelflukt.</p> <p>Høyt samlet spylevannsforsbruk – kan reduseres ved å sette filterenheter ut av produksjon ved lavt forbruk.</p> <p>Luttilsats kreves for å treffe riktig koagulerings-pH.</p> <p>Krever stort areal og høyt filterrom (8-9 m romhøyde).</p> <p>Kun én leverandør i markedet.</p>
<p>Koagulering – ultra membranfiltrering (UF)</p>	<p>Meget god partikkelfjerning og hygienisk barriereeffekt, og gir god og stabil rentvannskvalitet selv ved dårlig og variabel råvannskvalitet.</p> <p>Barriereeffekten er god ved avvik i koaguleringen.</p> <p>Høy vanngjenvinningsgrad.</p> <p>Alle koagulanter kan i prinsipp anvendes, men aluminium er vanligst og trolig best egnet.</p> <p>Modulbasert system – enkelt å utvide kapasitet med flere membranrør eller membran-riggerheter.</p> <p>Kompakt anlegg som krever lite byggareal og volum.</p> <p>Passer inn i industribygg med enkel konstruksjon.</p>	<p>Produksjonskapasitet er klart begrenset av membran-anleggets maksimale kapasitet.</p> <p>Avvik i koagulering og membrandrift vil raskt gi belegg på membranene og påfølgende kapasitetsreduksjon.</p> <p>Luttilsats kreves for å treffe riktig koagulerings-pH.</p> <p>Krever mange kjemikalier for daglig membranvask (syre, lut og klor).</p> <p>Ved beleggproblem kreves spesialvask med varmt vann og kraftigere kjemikalier for å reetablere produksjonskapasitet.</p> <p>Prosessavsløp må håndtere de anvendte kjemikalier – krever utjamning og pH-kontroll før avløp til spillvannnett.</p> <p>Mange automatiserte deler, og kompleks driftsstyring.</p> <p>Leverandøravhengighet for oppfølging – serviceavtale viktig.</p> <p>Kostbart å bytte membraner – forventet levetid 10 år.</p>

<p>Membranfiltrering på nano-membraner (NF)</p>	<p>Meget god partikkelfjerning og hygienisk barriereeffekt, og gir god og stabil rentvannskvalitet selv ved dårlig og variabel råvannskvalitet.</p> <p>Ingen kjemikalietilsats i vannstrømmen.</p> <p>Ingen slamproduksjon – konsentrat kan slippes rett til resipient.</p> <p>Relativt enkel drift.</p> <p>Modulbasert system, og enkelt å utvide kapasitet med flere membranrør eller membran-riggerheter.</p> <p>Kompakt anlegg som krever lite byggareal og volum.</p> <p>Passer inn i industribygg med enkel konstruksjon.</p>	<p>Produksjonskapasitet er klart begrenset av membran-anleggets maksimale kapasitet.</p> <p>Krever kjemikalier for daglig membranvask.</p> <p>Prosessavløp må håndtere de anvendte kjemikalier – krever utjamning og pH-kontroll før avløp til spillvannnett.</p> <p>Fare for beleggdannelse (fouling) over tid som gir kapasitetsreduksjon – vanskelig å reetablere kapasitet uten å bytte membraner.</p> <p>Krever god fjerning av partikler større enn 50 µm før membranfiltrering.</p> <p>Svært høye energikostnader pga. høyt driftstrykk og sirkulasjon over membranrør.</p> <p>Svært mange membraner, og kostbart å bytte dem – forventet levetid 6 år.</p> <p>Lav vanngjenvinningsgrad (kun ca. 70 %).</p> <p>Fjerner ikke smak- og luktstoffer i vannet.</p> <p>Leverandøravhengighet for oppfølging – serviceavtale viktig.</p>
---	---	---

Nanomembranfilteranlegg (NF) vil ha vesentlig høyere totalkostnad enn de øvrige prosessalternativ, først og fremst pga. langt høyere driftskostnader. Det kreves mange flere NF-membraner enn UF-membraner (4-5 ganger flere) da dimensjonerende fluks/flatebelastning er langt lavere. NF-anlegg er best egnet ved små og mindre vannverk. Vi ser derfor bort fra denne prosessløsningen på Mesnali.

De tre nevnte koaguleringsprosessene anses således som mest interessante for Mesnali VV, og vi vil vurdere dem alle nærmere i foreliggende notatet.

3.2 Reduksjon av løst mangan

Jern og mangan foreligger løst i vannet på store dyp i innsjøen etter lengre stagnasjonsperiode. Løst mangan vil ikke bli redusert gjennom koagulering-filtreringsprosessen, noe enklere med jern. Det vil si at manganverdiene til tider kan være høyere ut fra dette prosesstrinnet enn drikkevannsforskriftens tiltaksverdi. Et separat etterfølgende behandlingstrinn for å felle ut løst mangan kan i så fall bli nødvendig.

To metoder anses praktisk mulige i et såpass stort vannverk:

- Tilsats av ozon, kontaktkammer og filtrering
- Tilsats av kaliumpermanganat, oksydering i luftebasseng og filtrering

Både ozon (O₃) og kaliumpermanganat (KMnO₄) er kraftige oksidanter som vil felle ut løst jern og mangan som jern- og mangandioksid.

For manganfelling virker kaliumpermanganat absolutt best ved pH > 8,0, noe som gjør at tilsats før et farge- og partikkelfjerningstrinn neppe vil fungere med mindre permanganatdosen blir uforsvarlig høy (for koagulering med PAX trengs pH 6,0-6,4).

Ozonet er kraftigere og vil ved normale doser også gi manganfelling ved lavere pH. Tilsats av ozon før eller sammen med et koagulering-filtreringstrinn vil imidlertid virke imot koaguleringen fordi humus da spaltes til mindre organiske komponenter. Ozon i vannet vil skade en ultrafiltreringsmembran.

Fordeler og ulemper med de to fellingsmetodene er vurdert i tabellen under.

Prosess	Fordeler	Ulemper
Ozonering – filtrering	<p>Ozon er et kraftigere oksidasjonsmiddel og gir god fellingseffekt på løst jern og mangan, uten at samtidig pH-heving trengs.</p> <p>God hygienisk barriereeffekt – ozon gir kraftig desinfeksjon.</p> <p>Ozon produseres på plassen av luft.</p> <p>Enkel regulering og doseringsstyring.</p> <p>Gir mindre manganslam.</p> <p>Kan greit kombineres med marmorfilter (pH-heving og karbonatisering) i samme filtertrinn.</p> <p>Forbedrer smak og lukt på vannet – ozon spalter organiske komponenter.</p>	<p>Arbeidsmiljømessige hensyn må tas, og tekniske tiltak må innføres for å varsle og begrense skadelig ozonlekkasje.</p> <p>Tette filtertanker eller oppstrøms filtrering er nødvendig for å unngå restozon i rommet.</p> <p>Kontaktvolum med ca. 10 min. oppholdstid før filter er nødvendig for sikker reaksjon og desinfeksjon.</p> <p>Ozonproduksjon krever energi.</p> <p>Ozongeneratorer har begrenset levetid.</p> <p>Leverandøravhengighet for oppfølging – serviceavtale viktig.</p>
Kaliumpermanganat – filtrering	<p>Enkel doseringskontroll.</p> <p>Gir god jern- og manganfelling ved lav permanganatdose.</p> <p>Relativt grunne finsandfilter vil være tilstrekkelig for filtrering.</p>	<p>Ingen desinfeksjonseffekt.</p> <p>Overdosering må unngås for ikke å få rødt vann.</p> <p>pH > 8 for god fellingseffekt, dvs. samtidig luttilsats.</p> <p>Oksydasjonsbasseng med innblanding av luft er nødvendig.</p> <p>Stor manganslamdannelse (dobbelte av felling med ozon).</p> <p>Arbeidsmiljømessige hensyn må tas ved håndtering av permanganatpulver.</p> <p>Dyrt kjemikalium.</p> <p>Lav filtreringshastighet trengs.</p>

Dersom man skal fjerne løst mangan, vil vi anbefale ozonering-filtrering i separat sluttbehandling.

