

# **Intern rapport nr. 2229**

**Etatsprosjekt:  
Samfunnstjenlige vegtunneler**

**Delprosjekt H:  
Tekniske installasjoner**

**Pumpeanlegg i undersjøiske  
tunneler**



**Februar 2002**

**Veateknisk avdelina**

# Intern rapport nr. 2229

## Delprosjekt H: Tekniske installasjoner

### Pumpeanlegg i undersjøiske tunneler

#### Sammendrag

Statens vegvesen har gjennom etatssatsingsprosjektet "Samfunnstjenlige vegtunneler" satt fokus på trafikksikkerhet, miljø og langsiktig eierskap innenfor tunnelteknologien. Prosjektet som har gått over 4 år har hatt som målsetting å videreutvikle og forbedre dagens teknologi og gi rom for nytenking ved å utvikle mer kostnadseffektive, bedre, sikrere og mer miljøvennlige tunneler.

Norge er det land i verden som har flest undersjøiske vegtunneler. Siden 1982 og frem til i dag har vi fått 22 slike tunneler som er åpnet for trafikk. Og flere kommer i årene framover. Vi er dermed også det land i verden som har lengst erfaring med slike tunneler i drift.

Det er en kjensgjerning at pumpeanleggene i disse tunnelene har utviklet seg lite på disse årene. Løsninger har langt på veg blitt kopiert fra anlegg til anlegg. Mangelfull byggherrekompetanse innenfor dette spesielle området har kanskje bidratt til denne situasjonen. I offshoresammenheng blir våre pumpeanlegg sett på som umoderne.

Prosjektgruppen har derfor fokusert på denne situasjonen og sett på forslag til alternative løsninger på utforming og materialvalg for pumpeanlegg. Ut i fra totaløkonomi og levetid anbefales tørroppstilte pumpeanlegg ved nyanlegg og som et godt alternativ der forholdene ligger til rette for det ved rehabilitering/oppgradering av eldre anlegg der pumper skal skiftes ut.

Emneord: *Tunnel, Etatsprosjekt, Samfunnstjenlige vegtunneler, Tekniske installasjoner, Undersjøiske tunneler, Pumper, FoU*

Kontor: *Geologi- og tunnelkontoret*

Saksbehandler: *Harald Buvik*

*/ harabu*

Dato: *30.11.01*

Statens vegvesen, Vegdirektoratet  
**Vegteknisk avdeling**

Postboks 8142 Dep, 0033 Oslo  
Telefon: 22 07 39 00 Telefaks: 22 07 34 44

# Innhold

<b>1</b>	<b>ORIENTERING .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>HISTORIKK - ERFARINGER.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1</b>	<b>Evaluering av pumpeprosjekt.....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>BYGNINGSMESSIG .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>Generelt.....</b>	<b>11</b>
<b>3.2</b>	<b>Nødbasseng (sumpen).....</b>	<b>11</b>
<b>3.3</b>	<b>Slam-/sedimenteringskammer.....</b>	<b>12</b>
<b>3.4</b>	<b>Pumpekammer/-rom .....</b>	<b>13</b>
<b>3.5</b>	<b>Deponi av forurenset vann .....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>INNLEKKASJE, AVLØPSVANN OG KORROSJONSPROBLEMER .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>Generelt.....</b>	<b>18</b>
<b>4.2</b>	<b>Avløpsvannets beskaffenhet - korrosjon. ....</b>	<b>18</b>
<b>4.3</b>	<b>Avløpsvannets korrosivitet - spesiell problematikk .....</b>	<b>18</b>
<b>4.4</b>	<b>Avløpsvannets innhold av jernbakterien Gallionella.....</b>	<b>19</b>
<b>4.5</b>	<b>Avløpsvannets mengde.....</b>	<b>19</b>
<b>4.6</b>	<b>Korrosjon i luft.....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>FUNKSJONSKRAV, FUNKSJONSSIKKERHET, FUNKSJONSKONTROLL OG TEKNISKE KRAV .....</b>	<b>20</b>
<b>5.1</b>	<b>Krav pumpeanlegg.....</b>	<b>20</b>
<b>5.1.1</b>	<b>Pumper.....</b>	<b>20</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Pumpeledning .....</b>	<b>21</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Nødbasseng.....</b>	<b>21</b>
<b>5.1.4</b>	<b>Sandfang/oljeutskiller/sedimenteringskammer.....</b>	<b>22</b>
<b>5.1.5</b>	<b>Pumpekammer/-rom.....</b>	<b>22</b>
<b>5.2</b>	<b>Funksjonssikkerhet .....</b>	<b>23</b>
<b>5.3</b>	<b>Funksjonssikkerhet - uønskede hendelser i forbindelse med pumpeanlegg.....</b>	<b>24</b>
<b>5.3.1</b>	<b>Normal driftssituasjon .....</b>	<b>24</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Unormal driftssituasjon: (5 ulike scenarier) .....</b>	<b>24</b>

5.3.3	Pumpekammer /-rom.....	25
5.3.4	Pumpeledning m/utstyr: .....	27
5.3.5	Drenering/ lekkasjevann .....	28
5.3.6	Slam/sedimenteringskammer: .....	28
5.3.7	Nødbasseng.....	29
5.4	Funksjonskontroll .....	30
5.4.1	Generelt.....	31
5.4.2	Pumper .....	30
5.4.3	Rør og ventiler etc.....	31
5.4.4	Tekniske krav .....	31
6	VALG AV PUMPER, PUMPELEDNING OG UTSTYR .....	39
6.1	Generelt.....	39
6.2	Pumper.....	39
6.2.1	Generelt.....	39
6.2.2	Tørroppstilte pumper .....	40
6.2.3	Våttoppstilte pumper.....	41
6.2.4	Halvtørr oppstilte pumper .....	41
6.3	Kriterier for valg av pumper/pumpeleverandør.....	41
6.3.1	Generelt.....	41
6.3.2	Forhold som påvirker pumpens levetid .....	41
6.3.3	Hvilke parameter kan påvirkes for å optimalisere levetidskostnadene	42
6.4	Alternative pumpetyper – fordeler og ulemper .....	42
6.4.1	Tørroppstilte pumper. ....	42
6.4.2	Neddykkede pumper .....	43
6.4.3	Halvtørr oppstilte pumper .....	44
6.5	Pumper, Pumpeledning, armatur - styring. ....	44
6.5.1	Generelt.....	45
6.5.2	Pumpeledning /-rør .....	45
6.5.3	Armaturoppstilling - ventiler. ....	45
6.5.4	Automatikk - styring.....	45
6.5.5	Sveising av rørsystemer/pumpeledninger .....	46
6.5.6	MIG/MAG sveising (MIG Metal Inert Gas Welding) .....	46
6.5.7	GTAW/TIG sveising (Gas-Shielded Tungsten Arc Welding).....	46
6.5.8	Trykkprøving av rørsystem .....	47
6.5.9	Røntgenkontroll .....	47
6.6	ENØK - drift av pumper.....	47
6.7	Eksempel på ombygging av pumpeanlegg i undersjøiske tunneler .....	48

<b>6.8</b>	<b>Nyanlegg.....</b>	<b>56</b>
<b>7</b>	<b>VARSLINGS- OG AUTOMATIKKANLEGG .....</b>	<b>58</b>
<b>7.1</b>	<b>Generelt.....</b>	<b>58</b>
<b>7.2</b>	<b>Varslingsanlegg.....</b>	<b>58</b>
<b>7.3</b>	<b>Automatikk.....</b>	<b>58</b>
<b>8</b>	<b>DRIFT OG VEDLIKEHOLD .....</b>	<b>59</b>
<b>8.1</b>	<b>Generelt- orientering .....</b>	<b>59</b>
<b>8.2</b>	<b>Avtaler .....</b>	<b>59</b>
<b>8.3</b>	<b>Forvaltning, drift og vedlikehold - Spektrum.....</b>	<b>60</b>
<b>9</b>	<b>DOKUMENTASJON .....</b>	<b>63</b>
<b>9.1</b>	<b>Generelt - orientering .....</b>	<b>63</b>
<b>9.2</b>	<b>Hvem har planlagt og bygd anlegget.....</b>	<b>63</b>
<b>9.3</b>	<b>Pumpeanlegget.....</b>	<b>63</b>
<b>9.4</b>	<b>Driftsinstruks/tilsyn og vedlikehold .....</b>	<b>63</b>
<b>9.5</b>	<b>Dokumentasjon.....</b>	<b>63</b>
<b>9.6</b>	<b>Tegninger .....</b>	<b>63</b>
<b>10</b>	<b>VEDLEGG.....</b>	<b>64</b>
<b>10.1</b>	<b>Eksempel på oppbygging av pumpeanlegg for en "tenkt tunnel" . .....</b>	<b>64</b>
<b>10.2</b>	<b>"Oppskrift" for valg av løsning for pumper i tunnel.....</b>	<b>74</b>

## Forord

Statens vegvesen har gjennom etatssatsingsprosjektet "Samfunnstjenlige vegtunneler" satt fokus på trafikksikkerhet, miljø og langsiktig eierskap innenfor tunnelteknologien. Prosjektet som har gått over 4 år har hatt som målsetting å videreutvikle og forbedre dagens teknologi og gi rom for nytenking ved å utvikle mer kostnadseffektive, bedre, sikrere og mer miljøvennlige tunneler.

Norge er det land i verden som har flest undersjøiske vegtunneler. Siden 1982 og frem til i dag har vi fått 22 slike tunneler som er åpnet for trafikk. Og flere kommer i årene framover. Vi er dermed også det land i verden som har lengst erfaring med slike tunneler i drift.

Det er en kjensgjerning at pumpeanleggene i disse tunnelene har utviklet seg lite på disse årene. Løsninger har langt på veg blitt kopiert fra anlegg til anlegg. Mangelfull byggherrekompetanse innenfor dette spesielle området har kanskje bidratt til denne situasjonen. I offshoresammenheng blir våre pumpeanlegg sett på som umoderne.

Prosjektgruppen har derfor fokusert på denne situasjonen og sett på forslag til alternative løsninger på utforming og materialvalg for pumpeanlegg. Ut i fra totaløkonomi og levetid anbefales tørroppstilte pumpeanlegg ved nyanlegg og som et godt alternativ der forholdene ligger til rette for det ved rehabilitering/oppgradering av eldre anlegg der pumper skal skiftes ut.

Prosjektgruppen har bestått av:

Harald Buvik, Vegdirektoratet  
Tor Frøland, Rogaland  
Petter Bergersen, Oslo  
Mona Løvås, Hordaland  
Oddmund Lefdal, Sogn og Fjordane  
Jan Hennestad, Vegdirektoratet  
Kjell Moen, Troms  
Bjarne Lysberg, Hordaland  
Ole Gripstad, Akershus (delvis)  
Arve Jonassen, Oslo (delvis)  
Jan Øyvind Pedersen, Vest-Agder (delvis)

## 1 Orientering

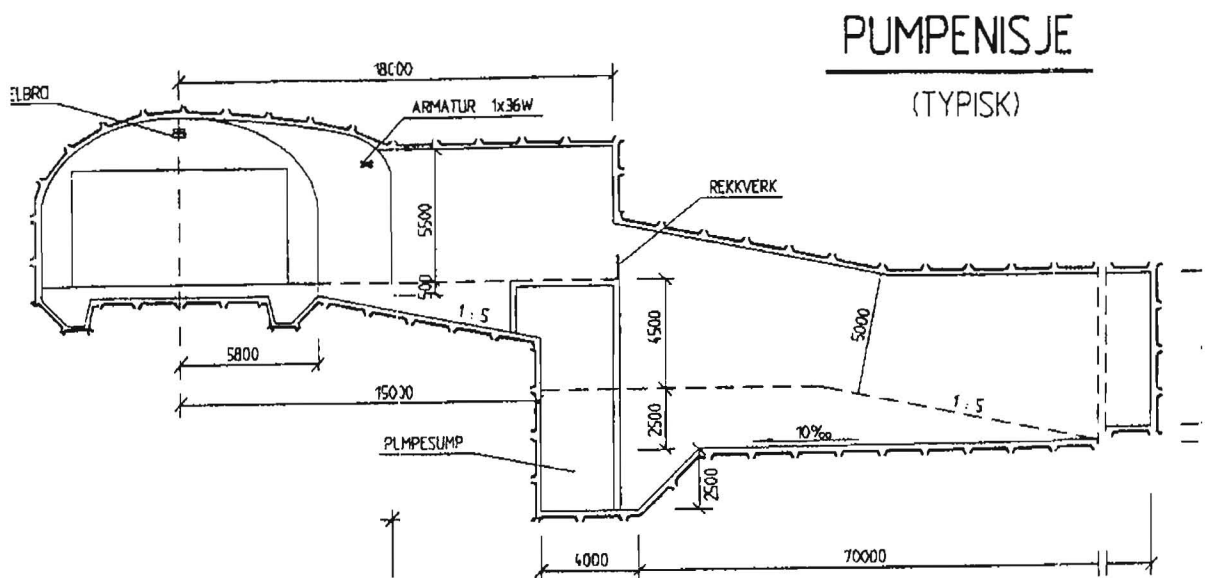
Denne beskrivelse er ment som et hjelpemiddel ved valg av anskaffelse av mekaniske elektrisk drevne pumpeanlegg. Ved nyanlegg er det nødvendig å ta hensyn til levetid, levetidskostnader, øvrig drift samt lokale driftsforhold.

Grunnleggende krav er at:

- Pumpeanlegget skal ha samme levetid som anlegget for øvrig.
- HMS og Enøk skal ivaretas og driftsutgiftene må minimaliseres.
- Nødvendig, intern og ekstern service kan rekvireres innen rimelig tid.
- Mekanisk utstyr må være gangbar handelsvare
- Spesialiteter ut over det strengt nødvendige må unngås.
- Garantier, forsikringer m.m skal være ivaretatt.

For å oppnå optimal lønnsom drift, skal det foretas tilstandskontroll av anlegget og driftsjournal og tegninger utarbeides.

I undersjøiske tunneler kan avløpsvannet i nødbassengene (lavbrekk) brukes som slokkevann. Legges forholdene til rette i byggefasen kan man i fremtiden dra god nytte av dette.



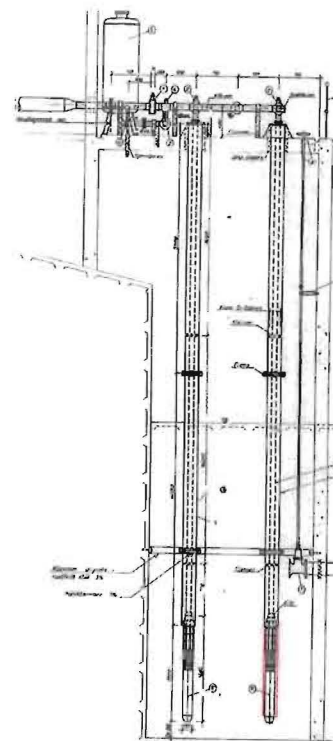
Bilde 1

## 2 Historikk - erfaringer

Den første undersjøiske vegtunnel her i landet ble åpnet for trafikk i 1982. Frem til i dag er det bygget i alt 22 undersjøiske tunneler.

Tunnelenes lengde og dybde er svært varierende, men tunnelene har flere felles trekk:

- Alt innlekkasjevann slippes ned i tunnelens lavbrekk (ett eller to nødbasseng med størrelser på 700-1000 m<sup>3</sup>)  
Dette resulterer i kostbare, årlige helt unødvendige strømkostnader samt vedlikeholdskostnader på pumpene
- Innlekkasjevannet er avtagende, det vil si at sprekker tettes over tid på grunn av salter og partikler m.m. som bygger seg opp.
- Utpumpingen skjer etter behov og utpumpings-tiden er rimelig kort mens pumpenes stopptid kan være lang.



Bilde 2

- Miljøet er svært korrosivt på grunn av salter, avgassing m.m.
- Kvaliteten på pumpeanlegget/ledninger er av noe variabel kvalitet.

Det siste punkt kan ha flere årsaker, blant annet har det vist seg at prosjektøren nærmest har kopiert tidligere pumpeanlegg.

Evaluering med oppfølging blir ikke foretatt systematisk. En annen årsak kan være at det er "lite penger" i siste del av anleggsfasen, samtidig som det i anbudsrunden velges "laveste pris".

Generelt er alle pumpeanleggene inkl. de elektriske komponenter plassert i åpne løsninger i og rundt pumpesumpen, noe som på sikt kan være svært uheldig. Ideelt sett burde alle elektrokomponentene vært plassert i egne lukkede rom med god utlufting og oppvarming.

I de undersjøiske tunneler er det pr. i dag kun brukt langakslede nedsenkbare pumpeanlegg (Vogel-dykkpumpe), montert vertikalt og/eller horisontalt i pumpekammer. Pumpetypen gir mulighet til utpumping ved store løftehøyder, og den er enkel bygget opp over flere trinn. Pumpene leveres som standard i rustfritt eller syrefast utførelse, og det kan gi en rimelig investeringskostnad og tilfredsstillende løsning.

Dykkpumpene har sin fordel ved at de er plassert under vannflaten og krever en enkel og rimelig installasjon. Både byggverket og teknikken er velkjent.



Miljøet i tunnelene er meget korrosivt og generelt skal de som prosjekterer pumpeanlegg ta høyde for et slikt miljø. I pumpeproduzentens beskrivelse står det imidlertid at pumpene er konstruert for rent og ikke aggressivt vann. Likeledes står det at motoren er konstruert for kontinuerlig drift under vann.

Ved enkelte av våre pumpeanlegg kan imidlertid en pumpe ha en stopptid/hviletid på mer enn to uker mellom hver gang pumpen går. Dette har sin årsak i at anleggene ble prosjektert i en tid da det var akseptert at man skulle sikre seg ved å dimensjonere pumpekapasiteten unødvendig høgt. Erfaringer fra de undersjøiske tunnelene har imidlertid vist seg at innlekkasjen blir tilnærmet halvert etter noen års drift.

Hva kan vi forvente av et pumpeanlegg som ikke er bygget for de faktiske forhold som er i undersjøiske tunneler:

- Dersom en først får driftsproblemer på slike pumper vil vedlikeholdsutgiftene bli svært høye (spesialdeler).
- Leveringstiden på spesialdeler er alltid lang og dette skaper usikkerhet for driften av anleggene (en bør ha reservepumpe eller en leverandøravtale).
- Når det gjelder det øvrige servicearbeidet, utskifting m.m. kreves det også her mer innsats fra spesialopplært fagpersonell.

Pumpeledningene følger gjerne tunneltraseen, men som oftest blir vannet pumpet vertikalt opp når pumpeledningen er kommet under "fast grunn". På grunn av pumpeledningens lengde og løftehøyde, kan det oppstå store trykkstøt og da spesielt ved pumpestopp. Problemet er gitt ekstra oppmerksomhet ved å installere trykkstøtreduserende tiltak som trykktanker/vindkjele og tilbakeslagsventiler med roligere stengekarakteristikk.

Plassering og montering av trykkstøtreduserende tiltak som trykktanker /vindkjele m.m. har ikke alltid vært like bra.

I tillegg til feilaktig plassering har det ukritisk vært brukt vinkelrette bender fremfor avrundede, bøyde bender. Dette resulterer i at vi får utskilt luft fra pumpevannet slik at det kan dannes uønskede luftlommer.



**Bilde 3**

En feilplassert trykktank/vindkjele hvor selve pumpestokken er plassert høyere enn tanken kan resultere i en uønsket luftlomme, med det resultat at disse motarbeider hverandre og trykktanken/vindkjelen virker ikke lenger etter sin hensikt! (Se bilde 3)

Ved flere pumpeanlegg er det brukt innspenningsventiler på pumpestokk-/ledning som er montert "mellom" flensene". Dette er svært uheldig fordi det da ikke er mulighet til å blokkere pumpeledningen/pumpestokken etter en stengeventil. (Se bilde 3)

Det må i ettertid stilles krav til at alle ventiler i forbindelse med pumpeledning/pumpestokk kun skal bruke ventiler som kan være "avslutningsledd".

Det har imidlertid vist seg at anleggene har store driftsutgifter forbundet med drift av pumpestasjonene. Normalt utsettes pumpestasjonene for store løftehøyder av vannet, korrosiv luft og drensvann. Vannet inneholder partikler fra tidlig anleggsperiode, sot m.m. samt slitasje med asfaltstøv fra vegbanen. I tillegg er det korrosive svovel-, nitrogen- og andre forbindelser fra forbrenningsmotorer samt klorider fra sjøvann.

Det har vært vanskelig å få helt konkrete opplysninger om årsaken til alle driftsproblemene og hvordan disse har artet seg. Likevel er de fleste enige om at det har vært en del driftsproblemer, (jfr. spørreundersøkelse om undersjøiske tunneler våren 2000).

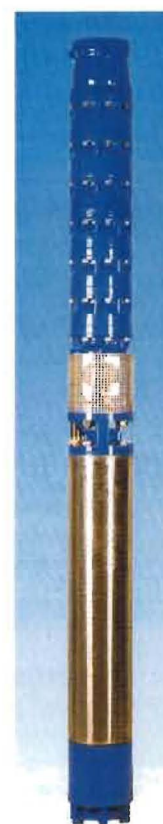
Det har først og fremst vært problemer med pumpemotorer som brennes og som må skiftes ut. Motorvernet har av ukjente årsaker ikke slått ut.

I følge beskrivelsene til pumpeprodusentene advarer de mot følgende:

- Dersom tilbakeslagsventilen ikke fungerer riktig, kan pumpen etter at den har stoppet begynne å rotere som en turbin.
- Pumpen vil da rotere feil veg og turtallet kan bli så høgt at pumpa og motor kan skades alvorlig.

Er det her et av våre problemer ligger ?

- Til tross for at pumpene er nedsenket i vann kan det oppstå varmgang i disse. Dykkpumpemotoren skal ikke ha høyere temperatur enn ca.65°C. Det er flere eksempler på at det er målt temperaturer på opptil 80°C



Bilde 4

- For å eliminere dette kan det påmonteres en ytre hylse/skjørt utenpå selve pumpemotoren, dog med god klaring. Vannet vil da først blir sugd inn langs motorveggen for å kjøle motoren ned, før vannet blir sugd inn i selve pumpa. (Se bilde 2, vist med rødt)
- Pumpetypen er mindre slitesterk og mer følsom for fremmedlegemer. Pumpas lengde kan være på 2-3 meter eller mer, alt etter kapasitet og løftehøyde. (se bilde 4)

- Store vridningsmomenter og dårlig opplagring kan også være årsak til havarier.
- Opplagringen i selve pumpeanlegget har kun to lager, et i pumpedelen og et i motordelen. (Se bilde 5 defekt trykklager)  
Ett fylke har montert pumpene horisontalt i pumpekammeret, noe som sannsynligvis vil forsterke pumpenes svakheter. Pumpa blir i slike tilfeller spesialbestilt og den får en noe bedre opplagring.



