

Guideline

Design og dimensionering af pumpesumpe



Indholdsfortegnelse

1.	Forord	5
2.	Introduktion til sumpdesign	6
2.1	Baggrunden for skriftet	6
2.2	Formålet med skriftet	7
2.3	Omkostningsoptimering	7
3.	Spildevandets bestanddele	8
3.1	Sedimentbevægelse i pumpesumpe	9
3.1.1	Ristning af tilløb	9
3.1.2	Maceratorer	9
3.1.3	Tunge faste partikler og genstande	10
3.1.4	Vægtneutrale partikler og genstande	10
3.1.5	Flydende partikler og genstande	11
4.	Pumpesumpens udformning og volumen	11
4.1	Sumpudformning	12
4.2	Væskestand	13
4.3	Strømningsmønstre	14
4.4	Pumpestarter	15
4.4.1	Tilladte antal starter	15
4.4.2	Største antal pumpestarter	17
4.5	Metoder til beregning af nødvendigt sumpvolumen	17
4.5.1	Metode 1, mindste sumpvolumen ved solo-drift	18
4.5.2	Metode 2, mindste sumpvolumen ved parallel-drift med identiske pumper	19
4.5.3	Metode 3, kombineret metode der kan anvendes ved solo og paralleldrif	20
4.5.4	Metode 4, Svensk Vatten rekommandation til solo og parallel drift	21
4.5.5	Metode 5, regelbaserede faktor-metoder til solo og paralleldrif	21
4.5.6	Metode 6, regelbaserede driftstids-metoder	22
4.6	Beregning af sumpvoluminer med de gennemgåede metoder	22
4.7	Frekvensregulering og tilladte antal starter	25
4.7.1	Nødvendigt sumpvolumen ved frekvensreguleret drift	26
4.8	Forhold mellem sumpvolumen og overfladeareal	26
4.8.1	Estimering af tilladte antal pumpestarter	27
4.8.2	Afstand mellem start- og stopkoter	27
5.	Hydraulisk belastning	30
5.1	Nye pumpestationer	32
5.2	Eksisterende pumpestation	33
5.3	Pumpeydelse som konsekvens af oplandssanering	39
5.4	Ændringer over tid	42
6.	Generelle forhold i forbindelse med strømninger i pumpesumpe	43
6.1	Sumpe med tilløb under 5 l/s	43
6.2	Sumpe med tilløb fra 5 til 50 l/s	43
6.3	Sumpe med tilløb større end 50 l/s	44
6.4	Sump i pumpestationer med mere end 4 pumper	46
6.5	Banktoptimering af små og mindre pumpestationer	46
7.	Bygværkets konstruktion	47
7.1	Belastninger	48
7.2	Dimensioneringskriterier	48
7.2.1	Partialkoefficienter	48
7.2.2	Sikkerheds- og kontrolklasser	49
7.2.3	Jord- og grundvandslast	49
7.2.4	Trafiklast	49
7.3	Deformation og spændinger i sumpe	49

7.4	Konstruktionskrav	49
7.5	Præfabrikerede sumpe	52
8.	Dæksler og sikkerhedsriste	52
8.1	Sikkerhedsriste	52
8.2	Dæksler	53
8.3	Aflastningsfjedre	56
9.	Sammenfatning af designrekommandationer	56
9.1	Design guidelines	56
9.2	Almengyldige designrekommandationer:	57
9.2.1	Sumpvolumen	57
9.2.2	Pumpernes funktion	57
9.2.3	Strømningsforhold	57
9.2.4	Selvrensningsevne	58
9.3	Afhjælpende tiltag	58
9.3.1	Mulige tiltag til reduktion af flydestoffer	58
9.3.2	Mulige tiltag til reduktion af sedimentproblemer	58