Et eget filter etter ozontilsats kan kombineres med marmorfilter for enkel pH-heving. Typisk filteroppbygging i et nedstrøms manganfjerningsfilter kan da være (ovenfra og ned):

- 0,3 m antrasitt
- 0,3 m finsand
- 1,5 m knust marmor

Kontaktkolonne og nedstrøms filtertanker bør helt tette, evt. lavtrykkstanker, hvor ozonholdig overskuddsgass (mest oksygen) avzoneres og føres i tette rør ut av vannverksbygget. Sikring mot farlig ozonlekkasje skal både gjøres med god ventilering av ozonproduksjonsrom og ved ozondetektorer som stanser all ozonproduksjon og varsler ved aktivering.

Spørsmålet er om fjerning av løst mangan er strengt nødvendig. Uten noen form for tiltak vil det bli bruksmessige problemer for abonnentene med at avsatt manganbelegg i ledningene vil dras med drikkevannet ved økt vannhastighet, bl.a. når forbruket tar seg opp vinterstid.

Vannglass (natriumsilikat) kan tilsettes utgående rentvann, og vil gjennom kompleksbinding kunne hindre at løst mangan feller ut på ledningsnett. Mangankonsentrasjonen blir da ikke redusert.

Man kan etablere vanninntak i Nord-Mesna på ulike dyp, og bruke det øverste inntaket (f.eks. på 10-15 m dyp) sent i stagnasjonsperiode for å unngå oksygenfattig vann med mye løst mangan fra dybder under 20-25 m.

3.3 Heving av pH

Økning av pH til ønsket nivå kan skje med å bruke rimelig marmor sammen med annet filter – enten i Moldeprosess-filter eller i separate polerings-/manganfjerningsfilter. Vi forventer her ikke behov for å tilsette CO₂ for styring av fullverdig karbonatisering.

Alternativ løsning er å tilsette vannglass både for pH-heving, for korrosjonsbegrensning (gi silikatbelegg) og for å kompleksbinde løst toverdige jern og mangan. Vi vil i så fall neppe oppnå pH over 7,5.

3.4 Sluttdesinfeksjon

Vi forutsetter at behandlet vann desinfiseres med UV-bestråling. Dette for å gi tilstrekkelig hygienisk prosessbarriere mot helseskadelige mikroorganismer, spesielt parasitter.

Klorldoseringsanlegg kan enten stå i beredskap eller være i kontinuerlig bruk. Hvorvidt slik kjemisk desinfeksjon er nødvendig til enhver tid avhenger av samlet systemoppbygging. Klorering (eller ozonering) kan være viktig som selvstendig barriere mot virus.

4. Alternativ 1 – Utbygging basert på Moldeprosess

I det etterfølgende ser vi på samlet prosessoppbygging, dimensjonering, arealbehov og grove kostnader knyttet til de hovedalternativene vi anser som mest aktuelle. Først alternativ 1 som baserer seg på vanlige kontaktfiler med diskontinuerlig filterspyling, og da flermedia filter med alkalisk del – Moldeprosess.

Man kunne også tenke seg to-trinns filterløsning med separate Filtralite/sandfilter som kontaktfiler først og marmorfilter etterpå, den såkalte Larvikprosessen, men det er langt mer kostbart og komplekst, og blir derfor ikke vurdert nærmere.

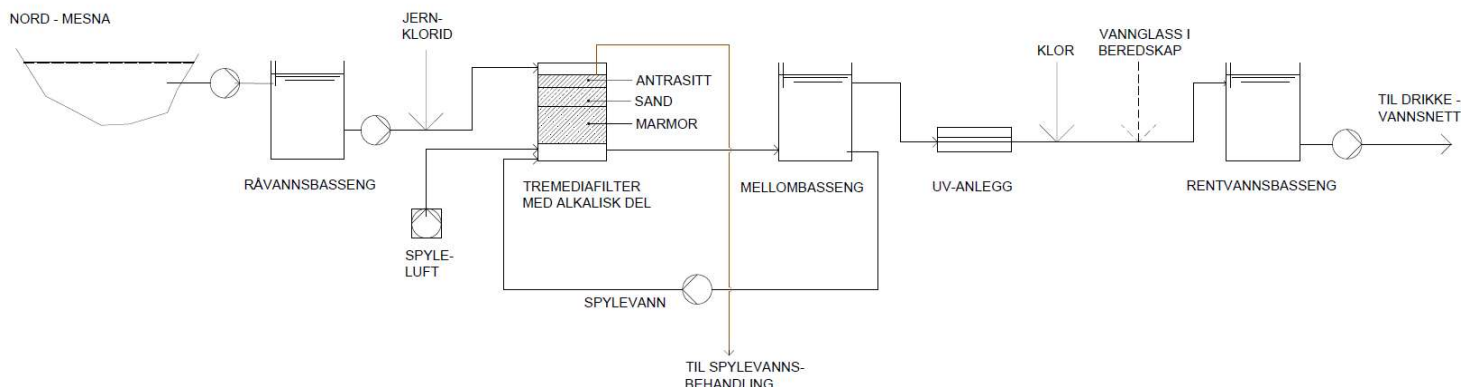
4.1 Samlet prosessløsning

Følgende trinn inngår i vårt alternativ 1:

- Råvannsbasseng med innløpspumper
- Tilsats av jernklorid
- Filtrering i tremedia filter (antrasitt, sand og knust marmor)
- Mellombasseng med uttak for filterspylevann
- UV-desinfeksjon
- Tilsats av hypokloritt (kontinuerlig)
- Tilsats av vannglass (beredskap, lav dose når løst mangan)
- Rentvannsbasseng
- Utløpspumper

Alle filter- og vannbasseng lages i plasstøpt, vanntett betong, som en del av byggets konstruksjon.

Flytskjemaet under viser samlet prosess:



4.2 Dimensjonering og oppbygging

Vi anbefaler følgende prosessdimensjonering og enhetsoppbygging (foreløpig vurdering):

Filtersystem:

- Plasstøpte filterbasseng bygges for $Q = 400 \text{ m}^3/\text{h}$
- Dimensjonerende filtreringshastighet: $v_f = 7,5 \text{ m/h}$
- Samlet filteroverflate: 55 m^2
- Oppdeling: 4 filter á 14 m^2 (4,0 m x 3,5 m)
- Bassengdybde: 5 m
- Filteroppbygging (ovenfra):
 0,6 m antrasitt (1-2 mm) eller Filtralite MC
 0,4 m sand (0,6-0,8 mm)
 2,0 m marmor (1-3 mm)
 0,4 m støttelag

UV-anlegg:

- Dimensjoneres for $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$ ved UV-transmisjon 50 % per 5 cm
- Alltid ett UV-aggregat i reserve
- Oppdeling: 2 stk. UV-aggregat á $200 \text{ m}^3/\text{h}$ ved $UVT_{50} = 50 \%$
- Ved senere utvidelse til $Q = 400 \text{ m}^3/\text{h}$ installeres ytterligere 1 stk. UV-aggregat
- UV-anleggene leveres med effektregulering, for mulig dimming til 50 % pådrag

Doseringsutrustning for natriumhypokloritt (klor):

- Lagertank på 8 m³ for konsentrert hypokloritt (15 % vare), evt. 15 m³ med ferdig fortynnet.
- Eventuell dagtank med fortynning til 3-4 % klorløsning
- 3 stk. doseringspumper

Doseringsutrustning for vannglass – beredskap:

- Lagertank på 8 m³
- 2 stk. doseringspumper

Hovedmaskineri:

- Innløpspumper: 4 stk. pumper à 140 m³/h (frekvensregulerte, lav løftehøyde tilpasses)
- Utløpspumper: 4 stk. pumper à 140 m³/h (frekvensregulerte, stor løftehøyde tilpasses)
- Spylevannspumpe: 3 stk. pumper à 420 m³/h mot 8 mVS (frekvensregulerte)
- Luftspyling: 2 stk. blåsemaskiner à 700 m³/h mot 8 mVS (frekvensregulerte)

Bassenger i bygget:

- Råvannsbasseng som rommer 100 m³ vann (areal 30 m², dybde 4 m)
- Mellombasseng som rommer 250 m³ vann (areal 75 m², dybde 4 m)
- Rentvannsbasseng som rommer 250 m³ vann (areal 75 m², dybde 4 m)
- To gravitasjonsfortykkere som hver rommer 220 m³ vann (areal 45 m², dybde 5 m)

I tillegg kommer eventuelt bassenger, prosessutstyr m.m. for håndtering av spyleslam.

