



Statens vegvesen

Trinnpumping i undersjøiske tunneler

RAPPORT

Teknologiavdelingen

Nr: 2402





Statens vegvesen

TEKNOLOGI-RAPPORT nr. 2402

Tittel

Trinnpumping i undersjøiske tunneler

Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep
0033 Oslo

Telefon: 22 07 35 00

www.vegvesen.no

Utarbeidet av

Harald Buvik, Tor Olav Frøland, Asbjørn Martinussen, Robin Jakobsen,
Arve Jonassen, Evald Altermark

Dato:

2005-08-30

Saksbehandler

Harald Buvik

Prosjektnr:

Kontrollert av

Mona Lindstrøm

Antall sider og vedlegg:

32 / -

Sammendrag

Norge har i alt 23 undersjøiske tunneler, bygd i perioden 1982-2002. Pumpeanleggene i disse tunnelene har utviklet seg lite på denne tiden. En prosjektgruppe har gjennomgått erfaringene og foreslår en alternativ løsning på utforming og materialvalg for pumpeanlegg.

Tre områder peker seg ut for forbedringer: driftssikkerhet, vedlikeholdsvennlighet, og levetidskostnader for pumper og utstyr. Ut fra gjennomgangen anbefales tøroppstilte pumpeanlegg, pumpeledning til hver side ut av tunnelen, og trinnavpumping av lekkasjevann der løftehøyden for hvert trinn er maksimum 80 meter. Løsningen innebærer bruk av utstyr som er i mindre enheter, er lettere tilgjengelig for service og vedlikehold, og som gir en langt større sikkerhet.

Løsningen anbefales for nyanlegg og som alternativ ved rehabilitering og oppgradering.

Summary

A total of 23 sub-sea tunnels are built on the Norwegian road network, in the period between 1982 and 2002. A work group has evaluated the experiences from operation of the pumping system in these tunnels, and presents an alternative, improved method for pumping drainage water from the tunnels.

In general, the water leaking into a tunnel is collected in a large reservoir at the tunnel low point. The water is then pumped through a pipeline to the surface. The pumps are heavy, expensive, difficult to maintain and vulnerable in an emergency situation.

In the new system, additional reservoirs with pumps are positioned between the tunnel low point and each entrance. The water is pumped out of the tunnel in sections with a vertical height of maximum 80 metres. Rain water will be collected in separate reservoirs in the entrance zones and pumped directly from the tunnel.

This system, which is recommended for new tunnels and when repairing older tunnels, uses smaller pumps placed on dry ground. The pumps are designed to meet the actual need for capacity and may run continuously. Additional pumps in each of the reservoirs provide capacity for emergency situations. The operation, maintenance and replacement of this equipment is more manageable, less expensive and gives better safety.

Emneord:

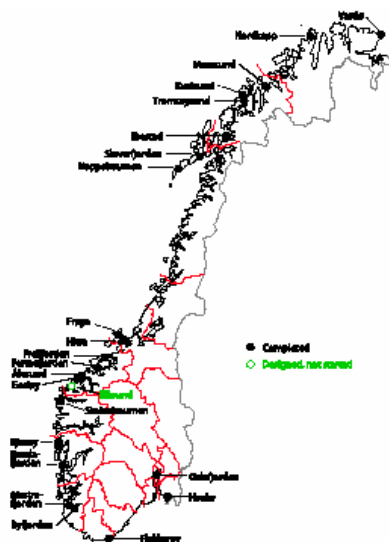
Tunnel, undersjøisk, pumpeanlegg, pumpeutstyr, trinnavpumping

Innholdsfortegnelse

0	Bakgrunn for arbeidet	2
1.	Sammendrag	3
2	Erfaringer med dagens løsninger	4
2.1	Pumpeanlegg	4
2.2	Basseng	6
2.3	Røropplegg	6
2.4	Pumpemotor (borehullpumper)	6
3	Systembeskrivelser for trinnpumping	7
3.1	Generelt	7
3.2	Elementbeskrivelser	9
4	Trinnpumping, nyanlegg	12
5.	El-anlegg	15
5.1	Generelt og felles	15
5.2	Elektrisk kraft, motordrift	17
5.3	Styring og overvåking	19
5.4	Drift, funksjonsprøving og vedlikehold	23
6.	Rehabilitering / ombygging	25
7.	Alternativ bruk av lekkasjevannet	29
7.1	Generelt slukkevann – brannvann	29
7.2	Utnyttelse til aktivt slukkeanlegg	29
8.	Teknisk beredskapsplan	30
9.	Drift og sikkerhet	31
9.1	Drift og vedlikehold	31
9.2	Sikkerhetsmessige fordeler	31
9.3	Pumpetype	32
9.4	Levetidsvurderinger	32

0 Bakgrunn for arbeidet

Norge er det land i verden som har flest undersjøiske vegtunneler. Siden 1982 og frem til i dag har vi fått 23 slike tunneler som er åpnet for trafikk. Flere kommer i årene framover. Vi er dermed også det land i verden som har lengst erfaring med slike tunneler i drift.



Navn	Fylke	Veg nr	Åpnet	ADT	Stigning (%)	Lengde (m)	Største dyp (m)
Hvaler	Ostfold	Rv 108	1989	1 884	10	3 755	-120
Oslofjord*	Akerhus /Buskerud	Rv 23	2000	4 000	7	7 252	-134
Flekkerøy	Vest-Agder	Rv 457	1989	3 100	10	2 327	-101
Byfjord	Rogaland	Ev 39	1992	3 800	8	5 875	-223
Masstrafjord	Rogaland	Ev 39	1992	2 740	8	4 424	-132
Bjorev	Hordaland	Ev 207	1996	350	10	2 012	-85
Bømlafjord	Hordaland	Ev 10	2000	2 777	8,5	7 860	-260
Skatestraumen	Sogn & Fj	Rv 616	2002	155	10	1 902	-80
Fannefjord	Møre og Romsdal	Rv 64	1991	1 350	8,5	2 743	-100
Freifjord	Møre og Romsdal	Rv 70	1992	1 800	9	5 086	-132
Ellingsøy	Møre og Romsdal	Rv 658	1987	3 500	8,5	3 520	-140
Valderøy	Møre og Romsdal	Rv 658	1987	2 700	8,5	4 222	-145
Godøy	Møre og Romsdal	Rv 658	1989	900	10	3 844	-153
Hira	Sør-Trøndelag	Rv 714	1994	820	10	5 645	-264
Frøya	Sør-Trøndelag	Rv 714	2000	700	10	5 305	-184
Nappstraumen	Nordland	Ev 10	1990	1 000	8	1 780	-60
Sjøverfjord	Nordland	Ev 10	1997	157	8	3 337	-100
Tromsøysund	Troms	Ev 8	1994	8 250	8	3 386	-101
Kvalsund	Troms	Rv 863	1988	700	8	1 650	-56
Maurssund	Troms	Rv 866	1991	650	10	2 122	-92
Høstad	Troms	Rv 848	2000	300	10	3 398	-112
Vardo	Finnmark	Ev 75	1983	1 000	8	2 892	-88
Nordkapp	Finnmark	Ev 69	1999	320	10	6 826	-212

Figur 1 Oversikt over undersjøiske tunneler pr. juli 2004

Pumpeanleggene i disse tunnelene har utviklet seg lite på disse årene. Løsningene har langt på veg blitt kopiert fra anlegg til anlegg. I offshore-sammenheng blir våre pumpeanlegg sett på som noe umoderne.

Prosjektgruppen har derfor fokusert på denne situasjonen og sett på forslag til alternative løsninger på utforming og materialvalg for pumpeanlegg, først og fremst for undersjøiske men også i andre tunneler som har pumpeanlegg installert. Det har vært fokusert på økonomi, effektivitet, driftssituasjon og vedlikehold. Ut fra driftssikkerhet og HMS, totaløkonomi og levetid anbefales tørroppstilte pumpeanlegg ved nyanlegg. Dette er også et godt alternativ ved rehabilitering/oppgradering av eldre anlegg der pumper skal skiftes ut.

Prosjektgruppen har bestått av:

Harald Buvik	Vegdirektoratet
Tor Olav Frøland	Region Vest
Asbjørn Martinussen	Region Nord
Robin Jakobsen	Region Nord
Arve Jonassen	Vegdirektoratet
Evald Altermark	ABS Pumper

1. Sammendrag

Arbeidsgruppens medlemmer har god kjennskap til de fleste av dagens undersjøiske tunneler. På bakgrunn av det pumpeutstyret som er installert og som man har erfaring med, er det spesielt tre områder som peker seg klart ut hvor det er potensial for forbedringer:

1. Driftssikkerhet
2. Vedlikeholdsvennlighet
3. Levetidskostnader for pumper og utstyr.

Som forutsetning for dette forbedringspotensialet ligger prinsippet om trinnpumping av lekkasjevannet ut av tunnelen. Med trinnpumping samles lekkasjevannet opp for definerte områder av tunnelen og på den måten reduseres løftehøyden på mye av lekkasjevannet ut av tunnelen. Ved at hvert trinn får maksimum 80 m løftehøyde, unngår man videre å installere spesialprodukter i rør og pumper. Dette fører til at driftsenergien/ -økonomien blir optimalisert, utstyret blir i mindre enheter og vil være lettere tilgjengelig for service og vedlikehold. Med en pumpeledning til hver side ut av tunnelen vil sikkerheten økes i forhold til dagens løsning.

Dette gjelder spesielt for nyanlegg men også ved oppgradering av eldre pumpeanlegg vil trinnpumping være et reellt alternativ der forholdene ellers ligger til rette for det.

2 Erfaringer med dagens løsninger

2.1 Pumpeanlegg

De aller fleste av de undersjøiske tunnelene er bygd opp etter samme lest når det gjelder utpumping av inntrengt lekkasjevann. Etter å ha tettet de største vannlekkasjene ved injisering i byggeperioden, blir de mange små vannlekkasjene i driftsfasen ledet til lavbrekket av tunnelen via dreneringsrør. Lekkasjevannet blir videre samlet i et pumpebasseng hvor pumpene er plassert. Pumpeledningen fra bassenget følger så vegbanen enten helt ut eller så langt at den kan føres rett opp og ut i friluft gjennom et hull boret i overliggende fjell.

