

3GA-prosjektet

Et tre-generasjoners perspektiv på utformingen av den sentrale avløpsinfrastrukturen rundt Indre Oslofjord mot år 2100

Fase 1 – Konsekvensene av vedtatte aktiviteter fram
til 2020, med forslag til tiltak




Arbeidsgruppa VEAS-VAV



Oslo kommune
Vann- og avløpsetaten

07.01.2016

Arbeidsgruppa

	Rune Holmstad	VEAS	ruho@veas.nu
	Kjell Rune Jonassen	VEAS	krj@veas.nu
	Karoline Nåvik Hval	VEAS	kahv@veas.nu
	Bjørn Christoffersen	VAV	bjorn.christoffersen@vav.oslo.kommune.no
	Frode Hult	VAV	frode.hult@vav.oslo.kommune.no

Innhold

1	Sammendrag og konklusjoner.....	6
2	Innledning	8
2.1	Bakgrunn og problemstilling	8
2.2	Befolkningsvekst	9
2.3	Klimaendringer.....	10
2.4	Utslippstillatelser	12
3	Den sentrale infrastrukturen – tunnelsystem og renseanlegg.....	13
3.1	Tunnelsystemet.....	14
3.2	Renseanleggene	20
3.3	Dagens styring av systemet	23
4	Planlagte tiltak frem mot 2020.....	25
4.1	VEAS.....	25
4.2	Bekkelaget renseanlegg	26
5	Tunnelmodell og scenarier.....	26
5.1	Beskrivelse av tunnelmodell.....	26
5.2	Valg av scenarier for simulering i konseptmodellen	28
5.3	Fordrøyningskapasitet ved tørrværsbelastning ved full stopp i ett av renseanleggene 28	
5.4	Hovedtyngden av nedbør i det østlige området for et 2-års sommerregn	29
5.5	Hovedtyngden av nedbør i vestlige områder for et 2-års sommerregn	32
6	Diskusjon og konklusjon.....	35
6.1	Samordning av planlagte aktiviteter ved renseanleggene.....	35
6.2	Tunnelmodellen	35
6.3	Reell fleksibilitet i tilførselssystemet	36
6.4	Potensial for forbedret utnyttelse av den sentrale avløpsinfrastrukturen	37
6.5	Konklusjon.....	38
7	Arbeidsgruppens anbefalinger for videre arbeid.....	38
7.1	ROS-analyse: Tunnelsystem og RA i sammenheng.....	39
7.2	Samarbeidsarenaer.....	39
7.3	Bruk av modell for simuleringer	39
7.4	Infrastruktur	40
8	Bakgrunns litteratur	42
9	Vedlegg	42
	Vedlegg 1 – Tiltaksliste VEAS frem mot 2020	43
	Vedlegg 2 – Tiltaksliste Bekkelaget RA frem mot 2020	45

Vedlegg 3 – Styrestrategier og kalibrering av tunnelmodellen.....	47
Vedlegg 4 – Benyttede spillvannsmengder og tørrværsinnlekking for konseptmodellen	54
Vedlegg 5 - Forslag til elementer som bør inngå i en ROS-analyse	55
Vedlegg 6 –Detaljer tunnelsystem	56

Forord

Oslo kommune og VEAS eier og driver sentral avløpsinfrastruktur. Klimaet er i endring, folketallet ved Indre Oslofjord øker og det oppleves stadig sterkere forventninger til vannkvaliteten i fjorden. Dette utfordrer også den sentrale avløpsinfrastrukturen. VEAS tok initiativ til 3GA-prosjektet i 2014; Et tre-generasjoners perspektiv på utformingen av den sentrale avløpsinfrastrukturen rundt Indre Oslofjord mot år 2100

Per Kristiansen, konstituert direktør i VAV, og Ernst Petter Axelsen, administrerende direktør i VEAS, er styringsgruppe for prosjektet.

Som en del av første trinn i 3GA, ble det utnevnt en arbeidsgruppe med deltakere fra VEAS og VAV med følgende oppdrag: Beskrive den sentrale infrastrukturen og faktisk fleksibilitet i systemene, samt utfordringene og mulighetene for å utnytte kapasitetene i tilførselssystem og renseanlegg til beste for fjorden fram til 2020.

Bærum og Asker kommune har også bidratt med nødvendige opplysninger/informasjon til prosjektet. ROSIM har utført arbeidet med modellen og scenariene i nært samarbeid med arbeidsgruppen

Arbeidsgruppens rapport har vært til intern kvalitetssikring hos VEAS og VAV. Innspillene er innarbeidet i sluttrapporten.

1 Sammendrag og konklusjoner

Rapporten beskriver kort den sentrale infrastrukturen; renseanleggene VEAS og BRA med tilførselstunneler og tilhørende luker, pumpestasjoner og overløp. Arbeidsgruppen har videre sett på fleksibilitet i systemene, samt utfordringene og mulighetene for å utnytte kapasitetene i tilførselssystem og renseanlegg til beste for fjorden fram til 2020.

I denne fasen er det å minimere overløpsutslipp vurdert å være en hensiktsmessig forståelse av «til beste for fjorden».

Arbeidsgruppen valgte å ta i bruk modellverktøy for å vise hvordan systemet kan utnyttes ved ulike tilrenningsscenarier. Eksisterende avløpsmodeller for Oslo, Bærum og Asker er benyttet og forenklet, og knyttet sammen med eksisterende modell for styring av Bekkelaget renseanlegg med tunnelfunksjoner og en initiell modell av VEAS renseanlegg og tunnelfunksjoner.

Det er tatt utgangspunkt i fordelingen mellom renseanleggene, slik den framstår i 2015, med Midgardsormen i drift og med overføring av vel 7 mill m³/år til VEAS via Fagerlia. Dette omtales i rapporten som normalsituasjonen.

Modellen ble kalibrert mot faktisk tilrenning, en i tørrvær og en ved langvarig høstregn, og viste etter noen justeringer og retting av feil, tilfredsstillende samsvar.

Følgende scenarier ble kjørt i modellen:

Tilrenning		Fordeling ved Fagerlia	
		Andel VEAS	Andel BRA
Tørrvær	Full stopp VEAS	0	100
	Full stopp BRA	100	0
2-års sommerregn i øst	Normalsituasjon	30	70
	Avlastning mot vest	100	0
2-års sommerregn i vest	Normalsituasjon	30	70
	Avlastning mot øst	0	100

Konklusjoner fra arbeidsgruppen

Ingen av renseanleggene har rense- og slambehandlingskapasitet til å avlaste hverandre for annet enn akutte hendelser.

De tyngste, planlagte tiltakene fram til 2020 er langvarige og dels kompliserte. Arbeidsgruppen ser pr juni 2015 ikke en gevinst ved samordning av gjennomføringen. Dialog omkring evt kritiske faser vil være positivt.

Fleksible soner er avløp via Fagerlia fordelingsstasjon, samt påslippene Gladengveien, Helsefyrt og Rosenhoff.

Tunnelens volumer benyttes i stor grad aktivt som magasin ved stor tilrenning, så langt hensyn til anleggenes sikkerhet tillater. Av de største volumene, er strekningen Vækerø-Frognerparken ikke lagt til rette for magasinering.

Ved en planlagt, full stopp i et av renseanleggene, vil det i henhold til modellkjøring, ta ca 27 timer før det går overløp, ved utnyttelse av alle tilgjengelige magasin og maksimal overføring til det andre anlegget. Dette gjelder tilfeldigvis for begge anlegg.

Ved de undersøkte scenariene, kraftig sommerregn begrenset til henholdsvis østsiden og vestsiden, ville en avlastning ved Fagerlia ikke ført til signifikant redusert samlet overløp.

Mulighetene for å styre avløpsstrømmen ligger langt oppstrøms i tilførselssystemet. Styring av avløpsstrømmen ved store, lokale nedbørshendelser, forutsetter svært sikre og detaljerte nedbørsprognoser og kjent sammenheng mellom nedbør og tilrenning.

Arbeidsgruppen vurderer at modellen for tilførselssystemene i Oslo, Bærum og Asker med tunneler og renseanlegg kan og bør videreutvikles for å teste scenarier mhp tilførsler og tiltak.

Arbeidsgruppen mener videre at det bør gjennomføres en felles ROS for renseanlegg og tunnel.

2 Innledning

2.1 Bakgrunn og problemstilling

Oslo kommune og VEAS eier og driver sentral avløpsinfrastruktur; tunnelsystemer og behandlingsanlegg, som håndterer avløpsvann fra Oslo, Bærum, Asker, samt deler av Nittedal, Oppegård, Røyken og Nesodden.

Klimaet er i endring og folketallet ved Indre Oslofjord øker. Det oppleves stadig sterkere forventninger til vannkvaliteten i fjorden. Dette utfordrer også den sentrale avløpsinfrastrukturen. Renseanleggene VEAS og BRA ligger i dag på, eller over, sin kapasitetsgrense. Tilførte stoffmengder øker hvert eneste år. Midgardsormen er et løft for vannkvaliteten sentralt i Oslo, men utfordrer også eksisterende fordeling mellom rensedistrikt. Avløpsinfrastruktur planlegges for en lang tidshorison. Det har også vist seg at det tar lang tid å klargjøre behov, planlegge, beslutte og etablere ny infrastruktur.

Det er på tide å løfte blikket ut over gjeldende avtaler og organisatoriske grenser og se på hvordan den sentrale avløpsinfrastrukturen kan utnyttes og utvikles for å møte dagens og fremtidens utfordringer.

VEAS tok initiativ til 3GA-prosjektet i 2014; Et tre-generasjoners perspektiv på utformingen av den sentrale avløpsinfrastrukturen rundt Indre Oslofjord mot år 2100. Prosjektet ble forutsatt gjennomført i tre trinn:

1. Konsekvensene av vedtatte aktiviteter fram til 2020, med forslag til tiltak.
2. Tiltak som bør iverksettes for å unngå tilsvarende utfordringer i tiårene etter 2020.
3. Hvordan den eksisterende sentrale avløpsinfrastrukturen kan utvikles til å betjene behovet fram mot 2100.

Gjennomføring av trinn 1 ble satt bort som oppdrag til ekstern rådgiver, Aquateam COWI. Styringsgruppen valgte imidlertid å legge rapporten til side og ta fatt i det viktigste budskapet:

Det må etableres en felles kommunikasjonsplattform for VEAS og VAV.

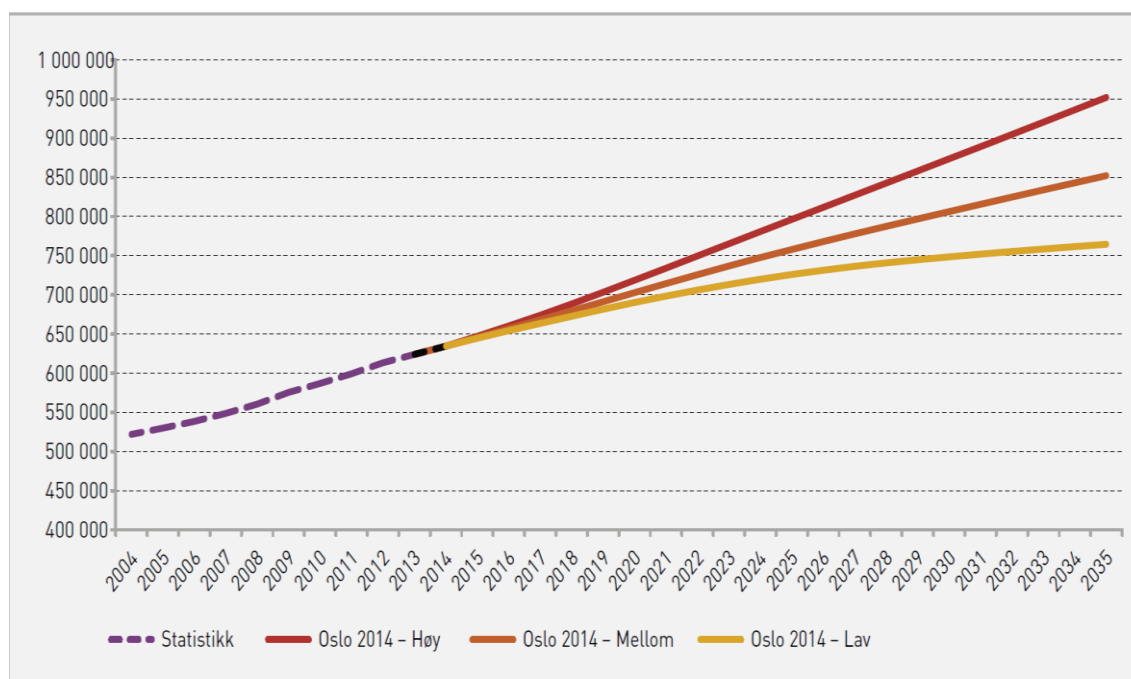
Ut fra erkjennelsen av at felles forståelse best oppnås ved direkte samarbeid, ble det etablert en arbeidsgruppe med deltakere fra VAV og VEAS. Gruppen fikk i oppdrag å beskrive den sentrale infrastrukturen og fleksibiliteten som ligger i systemene, samt å beskrive utfordringer og muligheter for å utnytte kapasitetene i tilførselssystem og renselanlegg til beste for fjorden fram til 2020. Styringsgruppen hadde også en forventning om at dette samarbeidet skulle bringe fram noe nytt.

I denne fasen er det å minimere overløpsutslipp en hensiktsmessig forståelse av «til beste for fjorden». Kapasitet på tunnelsystemet og styring av vannstrømmer for å minimere utslipp til resipientene får stort fokus.

Målgruppen for rapporten fra fase 1 er primært organisasjonene VEAS og VAV. Det vil også være naturlig å formidle rapporten til Bærum og Asker kommune, Bekkelaget Vann AS, samt Fylkesmannen i Oslo og Akershus og Fagrådet for Indre Oslofjord.

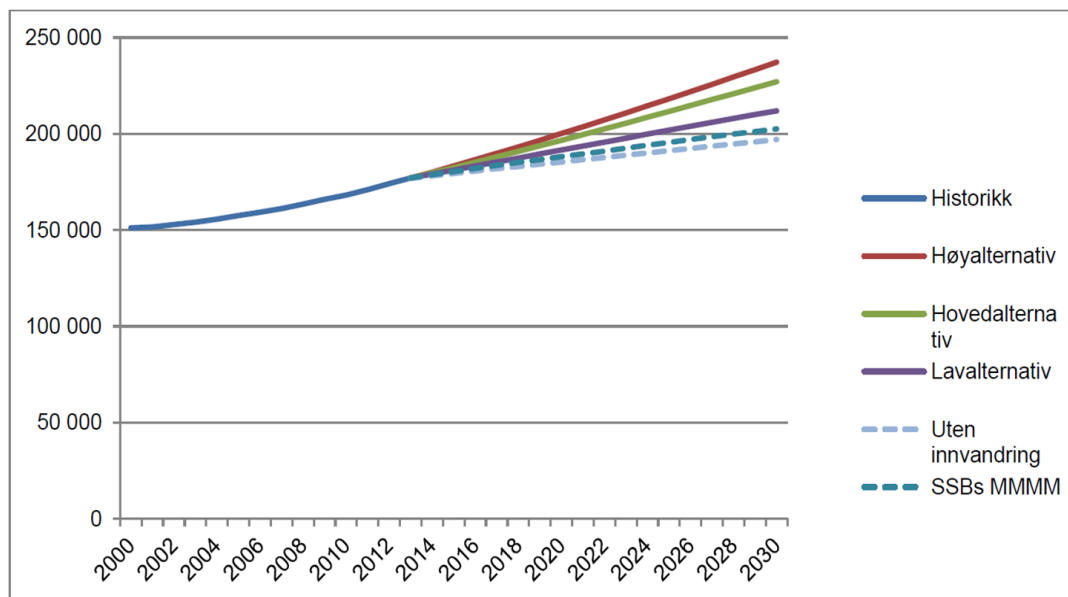
2.2 Befolkningsvekst

De kommende tiårene forventes det at regionen rundt Indre Oslofjord vil få store utfordringer knyttet til befolkningsvekst og fortetting innenfor byggesonen. Figur 1 viser befolkningsprognosene for Oslo kommune i perioden 2015-2035, der mellomalternativet angir at innbyggertallet i kommunen vil øke til over 800 000 i 2030. Tilsvarende vil veksten i Akershuskommunene rundt Indre Oslofjord være sterk. I henhold til befolkningsprognosene for Asker og Bærum, vil kommunene øke med 50 000 innbyggere til nærmere 230 000 innbyggere i 2030, som vist i Figur 2. En slik befolkningsvekst fører til økt belastning på avløpssystemene og stiller større krav til omstilling og nytenkning. Det skal sikres nok areal for sentrale samferdselsprosjekter og teknisk infrastruktur over og under bakken. Renseanleggene må kunne håndtere veksten, og det eksisterende tunnelsystemet må utnyttes optimalt.



Figur 1: Befolkningsprognoser for Oslo 2015-2035 (Oslo kommune, 2014)

Befolkningsøkningen har allerede ført til at Bekkelaget renseanlegg, BRA, er overbelastet. Arbeidet med utvidelse av BRA er i gang, og planlegges ferdigstilt i 2020. VEAS er også nær kapasitetsgrensen og legger til rette for en fremtidig utvidelse.



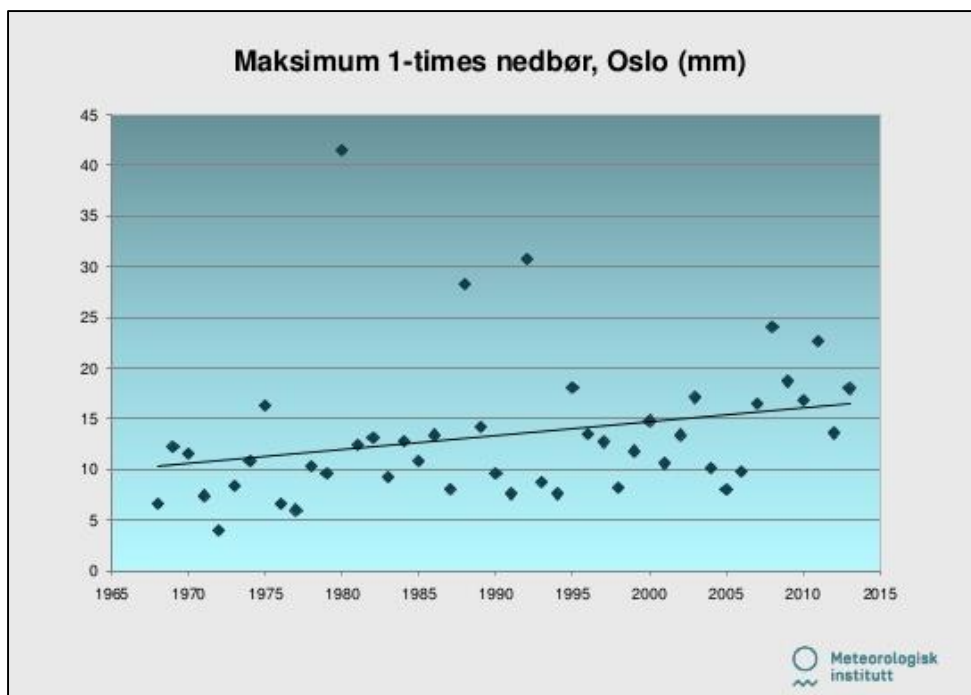
Figur 2: Befolkningsprognoser for Asker og Bærum i perioden 2014–2030 (Akershusstatistikk 3/2014, Akershus fylkeskommune, 2014).



Figur 3: Det forventes sterk befolkningsvekst i Indre Oslofjord-regionen i tiårene framover.

2.3 Klimaendringer

Nedbørsmålinger gjort i Oslo fra og med 1968 viser at det har vært en overvekt av de kraftigste nedbørshendelser i senere år (Figur 4). Dette støtter opp om at vi har et klima i endring, der været forventes å bli varmere, våtere og villere. Klimaprognosene (ref. *Meld. St. 33 (2012–2013) Klimatilpasning i Norge*) sier at denne tendensen forventes å øke i tiårene fremover.



Figur 4: Maksimum timesnedbør i Oslo i perioden 1965-2013 (Klimastatus 2013, Meteorologisk institutt)

Klimaendringer gjør at mengdene og tilrenningsmønsteret til avløpssystemet vil endre seg. Dette vil kunne føre til hyppigere kjelleroversvømmelser, overløpsdrift og utfordringer for rensingen.

Det finnes flere tiltak som kan være med på å gjøre regionen rundt Indre Oslofjord mer robust overfor klimaendringer. Noen av de viktigste er gjenåpning av bekker, åpen og lokal overvannshåndtering, å legge til rette for trygge flomveier, samt å separere ledningsnett.

Et annet viktig tiltak er innføringen av en «klimafaktor».

For å redusere risikoen for større miljøpåvirkning og lavere servicenivå i fremtiden, kan dimensjoneringskriteriene for nye ledningsanlegg enkelt endres ved å innføre en sikkerhetsfaktor i eksisterende dimensjoneringsrutiner. Denne faktoren kan dermed kalles en klimafaktor. I VAVs nye hovedplan for avløp og vannmiljø 2014-2030 vil det for nye ledningsanlegg eller ved oppdimensjonering av gamle, innføres en klimafaktor på 1,5. Dette vil i praksis si større ledninger. Denne klimafaktoren skal gjennomgås ved hver revisjon av hovedplanen (hvert 4. år), slik at det til enhver tid brukes best tilgjengelig kunnskap og prognoser.

Det er også satt som mål at hovedledningsnettets skal ha kapasitet tilsvarende 30-års regn og at andelen fremmedvann inn til renseanleggene skal reduseres til maks 50 % av tilførte vannmengder. VAV har utformet prinsipper for separering av fellessystemet og for overvannshåndtering. Det er også definert mål knyttet til risikoledninger og hovedledninger. Det er spesielt viktig at det ikke blir sammenbrudd på store kulverter og tunneler. Mål og prinsipper i ny hovedplan er nå implementert i VAV. Det er imidlertid beheftet store usikkerheter med hvor stor reduksjon i fremmedvannsandel det vil være innen 2020. Over tid vil imidlertid denne reduseres.



Figur 5: Styrregn i Oslo

2.4 Utslippstillatelser

Både BRA og VEAS er underlagt rensekrav spesifisert i utslippstillatelser gitt av Fylkesmannen i Oslo og Akershus. Utslippstillatelsene har basis i forurensningsforskriften, men med enkelte tilleggskrav som beskrives nærmere i påfølgende avsnitt.

2.4.1 VEAS

Gjeldende utslippstillatelse for VEAS ble gitt i 2008. Rensekravene samsvarer med krav som er gitt i forurensningsforskriften, med en midlere renseseffekt over året på minimum 90 % for total fosfor og 70 % for total nitrogen, 75 % for KOF og 70 % for BOF₅. Rensekravet for nitrogen og fosfor inkluderer overløp på Lysaker og Bislettbekken.

Det skal sørges for at avløpet fra Bislettbekken-overløpet i størst mulig utstrekning overføres til Lysakeroverløpet. I utslippstillatelsens begrunnelse framheves viktigheten av Oslofjorden som nasjonal ressurs og rekreasjonsarena. Det påpekes at oppfølging av vannforskriften og EUs vanddirektiv kan føre til endrede krav i framtiden for å sikre vannkvaliteten i fjorden.

VEAS har dispensasjon fra rensekravet for nitrogen i perioden for den omfattende rehabiliteringen av anlegget.

2.4.2 VAV

VAV fikk 23. mars 2015 ny utslippstillatelse fra Fylkesmannen. Denne erstatter den gamle fra 1994, med tillegg fra 1995 og 1996, samt forurensningsforskriften fra 2008.