4.3 Bygningmessig løsning og arealbehov

Vannbehandlingsbygget må lages i to etasjer:

- Kjeller: Maskinrom, rørgalleri, UV-anlegg, filterbasseng, vannbasseng og avløpsbasseng
- 1. etasje: Åpne filter (tilgang), kjemikalierom, personalrom, kontrollrom, tavlerom, laboratorium, teknisk rom, lager og evt. slamavvanning.

Kjeller og alle basseng må bygges i vanntett betong. Overbygg i hovedetasje foreslås bygd i trekonstruksjon for tilpasning til filterbasseng og kjellerløsning. Stålkonstruksjon i overbygg kan eventuelt vurderes. Innvendig overflater og løsninger må tåle fuktig miljø.

Grovt stipulert arealbehov (brutto areal) for vannbehandling og basseng i kjeller:

- Filterbasseng: 60 m²
- Maskinrom/rørgalleri: 100 m²
- Vannbasseng: 190 m²
- Gravitasjonsfortykkere: 90 m²

Det vil være god plass til kjemikalierom, lager, tilgang til filter og bassenger, m.m. i etasjen over på samme flate. Personalrom, kontrollrom m.m. kan trolig også inkluderes på tilgjengelig areal i 1. etasje, men det må vurderes nærmere.

Samlet nødvendig grunnflate (over to fulle etasjer) anslås til 440 m². Rom for eventuell lokal slambehandling er her ikke tatt med.

5. Alternativ 2 – Utbygging basert på DynaSand-filter

Dette alternativet baserer seg på kontinuerlig spylende filter av DynaSand-modell, der vi vil anbefale etterfølgende filtertrinn med marmor både for å fange opp restpartikler og for pH-korrigerende. Det ligger da også til rette for å innføre ozondosering før andre filtertrinn for å felle løst mangan og for kjemisk desinfeksjon.

Her kan man vurdere å bruke vannglass i stedet for marmorfilter, men man oppnår da ikke fjerning av restpartikler. Vi vil anslå partikkelslipp å være en noe større risiko ved DynaSand-filtrering enn for (godt drevet) alternativ 1 og spesielt alternativ 3.

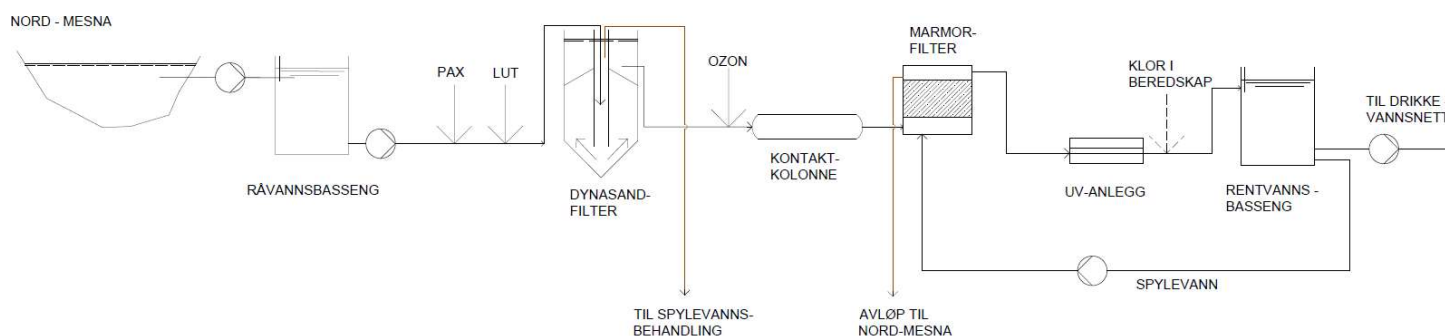
5.1 Samlet prosessløsning

Følgende trinn inngår i vårt alternativ 2:

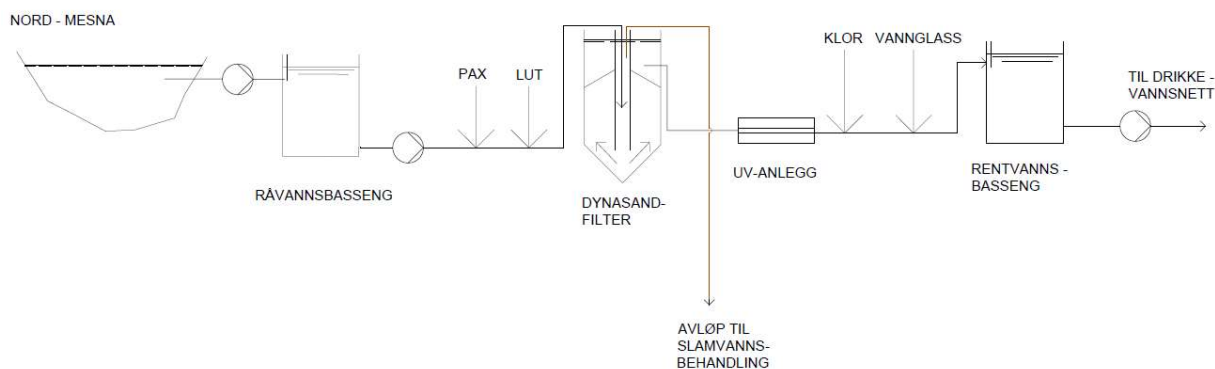
- Råvannsbasseng med innløpspumper
- Tilsats av PAX eller Ekoflock
- Tilsats av lut for å nå riktig koagulerings-pH
- Filtrering i kontinuerlig spykende filter (DynaSand)
- Eventuell tilsats av ozon
- Eventuell kontaktkolonne for mangan-ozon reaksjon
- Marmorfilter (også for manganfjerning) – oppstrøms eller nedstrøms
- UV-desinfeksjon
- Klortilsats (i beredskap hvis ozon brukes, ellers kontinuerlig)
- Rentvannsbasseng
- Utløpspumper

Alle filtertanker lages i rustfritt stål. Råvannstank og rentvannstank bygges i betong.

Flytskjemaet under viser samlet prosess:



Hvis man ønsker en enklere løsning, og får garantier fra leverandør på lavt partikkelslipp fra filter, kan følgende prosessoppbygging være et alternativ (uten at vi vil anbefale denne på nåværende stadium):



5.2 Dimensjonering og oppbygging

Vi anbefaler følgende prosessdimensjonering og enhetsoppbygging (foreløpig vurdering):

DynaSand filtersystem:

- DynaSand-filter dimensjoneres for $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$
- Dimensjonerende filtreringshastighet: $v_f = 7 \text{ m/h}$
- Samlet filteroverflate: 30 m^2
- Oppdeling: 6 stk. filtertanker á 5 m^2 (diameter 2,5 m)
- Tankhøyde: 6,2 m
- Filteroppbygging:
ca. 3 m sand (0,9-1,2 mm)

Marmorfilter:

- Marmorfilter dimensjoneres for $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$
- Dimensjonerende filtreringshastighet: $v_f = 10 \text{ m/h}$
- Dimensjonerende kontakttid (EBCT): $t = 10 \text{ min}$
- Samlet filteroverflate: 20 m^2
- Oppdeling: 3 stk. filtertanker á 7 m^2 (diameter 3,0 m)
- Tankhøyde: 4 m
- Filteroppbygging (ved oppstrøms filter):
2,0 m knust marmor (1-3 mm)
0,4 m støttelag

UV-anlegg:

