

1 FORMÅL

Ved gjennomføring av avløpsanlegg kan det være hindringer, som gjør at ledninger ikke kan føres fram med normalt fall, f.eks.:

- Kryssende ledninger eller kulverter.
- Trafikkårer
- Elver og bekker.

Slike hindringer kan passeres ved hjelp av pumpeløsninger, men i mange tilfeller kan bruk av dykkerledninger benyttes, uten bruk av ekstra energi.

Definisjon av dykkerledning:

Ledning som passerer en hindring, slik at den i krysningspunktet ligger lavere enn energilinja.

Sammenlignet med pumpeløsninger har en dykkerløsning flere fordeler:

- Reduserte energikostnader, fordi pumping unngås.
- Reduserte anleggskostnader.
- Reduserte utgifter til maskinelt utstyr, drift og vedlikehold.

2 BEGRENSNINGER

Det gis ikke detaljert informasjon knyttet til:

- Hydrauliske beregninger
- Materialvalg
- Dimensjonering
- Krav til vedlikehold

3 FUNKSJONSKRAV

Det må settes strenge krav til funksjonen av de dykkerløsninger som velges, og det må blant annet legges til rette for:

- Enklest mulig drift og vedlikehold (god adkomst og verktøy tilpasset det som skal gjøres).
- Hensiktsmessige spyleløsninger, og ved behov tilrettelegge for:
 - oppsamling av vann med tanke på spyling

- bruk av pumper
- bruk av renseplugger
- bruk av sandfang
- hjelpemidler for luftbegrensning

4 LØSNINGER

Topografien er avgjørende for valg av løsninger.

I dette VA/Miljø-bladet skilles mellom to forskjellige dykkerløsninger:

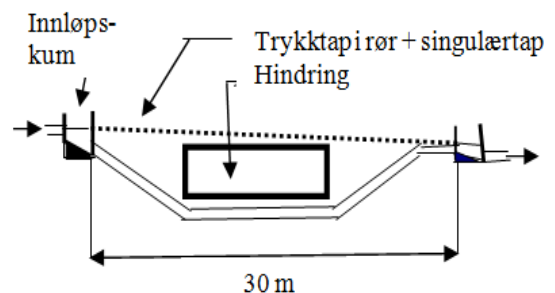
1. Korte ledninger med begrenset trykktap.
2. Lange ledninger, med relativt stor disponibel høydeforskjell (stort trykktap).

Alle figurene er illustrasjoner, uten målestokk.

4.1 SINGULÆRTAP VED KORTE LEDNINGER

Ved liten disponibel høydeforskjell er det viktig å begrense singulærtapet (tiltak som "hjelper" vannstrømmen uten unødvendig turbulens).

I forhold til rørtapet kan singulærtapet utgjøre en stor andel, noe som illustreres av eksemplet i figur 1.



Figur 1. Beregning av rørtap og singulærtap.

Eksempel:

Dim.mengde	(q)	220 l/sek
Rørlengde	(L)	30 m
Innvendig rørdiameter (D _i)		400 mm = 0,4 m
Ruhet	(k)	1,0
Tapskoeffisient	(f)	0,0254
Vannhastighet	(v)	1,75 m/sek
Koeffisienter	(K)	ved singulærtap:

- Utstrømningstap K = 0,50
- 3 stk 45° bend med K = 0,30 = 0,90
- Hele hast.høyden ($v^2 / 2g$) tapes og K = 1,00

Sum K = 2,40

Det er sett bort fra eventuell energi i vannstrømmen foran innløpskummen.

$$\begin{aligned} \text{Rørtap: } h_f &= f \cdot (L / D_i) \cdot (v^2 / 2g) = \\ 0,0254 \cdot (30 / 0,4) \cdot (1,75^2 / 19,62) &= 0,30 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Singulærtap: } h_s &= \text{sum K} \cdot (v^2 / 2g) = \\ 2,40 \cdot 1,75^2 / 19,62 &= 0,38 \text{ m} \end{aligned}$$

Sum tap = 0,68 m

Som det framgår er det viktig å ta hensyn til singulærtapet.