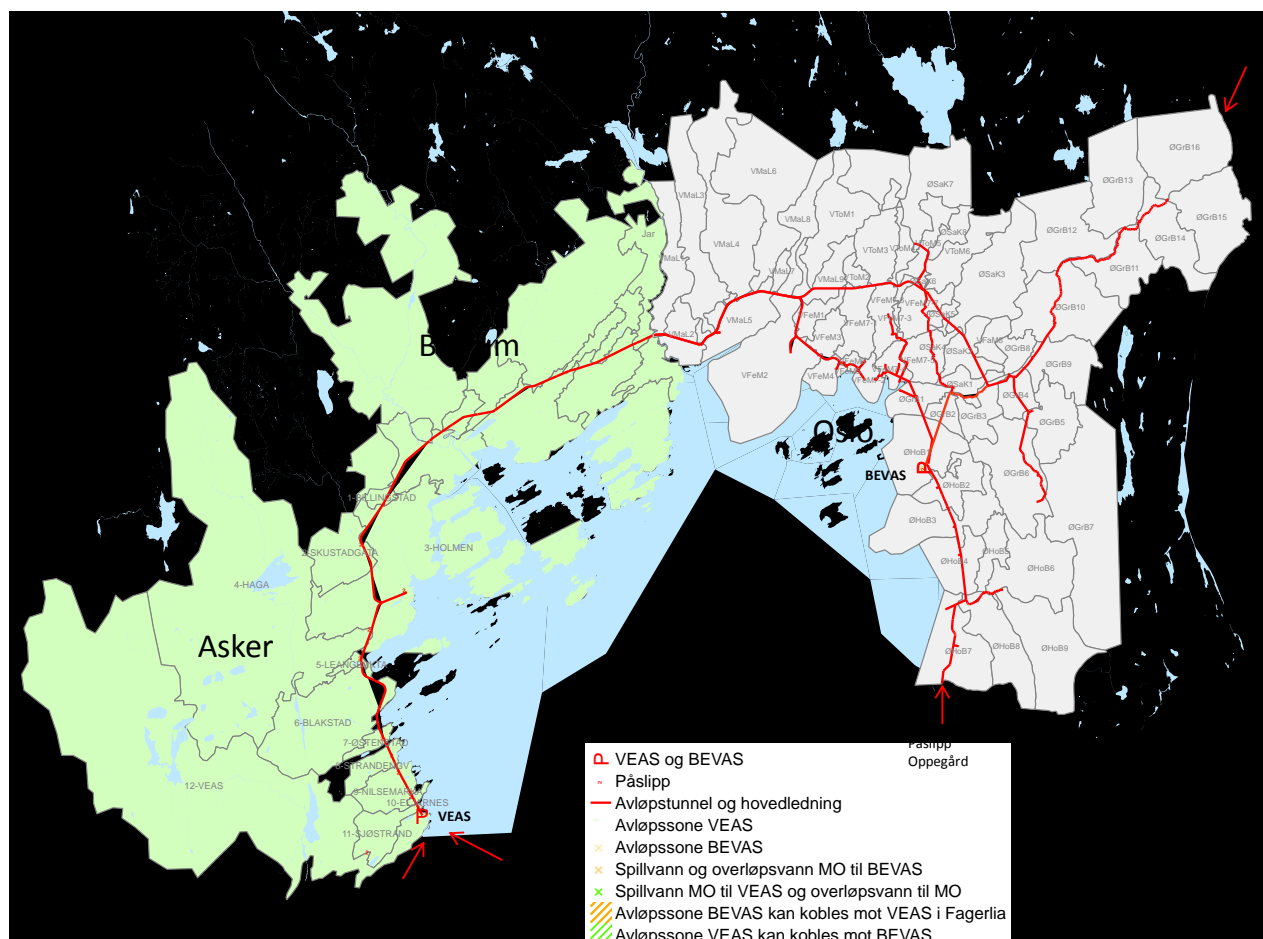
Utslippstillatelsen har for første gang med detaljerte krav til ledningsnett, og ikke bare til renselanlegg og hovedoverløp. For BRA er det et krav at et utvidet renselanlegg skal stå driftsklart fra 2020 og vil etter utvidelsen ha en dimensjonerende hydraulisk kapasitet på ca. 490 000 pe. En handlingsplan for å minske konsekvensene av underkapasiteten på BRA skal sendes Fylkesmannen innen 2016. Rensekrav på min. 90 % fosforfjerning og 70 % nitrogenfjerning videreføres. Samtidig er det et krav at de samlede utslippene av tot-P og tot-N fra hovedoverløpene Kværner, Bispevika v/Midgardsormen og BRAs nødoverløp, maksimalt skal utgjøre 1,5 % av tilførte stoffmengder.

For avløpsnettet er det blant annet krav om en klimatilpasset risikovurdering, prioritering av lokale overløp, fornyelse av avløpsnettet, samt planer om å redusere fremmedvann og overvann til avløpsnettet.

Samtidig er det et krav om god utnyttelse av tunnelsystemene tilknyttet renseanlegget, slik at utslipp og overløp reduseres. Videre bør det utarbeides en modell over tunnelsystemet for bedre oversikt over tilgjengelige volumer.

3 Den sentrale infrastrukturen – tunnelsystem og renseanlegg

Tunnelsystemet med påslipp, pumpestasjoner og overløp og renseanleggene med utløp er sentrale deler av den omfattende infrastrukturen for transport og rensing av avløpsvann i områdene rundt Indre Oslofjord. Figur 6 viser tunneler, plasseringen av renseanleggene samt faste og fleksible avløpssoner til de to renseanleggene, slik det framstår etter driftssetting av Midgardsortmen i 2014.



Figur 6: Tunnelsystem og renseanlegg i Oslo, Bærum og Asker, med faste og fleksible avløpssoner til de to renseanleggene slik det framstår etter driftssetting av Midgardsortmen.

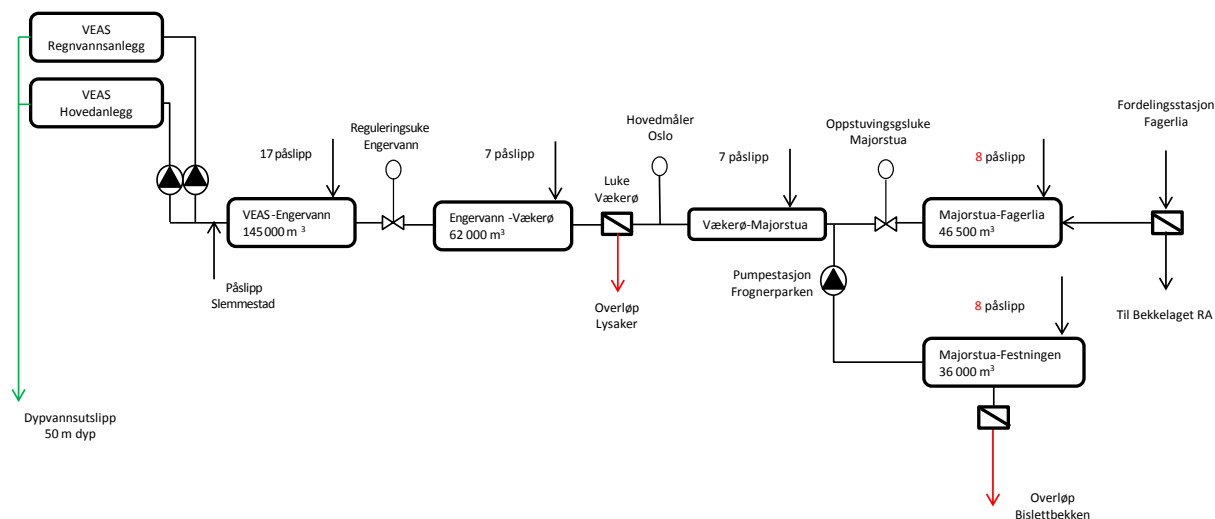
3.1 Tunnelsystemet

Til sammen 65,7 km tunneler transporterer avløpsvann fra lokale påslipp til rensesanleggene VEAS og BRA.

Kartet i Figur 6 viser at de fleste avløpssonene kun kan føres til ett av rensesanleggene. Ved Fagerlia kan imidlertid avløpsstrømmen fra Groduddalen fordeles 0-100 % mellom VEAS og Bekkelaget rensanlegg. Etter driftssetting av Midgardsormen ble det avtalt en overføring fra Bekkelaget rensedistrikt til VEAS på gjennomsnittlig 230 l/s. Det finnes også tre avløpssoner i Oslo som manuelt kan omkobles mellom VEAS og BRA. Disse er Gladengveien, Helfyr og det øvre påslippet i Rosenhoffs gate. Påslippene er i dag en del av VEAS' rensedistrikt.

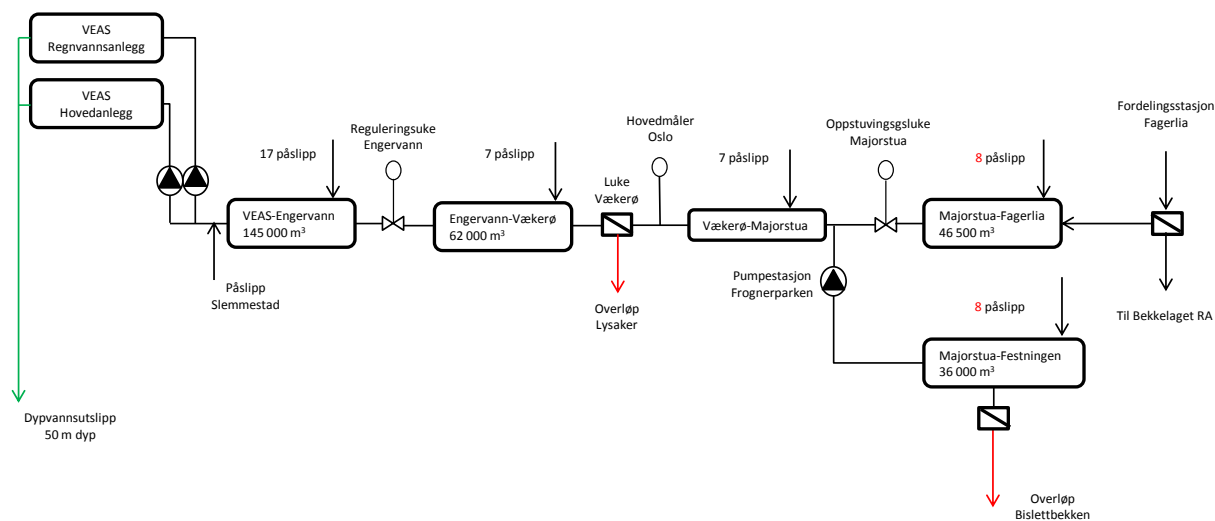
3.1.1 Tunneler og tunnelinstallasjoner mot VEAS

De vannførende tunnelstrekningene til VEAS er hovedsakelig fullprofilboret, og har derved et sirkulært tverrsnitt med relativt glatt overflate. Tunnelene er konstruert med et fall som skal gi selvrensing ved normal minstevannsføring.



Figur 7 illustrerer de tunnelstrekningene som fører til VEAS, samt tunnelinstallasjoner. Det er angitt maksimalt volum på hver enkelt tunnelstrekning.

Et skjematisk lengdeprofil av tunnelen er vist i Vedlegg 6. Lengder og volumer er vist i tabell V1 og V2 i Vedlegg 6.



Figur 7: Hovedstrukturen i tunnelsystemet mellom Fagerlia og VEAS.

Fagerlia Fordelingsstasjon

Ved Fagerlia fordelings stasjon kan avløpet fra Groruddalen og Østensjøområdet fordeles mellom BRA og VEAS. Splittingen av avløpsstrømmen skjer med en vertikalt stilt plate og det er mengdemålere på hver av avløpsstrømmene. Fordelingsluken kan styres fra BRA, i samsvar med gjeldende vedtak eller avtale.

Strekningen Fagerlia-Majorstua

Tunnelen mellom Fagerlia og Majorstua omtales som Majorstutunnelen eller Torshovtunnelen. Tunnelen er fullprofilboret med diameter 3,0 meter. De nærmeste 1 150 meter fra Frognerparken ble imidlertid utstøpt i 2011-2012, med diameter 2,23 meter. Lengden er ca. 7,3 km. Nedre del av tunnelstrekningen kan benyttes som magasin ved å stenge/strupe luke Frognerparken. Luken består av to deler, en reguleringsluke og en nødluke. I senere år har magasinet bare blitt benyttet i forbindelse med utspyling av tunnelen til VEAS. Sikkerheten ved oppstuvning er ivaretatt ved at nødluken åpnes automatisk ved oppstuvning tilsvarende 15 mVs ved luke. Etter utbedring av lukefunksjonen, kan magasinet igjen benyttes mer aktivt. Tunnelvolumet kan utnyttes for magasinering opp til nivå 15 mVs ved luke.

Strekningen Festningen-Majorstua

Tunnelen mellom Akershus festning og Majorstua omtales som Sentrumstunnelen eller Festningstunnelen. Tunnelen er ca. 3,3 km lang med en diameter på 3,0 meter. 2,7 km er fullprofilboret. Vannet i Festningstunnelen renner med selvfall til Frognerparken pumpestasjon, og pumpes ca. 30 meter opp og inn i VEAS-tunnelen, nedstrøms luke Frognerparken. Tunnelvolumet kan benyttes fullt ut for magasinering. Hvis tunnelen fylles helt opp, til nivå 21 meter, går vannet i overløp. Magasinet reguleres ved hjelp av pumpene i Frognerparken pumpestasjon.

Ved byggingen av Midgardsormen er deler av sentrumsområdene som tidligere drenerte til Festningstunnelen, nå ført til BRA via Midgardsormen, Figur 6. Det gjør at sannsynligheten for overløp ved Bislettbekken er ytterligere redusert.

Strekningen Majorstua -Vækerø-Engervann-Skytterdalen

På strekningen Majorstua-Vækerø/Lysaker har tunnelen en lengde på 4,2 km og en diameter på 3,15 meter. Tunnelvolumet er ikke lagt til rette for magasinering.

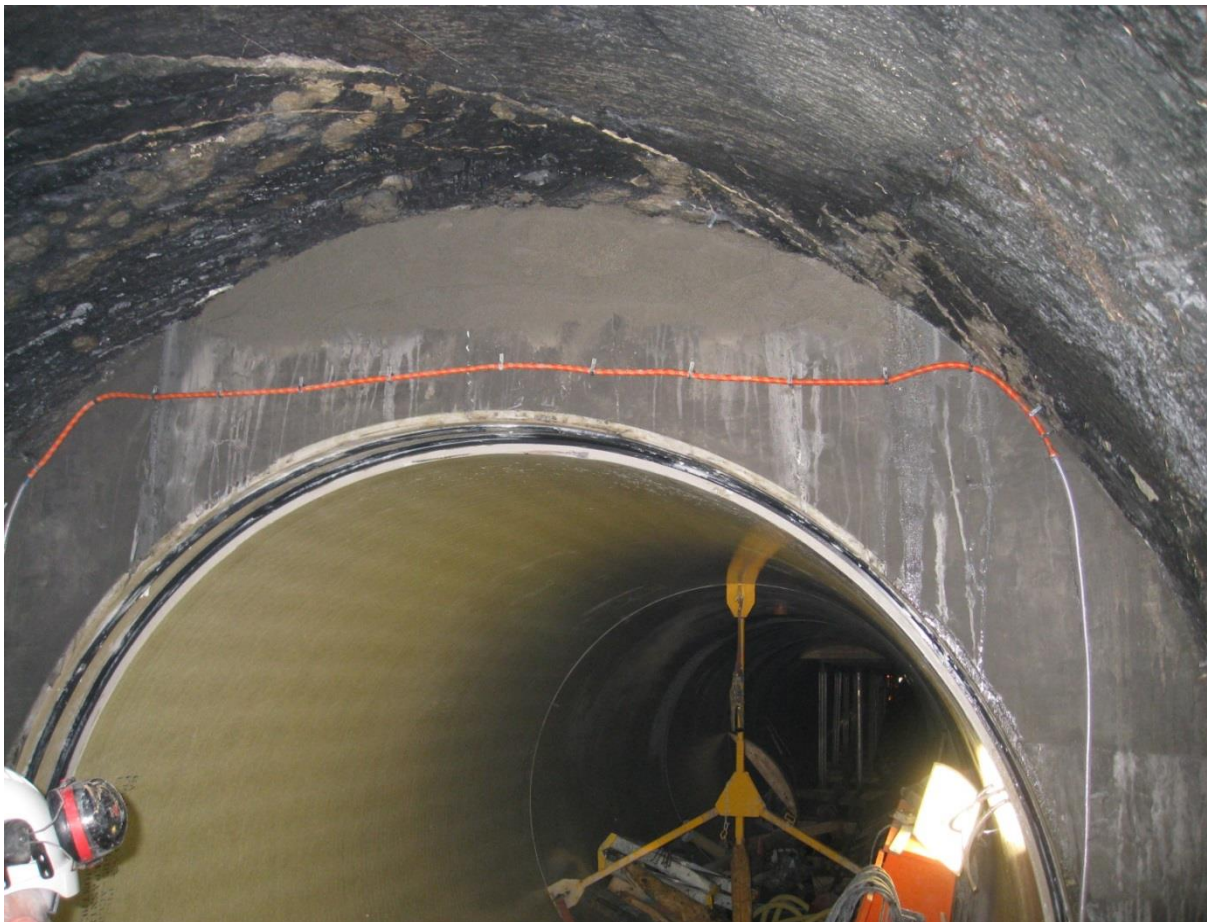
Strekningen Vækerø til Skytterdalen er 7,6 km og har en diameter på 3,35 meter. Ved Engervann, ca. 0,9 km oppstrøms tverrslag Skytterdalen sitter det en luke som styres fra VEAS. Luken gjør det mulig å benytte tunnelstrekningen Vækerø-Engervann som et magasin. Volumet benyttes fullt ut. Luke Engervann kan helt eller delvis stoppe tilførselen til den nedre del av tunnelen inn til VEAS. Luken benyttes ved stor tilrenning for å magasinere vann, og for å regulere tilførselen til anlegget og nedre del av tunnelen.

Strekningen Skytterdalen- VEAS

Strekningen Skytterdalen-VEAS er 14,2 km lang med en diameter på 3,5 meter. Volumet benyttes som magasin, men begrenset opp til nivå 6-8 meter for å ha sikkerhetsmargin ved strømstans og andre akutte hendelser.

VEAS-tunnelen ender i en pumpesump, med bunn ca. 15 meter under havoverflaten. Vannet løftes 22 meter opp til selve renseanlegget. Systemet er bygget uten nødoverløp. Vannet som har passert Lysaker har ingen annen vei ut i fjorden enn gjennom renseanlegget.

Pumpene til hovedanlegget sitter med sugestuss like over bunnen av pumpesumpen. Hver av de 8 pumpene har en kapasitet på 0,9-1,05 m³/s. Pumpene til regnvannrensseanlegget har sugestusser ca. 3 meter over bunnen av pumpesumpen. Hver av de 4 pumpene har en kapasitet på 0,9-1,05 m³/s.



Figur 8: Utstøping av Majorstutunnelen i 2011-2012.

3.1.2 Overløp

Lysaker

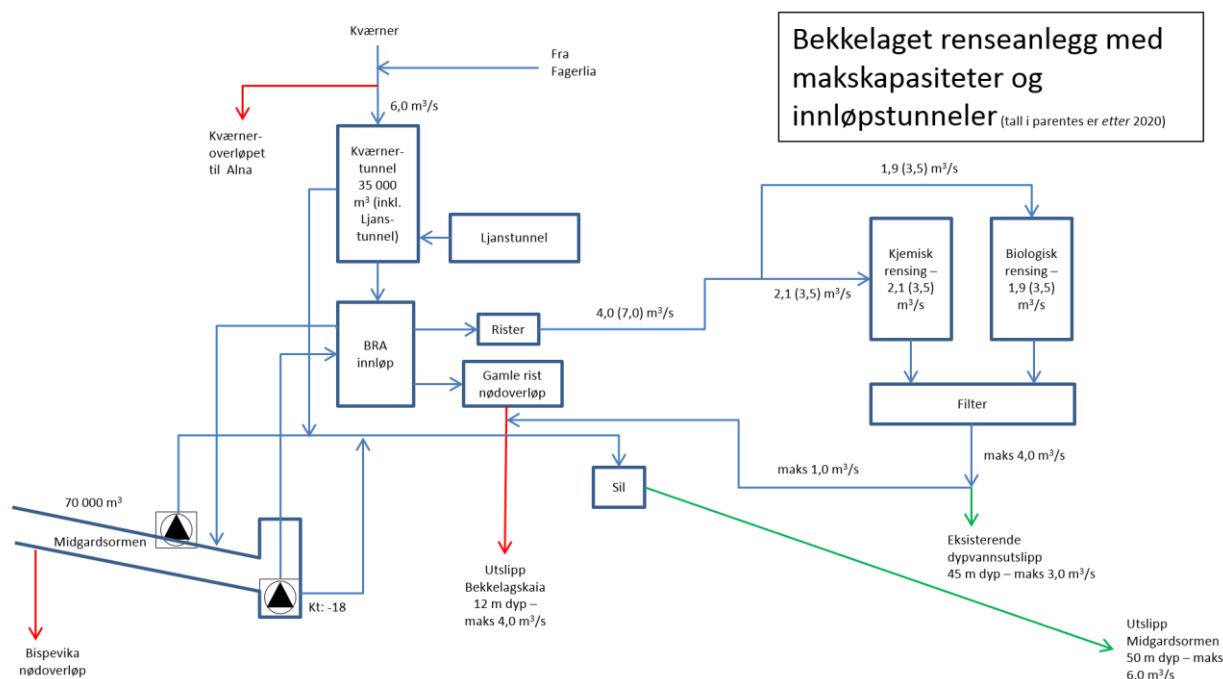
Ved Lysaker er det et overløp som trer i funksjon hvis nivået i i tunnelen oppstrøms luke Engervann overstiger 7,2 meter. Overløpet går ut på 28 meters dyp i djuprenna til Lysakerelva. Kapasiteten til overløpet er 14-16 m³/s avhengig av vannstanden i fjorden.

Bislettbekken

Hvis Festningstunnelen fylles helt, dvs når et nivå på 21 meter, går vannet i overløp ut i havnebassenget under Festningskaia. Overløpet betegnes Bislettbekken og har en kapasitet på ca. 12 m³/s.

3.1.3 Tunneler mot Bekkelaget rensanlegg

En oversikt over tunnelsystemet mot Bekkelaget rensanlegg med makskapasiteter er vist i Figur 9.