- Dimensjoneres for $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$ ved UV-transmisjon 50 % per 5 cm
- Alltid ett UV-aggregat i reserve
- Oppdeling: 2 stk. UV-aggregat á $200 \text{ m}^3/\text{h}$ ved $UVT50 = 50 \%$
- Ved senere utvidelse til $Q = 400 \text{ m}^3/\text{h}$ installeres ytterligere 1 stk. UV-aggregat
- UV-anleggene leveres med effektregulering, for mulig dimming til 50 % pådrag

Doseringsutrustning for natriumhypokloritt (klor) - beredskap:

- Lagertank på 8 m^3 med ferdig fortynnet hypokloritt (3-4 % vare)
- 2 stk. doseringspumper

Utrustning for ozonproduksjon og -dosering:

- Dimensjonerende kapasitet 400 g ozon/h
- Oppdeling: 3 stk. ozongeneratorer á kapasitet 150 g/h
- Kompressor og oksyngenerator før felles oksygentank tilpasset dim. kapasitet (dvs. før ozongeneratorer)
- Reaksjonsvolum i vannstrøm: 30 m^3 (for kontakttid 10 min ved dim. produksjon)

Hovedmaskineri:

- Innløpspumper: 4 stk. pumper á $140 \text{ m}^3/\text{h}$ (frekvensregulerte, lav løftehøyde tilpasses)
- Utløpspumper: 4 stk. pumper á $140 \text{ m}^3/\text{h}$ (frekvensregulerte, stor løftehøyde tilpasses)
- Blåsemaskiner for DynaSand-filter: 2 stk. maskiner (frekvensregulerte) – kapasitet tilpasses
- Spylevannspumper for marmorfilter: 2 stk. pumper á $300 \text{ m}^3/\text{h}$ mot 7 mVS (frekvensregulerte)

Bassenger i bygget:

- Råvannsbasseng som rommer 100 m^3 vann (areal 30 m^2 , dybde 4 m)
- Rentvannsbasseng som rommer 250 m^3 vann (areal 75 m^2 , dybde 4 m)
- Mottaksbasseng for spylevann marmorfilter: 60 m^3 (areal 15 m^2 , dybde 4 m)
- Lamellsedimenteringsenhet for vaskevann fra DynaSand-filter

I tillegg kommer eventuelt bassenger, prosessutstyr m.m. for håndtering av spyleslam.

5.3 Bygningmessig løsning og arealbehov

Vannbehandlingsanlegget kan her plasseres i industrihall med romhøyde 8,5 m. Vannbasseng i plasstøpt betong lokaliseres i kjeller under personal-/servicedel. Her lokaliseres også pumper og maskiner.

Grovt stipulert arealbehov:

- Grunnflate prosesshall: 450 m² (for full utbygging tilpasset Q = 400 m³/h)
- Lagerrom for kjemikalier: 30 m²
- Grunnflate vannbasseng: 130 m²
- Maskinrom utenom prosesshall: 70 m²

Det forventes å bli grei plass til kjemikalierom, ozonproduksjonsrom, lager, personalrom, kontrollrom, laboratorium, teknisk rom og tavlerom på de 200 m² som blir tilgjengelig areal i 1. etasje over kjeller for vannbasseng og maskinrom.

Samlet nødvendig grunnflate blir da på 650 m², hvorav 450 m² er én høy etasje og 200 m² er over to etasjer med normal romhøyde. Rom for eventuell lokal slambehandling er her ikke tatt med.

Arealbehovet i prosesshallen blir redusert med ca. 150 m² dersom man ikke bygger marmorfiltertrinn, men baserer seg på kun vannglasstilsats.

Vi legger til grunn overbygg med stålkonstruksjon og isolerte «sandwich» element i vegger og tak.

6. Alternativ 3 – Utbygging basert på koagulering - ultramembranfiltrering

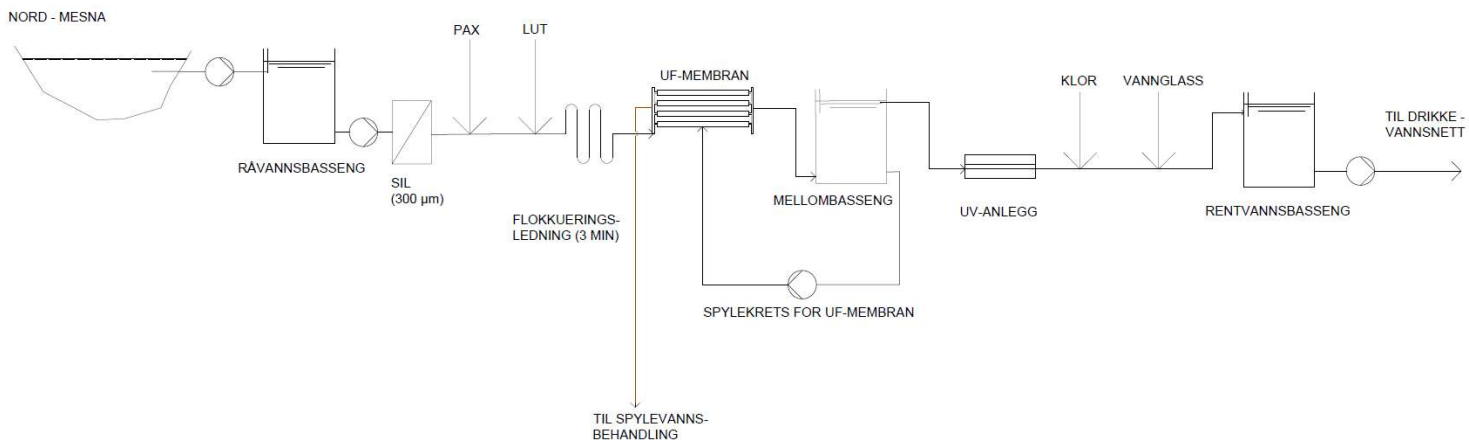
Prosessalternativ med koagulering-UF-membranfiltrering er det samme som Ringsaker kommune har valgt ved Moelv vannverk. Her vil partikkelfjerningen – pga. 20 nm poreåpning i membranene – bli bedre og sikrere enn ved filtrering i sandfilter. Som for de øvrige hovedalternativ vil ikke løst mangan bli fjernet i koagulering-filtreringsprosessen. Vi mener likevel at en løsning med vannglass som kompleksbinder og korrosjonsdemper/pH-hever kan være akseptabel.

6.1 Samlet prosessløsning

Følgende trinn inngår i vårt alternativ 3:

- Råvannsbasseng med innløpspumper
- Trykksil
- Tilsats av PAX eller Ekoflock
- Tilsats av lut for å nå riktig koagulerings-pH
- Rørflokkulering (oppholdstid ca. 3 min)
- Filtrering i kapillærmembraner med 20 nm poreåpning (ultrafiltrering)
- Mellombasseng med uttak for membranspyling
- UV-desinfeksjon
- Tilsats av hypokloritt (kontinuerlig)
- Tilsats av vannglass (kontinuerlig)
- Rentvannsbasseng
- Utløpspumper

Flytskjemaet under viser samlet prosessløsning.