Bilde 5

- I tillegg til motor- og pumpehavariene har det også vært en del reparasjon og utskiftinger av trykktanker og tilbakeslagsventiler.
- Dårlig kvalitet på opprinnelige pumpeledninger og utstyr er skiftet ut underveis.

- Fortsatt opplever man korrosjonsproblemer på rør og sammenkoblinger/flenser m.m. Det blir årlig utført sveising og bearbeiding på disse. Årsaken til dette kan være dårlig/ulik materialkvalitet mellom rør og flens, eller manglende montering av offeranoder i basseng, pumpekammer, pumpeanlegg og pumpeledninger. For å bedre forholdene må blant annet kravet til sveisemetode skjerpes!  
(se bilde 6 korrosjon / bilde14 sveising)



Bilde 6

- Generelt virker det som det har vært svært liten oppfølging av levetidskostnader på pumpeanleggene.
- Alle pumpeanlegg bør ha installert vannmåler for å få målt forbruket av energi opp mot utpumpet vannmengde og løftehøyde/trykk. Det må være et satsingsområde å få belyst om vi har valgt den optimale pumpeløsning.

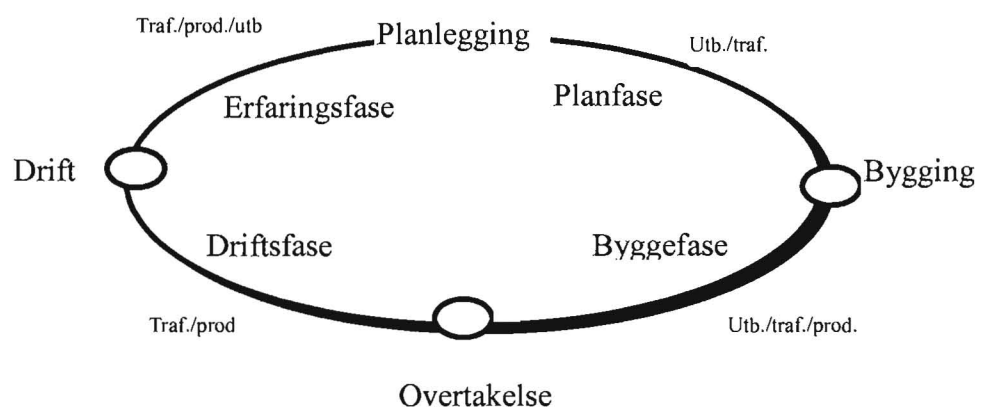
*I offshore- sammenheng blir våre pumpeanlegg sett på som "umoderne".*

## 2.1 Evaluering av pumpeprosjekt

- Ved overtakelse av et nytt anlegg skal det alltid utarbeides sluttrapport over leveransen av alt teknisk utstyr.
- Rapporten skal gi opplysninger om leveranse på type, kapasiteter, erfaringer og tiltak som er gjort forut for og under bygge-/etableringsfasen.
- Det forsettes at når et nytt anlegg blir overtatt skal alle funksjonskrav, funksjonsikkerhet og funksjonskontroller (Spektrum FDV) være kjent av driftspersonalet som skal drifte anlegget

- Alle servicer og eventuelle reparasjonsarbeider som skjer i garantitiden skal registreres og dokumenteres av pumpeleverandøren.
- Eventuelle forbedringer som skjer etter overtakelse av anlegget skal registreres og dokumenteres med tegninger og dette skal gjøres kjent for driftspersonellet
- Erfaringer fra driften må legges frem og evalueres.
- Det må sjekkes avvik på rutiner/ eventuelt evaluere rutinene for å få et optimalt vedlikehold til den laveste kostnad.
- Det skal utføres målinger på lekkasjevann vedrørende mengder, korrosivitet/ forurensinger m.m. målt opp mot data som ble lagt til grunn ved etablering av pumpeanlegget.
- Videre må en sjekke energikostnader opp mot utpumpet vannmengde og løftehøyde, eventuelt fremme forslag på forbedringer innen Enøk.
- Dersom innlekkasjen har minket og avløpsvannets beskaffenhet er bedret kan en ved en senere renovering av anlegget, vurdere å velge løsninger med en lavere og bedre tilpasset kapasitet og kvalitet til en langt billigere investering. Også andre pumpe løsninger kan da være aktuelle!
- Evalueringen skal gjøres kjent og den skal dokumenteres!

For øvrig henvises til intern rapport nr. 2144 "Drift og vedlikehold sin innflytelse og påvirkning på tunnelens ulike faser"



### 3 Bygningsmessig

#### 3.1 Generelt

Med bygningsmessig menes det veganlegg/område som omfatter pumpeanlegget, samt pumpeledning til utløpsted. Pumpeanleggets primære oppgave er å transportere vekk uønsket avløpsvann. Bygningsmessig vil pumpeanlegget i hovedsak omfatte: pumper, nødbasseng, pumpeledning, sandfang/sedimenteringskammer, drenering, trafikk-/parkeringsarealer, etc. De enkelte byggverk bør dimensjoneres rikelig, slik at drift og vedlikehold kan utføres rasjonelt og ikke hindre den øvrige ferdsel. Betongstøp må være tett og tåle aggressivt avløpsvann (avløpsvannets aggressivitet bør fastslås så tidlig som mulig).

#### 3.2 Nødbasseng (sumpen)

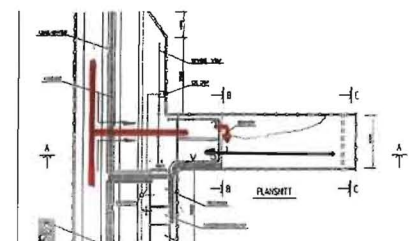
Generelt er utformingen av denne helt avgjørende for hele pumpestasjonens funksjon. Antall og plassering kan ligge på ulike nivå og i lavbrekk i tunnelen. Generelt bør det være nok med kun ett større nødbasseng ! (Se bilde 1)

Størrelsen/rominnhold av nødbasseng er avhengig av en rekke lokale forhold og løsninger:

- hvor store vannmengder som forventes tilført i ett døgn
- hvor lenge tilførselen av vann pågår uten at det trengs utpumping
- krav til sikkerhet, hva kan aksepteres ?
- hvor stor løftehøyde skal vannet pumpes
- hvilke pumpeløsninger som velges
- om det er store kostnader forbundet med å bygge et unødvendig stort nødbasseng.
- kan man benytte det magasin som vegbanen utgjør (vannhøyde på 10 - 20 cm over vegbanen).

Innløp fra sedimenteringskammer må plasseres lengst mulig vekk fra utløpet til pumpekammeret.

I undersjøiske tunneler er nødbassengene ofte plassert vinkelrett ut fra tunnelens løp/vegbaner. Ved valg av en slik løsning vil dette gi en enkel konstruksjon og rimelig løsning ved etablering/utspregning m.m. Imidlertid gir dette en ugunstig løsning når innrenningsvannet renner fra sedimenteringskammeret til nødbassenget og hvor uttaket fra nødbassenget til pumpekammeret er plassert like ved. (se bilde 7 sort pil er inntak)



Bilde 7

Ved valg av en slik løsning vil det samle seg mye finstoff/slam i dette området. Som tidligere beskrevet er nedsenkbare dykkpumper svært ømfintlige for nettopp dette, noe som fører til stor slitasje og mulighet for havari av pumpa. Nødbassenget bør derfor plasseres parallelt med tunnelløpet hvor slamkammer ligger i tilknytning til den ene enden og pumpekammer i den andre enden.

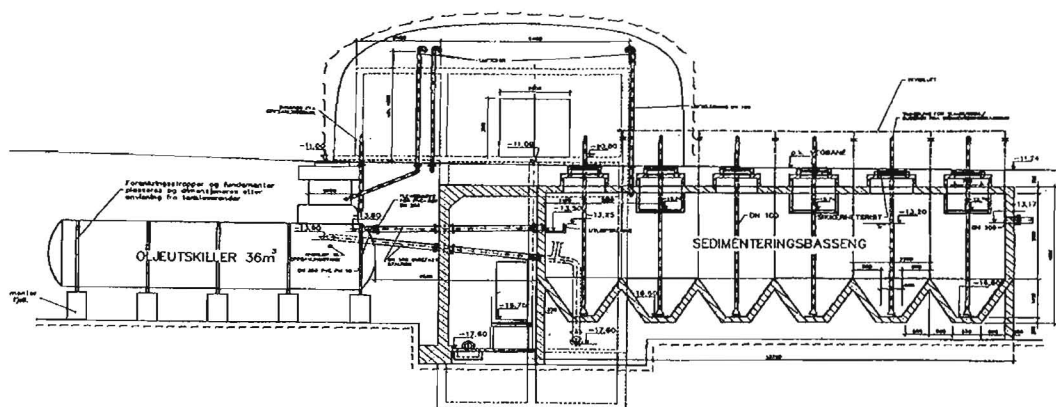
Alternativt bør bassenget ligge i tilknytning til en snunisje hvor en kan etablere en bedre tilkomst. Ved en slik løsning vil det være lettere å komme til med vedlikehold, for eksempel renhold av bassenget.

### 3.3 Slam-/sedimenteringskammer

Plassering av sedimenteringskammeret ligger alltid i forkant tett inn til nød-bassenget. Størrelsen og utforming må ta hensyn til antatte forurensinger og det fremtidig vedlikehold. Generelt må sedimenteringskammeret være langt, forholdsvis bredt og grunt.

I en normal driftssituasjon vil sedimenteringskammeret fungere bra, men i en unormal driftssituasjon som ved for eksempel tunnelvask får vi lett problemer.

Bunnen av kammeret bør nærmest se ut som et "eggbrett". Dermed kan det sedimenterte slamm synke til bunns i et konsentrert areal slik at det senere lett skal kunne være mulig å få sugd dette opp. Til hver av "bunnseksjonene" må det etableres et sugerør som kan kobles direkte til en hurtigkobling for slamsugebil. Likeledes må det etableres en trykkluftanordning ned i hver av "bunnseksjonene" slik at det sedimenterte slamm kan bli løst opp ved trykkluft og vannspyling. (se bilde 8)



Bilde 8

Sedimenteringskammerets utløp må ikke plasseres i området hvor vanninntaket for pumpene er plassert, men ha fritt løp ut i nød-bassenget. Kammeret må være plassert slik at det er lett å komme til med slamsugebil og andre nødvendige vedlikeholdsmaskiner. Generelt må en legge opp til at driftspersonellet **ikke** skal ned i selve kammeret under rengjøringsarbeidet ! Skulle en unormal situasjon oppstå der, må det være avsatt rikelig med plass for å få evakuert skadd personell (f.eks. en som ligger på en bære). Slikt plassbehov er vanskelig å innfri.

Det er nødvendig å etablere en godkjent tilkomst for slamsugebil og /eller tilkomst for tyngre utstyr.

Dersom en velger å lukke inne hele pumpesumpen inkl. pumpeanlegget, må en sette inn porter som er så stor at en får inn alt nødvendig driftsutstyr(slamsugebil)

På grunn av vedlikeholdspersonalets sikkerhet er det nødvendig å etablere nødvendig måleutstyr for gasser i sedimenteringskammeret. Det må settes krav til gode lysforhold, eventuelt store godkjente mantelhull, nødvendige plattformer med rekkverk, fastmonterte stiger med gelender m.m.

Ved tømning av sedimenteringskammeret er det behov for egen senke-/lensepumpe ved rengjøring. Det skal være mulighet for avstenging av innrenningsvannet under rengjøring og det er behov for en "by-pass" ledning som skal lede vekk alt innrenningsvann, slik at dette renner direkte inn i nødbassenget. Det er også nødvendig med spylevann under rengjøringsarbeidet.

### 3.4 Pumpekammer/-rom

Plassering av pumpekammeret ligger alltid tett inntil nødbassenget. I våre undersøiske tunneler er pumpekammeret ofte feil plassert. Overvannet fra sedimenteringskammeret renner gjerne ut like ved der inntaket til pumpekammeret er plassert. Dette er feil, vannet må tas inn lengts mulig vekk fra sedimenteringskammeret der hvor vannet er renest! ( Se bilde 7 )

Pumpeløsningen bestemmer størrelsen og utforming av pumpekammer/-rommet. Vi skiller mellom:

- dykkpumpe med både motor og pumpe neddykket
- halv våt med motor på det tørre og pumpe neddykket
- tørroppstilt pumpe plassert på repøet over nødbassenget(vannspeil)
- tørroppstilte pumper plassert på repø eller i eget kammer på nivå med bunn av nødbassenget.

Pumpekammer for dykkpumper er svært dype, i våre tunneler kan disse være ned til ca 10 meter dype. Bunnivået til disse pumpekamrene ligger normalt lavere enn selve bunnen av nødbassenget.

Pumperommet for tørroppstilte pumper skal være godt ventilert og oppvarmet.

### 3.5 Deponi av forurenset vann

Det bør anlegges et eget slamdeponi i eller i forbindelse med tunnelen. (som eksempel henvises til løsninger som er brukt i Sør-Trøndelag (se bilde 9) Forholdene må legges til rette for at det forurensete tunnelvaskevannet ikke renner ukontrollert ut i det fri, heller ikke inn i det offentlige kloakksystemet. Alternativt kan en inngå avtaler om levering til kommunale eller andre offentlige deponi (kan imidlertid resultere i både store avgifter og store transportkostnader).

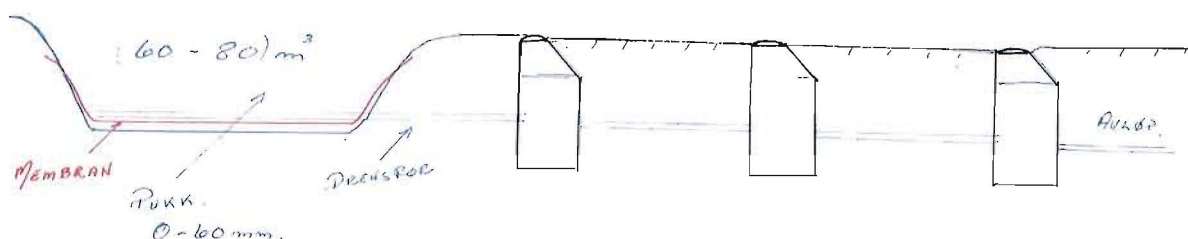
Internasjonal utvikling viser en økende vektlegging av vannforurensning fra vegtrafikken. Økt trafikkmengde, strengere miljøkrav og løsning av de store tradisjonelle utslippene (industri/kloakk), medfører at utslipp fra vegtrafikk er gitt økt oppmerksomhet.

I flere land må utslipp av overvann godkjennes på lik linje med avløpsvann fra bolig og industri. Norske og internasjonale undersøkelser av miljøgifter er i dag et høyt prioritert fagfelt hos norske miljømyndigheter og fagmiljøer.

I blant annet EU-landene utnyttes i økende grad eksisterende lovgiving for å dreie utviklingen i mer bærekraftig retning. Konkret skjer dette ved tiltak rettet mot forurensningskilden (mindre forurensende biler m.m.) og ved bruk av enkle metoder for rensing av overvann. Flere land har mange års erfaring med ulike rensesystemer.

I norsk sammenheng har vi inntil de siste årene ikke hatt tradisjon for å betrakte overvannet som forurenset. Overvannet har utelukkende representert et bortledningsproblem. Behovet for en mer miljømessig håndtering av overvannsutslipp er aktualisert de siste årene i forbindelse med gjennomføringen av flere større vegprosjekt i og rundt Oslo. Dette omfatter overvannsutslipp i både anleggs- og driftsfasen. Etatens egen satsing på miljø, krav om konsekvensutredning fra kommunenes og miljømyndighetenes side, har bidratt til denne utviklingen.

**Deponi/slamgrop med filter** (brukt i Sør Trøndelag ved Hell tunnelen og ved Heimdal vegstasjon)



Bilde 9

Lokalt ved den enkelte tunnel bør det utføres en arrondering av terrenget rundt tunnelåpningene slik at tilrenning av overflatevann blir minst mulig. Det må opprettes avskjærende avløp i begge ender av tunnelen. Dette for å lede størstedelen av tilsiget vekk. Dersom en må gjøre bruk av pumper for å ta vekk tilsiget fra tunnelåpningen, bør en begrense løftehøyden til pumpa til maksimum 10 meter. Dette avløp vil utover det å transportere bort overvann fra vegbanen og omliggende terrenget, også ta imot ulike forurensinger og fremmedlegemer. Pumpen må således kunne takle dette.

Overflatevann inn i tunnelen bør ikke overstige ca. 10 % av maksimal tilrenning. Dette gjelder særlig ved dype tunneler. Tilrenningen bør normalt stoppes der den oppstår og pumpes direkte ut, og ikke slippes ned til bunnen av tunnelen. For å gjennomføre dette er man avhengig av installasjon av flere mindre pumpeanlegg, men der det praktisk lar seg gjennomføre vil nok dette bli den totalt sett rimeligste løsning.

Med gjennomsnittlig tilsig av vann på 2 liter pr. sek. til tunnelens pumpekum blir behovet for magasinering ca. 173 m<sup>3</sup> i døgnet (uten drift av pumper). Dette vil kreve store arealer.

Imidlertid har det vist seg at innlekkasjen i undersjøiske tunneler varierer utrolig mye i den del av tunnelen som ligger under "land". En tenker da på innrenningsvann og "kalving" som kommer fra tunnelmunningen, samt lekkasjen som kommer fra munningen og ned i den del av tunnelen som er landfast.

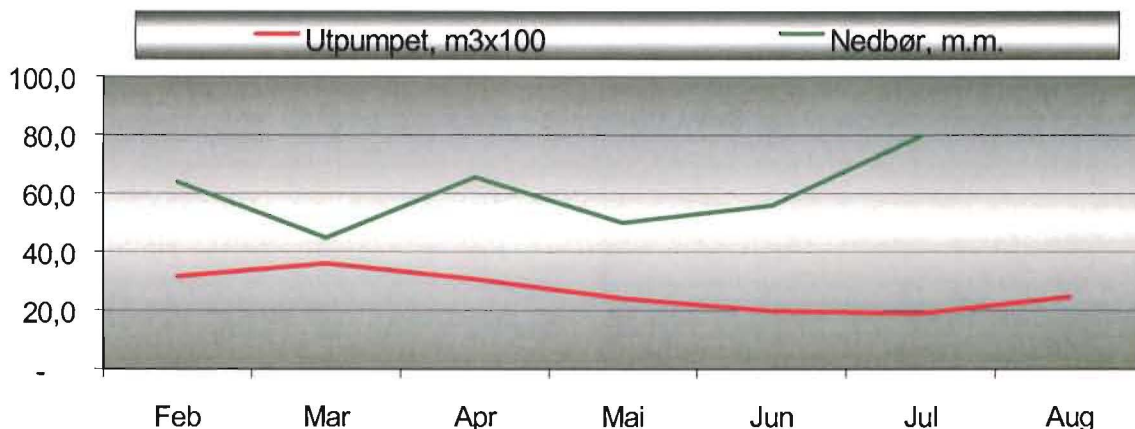


I Mastrafjordtunnelen i Rogaland er dette fulgt opp over en periode på et halvt år (febr/aug. 2001). Det kan dokumenteres en variasjon av innrenning på mellom 45-50%. Nedbørsmengden påvirker **ikke** innrenning og utpumpingsmengden!

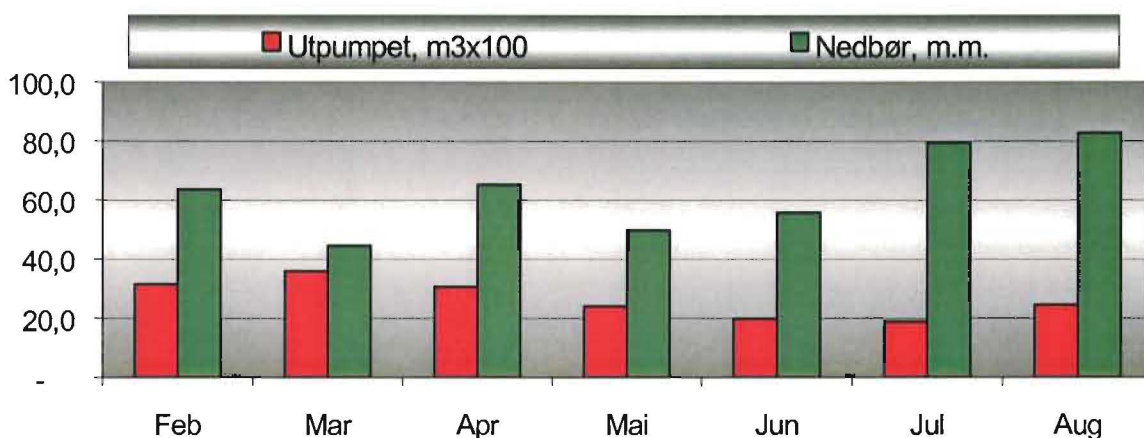
Årsaken til dette kan ha sammenheng med temperaturvariasjonen i opp- og nedkjøringssonene. Det refereres til at betong har et varmeledningstall i området 1,5 – 2,5 W/mK, mens det i gneisbergarter ligger i området 3,5 – 4,0 W/mK. I Mastrafjord er det gneis, og her vil vannførende mikrosprekker åpne og lukke seg etter temperaturvariasjonene. Den samme effekten er sett i Oslofjordtunnelen. I den 1 meter tykke uarmerte betongen åpner og lukker rissene seg alt etter temperaturen. Ved sommertid utvider betongen seg og mikrosprekkene lukker seg, mens om vinteren skjer det motsatte med påfølgende isdannelser.

Målinger av nedbør er utført av Meteorologisk institutt i Bergen og målestedet har vært Sæbø på Rennesøy der tunnelen er tilknyttet. I ettertid vil man forsøke å måle lufttemperatur og temperatur i fjellet ved tunnelmunningen samt i lavbrekket og holde dette opp mot bruk av ventilasjonsviftene. Nedbør og innlekkasjemengde i tunnelen er samordnet slik som grafen viser.  
(se bilde:10)

### Målt nedbør og utpumpet vannmengde i Mastrafjordtunnelen (2001)



	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug
Utpumpet, m³x100	31,5	35,9	30,6	24,0	19,7	18,8	24,5
Nedbør, m.m.	63,6	44,5	65,2	49,7	55,7	79,4	82,7



Bilde:10

#### Miljøhensyn

Design av pumpeanlegg og avløp til resipienten må falle inn så naturlig som mulig i tiliggende arealer.