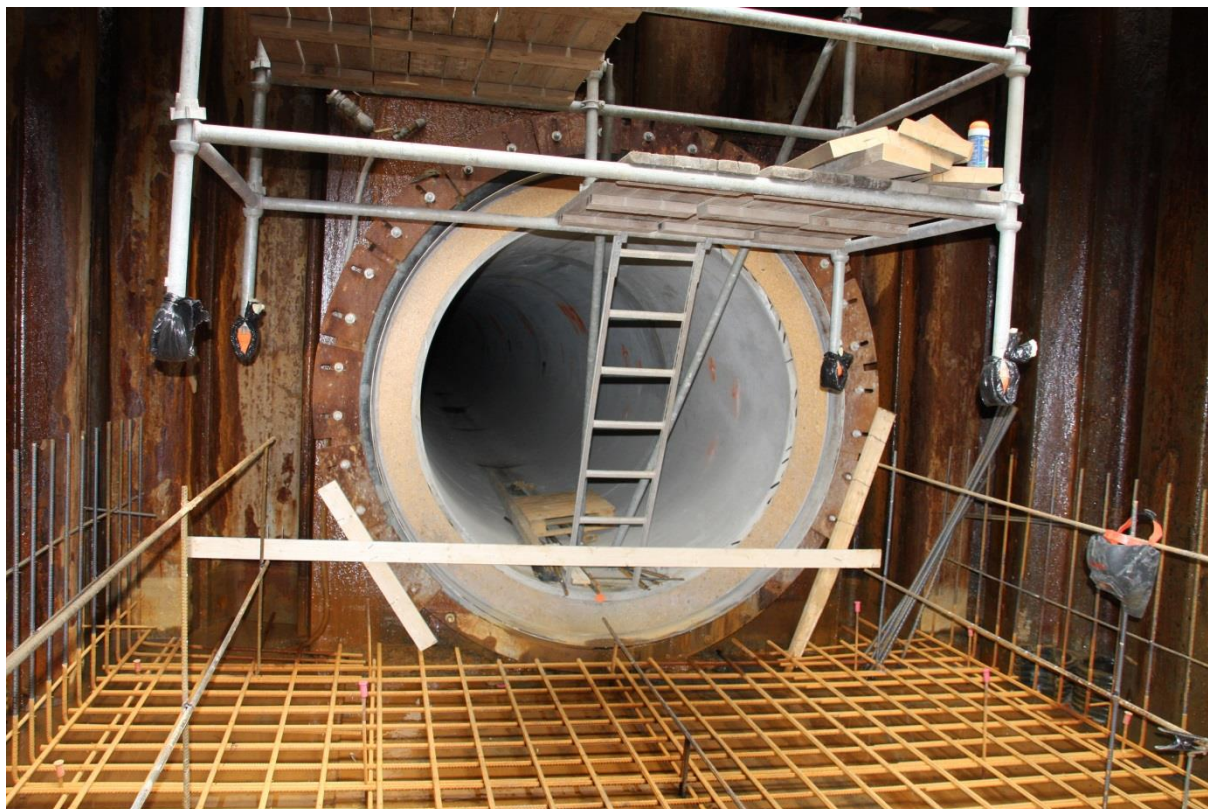


Figur 9: BRA med tunnelsystem og makskapasiteter (Tall i parentes er etter 2020).

Kvæner-tunnelen er ca. 2,1 km lang. Gjennom denne tunnelen kommer avløpsvann fra avløpssonene Sandaker-Kvæner (ØSaK) og Grorud-Bekkelaget (ØGrB) og har et totalt volum på ca. 22 000 m³.

Ljanstunnelen er ca. 4,0 km lang. Denne tunnelen tar i mot avløpsvann fra områdene sør-øst i Oslo og fra deler av Oppegård kommune og har et totalt volum på ca. 16 000 m³.

Midgardsormen er tilknyttet et nytt oppsamlingsystem for avløpsvann fra de østlige deler av Oslo sentrum. Avløpsvannet føres i dyptliggende hovedledninger fram til en sjakt i Gamlebyen. Fra sjakten i Gamlebyen er det bygget en 2,0 km lang overføringstunnel fram til BRA. Midgardsormens fjellanlegg har et totalt lagringsvolum på ca. 70 000 m³, av det totale tunnelvolumet på 86 000 m³.



Figur 10: Bygging av Midgardsormen i 2011.

3.1.4 Hovedoverløp tilknyttet Bekkelaget renseanlegg Kværneroverløpet

Dette er overløpet oppstrøms Kværner-tunnelen, og overløpsvannet går ut i Alnaelva og videre ut i fjorden. Slik hovedtransportsystemet er utformet i dag, vil ikke Kværneroverløpet bli benyttet som et normalt avlastningsoverløp. Beregninger viser imidlertid at maksimalt $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$ kan videreføres inn i Kværner-tunnelen etter overløpet. Hvis summen av tilførslene fra ØSaK og ØGrB overskrider $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$, vil Kværneroverløpet tre i funksjon.

Bekkelaget RAs nødoverløp/Gamle rist overløp

Overløpet har maskinrenset rist og utslipp på 12 m dyp. Dette overløpet er etter oppstart av Midgardsormen ikke i funksjon som et normalt avlastningsoverløp. Det vil imidlertid være mulig å benytte overløpet hvis det f.eks. skal gjennomføres vedlikeholdsarbeid knyttet til Kværner-tunnelen.

Nødoverløpet er under ombygging. Rista blir fjernet og ny luke blir maskinstyrt. Inntil UBRA er ferdig bygget, blir dette et viktig avlastningsoverløp fremfor å benytte Kværneroverløpet.

Bispevika overløp

Overløpet trer i kraft når den mekaniske rensede kapasiteten via Midgardsormens silanlegg på $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$ er overskredet, behandlingsskapasiteten til Bekkelaget RA er fullt utnyttet og tunnelvolumet er fullt. Overløpet vil også tre i kraft dersom tilførsel oppstrøms overstiger hovedtunnelens kapasitet. Det har utslipp i Bispevika.

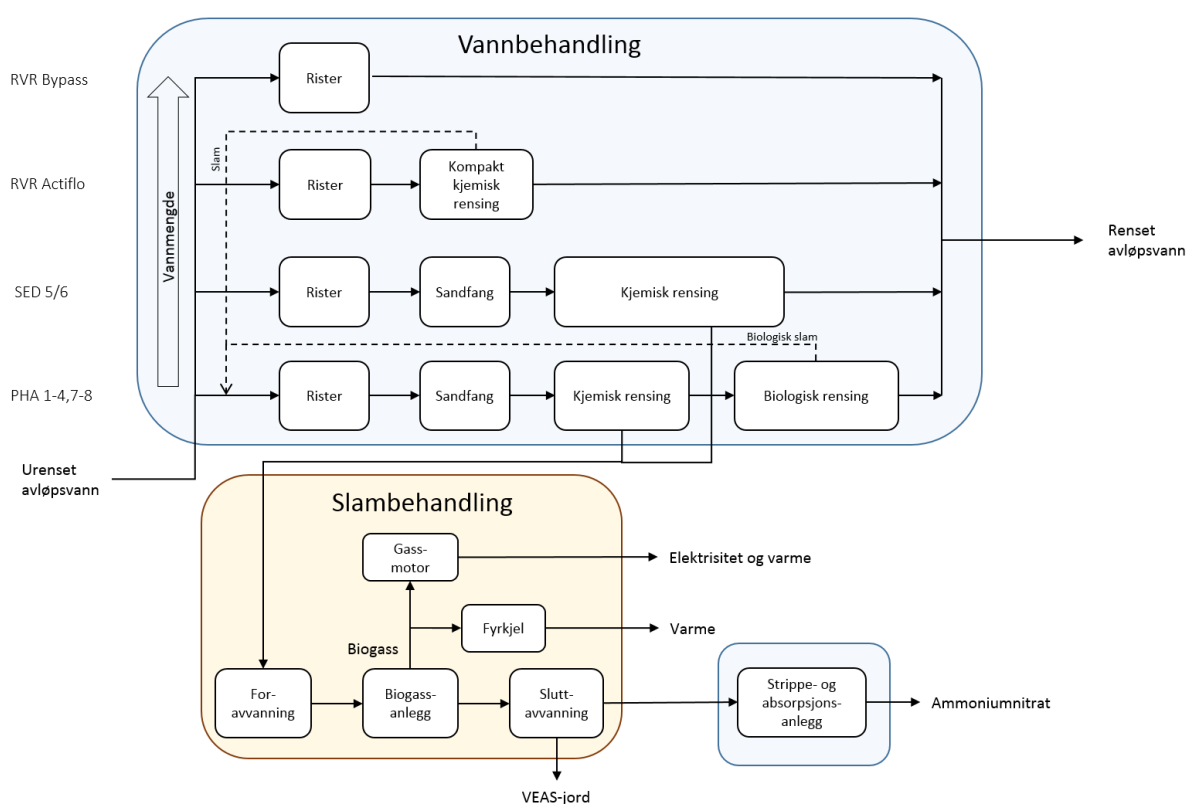
Utslipp fra Midgardsormens silstasjon, mekanisk rensed

Dette er avlastningen for transportsystemet til Bekkelaget renseanlegg. Silstasjonen vil tre i funksjon når Midgardsormen er fylt opp eller at silstasjonen benyttes som avlastning for Kværner-tunnelen. Avløpsvannet passerer siler slik at avløpsøppel og større partikler fjernes. Deretter slippes det mekanisk rensede avløpsvannet ut på 50 m dyp vest i Bekkelagsbassenget. Kapasiteten på silanlegget er pr. i dag $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$, og silene har en hullåpning på 6 mm.

3.2 Renseanleggene

3.2.1 VEAS

Vann- og slambehandlingsprosessene på VEAS er skjematisk framstilt i Figur 11.



Figur 11: Forenklet flytskjema for VEAS-prosessen.

Vannbehandling

Avløpsvannet pumpes 22 meter fra innløpspumpesumpen opp i anlegget og passerer rister og sandfang. Det kjemiske rensetrinnet starter allerede i sandfang, ved at jern- og aluminiumkoagulanter blandes inn her. Vannet føres videre til dype sedimenteringsbasseng, hvor partikler og en stor andel fosfor fjernes som slam. Fra hvert sedimenteringsbasseng i de seks prosesshallene, PHA, føres vannet til biologisk rensing. Det biologiske rensetrinnet består av biofilmprosesser med leca som bæremateriale. Først skjer nitrifikasjon i luftede basseng og til sist denitrifikasjon med metanol som ekstern karbonkilde. Leca-materialet gir også en god filtrering av vannet. Det rensede vannet føres ut i Vestfjorden på 50 meters dyp via en utløpstunnel, og fem diffusorer fordeler vannet slik at det

innlagres på om lag 20 meters dyp. Tilbakespylingsvannet fra det biologiske rensetrinnet føres tilbake til VEAS innløp.

VEAS-prosessen i de seks parallelle linjene, «basis-prosessen», har en kapasitet på omkring 3,2-3,5 m³/s ved normalt avløpsvann. På stadig mer fortynnet avløpsvann kan inntil 5,1- 5,2 m³/s behandles her. Gjennom «basisprosessen» fjernes organisk stoff, fosfor og nitrogen.

Ved økt tilrenning, vil ytterligere to linjer, SED5 og SED6, bli startet. Disse linjene har kjemisk rensing med høy reduksjon av fosfor og organisk stoff og har en hydraulisk kapasitet på inntil 1,8-1,9 m³/s. PHA og SED5-6, til sammen 8 linjer, utgjør hovedanlegget. Ved behov for ytterligere kapasitet, startes RVR¹, som forsynes av egne pumper i innløpspumpesumpen RVR Actiflo har kjemisk rensing som i hovedanlegget, men med tilsats av mikrosand for arealeffektiv avskilling. RVR-Actiflo har en hydraulisk kapasitet på inntil 2,0 m³/s. Ut over dette kan det kjøres inntil 2 m³/s gjennom RVR Bypass, som kun har rister.

Ved fortynnet avløpsvann, kan VEAS-anlegget behandle inntil 11 m³/s.

Figur 13 viser kapasiteter og oppstartintervall for de ulike linjene.

Slam- og returstrømbehandling

Partikulært stoff som slam, pumpes fra sedimenteringsbassengene² i hovedanlegget, via foravvanning til utråtningsanlegget.

Utråtningsprosessen gir om lag 1 400-1 500 Nm³ biogass pr time. Dette tilsvarer en energimengde på om lag 70 GWh pr år. Biogassen utnyttes til produksjon av strøm og varme for intern bruk.

Utråtnet slam tilsettes kalk og avvannes i kammerfilterpresser. Her benyttes varme og vakuüm for å tørke og hygienisere slammet. Sluttproduktet, VEAS-jord, er rikt på fosfor, kalk og organisk stoff, og brukes som jordforbedringsmiddel på korndyrkingsarealer.

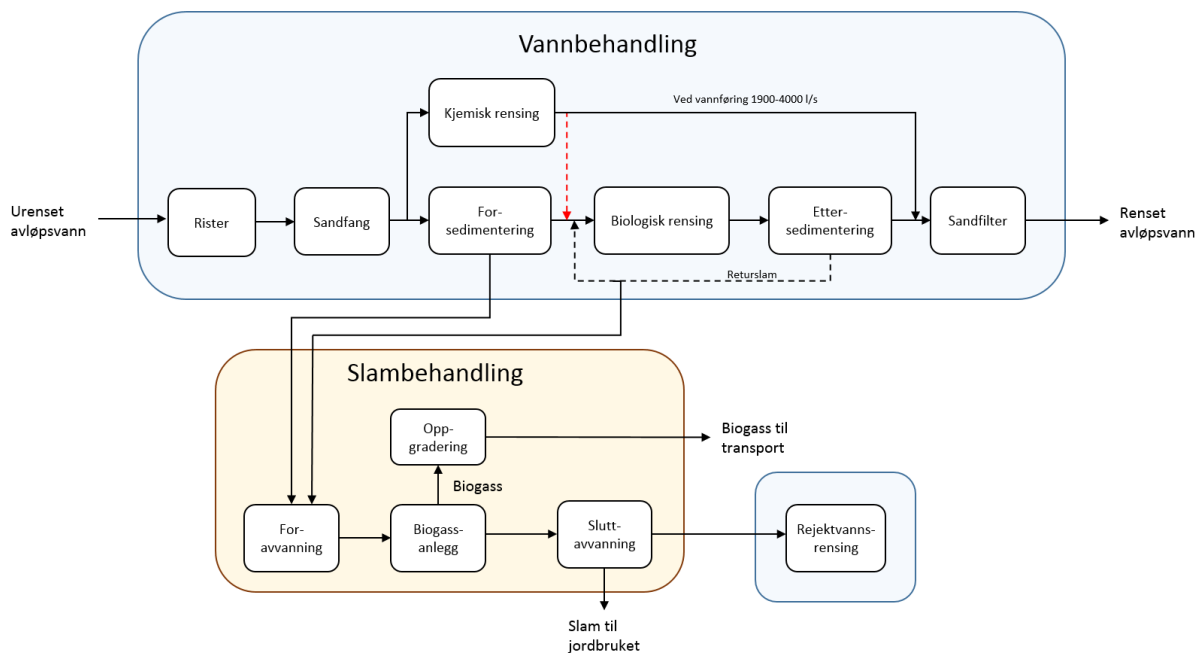
Rejektvannet fra pressene er svært rikt på ammoniakk og renses i strippe- og absorpsjonsanlegget, hvor det produseres en ammoniumnitratløsning.

3.2.2 Bekkelaget renseanlegg

En skjematisk framstilling av renseprosessen på Bekkelaget renseanlegg er vist i Figur 12. Figuren omfatter både rensing av avløpsvann og behandling av slammet.

¹ RVR står for Regnvannrensseanlegg. Med regnvann menes her regnvannsfortynnet avløpsvann.

² Sedimenteringsbasseng er en del av Kjemisk rensing, ref Figur 11.



Figur 12: Forenklet flytskjema for rensing av avløpsvann og behandling av slam ved Bekkelaget rensesanlegg.

Vannbehandling

Fra enden av tilførselssystemet til BRA pumpes avløpsvannet opp i anlegget og passerer der først rister og sandfang. Deretter ledes avløpsvannet inn til åtte parallelle forsedimenteringsbassenger (mekanisk rensing), hvor større partikler fjernes som slam. Fra disse ledes vannet videre til det biologisk-kjemiske rensetrinnet hvor organisk stoff og nitrogen fjernes. I tillegg fjernes også fosfor her ved at det tilsettes fellingskjemikalier (jernsulfat) til returslammet (såkalt simultanfelling). Deretter ledes avløpsvannet til sandfiltre med muligheter for tilsetning av fellingskjemikalier for en «polering» før det rensede avløpsvannet slippes ut på 50 meters dyp i Bekkelagsbassenget. Denne mekanisk-kjemisk-biologiske rensingen utgjør «basis-rensingen» i anlegget. Ved tørrværstilrenning til anlegget, dvs i perioder uten regnvær eller snøsmelting i tilførselsområdet til Bekkelaget, vil alt avløpsvannet passere denne «basis-rensingen», som har en kapasitet på ca. $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ved en tilrenning til BRA utover ca. $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$ vil man starte med å tilsette fellingskjemikalier foran fire av forsedimenteringsbassengene, slik at disse fungerer som et kjemisk rensetrinn for fjerning av fosfor, såkalt direktefelling. Utløpet fra disse bassengene ledes direkte til sandfiltrene før det rensede vannet går til utløpsledningen.

Dersom avløpstilførslene øker utover $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$, vil også de resterende fire forsedimenteringsbassengene bli konvertert til et kjemisk rensetrinn, slik at den totale behandlingseffekten ved anlegget blir opp mot $3,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Dette innebærer at ca. $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$ gjennomgår kjemisk rensing for fjerning av fosfor, mens en nesten tilsvarende avløpsmengde gjennomgår «basis-rensingen», som også omfatter nitrogenfjerning.

Omstillingen av rensetrinnene ved økende avløpstilførsler skjer automatisk, basert på oppstuvning/avløpsnivået i Kværnertunnelen og Midgardsormen.

Slam- og returstrømbehandling

Slam pumpes fra for- og ettersedimenteringsbassengene til foravvanning og blandes i blandslamlager før slammet pumpes til utråtningsanlegget.

Utråtningsprosessen, som både stabiliserer og hygieniserer slammet, gir om lag 400-600 Nm³ biogass pr time. Dette tilsvarer en energimengde på om lag 25 GWh pr år. Hovedandelen av biogassen (>75 %) oppgraderes til biodrivstoff, mens resterende mengde utnyttes til varme for internt bruk eller fakles.

Utråtnet slam avvannes og sluttproduktet brukes som jordforbedringsmiddel på korndyrkingsarealer.

Rejektvannet etter avvanning er svært rikt på ammoniakk og renses i et eget rejektbehandlingsanlegg som fjerner hovedandelen av nitrogenet.

3.3 Dagens styring av systemet

3.3.1 VEAS

Maksimal avløpsmengde inn i VEAS-anlegget er 11 m³/s. Tilrenningen kan deles i to hovedsituasjoner:

Tørrvæstilrenning

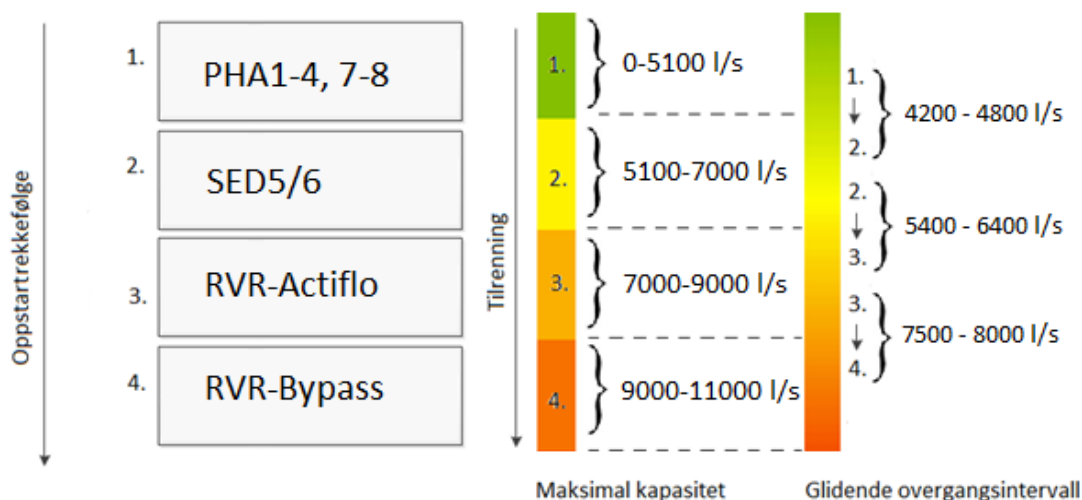
Tørrvæstilrenningen til VEAS er 1,3-3,4 m³/s. Hele vannmengden gjennomgår «basisbehandling», dvs kjemisk og biologisk rensing. Innløpspumpene styres av ønsket/forhåndsdefinert nivå i IPU³. Innpumpet mengde kan begrenses til en øvre mengde, for å kontrollere belastningen på anlegget og prosessene.

Stor tilrenning

Ved økende og stor tilrenning styres anlegg og tilførsel/tunnel med tanke på å ivareta sikkerhet, unngå overløp og oppnå best mulig rensesgrad. Mengden gjennom anlegget økes suksessivt, både ved å øke mengden gjennom basisanlegget/PHA og ved å starte flere prosesslinjer. Tunnelmagasin tas i bruk. Grunnlaget for styringen er bla overvåking av mengdedata fra tunnel, kvalitetsdata fra prosessen og offisielle nedbørsprognoser. Prinsippene for styring er beskrevet i en prosedyre.

Figur 13 angir oppstartsrekkefølge for de ulike prosesslinjene ved økende tilrenning. Hydraulisk kapasitet begrenses av stoffbelastningen, og vannmengden kan økes etter hvert som stoffkonsentrasjonen blir redusert.

³ Nivå IPU er nivå i innløpspumpesump/tilførselstunnel/magasin IPU



Figur 13: Oppstartrekkefølge for ulike vannbehandlingslinjer ved VEAS. Overgangsintervallene viser ved hvilke tilrenningsscenarier en normalt starter neste prosesslinje.

Når tilført mengde overstiger innpumpet mengde, stiger nivå i IPU, dvs at magasin IPU er i bruk. For å ivareta anleggets sikkerhet, er det satt en øvre grense for nivå i IPU. For å hindre at grensen overskrides, begrenses tilførselen ved å strupe/stenge luken ved Engervann. Vannet fra de 17 påslippene nedstrøms luka på Engervann vil nå VEAS selv når luka er stengt. Dette krever at det er ledig volum i IPU i tilfelle plutselig driftsstans.

Når luke Engervann tas i bruk, er magasinet oppstrøms luken i bruk.

For å redusere/holde tilbake en del av tilførselen fra Oslo, benyttes Sentrumstunnelen/ Festnings-tunnelen som magasin.

Tunnelstrekningen mellom Majorstua og Fagerlia benyttes ved slutten av en nedbørs-/ overløpssituasjon eller ved kort-varig, intenst nedbør.

Ved avtagende tilrenning er det viktig å avslutte eventuelle overløp og ta unna det magasinerte vannet. Det er også et poeng å sikre en jevn stofftilførsel av hensyn til slambehandling og biogass-produksjon.

Dersom nivået i pumpeumpene ved VEAS eller Frognerparken holdes høyt over lengre tid, vil man få sedimentering i tunnel og pumpeump. I slike tilfeller bør nivået kjøres aktivt ned.

3.3.2 Bekkelaget renseanlegg

Maksimal avløpsmengde inn i eksisterende BRA er ca. 3,8 m³/s. Tilrenningen til BRA kan deles i to hovedsituasjoner:

Tørrværstilrenning

Avløpsvann pumpes fra Midgardsormen og opp i Kværner-/Ljanstunnelen. Vannføringen inn til anlegget varierer i området 0,6-1,9 m³/s. Vannføringen reguleres ved hjelp av luker som er plassert foran den eksisterende innløpumpestasjonen.

Stor tilrenning

Når vannføringen overskrider 1,9 m³/s, starter en gradvis oppfylling av Kværner-/Ljanstunnelen. Ved et gitt nivå åpner luker slik at avløpsvann føres ned i Midgardsormen som nå fungerer som et rent lagringsvolum. Hvis tilrenningen er tilstrekkelig høy, vil etter hvert både Midgardsormen og Kværner-/Ljanstunnelen bli fylt opp. Overløpspumper vil da starte og pumpe fra en stigesjakt i Midgardsormen. Ved en eventuell strømstans vil nivået i sjakten fortsette å øke og overløp i Bjørvika og langs Akerselva trer i funksjon. For å redusere omfanget av eventuelle overløpsutslipp i disse områdene, er det etablert en reservekraftforsyning slik at overløpspumper og silstasjon raskt vil kunne startes opp igjen.