4.2 KORTE DYKKERLEDNINGER

Følgende løsninger omtales:

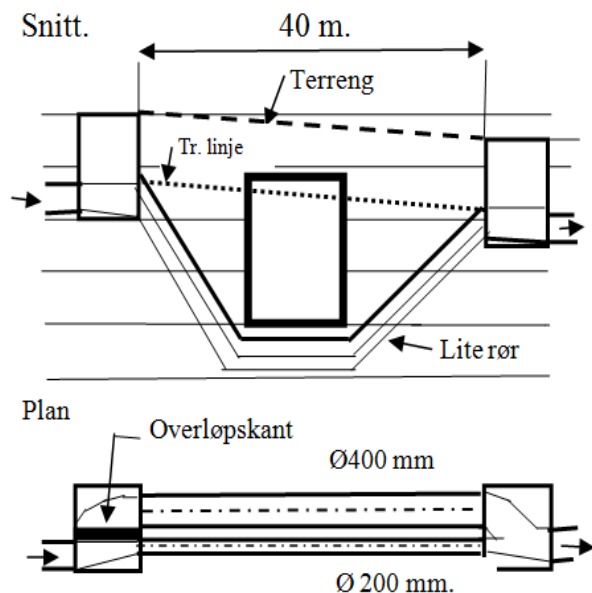
4.2.1 Fellessystem, der det benyttes to rør.

4.2.2 Fellessystem, ett rør, og magasin for spylevann.

4.2.3. Tiltak for å unngå luftproblem.

4.2.1 FELLESYSTEM DER DET BENYTTES TO RØR

Prinsippet illustreres i figur 2.



Figur 2. Fellessystem der det benyttes to rør.

DIMENSJONERING

Innløpskummen har en overløpskant med nivå som gjør at vann renner til det store røret, først ved tilnærmet full kapasitet for det minste røret.

Maks tilrenning :

Ved tørrvær ca. 40 l/sek.

Ved nedbør ca. 260 l/sek (220 l/sek i stort rør).

Grunnlag/forutsetning:

- Lite rør Ø200 mm
- Stort rør Ø400 mm
- Ruhet i begge rør k = 1,0 mm
- Tapskoeffisient f : Lite rør 0,0310
Stort rør 0,0254
- Sum koeffisienter singulærtap (sum K) = 2,0

TAP OG HASTIGHET I DE TO RØRENE

I etterfølgende tabeller vises tap og hastighet, i forhold til avløpsmengde:

Avløpsmengde [l/sek]	Rørtap [m]	Singulærtap [m]	Sum tap [m]	Hastighet i røret [m/sek]
10	0,032	0,010	0,042	0,32
20	0,128	0,041	0,169	0,64
30	0,288	0,093	0,381	0,96
40	0,512	0,165	0,677	1,27

Tabell 1. Lite rør Ø200 mm.

Vannmengde [l/sek]	Rørtap [m]	Singulærtap [m]	Sum tap [m]	Hastighet i røret [m/sek]
50	0,021	0,016	0,037	0,398
100	0,082	0,065	0,147	0,796
150	0,185	0,145	0,330	1,194
200	0,328	0,258	0,586	1,592
220	0,397	0,313	0,710	1,752

Tabell 2. Stort rør Ø400 mm.

Nødvendige mengder for selvrensing

For selvrensing bør skjærspenningen ved fellessystem eller overvannsavløp være ca. 3 - 4 N/m².

$$\text{Formel: } \tau = \gamma \cdot R \cdot l$$

= Avløpsvannets spes. vekt ca. 9800 N/m³

R = Hydraulisk radius $D_i / 4$ m

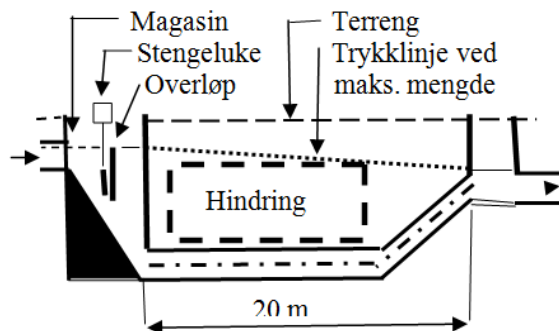
l = Trykklinjens fall = m tap / m ledningslengde