De undersjøiske vegg-tunnelenes lengde og dybde er varierende, men tunnelene har likevel flere felles trekk:

- Alt lekkasjevann som trenger inn i tunnelen dreneres til tunnelens lavbrekk hvor pumpe-stasjonen for utpumping av lekkasjevannet er plassert. I tilknytning til pumpe-stasjonen finnes ett eller to nødbasseng med størrelser på 700 - 1000 m³. Dette medfører stor løftehøyde for utpumping av lekkasjevannet og dermed store strømkostnader ved drift
- I enkelte tunneler er det løftehøyder som er så store at pumpeanlegget kommer opp i trykkklasse PN 25. Høy trykkklasse gir lite tilgang på reservedeler
- Mye overflatevann utenfor tunnelen renner inn i tunnelen og helt ned i bunn. Dette kunne vært stoppet i portal
- All erfaring viser at innlekkasjevannet er avtagende over tid (se figur 2), det vil si at sprekker tettes på grunn av salter og partikler m.m. som bygger seg opp
- Pumpekapasiteten med utstyr er dermed i de fleste tilfeller blitt for stor i forhold til det faktiske behovet. Selve pumpetiden blir liten og stopptiden forholdsvis lang
- Miljøet i tunnelen kan være svært korrosivt på grunn av salter, avgassing m.m.
- Uheldige materialvalg på pumpeanlegg/-ledninger forekommer ofte
- Uheldige elektrotekniske løsninger forekommer, for eksempel ved at disse er for lavt plassert
- Evaluering av pumpeanleggene er ikke blitt foretatt systematisk.
- På grunn av store pumper blir transformator plassert nær pumpene

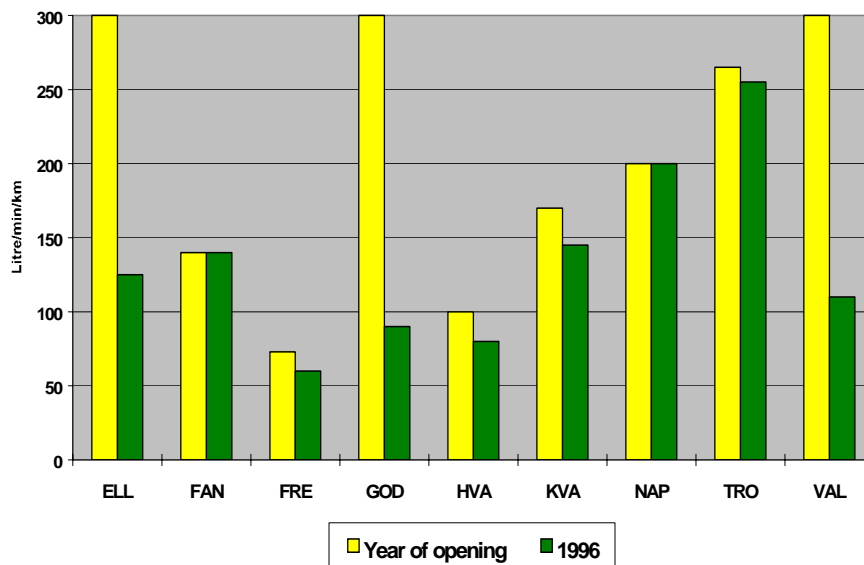
Generelt er alle pumpeanleggene inklusive de elektriske komponenter plassert i åpne løsninger i og rundt pumpe-sumpen.

I nær samtlige av de undersjøiske tunnelene er det brukt langakslede nedsenkbare borehullpumper som er montert vertikalt. Pumpetypen gir mulighet for utpumping ved store løftehøyder og den er enkelt bygd opp og enkel å betjene. Pumpene kan leveres som standard i rustfritt eller syrefast stål. Slik kan det gi en forholdsvis rimelig investeringskostnad og en tilfredsstillende teknisk løsning.

Borehullpumpene er plassert under vannflaten i pumpe-magasinet. Dette er en enkel installasjon, men det medfører også vanskelig ettersyn og vedlikehold. Pumpens generelle oppbygging og teknikk er velkjent.

Kapasiteten til tunnelenes pumpeanlegg blir beregnet i planleggingsfasen ut fra forventet innlekkasjemengde, og pumpeasjonen er utstyrt med pumper etter denne antatte kapasiteten. Det er videre krav om 50 % total reservekapasitet, jf. håndbok 021 *Vegtunneler*.

På grunn av redusert innlekkasjemengde over tid så har dette medført at forholdet mellom pumpenes kapasitet og mengden på lekkasjevann er blitt så forskjellig at pumpene kan ha en stopptid/hviletid på mer enn to uker mellom hver gang pumpen er i drift.



Figur 2 Erfaringer med redusert innlekkasjemengde over tid i noen av tunnelene bygd i perioden 1987-1994. Gult felt viser opprinnelig lekkasje i tunnelen (l/minutt/km), grønt felt er målt lekkasjemengde i 1996.

Erfaringer med borehullpumper:

- Vedlikeholdsutgiftene blir store ved bruk av borehullpumper
- Pumpene har god hydraulisk virkningsgrad
- Pumpene er store, tunge og vanskelige å handtere
- 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.

Normalt utsettes pumpeasjonene for korrosiv luft og drens vann. Vannet inneholder partikler fra tidlig anleggsperiode, sot, asfaltstøv fra vegbanen m.m. I tillegg er det korrosive svovel-, nitrogen- og andre forbindelser fra forbrenningsmotorer samt klorider fra sjøvann. Dette medfører slitasje/korrosjon som borehullpumper er lite egnet for.

2.2 Basseng

De aller fleste tunneler er bygd med et stort utsprengt basseng ved tunnelens lavbrekk. Dette bassenget kan være delt opp med skillevegger i betong som gir hhv:

- ett innløpsbasseng/slamkammer
- ett nødvolumbasseng
- ett pumpebasseng.

Alle bassengene er plassert godt under laveste punkt på veibanen. Lekkasjevannet ledes inn i innløpsbassenget for utskilling/sedimentering av faste stoffer som kommer med lekkasjevannet. Innløpsbassengene har ikke vært utstyrt med anordninger slik at man enkelt kan få ut sedimenterte stoffer.

Lekkasjevannet er videre ledet fra innløpsbassenget til nødvolumbassenget og videre inn i pumpebassenget som utgjør den laveste delen av nødvolumbassenget. Pumpebassenget blir på denne måten liggende ca. 10 meter under vegens lavbrekk. Dette gir ca. 10 meter ekstra løftehøyde. Dersom pumpene i pumpemagasinet ikke starter utpumping vil først pumpebassenget fylles opp og deretter nødvolumbassenget. Ved oppfylling i nødvolumbassenget inntreer en alarmfunksjon. Ved å plassere pumpemagasinet under nødvolummagasinet blir tilgangen til pumpene problematisk og pumpestasjonen må utstyres med kranbaner med løfteutstyr.

Bare et fåtall av tunnelene har oljeutskiller.

2.3 Røropplegg

I de fleste tunneler er pumpeledningen lagt langs tunnelens vegbane til pumpeledningen kommer under tørt land for så å bli pumpet vertikalt opp igjennom boret hull til overflaten. I enkelte tunneler følger pumpeledningen vegbanen helt ut.

Når pumpekapasiteten blir stor, blir også pumpeledningen stor. Dette medfører at det er mye vann, med stor tyngde/masse, i bevegelse. Denne bevegelsesenergien kan forårsake uønskede trykkslag ved pumpestopp. Problemet er gitt ekstra oppmerksomhet ved at det er installert trykkstøtreduserende tiltak som trykktank/vindkjele og tilbakeslagsventiler med roligere stengekarakteristikk. Effekten av slike trykktanker/vindkjeler er liten da det som regel er store trykk som skal dempes.

Trykktanker/vindkjeler skal ha sertifisert trykkklasse, som medfører ettersyn og kontroll av sertifisert personell.

2.4 Pumpemotor (borehullpumper)

Det har i de fleste tilfeller vært problemer med pumpemotorer som brenner og som må skiftes ut. Motorene til borehullpumper er såkalte "dykket, våt motor". Disse er lite motstandsdyktige mot partikler i vannet, og må skjermes mot urenheter som graver hull i beskyttelseskappen.

Til tross for at pumpene er nedsenket i vann kan det oppstå varmgang i motorene. En hylse/skjørt utenpå selve pumpemotoren kan eliminere dette problemet.

Svake punkter har vært lager og korrosjon.

3 Systembeskrivelser for trinnpumping

3.1 Generelt

Trinnpumping forutsetter at lekkasjevannet samles opp over en gitt strekning og pumpes ut før det renner helt ned i tunnelens lavbrekk. Dette gir mindre energikostnader ved utpumping. Ved flere pumpetrinn pumpes vannet fra pumpestasjon til pumpestasjon. Høydeforskjellen skal ikke være over 80 m (se figur 3). I praksis samles lekkasjevannet fra et lokalt område inn i et lite basseng hvor pumpene plasseres. Fra dette bassenget pumpes vannet videre til eventuelt neste basseng og ut av tunnelen.

Fordeler ved trinnpumping:

- Pumper og annet utstyr blir tilpasset nødvendig behov
- Høye trykklasser på utstyret unngås og trykkstøtet reduseres betraktelig
- Ved å dele opp den totale lekkasjevannmengde får man flere små pumpebasseng med små pumper som er lette å handtere
- Flere små pumpebasseng gir lavere løftehøyde for pumpen, og mindre trykkklasse
- Små pumper er rimelige i anskaffelse og finnes som vanlig handelsvare
- Større driftssikkerhet
- Man unngår store effekttopper ved start av små pumper
- En til to pumper er i drift kontinuerlig, som de er konstruert for

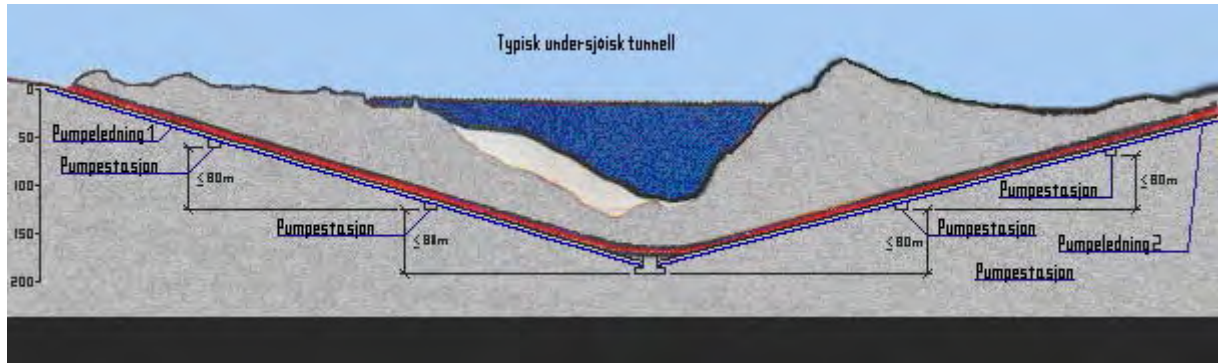
Antall pumpetrinn som er nødvendig i en tunnel varierer med hensyn til tunnelens lengde og dybde.

Som hovedregel skal det plasseres ett pumpebasseng for hver gang man nærmer seg trykkklasse PN 10, det vil si at maksimal løftehøyde på lekkasjevannet er 80 m pr. pumpetrinn.

Innenfor tunnelportalen, i frostsikker dybde, plasseres en enkel pumpestasjon som pumper ut overflatevannet som tilrenner tunnelen fra arealene utenfor åpningene (se eksempel i figur 4). Denne pumpestasjonen er ikke integrert i systemet med trinnpumping, men fanger opp overflatevann og pumper dette ut.

Portalområdet må innrettes med kummer og sluker slik at overflatevannet ledes til portal-pumpestasjonen. All erfaring viser at overflatevann fra arealene utenfor tunnelåpningen i nedbørsperioder kan utgjøre betydelige mengder og langt overstige den ordinære innlekkasjen.

Det skal alltid være et pumpebasseng i lavbrekket av tunnelen som står i forbindelse med tilstrekkelig nødvolum.



Figur 3 Skjematisk snitt gjennom undersjøisk tunnel. Prinsippet for trinnvis pumping er vist ved pumpeledninger fra lavbrekk til hver av portalene, og pumpestasjoner som gir løftehøyde på maksimalt 80 m.