Når tilrenningen avtar, vil man begynne å redusere magasineringen i tunnelsystemet.

Styringen som er beskrevet foran, er i stor grad automatisert. Erfaringene fra innkjøringsperioden for Midgardsormen vil vise om det må gjøres endringer i det planlagte opplegget for samkjøringen av Midgardsormen og Kværner-/Ljanstunnelen.

4 Planlagte tiltak frem mot 2020

Nitrogenfjerningskapasiteten er nådd eller overskredet ved både VEAS og BRA og slambehandlingen har flaskehals. Publikum langs fjorden har høye forventninger til vannkvalitet og det er vedtatt høye ambisjoner, bla til badevannskvalitet i den sentrale bykjerne i «Prosjekt Fjordbyen». Sammen med prognosene for befolkningsvekst og klimaendringer utgjør dette bakgrunnen for omfattende investeringer som skal gjennomføres i perioden fram til 2020.

Noen av de planlagte tiltakene kan gi nedsatt rensegrad og/eller hydraulisk kapasitet i gjennomføringsperioden. Derfor blir derfor sett på potensialet for samhandling i perioden frem mot 2020 for om mulig å redusere ulemper. Dette er drøftet i kapittel 6.

4.1 VEAS

På VEAS har det siden våren 2014 pågått omfattende rehabiliterings- og oppgraderingsprosjekter, som fortsetter mot 2020. I Vedlegg 1 – Tiltaksliste VEAS frem mot 2020 finnes en tiltaksliste med de større prosjektene som vurderes å kunne påvirke miljøet i og rundt indre Oslofjord.

VEAS vil ha redusert nitrogenfjerningskapasitet fram til høsten 2018. I denne perioden er det et mål å oppnå 60 % nitrogenfjerning på årsbasis.

I samme periode, vil den hydrauliske kapasiteten periodevis være redusert med inntil 0,85 m³/s.

Fra medio 2018 og ut 2020, vil anleggets hydrauliske kapasitet være redusert med inntil 1,9 m³/s.

I hele perioden fram til 2020, vil arbeider på slamstrengen kunne føre til driftsforstyrrelser også i vannbehandlingen.

Tiltak som påvirker anleggets kapasitet, pågår over lang tid, og det er ikke relevant å utføre disse arbeidene kun i perioder det normalt er mindre nedbør eller mindre aktivitet på/ved fjorden.

VEAS vurderer å øke kapasiteten i RVR for å opprettholde hydraulisk kapasitet når deler av hovedalegget er ute av drift. VEAS vurderer også tiltak for å øke hovedanleggets hydrauliske kapasitet.

4.2 Bekkelaget renseanlegg

Befolkningsøkningen har medført behov for fysisk utvidelse av BRA. Arbeidene med å øke kapasiteten fra 290 000 til 490 000 pe er planlagt ferdigstilt i 2020, prosjekt UBRA. Sammen med fjellarbeider knyttet til påstartet, utvidelse planlegges det flere tiltak for å bedre andre kapasitetsrelaterte flaskehalsar. En tiltaksliste for Bekkelaget RA finnes i Vedlegg 2 – Tiltaksliste Bekkelaget RA frem mot 2020.

Tiltakene ved BRA tilskrives begrenset risiko for redusert hydraulisk og/eller rensekapasitet. Ingen spesielle tiltak er derfor planlagt. Igangkjøring av prosesser hvor bakterielle kulturer benyttes til rejektivannrensing kan være berammet med oppstartsproblemer. BRA har valgt teknologi som baserer seg på bæreremateriale med allerede etablerte kulturer, som vil redusere usikkerhet knyttet til nitrogenrensing av rejektivann.

Utvidelse av renseanlegget og arbeider knyttet til dette er forbundet med korte perioder hvor en kan forvente redusert kapasitet. Disse periodene er ikke planlagt til spesielle årstider hvor tilrenningen/belastningen inn til anlegget er lav.

5 Tunnelmodell og scenarier

For å se styringsmulighetene i sammenheng, for kapasiteten på renseanleggene, magasinerings- og fordrøyningskapasitet i tunnelsystemet og fordeling av vannmengdene mellom renseanleggene, kan en tunnelmodell være et godt hjelpemiddel. Bruk av en tunnelmodell med relevante scenarier som viser potensialet og begrensningene i tunnelsystemet for Oslo, Bærum og Asker samlet, kan gi en ny dimensjon for vurdering av mulige handlingsalternativer.

En velfungerende tunnelmodell må ha riktig og balansert relevant informasjon fra alle de involverte kommunene. Opparbeidelsen, og senere vedlikehold, av en tunnelmodell fordrer derfor i seg selv et godt samarbeid mellom kommunene.

5.1 Beskrivelse av tunnelmodell

5.1.1 Konseptmodell

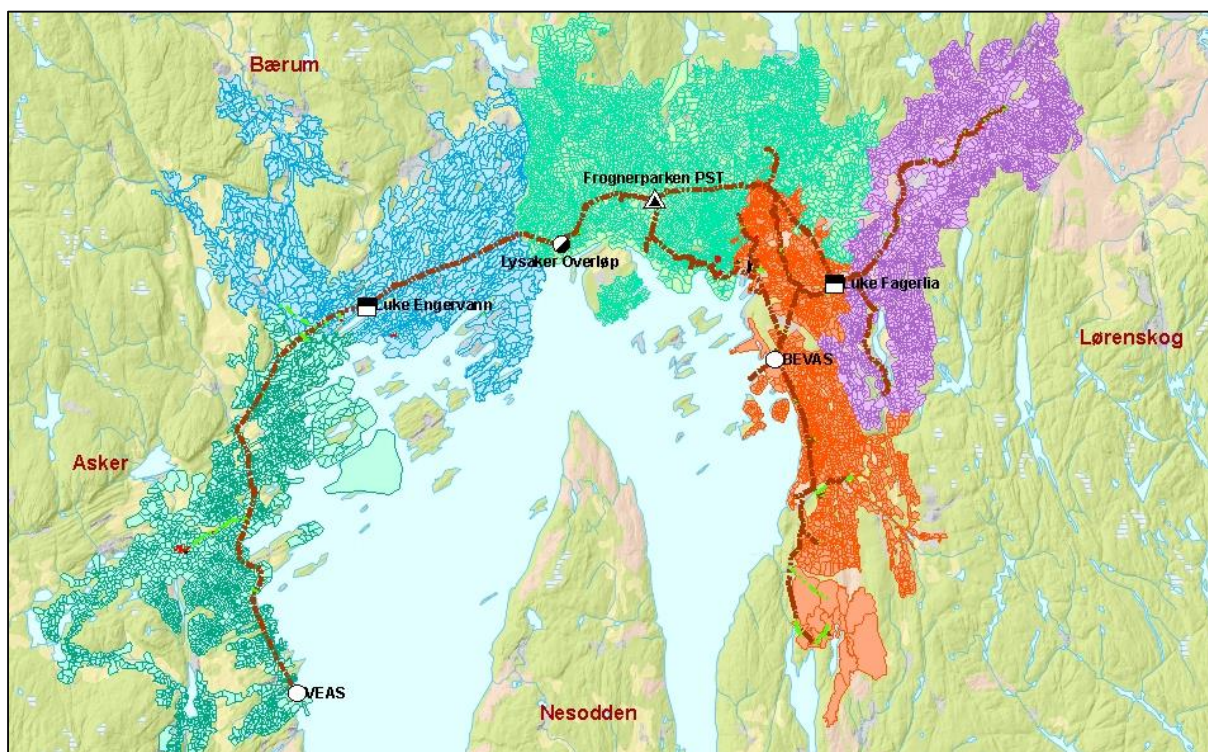
Det foreligger en detaljert avløpsmodell for hele Oslo. Avløpsmodeller for både Asker og Bærum er under utvikling og forventes ferdigstilt i løpet av 2015. Gjennom god og åpen dialog med kontaktpersoner i Asker og Bærum kommuner ble nødvendig informasjon innhentet for å komplettere tunnelmodellen med beregninger av tilførte vannmengder for påslippene på VEAS-tunnelen utenfor Oslo kommune. En tunnelmodell, med alle detaljer for Oslo inkludert, krever beregningstider på mange timer for hvert enkel simulering. Det ble derfor nødvendig å gjøre en forenkling for å kunne utvikle en styringsstrategi for modellen som tilnærmer styring av VEAS-tunnelen, kalibrere modellen og kunne kjøre mange scenarier innenfor tidsrammen for prosjektet. Styringen av tunnelsystemene mot BRA lå allerede inne i modellen fra gjennomførte beregninger for dimensjonering av Midgarsormen.

Arbeidet med modellen og de ulike scenariene i dette prosjektet er i hovedsak utført av Geir J. Lindholm i Rosim AS.

Avløpsmodellene for Oslo, Bærum og Asker er forenklet ned fra om lag 80 000 ledninger til 1054 segmenter med tunneler og hovedledninger. 15 000 arealer er fordelt på om lag 130 påslipp til

«tunnelsystemet». En skjematisk fremstilling av den forenklede modellen, heretter omtalt som konseptmodellen, er vist i Figur 14.

Effekten av å fjerne lokale overløp og ledningsnett, slik det er gjort i konseptmodellen, vil være større og raskere beregnede vannmengder til hvert påslipp. For å motvirke dette er konsentrasjonstiden for avløpsfeltene satt proporsjonalt med avstanden til nærmeste påslipp. Videre er hvert påslipp utformet i modellen med overløpsmulighet, som i prinsippet erstatter alle lokale overløp, og en beregnet maksimal videreført vannmengde. Dette demper og reduserer de tilførte flomtoppene.



Figur 14: Kart over området med tilhørende arealer i konseptmodellen. Hovedinfrastrukturen er inntegnet, inkludert tunneler. Områdene fra vest, markert med ulike farger er; Asker, Bærum, sentrum og Oslo vest til Lysaker/Vækerø (alle tre går til VEAS). Markert i oransje; Oppegård, Nordstand og Midgardsormen til BRA. Markert i lilla er Groruddalen, hvor vannmengden fordeles på Fagerlia.

Med konseptmodellen er beregningstiden for en regnhendelse på 24 timer redusert fra om lag 10 timer til 10 minutter. Det gjør at en i løpet av kortere tid kan modellere forskjellige scenarier og studere effekter for lengre beregningsperioder. Konseptmodellen er derfor særlig egnet til å etablere og teste ut forskjellige styrestrategier for tunnelsystemet. Ulempen er at konseptmodellen kun vil gi indikative svar og resultater med god overenstemmelse med virkeligheten bare for det overordnede nivået, mens forenklingene vil kunne gi betydelige feil for de lokale påslippsmengdene og langt oppstrøms i tunnelsystemene.

5.1.2 Styrestrategier benyttet i konseptmodellen

De styrestrategiene som ble benyttet i konseptmodellen er beskrevet i kapittel 1 i Vedlegg 3.

5.1.3 Kalibrering av konseptmodellen

Modellen ble kalibrert mot en konkret tørrværsituasjon og en konkret nedbørsperiode med tungt høstregn.

For kalibreringen og senere scenarier er det benyttet en «normalsituasjon» med en fordeling av vannmengder på Fagerlia etter et forhold på 30/70 mellom henholdsvis VEAS og BRA. Dette forholdet er en beste tilnærming til avtalt fordeling, etter innfasing av Midgardsormen, for 2014 og 2015.

Kalibreringen viste godt samsvar for tørrværsituasjonen og tilstrekkelig samsvar for nedbørssituasjonen.

Kalibreringen er nærmere beskrevet og drøftet i Vedlegg 3.

5.2 Valg av scenarier for simulering i konseptmodellen

Innenfor omfanget til prosjektet var det bare mulig å utføre et begrenset antall scenarier. Det er derfor valgt scenarier som gir ytterpunkter som kan tydeliggjøre den potensielle fleksibiliteten i systemet og besvare spørsmål tilknyttet kapasiteten for magasinering og avlastning ved akutt-situasjoner på et av rensesanleggene. Simulerte scenarier framgår av Tabell 1.

Tabell 1: Scenarier som ble simulert i konseptmodellen

Tilrenning		Fordeling ved Fagerlia	
		Andel VEAS	Andel BRA
Tørrvær	Full stopp VEAS	0	100
	Full stopp BRA	100	0
2-års sommerregn i øst	Normalsituasjon	30	70
	Avlastning mot vest	100	0
2-års sommerregn i vest	Normalsituasjon	30	70
	Avlastning mot øst	0	100

Det er uansett, når man nå har en utviklet modell, relativt enkelt og raskt å kjøre senere scenarier for ytterligere forklaring og forståelse av fleksibiliteten i systemet. Resultatene kan også verifiseres og eventuelt forbedres ettersom modellen videreutvikles og kalibreres mot målte verdier. En videreutvikling av konseptmodell til en tunnelmodell, inkludert hovedledninger og lokale overløp oppstrøms påslippene, vil også kunne gi mer pålitelige verdier lokalt og derfor gi et bedre innblikk i den reelle fleksibiliteten på et økt detaljnivå.

5.3 Fordrøyningskapasitet ved tørrværsbelastning ved full stopp i ett av rensesanleggene

Det ble gjennomført to scenarier for å undersøke hvor lenge man teoretisk kan ha en stopp på hvert av de to rensesanleggene før det går overløp, dersom man avlaster så store vannmengder som praktisk mulig. Den valgte «nedbøren» er som for tørrværskalibreringen beskrevet i kapittel **Feil! Fant ikke referanse kilden.** og Vedlegg 1.

Det er forutsatt at stoppene starter ved normale nivåer i pumpeumpen ved rensesanleggene. For en reell planlagt situasjon kan derfor fordrøyningstiden utvides marginalt mer ved å kjøre ned nivået til et minimum før innløpspumpene stoppes.

Maksimal avlastning av BRA

For en planlagt stopp av BRA er det forutsatt at alt vannet fra Fagerlia overføres til VEAS.

Resultatet fra scenariet med en maksimal avlastning av BRA ved å overføre alt vannet fra Fagerlia til VEAS og utnyttelse av tunnelvolum ga en tilgjengelig stopptid på drøye 27 timer. Den avlastede mengden fra Fagerlia er i snitt ca. $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$, noe som utgjør ca. 39 % av total tørrværsbelastning.

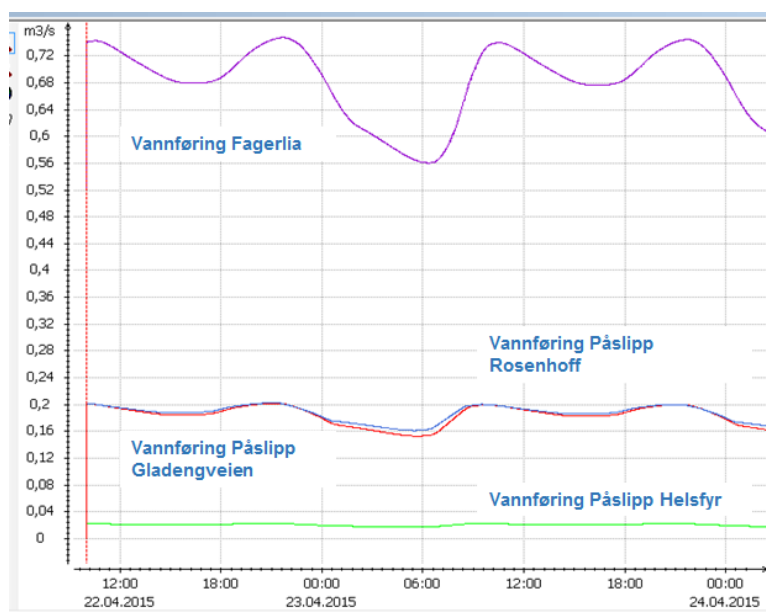
Maksimal avlastning av VEAS

For en planlagt stopp av VEAS er det forutsatt at alt vannet på Fagerlia overføres til BRA, samt at påslippene ved Rosenhoffs gate, Gladengveien og Helsfyr blir koblet mot BRA med en teoretisk tilgjengelig kapasitet for alt vannet inn på østlige tunneler. I en akutt nødstoppsituasjon for VEAS vil fordrøyningskapasiteten være lavere enn for det valgte scenariet, da kun mengden fra Fagerlia kan kobles om på kort varsel.

Resultatet fra scenariet med en maksimal avlastning av VEAS i en tørrværsituasjon viste en samlet avlastning på ca $0,60 \text{ m}^3/\text{s}$, noe som utgjør ca. 24 % av total tørrværsbelastning. Avlastningen og utnyttelse av tunnelvolum, ga tilgjengelig stopptid før overløp ved Lysaker på knappe 27 timer.

Det bør bemerkes at sammenfallet med at mengdene avlastet og tilgjengelig stopptid for begge anleggene er såpass like, er en ren tilfeldighet og at man derfor ikke kan forvente et sammenfall for alternative stoppscenarier.

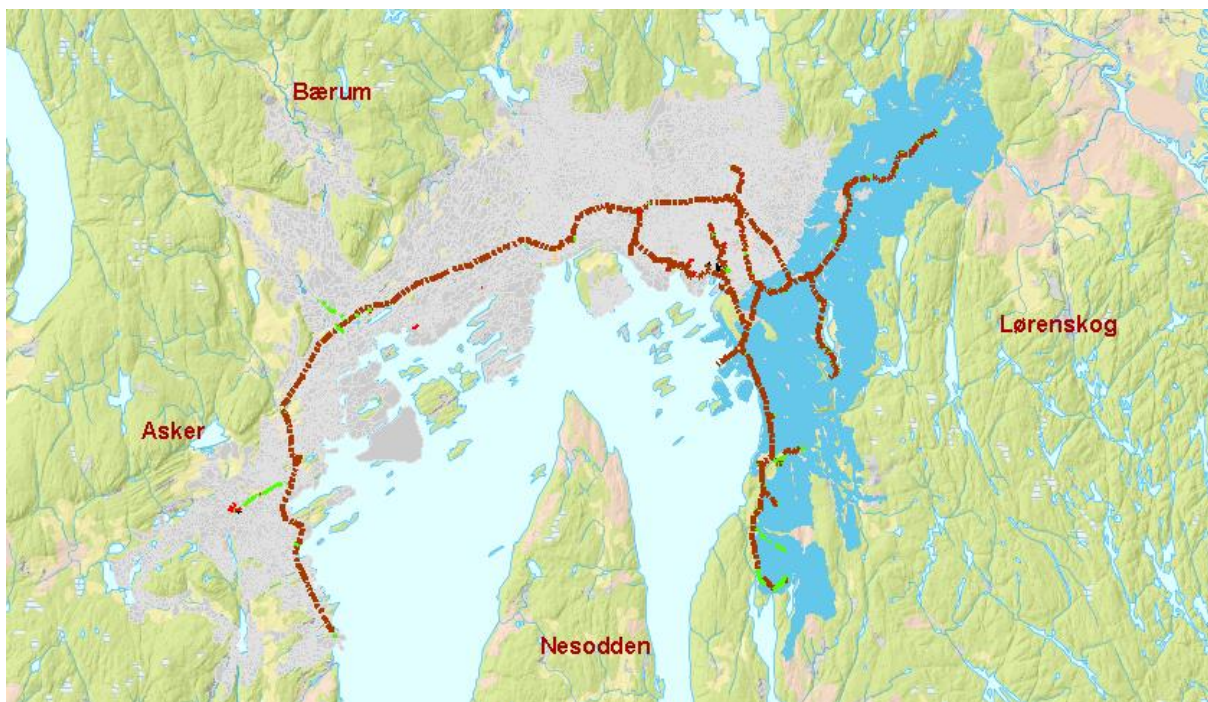
Vannmengdene for Fagerlia og de tre påslippene, som kan kobles om, er vist i Figur 15.



Figur 15: Vannføringen for de aktuelle avlastningspunktene under den aktuelle perioden for den teoretiske nødssituasjonen med stopp av renseanleggene.

5.4 Hovedtyngden av nedbør i det østlige området for et 2-års sommerregn

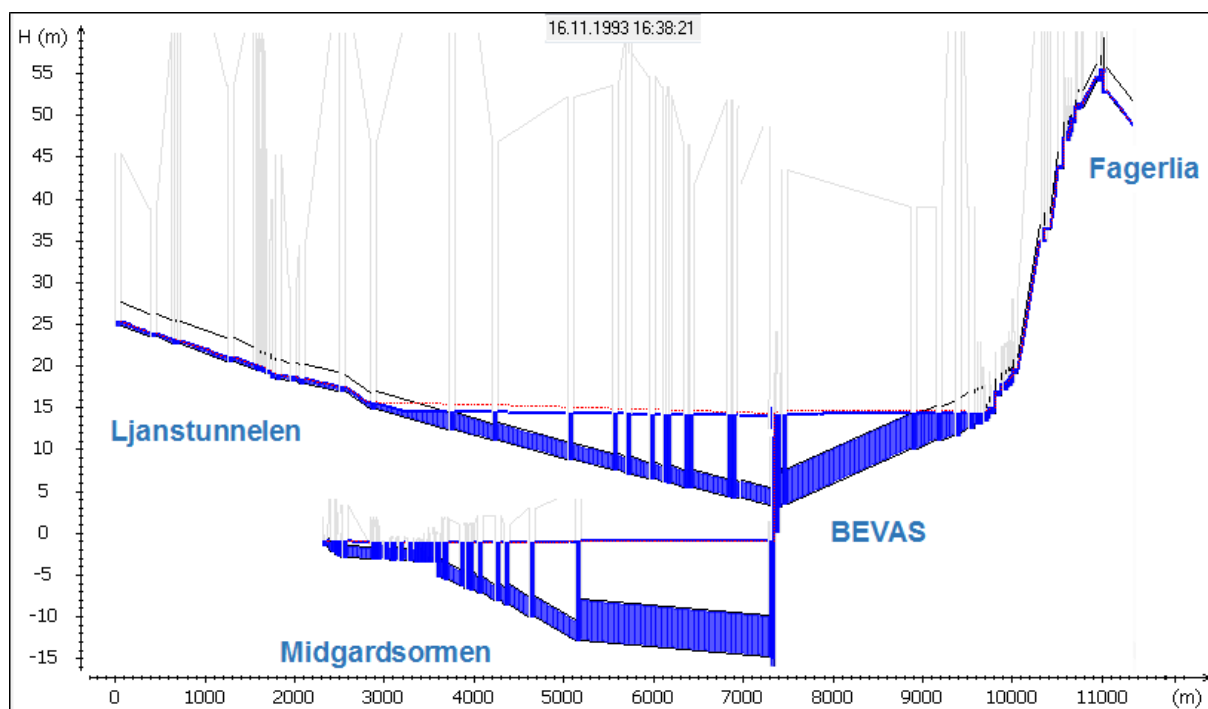
Det ble gjennomført to scenarier der hovedtyngden av et teoretisk 2-års sommerregn er konsentrert til det østlige området. Beskrivelse av nedbøren, nedbørsfelt og fordeling er gitt i Figur 16. For de to scenariene er fordelingen av vannmengdene ved Fagerlia-luka henholdsvis 30/70 (normalsituasjon) og 100/0 (avlastningssituasjon) mot henholdsvis VEAS og BRA.



Figur 16: 2 års IVF-kurve fra Sem (Asker) er benyttet for arealer i øst, markert i blått. 2 års IVF-kurve fra Sem multiplisert med 0,10 er benyttet for arealer i vest, markert med grått.