Rør-dimensjon [mm]	Vannmengde [l/sek]	Vannhastighet [m/sek]	Skjærspenning [N/m ²]	Anmerking
200	10	0,318	0,39	28 l/sek gir τ ca. 3 N/m ²
	20	0,635	1,57	
	30	0,955	3,53	
	40	1,274	6,28	
400	50	0,398	0,50	122 l/sek gir τ ca. 3 N/m ²
	100	0,796	2,01	
	150	1,194	4,52	
	220	1,752	9,73	

Tabell 3. Skjærspenninger, som oppnås for rørene i figur 2.

4.2.2 FELLESSYSTEM, ETT RØR, OG MAGASIN FOR SPYLEVANN

Prinsippet vises i figur 3.



Figur 3. Ø500 mm dykkerledning, med magasin for spylevann.

Bunn inntakskum ligger på samme nivå som dykkerledningen. Det er derfor ingen fare for luftinnsug.

Vannvolum i røret er ca. 4 m³, som er mengden for en gjennomspyling.

Ved lav tilrenning, og behov for spyling, stenges inntaksluka og magasinet fylles.

Det er overløp, for å hindre oppstuing hvis feil gjør at luken ikke åpner.

Ved fullt magasin er disponibelt trykktap ca. 0,54 m, og kapasiteten er da ca. 400 l/sek.

Hastighet og skjærspenninger framgår av etterfølgende tabeller.

DIMENSJONERINGSGRUNNLAG

Maks. tilrenning 400 l/sek

Maks. tørrværstilrenning 100 l/sek

Grunnlag/forutsetning:

- Ruhet $k = 1,5$
- Tapskoeffisient $f = 0,0265$
- Sum koeffisienter singulærtap (sum K) = 1,5

Vannmengde [l/sek]	Rørtap [m]	Singulærtap [m]	Sum tap [m]	Hastighet i røret [m/sek]
100	0,014	0,020	0,034	0,510
150	0,032	0,045	0,077	0,764
200	0,056	0,079	0,135	1,019
300	0,126	0,179	0,305	1,529
400	0,224	0,318	0,542	2,038

Tabell 4. Skjærspenning i forhold til vannmengde og hastighet.

Vannmengde [l/sek]	Vannhastighet [m/sek]	Skjærspenning [N/m ²]	Anmerkning
187	0,95	3,0	Ved 400 l/sek blir τ ca. 13,8 N/m ²
216	1,10	4,0	
241	1,23	5,0	

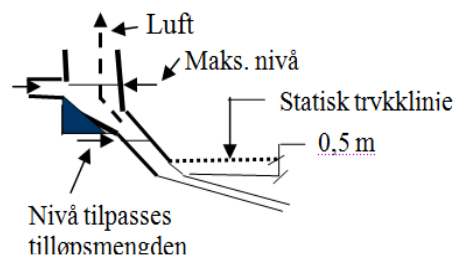
Tabell 5. Tap og hastighet i forhold til vannmengde.

4.2.3 TILTAK FOR Å UNNGÅ LUFTPROBLEM

Hvis bunnen av inntakskummen ligger høyere enn bunn rør til utløpskummen, kan luft suges inn i dykkerledningen.

Problemet kan løses ved å benytte et større rør "rørmagasin", til et nivå ca. 0,5 m lavere enn bunn rør til utløpskummen (statisk trykklinje).

Prinsippet illustreres i figur 4.



Figur 4. Prinsipp av tiltak for å unngå luftproblem.

Det er viktig å ta hensyn til luktproblem, blant annet ved å unngå begroing i det store røret.