6.2 Dimensjonering og oppbygging

Vi anbefaler følgende prosessdimensjonering og enhetsoppbygging:

Trykksil:

- Siler med spalteåpning 300 µm
- Én sil i reserve og for paralleldrif
- Oppdeling: 2 stk. siler á kapasitet 200 m³/h
- Ved senere utvidelse til Q = 400 m³/h installeres ytterligere 1 stk. trykksil

Membranfilteranlegg (UF):

- Membrananlegget dimensjoneres for Q = 200 m³/h
- Dimensjonerende fluks: 55-60 l/m²h
- Poreåpning: 20 nm
- Oppdeling: 2 stk. membranrigger á maks. 100 m³/h
- Antall membranrør: 16 (dvs. 8 rør per rigg)
- Antall membranelement: 32 membranelement (dvs. 4 per trykkrør)
- Driftstrykk: normalt 5-10 mVS (maks. 20 mVS)
- Riggstørrelse b x l x h: 1,5 m x 7,5 m x 2,5 m per rigg
- Ved senere utvidelse til Q = 400 m³/h installeres ytterligere 2 stk. tilsvarende membranrigger.
- Kjemikalietanker og doseringsutstyr for vaskekjemikaler – tankstørrelser tilpasses

UV-anlegg:

- Dimensjoneres for Q = 200 m³/h ved UV-transmisjon 50 % per 5 cm
- Alltid ett UV-aggregat i reserve
- Oppdeling: 2 stk. UV-aggregat á 200 m³/h ved UVT50 = 50 %
- Ved senere utvidelse til Q = 400 m³/h installeres ytterligere 1 stk. UV-aggregat
- UV-anleggene leveres med effektregulering, for mulig dimming til 50 % pådrag

Doseringsutrustning for natriumhypokloritt (klor):

- Lagertank på 8 m³ for konsentrert hypokloritt (15 % vare), evt. 15 m³ med ferdig fortynnet.
- Eventuell dagtank med fortynning til 3-4 % klorløsning
- 3 stk. doseringspumper

Doseringsutrustning for vannglass:

- Lagertank på 15 m³
- 3 stk. doseringspumper

Hovedmaskineri:

- Innløpspumper: 4 stk. pumper à 140 m³/h (frekvensregulerte, lav løftehøyde tilpasses)
- Utløpspumper: 4 stk. pumper à 140 m³/h (frekvensregulerte, stor løftehøyde tilpasses)
- Tilbakespylingspumper for membranlegg. 2 stk. pumper (frekvensregulerte) – kapasitet tilpasses

Bassenger i bygget:

- Råvannsbasseng som rommer 100 m³ vann (areal 30 m², dybde 4 m)
- Mellombasseng som rommer 50 m³ vann (areal 15 m², dybde 4 m)
- Rentvannsbasseng som rommer 250 m³ vann (areal 75 m², dybde 4 m)
- Mottaksbasseng for spyleavløp og vaskevann membranfilter: 60 m³ (areal 15 m², dybde 4 m)
- Lamelledimenteringsenhet for spylevannsavløp fra membranfilter

I tillegg kommer eventuelt bassenger, prosessutstyr m.m. for håndtering av spyleslam.

6.3 Bygningmessig løsning og arealbehov

Vannbehandlingsanlegget kan her plasseres i industrihall i én etasje med romhøyde 4-5 m. Vannbasseng i plasstøpt betong lokaliseres i kjeller under personal-/servicedel. Her lokaliseres også pumper og maskin.

Grovt stipulert arealbehov:

- Grunnflate prosesshall: 160 m² (for full utbygging tilpasset Q = 400 m³/h)
- Lagerrom for kjemikalier: 60 m²
- Vannbasseng: 140 m²
- Maskinrom: 100 m²

Det forventes bli grei plass til kjemikalierom, lager, personalrom, kontrollrom, laboratorium, teknisk rom og tavlerom på de 240 m² som blir tilgjengelig areal i 1. etasje over kjeller for vannbasseng og maskinrom.

Samlet nødvendig grunnflate blir da på 400 m², hvorav 160 m² prosesshall (romhøyde 4-5 m) og 240 m² er over to etasjer med normal romhøyde. Rom for eventuell lokal slambehandling er her ikke tatt med.

Vi legger til grunn overbygg med stålkonstruksjon og isolerte «sandwich» element i vegger og tak.

7. Slamvannshåndtering

De presenterte koaguleringsprosessene vil produsere en del slam som enten kan føres som slamvannsavløp til spillvannsnettet og videre til avløpsrensaneanlegg, eller alternativt oppkonsentreres lokalt på vannverket og kjøres bort i container. I begge tilfeller blir det et rent dekantat som vi her forventer kan ledes tilbake Nord-Mesna.

7.1 Slamproduksjon

Ved maksimal vannproduksjon (utbyggingstrinn 1) vil prosessene produsere slammengde:

- Med jern-koagulant (prosessalternativ 1): 65 kg SS/døgn
- Med aluminium-koagulant (prosessalternativ 2 og 3): 45 kg SS/døgn

Det er her tatt utgangspunkt i formler gitt i Techneau rapport «Water treatment by enhanced coagulation» (Eikebrokk et. al), 2006:

- Minimum koagulantdose:
 - o Fe-dose (mg Fe/l) = $0,107 \times \text{Fargetall} + 0,58$
 - o Al-dose (mg Al/l) = $0,043 \times \text{Fargetall} + 0,30$
- Slamdannelse (tørrstoff):
 - o Med Fe: $SS_{Fe} \text{ (mg/l)} = 2,5 \times \text{Fe-dose} + SS_{\text{råvann}}$
 - o Med Al: $SS_{Al} \text{ (mg/l)} = 4,2 \times \text{Al-dose} + SS_{\text{råvann}}$

Videre tas utgangspunkt i:

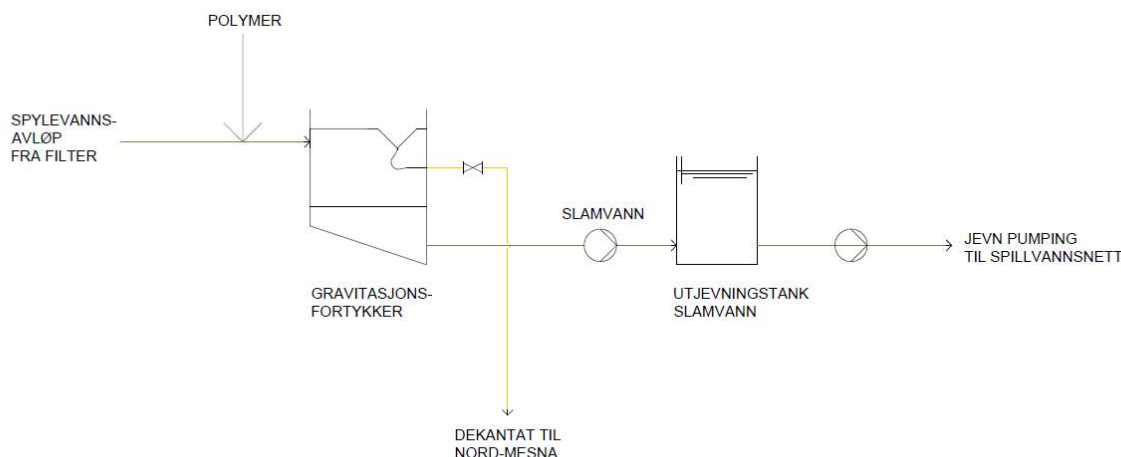
- Fargetall opptil 50 mg Pt/l.
- Suspendert stoff (SS) i råvann er neglisjerbart og settes til 0 mg/l.
- Behandlet vannmengde i koaguleringsprosessen i utbyggingstrinn 1 blir maks. 4.400 m³/døgn.

Slammengdene blir det dobbelte om anslått framtidig produksjonskapasitet benyttes fullt ut.

7.2 Alternativ A – Slamvann til spillvannsnettet

Dersom man velger å levere spylevannsavløpet til spillvannsnettet, vil vi anbefale at man oppkonsentrerer det først i gravitasjonsfortykkere eller lamelledimenteringstank (med tilsats av litt polymer) for å begrense avløpsmengdene til nettet. Dekantatet er ganske rent og forventes å kunne ledes direkte til resipient (eventuelt filtreres først – ref. kap. 7.3).

Flytskjema for denne enkle slamvannshåndteringen er vist under:



Spylevannmengde vil avhenge av prosessvalg, men dersom vi sjablongmessig anslår at 10 % av innkommende vann benyttes til spyle-/vaskevann av filter eller membrananlegg, får man følgende mengdeanslag i en maksimal forsyningssituasjon (utbyggingstrinn 1):

- Spylevannsavløp fra filter/membran: 440 m³/døgn
- Dekantat fra sedimenteringsbasseng: 300 m³/døgn (70 %)
- Slamvannmengde til spillvannsnettet: 140 m³/døgn (30 %)

Slamvannet som ledes til avløpsnett vil da få en tørrstoffkonsentrasjon på om lag 0,3-0,5 g SS/l.