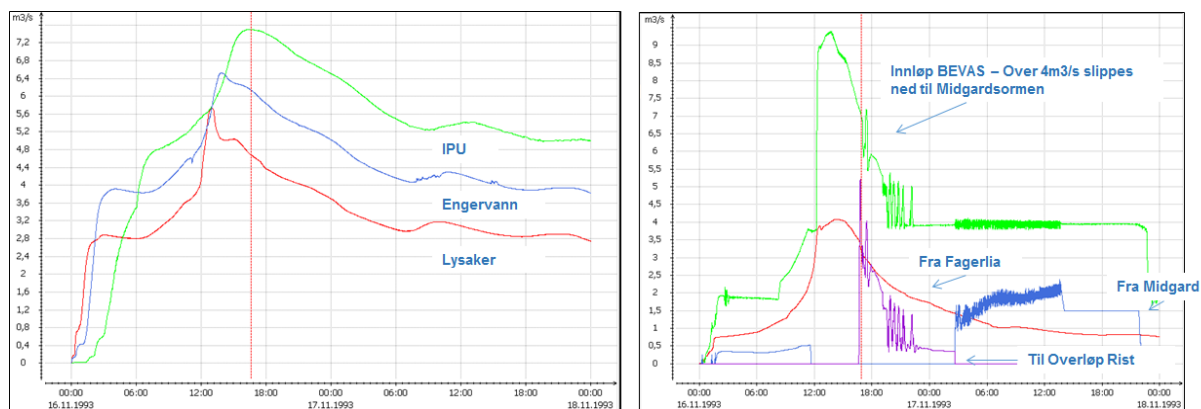
Fordeling ved Fagerlia: 30/70 Normalsituasjon

Det valgte regnet fyller mye av det østlige tunnelsystemet når 70 % av vannet fra Fagerliatunnelen går mot BRA. Figur 17 viser et øyeblikksbilde for fyllingsgrad i tunnelprofilen.



Figur 17: Situasjonsbilde for oppfyllingsgrad i tunnelprofilen for de østlige tunnelene for scenariet med 2-årig sommerregn over østlig området med normal fordeling på Fagerlia-luka.

For scenariet med det valgte sommerregnet og nåværende fordeling på Fagerlia, ble det beregnede resultatet et utslipp gjennom silstasjon fra Midgardsormen på drøyt 40 000 m³. Det er sannsynlig at det beregnede resultatene er lavere enn hva som ville ha hendt for dette scenariet i virkeligheten, av samme årsaker som kalibreringen for høstregnet viste. De beregnede vannmengdene er vist i Figur 18.

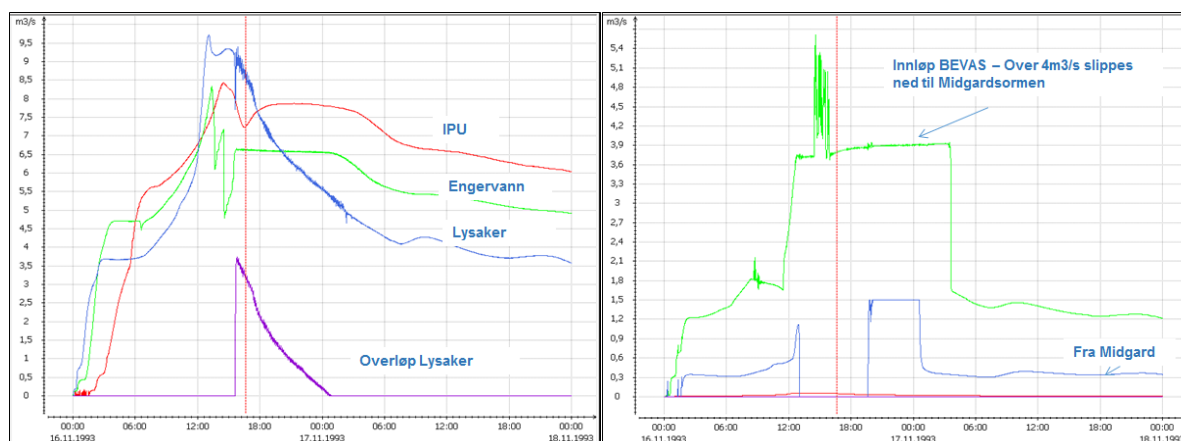


Figur 18: Beregnede vannmengder i tunnelsystemet ved fordeling 30/70 på Fagerlia til henholdsvis VEAS og BRA. *Venstre graf:* Vannmengder på vestlig del av tunnelsystemet inn mot VEAS. Grønn kurve er mengde innpumpet til VEAS, blå kurve er mengde forbi luka på Engervann og rød kurve er mengde ved mengdemåler på Vækerø. *Høyre graf:* Vannmengder på østlig del av tunnelsystemet inn mot BRA. Grønn kurve er mengden innpumpet til BRA. For mengder over 4 m³/s inkluderer kurven også mengde som slippes ned til Midgardsormen. Rød kurve er mengden fra Fagerlia mot BRA. Blå kurve er mengde pumpet fra Midgardsormen til BRA. Lilla kurve er mengde mekanisk rensset avløpsvann over rist fra Midgardsormen.

Fordeling ved Fagerlia: 100/0 Avlastningssituasjon

For scenariet, hvor formålet var å avlaste noe av vannmengdene mot BRA, ved å overføre alt vann fra Fagerliatunnelen mot VEAS, så ga de beregnede resultatene et overløp på Lysaker på knappe 50 000 m³, som er på samme nivå som volumet på østlig side ved normal fordeling. Det vurderes likevel som en forverring for miljøet i fjorden da overløpet på Lysaker er urensset, mens det aktuelle overløpet ved BRA har passert rister. Resultatene indikerer derfor at det er lite eller intet potensial i avlastning mot VEAS for det valgte scenariet.

De beregnede vannmengdene for avlastningsscenariet er vist i Figur 19.



Figur 19: Beregnede vannmengder i tunnelsystemet ved fordeling 100/0 på Fagerlia til henholdsvis VEAS og BRA. *Venstre graf:* Vannmengder på vestlig del av tunnelsystemet inn mot VEAS. Rød kurve er mengde innpumpet til VEAS, grønn kurve er mengde forbi luka på Engervann og blå kurve er mengde ved mengdemåler på Vækerø. Lilla kurve viser mengde som går i overløp ved Lysaker. *Høyre graf:* Vannmengder på østlig del av tunnelsystemet inn mot BRA. Grønn kurve er mengden innpumpet til BRA. For mengder over 4 m³/s inkluderer kurven også mengde som slippes ned til Midgardsormen. Blå kurve

er mengde pumpet fra Midgardsormen til BRA. For dette tilfellet er det ingen mengde fra Fagerlia eller mekanisk rensed avløpsvann fra Midgardsormen.

På samme måte som kalibreringen viste, er overløpet ved Lysaker trolig overestimert og overløpet på det østlige systemet underestimert i forhold til en reell situasjon.

Dette ville vært en såpass oversiktlig situasjon, på grunn av transporttiden i tunnelen og lite nedbør i vest, at operatør på VEAS sannsynligvis ville vært noe mer påholden med å strupe luke Engervann enn styrestrategien lagt inn i konseptmodellen. Tunnelmodellen viser videre med stor sannsynlighet en underestimert mengde på det østlige tunnelsystemet. Gjennom økt driftserfaring med Midgardsormen ved store nedbørshendelser antas differansen mellom reelle overløp og beregnede overløp å bli betraktelig mindre enn for kalibreringen omtalt i avsnitt 5.1.3.2

5.5 Hovedtyngden av nedbør i vestlige områder for et 2-års sommerregn

Det ble gjennomført 2 scenarier der hovedtyngden av teoretisk 2-års sommerregn er konsentrert til det vestlige området. Beskrivelse av nedbøren, nedbørsfelt og fordeling er gitt i Figur 20.

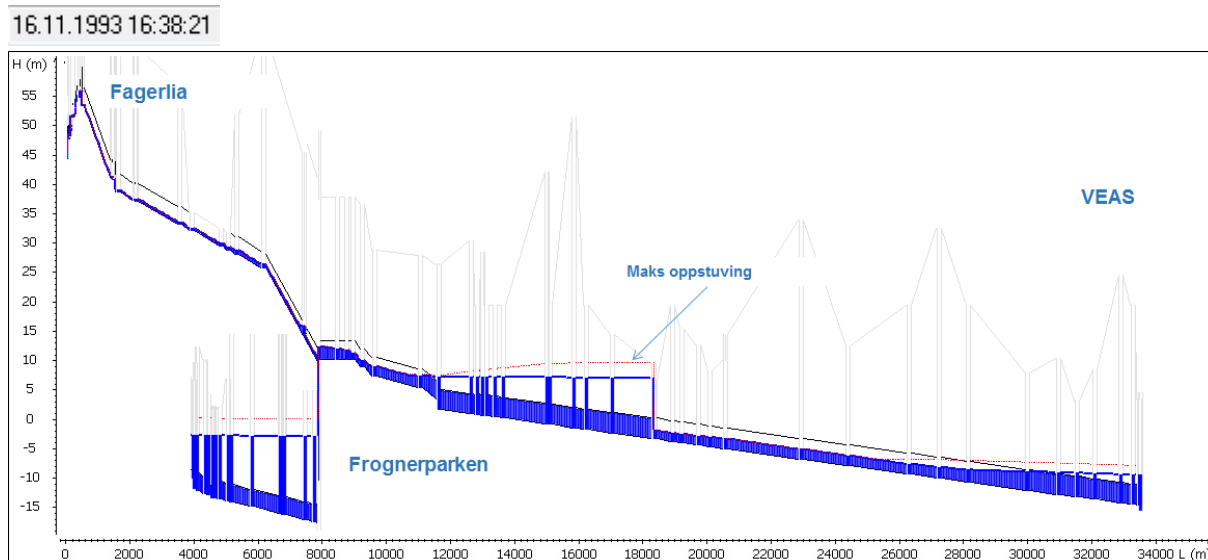
For de to scenariene er fordelingen av vannmengdene ved Fagerlia-luka henholdsvis 30/70 (normal) og 0/100 (avlastningssituasjon) mot henholdsvis VEAS og BRA.



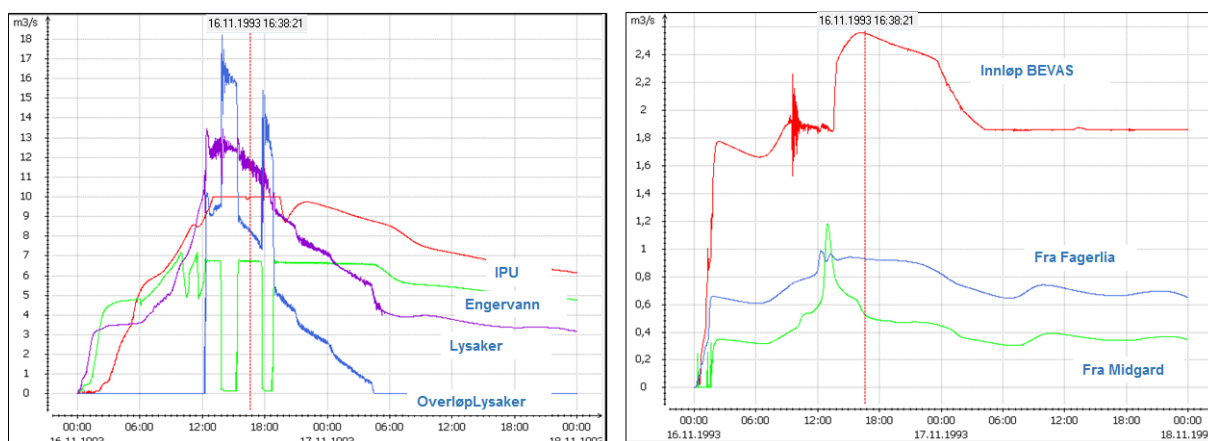
Figur 20: 2 års IVF-kurve fra Sem (Asker) er benyttet for arealer vest for Akerselva, markert i blått. 2 års IVF-kurve fra Sem multiplisert med 0,10 er benyttet for arealer øst for Akerselva, markert med grått.

Fordeling ved Fagerlia: 30/70 Normalsituasjon

Det valgte sommerregnet fyller, som ventet, tunnelsystemet mot VEAS og resulterer i overløp ved Lysaker på ca 350 000 m³. Et øyeblikksbilde for fyllingsgrad i tunnelprofilen for fordeling 30/70 på Fagerlia er vist i Figur 21. Tidspunktet for øyeblikksbildet av oppfyllingen i tunnelprofilen er det samme som er markert med en tynn, vertikal rød strek i Figur 22.



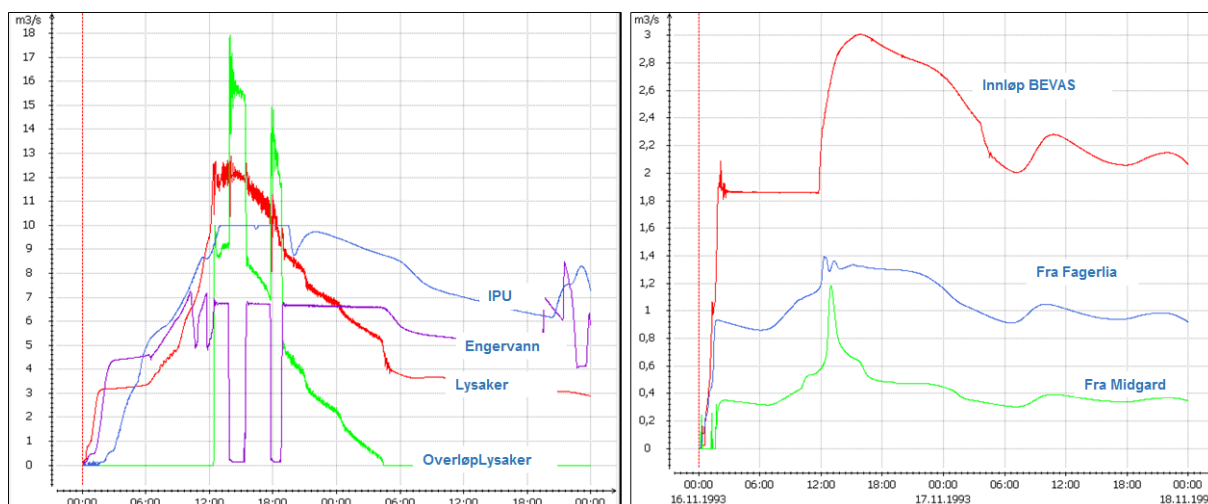
Figur 21: Øyeblikksbilde av den vestlige tunnelprofilen. Det viste bildet viser en overløpssituasjon etter at reguleringene benyttet for konseptmodellen har medført struping av luka på Engervann og nivået i IPU er under kontroll og nedadgående. De røde strekene i profilen markerer de lokale maksimale oppstuvningene, men disse har ikke oppstått på samme tidspunkt. Scenariet ga et overløp ved Lysaker beregnet til drøyt 350 000 m³.



Figur 22: Beregnede vannmengder i tunnelsystemet ved fordeling 30/70 på Fagerlia til henholdsvis VEAS og BRA. Venstre graf: Vannmengder på vestlig del av tunnelsystemet inn mot VEAS. Rød kurve er mengde innpumpet til VEAS, grønn kurve er mengde forbi luka på Engervann og lilla kurve er mengde ved mengdemåler på Vækerø. Blå kurve er mengde som går i overløp ved Lysaker. Høyre graf: Vannmengder på østlig del av tunnelsystemet inn mot BRA. Rød kurve er mengden innpumpet til BRA. Blå kurve er mengden fra Fagerlia mot BRA. Grønn kurve er mengde pumpet fra Midgardsormen til BRA.

Fordeling ved Fagerlia: 0/100 Avlastningssituasjon

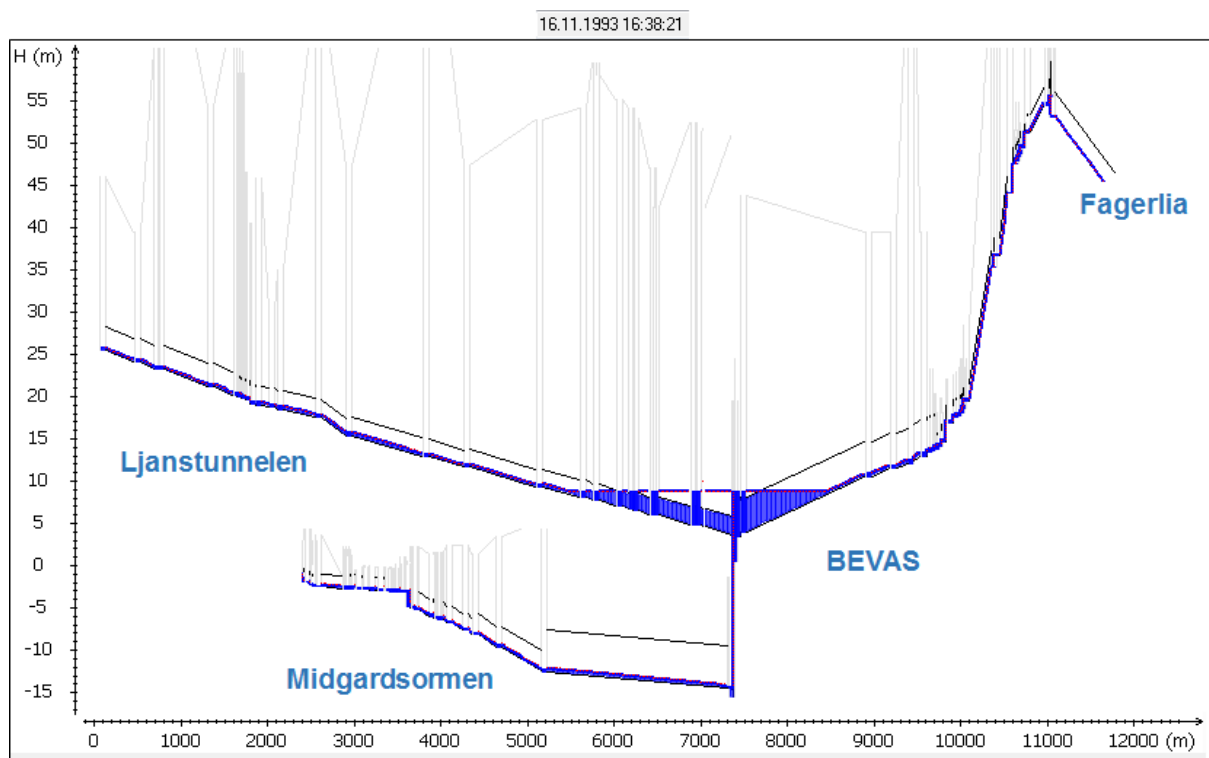
For scenariet hvor vannmengden som ville kommet til VEAS ved 30 % åpning på Fagerlia avlastes mot BRA, så blir overløpet noe redusert, til ca. 330 000 m³, men reduksjonen er såpass liten at forløpet og resultatet er tett på identisk som for «normalsituasjonen». Reduksjonen i overløpsmengde er kun ca. 26 000 m³, altså mindre enn 10 %. De beregnede vannmengdene er vist i Figur 23.



Figur 23: Beregnede vannmengder i tunnelsystemet ved fordeling 0/100 på Fagerlia til henholdsvis VEAS og BRA. Venstre graf: Vannmengder på vestlig del av tunnelsystemet inn mot VEAS. Blå kurve er mengde innpumpet til VEAS, lilla kurve er mengde forbi luka på Engervann og rød kurve er mengde ved mengdemåler på Vækerø. Grønn kurve er mengde som går i overløp ved Lysaker. Høyre graf: Vannmengder på østlig del av tunnelsystemet inn mot BRA. Rød kurve er mengden innpumpet til BRA. Blå kurve er mengden fra Fagerlia mot BRA. Grønn kurve er mengde pumpet fra Midgardsormen til BRA.

Resultatene viser at vannmengden som kan omfordres på Fagerlia er, i den store sammenhengen, så liten at den ikke gir noen betydelig reduksjon i overløpsmengde.

Et øyeblikksbilde for fyllingsgrad i tunnelprofilen for fordeling 0/100 på Fagerlia er vist i Figur 24. Det viser at det for denne nedbørssituasjonen teoretisk kan finnes ledig kapasitet i Midgardsormen om noe av overvannsmengdene fra den kraftige vestlige nedbørshendelsen kan ledes dit.



Figur 24: Øyeblikksbilde av den østlige tunnelprofilen. Det viste bildet viser vannfordelingen i det østlige tunnelsystemet ved maksimal avlastning av VEAS ved 2-års regnet konsentrert over vestlige områder

6 Diskusjon og konklusjon

6.1 Samordning av planlagte aktiviteter ved renseanleggene

VEAS vil fram til høsten 2018 ha nedsatt nitrogenfjerningskapasitet. Det har ikke framkommet at det i denne perioden vil være ledig kapasitet på BRA. Det vil si at en omfordeling mellom anleggene for å oppnå en samlet bedre rensing, ikke synes aktuelt.

Det legges opp til å kjøre slam bypass råtnetankene ved BRA for 2015-2020 i perioder med svært høy slambelastning. Alternativet til bypass av råtnetanker ved BRA kan være å avlaste mer avløpsvann til VEAS via Fagerlia. Imidlertid er denne muligheten begrenset pga. redusert nitrogenrensegrad i og begrenset kapasitet for avanning av slam ved VEAS.

Vurderingen konkluderer med at det ikke finnes noe betydelig potensiale for å oppnå samlet bedre rensing ved koordinering av planlagte tiltak ved VEAS og BRA eller ved en omfordeling av avløp.

6.2 Tunnelmodellen

Konseptmodellen som er benyttet for beregning av de ulike scenariene i kapittel 5, er en forenklet avløpsmodell for Oslo, Bærum og Asker, kombinert med en tunnelmodell. En forenkling som dette medfører nødvendigvis at noe informasjon går tapt, men hovedlinjene bør uansett være nokså like. Modellkalibreringer både for en tørrværsituasjon og for høstregn over flere dager ga en relativt god overensstemmelse mellom beregnede og målte verdier, noe som tyder på at forenklingene har vært rimelige.

For nøyaktige resultater bør en modell være så omfattende som mulig, noe som medfører betydelig lengre beregningstid for de ulike scenariene og som derfor går utover rammene for dette prosjektet. Som nevnt i kap. 5.2, er derfor den forenklete modellen, konseptmodellen, benyttet for å se på ytterpunktene for fleksibiliteten i systemet.

Det bør påpekes at nedbørsdataene som ble brukt i scenariene er noe forenklete, ettersom nedbøren er fordelt med lik intensitet over hele nedbørsområdet, dog med ulik intensitet over tid. Uansett gir bruken av det valgte regnet et nyttig bilde av hvordan systemet vil oppføre seg ved regnvær.

Arbeid med modeller kan gi et godt bilde av virkeligheten, men har også den svakheten at den ikke tar hensyn til menneskelige faktorer. Dette er særlig vesentlig for VEAS, hvis styring av tunnelsystemet er betraktelig mindre automatisert enn for BRA. Tilnærmingen fra subjektiv, operatør-bestemt lukestyring på Engervann til en automatisert lukestyring i modellen gir sannsynligvis utslag i en overestimert overløpsmengde ved Lysaker.

Jobben med å komme fram til styringsstrategien for luka på Engervann viste at man i modellen ville hatt god nytte av å utnytte den, for modellen, kjente vannføringen i tunnelen ved Engervann og mengden som tilføres nedstrøms på påslippene. Dette er overførbart til den eksisterende lukestyringen. Dersom man kjenner, eller har et godt anslag på, tilført mengde nedstrøms luka og forholdstallet mellom lukeåpningen og mengden som passerer er kjent, kan man regulere lukeåpningen slik at det er balanse mellom mengden som passerer luka og mengde innpumpet til VEAS-anlegget. På denne måten kan denne viktige tilleggsinformasjonen, som per i dag er en stor usikkerhet, potensielt benyttes til en forbedret utnyttelse av volumet i tunnelen, innenfor gitte sikkerhetsmarginer, og dermed gi reduserte overløpsmengder.