4.3 LANGE DYKKERLEDNINGER

Bebyggelse og topografi vil være avgjørende for valg av løsning.

Følgende løsninger omtales:

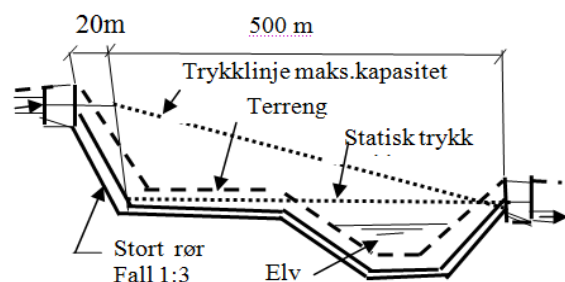
4.3.1 All bebyggelse tilknyttes før dykkerledningen (figur 5).

4.3.2. Bebyggelse i lavereliggende områder pumper avløpet til dykkerledningen (figur 6).

4.3.3. Magasin i inntakskummen, og reguleringsventil ved utløpet (figur 7).

4.3.1 ALL BEBYGGELSE TILKNYTTES FØR DYKKERLEDNINGEN

Et eksempel vises i figur 5.



Figur 5. All bebyggelse tilknyttet før dykkerledningen.

DIMENSJONERINGSGRUNNLAG

Selve dykkerrøret har lengde 500 m, og innvendig diameter 200 mm.

Første del av utløpsrøret har lengde 20 m og innvendig diameter 300 mm (fall 1:3).

Nivået i det store utløperøret tilpasses tilløpsmengden, og vil normalt fylles langsomt opp.

Nivå og hastighet i det store røret vil hindre at luft "suges inn" i selve dykkerrøret (ca. 0,56 m/sek ved maks tilrenning 40 l/sek).

- Maks. avløpsmengde 40 l/sek
- Ruhet (k) 1 mm
- Tapskoeffisient (f) 0,0310
- Tapskoeffisienter (sum K) 2,7

Tap og hastighet i selve dykkerledningen vises i tabellen. Tapet i det 20 m lange utløpsrøret, med diameter 300 mm, er ca. 3 cm og derfor uten betydning.

Vannmengde [l/sek]	Rørtap [m]	Singulærtap [m]	Sum tap [m]	Hastighet i røret [m/sek]
10	0,40	0,01	0,41	0,32
15	0,90	0,02	0,92	0,48
20	1,60	0,04	1,64	0,64
30	3,60	0,09	3,69	0,96
40	6,40	0,17	6,57	1,27

Tabell 6. Tap og hastighet i forhold til vannmengde i 200 mm røret.

Vannmengde [l/sek]	Vannhastighet [m/sek]	Skjærspenning [N/m ²]	Anmerking
28	0,89	3,0	Ved 40 l/sek blir τ ca. 6,3 N/m ²
32	1,02	4,0	
36	1,15	5,0	

Tabell 7. Skjærspenning og hastighet i forhold til vannmengde.

Når vannmengden er 28 l/sek blir trykktapet ca. 3,3 m, og vannet fyller ca. 10 m av 300 mm røret. Totalt vannvolum i dykkerrørene er da ca. 16,5 m³. Tiden for en gjennomspyling blir:
16500 l / 28 l/sek = 590 sek = ca. 9,82 min.

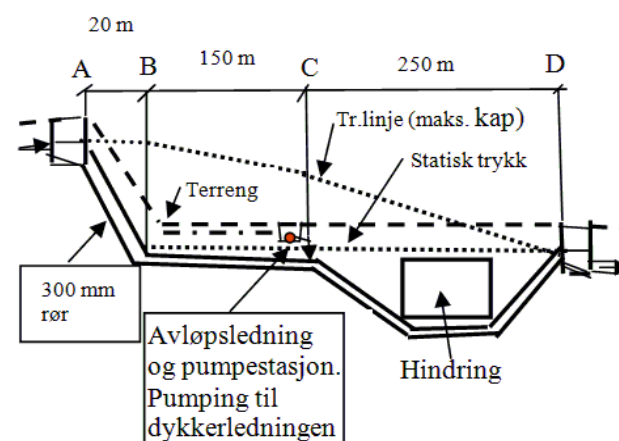
4.3.2 BEBYGGELSE I LAVERELIGGENDE OMRÅDER PUMPER AVLØPET TIL DYKKERLEDNING

Prinsippet illustreres i figur 6.