Formler

Formel 1:	Beregning af største antal starter	17
Formel 2:	Beregning af den kortest anbefalede tid mellem 2 pumpestarter	18
Formel 3:	Beregning af mindste anbefalede sumpvolumen mellem start og stop af pumper	18
Formel 4:	Beregning af korteste tid mellem starter i værste forekommende driftstilstand	19
Formel 5:	Metode 1, beregning af mindste sumpvolumen ved solo-drift	19
Formel 6:	Metode 1, beregning af mindste sumpvolumen ved solo-drift i SI-enheder	19
Formel 7:	Volumenberegning mellem pumpestarter ved flere pumper i parallel drift	19
Formel 8:	Metode 2, akkumuleret sumpvolumen ved flere identiske pumper i parallel drift	20
Formel 9:	Metode 3, beregning af mindste sumpvolumen ved solo og parallel drift	20
Formel 10:	Metode 3, beregning sumpvolumen i SI-enheder ved solo og paralleldrif	20
Formel 11:	Metode 4, Svenskt Vatten rekommandation sumpvolumenberegning ved solo-drift	21
Formel 12:	Metode 4, beregning af mindste sumpvolumen i SI-enheder ved solo drift	21
Formel 13:	Metode 5.1, faktormetode til estimering af sumpvolumen ved solo drift	22
Formel 14:	Metode 5.2, faktormetode til estimering af sumpvolumen ved 2 pumper i parallel drift	22
Formel 15:	Metode 5.3 faktormetode til estimering af sumpvolumen ved 3 pumper i parallel drift	22
Formel 16:	Sumpvolumen beregning ved krav om 60 sekunders pumpedrift i en pumpecyklus	22
Formel 17:	Sumpvolumen beregning ved krav om 180 sekunders pumpedrift i en pumpecyklus	22
Formel 18:	Estimering af tilladt antal starter	27

Figurer

Figur 1:	Snit i sumpbund	11
Figur 2:	Vortex frem til pumpeindløb	14
Figur 3:	Pumpekurve med BEP	16
Figur 4:	Disponibelt og total sumpvolumen	17
Figur 5:	Disponibelt og total sumpvolumen	28
Figur 6:	Anbefalet sumpvolumen og højde mellem start- og stopkoter 1-200 l/s	28
Figur 7:	Anbefalet sumpvolumen og højde mellem start- og stopkoter 1-50 l/s	29
Figur 8:	Forhold mellem sumpvolumen og start- og stopkoter 1-200 l/s	29

Figur 9: Forhold mellem sumpvolumen og start- og stopkoter 1-50 l/s	30
Figur 10: Typisk døgnvariation for oplande med afstrømningslængde op til 1.000 m.....	32
Figur 11: Typisk døgnvariation for oplande med afstrømningslængde mellem 2.500 og 5.000 m.....	33
Figur 12: 12 måneders usorterede timedata for pumpestation med to pumper	34
Figur 13: Rangordnede timeværdier, hvor højeste timeværdi placeres længst til venstre	35
Figur 14: Eksempel på pumpe som matcher behovet jf. Figur 15.....	35
Figur 15: Udkast til styringsstrategi for pumper og trykledninger	37
Figur 16: Eksempel på samme pumpe som i Figur 14 med	37
Figur 17: Driftsområder med frekvensregulerede pumper med "stort" og "lille" pumpehjul	38
Figur 18: Eksempel på fraktionering af flowmålinger.....	39
Figur 19: Månedsfordeling af uvedkommende vand	40
Figur 20: Konsekvenserne ved indsvinningsmængder på 50% og 100%	40
Figur 21: Månedsfordeling for uvedkommende vand før og efter sanering	41
Figur 22: Maksimal timeafstrømning	41
Figur 23: Eksempel på valg af pumpekapacitet ud fra trykledning	42
Figur 24: Sump med banketter	43
Figur 25: Eksempel på nedføringsrør	43
Figur 26: Kapacitetskonsekvens af hvirvelrotationens omdrejningsretning.....	45
Figur 27: Skærmbjælke med horisontal åbning langs sumpbund.....	46
Figur 28: Pumpesumpbund med armering	51

1. Forord

Denne guideline til sumpdesign er udarbejdet af Karsten Egebjerg Pedersen, EnviDan A/S, i samarbejde med Netværket for Pumpeteknik.