6.3 Reell fleksibilitet i tilførselssystemet

6.3.1 Tørrværsituasjoner

I perioder med tørrvær og moderate nedbørsmengder er det normalt ikke noe behov for fleksibilitet i systemet. Det kan likevel være behov for å avlaste det enkelte rensanlegg på grunn av midlertidige problemer med kapasitet på slambehandling, andre spesielle driftssituasjoner eller akutte hendelser gjennom utnyttelse av magasineringskapasitet også på den andre siden av rensedistriktet. I slike situasjoner avtales rutinemessig en endret innstilling av luke Fagerlia.

I tørrvær vil denne overførbare vannmengden ligge i området 0,40-0,60 m³/s fra BRA til VEAS og 0,15-0,25 m³/s fra VEAS til BRA.

For å få et økt handlingsrom kan man prinsipielt komplettere med omkobling av påslippene fra Rosenhoffs gate, Gladengveien og Helfyr, forutsatt stabil tørrværsituasjon i omkoblingsperioden. Den teoretiske tilgjengelige stopptiden ved hvert av rensanleggene er beregnet med konseptmodellen til om lag 27 timer før overløp inntreffer.

6.3.2 Store nedbørshendelser

Teoretisk kan man ved store nedbørshendelser overføre vannmengdene fra Fagerlia begge veier og de tre påslippene som kan omkobles for å avlaste VEAS.

Slik dagens system er innrettet er det vanskelig å utnytte fleksibiliteten i styring på Fagerlia på grunn av behov for svært detaljerte nedbørspregninger og kjent sammenheng mellom nedbør og vannmengder. Det er heller ingen rask mulighet til å koble om de tre aktuelle påslippene i en akutt situasjon, da dette i dag gjøres manuelt. Det er heller ikke, med stor sannsynlighet, kapasitet på de lokale tunnelstrekene til å overføre totalmengden fra påslippene mot tunnelssystemet mot BRA ved høy tilførsel. Dette er derfor bare en teoretisk mulighet som eventuelt kan realiseres i fremtiden.

I tilfellet med 2-års sommerregn i området øst for Akerselva og lettere regn over resterende arealer, viste modellen at en avlastning til VEAS av hele vannmengden ved Fagerlia, flyttet overløpet fra rist BRA til Lysaker i forhold til normalsituasjonen. Det vil derfor teoretisk kunne finnes et terskelpunkt, hvor man potensielt kan redusere den totale mengden overløp til et minimum ved en optimal avlastning av Fagerlia mot VEAS. Dette terskelpunktet kan sannsynligvis estimeres når den beste praksisen rundt styring av Midgardsormen er bedre dokumentert gjennom flere store nedbørshendelser og tunnelmodellen er bedre kalibrert.

Det må understrekes at det vil være svært utfordrende å se og utnytte et slikt potensiale i en driftssituasjon, fordi nedbørsmengden ikke kjennes før i etterkant og det er relativt kort responstid fra nedbøren faller over Nittedal og Groruddalen til vannet har passert Fagerlia. En mulig avlastning må derfor sannsynligvis baseres på kjente sammenhenger mellom nedbør og påslippsmengder, svært detaljerte og sikre nedbørspregninger fra høyoppløst værradar med hyppig oppdatering og at beslutninger for lukestyring utføres basert på et sett av avtalte aktuelle handlinger etter et "føre-var-prinsipp". Avlastningen er derfor ikke realistisk innenfor en tidsramme frem til 2020.

I tilfellet med styrtregn over hele området vest for Akerselva og et lettere regn over resterende arealer, viste modellkjøringen at en avlastning til BRA via Fagerlia, kun ga en marginal reduksjon i overløp ved Lysaker. Samtidig viste resultatene at det samtidig med overløp ved Lysaker, fantes ledig kapasitet i

Midgardsormen, for både normal- og avlastningssituasjonen. Selv om frekvensen for hendelser som ligner på dette scenariet er lav og lokale resultater i konseptmodellen kun er indikative, så viser modellkjøringene at det kan være verdt å utrede videre om det er potensiale i utvikling av samkjøringsmuligheter mellom Festningstunnelen og Midgardsormen for lokale styrtregn. For en reell vurdering er det nødvendig med videreutvikling av nåværende tunnelmodell til å inkludere hovedledninger og lokale overløp oppstrøms påslippene.

Alternativt bør man se på praktiske løsninger for nye magasiner tilknyttet VEAS-tunnelen, som kan fordrøye større vannmengder enn i dag, slik at overløp ved Lysaker kan begrenses ytterligere. For et magasin nært innløpet til VEAS med forutsetning om full vannføring i tunnelen på ca. 15 m³/s og innpumpet mengde til VEAS på ca. 10 m³/s, så må magasinvolument være 90 000 m³ for å kunne mellomlagre det vannet det ikke finnes kapasitet til å rense for en 5-timers periode.

6.3.3 Utnyttelse av magasineringsvolum

Utgangspunktet for 3GA-prosjektet var å se på mulighetene for å utnytte avløpsinfrastrukturen bedre. Et sentralt tema har vært reell magasineringskapasitet, med tanke på det store volumet av tunneler. De fleste volumene benyttes aktivt i gjeldende styringsstrategier. Ved økende tilrenning, blir en økende andel av tunnlevolumet benyttet til transport og ledig/tilgjengelig volum for magasinerings blir tilsvarende redusert. I en situasjon med høy vanntransport i tunnelene, vil det ved en akutt situasjon, f eks strømsbrudd, være redusert restvolum ledig for magasinerings og tilsvarende kort responstid for å utføre evt tiltak.

Når man omtaler avløpstunnelene med magasinvolument, bør det samtidig angis ved hvilken vannføring og tillatt lagringshøyde volumet er beregnet ved, slik som i tabell V2.

6.4 Potensial for forbedret utnyttelse av den sentrale avløpsinfrastrukturen

Generelt får man en bedre styring, jo mer og sikrere informasjon man har tilgjengelig. Dette er tydeliggjort for usikkerheten man har når man ikke kjenner vannmengdene tilført nedstrøms luke Engervann. Onlinemålinger for alle påslipp med data direkte til styresystemet til tilhørende rensenanlegg kan enten benyttes som et forbedret beslutningsunderlag for manuell styring eller som input for automatiserte modellbaserte styringer av luker og overpumping mellom magasinvolument.

En værradar med høy nok oppløsning til å vise nyanser for nedbøren innenfor rensedistriktet og med hyppig oppdatering, er nødvendig for å kunne benytte styringsmulighetene på Fagerlia og de tre påslippene som kan kobles om. Responstiden er kort fra nedbøren faller og til vannet når punktet der styringskomponentene sitter. Mer kunnskap om sammenhengen mellom nedbør og vannmengder er også en forutsetning for å ta raske beslutninger gjennom omforente prinsipper.

Etablering av magasineringsvolumer tilknyttet VEAS-tunnelen, som tillater kontrollert magasinerings og frigivelse av vannmasser, slik som Midgardsormen, vil kunne sikre mer stabil og forutsigbar drift, gi mer robusthet ved håndtering av overløp og forenkle optimaliseringsarbeider for økning i rensegrad ved begge anlegg. Aktuelle løsninger for magasinerings kan være å utnytte strekningen Lysaker-Frognerparken eller som store sideslag til VEAS-tunnelen i Bærum eller Asker.

I ytterste tilfellet vil man kunne kjøre med høyere vannføring i tunnelen nedstrøms Engervann for å unngå overløp ved Lysaker om det finnes et *magasineringsvolum* eller et *nødoverløp* ved VEAS.

Som del av vurderingen av potensielle nye magasineringsvolum, nødoverløp VEAS, endringer i styringsparametere eller videre automatisering av tunnelsystemene, bør en ROS-analyse av denne infrastrukturen gjennomføres. En ROS-analyse vil kunne avdekke forhold som ikke er vektlagt i rapporten.

6.5 Konklusjon

I årene fram mot 2020 skal det utføres en rekke tiltak for å øke kapasiteten på begge renseanlegg. En gjennomgang av disse aktivitetene viser at det ikke finnes noe betydelig potensiale for bedre samhandling for å begrense de midlertidige negative konsekvensene av disse tiltakene. Det finnes imidlertid potensiale for avlastning av anleggene for prekære situasjoner, for eksempel ved høy slambelastning ved BRA.

Konseptmodellen har vært et svært nyttig verktøy for å kartlegge noe av fleksibiliteten i den sentrale infrastrukturen rundt Indre Oslofjord. Arbeidsgruppen anbefaler derfor videre bruk av denne for å belyse ulike scenarier. Dette fordrer at konseptmodellen videreutvikles og vedlikeholdes.

Arbeidet med prosjektet har gitt nyttig forståelse av begrepet magasineringsvolum i forhold til maksimalt volum. Ved økende avløpstransport, blir gjenstående magasineringsvolum redusert. Magasineringsvolum er også begrenset ut fra risikobetraktninger, der det ikke finnes overløp.

Bruk av fordelingsluka på Fagerlia har begrenset effekt med tanke på å avlaste renseanleggene for å unngå overløp. Resultatene tyder også på at Midgardsormen har tilstrekkelig magasineringskapasitet ved de valgte nedbørene, mens det ved tilsvarende nedbør i vest er mindre fleksibilitet i tunnelsystemet mot VEAS. Da fordelingsmulighetene mellom øst og vest er begrensede, ligger langt oppstrøms i tilførselssystemene og kun egnet for svært lokale nedbørshendelser, er det nærliggende å tenke på etablering av et ekstra magasineringsvolum på vestlig side.

Arbeidsgruppen anser kunnskapen om tilførslene til tunnelsystemet som en vesentlig faktor for optimert styring av infrastrukturen. Flere online mengdemålinger ved påslipp kan bidra til en mer faktabasert tilnærming til beslutninger som i dag er mer styrt av skjønsmessige vurderinger.

En viktig suksessfaktor for en potensielt bedre utnyttelse av eksisterende tilførselssystemene er samhandling mellom VEAS og VAV på tvers av infrastruktur og formelle avtaler. Det er derfor viktig at det gode samarbeidet i arbeidsgruppa for dette prosjektet videreføres i det videre arbeidet i utnyttelsen av denne samfunnsmessige viktige infrastrukturen.

7 Arbeidsgruppens anbefalinger for videre arbeid

Som det diskuteres i kap. 6 har det gjennom arbeidet med rapporten kommet fram flere momenter og spørsmål som behøver videre oppfølging. Arbeidsgruppen ser stor nytteverdi i å gjennomføre en risiko- og sårbarhetsanalyse der tunnelsystem og renseanlegg sees i sammenheng. Dette er nærmere beskrevet i kap. 7.1. Mulige arenaer for samarbeid og samhandling er omtalt i kap. 7.2. Videre gis anbefalinger for videre arbeid med tunnel- og konseptmodellen i kap. 7.3, før det avslutningsvis listes opp forslag til mer eller mindre omfattende endringer i infrastrukturen i kap. 7.4.

7.1 ROS-analyse: Tunnelsystem og RA i sammenheng

Det er en klar anbefaling fra arbeidsgruppen at en ROS-analyse bør utføres for tunnelsystem og renseanlegg i sammenheng. Det er et overordnet prinsipp at sikkerhet for liv og helse har førsteprioritet og er enda viktigere enn overløpsutslipp og rensekapasitet/-kvalitet. Det fordrer at vi sikrer og forvalter tunnelsystem og renseanlegg slik at anleggene i seg selv og/eller avløpstransporten ikke er en fare for liv og helse. ROS-analysen bør utføres så raskt det praktisk lar seg gjøre. Tiltakene har effekt på kort (innen 2020) og på lang (mot år 2100) sikt.

Forslag til elementer som bør inngå i en ROS-analyse er gitt i Vedlegg 5.

7.2 Samarbeidsarenaer

Det eksisterer i dag arenaer for samarbeid mellom kommunene og VEAS i form av driftskoordineringsmøter og samordningsmøter.

Arbeidsgruppen er av den oppfatning at en renest mulig fjord bør være et overordnet mål for samarbeidet mellom renseanleggene og eierkommunene. Arbeidsgruppen mener at det er potensiale for tettere kommunikasjon og bedre samarbeid mellom aktørene, også innenfor de samarbeidsarenaene som allerede eksisterer. Informasjon om planer i tidligfasen som kan påvirke både renseanlegg og annen sentral infrastruktur bør spesielt stå i fokus. Det kan også vurderes egne plan- og utredningsmøter. Slik kan man tilstrebe en mer hensiktsmessig koordinering av aktiviteter og tiltak slik at mulige negative påvirkninger på renseanleggenes kapasitet og rensegrad reduseres.

Fordelingen av avløpsvann til renseanleggene er definert av Overenskomst om dannelse av Vestfjorden Avløpsselskap, mellom Oslo, Asker og Bærum. Endringer krever likelydende vedtak i eierkommunene. Dette kan oppfattes som et hinder mot en omfordeling av vannmengdene. Arbeidsgruppen mener at dersom en renere fjord er det overordnede målet, bør det samarbeides enda tettere for å minimere de totale overløpsmengdene og for å optimalisere vannmengdefordelingen med det mål å oppnå en best mulig rensegrad samlet sett.

En felles evaluering av styringen ved overløpshendelser vil kunne åpne for å videreutvikle samarbeidet om styring og fordeling og å bedre forståelsen av nedbør og annen tilgjengelig informasjon. Dersom man finner det hensiktsmessig å samarbeide om styring og fordeling av vannmengder for eksempel ved varslede nedbørshendelser eller driftsproblemer ved anleggene, bør det være et etablert forum for dette, slik at beslutninger kan fattes raskt.

7.3 Bruk av modell for simuleringer

Utviklingen av en tunnelmodell gir store muligheter til å kjøre alle mulige scenarier fremover. I løpet av 2015 vil så å si hele Asker og Bærum være detaljkalibrert. Tunnelmodellen med avløpsmodeller for Oslo, Bærum og Asker vil ved utgangen av 2015 være god (pers. meld. Geir Lindholm (Rosim) i møte 17.04.2015). 2016 bør derfor bli et godt år for et beslutningsstøttesystem mht. felles styring av avløpsstrømmer og renseanlegg.

7.3.1 Videreutvikling av tunnelmodell

Arbeidet med tunnelmodellen i dette prosjektet er ikke et sluttprodukt. Det bør i det videre arbeidet jobbes mot en bedre detaljeringsgrad for påslippene, hvor overløpet⁴ fra hvert enkelt påslipp i større

⁴ Med overløp menes sum overløpsmengde fra alle lokale overløp i avløpssonen til respektive påslipp.

grad kalibreres mot resultater for tilhørende ledningsnett i detaljmodellen og faktiske målinger av nedbør og påslippmengder. Det er også viktig at tunnelmodellen blir et levende verktøy, som oppdateres parallelt med oppdateringer i detaljmodellen. Det bør også jobbes videre med å utbedre algoritmen for styring av luke Engervann og innpumping av avløpsvann til VEAS for å få en mer reell konseptmodell.

7.3.2 Videreutvikle totalmodell med detaljmodeller i Oslo, Asker og Bærum

Den kontinuerlige utviklingen av detaljerte avløpsmodeller i Oslo, Bærum og Asker vil kontinuerlig kvalitetsheve modellen. Det bør lages en plan for å etablere kontinuerlige vannmengdemålinger (5-minuttsverdier) på alle påslipp, også i Asker og Bærum. Oslo bør avklare muligheter for vannføringsmålinger på enkeltpåslipp i Oslo som er underdimensjonert og ikke registrerer flomtoppene.

7.3.3 Koble tunnelmodell/avløpsmodeller til fjordmodeller

Tunnelmodellen kan kobles til andre avløpsmodeller og til fjordmodeller for å f.eks. simulere spredning av forurensninger i overløpsutslipp. Dette har spesielt stor betydning for badevannskvalitet og annen rekreativ bruk av Indre Oslofjord, samt for det marine dyre- og plantelivet. Her kan man også se effekt for overløp med fortynnet avløpsvann og utslipp i forbindelse med alvorlige hendelser (utover normale overløp).

7.3.4 Beslutningsstøttesystem styringer/strategier

Tunnelmodellen vil være et nyttig verktøy for hvordan man kan styre og fordele vannstrømmer (luker, pumper, m.m.) mellom tunnelsystem og renseanlegg. Den vil være et godt driftsverktøy til driftsstyring og driftsplanlegging, samt til ev. investeringsprosjekter. Samtidig kan man se effekten av alvorlige hendelser på viktig utstyr (f.eks. strømstans VEAS, Frognerparken, utpumping Midgardsormtunnelen, luker som ikke lar seg manøvrere m.m.).

7.4 Infrastruktur

Arbeidsgruppen er av den oppfatning at infrastrukturen har flere potensielle forbedringspunkter. Noen av punktene krever relativt liten innsats, mens andre krever større inngrep på infrastrukturen og bør i første omgang utredes grundigere. Forslag til slike er oppsummert i Tabell 2.

Tabell 2: Mulige forbedringspunkter på den sentrale infrastrukturen.

Tiltak	Beskrivelse
Onlinemåling av påslippmengder fra Asker og Bærum	Økt kontroll av tilførte vannmengder til VEAS-tunnelen. Informasjonen kan benyttes til bedre styring av luke Engervann for optimal utnyttelse av tunnelsystemet og unngå overløp Lysaker. Signalombygging av mengdemålere til online registrering inn til driftskontrollsystemet på VEAS.
Modellbasert styring (støtte) av luke Engervann og styring av pumpestasjon Frognerparken	I hver enkelt situasjon å komme nærmere et optimum mellom akseptabel risiko mtp. tilførselsmengde VEAS og unngå overløp på Lysaker. Utvikle algoritme for beslutningsstøtte for posisjonering luke og innpumpingsmengde fra pumpestasjon Frognerparken til VEAS-tunnelen.
Onlinemåling av alle påslipp i Oslo	Flere påslipp i Oslo mangler onlinemåling. Samtidig er flere påslipp underdimensjonert til å ta flomtoppene. Ombygging av disse bør vurderes.

Automatisert vekslings mellom påslipp som kan styres til VEAS og BRA	Påslippene Rosenhoff, Gladengveien og Helsefyr kan styres til både VEAS og BRA. Styringsmuligheten bør kunne automatiseres og fjernstyres om dette gir et rimelig kost-nytte forhold.
Nødoverløp ved VEAS	Utrede gevinster, muligheter og begrensninger ved å anlegge et nytt nødoverløp rett før VEAS. Sees spesielt opp mot samfunnsøkonomi og sikkerhet for liv og helse mot dagens system ved et langvarig strømbrudd på VEAS og/eller luke Engervann og ekstremvær.
Magasin ved VEAS	Bygging av et fordrøyningsmagasin ved VEAS for å håndtere ekstremtilrenning og minimere overløpsutslipp på Lysaker/Bislettbecken.
Overføring av mer vann til Midgardsormen for å avlaste VEAS ved svært lokale nedbørshendelser	Ved styrtregn i på vestsiden og i sentrale deler av Oslo bør ledig tunnelvolum i Midgardsormen søkes benyttet for å minimere overløpsutslipp på Lysaker og Bislettbecken. Vurdere teknisk påkobling av avløpssoner som krysser Midgardsormen ved Nybrua for å avlaste sentrumstunnelen.

8 Bakgrunns litteratur

- *Utslippstillatelse for kommunalt avløpsvann. Vestfjorden avløpsselskap*, Fylkesmannen i Oslo og Akershus, 2008
- *Utslippstillatelse for kommunalt avløpsvann fra Oslo kommune*, Fylkesmannen i Oslo og Akershus, 2015
- *Oslofjordprosjektet. Funksjonsbeskrivelse for transportsystemet, Del A Generell beskrivelse*, Vestfjorden avløpsselskap og Oslo Vann- og Avløpsverk, 1988
- *Hovedplan vannforsyning 2015-2030 i Oslo*, VAV, 2015
- *Hovedplan avløp og vannmiljø 2014-2030 i Oslo*, VAV, 2014

9 Vedlegg

Vedlegg 1 – Tiltaksliste for VEAS frem mot 2020

Vedlegg 2 – Tiltaksliste for Bekkelaget RA frem mot 2020

Vedlegg 3 – Styrestrategier og kalibrering for konseptmodellen

Vedlegg 4 – Benyttede spillvannsmengder og tørrværsinnlekking for konseptmodellen

Vedlegg 5 – Forslag til elementer som bør inngå i en ROS-analyse

Vedlegg 6 – Detaljer tunnelsystem

Vedlegg 1 – Tiltaksliste VEAS frem mot 2020

Tiltak	Tiltaks- periode	Gevinster av tiltaket	Konsekvenser i tiltaksperioden
Rehabilitering av betongbassenger Nødvendig rehabilitering av betong og dysedekker i de 6 prosesshallene med biologisk rensing. Totalt 48 bassenger.	2014-2018	Risikoen for havarier/ skader på rensebassenger minimeres.	En prosesshall ute av drift til enhver tid. Dette gir nedsatt nitrogenfjerningskapasitet til om lag 60 % over året. Sannsynlighet for noe økt overløp.
Ombygging SED 5/6 To prosesshaller med kun kjemisk felling bygges om til kjemisk+biologisk rensing, som for de 6 andre prosesshallene.	2018-2019	Økt nitrogenfjerningskapasitet.	SED 5 og SED6 ute av drift gir redusert kapasitet ved stor tilrenning med inntil 1,9 m ³ /s.
Omlegging fra mesofil til termofil utråtning Prosesstemperaturen for utråtning av slam økes fra 37 til 55 °C. Hygienisering av slammet flyttes fra avvanningspresser til råtnetanker.	2015-2016	Gir kortere <u>nødvendig</u> oppholdstid i utråtnings-tanker og derfor <u>potensielt større</u> behandlingsskapasitet og bufringsmuligheter. Økt kapasitet i sluttavvanningen fordi varme- og vakuumdelen av pressesyklus kan fjernes.	Omleggingsfasen fra meso- til termofil utråtning vil kunne medføre redusert kapasitet i råtneanlegget, og følgelig risiko for intern resirkulering av slam.
			Slamkarakteristika vil endres som følge av omleggingen. Dette kan medføre tungt avvannbart slam og bla gi behov for utkjøring av uhygienisert slam, og risiko for intern resirkulering av slam.
Biogassoppgradering	2016-2017	Totalt bedre energiutnyttelse av produsert biogass. Oppgradert biogass kan erstatte diesel på kjøretøy.	Ingen.
Økt kapasitet avvanning Bygge om avvanningspresser for å kjøre uten oppvarming og vakuum.	2016-2017 ?	Sikrer tilstrekkelig kapasitet på avvanningen.	I optimaliseringsperioden kan det forventes noe internretur av slam i anlegget og dermed noe redusert rensegrad.
Økt kapasitet stripping av filtratvann	2016	Sikre kapasitet på rensing av filtratvannet, som står	Ingen.

Tiltak	Tiltaks- periode	Gevinster av tiltaket	Konsekvenser i tiltaksperioden
Dublering av eksisterende stripping-anlegg for omsetning av ammoniakk i filtratvann til ammoniumnitrat.		for ca. 15 % av nitrogenrensingen ved anlegget, for et fremtidsperspektiv på minimum 30 år.	