Maks 40 l/sek overføres til dykkerens innløpskum, mens maks 10 l/sek, fra lavereliggende områder, pumpes inn på dykkerledningen.

Det forutsettes intermittent pumpedrift med ca. 10 l/sek, som er maks timekapasitet.

Første del av dykkerledningen (A – B) er 300 mm, med fall 1:3 og lengde ca. 22 m.



Figur 6. Bebyggelse i lavereliggende områder pumper avløpet inn på dykkerledningen.

DIMENSJONERINGSGRUNNLAG

Dykkerledningen består av tre strekninger:

Strekning	Lengde [m]	Dimensjon [N/m ²]	Anmerking
A-B	20	300	Nivået tilpasses vannmengden
B-C	150	200	
C-D	250	200	Pumpeledningen tilknyttes i pkt. C

Tabell 8. Strekninger dykkerledning.

Maks avløpsmengder:

A-B Ø300 mm med lengde ca. 22 m 40 l/sek
Rørtapet ved fylt ledning er ca. 3 cm, og er uten betydning.

B-C Ø200 mm 40 l/sek

C-D Ø200 mm (inkl. pumpet mengde) 50 l/sek

Tapskoeffisienter er de samme som i avsnitt 4.3.1.1.

Tap og hastighet i forhold til vannmengde

Vannmengde [l/sek]	Rørtap [m]	Singulærtap [m]	Sum tap [m]	Hastighet i røret [m/sek]
10	0,12	0,01	0,13	0,318
15	0,27	0,02	0,29	0,477
20	0,48	0,03	0,51	0,637
30	1,08	0,07	1,15	0,955
40	1,92	0,12	2,04	1,273

Tabell 9. Strekning B-C.

Vannmengde [l/sek]	Rørtap [m]	Singulærtap [m]	Sum tap [m]	Hastighet i røret [m/sek]
20	0,80	0,03	0,83	0,637
25	1,25	0,05	1,30	0,796
30	1,80	0,07	1,87	0,955
40	3,20	0,13	3,33	1,273
50	5,00	0,21	5,21	1,592

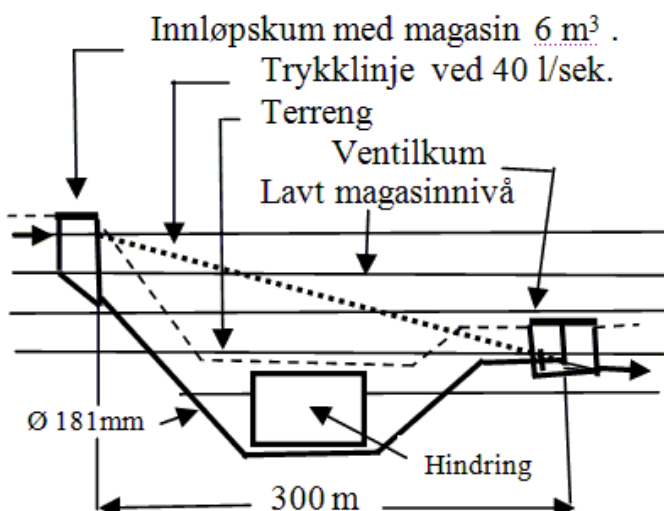
Tabell 10. Strekning C-D (inkl. pumpet mengde 10 l/sek).

Strekning	Vannmengde [l/sek]	Vannhastighet [m/sek]	Rør tap [m]	Anmerkning
B-C	28	0,89	0,94	
C-D	28	0,89	1,57	10 l/sek fra pumpestasjon

Tabell 11. Vannmengde og hastighet for å oppnå skjærspenning ca. 3 N/m².