Målet med guidelinen er at beskrive de væsentligste udfordringer der er forbundet med design og dimensionering af pumpe-sumpe, da fejl kan være forbundet med omfattende økonomiske og tekniske konsekvenser. Skriftet er en praktisk guide, som er målrettet til planlæggere og driftspersonale, med det mål at reducere fejl og uhensigtsmæssig udformning i pumpe-sumpe.

Guidelinen er ikke en videnskabelig afhandling men en praktisk guide udarbejdet på baggrund af skribentens erfaringer og indsigt i området. Alle fotos tilhører forfatteren.

Jeg vil gerne takke Spildevandsteknisk Forening for økonomisk støtte, og Netværket for Pumpeteknik for hjælp og opbakning med projektet. Kommerciel anvendelse af dele eller hele guidelinen er kun tilladt efter forudgående skriftlig tilladelse fra forfatteren.

En særlig tak skal lyde til Jan Egelund, for inspiration og konstruktiv kritik.

Udgave 1.0

Aarhus oktober 2021.

2. Introduktion til sumpdesign

2.1 Baggrunden for skriftet

Et afløbssystem skal håndtere spildevand fra bolig-, industri- og servicevirksomheder og transportere det til et rensningsanlæg, hvor det renses, inden der afledes til recipienten. Af hensyn til miljøet, og ikke mindst de løbende driftsomkostninger, bør det altid tilstræbes at spildevandstransporten udføres så effektivt og problemfrit som muligt. Da driften af pumpestationer og trykledninger ofte er forbundet med betydelige driftsomkostninger, er det et naturligt fokusområde, når der omkostningsoptimeres.

Behovet for at transportere spildevand gennem et kloaksystem frem til rensningsanlægget, inklusive alle de faste stoffer som spildevandet indeholder, kan kun imødekommes, hvis pumpestationer og transportledninger er lige så effektive som gravitationssystemerne til at håndtere spildevand. Når der konstateres problemer med et tryksat transportsystem, er det ofte pumperne, som tilskrives årsagen. Det er imidlertid et faktum, at årsagen til driftsproblemerne ofte skal søges uden for pumperne, da spildevandspumper generelt er gode til at håndtere faste stoffer uden at blive tilstoppede.



Billede 1: Udpræget flydelag som givetvis forårsager driftsproblemer

Der er utallige eksempler på, at selv nyere pumpestationer og især pumpesumpene er dimensioneret og udformet så uhensigtsmæssigt, at der fra ibrugtagning er et ekstraordinært stort behov for service og vedligehold for at sikre en nogenlunde tilfredsstillende funktion.

Ofte stilles der regelbaserede rigide krav til både størrelse og design, som skal opfyldes, uagtet der kan udarbejdes løsninger baseret på faktuelle behov og belastninger, som alt andet lige, vil resultere i bedre helhedsløsninger.

Derfor anbefales at pumpesystemer herunder pumpesumpe, dimensioneres på baggrund af specifikke behov, gerne suppleret med driftserfaringer, så der skabes de bedst mulige helhedsløsninger, hvor driftssikkerhed og totaløkonomi går hånd i hånd.

Det er derfor et håb, at nærværende skrift kan medvirke til, at pumpesumpe fremadrettet dimensioneres og designes på baggrund af behov, fremfor foruddefinerede regler og faste rutiner.

2.2 Formålet med skriftet

Formålet med dette skrift er at rette fokus mod nogle af de vigtigste faktorer i forbindelse med design af pumpestationer - og især pumpesumpe - og give anvisninger, som kan medvirke til bedre design, så pumperne får de bedst mulige forudsætninger for at fungere effektivt og energioptimalt.