Her vil det være et langt avløpsnett helt ned til Moelv RA, og det er flere spillvannspumpestasjoner på veien. Dersom avløpsvannet fra vannverket føres inn på ledninger med lite annen tilrenning og lite fall, risikeres sedimenteringsproblem. Problem med slamavsetning kan også skje i pumpestasjoner med lange oppholdstider i avløpssumpen. Trolig kan dette bli en større utfordring med tyngre jernslam enn med aluminiumsslam.

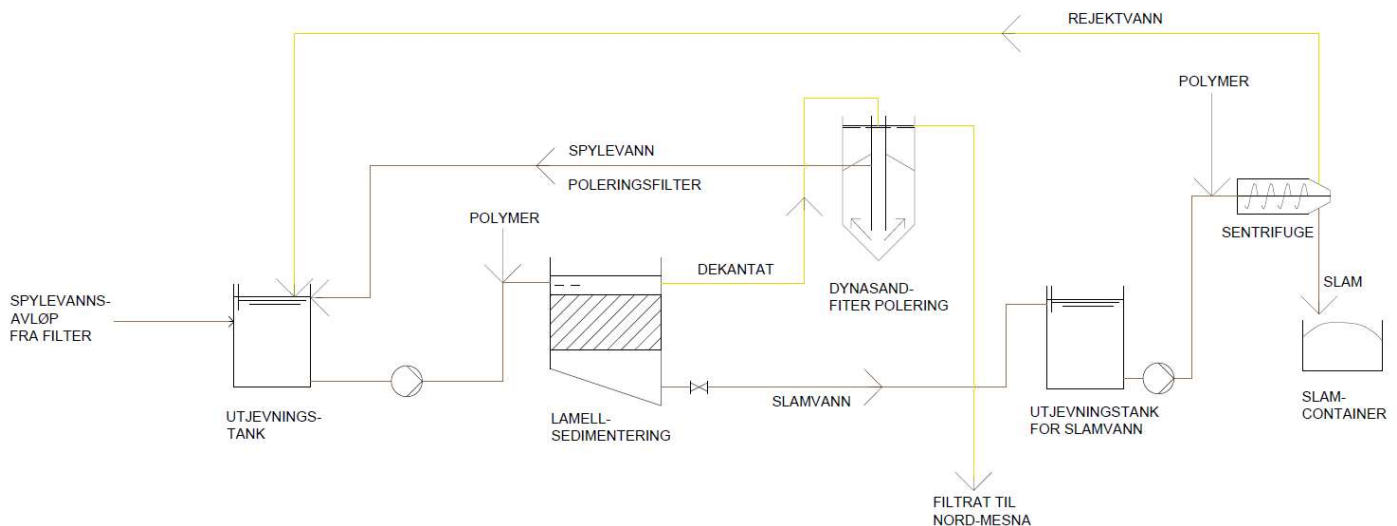
Problemer med slamavsetning blir trolig størst i perioder med lavt vannforbruk og ditto lav spillvannproduksjon. En løsning kan da være å slippe spyleslammet i mer fortynnet form ut på nettet, evt. helt uten noen form for fortykking.

Ringsaker kommune må gjøre en vurdering av eget spillvannsnett og sårbare punkter her, før man eventuelt velger å ledes slamvannsavløpet fra vannverket ut på nettet.

7.3 Alternativ B – Lokal slamvannsbehandling

Et alternativ er å oppkonsentrere slammet lokalt på vannverket, men dette er kostbart og vil kreve vesentlig mer driftstilsyn.

Prosessløsning for lokal slamhåndtering er vist på flytskjemaet under:



Her er også tatt med filtrering av dekantat i eget DynaSand-filter – for å anskueliggjøre en enkel løsning for god partikkelfjerning før utslipp i Nord-Mesna.

Etter sentrifugering kan forventes en tørrstoffmengde i vannverksslammet på 15-17 %. Ved maksimal vannproduksjon vil man dermed produsere 300-400 kg våtslam per døgn. Dette slippes i container og kjøres til deponi når containeren er full.

Løsning for slamvannshåndtering blir ikke tatt med i kostnadsvurderingene i foreliggende notat, og må vurderes separat i samband med endelig forprosjekt.

8. Sammenlikning av prosessalternativ

Vi skal her se på grove kostnadsanslag for å sammenlikne de aktuelle vannbehandlingsalternativene, vurdere oppfyllelse av hygienisk barrierekrav, vurdere prosessenes egnethet for variabel vannproduksjon og kort nevne erfaringer fra andre vannverk med noenlunde samme prosessløsning og råvann.

Det har vært diskutert behov for pilotkjøring før man endelig velger behandlingssløsning. Dette er jo ganske komplekst å få til. Vi vurderer behovet litt nærmere.

8.1 Kostnadsvurdering

Anslåtte investeringskostnader er presentert i tabellen under. Dette er grove tall dels basert på anslag gjort i forprosjekt for Moelv VV, dels på innhentede budsjettpriser fra leverandør, og dels på erfaringstall fra andre vannverksutbygginger.

Merk at beløpene er relative for sammenlikning mellom prosessalternativene, og representerer ikke komplett utbyggingskostnad for nytt vannbehandlingsanlegg. Utbyggingskostnader kommer vi nærmere tilbake til i endelig forprosjekt-rapport.

Tiltak for spylevannshåndtering er ikke tatt med, med unntak av mottaks- og sedimenteringsbasseng for spylevannsavløp fra koaguleringsfilter.

Investeringskostnad (grove tall for relativ sammenlikning):

	Alternativ 1: Moldeprosess (mill. kr)		Alternativ 2: *) DynaSand-filter (mill. kr)		Alternativ 3: Koagulering- ultrafilter (mill. kr)	
	200 m ³ /h	400 m ³ /h	200 m ³ /h	400 m ³ /h	200 m ³ /h	400 m ³ /h
Prosessutstyr	7	9	17	28	9	15
Pumper og rørsystem	12	12	7	9	6	7
Automasjon	3	3	2	3	2	3
Bygg	22	22	24	24	17	17
VVS og elektro	5	5	5	6	4	5
Grunnarbeid	3	3	2	2	2	2
Rigg og drift (10 %)	5	5	6	7	4	5
Netto entrepriisekostnad	57	59	63	77	44	54
Generelle kostnader (15 %)	9	9	9	11	7	8
Uforutsett (10 %)	6	6	6	7	4	5
Utbyggingskostnad (ekskl. mva.)	72	74	78	95	55	67

*) Prosessløsningen for DynaSand inneholder også ozonanlegg og separate marmorfilter. Dersom disse erstattes med klor og vannglass, blir utbyggingskostnaden vesentlig redusert. For anlegg tilpasset produksjon 200 m³/h, anslås reduksjonen til ca. 10 mill. kr. For anlegg tilpasset produksjon 400 m³/h, anslås kostnadsreduksjonen til ca. 15 mill. kr. Dette også fordi nødvendig byggareal blir mindre.

Vi har her ikke gjort detaljerte kalkulasjoner på driftskostnader. Det vises til kalkulasjoner gjort i alternativstudiet for Moelv vannverk for nær tilsvarende prosessløsninger. Der framkommer at kontaktfiltreringsanlegg som Moldeprosessen vil ha høyere driftskostnad enn de øvrige alternativ primært pga. forventet høyere bemanningsbehov. Koagulering-ultrafiltrering ble vurdert å ha laveste driftskostnad.

For Mesnali vannverk sitt vedkommende vil neppe driftskostnadene være så forskjellig mellom de aktuelle prosessløsninger at det gir seg utslag i det totale kostnadsbildet.

Driftstilsynsbehov anslås også ved Mesnali VV å bli noe mindre med alternativ 2 og 3 enn med prosessalternativ 1.

8.2 Hygienisk sikkerhet – MBA

Det er viktig at prosessene gir den nødvendige hygieniske barriereeffekt relatert til nødvendig barrierehøyde for Nord-Mesna på 6,0b + 6,0v + 4,0p (ref. kap. 2.2).

I tabellen under er barriereeffektene angitt. Vurderingene er gjort med grunnlag i Norsk Vann rapport 209/2014 «Veiledning i mikrobiell barriere analyse».