4.3.3 MAGASIN I INNTAKSKUMMEN REG. VENTIL VED UTLØPET

Prinsippet illustreres i figur 7.



Figur 7. Magasin i inntakskummen, og reguleringsventil ved utløpskummen.

Innløpskummen har et effektivt magasin på ca. 6 m³ (areal 3 m² og dyp 2 m).

Ved utløpet er det en reguleringsventil som styres i forhold til nivået i innløpsmagasinet.

Ved fullt magasin er disponibelt trykktap ca. 6,8 m, og kapasiteten ca. 40 l/sek.

Ved laveste nivå, 2 m lavere enn maks nivå, er trykktapet ca. 4,8 m, kapasiteten ca. 35 l/sek og ventilen strykes/stenges.

DIMENSJONERINGSGRUNNLAG

- Maks. avløpsmengde 40 l/sek
- Ruhet (k) 1,0 mm

- PE-rør SDR 21 (D_i) 181 mm
- Tapskoeffisient (f) 0,0319
- Singulærtapskoef. (sum K) 2,5

Avløpsmengde [l/sek]	Rørtap [m]	Singulærtap [m]	Sum tap [m]	Rørhastighet i røret [m/sek]	Skjærspenning [N/m ²]
10	0,41	0,02	0,43	0,39	0,60
20	1,63	0,08	1,71	0,78	2,41
30	3,66	0,17	3,83	1,17	5,42
35	4,98	0,24	5,22	1,36	7,37
40	6,51	0,31	6,82	1,56	9,63

Tabell 12. Tap, hastighet og skjærspenning i forhold til avløpsmengde.

Skjærspenning 3 N/m² fås ved vannhastighet 0,87 m/s.

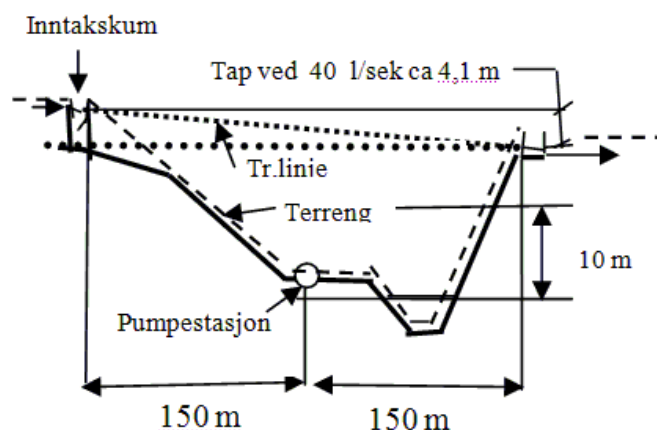
Fordeler med magasin og styrt mengde

- God selvrensning ved aktuelle nivåer i magasinet (se tabellen).
- Luft tilføres ikke dykkerledningen.
- Begrenset luktutvikling.
- Ventilmanøvrering som begrenser trykksvingningene.

4.4 SAMMENLIGNING VED BRUK AV PUMPING OG DYKKER

Det vil ofte være områder der det benyttes pumpestasjon, men som kan løses ved bruk av dykkerledning.

I figur 8 vises et enkelt eksempel.



Figur 8. Eksempel på saneringstiltak, der dykkerledning erstatter pumping.

All utbygging er etablert før inntakskummen til dykkerledningen.

4.4.1 VURDERTE ALTERNATIV

Alt. 1: Bruk av pumpeløsning.

Alt. 2: Bruk av dykkerløsning.

4.4.2 DIMENSJONERINGS-GRUNNLAG

- Maks. avløpsmengde 40 l/sek
- Total avløpsmengde 561.000 m³/år
Maks døgn · maks timefaktor 2,25
- Ruhet (k) 1,0 mm
- Duktilt rør (D_i) 200 mm
- Tapskoeffisient (f) 0,0310
- Singulærtpskoef. (sum K)
 - pumpeledningen 2,0
 - dykkerledningen 2,6
- Rørlengdene vises i figur 8.
- Det pumpes med maks. avløpsmengde, 40 l/sek, og løftehøyden er ca. 15 m. Det er selvrensing i pumpeledningen hver gang det pumpes. (Effektivt magasinvolum, ca. 5 m³, gir full gjennomstrømning. Hastigheten er ca. 1,27 m/sek, og skjærspenningen ca. 6,5 N/m².)