Figur 4 Snitt gjennom enkel kum med pumpe for oppsamling og utpumping av overflatevann i portalområde.

Prinsippet med trinnpumping forutsetter at det legges en pumpeledning fra tunnelens lavbrekk til hver portal. Ved å legge én pumpeledning til hver tunnelåpning vil man også få en betydelig større driftssikkerhet innarbeidet med trinnpumping. Ved eventuelt driftshavari på den ene pumpeledningen, kan mye av lekkasjevannet pumpes ut i den andre ledningen.

Trinnpumping er det pumpeopplegget for tunneler som totalt sett krever minst energi. Lekkasjevannet fanges opp i det området hvor det trenger inn og pumpes ut igjen uten å renne for langt ned i tunnelen.

3.2 Elementbeskrivelser

Pumpestasjon

For å få lekkasjevannet ut av tunnelen må det bygges minst én pumpestasjon som består av:

- Dreneringssystem som leder vannet til pumpestasjonen
- Slamkammer som separerer ut de største partiklene
- Pumpebasseng som samler opp vannet som skal pumpes ut
- Nødvendig pumpekapasitet bygges som et pumpeaggregat med flere like pumper
- Ventiler for pumper og pumpesystemet
- Rør mellom slamkammer, pumpebasseng, pumper og utløpsledning
- Styresystem for pumper. Pumpene starter og stopper etter nivå i pumpebasseng
- Pumpehus. Overbygg for pumper – ventiler og styring
- Pumpeledning.

Pumpestasjon i tunnelens lavbrekk må plasseres slik at den kan betjenes selv med vannstand 1,0 meter over vegbanen.

Ingen elektrotekniske installasjoner må plasseres lavere enn 1,0 meter over vegbanen i bunn tunnel.

Pumper

Til trinnpumping anbefales flertrinns vertikal sentrifugalpumpe som er tørroppstilt (figur 5).



Figur 5 Flertrinns vertikal sentrifugalpumpe

Pumpen og motor er sammenkoblet som en enhet, med lanterne mellom motor og Pumpe.

Motoren er en vanlig normert motor med normalt god virkningsgrad. Pumpen må plasseres slik at den får tilrenning, den er ikke selvsugende. Pumpetypen er konstruert for kontinuerlig drift.

Pumpen er bare utstyrt med støtte-glidelager, slik at den i normal utførelse bare kan monteres vertikalt.

Ventiler

Pumpestasjonen utstyres med forskjellige ventiler:

- Serviceventiler - stengeventiler som monteres slik at man kan stenge ute hvert enkelt element. Ventilen bør være i plastmateriale da de er lite i bruk og dermed er utsatt for korrosjon. Alle serviceventiler skal være festet til anslutningen slik at de kan opereres på fri ende

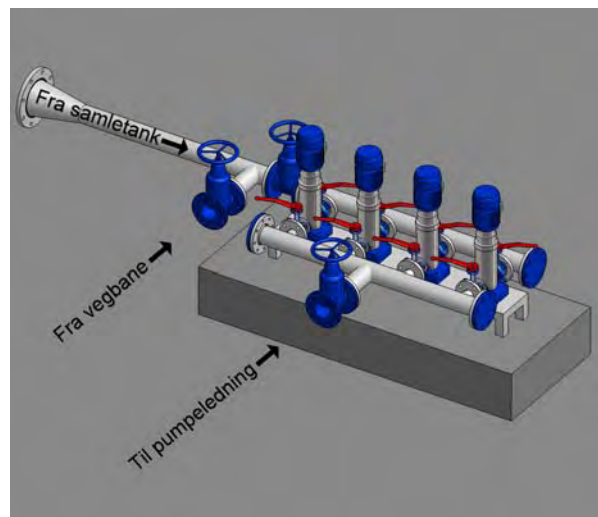
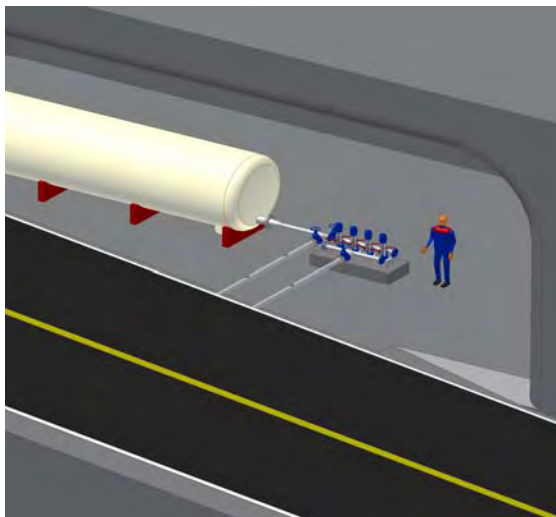
Anbefalt ventil er dreiespjeld-ventil med flens eller "LUG"

- Hver pumpe må utstyres med tilbakeslagsventil slik at ikke utpumpet vann renner tilbake. Ventilen er en arbeidsventil som åpner og lukker hver gang pumpen starter og stopper. Tilbakeslagsventilen må være av god kvalitet og utført i syrefast stål eller bedre. Ventilen kan være av innspenningstype, men det må alltid monteres en serviceventil etter tilbakeslagsventilen.

Anbefalt tilbakeslagsventil er Butterfly eller eksenter-klaffventil

- Flottørventil plassert i pumpebassenget for avstenging av tilførsel fra nedenforliggende pumpestasjon. Om ett av pumpebassengene er fullt av vann så skal nedenforliggende pumpestasjon stoppe eller pumpe ut i den andre retningen.

Anbefalt flottørventil er kjegle-seteventil med arm og flottør



Figur 6 Rørteknisk illustrasjon i en typisk trinnpumpestasjon. Til venstre: samletank med pumper. Til høyre: detalj av vannvei for pumpevann i et pumpetrinn.

Rør

Alle rør i pumpe-stasjonen skal så langt det lar seg gjøre være i plastmateriale, for eksempel PE. Plast herder med vibrasjon slik at mellom pumpene og plastrørene må det monteres gummikompensatorer, som absorberer vibrasjonene.

Hvis rørene lages i PE-materiale så kan gummikompensatorene sløyfes.

Pumpeledning

Pumpeledningen er en meget viktig del av hele pumpesystemet og den må være tilgjengelig i hele tunnelens lengde. Ledningen må plasseres slik at den ikke blir ødelagt av ytre påkjenninger.

Pumpeledningens dimensjon tilpasses pumpekapasitet og innlekkasjemengde, slik at beregnet friksjonsmotstand ikke overstiger 5 meter løftehøyde.

Materialkvaliteten i pumpeledningen skal være i PE-materiale som kan bearbejdes med sveising eller elektromuffer.

Slamkammer

Et trekamret slamkammer for sedimentering av større partikler plasseres før hvert pumpebasseng.

Slamkammer utstyres med sugerør, slik at "sugebil" kan koble seg direkte til, for fjerning av sedimentene.

Drenering

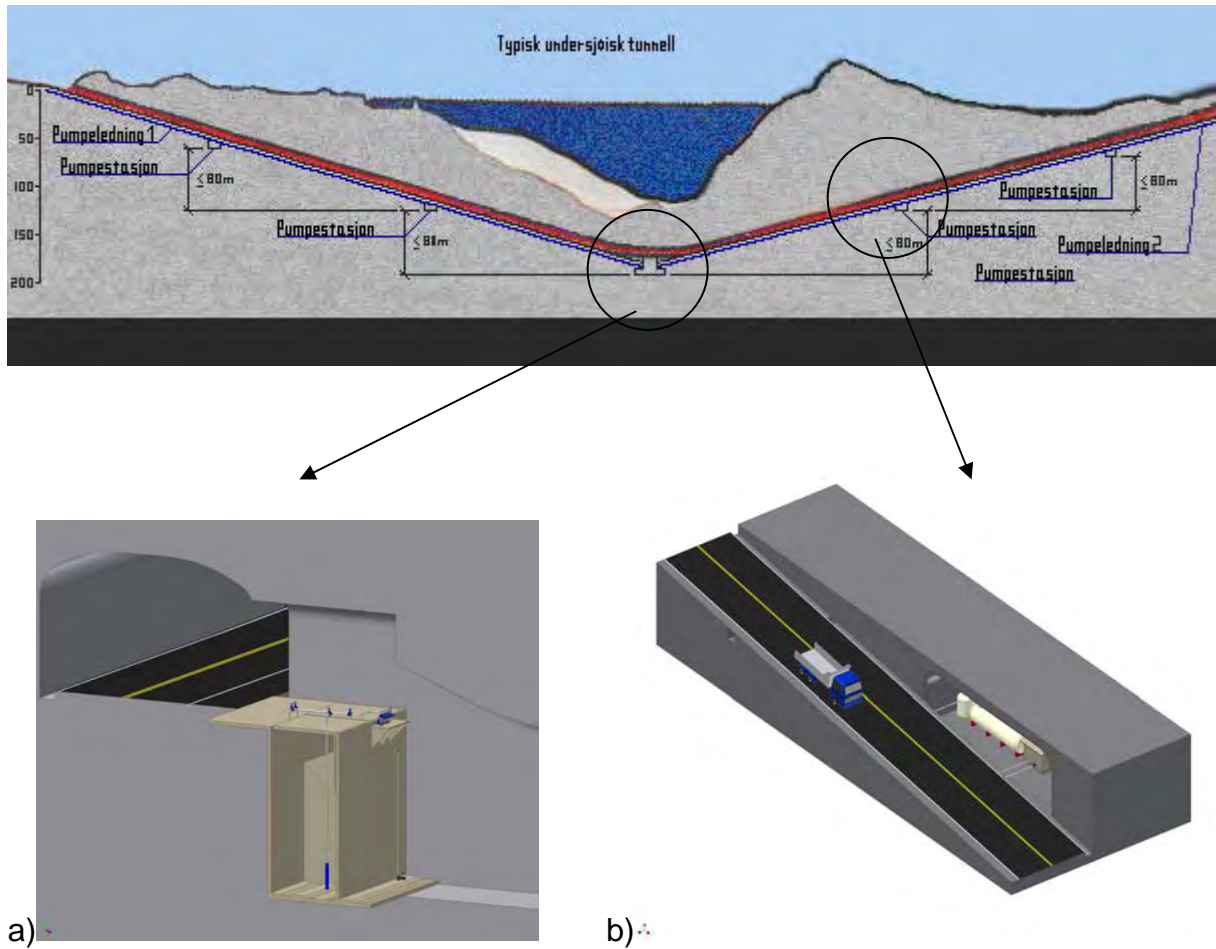
Drenssystemet i undersjøiske tunneler med trinnpumping kan utføres på vanlig måte i henhold til håndbok 021, kap. 8. Vannlekkasjer i vegger og heng samles opp og ledes ned i grøft/drenering og lekkasjer fra tunnelsåle samles opp via drens laget over avrettet traubunn. Ved trinnpumping blir imidlertid drensvannet ledet inn i den nedenforliggende trinnpumpe-stasjonen og ikke helt til bunnen av tunnelen. Det betyr at drens-systemet må seksjoneres for hver trinnpumpe-stasjon. Dette kan gjøres ved at drensledningen, eller transportledningen der slik benyttes, føres inn på slamkammer i trinnpumpe-stasjonen. For å være sikker på å få med seg lekkasjevannet fra sålen som renner utenom drensledningen, kan det ved hver stasjon etableres en terskel eller en avskjæringsgrøft hvorfra vannet ledes inn på drensledningen og derfra til slamkammer.