Behandlingstrinn	Alternativ 1: Moldeprosess	Alternativ 2: DynaSand-filter	Alternativ 3: Koagulering - ultrafilter
Koagulering-filtrering	2,25b + 1,5v + 2,25p ¹⁾	2,25b + 1,5v + 2,25p ¹⁾	3,0b + 3,0v + 3,0p ²⁾
Ozonering		3,0b + 2,5v + 1,0p ³⁾	
UV-desinfeksjon	3,0b + 2,6v + 3,0p ⁴⁾	3,0b + 2,6v + 3,0p ⁴⁾	3,0b + 2,6v + 3,0p ⁴⁾
Klordesinfeksjon	3,0b + 2,0v + 0p ⁵⁾		2,3b + 0,5v + 0p ⁶⁾
Sum barriereeffekt	8,25b + 6,1v + 5,25p	8,25b + 6,6v + 6,25p	8,3b + 6,1v + 6,0p
Nødvendig barrierehøyde	6,0b + 6,0v + 4,0p	6,0b + 6,0v + 4,0p	6,0b + 6,0v + 4,0p
Reserve barriereeffekt	2,25b + 0,1v + 1,25p	2,25b + 0,6v + 2,25p	2,3b + 0,1v + 2,0p

- 1) Turbiditet forutsettes holdt < 0,2 NTU ut fra hvert filter.
- 2) Turbiditet forutsettes holdt < 0,1 NTU i membranfiltrert vann.
- 3) Ved ozondose 1,0 g O₃/m³ og 10 min. kontakttid i reaksjonstank.
- 4) Log-kreditt for UV er redusert med 25 % pga. lav UV-transmisjon i råvann. For UV-desinfeksjonen er man avhengig av godt fungerende forbehandlingstrinn.
- 5) Ved Moldeprosess trengs klordose 0,8 g Cl/m³ og 30 min. oppholdstid i rentvannsbasseng.
- 6) Ved koagulering-UF trengs klordose 0,3 g Cl/m³ og 30 min. oppholdstid i rentvannsbasseng.

Konklusjonen er at alle behandlingsløsninger gir akseptabel hygienisk sikkerhet, men med Moldeprosessen må man – ut fra modellverktøyet – ha kontinuerlig høy klordose for å oppnå tilstrekkelige barrierer mot virus.

Ozon gir bedre desinfeksjon enn klor. Med DynaSand-filtrering uten etterfølgende ozontilsats (og marmorfilter) vil man behøve kontinuerlig høy klordose tilsvarende som med Moldeprosess.

Koagulering-ultrafiltrering gir god hygienisk sikkerhet. Kun en lav sluttklordose på 0,3 g Cl/m³ er nødvendig for å nå nødvendig barrierenivå.

8.3 Variabel produksjon

Alle koaguleringsprosesser fungerer best ved stabil vannproduksjon, det være seg både ved kontaktfiltrering og ved koagulering-ultrafiltrering. Raske variasjoner er spesielt utfordrende.

Ved Mesnali vannverk er det store sesongmessig variasjoner, med generelt høy produksjon vinterstid og lavere produksjon sommerstid. I tillegg forventes langt høyere forbruk i helgene og i ferieperioder enn på de øvrige dager.

Spørsmålet er hvilke av de presenterte vannbehandlingsalternativ som egner seg best for slike produksjonsendringer, helst uten at tilsynsbehovet må økes.

Vi vil grovt foreslå at vannverket har følgende produksjonstrinn (etter første utbygging):

- Trinn 1 (lavest): $Q_{\min} = 50 \text{ m}^3/\text{h}$
- Trinn 2: $Q_2 = 100 \text{ m}^3/\text{h}$
- Trinn 3: $Q_3 = 150 \text{ m}^3/\text{h}$
- Trinn 4 (høyest): $Q_{\max} = 200 \text{ m}^3/\text{h}$

Alternativ 1 - Moldeprosess:

Det er godt mulig å drifte disse filterne med ganske lav belastning. Utfordringen blir å holde stabil funksjon når belastningen blir høy. Her legges til grunn at filterne bygges ut for full framtidig produksjonskapasitet allerede ved oppstart, dvs. at man har gode reserver hele tiden. Trolig kan halvparten av filterne settes helt ut av funksjon i lavsesong.

Det blir her spesielt viktig å holde god kontroll med jernklorid-dosering i alle produksjonstrinn, automatisk styrt etter innkommende vannmengde. Råvannskvaliteten er her ganske stabil, noe som gjør doseringskontrollen grei.

Prosessløsningen er i seg selv ganske tilsynskrevende pga. intermittent spyling, og fare for slamakkumulering og skjevbelastning på filter.

Alternativ 2 – DynaSand-filter:

Filterne vil fungere bra ved filtreringshastigheter på 4-7 m/h. Blir produksjonen i respektive filter lavere, vil den kontinuerlige spylevannmengden (forårsaket av mammutpumpe) begynne å utgjøre en brorpart av innkommende vannmengde, noe som er lite heldig både for kjemikalieforbruk, energiregnskap og spylevannsavløp.

Det er imidlertid enkelt å holde ganske jevn belastning på filterne i og med at det er såpass mange av dem. Det er bare å koble ut filter når produksjonen er lav, men sørge for at filterenheter som er satt på vent, spyles godt ved nedstenging og ved ny oppstart. Alt dette kan trolig styres automatisk.

Det er viktig å holde god kontroll med både koagulant- og lutdoseringen i alle produksjonstrinn, automatisk styrt etter innkommende vannmengde.

Ozondosering er lett å styre vannmengdeproporsjonalt.

Man kan koble ut ett av de etterfølgende marmorfilter ved lav belastning, men det er neppe nødvendig eller hensiktsmessig.

Alternativ 3 – Koagulering-ultrafiltrering:

Vår erfaring er at UF-membranfilteranlegg fungerer godt også med lav belastning. Det vil si at man greit kan produsere på begge de foreslåtte riggene med $\frac{1}{4}$ kapasitet. En annen mulig løsning er å alternere mellom riggene én til to ganger i døgnet, og i lavsesong bruke én rigg av gangen på halv produksjonskapasitet.

Ved framtidig full utbygging til 400 m³/h foreslås 4 separate membranrigger. I lavsesong vil det være mulig å konservere én eller to rigger over lengre tidsrom, dvs. la membranene stå i kjemikalieblanding som hindrer bakterievekst og gjengroing av porer.

Som øvrige koaguleringsprosesser kreves her god styring og innblanding av koagulant og lut i alle produksjonstrinn. Her er det også nødvendig med god flokkulering av koagulert vann før membranfilteret nås, spesielt når vanntemperaturen er lav. Vi vil her anbefale å ha separat kjemikalieinnblanding og rørflokkulering foran hver membranlinje, styrt av vannmengdemåler inn på respektiv rigg. Slik oppnås jevnere koagulerings- og flokkuleringsforhold ved variabel produksjon.

8.4 Erfaringer fra andre vannverk

Alle prosessløsningene er i funksjon på vannverk med omtrent samme råvann som ved Mesnali. Det finnes lange erfaringene med Moldeprosess og DynaSand-filter på flere norske vannverk. Koagulering-ultrafiltrering er mindre vanlig i Norge, men er bl.a. kommet for fullt de senere år på store vannverk i Sverige.