#### Oljeutskilling

Dersom krav til utslipp i resipienten tilsier at det må tas hensyn til dette må anleggene tilrettelegges. Løsninger ved bruk av oljeutskillere, oljelenser, filtrering m.m. må vurderes.

#### Avløpsvann brukt i forbindelse med brannsløkkeanlegg.

Dersom en ny undersjøisk tunnel skal etableres bør en vurdere brannsikkerhet opp mot investeringskostnader for å legge til rette bruk av avløpsvannet. Det lar seg lett løse å bygge et kombinert pumpeanlegg som fjerner uønsket avløpsvann samtidig som det tilfredsstillere brannsikkerhetskrav. Ved valg av en slik løsning vil vannkapasiteten være svært stor.

**Vannhydranter til bruk i forbindelse med brannsikkerhet og uttak for vask og renhold av tunneler.**

Dersom det settes krav til to separate pumpeledninger fra nødbassenget opp til hvert av tunnelens utløp, vil en ha mulighet til å montere vannhydranter der behovet måtte være tilstede (med nødvendig trykkreduksjonsventiler). Disse vil også kunne benyttes til spyling av vegbane.

## 4 Innlekkasje, avløpsvann og korrosjonsproblemer

### 4.1 Generelt

Geologiske faktorer som har betydning for innlekkasje:

- Rene geologiske forhold som bergartstyper og løsmasseforhold på sjøbunnen.
- Forløpet av større bruddsoner i bergartene på sjøbunnen.
- Geometrien for den generelle oppsprekningen i bergartene.
- Lokale spenningsforhold.
- Tunnelens dybde under sjøbunnen.

#### Avløpsvann

Med avløpsvann menes den vannforekomst som blir tilført pumpeanlegget.

#### Avløpsvannets forekomst.

Avløpsvannet vil komme fra innlekkasje i tunnel, fra nedbør på vegbanen, kalving fra motorkjøretøyer og som drens vann.

### 4.2 Avløpsvannets beskaffenhet - korrosjon.

Avløpsvannet betraktes som forurenset og aggressivt. Vannets beskaffenhet kan være sterkt saltholdig. Sammen med CO<sub>2</sub> og andre kjemiske stoffer som kan oppstå i forbindelse med spesielle jord/bergarter kan dette gjøre vannet sterkt tærende på berørte flater.

### 4.3 Avløpsvannets korrosivitet - spesiell problematikk

Partikler i lekkasjevannet og fra vegtrafikken kan medføre stor slitasje på alle væskeberørte deler; pumpehjul, sliteringer, pumpehus, aksel/akselhylser, mekaniske aksler, tettinger/pakkbokser og lagre. Innholdet av salter, kalkforbindelser m.m. kan medføre belegg innvendig og utvendig på pumper og dykkede motorer.

Dette kan gi nedsatt pumpekapasitet og virkningsgrad samt redusert kjøling på dykkede motorer. Selv svak "overledning"/jordfeil i en dykket motor eller på det elektriske anlegget kan medføre ekstrem galvanisk korrosjon i et slikt miljø.

Korrosjon på pumpehjul vil forårsake vibrasjoner som igjen vil redusere levetiden på mekaniske akseltetninger og lager. Kombinasjonen av ovennevnte punkter kan medføre ekstreme negative driftsforhold med følgende dårlig sikkerhet på anlegget og høye driftskostnader. For å oppnå en fullstendig korrosjonsresistens mot det korrosive vannet bør en benytte høylegerte ståltyper.

#### 4.4 Avløpsvannets innhold av jernbakterien Gallionella

Jernbakterien Gallionella vokser gjerne i næringsfattig drens vann med tilnærmet fritt eller lavt oksygeninnhold. Når slikt vann kommer i kontakt med luft får bakterien gode vekstbetingelser, med masseoppblomstring og jernutfelling som resultat. (se bilde:11) Dette resulterer i et rustbrunt slam som kjerinetegner bakterieveksten. Bakterien har forårsaket slamproblemer i vannforsyningsnett hvor vannets jerninnhold var på 0,3-0,4 mg/l.



Bilde:11

Er vekstbetingelsene gode er det vanskelig å begrense bakterieveksten. Klarer man derimot å hindre at vannet kommer i kontakt med luft (oksygen) vil bakterien ikke få mulighet til videre vekst. En rask kjemisk oksidasjon av det to-verdige jernet vil også begrense bakterieveksten (ref.fra mikroskoperingsanalyse av vannprøver fra Valderøytunnelen som ble analysert av NIVA i 1988).

#### 4.5 Avløpsvannets mengde.

Det må legges stor vekt på at mengden av avløpsvann blir så liten som mulig. Begrunnelsen for dette er å minimalisere pumpeinstallasjonen, magasinvolument og bruk av tankbil under unormale driftsforhold.

#### 4.6 Korrosjon i luft

Lufta i pumpeinstallasjonen vil normalt være meget fuktig og den kan inneholde høye konsentrasjoner av svovel- og nitrogenoksyder. Fuktigheten kan ha svært lav pH og være meget korrosiv på stål og stållegeringer. Når fuktigheten kondenserer på metallflater vil det derfor lett kunne oppstå korrosjon. Det vil derfor være en stor fordel å ha maskin- og elektriske installasjoner i et eget rom med luftavfuktingsanlegg.

Dersom luften er tørr vil fuktigheten ikke kondensere på metallflater og det vil således ikke dannes verken korrosiv væske eller saltsjikt på metalloverflatene. Da tørroppstilte motorer trenger luft for kjøling vil det være behov for en betydelig ventilasjon når slike motorer er i drift. Når det blir varmt i motorrommet vil fuktighet lett kunne slå ned på de motorer som er i drift. Det er derfor vesentlig med luftavfuktning også når motoren er i drift, så fremt disse ikke anordnes i eget rom for hver motor.

## 5 Funksjonskrav, funksjonssikkerhet, funksjonskontroll og tekniske krav

### 5.1 Krav pumpeanlegg

Funksjonskrav er betegnelsen på de krav som settes til hvordan pumpeanlegget skal fungere og hvilken virkning systemet skal ha. Funksjonen skal alltid bli beskrevet i anbuds- og byggebeskrivelser, men det er like viktig å få frem forståelsen for funksjonskravet og få synliggjort dette ovenfor drift og vedlikeholdsorganisasjonen. Funksjonskravene skal skrives inn i de fremtidige D&V instruksjer.

#### 5.1.1 Pumper

I normal driftssituasjon er det bare lekkasjevann som renner inn til pumpekamrene. Kravet til et pumpeanlegg i en undersjøisk tunnel er å sikre at alt lekkasjevann blir pumpet ut.

Ved dimensjonering av pumpeanlegget skal en ta hensyn til lekkasjemengden. Pumpeanlegget skal ha en kapasitet som er tilstrekkelig til en hver tid. For å takle en unormal driftssituasjon skal pumpene ha en reservekapasitet på 50%. Det skal tilrettelegges plass for montering av en ekstra reservepumpe.

Likeledes skal forholdene legges til rette for en senere evaluering og fornying av pumpestasjonen. Normalt vil innlekkasjen avta (tettere tunnel). Størrelse og kapasitet vil bli vurdert og andre pumpealternativer kan bli valgt.

En pumpe skal alene i en nødsituasjon kunne dekke anleggets utpumpingskapasitet. Samlet skal pumpene takle en unormal driftssituasjon. Det skal stilles krav til at pumpene skal kunne gå kontinuerlig og være dimensjonert for direktestart.

Lokal utrustning skal sikre alternerende drift på pumpene (alternativt etter driftstid). Denne automatikken skal manuelt kunne overstyres fra et overordnet styre- og overvåkingssystem.

Pumpene skal starte og stoppe automatisk, styrt av nivået i pumpebassen. Ved høgt og lavt nivå (med fare for tørrløping), skal det gis alarm. Nivåmåler vil bli dublert med nivåvipper for kritisk høgt og lavt nivå. Pumpene skal ha separate start og mykstopper, men de skal kunne starte og stoppe samtidig. På grunn av store trykkforskjeller i pumpeledningen ved start og stopp skal det etableres en dempingsanordning. Pumpene skal fjernovervåkes og fjernstyres fra vaktentralen/vegstasjon ved hjelp av et PC-basert driftskontrollanlegg som for øvrig også betjener andre tekniske installasjoner i tunnelen (eventuelt andre anlegg).

Styringen av pumpene skjer med PLS fra automatikkskap. PLS- styringen muliggjør optimalisering av energikostnader for tunnelanlegg som helhet.

De elektriske installasjoner i pumpestasjonen skal plasseres/monteres så høgt som mulig ut ifra praktiske hensyn, samtidig som de skal være vedlikeholdsvennlig

plassert. Dette for at pumpene skal ikke settes ut av drift ved uforutsett overbelastning av nødbassenget.

#### OBS!

Det kan være ønskelig å legge begrensninger for når på døgnet pumpene skal være i drift ved bruk av store pumper med stor effekt, men med rimelig kort utpumpingstid. Størrelse og tilpassing av nødbassenget er avgjørende her. I en situasjon hvor en gjør bruk av dagpumper som pumper kontinuerlig er dette uaktuelt.

Eksempler på dette: (kap. sees i sammen med styring og overvåking!)

#### Tidsrommet 23.00 - 07.00:

Ingen restriksjoner dvs. at om nødvendig kan alle pumper gå samtidig.

#### Tidsrommet 07.00 - 23.00:

Ved 50 % last på ventilasjonsanlegget kan f.eks. 1 pumpe være i drift. Ved større last må pumpene stå. Dette innebærer at pumpeanlegget må dimensjoneres for at innlekket volum i 16 timer (07.00 - 23.00) pumpes ut innenfor en begrensning på 8 timer. (23.00 - 07.00) av 1 pumpe.

### 5.1.2 Pumpeledning

Det kreves pumpeledninger for utpumping av alt lekkasjevann i tunnelen. Pumpeledningene skal til enhver tid kunne sikre driften av pumpestasjonen ved å frigjøre denne med pumpevannet.

Kvaliteten på pumpeledningen skal være av en slik kvalitet at den kan tåle det korrosive vannet som er i tunnelen. I tillegg skal den være av en riktig trykkklasse. Pumpeledningen kan ha uttak for brannsikring og renhold (spyling). Om nødvendig må det etableres en dempingsanordning som kan ta opp den store trykkforskjellen som oppstår ved start og stopp av pumpene. Pumpeledningen skal være tilgjengelig for inspeksjon med videokamera.

### 5.1.3 Nødbasseng

Det skal settes krav til bassengets utforming og volum. Bassenget skal dimensjoneres etter tunnelens innlekkasje, pumpeløsning, tid og sikkerhetsnivå. Det er kun nødvendig med et "større" nødbasseng plassert i tunnelens lavbrekk. Plasseringen må ta hensyn til det fremtidige vedlikehold, slik at en lett kan komme til med tyngre vedlikeholdsutstyr (slamsuger m.m.). Innrenningsvannet skal ledes inn via drensledningen til slamkammer/sedimenteringskammer samt oljeutskiller, og videre inn til nødbassenget. Herfra skal vannet passere en stengeanordning før det renner inn til pumpekammeret.

#### 5.1.4 Sandfang/oljeutskiller/sedimenteringskammer

Disse skal plasseres mellom drensledning og innrenning til nødbasseng. Utløpet fra sandfang/sedimenteringskammer må legges lengst mulig vekk fra inntaket til pumpekammer slik at vi får renest mulig vann. Ved utforming av sedimenteringskammer må en ta hensyn til både kapasitet samt hvordan det ordinære renholdet blir utført. Sedimentert slam skal lett og praktisk bli fjernet !

Det må legges opp til et rektangulært sedimenteringskammer med oppdelte traktformete og seksjonerte bunnseksjoner for oppsamling av slam. Volumet må være stort mens vanngjennomrenningen skal være liten. Det bør legges opp til en innblandingseenhet for tilsetning av sedimenteringsstoffet jernklorid. Hver av de seksjonerte bunnseksjoner skal ha eget vertikalt oppstilt sugerør som kan tilkobles direkte til en slamsugebil.

I tillegg skal hver av seksjonene ha montert trykklufttrør, slik at en kan få løst opp det sedimenterte slammet ved å tilføre trykkluft. Til dette arbeid er det nødvendig å gjøre bruk av slamsugebil og det vil kreve rimelig god plass også på utsiden av pumpestasjonen (sving-/ryggeplass). Dersom det er montert port inn til selve pumpestasjonen må den være så stor at slamsugebilen lett kan komme inn.

Det må her tas hensyn til høyden på slamsugeren da denne som oftest oppgis med både transport- og arbeidshøyde (bruk av løftearm ).

Takhøyden over selve repo må være høgt nok, slik at slamsugeren kan arbeide fritt med løftearmen som er tilkoblet sugeslangen. Bilens avgasser skal stenges ute fra pumpestasjonen !

Over sedimenteringsbassenget kan det være kjørerepo med mantelhull. Størrelsen på disse skal være utformet slik at vedlikeholdspersonalet får god oversikt over arbeidet som pågår, samtidig som kommunikasjonen skal være god. I en akutt nødsituasjon må personellet lett kunne evakueres herfra.(eks. mulighet for å bringe ut skadet personell som må ligge på ei bære eller eventuelt må heises opp). Utforming skal for øvrig tilpasses det ordinære drift og vedlikehold(se forrige kapittel).

Det må etableres en by-pass ledning eller en stengeanordning av innlekkasjevannet. I taket over sedimenteringskammeret må det etableres innfesting/skinne for løfteutstyr til bruk ved arbeid (slamsuging) og i akutte nødsituasjoner. Det skal etableres nødvendig gangbru/platting, godkjente stiger og lys i sedimenteringskammeret. Det bør etableres uttak for spylevann ved slamkammer samt til rengjøring/spyling av driftspersonell etter behov.

#### 5.1.5 Pumpekammer/-rom

Inntaket til pumpekammer skal ligge lengst mulig vekk fra utløp fra slamkammer. Størrelse og utforming skal tilpasses valgt pumpeanlegg som kan være dykkpumpe med motor og neddykket pumpe, halvvtåt oppstilt pumpe med tørroppstilt motor og neddykket pumpe, tørroppstilt pumpe plassert på repo over nødbassenget eller tørroppstilt pumpe plassert i eget kammer på nivå med nødbassenget.



Alle elektriske installasjoner skal plasseres så høgt som praktisk mulig og ut i fra generell vedlikeholdsvennlighet. Generelt skal styreskap være plassert i ventilerte og oppvarmete rom.

I en unormal driftssituasjon må tunnelens dreneringen klare å takle all innrenning. Det samme må en forlange av både sedimenteringskammer og det øvrige pumpeanlegget (våre pumpeanlegg er normalt ikke bygget for forurenset vann !). Ved vask må forholdene legges til rette slik at mest mulig av vaskevannet blir samlet opp via en feiemaskin for videre leveranse til godkjent deponi ! Det må legges vekt på at det oppsamlete vaskevannet ikke under noen omstendigheter føres tilbake via drenering og ned i nødbassenget !

Ved tunnelvask må dreneringen kunne ta i mot store mengder med forurenset vann og slam. Ved vask for eksempel i Byfjordtunnelen (Rogaland) forbrukes totalt ca.1.110.000 liter vann, eller rundt regnet ca.20.000 liter vann pr. time. Vaskevannet kommer i tillegg til det ordinære innlekkasjevannet. For å takle dette må det etableres en meget god sedimenteringsanordning. For ytterligere å forbedre sedimenteringskapasiteten bør det vurderes å tilsette jernklorider.

## 5.2 Funksjonssikkerhet

Funksjonssikkerhet er et mål på hvor stor sikkerhet det er innebygget i og rundt pumpeanlegget for å holde funksjonen i gang. Sagt på en annen måte så kan det også være et mål på hvor mye som skal tåles før det slutter å fungere tilfredsstillende ut fra de fastlagte funksjonskrav. Funksjonssikkerhet må bygges inn i anlegget fra starten av, og det må tas hånd om i plan- designfasen der slike forhold blir bestemt. Det er viktig at en her får med alle forutsetningene. Det er også viktig at forutsetningene videreføres i byggefasen, og til slutt at en er klar over disse forutsetningene i driftsfasen.

Funksjonssikkerheten vurderes gjennom å finne svaret på hva som skjer hvis en konkret hendelse oppstår.

### 5.3 Funksjonssikkerhet - uønskede hendelser i forbindelse med pumpeanlegg

#### 5.3.1 Normal driftssituasjon

Funksjonskrav:

Kravet til et pumpeanlegg er å sikre at alt innlekkasjevann blir pumpet ut. Dette skal skje på en slik måte at det ikke oppstår fare for vegfarende, liv og helse

#### 5.3.2 Unormal driftssituasjon: (5 ulike scenarier)

##### 5.3.2.1 Svikt i beskrivelse, prosjektering, vedtak og utførelse av pumpeanlegg:

Tiltak:

Prosjektansvarlig skal være markedsorientert og faglig oppdatert, tilsvarende tidligere prosjekt skal evalueres, funksjonskrav skal settes, velge riktige pumpeløsninger, dokumentere levetidskostnader og enøk, samt sette krav til kvalitet og trykkklasse.

Konsekvenser:

Mangelfull evaluering av tidligere anlegg gir ofte dårlige, kostbare pumpeanlegg hvor spesialkomponenter blir brukt, noe som resulterer i nedsatt levetid og lange driftsavbrekk på anleggene

##### 5.3.2.2 Svikt i forsyning, fordelinger m.m.:

Tiltak:

Utføre internkontroll for å forebygge og unngå svikt (ref.kap.5,3 og kap.8). Nødprosedyre vedrørende energiforsyningen skal være kjent, beredskapsplan med tiltak for å begrense utfallstid skal være utarbeidet. Det tekniske anlegget (nøddelen) skal sikres med back-up. Gjenopprette normal tunneldrift.

Konsekvenser:

Utfall av alle tekniske installasjoner, også begrenset utfall kan resultere i stenging av tunnel.

##### 5.3.2.3 Svikt i styring og overvåking:

Tiltak:

Utføre internkontroll for å forebygge og unngå svikt.(ref.kap.5,3 og kap.8). Tekniske anlegg må om nødvendig kunne kjøres manuelt. Ved utfall må manuell overvåking vurderes for å gjenopprette tunneldriften.

Konsekvenser:

Utfall av alle tekniske installasjoner resulterer i stengt tunnel

#### 5.3.2.4 Havari av pumpene:

##### Tiltak:

Utføre internkontroll for å forebygge og unngå svikt (ref. kap.5,3 og kap.8).  
Krav til 50 % overkapasitet på reservepumpe i følge antatt innlekkasje.  
Leverandøravtale på levering av reservepumpe/nødvendige deler.

##### Konsekvenser:

Ved begrenset eller ingen utpumping vil vannet stige i nødbassenget.  
Svekket sikkerhet, fare for stenging av tunnelen. Kostbar reparasjon av pumpe(ne),  
lang leveringstid på spesialdeler

#### 5.3.2.5 Havari av mykstarter:

##### Tiltak:

Utføre internkontroll for å forebygge og unngå svikt.(ref.kap.5,3 og kap.8). Krav til reparasjon og utbedring innen 48 timer.  
Separate mykstartere for hver av pumpene, som skal kunne kjøres enkeltvis og samlet. Leverandøravtale om deleleveranse.

##### Konsekvenser:

Begrenset eller ingen utpumping; vannet stiger i nødbassenget (en eller flere pumper står). Svekket sikkerhet, fare for stenging av tunnelen

#### 5.3.3 Pumpekammer /-rom

### **Normal driftssituasjon**

##### Funksjonskrav:

Generelt skal størrelse og utforming tilpasses det valgte pumpeanlegg.

1. Dykkpumper skal ha tilstrekkelig dybde og god innfesting. Pumperommet skal plasseres inntil nødbassenget og mellom disse skal det være en stengeanordning. Det skal være krav til god tilkomstveg ned i pumpekammer, nødvendige plattinger og godt arbeidslys for driftspersonalet.
2. Tørroppstilt pumpe plassert i eget kammer på nivå under nødbassenget. Pumpeinntaket skal alltid stå under trykk. Det skal være en stengeanordning mellom nødbasseng og pumpe. For å unngå varmgang på motorer skal pumpeinstallasjonen ha tilstrekkelig god ventilasjon/kjøling. Det skal etableres en ekstra dreneringspumpe som i en unormal driftssituasjon skal pumpe eventuelt overvann tilbake til nødbassenget
3. Tørroppstilt pumpe plassert på repo skal ha en stengeanordning / tilbakeslagsventil for å ikke slippe vannet tilbake fra pumpe. For å unngå varmgang av motorer skal rommet ha tilstrekkelig god ventilasjon. Alle elektriske

installasjoner skal plasseres så høgt som mulig ut fra sunn fornuft og vedlikeholdsvennlighet.

Halvtørroppstilte pumpeanlegg er ikke å anbefale i undersjøiske tunneler!

### **Unormal driftssituasjon: (2 scenarier)**

#### 5.3.3.1 Overvann i pumperom: (tørroppstilte pumper)

##### Tiltak:

Utføre internkontroll for å forebygge og unngå svikt.(ref.kap.5,3 og kap.8). Tørroppstilt pumpe plasseres i eget kammer på nivå under nødbassenget. Pumpeinntaket skal alltid stå under trykk. Det skal være en stengeanordning mellom nød basseng og pumpe. For å unngå varmgang på motorer skal pumpestasjonen ha tilstrekkelig god ventilasjon/kjøling.

Det skal etableres en ekstra dreneringspumpe, som i en unormal driftssituasjon skal pumpe eventuelt overvann tilbake til nødbassenget

##### Konsekvenser:

Begrenset eller ingen utpumping; vannet stiger i nødbassenget. Svekket sikkerhet, fare for stenging av tunnelen. Kostbar reparasjon av motor(er) og elektrisk installasjon, lang leveringstid av (spesial)delene.

#### 5.3.3.2 Uttørket pumpekammer: (nedsenkbare dykkpumper)

##### Tiltak:

Utføre internkontroll for å forebygge og unngå svikt.(ref.kap.5,3 og kap.8). Vannet skal komme uhindret inn fra nødbasseng gjennom en stengeanordning, og videre til pumpekammer. Vannet skal være fritt for kjemikalier og smuss!

##### Konsekvenser

Fare for tørrløping av pumpene, begrenset eller ingen utpumping, vannet stiger i nødbassenget. Svekket sikkerhet, fare for stenging av tunnelen.