I undersjøiske tunneler ser vi at avrenning fra forskjæring og omliggende terreng i nedbørsperioder kan være betydelig, opp til 3-4 ganger større enn normal innlekkasje. Dette vannet bør avskjæres og ledes til en enkel pumpe-stasjon like innenfor portalen. Denne pumpe-stasjonen bør ha god kapasitet og være uavhengig av det øvrige pumpesystemet.

4 Trinnpumping, nyanlegg

Trinnpumpeprinsippet baseres på trinnvis pumping av lekkasjevann i maksimalt 80 meter høyde.

Tunneler med løftehøyde under 80 m vil i praksis bare få én pumpestasjon ved tunnelens lavbrekk. Innenfor tunnelportalen, i frostsikker dybde, plasseres en enkel pumpestasjon som pumper ut overflatevannet som renner inn i tunnelen fra arealene utenfor åpningene.



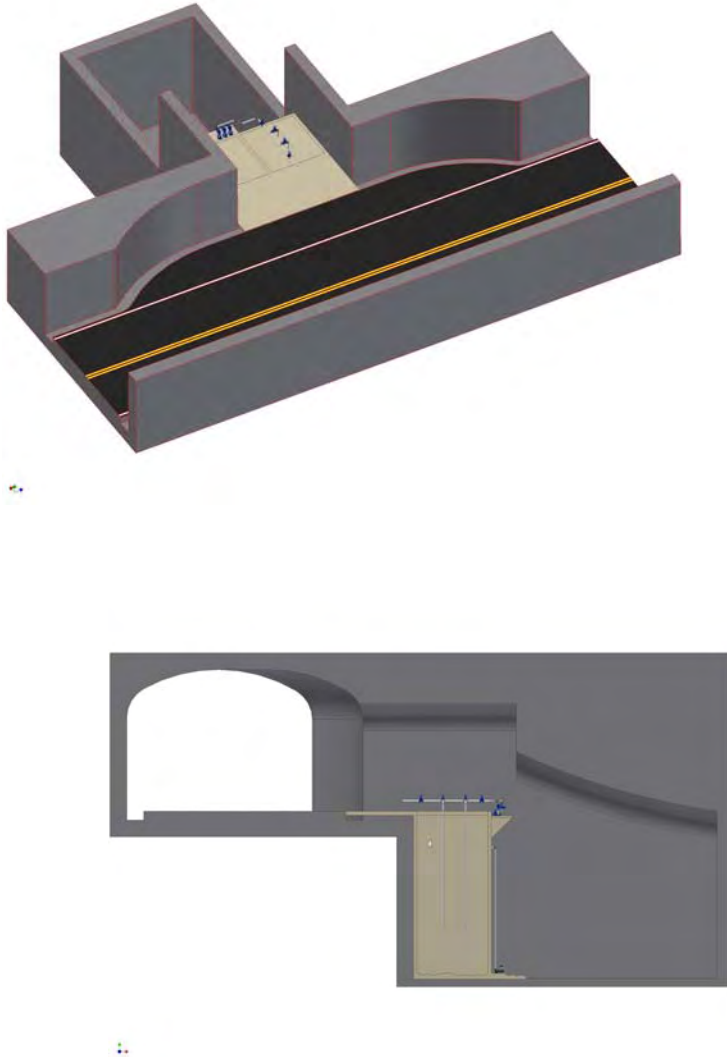
Figur 7 Snitt gjennom undersjøisk tunnel med prinsipp for trinnpumping.

a) Pumpestasjon i lavbrekk. b) Plassering av pumpestasjon i trinn mellom lavbrekk og portal

Tunneler som er dypere enn 80 meter, må utstyres med flere pumpetrinn. Ett pumpetrinn for maksimum hver 80 meter økt løftehøyde i hvert tunneløp. Lekkasjevannet løftes fra trinn til trinn til det er ute av tunnelen. Inndeling og plassering avpasses etter stedlige forhold.

Pumpe-stasjon lavbrekk

Pumpe-stasjonen ved tunnelens lavbrekk utstyres på samme måte som et pumpetrinn med slamavskiller, pumpebasseng, pumper osv. I tillegg til de pumpetekniske innretninger plasseres nødbassenget her. Når pumpestasjonen ikke klarer å pumpe ut hele tilrenningen vil overmengden av dreinsvann gå til nødbassenget.



Figur 8 Skjematisk skisse av pumpestasjon i lavbrekk

Fra pumpestasjon i lavbrekket skal det gå to pumpeledninger ut av tunnelen, en til hver av tunnelåpningene. Med to pumpeledninger vil det, om "alt" går galt, være mulig å få ut lekkasjevannet enten den ene eller den andre veien.

Samtidig må kapasiteten til pumpene være tilstrekkelig for både lekkasjevann fra nærområdet og tilrenning fra pumpetrinn i tunneløpet dersom dette pumpetrinnet skulle falle ut. Det vil da innebære at pumpestasjonen i lavbrekket må ha en pumpe med kapasitet for nærområdet og en pumpe for eventuelt tilrenning fra et pumpetrinn som er ute av drift. Med en sikkerhet på 50 % medfører dette at pumpestasjonen i lavbrekk må utstyres med minimum 4 stk. pumper (en i reserve).

Pumpene plasseres etter pumpebasseng på et nivå som lekkasjevannet tilrenner pumpene med selvføll. Selve pumpen skal ikke plasseres mer enn 2 meter under vegbanen. Ekstra unødvendig løftehøyde er kostbart over tid.

Alt elektrisk utstyr på nivå med lavbrekket som har med strømforsyning eller drift av pumpene å gjøre løftes opp minst 1 meter over vegbanens laveste punkt.

Nødbasseng

Nødbasseng plasseres i nivå under pumpebassenget med nødvendig volum slik at pumpene ikke blir skadet ved et eventuell bruk av dette bassenget.

Hvis alt lekkasjevannet i tunnelen tilrenner nødbassenget så skal dette bassenget være så stort at det kan ta imot 24 timers full tilrenning. Siden nødbassenget ligger i nivå under pumpebassenget så må nødbassenget også utstyres med pumper slik at lekkasjevannet i nødbassenget kan pumpes opp i pumpebassenget. Dersom nødbassenget er helt fullt skal pumpen i nødbassenget ha en kapasitet som klarer å tømme nødbassenget på 6 døgn.

5. El-anlegg

5.1 Generelt og felles

Det elektriske anlegget blir regulert av lover, forskrifter, normer og håndbøker. De viktigste som omhandler dette er:

- Lov om tilsyn med elektriske anlegg og elektrisk utstyr
- Lov om elektronisk kommunikasjon
- Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg
- Forskrift om elektrisk utstyr
- Forskrift om kvalifikasjoner for elektrofagfolk
- Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av lavspenningsanlegg
- Forskrift om systematisk HMS-arbeid
- Forskrift om elektronisk kommunikasjonsnett og elektronisk kommunikasjons-tjeneste
- Forskrift om privat telenett
- Forskrift om el-sikkerhet i telenett
- Forskrift om elektromagnetisk kompatibilitet (EMC) for teleutstyr
- Forskrift om autorisasjon for tele-, kabel-TV- og radioinstallatør
- Normene NEK 400 og 60439
- Håndbok 021 Vegtunneler

Tunnelen kan være utstyrt med en eller flere pumpestasjoner som bygges opp likt. Pumpestørrelsen kan variere. Denne beskrivelsen omhandler bare én stasjon.

Ordinært-, reserve- og nødsystem

Regelverket for elektriske anlegg opererer med tre systemer, de ordinære-, reserve- og nødsystemene. Hva som skal installeres finnes i *Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg*, NEK 400 og håndbok 021 *Vegtunneler*. Generelt kan det sies at pumpeanlegget er så viktig at det må inneholde reserve- og/eller nødløsninger som sikrer liv og eiendom. Dette reserve- eller nødsystemet trer i kraft dersom det ordinære systemet svikter. Dersom tunnelen har et bufferbasseng med tilstrekkelig kapasitet (mer enn ett døgn), behøver ikke pumpene å være idrift igjen umiddelbart, men overvåkingen skal være kontinuerlig. Svikter det, og ingen andre system overtar (for eksempel manuelle) skal tunnelen stenges umiddelbart. Det betyr at dersom overvåkingen opphører, skal det utløses en alarm som igangsetter en aksjon.

Plassering

De elektriske installasjonene må plasseres slik at de ikke blir sårbare for det som kan skje i tunnelen (høy vannstand, brann, ras etc.). Det betyr at gulv i traforom og teknisk rom må plasseres minst 1 meter over kjørebanelens laveste punkt. Alt teknisk utstyr plasseres i det tekniske rommet. Unntaket er små automatikkskap som plasseres ved pumpearrangement fordi det ikke er teknisk rom i nærheten. Kun pumper, givere til overvåkningsanlegget, koplingsbokser og sikkerhetsbrytere tillates utenfor teknisk rom. Koplingsbokser skal i utgangspunktet reduseres til et minimum og helst erstattes med glattskjøt. På grunn av utskiftninger av det tekniske utstyret må det være tilrettelagt for transport ut og inn med jekketralle for enheter som veier mellom 50 og 500 kg. Tyngre utstyr må kunne leveres med lastebil med kran.

Nivåsensoren og nivåvaktene skal plasseres i bassenget ved pumpeplattformen i det området som er minst mulig påvirket av tilstrømmende vann eller virvler fra pumpene.

Føringsveier

Føringsveier, det vil si kabelstiger og rør må plasseres mest mulig beskyttet. Mulige skader som kan inntreffe er ras, påkjørsel og brann. Nedgravde rør er følgelig å foretrekke, men ulempen er at brennende væske kan finne veien inn i røret. Kabling for ordinært system og nødsystem må ikke følge samme føringsvei. Gjennomføringer i brannskiller må tettes forskriftsmessig og være lett tilgjengelig for kontroll.

Kabler

Kabler og ledninger skal ha kobberleder. Kabelarmering eller skjerm av annet materiale enn kobber skal være korrosjonsbeskyttet. Mellom pumpemotor og koblingsboks/servicebryter skal det benyttes fleksibel mangetrådet leder. Isolasjonen skal være halogenfri. Fleksible kabler fra pumpene skal forlegges på en kabelbro. Kablene skal ligge samlet, og hvis de klamres eller passerer gjennom metallisk materiale, må dette materialet være umagnetisk. Kablene skal festes slik at de enkelt kan løsnes ved behov, for eksempel ved service på pumpene. Utstyr med bevegelig kabel skal ha strekkavlastningsnipel.

Jording

Tunnelens jordingsanlegg utvides med en eller flere jordelektroder i bassenget. Vær oppmerksom på at det kan være etablert (eller må etableres) utjevningsforbindelser for styre- og overvåkingsanlegget (informasjonsteknologi – buss jordleder, funksjonsjording, tidligere benevnt signal referansepunkt i FEB91) for at dette skal fungere som forutsatt. Anlegget skal ha ett definert jordingspunkt (sentralpunkt) som skal være transformatorens stjernepunkt (nullpunkt).