Vedlegg 2 – Tiltaksliste Bekkelaget RA frem mot 2020

Tiltak	Tiltaks- periode	Gevinster av tiltaket	Konsekvenser i tiltaksperioden
Gamle rist Fjerne gamle rister og installere ny forsterket luke mellom Kværner-tunnelen og Gamle rist.	2014- 2015	En sikkerhetsrisiko fjernes og nødoverløpet kan benyttes som et avlastingsoverløp for Kværneroverløpet.	Noe fare for økt overløpsutslipp.
Gass-sikkerhetsledning Eksisterende sikkerhetsledning har begrenset kapasitet og det blir anlagt ny større ledning.	2014- 2015	Fjerne en sikkerhetsrisiko og en begrensning av gassproduksjon.	Ingen.
Rejektivannrensing Rejektivannet fra sluttavanningen har et høyt innhold av ammonium og, ved tilbakeføring til anleggets innløp, representerer dette en betydelig tilleggsbelastning for den biologiske rensingen. Det bygges eget anlegg for ammonium-fjerning fra rejektivannet.	2014- 2015	Nitrogenfjerningskapasiteten ved anlegget vil bli vesentlig forbedret, da det er nitrifikasjonstrinnet som er begrensende for N-fjerningen. Ved stabil drift ved rejektivann-anlegget vil det være mulig å oppnå anleggets rensekrav på 70 % N-fjerning.	Fare for redusert N-fjerning.
Oppholdstid i råtnetankene Fortykkermaskiner mellom renseprosessens slamuttak og råtnetankene blir installert for å redusere hydraulisk belastning på råtnetankene.	2015- 2016	Råtnetankene har over lengre tid vært hardt belastet og har så kort hydraulisk oppholdstid at det medfører stor fare for ustabil drift. Fortykkermaskinene gir redusert hydraulisk belastning og tilrettelegger for stabil drift de nærmeste årene.	Ingen.
Oppholdstid i råtnetankene Det etableres mulighet for å pumpe fortykket råslam direkte til sluttavanning (utenom råtnetankene) for å redusere den hydrauliske belastningen på dem. Det installeres separat sentrifuge og slamsilo for å håndtere dette slammet som ikke blir stabilisert og hygienisert ved anlegget.	2015- 2016	Selv med installasjon av fortykkermaskiner, som oppkonsentrerer både primærslam og bio-slam til ca. 6 % TS-innhold, vil den hydrauliske oppholdstiden i råtnetankene bli for kort, og i perioder med høy slamproduksjon må noe av slammet pumpes utenom råtnetankene.	Det må etableres en løsning for stabilisering og hygienisering av dette slammet.

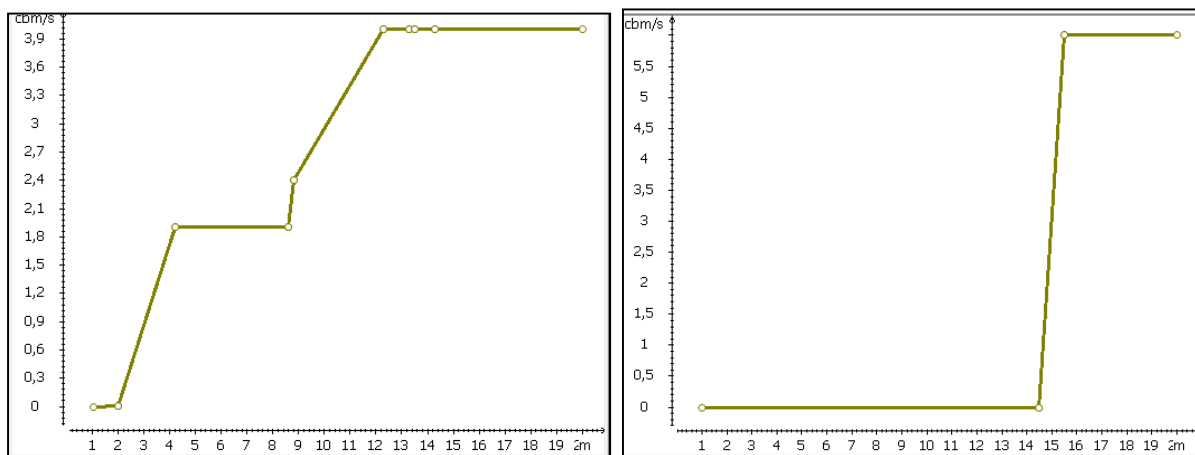
Tiltak	Tiltaksperiode	Gevinster av tiltaket	Konsekvenser i tiltaksperioden
<p>Kjemisk rensetrinn Redusere hydraulisk belastning på forsedimenteringsbassengene ved kjemisk felling ved å fjerne spylevann fra to-media filtere. I tillegg bør det gjennomføres systematiske fellingsforsøk for å optimalisere den kjemiske fellingen når bassengene ikke belastes med spylevann.</p>	2016-2017	Ved vedvarende høy tilrenning til renseanlegget er det stor fare for redusert fjerning av fosfor da den hydrauliske belastningen på sedimenteringsbassengene blir for høy. Denne situasjonen forverres ved at spylevann fra to-media filterne returneres til bassengene. Fjernes spylevannet fra bassengene, vil dette gi mindre utslipp av fosfor.	Ingen.

Vedlegg 3 – Styrestrategier og kalibrering av tunnelmodellen

1 Beskrivelse av styrestrategier benyttet i konseptmodellen

1.1 Innpumping BRA og overpumping fra Kværnertunnelen til Midgardsormen

I praksis fungerer styrestrategien slik at den lar Kværnertunnelen fylle seg opp til et visst nivå av hensyn til biologisk rensetrinn ved BRA før pumpene øker sin kapasitet. Ved enda høyere nivå stopper pumpene fra Midgardsormen og ved fare for overløp ved Kværner slippes vann fra Kværnertunnelen ned på Midgardsormen, som vist i Figur 9 i hoveddokumentet. Detaljer for styringen er vist i Figur V1.



Figur V1: Venstre kurve: Sammenheng mellom innløpsmengde til BRA og nivå i Kværnertunnelen. Høyre kurve: Sammenheng mellom mengde fra Kværnertunnelen til Midgardsormen og nivå i Kværnertunnelen

1.2 Luke Engervann og innpumping VEAS

Styringsstrategien i tunnelmodellen er forsøkt tilpasset til gjeldende rutiner på VEAS, beskrevet i kap. 3.3.1, men forenklet og uten de muligheter til forbehold som ligger i manuell styring.

Innpumpet mengde i IPU er satt proporsjonalt med nivået i pumpegroven, men forholdstallet mellom nivå og innpumpet mengde er delt inn i tre ulike intervaller. Frem til det første handlingspunktet på oppfyllingsnivå til 4,5 meter forutsettes lite fortynnet spillvann og god fullrensing i anlegget med maksimal kapasitet 3,5 m³/s. Mellom nivåene 4,5 og 5,5 meter forutsettes en stegvis økning opp mot full kapasitet for regnvannsførtynnet kjemisk rensing (8 prosesshaller og RVR-ActiFlo med kompakt kjemisk rensing i drift). Maksimal kapasitet er satt til 8,0 m³/s (erfaringstall for praktisk kapasitet over lengre tidsrom, hvor fortynningsgraden vil variere). Ved nivåer over 5,5 meter forutsettes det at man også tar med kapasitet på 2,0 m³/s fra RVR-bypass gradvis inntil nivået når 6,0 meter. Nedtrapping av behandlet vannmengde følger de samme prinsippene.

Luka på Engervann ble for lukking satt til følgende styring: Luka er fullt åpen frem til nivået i IPU når 4,9 meter. Da strupes luka til ca. 10 % åpning. Ved ytterligere nivåøkning til 5,5 meter strupes luka ytterligere til en posisjon som gir ca. 6,0 m³/s forbi luka (noe avhengig av nivået bak luka). Når nivået i IPU når 6,0 meter stenges luka gradvis til den er helt stengt ved nivå IPU på 7,0 meter.

Det viste seg tidlig i arbeidet ned tunnelmodellen at styringen av luka på Engervann ikke kunne ha samme strategi for stengning og åpning. Dette fordi det oppstod bølgebevegelser i tunnelen, på grunn av åpning fra lukket posisjon og påfølgende lukking av luka kombinert med reguleringen av innpumpet mengde til VEAS, i flere sykluser. Bølgebevegelsen ble dempet ved å, som i virkeligheten, sette ulik hastighet ved manøvrering ned og opp på luka, henholdsvis 0,003 m/s og 0,0008 m/s, noe som dempet bølgebevegelsen, men ikke tilstrekkelig.

Det ble derfor lagt til betingelser for åpning av stengt luke basert på nivået bak luka. Disse ble satt slik at når nivået i IPU har blitt lavere enn 7,0 meter og nivået bak luka fremdeles er høyere enn 2,5 meter åpnes luka til en posisjon som gir ca. 5,0 m³/s overført til den nedre delen av tunnelen. Når nivået bak luke er mellom 2,5 og 1,0 meter, forutsatt nivå IPU mindre enn 7 meter, settes lukeåpningen slik at ca. 6,7 m³/s videreføres. Når nivået blir lavere enn 1,0 meter bak luka på Engervann settes styringen tilbake til den grunnleggende styringen mellom nivå IPU og lukeåpningen.

Mengden overført fra sentrumstunnelen til VEAS-tunnelen ved Frognerparken pumpestasjon er satt proporsjonalt med nivået i pumpegropa. I tunnelmodellen er det derfor ikke gjort noe forsøk på å utnytte volumet i sentrumstunnelen for magasinering. I den reelle styringen av vannmengdene utnyttes magasineringskapasiteten i denne tunnelen til å hindre eller redusere et eventuelt overløp ved Lysaker, så lenge man har kontroll på at det ikke resulterer i et overløp ved Bislettbecken ved Akershus festning.

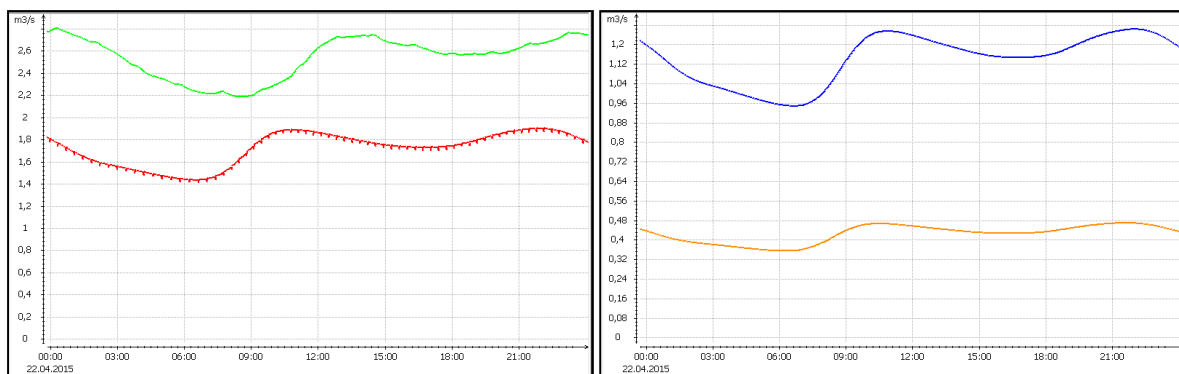
2 Kalibrering av konseptmodellen

For kalibreringen og senere scenarier er det benyttet en «normalsituasjon» med en fordeling av vannmengder på Fagerlia etter et forhold på 30/70 mellom henholdsvis VEAS og BRA. Dette forholdet er en beste tilnærming til avtalt fordeling, etter innfasing av Midgardsormen, for 2014 og 2015. Hva normalsituasjonen vil bli etter avtalens utløp er ikke avklart.

2.1 Tørrvær

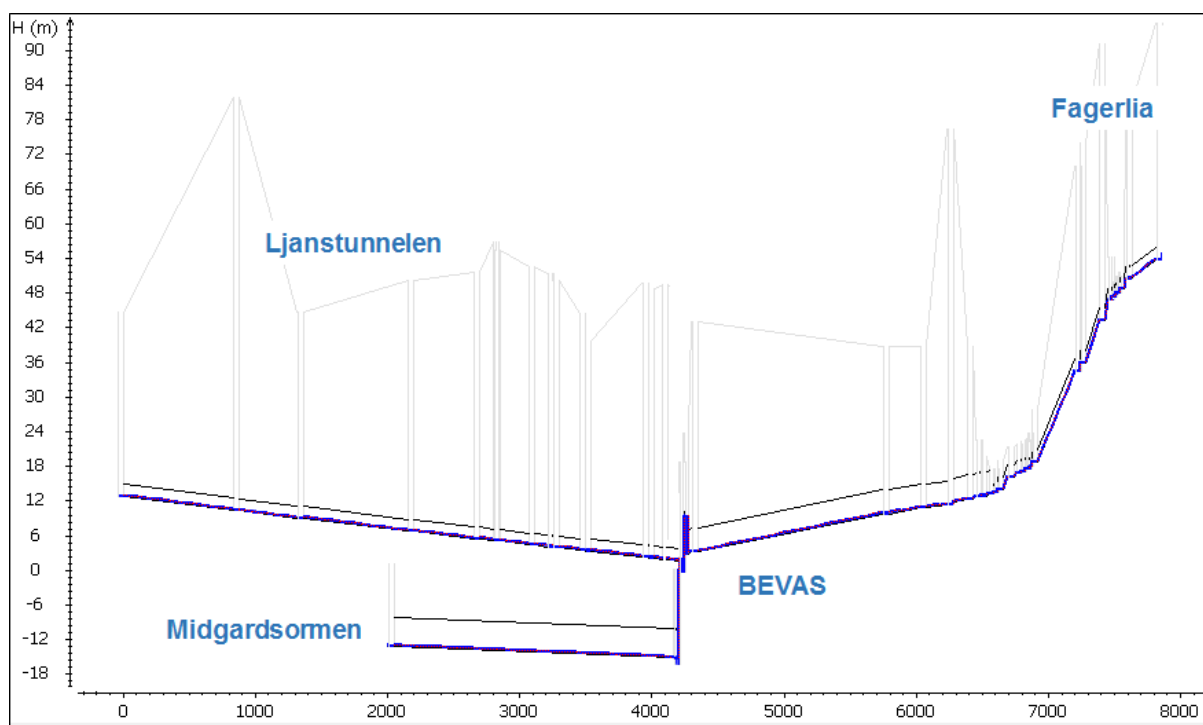
Det valgte tørrværsscenariet er gjort for en tørr periode etter snøsmeltingen våren 2015, nærmere bestemt til en 24 timers periode for 22. april. Det ble benyttet en spillvannsmengde på 160 liter per innbygger per døgn (l/pd) for alle områdene i modellen (VAVs Hovedplan vannforsyning 2015-2030). For å få en rimelig vannmengde ble innlekkingen variert etter hvor stor grad man har separatsystem og alder på vanninfrastrukturen. De benyttede forutsetningene for tørrværsinnlekkingen er gitt i vedlegg 4. Spesifikk tørrværsinnlekking (l/pd) inkluderer spillvannsmengde fra netto innpendling og all service- og næringsproduksjon i regionen. Tørrværsinnlekkingen fra Asker og Bærum er satt noe høyt for å kompensere for at vannmengdene fra Røyken og Nesodden ikke er tatt med i modellen.

De resulterende vannføringskurvene fra kalibrering viser god overenstemmelse mot målte vannmengder til VEAS og BRA, se Figur V2.

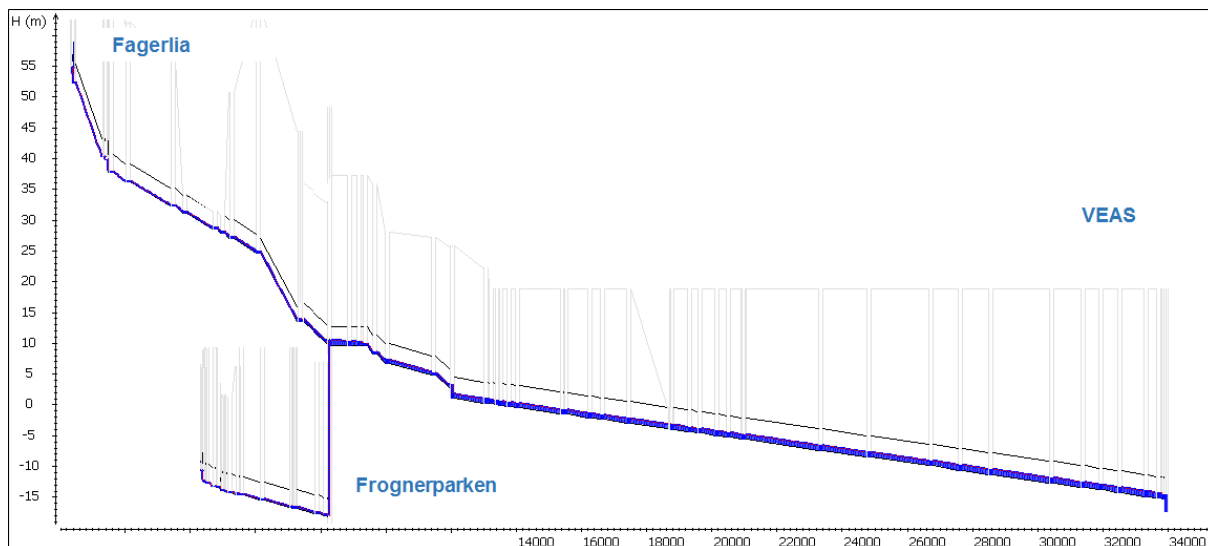


Figur V2: Grønn linje er beregnet innløpsmengde til VEAS-anlegget (målt snitt på $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$), rød linje er beregnet mengde ved måler på Vækerø (målt snitt på $1,75 \text{ m}^3/\text{s}$), blå linje er beregnede innløpsverdier BRA (målt snitt på $1,15 \text{ m}^3/\text{s}$) og oransje linje er beregnede vannmengder fra Fagerlia mot BRA med 70/30 volumfordeling BRA/VEAS (målt snitt på $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$).

Figur V3 og Figur V4 viser lengdeprofil for tunnelene for henholdsvis den østlige og den vestlige delen av tunnelsystemet for valgte tørrværs scenario.



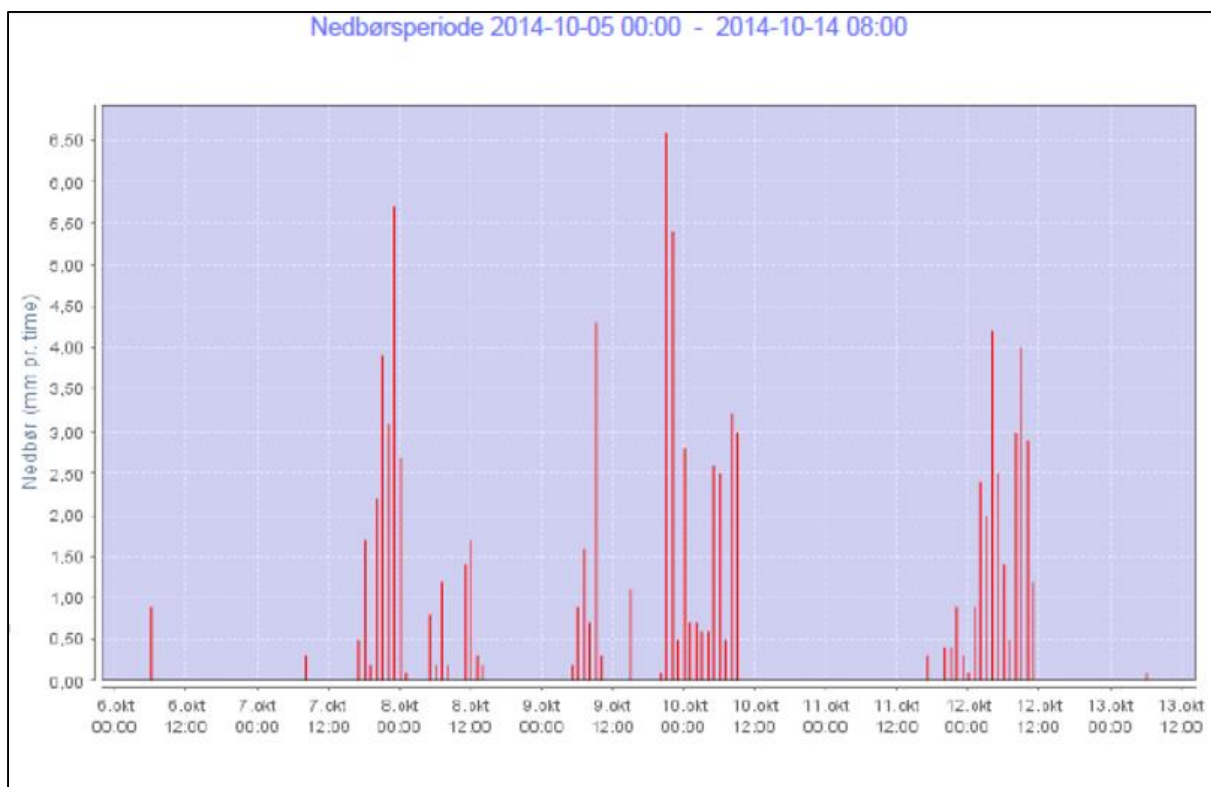
Figur V3: Tunnelprofil med oppfyllingsgrad for den østlige delen av tunnelsystemet for tørrværs scenarioet.



Figur V4: Tunnelprofil med oppfyllingsgrad for den vestlige delen av tunnelsystemet for tørrværs scenariet. (Merk at høydeprofilene for påslippene vest for Lysaker er feilaktig inntegnet med samme høyde).

2.2 Høstregn

Kalibreringen for situasjon med mye nedbør er gjennomført for et høstregn over en 6-dagers periode fra midnatt 9. oktober 2014. Nedbøren, som vist i Figur V5, er benyttet over alle arealene i konseptmodellen for beregningen.

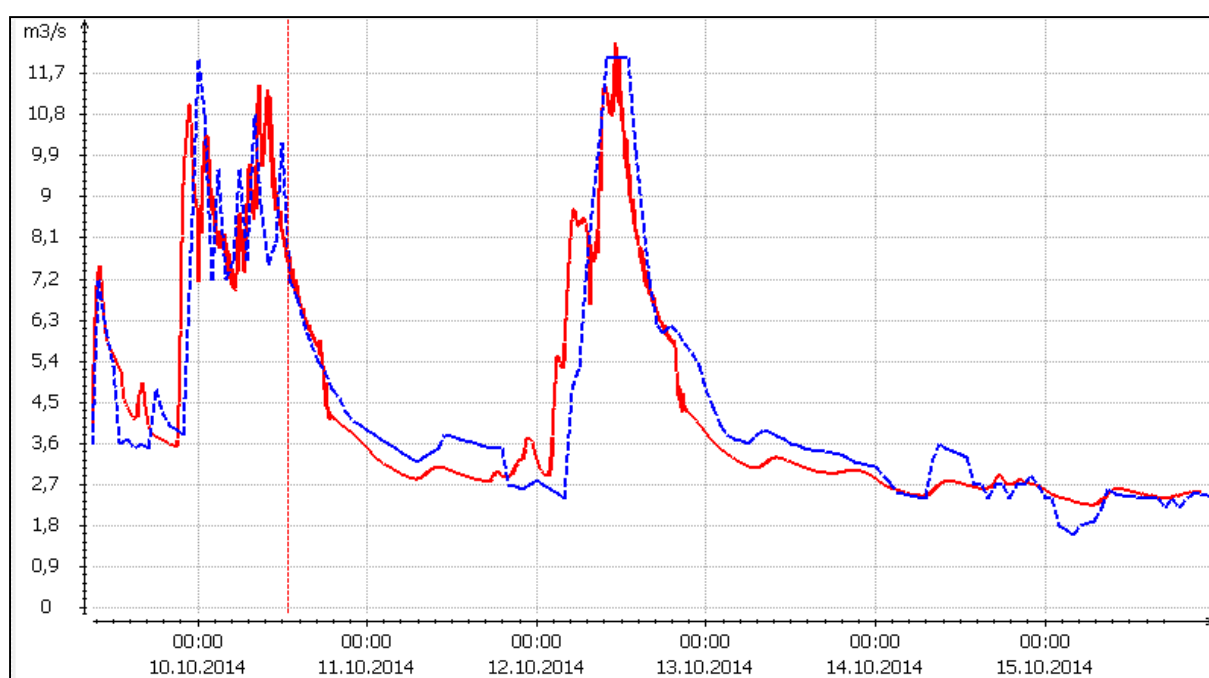


Figur V5: Nedbørsperiode fra målestasjonen på Blindern benyttet for kalibrering av modellen for høstregn.