#### 5.3.4 Pumpeledning m/utstyr:

##### **Normal drifts situasjon**

##### **Funksjonskrav:**

Pumpeledninger skal sikre at alt innlekkasjevann i tunnelen blir "fraktet" fra pumpestasjonen til gitt utløpssted.

##### **Unormal driftssituasjon: ( 3 scenarier)**

##### 5.3.4.1 Havari av pumpeledning:

##### Tiltak:

Det skal etableres to separate pumpeledninger. Hver av ledningene skal ha kapasitet nok til å ta unna det utpumpede vannet. Dersom det er behov kan en skille rent og forurenset vann i de to pumpeledningene. Ved bruk av en pumpeledning kreves det en organisert god beredskap av brannvesen, sivilforsvar m.m.

##### Konsekvenser:

Stopp i all utpumping fra nødbassenget. Vannet i bassenget stiger og tunnelen vil bli stengt før vannet når vegbanen.

##### 5.3.4.2 Havari vindkjele/trykktank

##### Tiltak:

Krav til montering, plassering og riktig høydeforskjell mellom pumpeledning og vindkjele. Unngå rettvinklede bend.

##### Konsekvenser:

Store trykkbelastinger på pumpeledning og armatur som kan føre til brudd/sprekker. Ved brudd, stopp av all utpumping av innlekkasjevann. Feil plassering og bruk av rettvinklede bend kan skape uønskede luftlommer. Vindkjelen virker ikke etter sin hensikt !

##### 5.3.4.3 Ventiler/tilbakeslagsventiler:

##### Tiltak:

Tilbakeslagsventilen skal sikre at ikke vannet i pumpeanlegget kan returnere tilbake til pumpa. Krav til riktig kvalitet, riktig trykkklasse og god stengeanordning. Unngå å montere innspenningsventiler som ligger "fritt" mellom to flenser. Det skal kun brukes ventiler med flens (endeflens).

**Konsekvenser:**

Defekt tilbakeslagventil kan gi havari av pumpemotor (viklinger). Vannet strømmer tilbake fra pumpeledningen og inn i pumpen. Dette kan gi turbinvirkning i motsatt rotasjonsretning av motordriften. Pumpeledningen vil bli tømt for vann.

## 5.3.5 Drenering/ lekkasjevann

**Normal driftssituasjon****Funksjons krav:**

Dreneringen skal samle opp alt innlekkasjevann langs tunnelen og fra vegbane (kalving) oppsamles/ledes ned til sedimenteringskammer og nødbasseng etter godkjente krav og forskrifter. Uønskede gjenstander og større partikler skal samles opp i drenskummene.

**Unormal driftssituasjon: (2 scenarier)**

## 5.3.5.1 Svikt i drensledning:

**Tiltak:**

Intern kontroll av drensledningen etter gitte tidsintervaller.

**Konsekvenser**

Drensvannet renner uhindret inn i vegbanen. Vi får utvasking samtidig som forurenset vann renner uhindret inn i nødbassenget. Sedimenteringskammeret blir satt ut av funksjon, og vi får unormalt mye forurensete partikler inn i både nødbasseng og i pumpene.

## 5.3.5.2 Svikt i slamkummer:

**Tiltak:**

Internkontroll og slamsuging av kummene skal skje etter gitte tidsintervaller eller etter behov.

**Konsekvenser**

Drensvannet renner uhindret inn i sedimenteringskammeret.

## 5.3.6 Slam/sedimenteringskammer:

**Normal driftssituasjon****Funksjonskrav:**

Oppfylle krav om utslippstillatelser, hindre miljøfarlige stoffer slik at disse ikke kommer ut i naturen.

**Unormal driftssituasjon:**

## 5.3.6.1 Havari av oljeutskiller

Tiltak:

Sikre at oljeslam ikke renner uhindret ut i naturen.

Konsekvenser:

Store oljeutslipp kan forurense vann og jordsmonn.

## 5.3.6.2 Svikt i slam/sedimenteringskammer

Tiltak:

Kammeret skal fungere under alle driftssituasjoner (også ved unormal driftssituasjon som for eksempel tunnelvask). Om nødvendig skal det monteres en ekstra anordning for tilsetning av sedimenteringsstoffer. Det skal legges til rette for enkelt vedlikehold.

Konsekvenser:

Miljøfarlig slam kommer uhindret ut i naturen

## 5.3.6.3 Svikt i oppsamlingstank

Tiltak:

Riktig kvalitet og volum på oppsamlingstank.

Konsekvenser:

Miljøfarlig utslipp kan renne uhindret ut i naturen

## 5.3.7 Nødbasseng

**Normal driftssituasjon****Funksjonskrav:**

Dimensjonering og utforming av nødbassenget skal sikre at oppsamlet lekkasjevann blir ivaretatt på en sikkerhetsmessig forsvarlig måte både i forhold til innlekkasje og nødvendig utpumping.

**Unormal driftssituasjon**

### 5.3.7.1 Uønsket slamvann:

#### Tiltak:

Oppfylle krav til utslippstillatelse og leveringstid på pumpeanlegget. Innrenningsvannet skal ledes inn via drensledningen til sedimenteringskammer og videre inn til nødbasseng.

#### Konsekvenser:

Når slamvann renner uhindret inn i nødbassenget får en unødige kostnader til renhold. Dersom bassenget ikke blir renholdt vil slam m.m. trekke videre inn i pumpene.

I verste fall kan vi få havari på pumpene, vannet stiger og tunnelen må stenges !

### **OBS !!!**

Se ellers vedlagte samleskjema for funksjonskrav og sikkerhet på skisse !

## **5.4 Funksjonskontroll**

### 5.4.1 Generelt

Det må utføres en omfattende funksjonskontroll når tunnelen skal overtas av driftsorganisasjonen. Funksjonskravene som er fastsatt i designfasen skal prøves og dokumenteres. Dette er en kontroll som utføres for å se om pumpeanlegget har den ønskede funksjon. Funksjonen kontrolleres ved å prøve komponentene ute i tunnelen. Virker de, og styres de slik de skal, når signalene fram? Slike kontroller må også utføres systematisk i drift og vedlikeholdsfasen etter oppsatte rutiner, som oftest basert på kontroll etter tidsintervall. Kontrollen kan utføres etter driftstid eller kalendertid og vil være et ledd i det forebyggende systematiske vedlikeholdet.

Ved en effektiv kontroll kan små feil bli rettet før de forårsaker alvorlige driftsbrudd. Det er av stor betydning for både driftssikkerheten og utstyrets levetid at alle komponenter holdes fri for rust og tæring, og at all overflatebehandling vedlikeholdes. Drift og vedlikeholdsrutinene må utarbeides etter leverandørens anbefalinger opp mot det enkelte pumpeanlegg. Når en utfører den systematiske kontrollen av pumpeanlegget bør en være oppmerksom på unormal temperatur, lyd og lukt som kan skyldes uregelmessigheter som, hvis de ikke rettes, kan forårsake driftsbrudd. Etter et strømbrydd må det foretas kontroll av hele anlegget ! Pumpeanleggets funksjonskrav skal alltid være beskrevet i drift og vedlikeholdsinstruksen. (se punkt om drift og vedlikehold kap.8.0)

### 5.4.2 Pumper

Undervannsmotorer trenger ikke vedlikehold. Kontrollen skal kun omfatte måling av isolasjonsmotstand ( en gang pr. måned) og kontroll av strømforbruk. De elektriske apparatene må kontrolleres av fagmann minst en gang pr. år med tanke på funksjonsdyktighet. Når man tar ut motoren er det nødvendig å drenere motoren



bare dersom det er fare for frost. Før man tar i bruk motoren på nytt fylles og sjekkes den i henhold til fabrikkens spesifikasjoner. Ved alle forespørsler må alle typedata oppgis. (viser til driftsinstruks)

#### 5.4.3 Rør og ventiler etc.

Rør, ventiler og trykktanker kontrolleres en gang pr. år mot korrosjon. (viser til driftsinstruks)

#### 5.4.4 Tekniske krav

Pumpene er sentrale i tunnelens dreneringssystem og skal derfor pumpe store vannmengder mot høyt trykk. Pumpemedium er sjøvann som i tillegg vil være surt pga. nitrøse gasser fra tunnellufta. Vannet vil også tidvis kunne inneholde rengjøringsmidler fra nedspyling av tunnelen. Pumpene med tilhørende strømledninger skal være bestandige mot denne væsken. Pumpene må derfor være i bronseutførelse, dvs. at alle deler som er i berøring med væsken, skal være i en bronselegering som er bestandig mot pumpemediet. Øvrige deler skal i størst mulig grad være utført i syrefast stål.

##### 5.4.4.1 Pumpetype:

###### 1. Vertikaloppstilt nedsenkbar dykkpumpe:

Hver pumpe skal leveres med myk tettende tilbakeslagsventil og sil på inntaket og strømningsmantel. Det stilles krav til at pumpemotoren under drift ikke skal ha høyere temperatur enn ca. 65°C. For å unngå at vannet står statisk stille rundt pumpen skal det monteres på en ytre hylse utenfor selve pumpemotoren, men dog med en god klaring til pumpemotor. Denne skal sikre pumpemotoren nødvendig kjøling ved at vannet først blir sugd langs motorveggen for så å bli sugd inn i selve pumpe. For å eliminere trykkstøt mest mulig utstyres pumpeinstallasjonen med mykstartere/stoppere, eventuelt styrte ventiler og vindkjele.

###### 2. Vertikaloppstilt halvtørr pumpe: (m/nedsenkbar dykket pumpe og motor på det tørre)

Denne anbefales ikke og må heller ikke bli brukt i undersjøiske tunneler !

###### 3. Tørroppstilt pumpe plassert på repo over nødbassenget:

Tørroppstilt pumpe plassert over pumpesump skal alltid ha bunnventil. Pumper med stor kapasitet og kort utpumpingstid bør utstyres med svinghjul. Dette vil være den beste løsning til å eliminere trykkstøt/demping. For pumper som går kontinuerlig i døgndrift er dette ikke nødvendig! Pumpene skal utstyres med mykstarter/stopper og styrte ventiler.

#### 4. Tørroppstilt pumpe i lukket rom

Tørroppstilt pumpe plassert i et lukket rom krever tilstrekkelig god ventilasjon. Pumpene skal plasseres i nivå med bunn av nødbassenget. For pumper med stor kapasitet og kort utpumpingstid, må disse utstyres med svinghjul. Dette er den beste løsning til å eliminere trykkstøt/demping. For pumper som går kontinuerlig i døgndrift er dette ikke nødvendig!

Ved valg av denne pumpeløsning kreves en ekstra dreneringspumpe som kan pumpe ut lekkasjevann fra pumperommet tilbake til nødbassenget dersom en unormal driftssituasjon oppstår. Pumpene skal utstyres med mykstarter /-stopper og styrte ventiler.

#### 5.4.4.2 Materialkrav på pumper

##### Tørroppstilte pumper:

Blandingen av sjøvann og ferskvann/brakkvann er ofte svært korrosivt. Det viser seg at valg av materialkvalitet på pumpeanlegget inkl. rør kan være komplisert og man bør derfor legge seg på en høy kvalitet.

Det anbefales derfor følgende:

- rør i rustfritt/syrefast stål
- tilbakeslagsventiler i rustfritt/syrefast stål
- ventiler i rustfritt/syrefast stål
- festematerialer i rustfritt/syrefast stål
- elektromotorer i marine standard

##### Neddykkede pumper:

De oppgitte materialkvaliteter som er skissert nedenfor er tatt ut fra driftserfaringer fra flere anlegg og bør danne grunnlag som et minimumskrav.

##### **Dykkpumper:**

Pumpehus:	Zinkfri bronse eller tilsvarende (støpte deler)
Pumpeaksel:	Syrefast 1.4462 eller tilsvarende
Impeller:	Zinkfri bronse eller tilsvarende (støpte deler)

##### **Dykkmotor:**

Motorhus:	Syrefast stål AISI 316
Akseltetning:	Mekanisk akseltetning
Overvåking:	Pt-element/sensor i viklingene
Kjøling:	Ved gjennomstrøm. mindre enn 0,15 m/s skal det monteres kjølekappe på pumper/motor.

**Tilbakeslagsventil:**

- Hus:** Normalt leveres pumper med innebygd ventil av typen sete m/fjær.  
Evt. fjærbelastet kuleventil. Driftsmessig kan denne tas bort og erstattes med klaffventil m/hus som monteres over pumpen i rørnett. Bør leveres i kvalitet syrefast eller bronse.
- Sete:** Syrefast eller bronse.

**Stengeventil:**

- Hus:** Dreiespjeld eller sluseventiler i syrefast materiale.
- Spindel:** Syrefast
- Sete:** Gummiert EPDM
- Bolter:** Syrefast
- Motorpådrag:** Type AUMA både elektrisk/pneumatisk
- Tiltak mot støt:** Dersom en skal sikre drift ved eventuelt nettbortfall benyttes vindkjel med membran eller kjel med kompressor og innvendig belagt med epoxy. Dersom en ser bort fra nettbortfall kan myk starter benyttes.

**Rør/flenser:**

Driftserfaring tilsier at det bør benyttes rørkvalitet av typen SMO eller av GUP materiale.  
Generelt bør en bruke plast i størst mulig grad der trykklassen ikke krever noe mer.

**Bolter:**

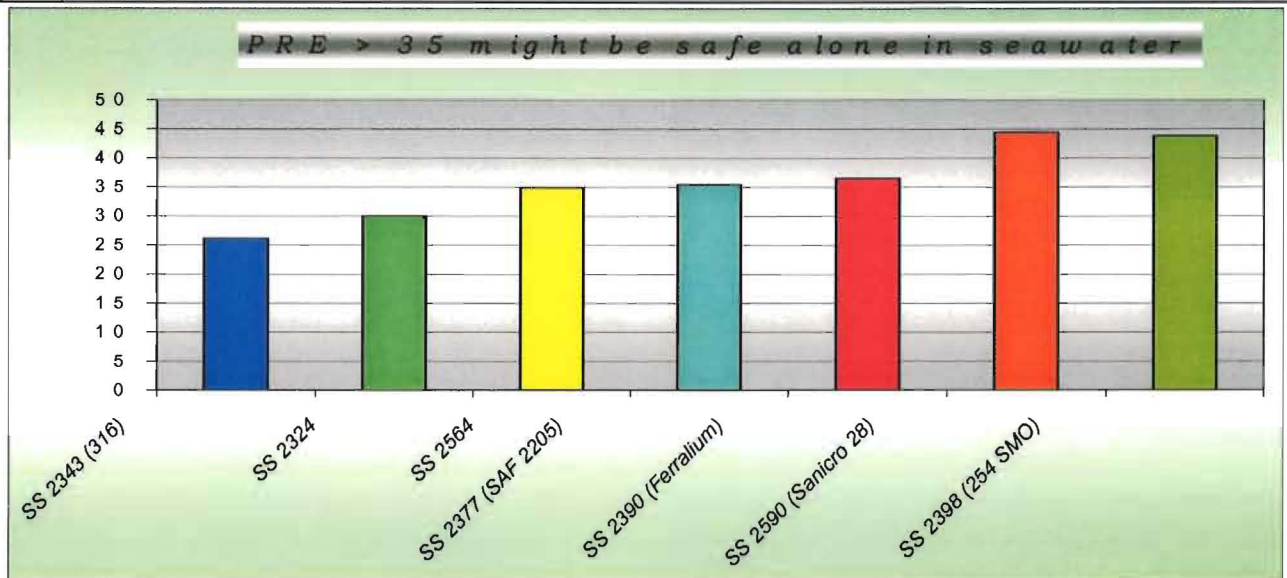
Syrefast stål AISI 316/SS2343

**OBS !**

Stålkvaliteter som er henviset til i denne rapporten er antatt som en nedre grense for kvalitetskrav. For å få en meget god stålkvalitet, for eksempel SS 2390 (Ferrallium) vil en anta at investeringskostnaden øker med ca.20-30 % eller mer. Se for øvrig skissen på material kvalitet, bilde12 ( Betegnelsen: Cr = Crom, Mo = Molyden, N = Nitrogen)

<i>Pitting Resistance Equivalent</i>				
$PRE = \% Cr + (3,3 * \% Mo) + (16 * \% N)$				
	% Cr	% Mo	% N	PRE
SS 2343 (316)	17,5	2,6	0	26,1
SS 2324	25	1,5	0	30
SS 2564	20	4,5	0	34,9
SS 2377 (SAF 2205)	22	3,2	0,18	35,4
SS 2390 (Ferrallium)	25	2,8	0,14	36,5
SS 2590 (Sanicro 28)	29	4,0	0,14	44,4
SS 2398 (254 SMO)	20	6,25	0,2	43,8

Eks. på stålkvalitet:  $SS\ 2377 = 22 + (3,3 \times 3,2) + (16 \times 0,18) = 35,44$



Ref. ABSPUMPS

Bilde 12

## 5.4.4.3 Krav til pumpeledning:

Av sikkerhetsmessige grunner anbefales det å bruke to pumpeledninger med samme kapasitet. Ved bruk av kun en ledning og dersom det oppstår brudd i denne, så settes hele pumpeanlegget ut av funksjon. Det oppstår en unormal driftssituasjon og i verste fall må tunnelen stenges. Ved bruk av to separate pumpeledninger kan det om nødvendig skilles mellom rent og forurenset vann. Alle kummer må være lett tilgjengelig for tømning og inspeksjon.

#### 5.4.4.4 Materialkvalitet på rør og armaturer:

Alle rør , rørdeler og all armatur skal være i syrefast stål. Godstykkelse på rør og deler min. 5mm. Deler som ikke kan leveres i dette materiale i ønsket trykkklasse (sluseventiler, tilbakeslagsventiler) må være spesialbestilt og beskyttet på annen måte, for eksempel med offeranoder.

Dersom varmforsinking er benyttet på mindre korrosjonsutsatte deler (deler i kontakt med luft), skal sinkbeleggtykkelsen være min. 400-450 g/m<sup>2</sup>. Disse delene skal dessuten ha minimum følgende overflatebehandling, innvendig og utvendig:

- Primer: Tykkelse min. 60 my
- Overflate: Tykkelse 250-350 my, av epoxybasert maling/pulver, påført ved sprøyting og forvarming.

Utstyret skal tilfredsstillе Arbeidstilsynets krav til sikkerhet og arbeidsmiljø. Elektrisk utstyr skal være godkjent av en godkjenningensinstans som er sertifisert i EØS-området.

#### 5.4.4.5 Alternativ korrosjonsbeskyttelse av pumper

Dagens metode er i hovedsak knyttet til offeranoder. Dette vil i prinsippet si at man monterer sinkanoder på utstyr som skal beskyttes. Erfaring har vist at metoden ikke alltid er like bra, en tenker da spesielt på inspeksjoner, utskiftninger og økonomi.

Behov for alternativer i beslektede anlegg har gjort at det er utviklet og forbedret teknologi og utstyr for å løse denne type problem. Teknologien er basert på katodisk beskyttelse av pumper og utstyr som er montert i pumpeumpene.

I prinsippet vil de korrosjonsutsatte komponenter tilføres en konstant spenning hvor påtrykket likespenning reguleres inn på en magnetittanode til utstyret, enten ved en manuell eller automatisk løsning. Det vil i prinsippet si at det genereres en motstrøm slik at det galvaniske strømmen blir utlignet til null. Denne metoden vil stoppe ionevandringen med etterfølgende korrosjonsskader.

På pumpeanlegg som har stått i direkte tilknytting til sjøvann har en kunnet registrere en tilnærmet galvanisering på pumper og andre komponenter. Til et anlegg med tre pumper vil en slik løsning anslagsvis koste ca. kr.25-30.000,- i (2001-kr.)

#### 5.4.4.6 Tiltak mot trykkstøt ved bruk av nedsenkbare dykkpumper:

Det forutsettes at det skal leveres vindkjele ved bruk av dykkpumper som et tiltak for å dempe trykkstøt. Denne skal være sjøvannsbestandig, og være sikret mot utsuging av luft (gummimembran), samtidig som den skal tilfredsstillе forskriftene

om trykkbeholdere. Vindkjeler skal kunne forkomprimeres med intern gass (f.eks. nitrogengass). Hver vindkjele skal være utstyrt med oljefyllt manometer og avlesning for innvendig nivå.

Anbyder skal dimensjonere vindkjelene med tilhørende rør og ventiler for de trykkstøt som kan oppstå, både ved normal drift (myk start og stopp) og ved unormal drift (direkte start og stopp, strømbrudd), med 1, 2 og 3 pumper i drift.

Ved bruk av halv våte eller tørroppstilte pumper med svinghjul er det ikke behov for vindkjele. Det er det heller ikke der hvor en gjør bruk av små døgnpumper som går kontinuerlig. Dokumentasjon skal leveres med anbudet.

#### 5.4.4.7 Krav til utførelse

Det må ikke oppstå svulster på rørets innside pga. sveiseskjøter som nedsetter ledningens kapasitet vesentlig. Dette gjelder både de rørlengder som leveres til anlegget og for skjøtingen på anlegget (sammensveising). Ekvivalent sandruhet på innvendig rørvegg skal ikke være større enn 0,2 mm. Sveisene skal ha gyldig sertifikater for sveising av syrefast stål. Sveisingen skal utføres ved TIG sveising.

Denne type sveising benytter ikke forbrukbare wolframelektroder. Elektroden, lysbuen og området som omgir det smeltede sveisebadet er beskyttet fra atmosfæren ved hjelp av en inert gass. TIG sveisingen gir en ren sveis med høy kvalitet.

Ved at slagg ikke blir produsert er muligheten for slagginnslutninger i sveiseavsettet eliminert og ferdig sveis krever ingen rensing. Eventuelt sveiseslagg, glødeskall ol. skal fjernes ved beising, sliping el. blåsing. Behandling som fjerner oksydfilmen skal etterfølges. 50 % av sveisene som utføres på anlegget på eller i forbindelse med pumpeledning skal kontrolleres for feil med røntgen eller annen tilsvarende ikkedestruktiv kontroll (NDT - kontroll).

Kontrollerte sveiser godkjennes av Norske Veritas (DNV) el. tilsvarende anerkjent, uavhengig kontrollinstans. Dessuten foretas minst to destruktive tester på prøvestykker som er sveist sammen på anlegget. Røntgen bedømmes iht. International Institute of Welding, Collection of Reference of Welds in Steel. Karakter 3 eller bedre skal oppnås, ufullstendig gjennomsvøising (spalter) godtas ikke.