Ventilering ved bruk av nødaggregat og pumper drevet av forbrenningsmotorer

Pumper og strømaggregat skal være tilrettelagt for forbrenningsmotor. I en nødsituasjon kan det være eneste mulighet til å pumpe vannet ut av tunnelen. Disse motorene forbraker oksygen og produserer giftige avgasser (CO, NOX). Dersom aggregat må plasseres inne i tunnelen, skal det utarbeides instruks for bruk. Se også reserve/nødkraft.

Elektrisk utstyr

Alt utstyr ved pumpene skal være kapslet og ha minst IP56 grad. Utstyr i kontakt med sjøvann og sprut skal være korrosjonsbeskyttet, fortrinnsvis rustfritt/syrefast. Utstyr neddykket i vann skal ha minst IP68 (10 m) grad. Utstyr i plastkapsling foretrekkes så fremt kapslingene er robuste og egnet til formålet. Elektriske paneler ute i tunnelen skal være beskyttet fra takdrypp med for eksempel en skjerm eller dobbelttak. For å hindre kondensering skal det være varmeelement i alle skap og bokser med elektrisk utstyr med et innvendig volum større enn 10 liter og er plassert ute i tunnelen. Alternativt kan disse boksene fylles med olje eller lignende.

Klassifisering av ytre påvirkning i tunnel og pumpeump

Hver tunnel må vurderes ut fra de lokale forhold. Følgende klassifisering (i følge NEK 400) er kun veiledende:

- Temperatur i bunn: +4 til +10 °C (temperatur i tunnelen): AA5
- Temperatur i inn-/utkjøringssonen: -25 til +25 °C (temperatur i tunnelen) AA3-AA4
- Fuktighet: opptil 100 % RH: AB6
- Tilstedeværelse av vann, spyling i enhver retning: AD5
- Korrosive stoffer: saltholdig atmosfære og vann: AF4
- Vibrasjon: liten påkjenning: AH1
- Tilstedeværelse av flora: algevekst, groing i vannet: AK2
- Elektromagnetisk, elektrostatisk eller ioniserende påvirkning: høyt nivå kan oppstå AM1-3, AM2-3, AM3-2, AM4, AM5, AM6, AM7, AM 8-1, AM9-2
- Høyfrekvente elektromagnetiske fenomener: AM22-2, AM23-2, AM24-2, AM25-2, AM31-2
- Seismiske påkjenninger: ubetydelig: AP1
- Lyn: indirekte nedslag: AQ2
- Luftbevegelse i pumpeump: lav: AR1
- Luftbevegelse i tunneløp: høy: AR3
- Personers egenskaper i pumpeump: vanlig: BA1
- Personers egenskaper i teknisk rom: kan deles i BA4 og BA5, ellers BA5
- Evakueringsbetingelser i nødsituasjoner: varierende mellom BD1 og BD4
- Bygningsmaterialer: ikke brennbare: CA1

Adgang

Adgang til det elektriske anlegget er regulert av forskriftene. Låsingen av rom og skap må være bygd opp slik at personell uten elektrokompetanse (BA1) ikke får adgang til områder som krever kompetanse. Instruerte personer (BA4) har begrenset adgang. Kun sakkyndige personer (BA5) har ubegrenset adgang. Adgang skal fremgå av instruks og tegning. Dører og skap skal være tydelig merket med hvilken kompetanse som kreves for adgang.

Risikoanalyse

Risikoanalyse skal utføres for hele pumpeanlegget. Det skal være egne kapitler som beskriver hvilke hendelser som kan inntre og hvilke tiltak som skal iverksettes for:

- Elektrisk anlegg, kraft
- Elektrisk anlegg, styring og overvåking
- Hendelser i tunnelen og innvirkning på el-anlegget
- Behov for nødstop for eksempel ved person falt ut i basseng, ildsfarlig/giftig væske i basseng etc.

5.2 Elektrisk kraft, motordrift

Spenning

Vanligvis benyttes 3 x 400 V ± 10 % AC, TN-C-S system. Der flere små motorer gir en større samlet motorlast kan det være aktuelt å benytte 690 V hvis tilgjengelig.

Frekvens

50 Hz

Reserve/nødkraft

Pumpene må kunne mates fra annen kilde når hovedkilden svikter. Siden det finnes et bufferbasseng er det ikke øyeblikkelig behov. Overvåkingsanlegget blir å definere som et nødsystem og må følgelig ha tilførsel av nødkraft, f.eks. UPS i første fase.

Den beste måten å tilføre tunnelen og pumpene kraft på ved nettutfall er med et aggregat utenfor tunnelen. For små tunneler kan aggregat tilkobles direkte på lavspentsiden. Lengre tunneler med flere transformatorer inne i tunnelen kan forsynes via høyspent inn i tunnelen. Tunnelen må da kobles fra høyspentnettet. Høyspentnettet må bygges slik at dette kan gjennomføres, det vil si med tilstrekkelig antall brytere. En dårligere løsning er å plassere aggregat i kjørebanen i tunnelen. Dette krever at kabler er lagt fra pumper/fordeling og ut til der hvor aggregat er tenkt plassert. Tilkobling skjer via spesielt koblingsbrett/stikkontakter i tunnelen, f.eks. i nødtelefonkiosken. Denne metoden kan i enkelte situasjoner være den eneste som vil fungere, for eksempel ved skader på fordeling eller nett.

Vær spesielt oppmerksom på riktig spenning, frekvens og dreieretningen til pumpene ved aggregatdrift.

Forrigling skal hindre matning tilbake på nettet. Det forutsettes at nødkraftkilden leverer innenfor ovennevnte spennings- og frekvenstoleranser. Instrument på automatikkskap for pumpene skal indikere faserekkefølge og skilt under instrument skal angi riktig dreieretning.

Fordelinger og vern

Fordelingene bygges i henhold til NEK 60439 og Form 4A, med eget skap/seksjon for spenningsbånd II (elkraft) og spenningsbånd I (styring og overvåking). Kontakter for elkraft og styring for hver pumpe plasseres i et individuelt felt slik at vedlikehold kan utføres uten stans av hele anlegget.

Anlegget skal dimensjoneres for å kunne kjøre alle pumper samtidig. Det skal være full selektivitet på pumpevernene. Det skal være støtstrømssikker jordfeilbryter (retningsbestemt) klasse G, med alarm for hver pumpe samt øvrige kurser som går til pumpeump. Utløserstrøm må velges slik at det er tatt hensyn til normalt forekommende lekkasjestrømmer. Det skal være mulig på en rask måte å kunne identifisere og frakoble en jordfeil i en pumpemotorkrets, i styringen eller i alarmsystemet. Pumpemotorene sikres mot overbelastning med bimetallvern i fordelingen og termistorvern i viklingene. Hver pumpemotor skal ha et overlastvern med manuell gjeninnkobling som kobler ut motoren hvis strømmen er større enn 115 % av merkestrøm eller hvis motoren går med 1-fase drift. Dessuten skal det i motoren være en temperatursensor (termistor) som gir signal og stopper motoren hvis temperaturen stiger over 70 °C (eller annen verdi oppgitt av produsent).

Elektrisk utstyr monteres i moduloppbygget gulvskap på støpt dekke med gjennomføring av kabler i bunnen. Det skal avsettes plass til minimum 50 % utvidelse i skapene. Skapene skal inneholde merking i samsvar med driftsinstruks og tegninger.

Drifts- og vedlikeholdsinstruks skal leveres komplett på norsk. Skapene skal leveres ferdig merket og med kursfortegnelse. For tilkobling av annet elektrisk utstyr skal det medtas minimum 2 stk. 16 A 3-fasekurser og 3 stk. 16 A 1-fase-kurser ført til merkede rekkeklemmer i eget skap ved pumpene.

Utstyr for frakobling (servicebryter) og nødutkobling

Servicebryteren kan være en feilkilde og bør unngås. Sikkerheten kan ivaretas ved at kurssikringen til pumpen eller skapet som denne er montert i kan låses med hengelås i av-stilling og at det utarbeides en sikkerhetsinstruks. Dersom ildsfarlig eller giftig væske kommer inn i drencsystemet, må brannvesen eller servicepersonale kunne stenge pumpene hurtig med en nødstoppbryter plassert ute i tunnelen.

5.3 Styring og overvåking

Felles

Pumpene skal primært styres og overvåkes av et PLS-basert styresystem (Programmerbar logisk styring). Styresystemet skal fungere lokalt selv om det oppstår feil i kommunikasjon eller i det overordnede styre-/overvåkingssystemet. Ved svikt i styresystemet for pumpene skal egne nivåmålere starte/stoppe pumpene uavhengig av PLS-systemet ved nivåer utenom det normale arbeidsområdet.

Ved høyeste nivå sendes også varsel via SMS-melding til inntil 4 utvalgte mottagere. SMS-senderen skal ha egen batteri-backup. Dette forutsetter at det er dekning i tunnelen, hvis ikke må andre tiltak iverksettes. Dersom forholdene ligger til rette skal det som et ekstra sikkerhetstiltak monteres kamera som rettes mot målestav i pumpeumpen. Ved uregelmessigheter vil vegtrafikksentralen (VTS) visuelt kunne avlese nivå i bassenget. Dette systemet er uavhengig av at det lokale styre-/overvåkingssystemet for pumpene virker. Styrestrømmen til nivåstyringen skal være 2 x 230 V og matet fra egen UPS-kurs med skilletrafo eller elektrisk adskilt. Alarm-systemet og signalene ut fra styreskapet til fjernmeldingssentralen skal være 24 VDC. Det skal være redundant 24 VDC strømforsyning med tilbakemelding ved feil. Overvåkingssystemet skal være hvilestrømskontrollert (*failsafe* prinsippet), slik at brudd i eksterne ledninger, kraftsvikt, eller programstopp (for programmerbare styringer) fører til alarm.

Det skal være mulig å kjøre hver pumpe manuelt selv om PLS-styringen og nivåensorene har sviktet.

Anlegget skal ha en pålitelighet som sikrer avbruddsfri drift, og med korte stopp for vedlikehold eller testing. Anlegget er beregnet å ha en levetid på 15 år. Det skal være tilstrekkelig uavhengighet, reserve og separasjon i komponenter og installasjon slik at enkeltfeil ved pumper, styring eller overvåking ikke setter hele pumpeanlegget ut av drift.

Anlegget skal automatiseres og bygges for ubemannet drift, og overvåkingen skal være sentral (vegtrafikksentral) med terminal hos vedlikeholdsansvarlig entreprenør. Anlegget skal være laget slik at det kan testes på en realistisk og sikker måte. Alle vesentlige funksjoner skal prøves regelmessig og loggføres.

Kritiske feiltilstander som krever et raskt inngrep skal utføres med en automatisk aksjon samtidig med at det gis en alarm i vegtrafikksentralen og hos vedlikeholdsansvarlig. Unormale tilstander som krever et manuelt inngrep skal føre til alarm. Slike hendelser forventes rettet innen 3 timer av tilkalt servicepersonell som ringes opp fra vegtrafikksentralen. Det skal opprettes en instruks som informerer vakten om betydningen av hver alarmmelding og hvilken aksjon som eventuelt skal iverksettes.

Lokal indikering og instrumentering

Følgende instrumenter skal plasseres på eller ved pumpemanifolden:

- Målestav med angivelse av vannivået.
- Trykkmåler på pumpestokk (4 - 20 mA) tilkoblet PLS-styring
- Nivåmåler (4 - 20 mA) tilkoblet PLS-styring.