For perioden er det registrert omtrent tilsvarende nedbør over hele Oslo. Om nedbøren har vært tilsvarende i Asker og Bærum er trolig, men noe mer usikkert. I firedagers perioden 09.10 – 12.10 er det registrert nærmere 70 mm nedbør.

Beregnete og målte verdier viser relativt god overensstemmelse for vannføring ved Lysaker og ved VEAS. De beregnede og målte verdiene ved Vækerø er sammenstilt i Figur V6. Den beregnede overløpsmengden ved Lysaker (417 000 m³ vs. beregnet volum fra VEAS for samme periode på 220 000 m³) er også rimelig for valgt styringsstrategi for luke Engervann og innpumping til renseanlegget på VEAS. Det er likevel viktig å merke seg at den valgte strategien sannsynligvis gir noe mer overløp på Lysaker for modellen enn det ville blitt reelt med manuell styring basert på mer utfyllende informasjon som f.eks. observert nedbør, værradar og mengden målt ved Vækerø.

Resultatet anses likevel som tilfredsstillende for formålet og omfanget av dette prosjektet.



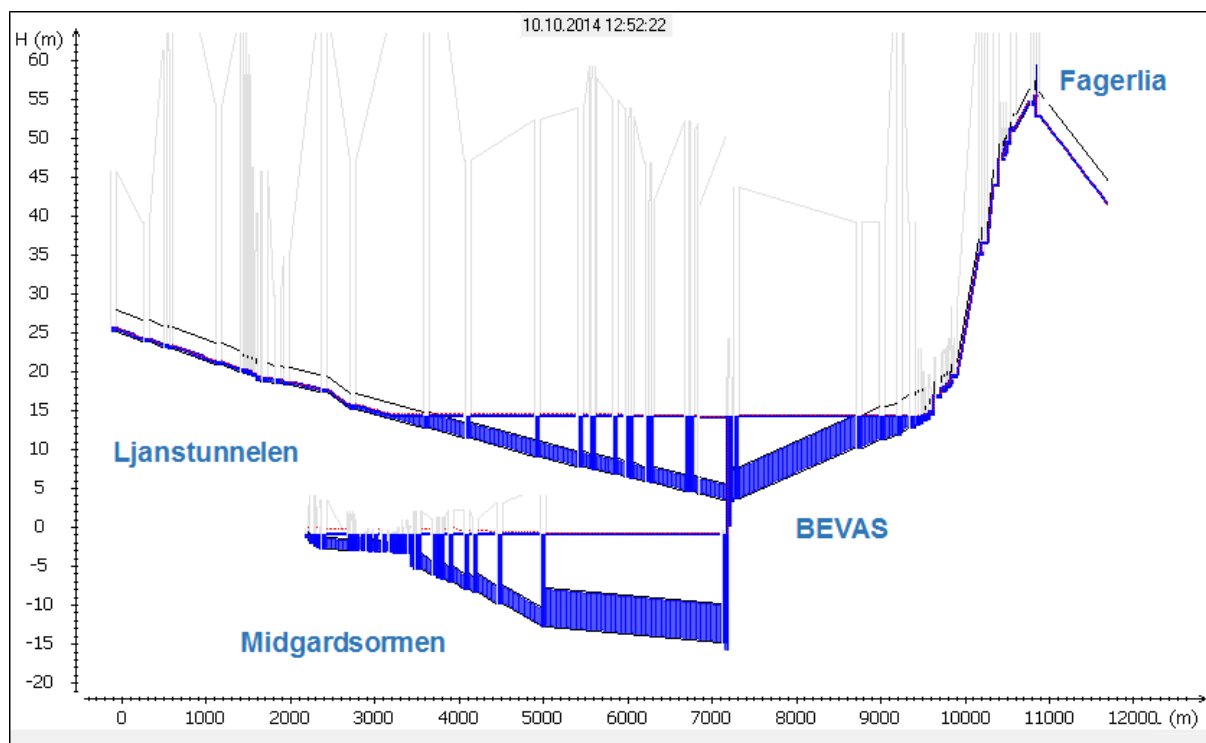
Figur V6: Vannmengder ved mengdemåler på Vækerø. Rød linje er beregnet mengde og blå, stiplet linje er målte verdier.

For den østlige siden ga modellen et resultat hvor volumene i Kværner-tunnelen ble nært fullt utnyttet ved maksimal nedbør mens Midgardsormen ble overfylt ved to tilfeller og resulterte i et totalt overløp beregnet til knapt 50 000 m³. For det reelle tilfellet fikk man samlet et overløp på drøyt 350 000 m³, hvorav små mengder fra gamle riststasjon, ca. ¼ fra Kværner-tunnelen og ca. ¾ fra mekanisk rensed avløpsvann med rist fra Midgardsormen. Mye av den relativt store forskjellen mellom modell og virkelighet skyldes trolig at Midgardsormen var under innkjøring. Det er derfor naturlig at den teoretisk optimerte styringen gir et bedre resultat enn virkeligheten. For det videre arbeidet antas det at kalibreringen er god nok for den østlige siden av tunnelsystemet, delvis underbygget av godt samsvar for mengdene i ØSaK-tunnelen. Modellen vil sannsynligvis tendere til å gi et for lavt overløpsutslipp selv for en godt inntrimmet styring av det østlige tunnelsystemet.

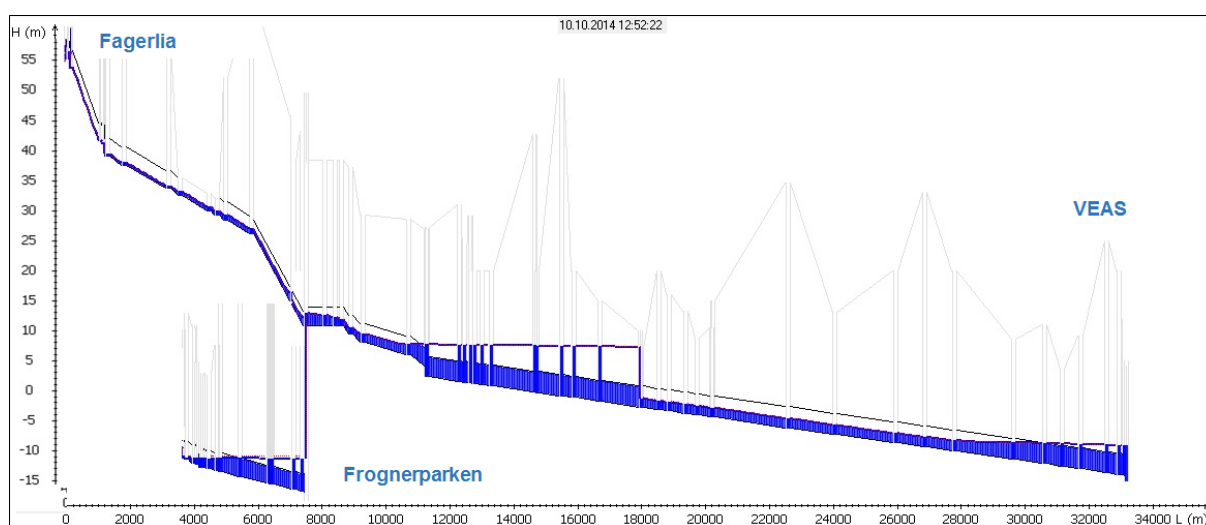
Selv om det for kalibreringen mot den valgte nedbørsperioden ga resultater med en rimelig god overensstemmelse mot virkelige målinger, så betyr ikke dette nødvendigvis at modellen vil ha like god

overenstemmelse for andre hydrologiske situasjoner, for eksempel ved sommerregn eller snøsmeltesituasjoner.

Figur V7 og Figur V8 viser lengdeprofil for tunnelene for henholdsvis den østlige og den vestlige delen av tunnelsystemet for det valgte høstregnet omtrent på tidspunktet for den maksimale belastningen, nærmere bestemt 12. oktober 12:52.



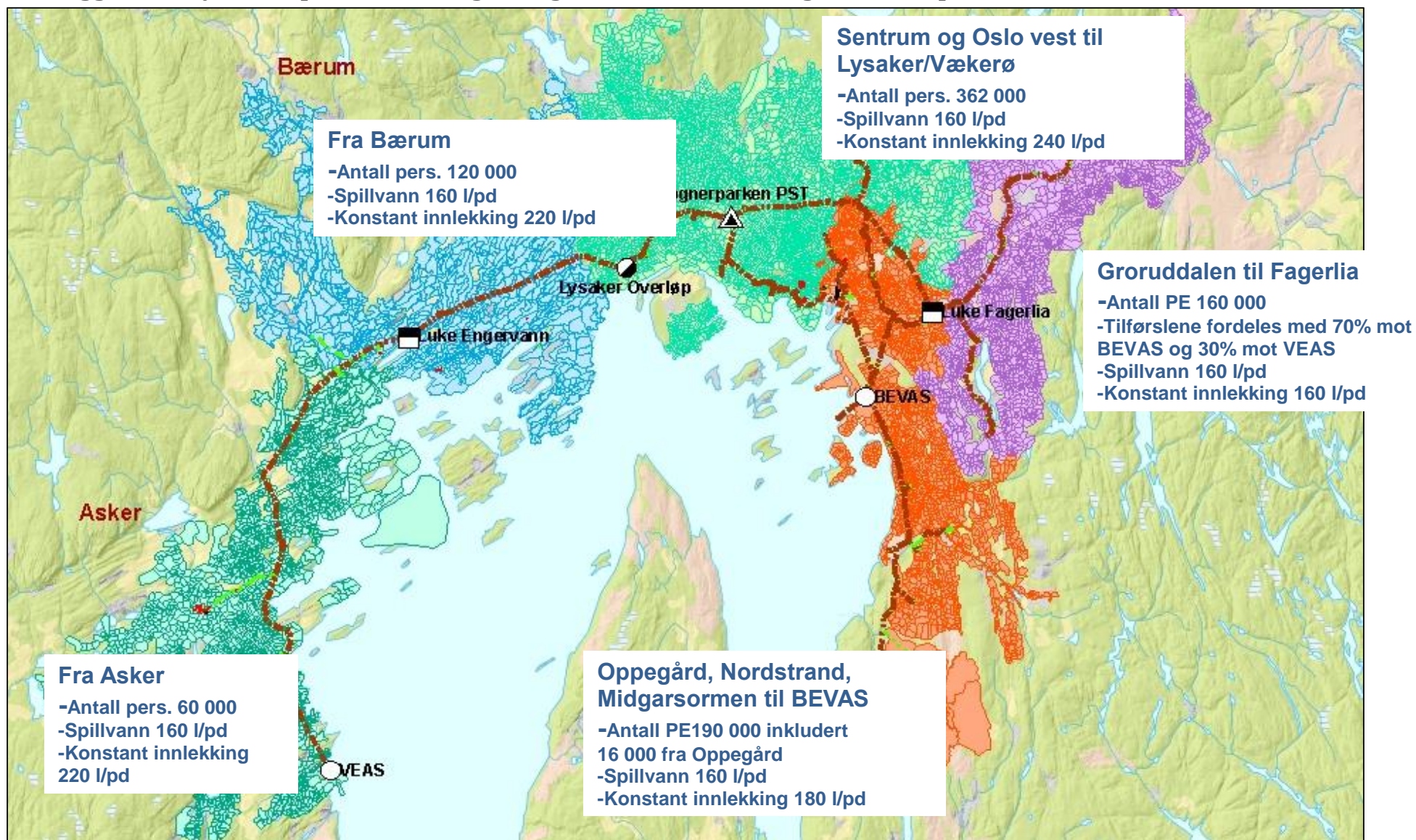
Figur V7: Situasjonsbilde for oppfyllingsgrad i tunnelprofilen for de østlige tunnelene for høstregnet benyttet for kalibrering. Små røde prikker i alle tunnelprofiler viser maksimal oppfyllingsnivå for hvert enkelt punkt i tunnelen. Maksimale nivå oppnås ved ulikt tidspunkt på de ulike tunneldelene.



Figur V8: Situasjonsbilde for oppfyllingsgrad i tunnelprofilen for VEAS-tunnelen for høstregnet benyttet for kalibrering.

Kalibreringene ga et bra grunnlag for å utføre beregninger for ulike teoretiske scenarier, men det er verdt å bemerke at vannmengdene tilført i de ulike påslippene er et worst-case-scenario hvor det forutsettes at kapasiteten i rørledningene til hvert påslipp fylles helt før overskytende mengder ledes i overløp. Overenstemmelsen mellom modell og virkelighet for det enkelte påslipp blir derfor prinsipielt riktigere, jo større nedbørshendelse som modelleres. Overløpsmengden i modellkonseptet skal balansere de «virkelige» overløpsmengdene fra samtlige lokale overløp. Denne tilnærmingen er usikker, og vannmengdene fra spesielt Bærum og sentrumsdelene av Oslo ved kraftig nedbør antas å ha størst usikkerhet.

Vedlegg 4 – Benyttede spillvannsmengder og tørrværsinnlekking for konseptmodellen



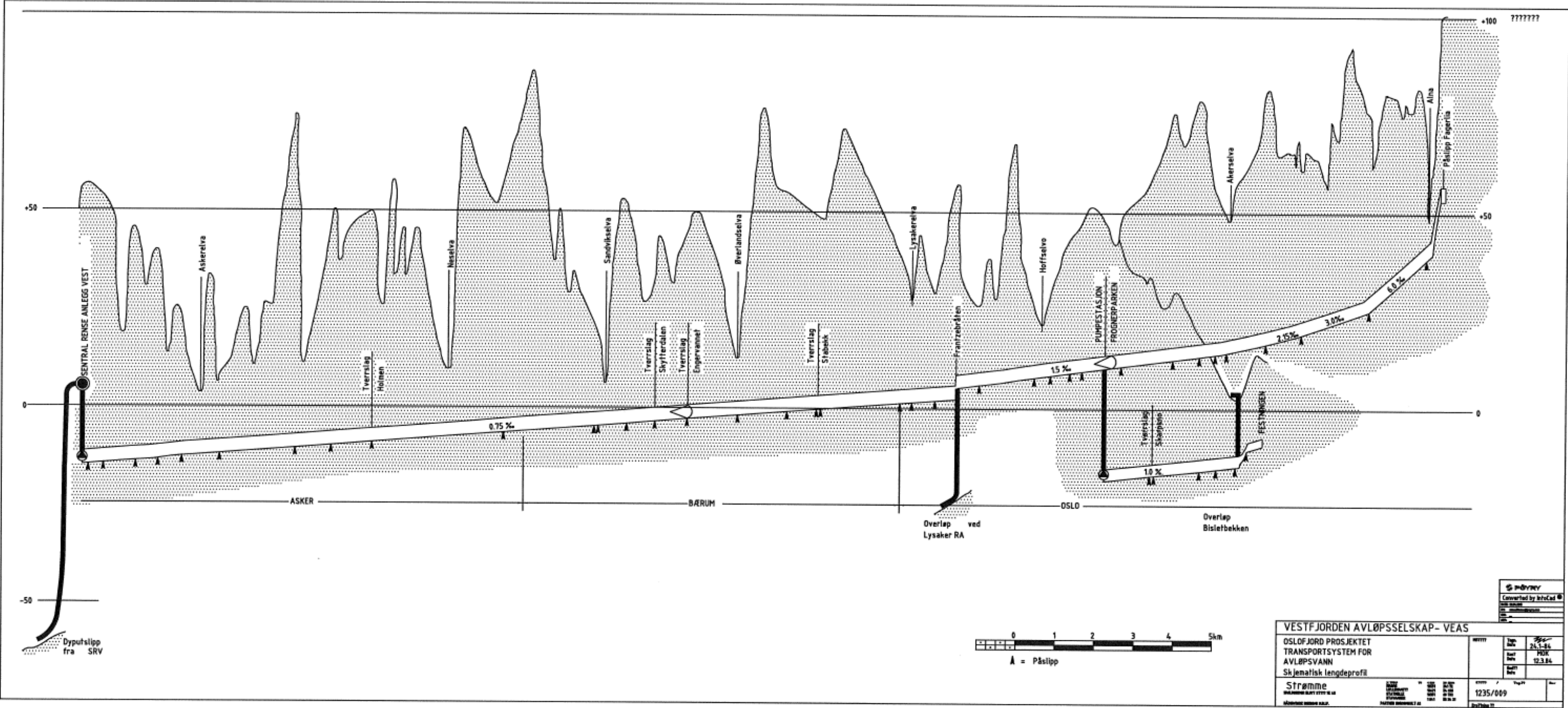
3GA Scenarioberegning 1 - Tørrvær:

Figuren viser de spesifikke tall for konstant innlekking som er benyttet for å kalibrere modellen. I hovedsak er kalibrering av tørrværsvannmengder gjort ved å justere spesifikke tall for konstant innlekking.

Vedlegg 5 - Forslag til elementer som bør inngå i en ROS-analyse

- 1) Har Midgardsormen redusert muligheter for overløp på Bislettbekken? Mye vann fra sentrum som tidligere gikk via sentrumstunnelen til Frognerparken går nå til Midgardsormen. Overløp på Bislettbekken er ikke å foretrekke pga. utslippssted og utslippsdyp. I så fall er dette er svært positiv bieffekt av Midgardsormen → bruk modellen til dette og i tillegg se erfaringer av dette over tid
- 2) Kollaps/ras i tunnelsystemet. Hvilke deler av tunnelsystemet er mest utsatt? Hvor vil avløpsvannet i så fall renne ut av systemet og hvor det gjør skade?
- 3) Tilbakeslag fra tunnel til lavtliggende lokale påslipp i Oslo, Bærum og Asker
- 4) Kartlegge og risikovurdere all infrastruktur og menneskelig aktivitet beliggende fysisk over tunnelen. Se spesielt på sårbarheter som barnehager, skoler, gamlehjem, sykehjem, sykehus, bygninger, torg, møteplasser, veier, togspor, T-bane, vannforsyning, strømforsyning m.m.
- 5) Strømstans over lenger tid, enkeltvis og samtidig, på VEAS, BRA, Frognerparken pst., luke Engervann og Midgardsormen
- 6) Kollaps av luker – konsekvenser
- 7) Hvor avløpsvannet tar veien i (1) en ekstremnedbør sommerstid og (2) langvarig regn på mettet mark på høsten
- 8) Omløpsmuligheter for avløpsvann utover overløpsdrift til fjorden
- 9) Vurdere fornuftig inspeksjonshyppighet på tunnelsystemet (geologisk vurdering av berggrunn i tunnelen og av grunnen over tunnelen for å forhindre ras/kollaps)
- 10) Behov for videreutvikling av ubemannet inspeksjonsutstyr (type båt/flytende farkost?) for i kunne inspisere tunnelen
- 11) Vurdere de totale samfunnsmessige konsekvensene i kommunene dersom et ras/kollaps av tunnelen, ev. ekstremvær, vil være en fare for liv og helse med store mengder avløpsvann på lokale steder i kommunene, kontra det å anlegge et *nødoverløp* rett før VEAS med utslipp på dypt vann (a-la Lysakeroverløpet) for å kunne håndtere en slik krisesituasjon. Vurderer kommunene det som bedre med situasjonsbeskrivelsen over, eller vil et *nødoverløp* med utslipp på dypt vann være å foretrekke? Risikovurdere dette. *(Til opplysning: For at VEAS i sin tid skulle anlegges på Slemmestad, ville ikke Asker kommune ha et overløpsutslipp foran anlegget der. Derfor er første overløp oppstrøms VEAS på Lysaker.)*
- 12) Drøfte en reduksjon av sårbarhet ved et ringsystem rundt hele Indre Oslofjord på lang sikt, f.eks. VEAS – tunnel – BRA – tunnel – utvidet Nordre Follo RA (ev. nytt sentralrenseanlegg øst) – tunnel – VEAS. Krever samarbeid mellom renseanleggene VEAS og Bekkelaget, samt kommunene Oslo, Bærum og Asker (samt Røyken og Nesodden og Follo-kommunene) → input til 3GA-prosjektet fase 2 og 3

Vedlegg 6 -Detaljer tunnelsystem



Tabell V1: Tunneler – lengder og tverrsnitt (Oslofjordprosjektet Funksjonsbeskrivelse for transportsystemet Del A)

Tunnelstrekning	Utsprengt		Fullprofilboret		Anm. v=vannførende
	Lengde m	Tverrsnitt m ²	Lengde m	Diameter m	
SRV-Sandvika Tverrslag Holmen	800	25	14.200	3,50	v. Rør, d=600 mm
Sandvika-Lysaker Tverrslag Stabekk Tverrslag Skytterdalen Tverrslag Engervann	190 40	20 13	7.630 1.020	3,35 2,1x3,14	v. v. Rør, d=500 mm Rør, d=800 mm
Lysaker-Majorstua Adkomst Frantzebråten Grentunnel Middelthuns gt. Grentunnel Bestumvn.	120 140 160	9/23 7/14 7	4.180	3,15	v. Vannkanal/rør v.
Majorstua-Torshov Torshov-Fagerlia Tverrslag Ola Narr Majorstua-Ruseløkkvn. Grenstunnel Skarpsno Adkomst Majorstua	210 540	20 21/23	3.010 4.230 2.700 630	3,00 (2,23) 3,00 3,00	v. d=2230 mm i 1150 m fra Majorstua (utstøpt) v. v. v.
Adkomst Fagerlia	200	9/16			v. i 105 m lengde
Ruseløkkvn.- Rådhusplassen Rådhuspl. (rørtrykking) Rådhuspl.-Festningen Adkomst Filipstad Adkomst Pipervika	540 500 230 110	9 9 15 13			v. v. l=100 m, d=1600 mm v. Rør, d=500 mm
	3.780		37.600		41.380 m

Tabell V2: Magasiner for fordrøyning av avløpsvann (Oslofjordprosjektet Funksjonsbeskrivelse for transportsystemet Del A)

Magasin	Lengde Km	Maks. volum m ³	Magasinkapasitet ved full vann- føring m ³	Maks. oppstuvning høyde Kt	Anmerking
Majorstua- Festningen	4,4	36 000	27 000 (3,5 m ³ /s)	+2,3	Overløpshøyde = kt +2,0 (Bislettbekkens utløp)
Majorstua- Fagerlia ⁵⁾	7,1 ¹⁾	46 500	41 500 (1,0 m ³ /s)	+31,2	Ikke overløp. Maks tillatt oppstuvning tilsvarende 20 mVS ved luke ⁶⁾
Engervannet- Vækerø	7,3 ²⁾	62 000	43 000 (4,5 m ³ /s)	+4,8	Overløpshøyde = kt +4,8 3) (Overløp via Lysaker RA)
VEAS- Engervannet	15,1	145 000	86 500 (6,0 m ³ /s)	+/- 0	Med luke Engervannet i lukket posisjon.

- 1) Hvorav 6,4 km oppfylt ved maks oppstuvning
- 2) Inklusive deler av tverrslag Stabekk
- 3) Forutsatt at luke Vækerø er åpen
- 4) Parentes angir vannføring ved beregnet kapasitet
- 5) Kan ikke benyttes før overløp ved Majorstua er anordnet. (Merknad 2015: Magasinet ble tatt i bruk etter at en funksjon med nødluke var etablert, se også neste punkt)
- 6) Merknad 2015: Nødluken åpner ved 15 mVS