Dersom sveisen ikke godkjennes skal sveisen kontrolleres på nytt etter at den er utbedret. Også den neste sveisen på ledningen skal kontrolleres, uten tillegg i pris.

#### 5.4.4.8 Dokumentasjon

Ved utførelse vil det bli krevd dokumentasjon av sveisen, både fra fabrikk og i følge sveising på stedet.

#### **Grensesnitt mellom entrepris på pumpestasjon opp mot tilstøtende entrepriser.**

Følgende inngår i pumpestasjonsentreprise:

- Pumper og motorer med tilhørende strømkabler
- Elektrisk tavleutrustning med softstartere og kontaktorer etc.
- Styreenhet med start- og stoppfunksjon og nivågivere
- Strømforsyning og styringsutrustning for pumper med servicebrytere hvor strømkabler fra pumpene tilkobles
- Alle innvendige rørforbindelser
- Rør, armatur, rørdeler og forankringer
- Tiltak for demping av trykkstøt med nødvendig kompressor etc.

Andre tilstøtende entrepriser:

- Pumpeledning (leveres av pumpeleverandør eller hovedentreprenør).
- Hovedtunnel, sedimenteringskammer og nød basseng (hovedentreprenør) ( se øvrige grensesnitt utenfor pumpestasjon som er vist med tegning m.m.)

#### **Serviceavtale**

Anbyder må kunne tilby serviceavtale. Serviceavtalen inngår ikke i anbudssummen, men vil bli tillagt vekt ved sammenligningen av anbudene. Nedenfor (eller i tilbudsbrevet) kan det gjøres rede for hvilken serviceavtale som kan tilbys. Henviser forøvrig til punkt om "Drift og Vedlikehold".

#### **Ytelser utover leveransen**

Leverandøren av pumper skal dimensjonere pumper og tiltak mot trykkstøt (vindkjeler) og levere pumpe-/ledningskarakteristikk og øvrige tekniske data. Det skal kontrolleres for trykkstøt, både for pumpestart, pumpestopp og ved unormal stopp av pumpene (eks. strømbrudd). Komplette arbeidstegninger og monteringsanvisninger skal leveres.

## **Montering**

Byggherren ved tunnelentreprenøren som har utført sprengning og utgraving av pumpekammer, reservekammer, støping av pumpeump/-kammer, betongvegger, dekker kostnader og sørger for de nødvendige utsparinger (gjelder nyanlegg). Anbyderen skal utføre dimensjonering, støping e.l. montering av konsoll og forankringer, og foreta gjenstøping av utsparinger. Når dette arbeid er utført er det viktig at den bygningsmessige konstruksjonen blir skikkelig rengjort før montering av utstyr. Anbyderen skal også koble til pumpeledning utenfor stasjonen og foreta all intern montering av pumper, rør, ventiler og alle øvrige tekniske funksjoner i stasjonen.

## **Igangkjøring, kontroll, prøving, avlevering m.m.**

Det skal vedlegges pumpekaraktistikk for pumpene. Byggherren forbeholder seg retten til å godkjenne brukermanualen før overtagelse. Anbyderen, i samarbeid med elektroinstallatøren kjører i gang anlegget og forestår prøvedriften inntil anlegget fungerer tilfredsstillende. Pumpeleverandøren skal avbalansere pumpene, foreta turtallsregulering slik at pumpene ikke kommer i vibrasjonsområde, samt foreta oppstart og testing av pumpene etter at stasjonen er ferdig montert. Avleveringsprøver fortas snarest mulig etter anleggets i gangkjøring. Opplæring av byggherrens driftspersonell inngår også.



## 6 Valg av pumper, pumpeledning og utstyr

### 6.1 Generelt

Alle komponenter må være resistente i det miljø hvor disse er tiltenkt brukt. Det er således viktig å ta de nødvendige analyser som skal til for å velge riktig materialer. Generelt vil pumper med Ni/Al/bronse være av meget god kvalitet i forhold til sjøvannsmiljø. Der er påkrevd at man eliminerer faren for galvaniske spenninger, mellom valg av forskjellige materialkvaliteter kan man bruke offeranoder eventuelt elektrolysebad. Forøvrig må komponentene/materialvalgene oppfylle sentrale/lokale krav og retningslinjer.

### 6.2 Pumper

#### 6.2.1 Generelt

Det er flere alternativer og muligheter vedrørende pumper og montasje av disse. Felles for de alternativer som er medtatt her er at pumpene har behov for elektrisk kraft.

Pumpeanlegget må være dimensjonert slik at det alltid er en pumpe i reserve. Dette vil si at det er minst et sett pumper bestående av 2 likeverdige pumper i hver av pumpekommene. Pumpekapasiteten skal være den dobbelte av tilrenningen i tillegg til ytterligere noe reservekapasitet. Pumpene og pumpeledningen må sikres mot trykkstøt. Det største trykkstøt oppstår når pumpene stopper.

Trykkstøtets størrelse kan regnes ut etter en spesiell regnemodell, der det i hovedsak er et forhold mellom hvilke vannmengder som er i bevegelse og hvilken hastighet vannmengden har (tilført energi).

For å eliminere trykkstøtet mest mulig kan pumpene utstyres med:

- Mykstarter /-stopper
- svinghjul
- styrte ventiler
- vindkjele

Følgende praktiske merknader til de ulike alternativene:

- mykstarter /-stopper virker ikke ved strømbrudd
- svinghjul tilpasset pumpen eliminerer nesten hele trykkstøtet
- styrt ventil med luftakturator, eliminerer nesten hele trykkstøtet men fordrer noe mer ettersyn
- vindkjele eliminerer noe av trykkstøtet og fordrer noe ettersyn

Dersom det oppstår trykkstøt i pumpeledningen og det praktisk lar seg gjøre å montere, vil en pumpe med svinghjul være den beste løsning.

Dersom det skal investeres i et pumpeanlegg må en se helheten og tenke på både investering og de fremtidige driftskostnader/levetidskostnader for anlegget. I et slikt bilde vil investeringskostnaden utgjøre kun 5–10% av de totale kostnader.

(se bilde:13)

## COST-EFFECTIVE PUMPING

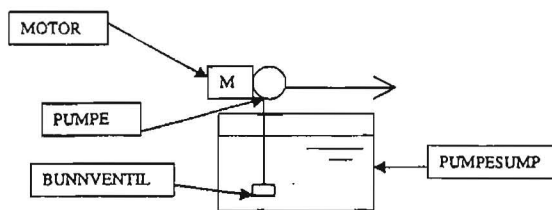


Bilde:13

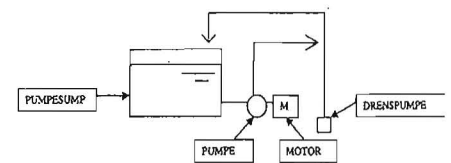
I utgangspunktet skilles det mellom to typer pumpeoppstillingsalternativer: tørr- og våtoppstilte pumper (halvvåt oppstilte pumper er også et alternativ, men er svært lite aktuelt)

### 6.2.2 Tørroppstilte pumper

Tørroppstilte pumper står alltid tørt og kan monteres vertikalt eller horisontalt. Pumpene kan monteres i plan over pumpesumpen, i tørt rom eller på repo i våtkum under plan. Pumpene kan utstyres med svinghjul for trykkstøt demping. (se bilde 14 og 15)



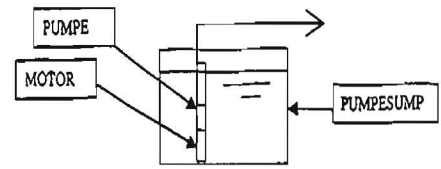
Bilde 14



Bilde 15

### 6.2.3 Våtoppstilte pumper

Våtoppstilte pumper har både motor og pumpedel under vann. Pumpen kan monteres på koblingsfot eller henge fritt i pumperøret. Denne type pumpe må ha ytre forordninger som begrenser trykklaget. (se bilde 16)

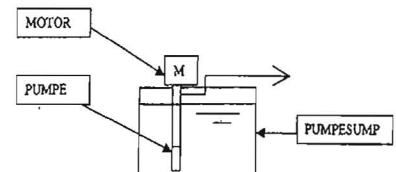


Bilde 16

### 6.2.4 Halvtørr oppstilte pumper

Halvtørr oppstilt pumpe har motor tørt oppstilt, men med pumpedelen dykket under vann. Pumpen er vertikal oppstilt. Denne type kan også utstyres med svinghjul. Pumpen har sine begrensinger ved stor løftehøyde.

(se bilde 17)



Bilde 17

## 6.3 Kriterier for valg av pumper/pumpeleverandør

### 6.3.1 Generelt

Ved valg av pumpetyper/leverandør må det tas i betraktning deres geografiske beliggenhet med hensyn til pumpeanlegget og at det er en normert standard utførelse for eksempel DIN-norm. Dette fordi at man ved et senere skifte av for eksempel motor kan benytte en annen leverandør.

### 6.3.2 Forhold som påvirker pumpens levetid

Det er mange momenter som påvirker levetiden til en pumpe og i grove trekk er de listet opp slik:

- pumpens design og konstruksjonskvalitet
- turtall på motor
- materialkvalitet på alle væskeberørte deler
- kvalitet og konstruksjon på tettingssystemet på akslinger
- pumpevannets kjemiske innhold
- pumpevannets partikkelgehalt, partiklenes hardhet og størrelse
- pumpesumpens utforming og funksjon - volum, hastighet, sedimenter m.m.
- utforming, dimensjon og materialkvalitet på trykk- og eventuelt sugerør
- type tilbakeslagsventiler/bunnventiler
- eventuelt trykkstøt i rørsystemet
- antall pumpestarter pr. time og stopp/start- metode
- kvalitet på og omgivelsesatmosfære for motor, automatikk og elektroopplegg
- galvaniske spenninger som forårsaker korrosjon
- tilgjengelighet for service og reservedeler
- HMS: arbeidsforhold, sikkerhet og tilgjengelig plass samt løfteredskaper ved service.

### 6.3.3 Hvilke parameter kan påvirkes for å optimalisere levetidskostnadene

- fjerne mest mulig partikler via sandfang foran pumpeumpen og dermed redusere erosjon og korrosjon
- slammet fjernes fra sandfanget rutinemessig for eksempel med septiktankbil
- "maskinrommet" må ventileres, tempereres og luftavfuktes
- galvaniske krypspenninger kan unngås ved å benytte standard motorer konstruert for korrosive miljøer (marinemotorer)
- det elektriske kabelopplegget må gjøres "fukttett" uten koblingsbokser
- automatikkskap og eventuelle sensorer må ha høyeste tetthetsgrad
- pumpeump og maskinrom må ha tilstrekkelig størrelse og være utformet på en servicevennlig måte
- best mulig og ensartede materialer i pumpene, bronse eller syrefast
- det kan være fordelaktig å benytte pakkbokspakninger fremfor mekaniske akseltetninger i pumpa
- turtallet på pumpen og motor bør ikke overstige 1500 rpm

## 6.4 Alternative pumpetyper – fordeler og ulemper

I hovedsak har vi som tidligere beskrevet tørroppstilte og neddykkete pumpeanlegg.

### 6.4.1 Tørroppstilte pumper.

Pumpetypen har klare fordeler med:

- enkelt å montere ved nyetablering
- pumpeanlegget er plassert i et renere og sikrere arbeidsmiljø og det blir reduserte mulighet for skader
- lett tilkomst ved ettersyn og eventuelle utskiftninger, en persons kan utføre jobben
- inspeksjon av pumpen kan utføres uten stans av pumpestasjonen
- demontering av pumpen kan utføres i pumpestasjonen
- pumpen kan være i drift selv om akseltetning er lekk
- tørroppstilte pumper med svinghjul er den beste løsning for å eliminere trykkstøt/demping
- lettere å tilpasse et optimalt driftspunkt
- har som regel lang levetid med god virkningsgrad
- er mest robust, pumpe og motor har separat lagring, dvs. fire i stedet for to.
- tetningspatroner forenkler bytte av akseltetninger og eliminerer feilmontasje
- har de gunstigste levetidskostnader
- standard normmotor kan kjøpes av lokal leverandør innen 24 timer.
- vil kunne pumpe forurenset vann
- oljekontroll er ikke nødvendig
- pumpen er konstruert for 50 000 driftstimer

Pumpetypen har ulemper med:

- meromkostninger for de bygningsmessige konstruksjoner som kreves vedrørende plass og innelukking.
- meromkostninger ved pumpeinstallasjon

#### 6.4.1.1 Tørroppstilte pumper over pumpesump med bunnventil

Denne type pumpe har den fordel at både pumpe og motor er lett tilgjengelig for ettersyn og service. En meget vesentlig ulempe er at pumpenes funksjon er avhengige av en tilbakeslagsventil på bunnen av sugeledningen.

Dersom tilbakeslagsventilen skulle svikte vil pumpehjulet stå tørt og pumpen vil ikke kunne suge vann fra pumpesumpen. Oppstart vil da skje ved mating av pumpen. På grunn av faren med høgt partikkelinnhold kan det være fare for lekkasje i tilbakeslagsventilene. Pumpemotoren kjøles med luft og krever et ventilert rom.

#### 6.4.1.2 Tørroppstilte pumper i nivå med bunn av pumpesumpen

For å unngå problematikken med bunnventil ved tørroppstilt pumpe over pumpesumpen kan pumpene monteres i nivå med bunn av pumpesumpen. Dette krever at pumperommet utvides og det støpes tette vegger mellom pumpesumpen og pumpeinstallasjonene. Det må dessuten installeres en egen dreispumpe for kammeret der pumpene er installert. Dreispumpen kan være en liten dykkpumpe som pumper fra en dreiskum til pumpesumpen. En slik installasjon innebærer en større fare for oversvømmelse av pumpeinstallasjonene da de ligger på de laveste punkt i tunnelen. Pumpemotoren kjøles med luft og krever et ventilert rom. (se bilde 18 pumpe med svinghjul)



Bilde:18

#### 6.4.2 Neddykkede pumper

Pumpetypen har klare fordeler med:

- ved nyanskaffelse er pumpeanlegget rimeligere enn ved en investering av tørroppstilte pumper
- ved nyetablering krever pumpene en enkel installasjon
- pumpen har normalt god virkningsgrad
- pumpen er spesielt egnet for store pumpehøyder med lite vannkapasitet
- pumpen har liten vekt og er støysvak
- motor kan regnes som EX sikker - neddykket

Pumpetypen har ulemper med:

- krever større innsats av personell ved service, ettersyn og utskiftinger
- det kreves minimum 2 mann ved ovenstående utførelse (sikkerhet i basseng)
- det kreves spesialopplært fagpersonell
- pumpene må spesialbestilles og leveringstiden er ofte lang.
- pumpene må skjermes for fremmedlegemer
- pumpene er lite slitesterke
- det kreves ekstra dybde i pumpekummen
- ved trykkstøt på pumpeledningen må det fortas ytre tiltak.
- for å eliminere en del av trykkstøtet som oppstår må det monteres en vindkjel
- driftstemperaturen på dykkpumpemotoren kan komme opp i ca 80°C, mens den ønskede temperatur bør ligge under 65°C.

#### 6.4.3 Halvtørr oppstilte pumper

Halvtørr oppstilt pumpe har motor tørroppstilt, men med pumpedelen dykket under vann. Pumpen er vertikaloppstilt. Denne type kan også utstyres med svinghjul. Pumpen har sine begrensinger ved store løftehøyde. Pumpen anbefales **ikke** til bruk i dype undersjøiske tunneler. Passer best for fiskeopprett samt fylling av vann i landbaserte basseng eller tilnærmet.

Fordeler:

- stor fleksibilitet, mange varianter

Ulemper:

- dårlig virkningsgrad
- dreiemoment: ulempe med lang stiv aksel mellom pumpe og motor (5-6 meter/svak opplagring med drivakselsammenkobling på splein)
- store aksiale krefter i pumpe, ved stor pumpelengde og store løftehøyder
- problem med lagerleie ved store pumpelengder og store løfte høyder
- tetning, vanskelig å registrere lekkasjer

Generelt for alle pumper i denne kategori har en problemer med kreftene som oppstår ved å frigjøre/sende vannet horisontalt ut fra selve pumpe. På enkelte pumper av denne type kan uttaket også være plassert like under motor. Jo større løftehøyde desto større problem !

### 6.5 Pumper, pumpeledning, armatur - styring.

#### 6.5.1 Generelt

Når man vet vannmengde og løftehøyde har man lagt grunnlaget for valg av

pumper og utstyr. Den antatte mengde vann som skal pumpes ut skal fordeles på flere pumper ut i fra sikkerhet og variasjoner. En pumpe skal klare den gjennomsnittlige tilrenningen. Da tunnelen ikke påvirkes av ytre forhold vil i hovedsak innsig av vann være konstant. Ideelt sett ville en "dagpumpe" som går 24 timer i døgnet redusere energi- og driftskostnadene. En slik pumpe vil da bli av den størrelsen som er mest optimal med hensyn til innsiget.

#### 6.5.2 Pumpeledning /-rør

Som tidligere påpekt kan miljøet være aggressivt og da særlig vannet som skal pumpes ut. Dette setter krav til at man velger pumpeledning som er resistent mot et slikt miljø. Det vil i de fleste tilfeller være ledninger av komposittmateriale ("sorte slanger") som er best. Pumpeledningens størrelse er bestemmende for hvor mye vann som kan pumpes igjennom på en fornuftig måte. Med mye vann i en liten ledning får man stor friksjon mellom ledningsveggen slik at man får begrenset pumpekapasitet. Det er således av stor betydning at man legger pumpeledning av en slik størrelse at man reduserer friksjonen mest mulig. Dette er spesielt viktig der ledningen blir lang.

#### Pumpeledning i kombinasjon med brannsikkerhetsutrustning.

Som tidligere påpekt i er det mulig å gjøre nytte av avløpsvannet til spylevann eller til brannvann/slokkevann. Dette kan gjøres ved at man legger pumpeledningene hver sin veg slik at de dekker hele tunnelen.

Ved å anbare pumpeledningen vil man kunne ta ut vann under trykk i hele tunnelens lengde. Man kan således gjøre tunnelen langt på veg selvforsynt med slokkevann. Det vil være vanskelig her å gi en generell beskrivelse et slikt anlegg, men det bør være en del av grunnlegget for pumpeanlegget at man tar disse elementer i betraktning.

#### 6.5.3 Armatur - ventiler.

Enhver pumpe bør ha tilbakeslagsventil slik at ikke utpumpet vann renner tilbake, eller for å hindre rundpumping der det er flere pumper på en pumpeledning. Tilbakeslagsventil er i bruk hele den tiden som det pumpes og det er nødvendig at den virker når den skal. Tilbakeslagsventilen er således en slitedel som det kreves service på og den bør derfor plasseres slik at den er lett tilgjengelig. Det må også settes inn manuelle stengeventiler slik at pumpeanlegget kan driftes selv om det er service på en slik ventil. Ved valg av tilbakeslagsventil må man ta hensyn til tidligere nevnte trykkstøt. Der trykkstøtet er redusert med tiltak vil en syrefast klaffventil virke greit. Der hvor det oppstår mindre trykkstøt må man velge myk tettende tilbakeslagsventiler.

#### 6.5.4 Automatikk - styring

Styringen av pumpene bør være så enkel som mulig slik at man med små inngrep kan få pumpene i drift igjen dersom det oppstår feil. Ved valg av såkalt "dagpumpe" vil den holde nivået i bassenget tilnærmet konstant. Dersom nivået stiger starter en "hjelpelumpe" og pumper til nivået er i ønsket høyde og faller så ut.

Om nivået faller ut ved drift av "dagpumpen" (pumper ut mer enn tilrenning) faller "dagpumpen" ut. Som før nevnt bør størrelsen på "dagpumpen" bestemmes etter at man vet hvor stor tilrenningen er. Man kan også få "dagpumpe" ved å installere frekvensomformer, (turtall regulering). Man setter da frekvensomformeren til å holde konstant nivå i sumpen. Det vil si at utpumpet vann er lik innsiget.

#### 6.5.5 Sveising av rørsystemer/pumpeledninger

De fleste sveiseprosesser krever høye lokale temperaturer for å gi metall muligheten til sammenføring. Type varmekilde brukes ofte som betegnelse på prosessstypen som for eksempel gassveising eller buesveising.

En av hovedproblemene ved sveising er at metall øker sin tilbøyelighet til å reagere med atmosfæren når temperaturen øker.

Metoden for å beskytte det varme metallet fra å bli angrepet av atmosfæren er den nest viktigste funksjonen. Teknikken strekker seg fra pulverdekke som former et beskyttet slagglag til gassdekke ved bruk av en inert gass. I noen sammenhenger fjernes atmosfæren ved benyttelse av vakuum.

#### 6.5.6 MIG/MAG sveising (MIG Metal Inert Gas Welding)

Denne type sveising blir ofte benyttet ved sveising av ulike metaller. MIG sveisingen er en lysbue opprettet mellom en kontinuerlig matet homogen tråd og arbeidsstykke. Lysbuen og sveisebadet er beskyttet av en strøm av inert eller aktiv gass. Prosessen passer de fleste materialer og tråd er tilgjengelig for en lang rekke metaller.

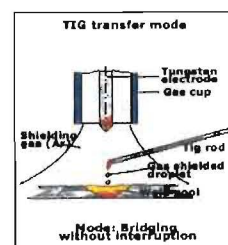
Prosessen anbefales imidlertid ikke på grunn av at metoden gir en urein sveis som gir større motstand mellom påsveiste deler.

OBS ! (korrosjonsproblemer på grunn av økt motstand i materialet)

#### 6.5.7 GTAW/TIG sveising (Gas-Shielded Tungsten Arc Welding)

Denne type sveising benytter ikke-forbrukbare wolframelektroder. Elektroden, lysbuen og området som omgir det smeltede sveisebadet er beskyttet fra atmosfæren ved hjelp av en inert gass.

TIG sveisingen gir en ren sveis med høy kvalitet. Ved at slagglag ikke blir produsert er muligheten for slagglag inneslutninger i sveiseavsettet eliminert og ferdig sveis krever ingen rensing. (se bilde 19)





Bilde 19

**OBS!**

Det må settes krav til at TIG sveisingen blir brukt ved all sveising av rustfrie legeringer hvor sveiseintegriteten er meget viktig.

**6.5.8 Trykkprøving av rørsystem**

Rør skal trykkprøves seksjonsvis under prefabrikasjon og skal ajourføres med egen protokoll.

**6.5.9 Røntgenkontroll**

Mesteparten av alt rørarbeid blir prefabriert av en underleverandør. Dersom rør skal galvaniseres må røret være godkjent før galvanisering. Røntgenkontroll må som regel avtales særskilt.