2.3 Omkostningsoptimering

I de sidste par dekader har den teknologiske udvikling af spildevandspumper resulteret i en betragtelig forøgelse af virkningsgraderne, hvilket har reduceret energiforbruget og dermed energiomkostningerne.

Erfaringer viser entydigt, at transportsystemer bør have højest mulig driftssikkerhed, da selv få driftsproblemer, kan resultere i en dårlig totaløkonomi. Det skyldes, at afhjælpning af akutte funktionsvigt ofte kræver manuel indgriben ude i pumpestationen, hvilket er omkostningstungt. I værste fald kan omkostningerne til afhjælpning af funktionsfejl overstige energiomkostningerne.

De oftest forekommende funktionsfejl og driftsproblemer ved pumpning af spildevand kan typisk tilskrives hele eller delvise blokeringer og tilstopninger i pumper og ledningsanlæg. I mange tilfælde er problemerne afledt af uhensigtsmæssige helhedsløsninger, og mere specifikt kan mange problemer henføres til ugenomtænkt sumpdesign i kombination med et uheldigt trykledningstracé.

For at opnå høj opetid og attraktive driftsomkostninger er det essentielt, at der fra den indledende planlægsfase fokuseres på at skabe løsninger med høj driftssikkerhed, så behovet for manuel indgriben er mindst muligt.

Årsagerne til de uhensigtsmæssige helhedsløsninger er mangfoldige, men i mange tilfælde kan de henføres til, at planlæggere fokuserer mere på at etablere løsninger med lave etableringsomkostninger end på at skabe transportsystemer med høj driftssikkerhed.

Forudsætningen for at håndtere spildevand effektivt er, at det samlede transportsystem designes ud for holistiske betragtninger. Erfaringer viser, at især udformningen og størrelsen af pumpesumpe har stor betydning for det samlede systems funktionalitet. Derudover er det vigtigt, at trykledningen etableres med omtanke, hvor der især bør fokuseres på trykledningsdimensionen samt -tracéet.

Hvis det samlede transportsystem er veludviklet, har pumperne den bedste sandsynlighed for at håndtere spildevandet problemfrit.

3. Spildevandets bestanddele

For at forstå de udfordringer som spildevandspumpestationer står overfor, er det nødvendigt at forstå spildevandets sammensætning, herunder især de forskellige typer af faste stoffer i rå spildevand. Udover fækalier og organisk stof, i form af groft partikulært stof og slam, indeholder spildevand en række andre genstande, som forbrugerne skyller ud i kloakken, eksempelvis papir, klude og hygiejneaffald.

Udover det spildevandsrelaterede indhold af partikler og genstande i afløbssystemet, bidrager fælleskloakerede oplande med en række andre faste partikler og emner. Det er forventeligt, at der som følge af nedbørsafstrømning tilføres slidende og slidende genstande som silt, sand og grus fra vejarealer, og periodevist kan der komme materiale fra bygge- anlægsarbejder, samt papir, plast og dåser.

I Danmark udgør indholdet af hygiejniske faste stoffer i separat spildevand typisk mellem 100 og 500 mg/l, mens det i fællesvand typisk varierer mellem 50 og 1000 mg/l. Selvom gennemsnitkoncentrationerne kan forekomme lave, dækker de over betydelige variationer. Det er derfor vigtigt at erkende, at med denne mængde faste stoffer i systemet, kan enhver forstyrrelse i flowet føre til en hurtig opbygning af faste stoffer, som hurtigt kan udfordre pumperne.