Pumpestyringen

Nivåreguleringen skal være felles for pumpene. Tilførselen til overvåking (alarm-systemet) inklusive fjernindikering skal være uavhengig av styrestrømmen til nivåreguleringen og forsynes fra egen UPS-kurs.

Pumpene skal ha vender med stillingene *Manuell*, *Stans* og *Auto*. I stilling *Manuell* skal pumpene kunne kjøres individuelt utenom nivåreguleringen. Dette er en form for nødkjøring og gangtid blir ikke registrert av pumpelogikken, kun av timetelleren. Personell må være tilstede hele tiden mens vender står i denne posisjonen. I tillegg skal det etableres et skjermssystem for avlesning av status og styring/testing av pumpene via PLS-systemet. Dette plasseres hos VTS og hos driftsansvarlig. Pumpene skal ha timeteller som styres av kontaktoeren for krafttilførsel til pumpene samt amperemeter som viser motorstrømmen pr. faseleder til enhver tid.

Nivåstyring med pumpelogikk

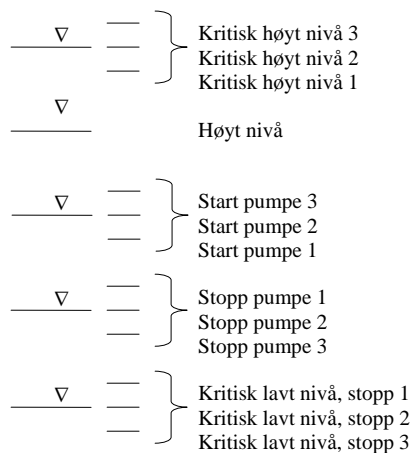
Nivåstyringen skal holde nivået i bassenget tilnærmet konstant, dvs. innenfor gitte grenser. Dette skal gjøres ved at en nivåsensor (4-20 mA) gir signal til en lokal PLS tilknyttet tunnelens felles styresystem. Når nivået stiger, skal første pumpe få startsignal. Hvis nivået fortsetter å stige skal automatikken starte pumpene suksessivt etter behov.

Pumpekapasiteten er beregnet slik at en pumpe har kapasitet tilnærmet normalt tilsig til bassenget. Pumpelogikken skal være laget slik at det er enkelt å variere prioritert startrekkefølge for pumpene. Nivåene for start og stopp skal kunne endres, for eksempel ved å omstille settpunktene i pumpelogikken, uten nødvendigvis å endre plasseringen av nivåsensoren.

Pumpene skal ikke utsettes for hyppigere start enn det pumpefabrikanten foreskriver. Dette gjøres ved fornuftige start og stopp-innstillinger, altså ikke med aktiv styring.

Pumpelogikken skal være innrettet slik at det enkelt kan velges om pumpene har fast start/stopp-rekkefølge eller kan alterneres. Ved alternerende drift benyttes prinsippet siste pumpe som stopper er siste pumpe som starter. Skifte av rekkefølge skal skje når alle pumpene har stanset. Det anbefales fast startrekkefølge på grunn av at

pumpene vil få ulik slitasje. Ved alternering vil alle pumpene være likt slitt og utslitt tilnærmet samtidig. Er slitasjen ulik vil det være større sjanse for at en virker i en kritisk situasjon. Ulempen er at det må innføres et testprogram som starter de pumpene som er lite i bruk for å være sikker på at de vil fungere til enhver tid.



Figur 9 Eksempel på start/stopp-nivå med alarmnivå i én pumpestasjon.

Hver pumpe skal være forriglet med lavnivåvakt slik at tørrkjøring unngås dersom nivåstyringen svikter. Dersom lavnivåvakten gir signal om stopp, skal pumpene blokkeres for start og det skal gis alarm. Nivåstyringen skal være beskyttet (lås eller passord) slik at bare autorisert personell kan endre settpunkter eller andre viktige innstillinger.

Nivåsensor og nivåvakter

Nivåsensoren og nivåvaktene skal være laget av et materiale som er egnet for kontakt med sjøvann eller for neddykking i sjøvann (avhengig av måleprinsipp). Det gjøres spesielt oppmerksom på problemer med hensyn til begroing, korrosjon og forurensning. Det er en fordel at utstyret kan kontrolleres visuelt, for eksempel heises opp, og kan funksjonsprøves uten å endre fysisk plassering. For flottører kan det benyttes en stang for å løfte eller senke. Utstyret skal ha *failsafe* funksjon.

Nivåsensoren skal være analog. Den skal ha et område og nøyaktighet som er tilpasset minste og høyeste vannstand i bassenget og slik at det blir en god separasjon mellom start/stopp-nivåer for pumpene. Hvis sensoren er en trykk-transmitter skal den være kompensert for endringer i atmosfæretrykket (dp-celle).

Nivåsensoren skal ha kontinuerlig overvåkning. Dette kan ordnes ved at signalet fra sensoren normalt varierer mellom 4 og 20 mA, hvis signalet er mindre enn 4 mA eller større enn 20 mA utløses en feilalarm.

Nivåvaktene for henholdsvis kritisk lave og høye nivå skal være binære (av/på). De skal være med flottør. Den elektriske kontakten skal være lukket ved normalt nivå i bassenget. Signal skal ikke utløses ved små (normale) bevegelser i vannoverflaten. Dette kan ordnes enten med tidsforsinkelse eller tilpasset koblingsdifferanse.

Olje-i-vann detektor

En detektor i oljeutskilleren skal gi signal hvis det kommer olje i vannet fra kjørebanelen for å hindre at oljeholdig vann blir pumpet opp i avløpsrøret. Detektoren skal ha som funksjon å stanse pumpene og gi alarm ved unormalt høyt nivå i oljeutskilleren.

Trykktransmitter

Trykktransmitter (4 - 20 mA) monteres på pumpestokken. Denne skal registrere at trykket (vannstanden) i pumpeledningen er normalt eller om pumpeledningen er i ferd med å tømmes for vann. Dersom trykket synker tyder dette på lekkasje i pumpeledningen eller tilbakeslagsventiler.

Indikerende signaler og overvåking, lokalt

I fordelingen/automatikkskapet skal det i front være følgende betjeningsbrytere og signaler:

Betjeningsbrytere

- Vender Pumpe 1: Manuell, Stans, Auto
- Vender Pumpe 2: (tilsv. Pumpe 1 osv.)
- Vender, driftsmodus: test/normal (gir signal til vegtrafikksentralen)
- Tilsv. Pumpe 2 osv
- Lampetest (trykknapp)

Signaler, normal drift

- Pumpe 1 drift (grønn lampe) og amperemeter
- Tilsv. Pumpe 2 osv.
- Normalt trykk i pumpestokk (grønn lampe)
- Faserekkefølge, nett (aktiveres med trykknapp)

Signaler, feil

- Vender i posisjon Stans (rød lampe pluss summer)
- Tilsv. Pumpe 2 osv.
- Vender i posisjon Manuell (gul lampe pluss summer)
- Tilsv. Pumpe 2 osv.
- Jordfeil nett, 400 V (rød lampe)
- Jordfeil styrestrøm, 230 V (rød lampe)
- Nettfeil 400 V (lav spenning og/eller fasefeil) (rød lampe)
- Pumpe 1, overlast (bimetall-vern) (rød lampe)
- Pumpe 1, høy temperatur i vikling (termistor) (rød lampe)
- Pumpe 1, jordfeil (rød lampe)
- Pumpe 1, utløst kursikring (rød lampe)
- Pumpe 2 osv. samme som for pumpe 1 over
- Nivåstyring, feil (kraftsvikt, programstopp, sensorfeil, høyt/lavt nivå) (rød lampe)
- Kritisk lavt nivå, 3 stk (rød lampe)
- Høyt nivå (gul lampe)
- Kritisk høyt nivå, 3 stk (rød lampe)
- Lavt trykk i pumpestokk (rød lampe)
- Olje i sump (rød lampe)
- Lav spenning SMS-sender (rød lampe)

Fjernovervåking

Alarm- og statussignaler skal overføres fra det lokale styreskapet via det etablerte styresystemet og dets datanett. Anlegget skal overvåkes fra vegtrafikksentralen (VTS) og hos driftsalarmsentral, alternativt vedlikeholdsansvarlig entreprenør.

I dag finnes flere ulike overordnede styresystemer på vegtrafikksentralene rundt i landet. Det er derfor vanskelig å beskrive hvordan disse bør bygges opp med tanke på skjermbilder og lignende. Skjermbilder må tilpasses de aktuelle alarmer og styringsfunksjoner.

5.4 Drift, funksjonsprøving og vedlikehold

Prøving av pumpestyringen og alarmsystemet skal tilrettelegges slik at både lokal- og fjernmeldingssystemet blir testet. Rapportering skjer etter fastlagte retningslinjer.

Nivåvaktene og nivåsensoren skal ha mulighet for en realistisk funksjonsprøving, for eksempel en testspak eller heve/senke-mulighet.

Leverandøren av utstyret skal foreslå vedlikehold og prøveprogram. Informasjonen integreres med prøve- og vedlikeholdsrutinene for hele tunnelanlegget.

Inspeksjoner, prøving og vedlikehold skal systematiseres slik at personalet får melding om omfang, tidspunkt, og slik at servicereporter blir laget, sendt og tatt vare på i den utstrekning det er nødvendig og hensiktsmessig.

Det er forutsatt følgende kontinuerlig tilsyn og periodisk vedlikehold:

Kontinuerlig:

- Vegtrafikksentralen skal motta driftssignaler og alarmer fra pumpeanlegget. Vakten skal ved behov varsle driftsansvarlig etter oppsatt instruks.

Døgn:

- Vegtrafikksentralen kontrollerer status i anlegget på terminal/skjerm i forbindelse med vaktskifte
- Vedlikeholdsansvarlig kontrollerer status i anlegget på terminal/skjerm og går (eventuelt) igjennom hendelsesliste.

4 ukers intervall:

- Vedlikeholdsansvarlig skal utføre en kontroll i anlegget (lekkasjer, unormal støy, utkvittering av alarmer, avlesning av lokale instrumenter, o.l.).

3 måneders intervall:

- Vedlikeholdsansvarlig påser at nødvendig vedlikehold (etter forslag fra leverandør) utføres.
- Vedlikeholdsansvarlig påser at pumpene isolasjonsmåles (megges). Det føres en logg for målte verdier slik at endring i isolasjonsnivået kan overvåkes, og slik at en pumpe kan tas ut av drift hvis verdien har sunket merkbart siden forrige målinger.
- Måle strømmen i hver fase til hver motor.

3 års intervall (eller annet intervall etter produsents anbefaling):

- Vedlikeholdsansvarlig utfører hovedettersyn/vedlikehold/utskifting (etter forslag fra leverandør).

Krav til dokumentasjon og instruksjoner

Følgende dokumentasjon skal være tilgjengelig (kopier) i teknisk rom:

- Instrukser
- Beredskapsplan for pumpeanlegget
- Funksjonsanalyse, f.eks. *FeilModi-* og *EffektAnalyse* (FMEA/FEMCA)
- Komplette dokumentasjon av det elektriske anlegget
- Komplette dokumentasjon av rørteknisk anlegg (rør, ventiler, pumper, tanker)
- FDV-manual

Følgende instruksjoner skal plasseres i anlegget på passende steder:

- Adgangskriterier
- Meldinger som skal gis til vegtrafikksentralen og/eller vedlikeholdsansvarlig ved endringer eller inngrep i anlegget (start/stopp av pumper, testing, o.l.)
- Viktige telefonnummer (vegtrafikksentral, elektriker, nettselskap, entreprenører, leverandører o.l.)
- Tømming av oljesump
- Avlesninger (hva, hvordan; timetellere, strømverdier, isolasjonsnivå o.l.)