**6.6 ENØK - drift av pumper**Generelt

De direkte driftsutgiftene er forbruk av elektrisk kraft samt periodisk ettersyn. Det er derfor viktig å finne fram til et optimalt driftspunkt for pumpene slik at pumpens virkningsgrad blir god og at pumpens kvalitet er slik at den krever et minimum av ettersyn.

Indirekte kostnader

- Pumpearleggets nedskrivningstid
- Det er viktig å velge utstyr og systemer som gir minimale levetidskostnader.
- Svært ofte blir innkjøpsprisen avgjørende ved valg av utstyr.

Viktige faktorer for å gjøre et godt valg:

- Alt rørmateriell må tåle det beregnede trykket som det blir utsatt for.
- Vurdere om det er nødvendig med renseplugg/anslutning for nødpumpe
- Ventiler - kvalitet, tilpasset det miljøet de skal plasseres i.
- Vannmåler for å måle den mengde som pumpes ut, eventuell trend
- Trykkstøt, motorventil/myk start/automatikkregulert/svinghjul
- Leidere/luker/tilkomst

- Trykkledning, materiale som tåler det indre og ytre miljø
- Reserve pumpeledning
- Kvalitet som forsvarer en levetid tilsvarende det øvrige pumpeanlegg
- Materialvalg: messing/syrefast stål/plast/PH m.m.
- Løfteinnretninger
- Etterfylling av sugeledning ved tørroppstilte pumper.  
(vakum/trykkvann/avløps vann fra trykkledning)

### **6.7 Eksempel på ombygging av pumpeanlegg i undersjøiske tunneler**

I alle undersjøiske tunneler er det installert pumpeanlegg med nedsenkbare spesialproduserte dykkpumper (Vogel). Over tid har det vist seg at innlekkasjen i tunnelene er avtagende.

Sikkerhetsnivået på pumpekapasitet og størrelsen av nødbassengene har en enorm overkapasitet. Ved en evaluering av pumpeanleggene kommer dette klart frem. Pumpe og motorkapasitet kan være 4-5 ganger større enn behov.

Utpumpingen skjer over et kort tidsrom med stor pumpekapasitet og med unødig lang stopptid til neste utpumping. For eksempel skjer utpumpingen i Byfjordtunnelen, Rogaland) hver åttende dag. Det er to pumper som alternerer og det går hele 16 dager mellom hver gang pumpene er i drift (varierer noe etter årstid)!

Dette resulterer i et unødig stort effektforbruk, et unødig stort energiforbruk, samt unødig kostbare vedlikeholds- og utskiftingskostnader. Og dette er en lite ønskelig situasjon for pumpene som er konstruert for kontinuerlig drift! I tillegg til at pumpene kan "sette" seg får de også en ekstrem stor belastning ved start og stopp. Pumpene får langt større belastninger og større slitasjer av enn ved kontinuerlig drift. Pumpenes levetid blir dermed kraftig redusert !

I mange av våre undersjøiske tunneler er det etablert flere unødvendig store nødbassenger, plassert på ulike høydenivå i tunnelen. Dette er en dårlig økonomisk løsning og det burde vært gjort endringer som følge av slike erfaringer! Her har vi et stort sparepotensial ved senere etableringer av pumpestasjoner og nødbassenger. For å ivareta sikkerheten er det nok med ett større nødbasseng i tunnelens lavbrekk.

Når det har blitt installert nedsenkbare dykkpumper vil alltid innlekkasjevannet bli hentet inn i pumpene ca. 9-10 meter under selve repo'et på pumpestasjonen (repo'et ligger på tilnærmet lik kotehøyde som vegbanen). Dette gir oss unødvendige tap ved først å pumpe vannet opp for så å slippe det ned igjen. Det resulterer i større og mer kostbare pumper, høyere driftskostnader på pumpene, samtidig som vi får unødig kostbarteffekt forbruk og energikostnader.

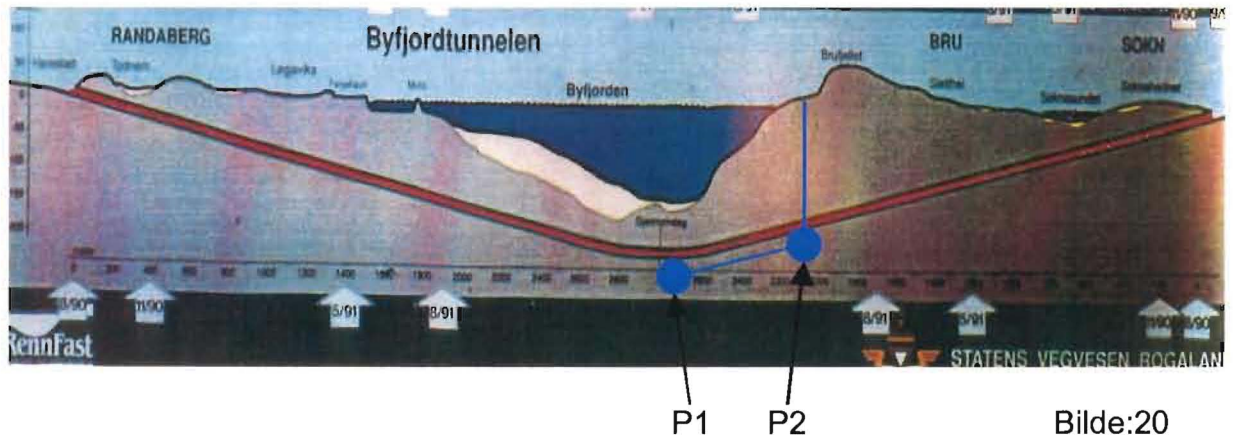
**Alternativt til en slik løsning kan man gjøre bruk av tørroppstilte pumper.**

- På grunn av at disse er annerledes bygd vil de også kreve en del ombygging på det eksisterende pumpeanlegget.
- Normalt vil levetiden til en tørroppstilt pumpe være 2-3 ganger lenger enn ved en nedsenkbar dykkpumpe. I det at disse pumpene også er mer tilgjengelige som normal handelsvare, kan de bli levert som komplette pumper eller som enkeltdeler (sammenlignet med spesialprodusert nedsenket dykkpumper som har leveringstid på 3-4 måneder).
- Leveringstiden er kort, maks et døgn, og vi kan dermed oppnå en langt bedre sikkerhet for tunnelanleggene.
- Prisen er minimal i forhold til spesialbestilte dykkpumper.
- Pumpen kan lett demonteres fra det øvrige anlegg og den kan lett skiftes ut.
- Det trenges heller ikke personell med spesialkompetanse.

**Hvordan gjøre forbedringer ?**

- For det første må en bli kjent med de faktiske forhold i og rundt tunnelen.
- Vi må få en oversikt på hvor stor innlekkasjemengden er, hvordan den nåværende utpumpingstiden er, hvor lang stopptid/intervall vi har på pumpene, hvor stort effekt og energiforbruk m.m.
- I tillegg til dette må vi sette krav til hvor høg beredskapstid m.m. som er nødvendig for til enhver tid til å kunne holde tunnelen åpen (hva som kan aksepteres av stenging).
- Vi må generelt være åpne for å vurdere andre pumpeløsninger.

For tiden arbeides det med evaluering av pumpeanlegget i Byfjordtunnelen (Rogaland) og etablering av forsøk med tørroppstilt løsning (se bilde 20)



Bilde:20

Tunnelens lengde er på: 5875 meter

I forbindelse med prosjekteringen ble det antatt en innlekkasjemengde i tunnelen i 1991/92 på i alt: ca. 588 liter/min  
): pr. km tunnel 100 liter/min.

Nåværende innlekkasjemengde i tunnelen er på i alt: 212 liter/min  
): pr. km tunnel 36 liter/min.

Her er det to basseng som kan fylles før det blir problemer med overvann. Er det problemer i øvre basseng (P2) kan innlekkasjevannet slippes tilbake til nedre basseng (P1)

#### **Høyest plasserte pumpestasjon (P2) i tunnel:**

- 2 stk. pumper à 75 kw m/kap.80.6 m<sup>3</sup>/H. og m/løftehøyde: 201,6 m
- Nominelt strømforbruk:154 ampere.

#### **Etter ombyggingen i denne stasjon blir følgende installert:**

Pumpestasjonen erstattes med 1 stk. vertikal tørroppstilt flere trinns sentrifugalpumpe på 15 kw m/kapasitet på 16.2 m<sup>3</sup>/H og med løftehøyde på 200 m. Nominelt strømforbruk: 32 ampere (her blir det en skikkelig gevinst). Pumpen skal gå i døgndrift.

Sikkerheten blir ivaretatt med at eksisterende dykkpumpe blir liggende på lager og denne kan tilbakeføres til pumpestasjonen i løpet av få timer. I tillegg til dette er det etablert flere pumpeuttak ved den "nye" pumpestasjonen slik at nye pumper kan rekvireres og monteres omgående. Ny Pumpe kan om nødvendig rekvireres innen 24 timer og er på den måten verken leverandør- eller fabrikatavhengig. Pumpens levetid er skissert til ca. 50.000 timer. Nedsenkbare dykkpumper er stipulert til ca.20.000 timer. Det er imidlertid flere eksempler på at slike har havarert etter et par tusen timer. I tillegg vil der bli etablert 2 stk. våtoppstilte lensepumper mellom sandfang/sedimenteringskammer og den "nye" pumpestasjonen. Kapasitet på disse er på 18 m<sup>3</sup>/H, m/løftehøyde 6 m. Nominelt strøm forbruk: 4,1 ampere.

**Lavest plasserte pumpestasjon (P1) i tunnel:**

- 2 stk. pumper à 11 kw m. kap.46,8 m<sup>3</sup>/H m/løftehøyde 46,5 m
- Nominelt strømforbruk: 26,5A

Utpumpingstid i (P2) når pumpene går er 2 timer og 30 minutter. Stopptid på pumpene er 18 timer 45 min. Ved at pumpene alternerer vekselvis etter gitte timer går det 37 timer og 30 min. mellom hver gang den samme pumpe er i arbeid.

Ombyggingen er basert på å erstatte en havarert pumpe i den øvre pumpestasjon (P2). I tillegg til den forestående ombyggingen skal det samtidig legges til rette for en senere ombygging og utvidelse når tiden måtte være aktuell for det.

Pr. i dag er det etablert to pumpestasjoner (P1/P2) med tilstøtende nødbassenger. Ved begge pumpestasjonene er det benyttet spesialproduserte nedsenkbare dykkpumper, hvor størrelse, kapasitet og løftehøyde er ulik for hver av pumpestasjonene (se data)

Pumpestasjonen (P1) som er plassert i tunnelens lavbrekk og ligger på ca. 223 meter under havflaten, mens den høyeste plasserte (P2) ligger på ca.180 meter under "fast" land.

Fra denne pumpestasjonen (P2) pumpes vannet vertikalt opp via en pumpeledning, som fører vannet opp i en kum og videre ut i sjøen. Det er kun en pumpeledning i dette tilfellet og den er ferdigprosjektert og lagt slik til rette at det er ingen gevinst i å redusere denne. Det vil igjen si at en på forhånd har bestemt seg for hvor meget og hvordan man skal pumpe ut innlekkasjevannet (ble bestemt da tunnelen var ny).

**Hvilke kriterier må vi kunne oppfylle ved ombyggingen ?**

- krav til sikkerhet skal ivaretas
- samlet skal pumpene ha 50% overkapasitet
- pumpens kapasitet må tilpasses innlekkasjemengden
- vi ønsker å gå fra store dykkpumper til flere mindre tørroppstilte pumper
- pumpen bør gå kontinuerlig; kapasiteten for å pumpe vannmengden skal til enhver tid være noe høyere enn innlekkasjemengden
- pumpen og utstyr skal ha riktig kvalitet, god virkningsgrad og utstyret skal ha riktig trykkklasse
- vi har som mål å oppnå gevinst i form av lavere energikostnader, effekt og vedlikeholdskostnader samt reduserte kostnader på fremtidige utskifting av pumper
- pumpen skal være av ordinær handelsvare og kunne fremskaffes på 24 timer (spesialbygde nedsenkbare dykkpumper har en leveringstid på 3-4 måneder)
- pumpen skal være servicevennlig og det skal ikke være behov for spesialister ved reparasjon
- en person alene skal kunne utføre service/reparasjon
- pumpen skal ha lengre levetid, over 50.000 timer (dykkpumpe 20.000 timer)

- satse på sort plast der det er mulig ved pumpeledninger/pumpestock

Grunnlaget for evalueringen og ombyggingen er kommet i stand på grunn av at en av pumpene i den høyeste pumpestasjonen (P2) er havarert. Det har vært flere pumpehavarier på denne pumpestasjonen. Senest for to år siden var det problemer med begge pumpene her (motor på den ene og pumpedel på den andre). Hvert år har det vært kostbare reparasjoner tilknyttet pumpeanlegget.

I vurderingen ser vi nå kun to alternative løsninger:

- erstatte den havarerte pumpa med en tilsvarende pumpe
- se på andre pumpeløsninger.

Det var et klart ønske om å tilpasse nåværende innlekkasje opp mot mer korrekt pumpekapasitet. Likeledes måtte det vurderes å gå vekk fra pumper med stor kapasitet og kort utpumpingstid, til pumper som er tilpasset innlekkasjemengden og som går tilnærmet kontinuerlig hele døgnet.

### **Valget falt på tørroppstilte pumper med tilnærmet kontinuerlig døgndrift noe som har vært utradisjonelt i undersjøiske tunneler.**

I evalueringsprosessen har vi særlig rettet blikket på pumpenes størrelse, tidligere reparasjonskostnader, service-/vedlikeholdsvennlighet, leveringstid, lett tilgjengelig handelsvare med bedre kvalitet og rimeligere pris, redusert effekt og energiforbruk m.m. Krav til kvalitet, beredskapstid, sikkerhet og leveringstid skal også etterleves! I det de fleste forhold er gitt har vi begrensede muligheter til å gjøre større inngrep i og rundt pumpeanleggene.

Vi vurderer det som fornuftig å bygge om pumpeanleggene etter hvert som dagens pumpeløsninger svikter/havarerer. Samtidig vil en kunne høste erfaringer og eventuelt også kunne forbedre vårt opplegg.

#### **Nedre pumpestasjon (P1):**

Vi tar det som gitt at vi foreløpig ikke skal gjøre noen tiltak i denne pumpestasjonen. Pumpestasjonen er utstyrt med to nedsenkbare dykkpumper. Det installerte pumpeutstyret er i trykklasser PN 10

#### **Innløpskum/slamkammer til øvre nødbasseng:**

Her ønsker vi å gjøre en del radikale forandringer. Dagens innløpskum/sandfang skal bygges om til sedimenteringskammer og pumpekum. Alt innsig av innlekkasjevann skal stoppes her for denne del av tunneltuben, for så å bli pumpet opp til ny mellomtank som plasseres opp på eksisterende repo i pumpestasjonen. Denne skal virke som en "mellom" pumpestasjon.

#### **Øvre pumpestasjon (P2):**

For å unngå store forandringer her må vi langt på veg ta hensyn til de nåværende faste installasjoner (betongkonstruksjoner m.m.). En tenker da på sedimenteringskammer, nødbasseng, pumpekammer, pumpeledning(er) samt festeanordninger for eksisterende dykkpumpene.

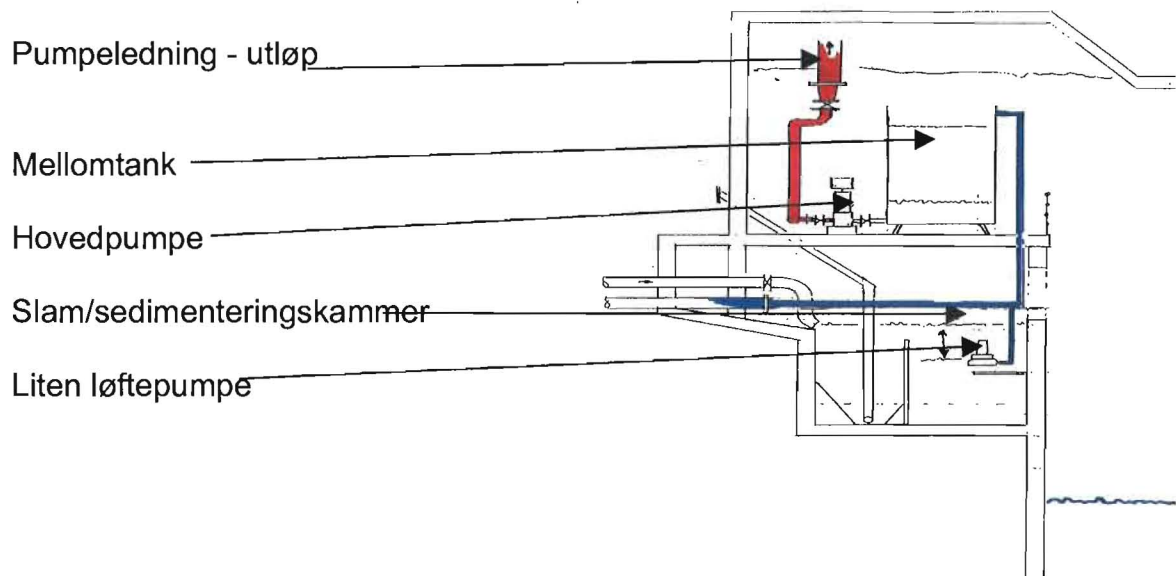
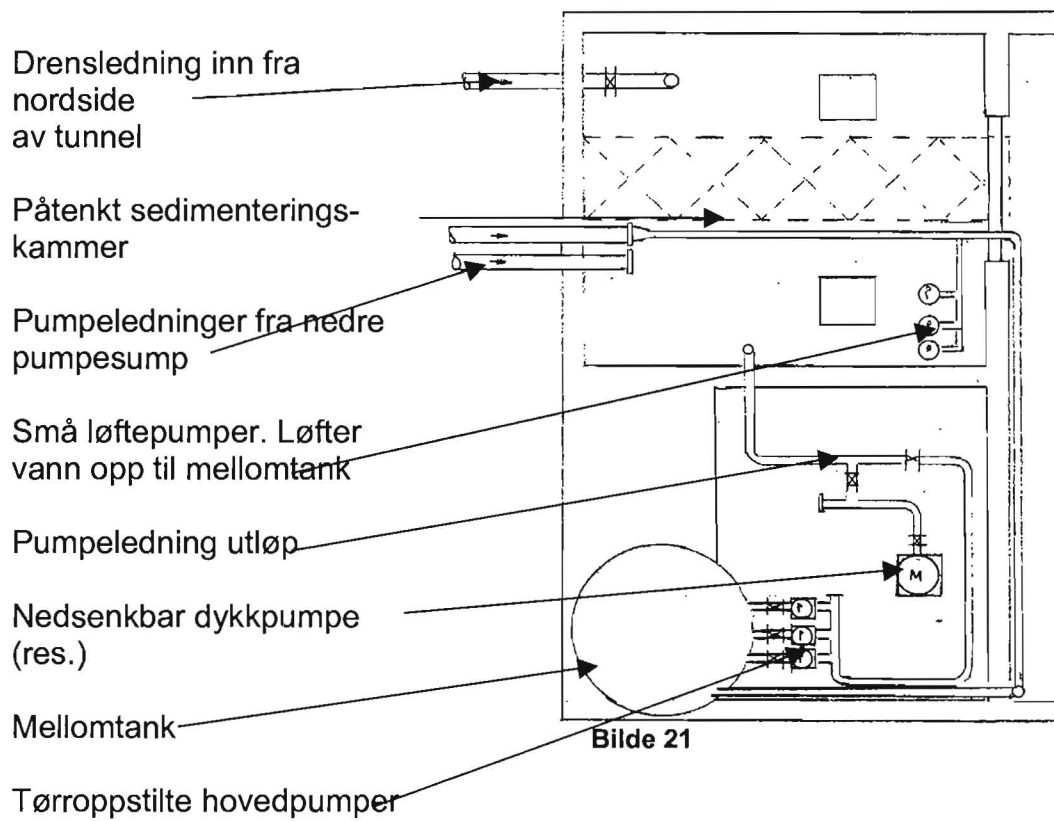
Innfestingsanordning for dykkpumper, samt det øvrige opplegget med styring og overvåkning m.m. blir inntil videre beholdt på grunn av sikkerhet (vi kan gjøre bruk av eksisterende pumpe som reservepumpe). Etter ombyggingen skal gjenværende pumpe tas opp og legges på lager.

Dersom en akutt situasjon skulle oppstå ved den "nye" pumpestasjonen, vil den gamle pumpen være klar til å bli satt tilbake.

For å gjøre minst mulig forandringer i det eksisterende "pumpemiljøet" ser en for seg to forskjellige løsninger:

1. plassere nye tørroppstilte pumper med mellomtank
2. plassere nye tørroppstilte pumper på en egen plattform/repo, inntil eksisterende betongkonstruksjon, like over vannspeilet i nødbassenget.

Den første løsning ble valgt fordi denne er enklest og billigst ved ombygging.





Dersom en tilsvarende pumpeløsning skulle bli installert ved et nyanlegg, må det legges opp til en direkte vanntilførsel til pumpens inntak (pumpeinntaket vil da stå under trykk).

**Virkemåte:**

Dagens innløpskum/sandfang bygges om til kombinert sedimenteringskammer og pumpekum. Alt tilsig av innlekkasjevann fra denne delen av tunnelen skal stoppes her. Vannet skal pumpes opp til ny mellomtank som vil virke som pumpestasjon/basseng.

Innlekkasjevannet som kommer fra den lavest plasserte pumpestasjonen (P1), pumpes direkte inn til mellompumpestasjonen(tank). Pumpestyringen til den lavest plasserte pumpestasjon (P1) reguleres slik at mellompumpestasjonen kan ta imot den innpumpede vannmengde.



Bilde 23

Fra mellompumpestasjonen pumpes innlekkasjevannet ut med tørroppstilte pumper. Dagens ombygging er basert på å erstatte havarert pumpe samt å legge forholdene til rette for fremtidige ombygging.