For dykkeralternativet bør det vurderes magasin i inntakskummen og styrt tapping, med tanke på selvrensing. (Dette er tatt med i beregningen av kostnadene.)

Ved maks mengde (40 l/sek) er totalt tap ca. 4,1 m og inntakskummens bunn ligger ca. 0,5 m lavere enn statisk trykkløse.

Avløpsmengde [l/sek]	Rørtap [m]	Singulærtap [m]	Sum tap [m]	Rørhastighet i røret [m/sek]	Skjærspenning [N/m ²]
10	0,24	0,01	0,25	0,318	0,39
20	0,96	0,05	1,01	0,637	1,57
30	2,16	0,12	2,28	0,955	3,53
35	2,94	0,16	3,10	1,114	4,80
40	3,84	0,21	4,05	1,273	6,28

Tabell 13. Tap, hastighet og skjærspenning i forhold til avløpsmengde til dykkerledningen.

4.4.3 ØKONOMISK SAMMENLIGNING AV ALTERNATIVENE

For begge alternativ er det tilnærmet samme kostnad for røranleggene, og som derfor ikke tas med i den økonomiske sammenligningen.

Forutsetning:

- Realrente 4 %
- Tidsperiode 30 år

- Sumfaktor 17,292
- Årlig avløpsmengde 561.000 m³/år
- Enerkipris kr 0,80/ kWh

Kostnader for Alt 1: Bruk av pumpeløsning

Anleggskostnad for pumpstasjon **kr 600.000,-**

Grunnlag for beregning av pumpeenergi:

Pumpeenergi $Q \cdot H / (367,2 \cdot \mu)$ kWh

Q = avløpsmengde 561.000 m³/år

H = løftehøyde 15 m

μ = virkningsgrad 60 %

Pumpeenergi ca. 38.200 kWh

Øvrig energi ca. 6.000 kWh

Energikost 44.200 kWh · 0,8 = 35.366 kr/år

Drift og vedlikehold = 25.000 kr/år

Energi, drift og vedlikehold = 60.366 kr/år

Beregning av nåverdien, som er:

Anleggskostnaden + årlige kostnader multiplisert med sumfaktoren:

Beregningen er utført med 4 % realrente.

- Anleggskostnad = nåverdi = kr 600.000,-
- Nåverdi av energi, drift, og vedlikehold
60.366,- · 17,292 = kr 1.043.849,-
Sum nåverdi avrundet = kr 1.644.000,-

Kostnader for Alt 2: Bruk av dykkerledning

Økonomiske forutsetninger som angitt for Alt.1.

Anleggskostnad for inntakskum, ventilkum og automatikk **kr 150.000,-**

Energiforbruk ca 1500 kWh

Energikost 1500 kWh · 0,8 = 1.200 kr/år

Drift og vedlikehold = 15.000 kr/år

Energi, drift og vedlikehold = 16.200 kr/år

Beregning av nåverdi, som er:

- Anleggskostnad = nåverdi = kr 150.000,-
- Nåverdi av energi, drift, og vedlikehold
16200,- · 17,292 = kr 280.130,-
Sum nåverdi avrundet = kr 430.000,-

Sammenligning av nåverdier for de to alternativene, og besparelse ved bruk av dykkerløsning

Alt. 1 Pumpeløsning: kr 1.644.000,-

Alt. 2 Dykkerløsning: kr 430.000,-

Spart ved dykkerløsning: kr 1.214.000,-

Henvvisninger:		Utarbeidet:	april 2015	Roar Finsrud/Eyvind Hesselberg
		Revidert:		