6. Rehabilitering / ombygging

Erfaringer fra Mastrafjordtunnelen.

Status før ombygging:

Alt lekkasjevann dreneres ned til tunnelens lavbrekk hvor en pumpestasjon sammen med et større nødbasseng, slamkammer og et pumpemagasin er plassert. Fra pumpestasjonen i lavbrekket pumpes lekkasjevannet ut igjennom pumpeledningen som er trukket i et vertikalt boret hull som ender opp på tørt land.

I en normal driftssituasjon ledes vannet fra tunnelens dreneringssystem inn til slamkammeret som ligger under vegbanen i lavbrekket. Derfra slippes vannet ned ytterligere 6-8 meter til nødbassenget. Via en rørforbindelse mellom nødbassenget og pumpemagasinet slippes vannet inn i pumpemagasinet hvor det er plassert neddykkede borehullpumper for utpumping av lekkasjevannet.

Rehabilitering og ombygging.

Den ene av de to pumpene i pumpestasjonen i Mastrafjordtunnelen hadde sterkt redusert pumpekapasitet og måtte skiftes ut.

Installasjonen før ombygging:

- Pumpene hadde en kapasitet som medførte at driftstiden ble svært kortvarig.
- Pumpene var store og tunge å handtere, og vedlikehold og ettersyn var problematisk.
- Pumpenes store kapasitet medførte at pumpeanlegget måtte utstyres med trykkstøtdempende tiltak.
- Trykkstøtdempende tiltak med trykktank under stort trykk krevde spesielle tiltak.
- Ny borehullpumpe i spesiallegering er kostbar og med lang leveringstid.

Hvorfor vurdering av ombygging.

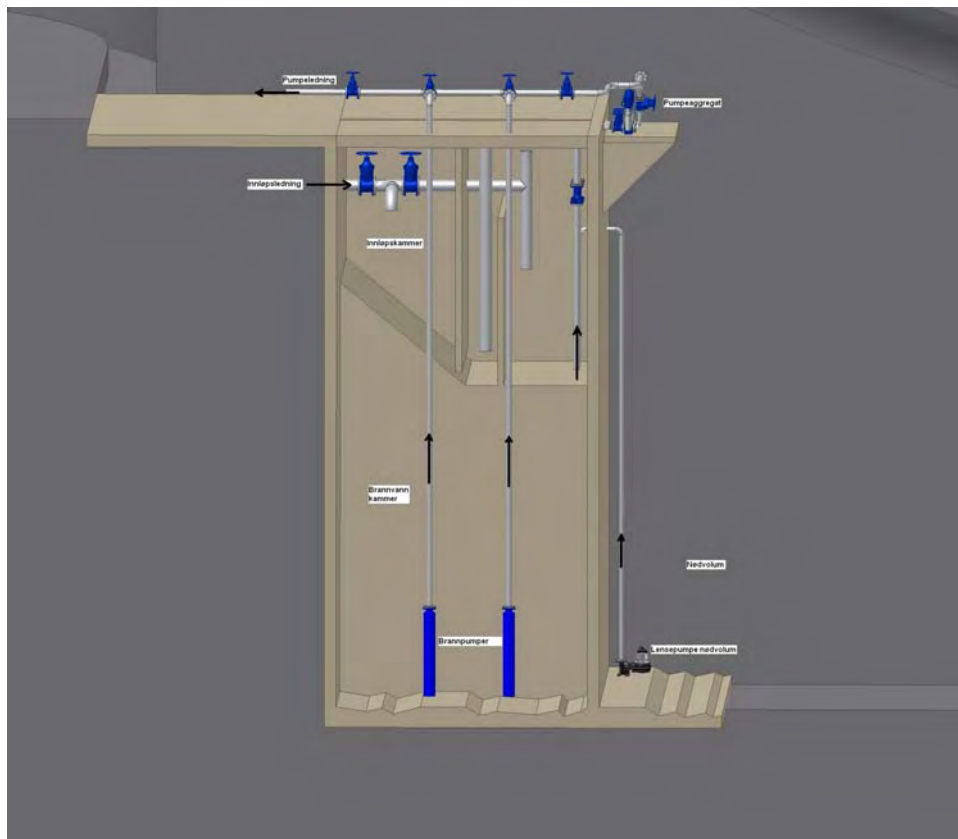
- Tidligere problemer med denne type pumper som skyldes at de er svært sårbare mot forurenset vann og partikler, og har svakheter med trykklager.
- Pumpene er ikke normerte, de leveres som spesialpumper med lang leveringstid (5-6 uker). I tillegg kreves spesialkompetanse og mer ressurser til drift og vedlikehold av pumpene. Dette går ut over sikkerheten, eventuelt behøves enpumpe liggende som reserve.
- Et midlertidig prøvoforsøk på bruk av tørroppstilte pumper i Byfjordtunnelen ga gode erfaringer.

Hvilke alternative muligheter var tilstede?

- 1) Erstatte den slitte dykkpumpen med en tilsvarende nypumpe
- 2) Legge en helt ny pumpeledning gjennom hele tunnelen og etablere flere mindre pumpestasjoner på ulike nivåer
- 3) Kun rehabiliterer pumpestasjonen ved å bygge denne om til tørroppstilte normerte pumper som var mer tilpasset mengden av lekkasjevann.

Valg av rehabilitering.

Det tredje alternativet ble valgt på grunn av større sikkerhet med begrensede investeringsmidler. Den eksisterende pumpeledningen fra pumpestasjonen, vertikalt opp på tørt land via en ny pumpeledning og ut i sjøen igjen, er beholdt. Inntil videre skal den ene av dykkpumpene inklusive pumpestocken stå intakt, men vil på sikt fjernes. Løsningen gir ikke mulighet for å ta ut brannvann fra pumpeledningen på de ulike nivå i tunnelen. Brannvann er løst med en egen brannvannspumpe med uttak i selve pumpestasjonen.



Figur 10 Snitt gjennom pumpestasjon i lavbrekk. Denne typen ble montert i Mastrafjordtunnelen ved rehabiliteringen.

Rehabilitering.

Pumpestasjonen er bygd om med tre mindre tørroppstilte normerte *inline* pumper, som hver har en kapasitet på ca. 4 liter/sek. Pumpene er plassert slik at de tar lekkasjevannet direkte fra slamkammeret og pumper det direkte opp til tørt land via den eksisterende pumpeledningen. Pumpestasjonen med de små pumpene er utstyrt med eget styreskap som fungerer uavhengig av den øvrige styring/overvåking av pumpestasjonen.

I tillegg til disse tre pumpene er en egen senkepumpe med koblingsfot montert i selve nødbassenget. Denne har til oppgave å pumpe vann fra nødbassenget tilbake til slamkammeret.

Fjerning av vindkjele

Ved ombyggingen til tre små tørroppstilte pumper med kapasitet som er tilnærmet lik tilrenningen av lekkasjevannet, blir driftstiden på en pumpe tilnærmet lik døgndrift. Dette medfører at de store trykkstøtene ved start og stopp av dykkpumpene er eliminert. Vannet strømmer nå gjennom pumpeledningen uten trykkstøt og tilbakeslagsventilene får rolige og avbalanserte arbeidsvilkår. Levetiden for ventilene blir vesentlig forlenget. Som et resultat av dette fjernes nå vindkjelen. Dette medfører besparelser med hensyn til vedlikehold og fornyinger.

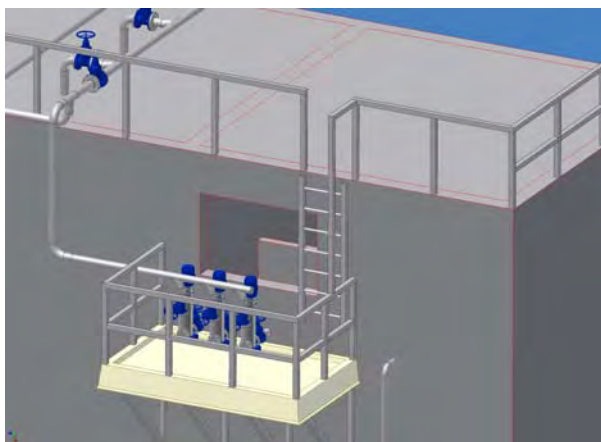
Hvordan fungerer pumpestasjonen?

Ved at pumpestasjonen er bygd om fra dykka til tørroppstilte pumper er det utført noen mindre forandringer i forbindelse med slamkammeret. De tre pumpene er plassert på et dekke som er hengt opp på veggen mellom slamkammer og nødbassenget (se figur 11). Lekkasjevannet skal ikke lenger slippes 6-8 meter ned fra slamkammeret til nødbassenget, men tas ut direkte ut fra slamkammeret. Inntaket på pumpene står i en normal driftssituasjon alltid under vannspeilet i slamkammeret.

Hver av pumpene har en kapasitet tilsvarende den normale lekkasjemengde i tunnelen. Pumpene er koblet slik at de alternerer. Det har vært vurdert om en pumpe skal arbeide kontinuerlig for å ta ut den normale innrenningen.

Dersom en situasjon oppstår og pumpa ikke klarer å holde unna innrenningsvannet, starter pumpe nr. to. Dersom disse to i felleskap fortsatt ikke klarer å holde unna vannmengden vil pumpe nr. tre starte. Klarer ikke alle tre pumpene å holde unna innlekkasjemengden slippes den overskytende del av vannmengden ned i nødbassenget. Pumpa som er plassert i nødbassenget skal så, når forholdene tillater det, pumpe innlekkasjevannet fra nødbassenget tilbake til slamkammeret. Deretter blir vannet pumpet ut via de tørroppstilte pumpene gjennom pumpeledningen og ut av tunnelen. I en nødsituasjon vil en med en slik pumpeløsning alltid ha to gode, lite brukte pumper i beredskap.

Alle pumpene er av normert standard slik at det til enhver tid skal være lette å fremskaffe nye pumper i en krisesituasjon.



Figur 11 Pumpestasjon i Mastrafjordtunnelen etter ombygging. Tre pumper er plassert på et dekke mellom slamkammer og nødbasseng.

Sikkerhet

- Tørroppstilte normerte små pumper gir mange fabrikater å velge mellom.
- Pumpestørrelsen er liten og lett å handtere. I Mastrafjorden ca. 60 kg.
- Pumpens motorer er tilsvarende små og er vanlig normerte etter el-standard.
- Små motorer gir mindre behov for energi, slik at pumpene kan drives av et transportabelt nødstrømsaggregat i en nødsituasjon.
- Små normerte pumper er langt rimeligere i anskaffelse enn store spesialpumper.

Med en slik pumpeløsning kan nødbassenget i tunnelen strengt tatt være tørrlagt i en normal driftssituasjon. Sikkerheten blir dermed økt på grunn av lengre fyllingstid av nødbassenget.

Gjenstående forhold

Slamkammer må bygges om for å sikre en trygg og funksjonssikker tømming av kammeret.