Installasjon blir som følger:

- Innløpskum/sandfang bygges om slik at det er mulig på en enkel og grei måte å få tak på sedimentene i sandfangskummen. Kummen deles i to deler, en sandfangkum og en innløpskum (se skisse)
- Innløpspumpekummen utstyres med koblingsføtter og pumpeledninger for tre innløpspumper. Inntil videre tar en sikte på å montere kun to pumper. (se bilde21 - 22)
- En tank på 9m<sup>3</sup> skal benyttes som en mellompumpestasjon og denne utstyres med tre stk. tilslutninger for tørroppstilte pumper. Tanken plasseres på repo'et i hjørnet over eksisterende pumperom for dykkpumpene. (se bilde 21 – 22 og 23)
- Av eksisterende to pumpeledninger som kommer fra det nedre pumpestasjon (P1) til (P2's) nødbasseng, kappes en av ledningene av, reduserer ledningens diameter for så å føre denne til tanken som er plassert opp på repo'et. Den andre ledningen blir og fungerer som i dag. (se bilde 15) Kort fortalt vil det si at vi pumper lekkasjevannet fra P1 direkte til mellomtank. Pumpa i P1 "strupes" for å tilpasse riktig vannmengde. Lekkasjevannet som kommer i tilsig stoppes i innløpskum (P2) og pumpes til mellomtank.
- Mellompumpestasjonen utstyres med en tørroppstilt pumpe som i kapasitet er tilpasset det fremtidige behovet.

- Den tørroppstilte pumpen tilsluttes dagens røropplegg. Eksisterende trykkstøttank skal fjernes da den har liten eller ingen funksjon slik anlegget er bygget i dag.
- Elektriske tilslutninger og styreenheter for de "nye" tørroppstilte pumpene og for innløppspumpene forsynes med strøm fra tilførselen fra de tidligere demonterte anleggspumper (disse er tidligere ikke beskrevet).
- Pumpeledninger og ventiler på lavtrykksiden (til tørroppstilte pumper) leveres i plastmateriale.
- Pumpeledningen fra den tørroppstilte pumpen til eksisterende røropplegg skal leveres i rustfritt syrefast materiale.

## 6.7 Nyanlegg

### Hva bør vektlegges når et nytt pumpeanlegg i en ny tunnel skal etableres:

- ✓ Terrenget i og rundt tunnelmunningene må arronderes.
- ✓ I størst mulig grad skal alt overvann ledes vekk.
- ✓ Det skal om nødvendig etableres avskjæringsgrøfter/ledninger (tenk fremtidige driftskostnader spesielt på energi)
- ✓ Kartlegg hvor innlekkasjen i tunnelen er størst.
- ✓ Søk gode råd hos pumpeleverandørene om hvilke løsninger de vil anbefale. Vurder løsningen opp mot pumpeprosjektørens forslag !
- ✓ Er det forhåndsbestemt hvor mange Pumpeledninger en skal ha ?
- ✓ Husk at sikkerheten ved et pumpeanlegg med to Pumpeledninger er langt større en et anlegg med en Pumpeledning. Ved brudd på Pumpeledningen får vi en unormal driftssituasjon. Dersom en kun har en Pumpeledning, må en kreve en særdeles god beredskapsordning med rikelig tilgjengelighet av ekstra pumper, utstyr, rør m.m. (brannvesen og sivilforsvaret). Ved bruk av to ledninger er dette eliminert, og i tillegg kan en om nødvendig skille forurenset og rent vann.
- ✓ Pumpeledningen må dimensjoneres etter valg av pumpeledningsløsning.
- ✓ Er det særskilte soner i tunnelen som har stor innlekkasje bør en vurdere å etablere mindre bassenger med tørroppstilte pumper (størrelsen på bassengene kan være på 5-10 m<sup>3</sup>, det som ikke blir samlet opp her slippes om nødvendig videre)
- ✓ Tenk alltid på ENØK og langsiktige energikostnader. Det er langt rimeligere å få pumpet ut innlekkasjevannet fra det høyeste nivå, fremfor å slippe det ned i tunnelens lavbrekk.
- ✓ Er det fare for at pumpene lager trykkstøt utstyres disse med svinghjul.
- ✓ Dersom det er behov bør tunnelen deles opp i flere Pumpeområder.
- ✓ Trykkstøtproblemet reduseres ved bruk av korte ledninger (lite vannmasse).
- ✓ Ved det dypeste punkt i lavbrekket utstyres Pumpestasjonen med tørroppstilte pumper eller alternativt våtoppstilte pumper.
- ✓ Brukes tørroppstilte pumper må det etableres et separat nødbasseng og et eget pumperom for plassering av pumpene.
- ✓ Pumpene skal plasseres nær bunnivået i nødbassenget og pumperommet skal være godt ventilert.

- ✓ I pumperommet må det etableres en liten dreneringspumpe og denne skal sikre at alt innlekkasjevann som eventuelt måtte komme inn her blir pumpet tilbake til nødbassenget.
- ✓ Sikkerheten ivaretas her ved at pumpene kan rekvireres innen 24 timer.

## 7 Varslings- og automatikkanlegg

### 7.1 Generelt

For drift av pumpeanlegget må det medtas komponenter vedrørende varsling og automatisk drift. Komponentene må sikres mot et korrosivt miljø. Miljøet i pumpeanlegget må i utgangspunktet regnes som maritimt.

### 7.2 Varslingsanlegg

Varslingsanlegg med lys eller skilting skal være synlig for vegfarende. Signaler ved innkjøring i tunnelen, ved pumpeanlegg og til sentral/driftstasjon

### 7.3 Automatikk

For drift av pumper, ventilasjon m.m. medtas AUTOMATIKK.

Automatikkomponenter må tåle et korrosivt miljø, i tillegg bør disse være montert i skap som tåler miljø som på stormdekk til sjøs.

#### Styring av pumpestasjon ved lavbrekk:

Pumpestasjonen skal drives ved hjelp av lokal automatikk som starter/stopper pumpene etter lokale kriterier og overvåking.

Pumpestasjon skal overføre følgende signaler (mest vanlige):

- Melding om olje (diesel m.m.) i pumpesump
- Melding om gassdamp i pumpesump
- Melding om kritisk høyt nivå
- Melding om høyt nivå
- Melding om lavt nivå (tørrkjøring)
- Melding om sikringsbrudd
- Melding om styrestrømbrytning (alle faser)
- Melding om manuell styring fra pumpestyringsskap
- Melding om fjernstyring av stasjonen
- Melding om feil på pumper
- Samlemelding motorventiler og termisk overvåking
- Melding om motorvern utløst
- Melding om pumper i drift

Dersom vannstanden i pumpesumpen overskrider definerte øvre grenser (to nivåer), skal det gis separate alarmer til VS. Alarm skal gis ved olje og gass i pumpesump. Motorvern utløst, strømbrytning m.m. skal gi samlefeilmelding til VS. Lokal automatikk skal forhindre tørrkjøring. Forrigling mot ventilasjon bør vurderes med tanke på tariffer basert på effektavgift slik at pumper går når vifter står. Pumper skal alltid gå ved kritisk høyt vannnivå i pumpesump.

#### Styringer fra VS vedrørende pumpestasjon:

Normalt ingen styring av pumper fra VS, men eventuelt behov vurderes enkeltvis for anleggene.

#### Andre elektriske komponenter

For at det skal være mulig å orientere seg ved strømbrytning må anlegget utstyres med UPS med batteridrift for nødlys.

## 8 Drift og vedlikehold

### 8.1 Generelt- orientering

En må skille mellom avtaler om forbyggende vedlikehold i garantitiden (3år) og det som skjer etter denne tid.

### 8.2 Avtaler

For periodisk vedlikehold (FDV) i garantitiden er pumpeleverandøren ansvarlig for at arbeidet blir utført. Leverandøren er ansvarlig i henhold til levert utstyr og til å utarbeide korrekt service- og oppfølgingsrutiner. Rutinen skal spesifiseres og ønskede vedlikeholdshyppighet skal beskrives. Arbeidet skal dokumenteres.

#### Hva bør avtalen inneholde

Det skal inngås skriftlig avtale med utførende aktør:

- avtalen bør gjelde over flere år (eks.3-5 år)
- avtalen skal inneholde opplysninger om forefallende rutiner i året og over tid
- alle komponenter som skal vedlikeholdes
- uttrykkingstid etter feilmelding
- tidspunkt/intervall for tilsyn og vedlikehold
- reparasjonstid/kostnader
- henvisninger til deler og andre komponenter
- tilgjengelighet og leveringstid av deler
- hvem holder hvilke deler/leverandøravtale
- dokumentasjonspapirer for oppfølging i SPEKTRUM-FVD

#### Pris på arbeid etter garantitiden

En bør innhente pris på fremtidig vedlikehold etter skisserte vedlikeholdsrutiner hos leverandør av pumpeanlegget, internt eventuelt også av et annet firma som kjenner tilsvarende anlegg.

#### Priser på hva en bør spesifiseres i følge avtale.

- rundsum på hele arbeidet
- timepris på VVS- arbeid
- timepris på elektroarbeid
- forbruksmateriell fra grossist, rabatt i forhold til listepreis.
- nettovarer/skaffevarer med eller uten påslag
- kjøring til/fra pris kr. pr. km
- bompenger m.m./ekstra til kostpris

### 8.3 Forvaltning, drift og vedlikehold - Spektrum

#### **Optimalt vedlikehold**

Et optimalt vedlikehold betyr lavest mulig vedlikeholdskostnader, liten stopptid, god driftstilgjengelighet og driftssikkerhet, lengst mulig levetid på pumpekonstruksjon og utstyr, samt ivaretagelse av sikkerhetsnivået.

Element/objekt skal registreres i Forvaltning, drift og vedlikeholdsprogrammet SPEKTRUM. Det skal utarbeides månedlige, halvårslige og årlige rutiner for VVS- og elektroinstallasjoner. Her beskrives alt rutinemessig tilsyn og vedlikehold av de forskjellige komponenter.

#### **FDV-programmet SPEKTRUM**

Spektrum er et FDV-program som er tilpasset tunnelvedlikehold og som skal benyttes i alle tunneler for blant annet å sikre dokumentasjon i følge internforskriften. Alle elementer/objekter i tunnelen skal registreres etter NS-standard 3451:

- Opplysninger om tekniske data skal registreres
- Forebyggende vedlikeholdsrutiner skal utarbeides på alle element/objekt: (daglige, ukentlige, månedlige, halvårslige og årlige rutiner skal beskrives)
- Arbeidsordrer blir skrevet ut på drift, elektro, radio og VVS arbeid  
Dokumentasjon skal skje via element/objekt, periodisk, utførte arbeidsordrelister, samt i "historikk" lister.

#### **Eksempler på FDV rutiner på nedsenkbare dykkpumper: Månedlig kontroll (anlegg tilknyttet styring og overvåking)**

- Varsle vaktentral/brannvesen om arbeidet
- Kontroll omfatter måling av isolasjonsmotstand og strømforbruk(fagmann)
- Det skal utføres funksjonell test av trykkvakt og flottørbryter
- Under drift moves ventilene slik at disse ikke setter seg
- Kontroll av kabler og rør for synlige skader og korrosjon
- Kontroll av vindkjele
- Når arbeidet er ferdig varsles vaktentral/brannvesen
- Rapporten registreres i Spektrum.

#### **Eksempel på FDV rutiner på nedsenkbare dykkpumper: Halvårskontroll (hvor anlegg tilknyttet styring og overvåking)**

#### **Obs! (Halvårskontrollen samordnes med månedlig kontroll)**

- Varsle vaktentral/brannvesen om arbeidet
- Kontrollen omfatter måling av isolasjonsmotstand og strømforbruk(fagmann)
- Det skal utføres funksjonell test av trykkvakt og flottørbryter
- Under drift moves ventilene slik at disse ikke setter seg

- Rør, ventiler og trykktank skal kontrolleres/trykktank skal trykkprøves særskilt en gang pr. år i h. h. til lovverket.
- Rørflensene kontrolleres og repareres om behov
- Flenspakninger kontrolleres og skal skiftes etter behov
- Når arbeidet er ferdig varsles vaktsentral/brannvesenet
- Rapporten registreres i Spektrum.

Eksempel på FDV rutiner på nedsenkbare dykkpumper: Årlig kontroll (hvor anlegg tilknyttet styring og overvåking)

**Obs! (Månedlig og halvårskontroll samordnes med årlig kontroll)**

Årlig kontroll skal utføres slik som beskrevet i henhold til eventuell avtale med pumpefirma. (Det er naturlig å søke hjelp hos et spesialfirma innen pumper for å gjennomgå kontrollrutiner).

- Varsle vaktsentral/brannvesen om arbeidet
- Kontroll omfatter måling av isolasjonsmotstand og strømforbruk(fagmann)
- Pumper og rør skal heises opp av pumpeumpen for kontroll
- Nødvendig service skal utføres på pumpene
- Alle flenser skal demonteres og det skal foretas visuell kontroll av de enkelte komponenter.
- Det skal utføres funksjonell test av trykkvakt og flottørbryter
- Ventiler skal moves og rustbehandles etter behov
- Rør, ventiler og trykktank skal kontrolleres.
- Trykktank skal trykkprøves særskilt en gang pr. år i henhold til lovverket.
- Rørflensene kontrolleres og sveises etter behov (en gang pr. år)
- Når arbeidet er ferdig varsles vaktsentral/brannvesenet
- Rapporten registreres i Spektrum.

Eksempel på FDV rutiner på nødbasseng, slamkammer og pumpekammer basert på en typisk pumpenisje som i bilde 1: **3 års kontroll**

Nødbassenget skal tømmes og rengjøres hvert tredje år. Arbeidet samordnes med vedlikehold av slamkammer og pumpekammer. Det er særdeles viktig og nødvendig at det utføres systematisk vedlikehold med faste rutiner/intervall i slamkammer, pumpekammer og i nødbassenget. Dette for å ivareta pumpeanlegget og øvrig utstyr. Dersom slam og partikler kommer inn i pumpekammeret og videre inn i pumpene, kan det lett føre til nedbryting og havarier av disse. Dykkpumper som pr. i dag brukes i undersjøiske tunneler er ikke beregnet for dette.

Før arbeidet tar til bør det utarbeides skiltplan og en spesifisert arbeidsplan. For å ivareta HMS er det viktig at det legges opp til måling av gasser før og under selve arbeidet. Dette kan løses ved at mannskapene blir utrustet med transportabelt gassmåleutstyr. Måleutskifter fra gassmålingene skal dokumenteres! Før tømning og rengjøring av bassenget må vanninnløpet stenges. Til arbeidet benyttes det gjerne flere slamsugere samt øvrig personell. Det må legges opp til optimal sikkerhet for personellet ved rengjøring. Slammassene leveres til offentlig godkjent deponi som spesial avfall.

### Evaluering av FDV systemet:

Det må stilles krav til revisjon av drift og vedlikeholdssystemet for å få til optimalt vedlikehold til lavest mulig kostnad. Når vi har lagt inn rutiner som sørger for å vedlikeholde FDV systemet, sikrer man seg en automatisk dynamikk som muliggjør løpende àjourhold av organisasjon og de tekniske aktivitetene. Dette er en viktig del av kvalitetsikringen av drift- og vedlikeholdsinstruksen.

### Hvordan kan vi benytte oss av historiske data i Spektrum ?

Generelt skal alle vedlikeholdsrutiner utarbeides i henhold til "Systematisk tunnelvedlikehold" (fra april 1992). Alle element i tunnelene skal registreres og vedlikeholdsrutiner på elementene utarbeides i henhold til gitte føringer. Frekvens for utførelsen fastsettes og arbeidsordren kommer ut til oppsatt tid. Når vedlikeholdsarbeidet er utført, timer og tidspunkt registrert på elementnivå, vil en få frem alle forefallende og korrektive arbeidsoppgaver (FV og KO) i historikklistene.

Ut i fra listene kan man danne seg et bilde av tilstanden på de ulike element. Viser listene kun FV-arbeid, er det et tegn på at man kanskje utfører rutinen for ofte. Viser listene kun KO-arbeid og minimalt med FV-arbeid, kan det tyde på at vi enten utfører rutinen med et for stort intervall mellom utførelsene, at arbeidet ikke er utført tilfredsstillende, eller så kan komponentene i elementet være av for dårlig kvalitet. Vi kan sortere på de ulike hendelser, tid, sted, feil på komponenter, fag, m.m. alt etter hva vi ønsker. På denne måten kan man utnytte historiske data for å analysere utviklingen på det utstyret man har gjennom erfaringer og vedlikeholdsfrekvenser for å kunne optimalisere både kvalitet og utførelse.



## **9 Dokumentasjon**

### **9.1 Generelt - orientering**

Det bør etter ferdigstilling av anlegget foreligge ajourførte dokumenter som er tilgjengelige enten ved pumpeanlegget, sentralt plassert, eller ved eventuelt utlån. Dette vil normalt være hos tunneleieren, hos alarmsentralen eller brannvesen, og hos den som har ansvaret for utførelse av drift og vedlikehold av tunnelen.

### **9.2 Hvem har planlagt og bygd anlegget**

Avsnittet skal gi en oversikt over:

- Rådgivende ingeniører
- Entreprenører
- Leverandører
- Kort teknisk beskrivelse
- Eventuelle reservedelslister

### **9.3 Pumpeanlegget**

Avsnittet skal inneholde:

- Generell informasjon og systeminformasjon
- Funksjonsbeskrivelse
- Hvor anlegget fjernovervåkes fra

### **9.4 Driftsinstruks/tilsyn og vedlikehold**

- Datablad - HMS
- Generelt vedlikehold
- Daglig drift
- Tids- og vedlikeholdsskjema
- Driftsinstruks på motor
- Driftsinstruks på pumpe
- Sikkerhetsrutiner
- Risikovurderinger
- Dokumentasjon av driftspersonalets kompetanse
- Liste over sentrale kontaktpersoner som er disponibel til enhver tid

### **9.5 Dokumentasjon**

- Materialspesifikasjon
- Brosjyremateriell og produktliste

### **9.6 Tegninger**

- For-/slamkammer
- Nødbasseng
- Pumpekammer
- Pumpeanlegget
- Trykktank, rørledninger m. m
- Annet utstyr

## 10 Vedlegg

### Valg av pumper

Valg av pumper og typer kan ikke sammenfattes i en enkel oppstilling fordi det er så mange ulike momenter som spiller inn. Har man imidlertid bestemt seg for hva man skal pumpe, hvor mye man skal pumpe, hvor høyt man skal pumpe og utformingen av pumpeumpen vil pumpeleverandøren være den med best kompetanse som kan bidra til å sikre et riktig valg !

#### 10.1 Eksempel på oppbygging av pumpeanlegg for en "tenkt tunnel".

Som tidligere beskrevet vil det være mange ulike faktorer som spiller inn ved valg av pumper, armatur, pumpeledning o.l.

For å anskueliggjøre faktorene i forhold til hverandre så tas det i det videre eksempel utgangspunkt i en tenkt tunnel med følgende mål:

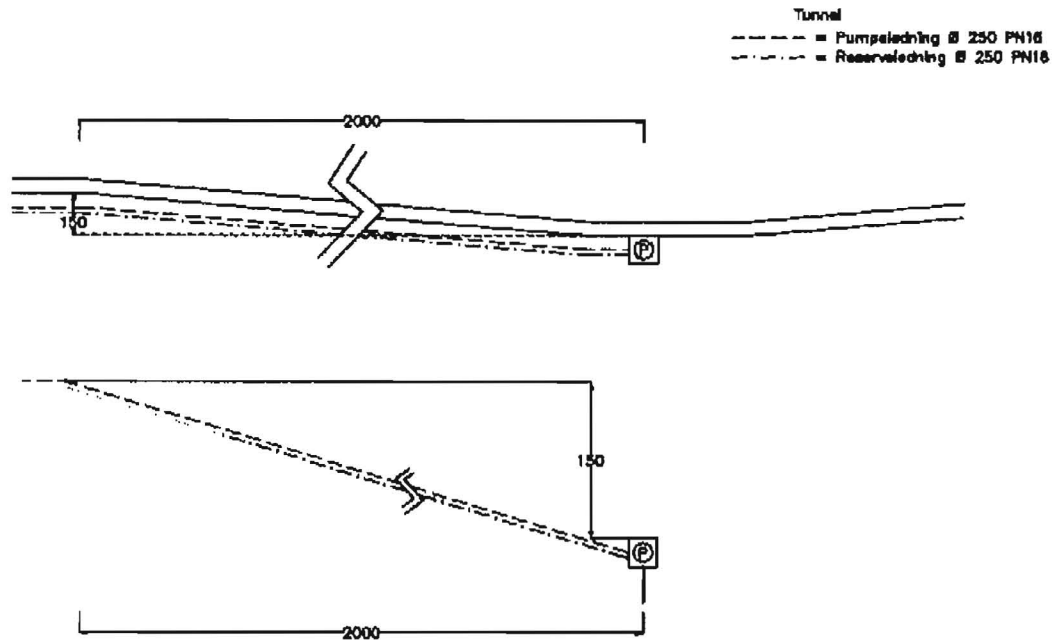
Tunnellengde:	= 4000 meter
Tunneldybde under vann overflaten:	= 150 meter
Total innlekkasje av vann:	= 40 l/sek.

Innlekkasjen av vann vil være jevnt fordelt over hele tunnelens lengde, det vil si ca.10 l/sek. pr.1000 meter tunnel.

Det er tatt utgangspunkt i 4 forskjellige alternativer som er relevante for å få en sammenligning.

Beskrevne kostnader er gitt etter prisnivået høsten 1990

## Prinsippskisse for pumpeanlegg med en pumpestasjon med utpumping etter behov



Bilde 24

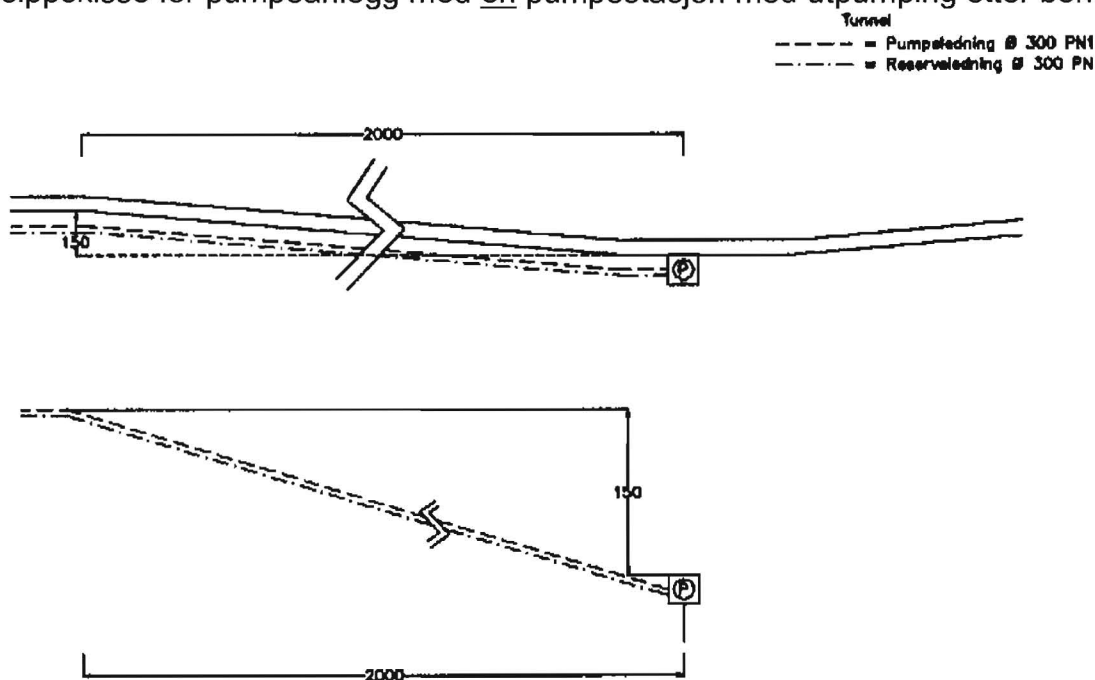
### Alt.:1. 1 stk. pumpestasjon plassert på det dypeste punkt i tunnelen.