Noen relevante referanseanlegg med omtrent samme råvann:

Alternativ 1 – Moldeprosess:

- Valleråsen VBA – Porsgrunn: Råvann med svært høyt fargetall
- Rore VBA – Arendal: Råvann med høyt fargetall
- Svartediket VBA – Bergen: Råvann med høyt fargetall
- Kvitåvatn VV – Gaustablikk, Tinn: Råvann med svært høyt fargetall og variabel produksjon
- Grimevann VBA – Lillesand: Råvann med høyt fargetall

Alternativ 2 – DynaSand + marmorfilter:

- Rosholt VBA – Grimstad: Råvann med høyt fargetall og variabel produksjon
- Østerå VBA – Tvedestrand: Råvann med høyt fargetall
- Risør VV – Risør: Råvann med høyt fargetall
- Kragerø VV – Kragerø: Råvann med meget høyt fargetall og variabel produksjon (har ikke marmorfilter)

Alternativ 3 – Koagulering-ultramembranfiltrering:

- Seljord VBA – Seljord: Råvann med svært høyt fargetall og dårlig hygienisk kvalitet
- Lello VBA – Levanger: Råvann med høyt fargetall
- Roetgen WTB – Aachen: Råvann med høyt fargetall og noe mangan
- Kvarnagården VBA – Varberg: Råvann med høyt fargetall og noe mangan (stort pilotforsøk)
- Seierstad VBA – Vestfold: Råvann med høyt fargetall (pilotforsøk)
- Moelv VBA – Ringsaker: Råvann med moderat fargetall og tidvis høy turbiditet (pilotforsøk)

Erfaringene er gode på nesten alle de nevnte vannverkene. Et par av de presenterte Moldeprosess-anleggene har hatt en del driftsproblem (av ulike årsaker), og vi kjenner spesielt godt til driftsutfordringer ved Lillesand VV og Kvitåvatn VV. Anleggene ved Valleråsen VBA og Svartediket VBA må imidlertid sies å fungere nær optimalt. Alle de store Moldeprosess-anleggene har daglig bemanning.

Vi har egne erfaringer fra prosjektering og driftsbistand ved DynaSand-anleggene i Grimstad og Tvedestrand, som begge fungerer godt.

Vi har ferske erfaringer fra oppfølging av koagulering-ultrafiltreringsanlegget ved Seljord vassverk og fra pilotanlegg ved Seierstad VBA og Moelv VV. Rentvannskvaliteten har vært meget god fra alle anleggene. Utfordringene ved Seljord VV (150 m³/h) har ligget i å finne gode koagulering- og

flokkuleringsforhold slik at det ikke oppstår kapasitetsreduksjon på membranene. Membranenes produksjonsevne er tydelig sårbar for avvik i koaguleringsprosessen.

8.5 Behov for pilotkjøring

Der man har et utfordrende råvann, er det en fordel å prøve ut vannbehandlingsprosess i et pilotforsøk før man bestemmer seg. Det kan da også være nødvendig for at en eventuell totalentreprenør skal kunne stille de påkrevde prosessgarantier.

Vi anser ikke råvannet i Nord-Mesna å være spesielt utfordrende, men noen punkter som må tas hensyn til, er:

- Periodevis løst mangan (over anbefalt grense, men likevel i relativt små mengder)
- Fare for slamavsetning i inntaksledning, og slipp av humus-/jern-/manganslam når vannproduksjonen øker.
- Fargetall og organisk innhold som er vesentlig høyere enn det kommunen kjenner fra sine andre vannverk (men ikke uvanlig sett i et skandinavisk perspektiv).
- Kaldt vann.

Etter vår mening gir erfaringer fra andre vannverk vel så nyttig informasjon som kort drift av et pilotanlegg rigget til på Mesnali. Vi vil bemerke at med små pilotanlegg er det fare for at skaleringen gir gale eller ufullstendige svar. Driftserfaringer vinnes ikke gjennom kortvarig test på en liten pilotrigg.

Eksempelvis ga ikke tre måneders pilotforsøk med koagulering-ultrafiltrering ved Seierstad VBA svar vedrørende flokkuleringstid og innblandingsforhold som er nødvendig for å avklare samlet oppbygging og dimensjonering av et stort vannbehandlingstrinn. Både for å finne ut mer, og for at operatørene skal lære prosessen bedre å kjenne, skal Vestfold Vann nå bygge et lite vannverk (pilot på 15 m³/h) som skal driftes noen år framover parallelt med et annet pilotanlegg med tradisjonell koagulering-sedimentering-filtrering.

De fleste vannbehandlingsanlegg bygges uten foregående pilotforsøk. Man baserer seg heller på erfaringer fra andre vannverk med samme prosess og nær tilsvarende råvann, samt på teoretiske betraktninger. Ofte lar det seg vanskelig gjøre å etablere et pilotanlegg. Slik er det også på Mesnali.

Det kan bl.a. nevnes at følgende vannbehandlingsanlegg er bygd ut uten foregående pilottest:

- Rore VBA i Arendal (Moldeprosess)
- Østerå VBA i Tvedestrand (DynaSand-filter)
- Seljord VBA (koagulering-ultrafiltrering)

For Seljords vedkommende ble pilottest svært vanskelig å gjennomføre fordi man hadde å gjøre med en ny råvannskilde (innsjø), akkurat som ved Mesnali. Det kunne nok vært ønskelig, men var ikke nødvendig for prosessvalget, og hadde neppe synliggjort de utfordringene man fikk etter igangsetting av det ferdige anlegget.

Etter vår vurdering kan alle de aktuelle prosessløsningene i prinsipp velges på Mesnali VV uten foregående pilottest. Spesielt for koagulering-ultrafiltrering kunne et pilotforsøk gitt oss interessante data for bedre å trygge prosessvalget, forutsatt at testen ble gjennomført over noe lengre tid. En lang testperiode er jo ganske utfordrende og kostbar. Det ville da vært viktig å få med seg periode med løst mangan, situasjoner med økt slam i innkommende råvann, og kaldt vann. Våren 2018 kunne således vært en egnet testperiode.

DynaSand-filter og koagulering-ultrafiltrering er begge prosesser som passer for totalentreprise, i motsetning til Moldeprosess. Man kan her innhente totalentreprisetilbud med pilotforsøk som opsjon, og eventuelt overlate til totalentreprenøren å rigge og kjøre pilotforsøk for å gi ønskede prosessgarantier, eventuelt å vurdere om pilottest ikke trengs basert på leverandørens erfaringer fra tilsvarende vannverk.

9. Vår anbefaling

Etter vår vurdering oppnås best fleksibilitet, driftsstabilitet og prosesstrygghet med vannbehandling basert på **DynaSand-filter med ozonering og marmorfilter som poleringstrinn**. Konservativ dimensjonering anbefales. Dette er riktignok den mest kostbare utbyggingsløsningen av de vurderte alternativ.

Vi vil fraråde valg av DynaSand-prosess uten etterfølgende marmorfilter. Dette pga. farene for partikkelslipp og følgekonskvenser på etterfølgende UV-desinfeksjonstrinn.

Med ozontilsats (før marmorfilter) fjernes eventuelt løst mangan, vannets farge forbedres ytterligere, smaken på vannet forbedres, og man unngår (høy) klordosering for å oppnå tilstrekkelig virusdesinfeksjon.

Det rimeligste alternativet er å velge koagulering-ultrafiltrering. Det er nok også den prosessløsningen som best sikrer god og stabil rentvannskvalitet pga. meget god partikkelfjerning. Usikkerheten med løsningen er knyttet til beleggdannelse på membranene, kanskje spesielt ved eventuelt slamslipp i inntaksledningen, og produksjonskapasitet som kan være vanskelig å opprettholde til enhver tid, f.eks. ved mindre avvik i koaguleringen. Det er også svært mange kjemikalier å håndtere, noe som i seg selv kan gi driftsutfordringer.

Usikkerhet knyttet til produksjonsstabilitet med koagulering-ultrafiltrering kunne kanskje blitt redusert med lengre tids pilotforsøk, men det er slettes ikke sikkert. Vi mener uansett at DynaSand-filter med etterfølgende ozonering og marmorfiltrering er et tryggere prosessvalg, som vil håndtere endringer i råvannskvalitet bedre enn koagulering-ultrafiltrering.

Moldeprosess vil vi ikke anbefale her først og fremst fordi slike anlegg normalt trenger mye driftsoppfølging, og prosess-stabiliteten avhenger av optimal styring og drift. Prosessen er også dårlig egnet for modulær utbygging. Moldeprosess egner seg neppe for totalentreprise, dersom kommunen ønsker det.

J04	2017-11-13	Ferdig dokument	SVELIA	AnBom	SVELIA
D03	2017-11-13	Justeringer avmerket	SVELIA		
D02	2017-11-07	For godkjenning av oppdragsgiver	SVELIA	AnBom ReFri	
B01	2017-10-16	Utkast til oppdragsgiver	SVELIA		
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.