7. Alternativ bruk av lekkasjevannet

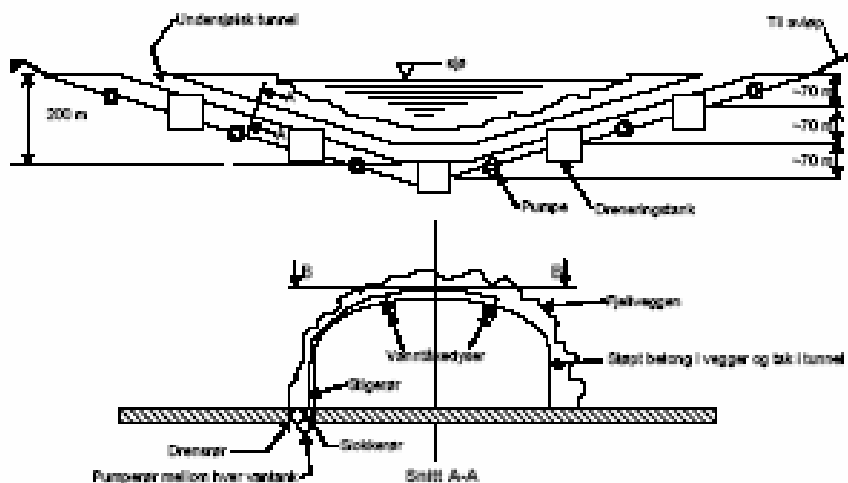
7.1 Generelt slukkevann – brannvann

Med trinnpumping er pumpeledningen lagt fra portal til portal slik at det alltid vil være tilgjengelig vann under trykk i tunnelen. Pumpeledningen kan anses som en gjennomgående trykkledning.

Pumpeledningen vil ha høyest trykk nærmest pumpene og trykket avtar mot høyere nivå på pumpeledningen. Ved å an bore pumpeledningen på passelig sted kan brannvann under trykk tas ut. Mengden av brannvann som behøves må magasineres i pumpemagasinet. Under branntapping vil pumpemagasinet få ny tilførsel av lekkasjevann. I tillegg vil tilrenning av vannet som brukes ved branntapping komme i retur. Dette medfører at et volum på 10 - 15 m³ i pumpemagasinet er tilstrekkelig.

7.2 Utnyttelse til aktivt slukkeanlegg

Trinnpumpeprinsippet gir også mulighet for å utnytte vannet i lokale pumpemagasinertil aktivt slukkeanlegg basert på vanntåke. Sintef Brannlaboratoriet har i en utredning for Statens vegvesen konkludert med at et slukkesystem basert på bruk av vanntåke kan være funksjonelt med de vannmengder og rørdimensjoner det her legges opp til. Anlegget kan seksjoneres i mindre seksjoner hvor flere seksjoner kan løses ut samtidig ved en brann. Omfattende forsøk har vist at åpne vanntåkedyser med en applikasjonsrate i området 5 – 20 liter/min., en avstand på 2 m i kjøreretningen og med dyser plassert over midten av kjørebane, vil kunne hindre brannspredning til andre kjøretøyer og gi akseptable forhold for personer ved evakuering av tunnelen. For detaljert beskrivelse av vanntåkeanlegg i en undersjøisk tunnel henvises til Sintef Rapport NBL F04150 "Brannslukking i undersjøiske tunneler".



Figur 2.1: Skisse av undersjøisk tunnel med drensingsdanker og pumper for pumping av vannet på forskjellige nivåer i tunnelen (snitt B-B er vist i figur 2.2 på side 7).

Figur 12 Skisse av vanntåkeanlegg i forbindelse med pumpesystem i undersjøisk tunnel (fra Sintef-rapport).

8. Teknisk beredskapsplan

Det må utarbeides planer/sjekklister for hva som skal gjøres ved blant annet de følgende hendelser:

- Nettutfall, hvor lenge kan vi vente før tiltak iverksettes
- Kommunikasjonsbrudd for styre- og overvåkingsanlegget
- Dataprogram for styring/overvåking er tapt
- Brann i tunnel, teknisk rom, transformator, fordeling eller kabler
- Vann har trengt inn i det elektriske anlegget eller truer med det
- Store mengder ildsfarlig eller giftig væske har trengt inn i basseng
- Ras i tunnelen har skadet det tekniske utstyret eller kabler
- Brudd eller tett rørledning stanser utpumping
- En eller flere pumper har havarert
- Ventilhavari eller funksjonssvikt
- Dokumentasjon har gått tapt på grunn av brann forut for krisen
- Vanninnsiget har økt dramatisk til over samlet pumpekapasitet, bufferbasseng snart fullt
- En eller flere av leverandørene eksisterer ikke lenger
- Hvordan tilføre oksygen og fjerne avgasser fra forbrenningsmotorer (pumper og strømaggregat) i tunnel og pumpebasseng i en nødsituasjon?
- Behov for åndedrettsutstyr for redningsmannskapene ved manglende ventilasjon. Hvor finnes slikt utstyr, og kompressor for fylling av flasker?
- Hvor mange vifter kan være ute av drift før ventilasjonen blir så dårlig at tunnelen må stenges?
- Sambandssvikt i tunnelen (mobilnett og nødnett)
- Hvor kan menneskelige og tekniske ressurser hentes?
- Hvem skal være mediekontakt, har vedkommende tilstrekkelig kompetanse om anlegget og skaden?
- Aktører som skal håndtere krisen må få forberede seg med planlegging og øvelser
- Hvem svarer politikerne?
- Hvilke dispensasjoner behøves fra lovverket for at utbedringen skal skje raskt og effektivt? Hvem innhenter disse fra for eksempel arbeidsmiljøloven (arbeidstid), forurensningsloven (utslipp av forurenset vann), vegtrafikkloven (lang/tung/bred/farlig gods transport), el-tilsynsloven (fravike forskriftskrav)?

9. Drift og sikkerhet

9.1 Drift og vedlikehold

Det må innarbeides rutiner for ettersyn som koordineres med andre oppgaver som utføres i tunnelen. Nedvask/spyling av tunnelen sender mange faste partikler inn i dreneringssystemet, for å unngå at disse partiklene går videre inn i pumpene må slamavskiller etterses/tømmes etter hver nedvasking.

Pumpeanlegget består av mange viktige komponenter som krever jevnlig ettersyn og kontroll. En effektiv kontroll forutsetter at kontrolløren kjenner alle funksjoner og komponenter som er installert. Når pumpeanlegget er bygd opp på en logisk måte og anleggene er tilnærmet like med like komponenter vil kontroll og ettersyn forenkles. Driftstid/levetid for de enkelte komponentene avhenger av miljø og belastning, det vil derfor være ulikheter på levetiden fra pumpestasjon til pumpestasjon. Utstyret som velges skal ha slik kvalitet at det har en akseptabel levetid.

Ved trinnpumping vil alltid minst én pumpe være i drift. Utpumpet mengde vann skal være lik innlekket mengde. Pumpen/pumpene som er i drift hele tiden skal ikke alternere, kun hjelpepumpene alternerer. På den måten er alltid friske pumper i beredskap. Alle pumper som er tilknyttet pumpeanlegget skal startes minst en gang pr måned. I tillegg skal alle pumpene startes ved ettersyn/kontroll og godkjennes.

Pumpestyringen med målere må også bygges opp for enkel kontroll. Ved avvik fra normal funksjon skiftes komponenten og sendes til kontroll. Styre- og målekomponenter repareres ikke på stedet.

Pumpeledning med tilslutningsrør kontrolleres i sveiser og sammenføyninger minst en gang hvert ½ år.

Ventiler må betjenes manuelt med jevne mellomrom slik at de ikke gror fast. Tilbakeslagsventilene skal lukke rolig uten smell. Smell indikerer at ventilen begynner å operere tregt.

Det skal utføres jevnlig funksjonskontroller av anlegget, slik at uforutsette hendelser kan unngås. Ved funksjonskontroll føres journal etter oppsatt skjema. Skjemaet for kontroll skal utarbeides i samarbeid med leverandør av det pumpetekniske utstyret.

9.2 Sikkerhetsmessige fordeler

Trinnpumping innebærer at pumpeanlegget har en meget stor grad av sikkerhet. Det er alltid to pumpeledninger ut av tunnelen, en i hver retning fra lavbrekket. I hvert pumpeanlegg, som består av flere små pumper vil det alltid være en reservepumpe. Pumpene kan opereres manuelt og alle pumpeanleggene kan tilkobles nødstrømsaggregat. Pumpene er normalt så små at det ikke er nødvendig med kraner eller annet løfteutstyr.

9.3 Pumpetype

Pumpetypen som velges skal være normert flertrinns sentrifugalpumpe. Pumpene har samme byggemål fra alle leverandører. Pumpetypen skal videre være i en størrelse og trykkklasse som er normal handelsvare med kort leveringstid.

En vertikal flertrinns sentrifugalpumpe vil være så rimelig at det er lite lønnsomt å bygge denne pumpen i spesiallegering utover syrefast stål. Det kan være mer lønnsomt å skifte ut pumpen med jevne mellomrom.

For service/ettersyn må pumpen ha en størrelse som er lett å handtere, den bør ikke veie over 70 - 80 kg.

Pumper og utstyr skal holdes i trykkklasse PN 10.

9.4 Levetidsvurderinger

En vesentlig del av pumpeanleggets økonomi baseres på levetidskostnader.

Pumper: Med riktig plassering og dimensjonering vil en Pumpe som pumper rent vann ha en normal levetid på 40 000 timer. Med skifte av lager og lignende kan man normalt forlenge denne tiden til det dobbelte. Vannet i tunnelene er til dels aggressivt, slik at en Pumpe uten helt spesielle legeringer neppe oppnår en slik gangtid. Pumper bygget i slike spesielle legeringer for å forlenge levetiden er så kostbare og lite tilgjengelige at det ikke vil være lønnsomt/praktisk å installere denne typen.

Ventiler: Levetid for ventiler er avhengig av bruk. Normale stengeventiler korrugerer fast fordi de ikke brukes. Ved jevnlig manuell funksjonstest skal ventilene ha en levetid på ca. 10 år, tilsvarende øvrig utstyr. Normale tilbakeslagsventiler slites av trykk og antall ganger de stenger og bør skiftes eller grundig etterses ved pumpeoverhaling. Ventiler har samme levetid om de er store eller små. Med trykkklasse PN 10 benyttes stengeventiler i plastmateriale og disse ventilene vil ikke bli skadet av aggressivt miljø. Ventilene er mer kostbare enn vanlige epoxybelagte ventiler, men langt rimeligere enn spesiallegerte ventiler.

Måleutstyr: Levetiden for måleutstyr er regnet for 20 000 timer i normal utførelse og normal bruk. 3 – 5 år.

Rør: Rør i PE-materiale vil sannsynligvis vare i tunnelens levetid om de installeres riktig og ikke utsettes for ytre påkjenninger som varme og press samt trykkslag fra pumpene. Pumpeledningens levetid er avhengig av rolige endringer i trykk, slik at den ikke herder. Ved bruk av store pumper med trykktank/vindkjele reduseres Pumpeledningens levetid betraktelig.

Selve røropplegget i pumpeanlegget vil sannsynligvis ha samme levetid som Pumpeledningen uavhengig av valg av pumper/utstyr.



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

Tlf. (47) 22 07 35 00
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN 1504-5005