Utpumping = innlekkasje. (DAGPUMPE) (se bilde 24)

- |    |  |  |
|----|--|--|
| a. | Total pumpekapasitet:<br>(10 m.v.h. er friksjon)         | = 40 l/sek mot 160 m.v.h.                |
| b. | Trykkklasse armatur:                                     | = PN 25.                                 |
| c. | Trykkklasse pumpeledning:                                | = PN 16.                                 |
| d. | Pumpeledning ( 1 m/sek.):<br>(Reserveledning 2000 meter) | = 2000 meter Ø 250 PEH.                  |
| e. | Pumpebasseng:  | = ca. 8 m <sup>3</sup> .                 |
| f. | Nødbasseng:  | = 8 timer a`40 l/sek.1200 m <sup>3</sup> |

Nødstrøm dersom elektrisk nettutfall, eventuelt dieselpumpe.

Prinsippskisse for pumpeanlegg med en pumpestasjon med utpumping etter behov:



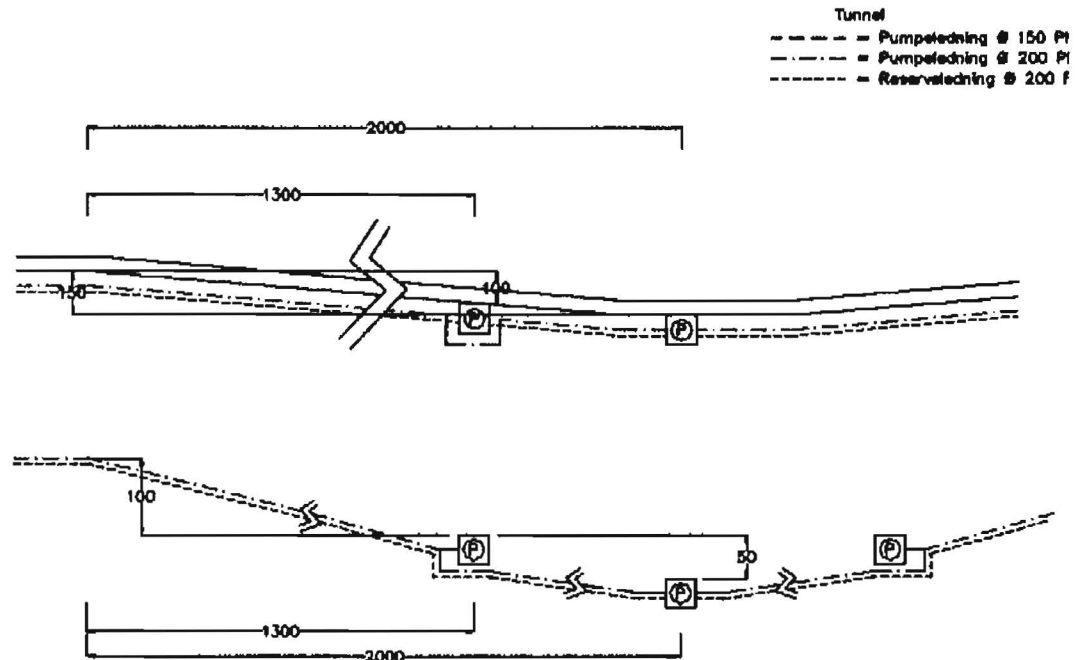
Bilde:25

**Alt.:2. 1 stk. pumpestasjon plassert på det dypeste punkt i tunnelen.**

**Utpumping etter behov.** (se bilde 25) Obs! denne pumpeledning har kun større diameter)

- a. Total pumpekapasitet:= 60 l/sek. mot 160 m.v.h.
- b. ( 10 m.v.h. er friksjon)
- b.+ c. Som alt. nr. 1:
- c. Pumpeledning ( 1m/sek.):
- d. = 2000 meter Ø 300 PEH. (Reserveledning 2000 meter)
- e. Pumpebasseng: = ca. 12 m<sup>3</sup>.  
(Pumpetid ca.10 min./hvile tid ca. 5 min.)

Nødstrøm som Alt.:1.= ca. 15 % større enn alt.:1.

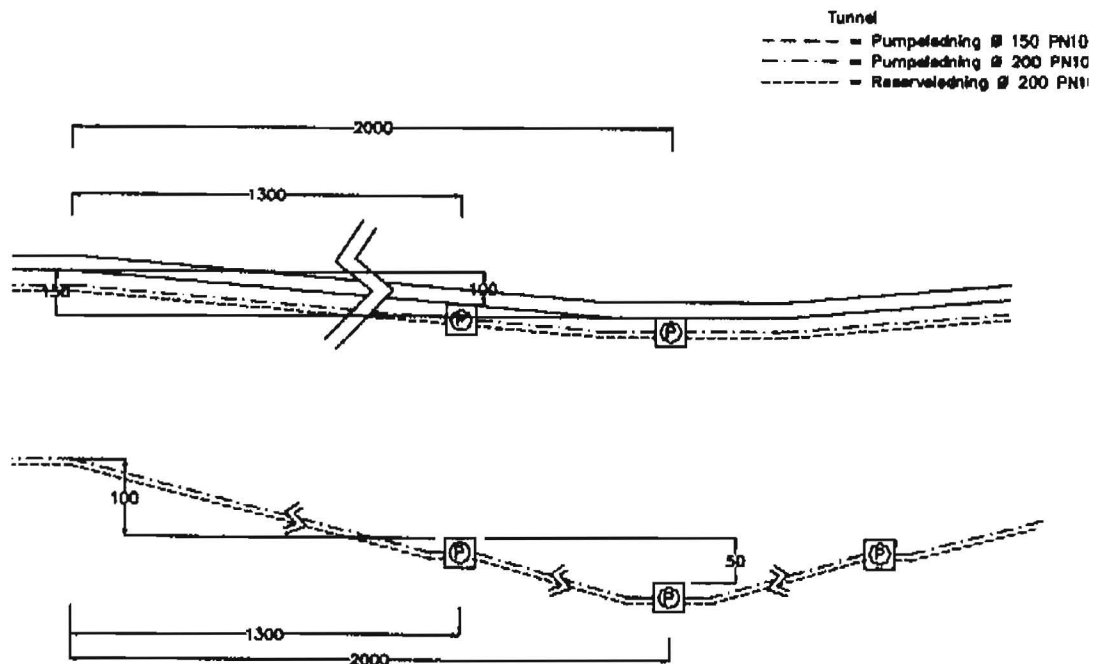


Bilde 26

**Alt. nr. 3. 3 stk. pumpestasjoner etter "bøttemetoden" pumper fra en stasjon til den neste. 1 stk. plassert på det dypeste punkt i tunnelen, og 2 stk. plassert ved 100 meter under vannflaten, i hver ende av tunnelen. (se bilde 26)**

- |      |                                       |   |
|------|---------------------------------------|---|
| a.   | Total pumpekapasitet:                 | = 40 l/sek.                             |
| a.1  | 1 stk. pumpe ved 150 meter:           | = 14 l/sek.                             |
| a.2. | 2 stk. pumpe ved 100 meter:           | = 14 + 13 b. l/sek.                     |
|      | Trykkklasse armatur:                  | = PN 10.                                |
| c.   | Trykkklasse pumpeledning:             | = PN 10.                                |
| d.   | Pumpeledning ( 1m/sek.):              |   |
| d.1. | Pumpeledning 14 l/sek.:               | = 2 X 1400 meter Ø 150                  |
| d.2. | Pumpeledning 14 + 13 l/sek.:          | = 2 X 1300 meter Ø 200                  |
| e.   | Pumpebasseng:                         | = 1 stk. 4 m <sup>3</sup> ved 150 meter |
|      | 2 stk. 6 m <sup>3</sup> ved 100 meter |   |

Nødstrøm som alt.:1. = ca.20 % mindre enn alt:1.



Bilde 27

**Alt. nr. 4. 3 stk. pumpestasjoner, hvor alle pumper direkte ut.** (se bilde 27)

- |      |                             |             |
|------|-----------------------------|-------------|
| a.   | Total pumpekapasitet:       | = 40 l/sek. |
| a.1  | 1 stk. pumpe ved 150 meter: | = 14 l/sek. |
| a.2. | 2 stk. pumpe ved 100 meter: | = 13 l/sek. |

**Trykklasse på armatur:**

- |      |                              |         |
|------|------------------------------|---------|
| b.1. | Ved 150 meter ( 14 l/sek.):  | = PN 2  |
| b.2. | Ved 100 meter ( 13 l/ sek.): | = PN 10 |

**Trykklasse på pumpeledning:**

- |       |                              |         |
|-------|------------------------------|---------|
| c. 1. | Ved 150 meter ( 14 l/ sek.): | = PN 16 |
| c.2.  | Ved 100 meter ( 13 l/sek.):  | = PN 10 |

Pumpeledning som alt.:3.

Pumpebasseng som alt.:3.

Nødstrøm som alt.:3.

**Obs!** Ovenstående 4 alternativer for utpumping vil gi forskjellige kostnader. Noen av kostnadene som er brukt for å kunne sammenligne kan kanskje være noe uriktige isolert sett men for selve sammenligningen vil de være relevante.

**Elektrokostnader på pumpeanlegg med en antatt virkningsgrad på 70 %.****Alt.:1.**

40 l/sek. mot 150 m.v.h. + 10 m.v.h. friksjonstap.

40 l/sek. x 160 m X 100 % kw. = 90 kw. 102 x 70%

):kr. 0,50 x 90 kw. x 24 timer x 365 dager (pr.år) **kr. 395 000****Alt.:2.**60 l/sek. mot 150 m.v.h. + 10 m.v.h. friksjonstap. med  
10 min. gangtid og 5 min. hviletid

60 l/sek. x 160 m x 100 % x 4/6 tid kw. = 90 kw. 102 x 70 %

): Kostnad som alt.:1. **kr. 395 000****OBS!** Man vil i tillegg tape noe ved å stoppe og starte pumpene**Alt.:3.**

40 l/ sek. med 1 stk. pumpe 14 l/sek. mot 50 m.v.h.

1 stk. pumpe 14 l/sek. mot 100 m.v.h. + 10 m.v.h

1 stk. pumpe 13 l/sek. mot 100 m.v.h. + " "

14 l/sek. x 50 m. x 100 % kw = 10 kw. 102 x 70 %

14 + 13 l/sek. x 110 m. x 100 % kw. = 41 kw. 102 x 70 % = 51 kw.

): kr. 0,50 x 61 kw. x 24 timer x 365 dager **);pr.år kr. 267 100****Alt.: 4.**

40 l/sek. med 1 stk. pumpe 14 l/sek. mot 150 m.v.h.

2 stk. pumpe 13 l/sek. mot 100 m.v.

):Strøm forbruk med kostnader likt alt.:4. **kr. 267 100****Kostnader på pumpeanlegg.:**

Det er tatt utgangspunkt i våtoppstilte sentrifugalpumper for at sammenligningen skal bli tilnærmet lik.

**Alt.:1.****3 stk. pumper:** 40 l/sek. mot 160 m.v.h.

1 stk. for kontinuerlig drift.

1 stk. for å ta opp variasjoner.

1 stk. til reserve.

**Sum:** 3. stk. 8" senkepumpe a` kr. 130 000**kr. 390 000****Alt.:2.****2 stk. pumper:** 60 l/sek. mot 160 m.v.h.

1 stk. for alternerende drift.

1 stk. for reserve.

**SUM:** 2 stk.10" senkepumpe a` kr. 168 000**kr. 336 000****Alt.:3.****2 stk. pumper:** 14 l/sek. mot 50 m.v.h.

1 stk. for alternerende drift.

1 stk. for reserve.

**SUM:** 2 stk.6" senkepumpe a` kr. 31 000      kr. 62 000**4 stk. pumper:** 14 l/sek. mot 110 m.v.h.

2 stk. for alternerende drift

2 stk. for reserve.

**SUM:** 4 stk.6" senkepumpe a` kr. 42 000      kr.168 000**2 stk. pumper:** 13 l/sek. mot 110 m.v.h.

1 stk. for alternerende drift

1 stk. for reserve.

**SUM:** 2 stk.6" senkepumpe a` kr. 42 000      kr. 84 000**):SUM:      Totalt 8 stk. pumper****kr. 314 000****Alt.:4.****2 stk. pumper:** 14 l/sek. mot 160 m.v.h.

1 stk. for alternerende drift

1 stk. for reserve.

**SUM:** 2 stk.6" senkepumpe a` kr. 56 000      kr.112 000**4 stk. pumper:** 13 l/sek. mot 110 m.v.h.

2 stk. for alternerende drift.

2 stk. for reserve.

**SUM:** 4 stk.6" senkepumpe a` kr. 42 000      kr.168 000**):SUM:      Totalt 6 stk. pumper****kr. 280 000**



**KOSTNADER PÅ PUMPEUTSTYR****Pumpeledning.****Alt.:1.**

1400 m. Ø 250 PN 16 PH pumpe /reserve a` kr. 320	kr. 448 000
2600 m. Ø 250 PN 10 PH reserve /reserve a` kr. 240	kr. 624 000
4000 m. pumpeledning	
	<b>kr.1.072 000</b>

**Alt.:2**

1400 m. Ø 300 PN 16 PH pumpe /reserve a` kr. 495	kr. 693 000
2600 m. Ø 300 PN 16 PH pumpe /reserve a` kr. 360	kr. 936 000
4000 m pumpeledning	
	<b>kr.1.629 000</b>

**Alt.:3.**

1400 m. Ø 150 PN 10 PH pumpe /reserve a` kr. 105	kr. 147 000
5200 m. Ø 200 PN 10 PH pumpe /reserve a` kr. 157	kr. 816 400
6600 m. pumpeledning	
	<b>kr. 963 400</b>

**Alt.:4.**

1400 m. Ø 150 PN 16 PH pumpe /reserve a` kr. 130	kr. 182 000
5200 m. Ø 200 PN 10 PH pumpe /reserve a` kr. 157	kr. 816 400
6600 m. pumpeledning	
	<b>kr. 998 400</b>

**Ventiler - armatur o.l. i kvalitet SMO 254.****Alt.:1.**

2 stk. Ø 250 PN 25 sluseventil	a` kr. 61 000	kr. 121 000
3 stk. Ø 200 PN 25 sluseventil	a` kr. 53 000	kr. 159 000
3 stk. Ø 200 PN 25 tilbakesl.vent.	a` kr. 14 900	kr. 44 700
2 stk. Ø 150 PN 25 sluseventil	a` kr. 33 400	kr. 66 800
1 stk. diverse		kr. 100 000
		<b>kr. 491 500</b>

**Alt.:2.**

2 stk. Ø 250 PN 25 sluseventil	a` kr.103 000	kr. 206 000
3 stk. Ø 250 PN 25 sluseventil	a` kr. 61 000	kr. 183 000
3 stk. Ø 200 PN 25 tilbakesl.vent.	a` kr. 21 400	kr. 64 200
2 stk. Ø 150 PN 25 sluseventil	a` kr. 33 400	kr. 66 800
1 stk. diverse		kr. 140 000
		<b>kr. 660 000</b>

**Alt.:3.**

8 stk. Ø 100 PN 10 sluseventil	a` kr. 11 200	kr. 89 000
3 stk. Ø 150 PN 10 sluseventil	a` kr. 19 400	kr. 58 200
8 stk. Ø 100 PN 10 tilbakeslagsventil	a` kr. 4 200	kr. 33 600
4 stk. Ø 200 PN 10 sluseventil	a` kr. 25 600	kr.102 400
1 stk. diverse		kr.140 000
		<b>kr. 423 200</b>

**Alt.:4.**

2 stk. Ø 100 PN 25 sluseventil	a` kr. 23 000	kr. 46 000
6 stk. Ø 100 PN 10 sluseventil	a` kr. 11 200	kr. 67 200
3 stk. Ø 150 PN 25 sluseventil	a` kr. 19 400	kr. 58 200
6 stk. Ø 100 PN 10 tilbakeslag ventil	a` kr. 4 200	kr. 25 200
2 stk. Ø 100 PN 25 tilbakeslag ventil	a` kr. 9 200	kr. 18 400
4 stk. Ø 200 PN 10 sluseventil	a` kr. 25 600	kr.102 400
1 stk. diverse		kr.140 000
		<b>kr. 457 400</b>

**Elektro – styring:**

Det er mange måter å styre pumpene på; for å kunne sammenligne er det tatt utgangspunkt i PLS styring og at pumpene startes med mykstartere.

<b>Alt. nr. 1 + 2 vil være tilnærmet like, kostnadsberegnet til</b>	<b>kr. 580 000</b>
<b>Alt. nr. 3 + 4 vil være tilnærmet like, kostnadsberegnet til</b>	<b>kr. 840 000</b>

**Sammenstilling:**

Uten å ta hensyn til bygningsforhold, gir ovenstående oppstilling en indikasjon på hvordan det lar seg gjøre å finne en god pumpeløsning.

	<b>Alt. nr. 1.</b>	<b>Alt. nr. 2.</b>	<b>Alt. nr. 3.</b>	<b>Alt. nr. 4.</b>
Kostnader utstyr:	<b>2.533 000</b>	<b>3.200 000</b>	<b>2.540 000</b>	<b>2.575 000</b>
Kostnader strøm:	<b>395 000</b>	<b>395 000</b>	<b>267 100</b>	<b>267 100</b>

Det er rimeligere å pumpe ut lekkasjevannet etter "bøttemetoden" både for investering og for drift.

**Valg av pumper.****Konklusjon på ovenstående alternativ:**

Som nevnt i tidligere punkt kan valg av pumpetype være vanskelig, og har heller ikke noe enhetlig svar. Men med utgangspunkt i ovenstående eksempel på en

"tenkt 4000 meter" lang undersjøisk tunnel vil følgende oppstilling være relevant når tunnelen skal utformes:

- Er det mulig med en lokal pumpe der hvor lekkasjen er størst?
- Er det fare for at pumpen kan oversvømmes i det nivået den tenkes plassert?
- Vil pumpen i full drift med nettutfall lage trykkstøt?
- Er det mulig å holde anlegget i trykkklasse PN 10?
- Hvordan ivareta sikkerheten og få anlegget i drift etter kollaps?
- Kan pumpene tåle det verst tenkte tilfelle?
- Hvordan ivareta kvalitet; er pumpen resistent for det miljøet den er satt i og tåler den langvarig drift?
- Effektivitet; pumpeaggregatet (total pumping) bør ha best mulig effektivitet.
- Pris og kuranthet, pumpepris må veies opp mot levetid samt at det bør være pumper i normale utførelser.

**Alternativ nr. 3. i "den tenkte 4000 meter" tunnel vil etter kostnadsoversikten være den mest aktuelle pumpe løsning å bruke.**

### **Lekkasjen**

Lekkasjen er gitt, derfor falt valget på alt. nr. 3.

Ved dypeste nivå kan pumpen ved spesielle tilfeller bli dykket.

Enten må pumpen plasseres i et vanntett rom eller så må pumpen være av våt oppstilt type.

Pumpene på nivå "50 meter over" vil ikke kunne bli neddykket med normal utførelse av pumpe stasjonen.

### **Trykk støt:**

Pumpen på dypeste nivå har forholdsvis liten vannmengde 14 l/sek., kort pumpeledning på 700 meter og lite trykk. Det medfører at trykkstøtet ikke blir så stort og kan utføres på en rimelig måte.

Pumpene på nivå "50 meter over" må ha trykkstøtdempende tiltak og det kan ordnes her med svinghjul eller med trykkdempetank.

### **Trykkklasse:**

Ved valg av flere pumpe stasjoner holdes trykket under PN 10. Da kan anlegget bygges opp av normale kurante deler

### **Sikkerhet.**

Ved valg av flere pumpe stasjoner elimineres risikofaktoren betraktelig.

Det er bare den dypeste pumpen som ikke kan nås i tilfelle uhell skjer. Den dypeste pumpen må derfor utstyres slik at den kan settes i drift og pumpe selv om vannet i tunnelen langt overstiger pumpe nivået.

**Kvalitet.**

Normalt er miljøet i tunnelene aggressivt og det må det tas hensyn til. I en tørroppstilt pumpe vil det være pumpedelen (våt del) som er mest utsatt, mens for en våtoppstilt pumpe er hele pumpeaggregatet utsatt. Kvaliteten på pumpen må vurderes gjennom at prisen skal stå i forhold til forespeilet levetid.

**Effektivitet.**

Pumper av kurante typer og størrelser har nesten lik virkningsgrad. Det er derfor av betydning at pumpen har det driftspunktet som gir best virkningsgrad og at pumpen arbeider ved dette driftspunktet i lengst mulig tid.

**10.2 "Oppskrift" for valg av løsning for pumper i tunnel.**

- ✓ Tunnelen deles opp i flere pumpeområder.
- ✓ Pumpene holdes i trykklasse PN 10
- ✓ Trykkstøtproblemet reduseres ved korte ledninger (lite masse)
- ✓ Våtoppstilte pumper plasseres slik at de ikke lager trykkstøt
- ✓ Dypeste punkt utstyres med våtoppstilte pumper
- ✓ Neste pumpe plasseres over høyeste tenkte vannnivå
- ✓ Pumpe over høyeste nivå tørroppstiles, med pumpedel i godt egnet materiale
- ✓ Om pumpen lager trykkstøt utstyres den med svinghjul
- ✓ Pumpene beregnes for utpumping lik tilrenning, dette gir minst tverrsnitt på pumpeledningen