En nyttig omend forenklet måde at tænke på faste stoffer på er at placere dem i kategorier baseret på deres Specifikke Vægtfylde, SV, og dermed deres opdrift:

- Sedimentation af faste stoffer sker når $SV > 1$, og inkluderer de fleste uorganiske materialer som sten, sand, silt og tungt organisk stof.
- Flydende faste stoffer har $SV = 1$, og inkluderer de fleste organiske stoffer, hygiejnebind og andet affald såsom papir, plast, klude og snor.
- Lette flydende faste stoffer ligger højt på overfladen og har $SV < 1$, og inkluderer fedt og ofte uønskede genstande som Leca-kugler, flamingo og træstykker.

I afløbssystemet bevæger de faste stoffer sig på forskellig vis. Fint let materiale, har en tendens til at bevæge sig i fuldt opblandet tilstand, mens tungere materiale bevæger sig i en rullende, glide og tumlende bevægelse hen over bunden af ledningen. Den eksakte bevægelsesmåde afhænger af tre faktorer, nemlig:

- materialeegenskaberne for de faste stoffer, omfattende bl.a. densitet, partikelstørrelse, form, størrelsesfordeling og sammenklumpningsegenskaberne
- afløbssystemets egenskaber, f.eks. ledningsdimension og - længde, form, hældning samt overfladeruhed
- strømningsbetingelserne i afløbssystemet, f.eks. strømningshastighed, turbulensniveau og væskedybde

De tungeste faste stoffer, såsom sand og grus, er det største problem ved spildevandstransport i afløbsledninger, da de kræver den højeste strømningshastighed for at bevæge sig. I Danmark anvendes forskydningsspændingen som kriterium for selvrensning, hvor forskydningsspændingen er et udtryk for vandets transportevne.

For at kunne antage at en afløbsledning er selvrensende, skal mediets forskydningsspænding være større end den kritiske bundforskydningsspænding i røret, da det er forudsætningen for, at partiklerne kan holde sig fri af rørvæggen. Kvantificering af forskydningsspænding beror i vid udstrækning på skøn. Forskydningsspændinger på 1-2 Pa i dårlige afløbssystemer og 3-4 Pa i overfladevandssystemer på 3-4 Pa ofte er anvendelige.

Da det kan være vanskeligt at beregne både forskydningsspændingen og den kritiske bundforskydningsspænding, er det udbredt praksis, at ved design af trykledninger i stedet stilles krav til minimumsstrømningshastigheden, grundet spildevandets meget uensartede sammensætning. Et ofte stillet krav til minimumshastigheden er, at der mindst én gang i døgnet skal være en strømningshastighed større end 0,7 - 0,8 m/s, og der skal kunne opnås en strømningshastighed på mindst 1,0 m/s ved fuld kapacitet. Selvom disse strømningshastigheder er noget vilkårlige, da de ikke justeres for mængden af sediment eller rørdiameter, viser erfaringer, at hastighederne almindeligvis sikrer en tilfredsstillende selvrensningsevne.

Lette partikler og emner, såsom klude og hygiejneaffald, bevæger sig lettere, så det er typisk ikke et problem i forbindelse med dimensioneringen af en afløbsledning. Dog er klude og fibrøse materialer tilbøjelige til at agglomerere, dvs. samle sig i større sammenfiltrede klumper, og når de over en længere distance tumbler langs bunden af en afløbsledning, dannes "reb", "kugler" eller "hestehaler", der kan udgøre en betydelig udfordring for pumperne længere nede på afløbssystemet. Samme fænomen kan opstå, hvis sugeledningen på tørtopstillede pumper er for lang og pumperne skaber en forrotation i sugeledningen. Der er indikationer af, at problemstillingen forværres, hvis pumperne er forsynet med vortex-pumpehjul og samtidigt er frekvensregulerede.



Billede 2: Fibrøst materiale i og på pumpe

3.1 Sedimentbevægelse i pumpe-sumpe

Sedimentbevægelsen i en pumpe-sumpe adskiller sig markant fra bevægelsen i gravitationsledninger. I pumpe-sumpe er strømmingen mindre regelmæssig, hvad angår både retning og hastighed, hvilket skyldes, at de fleste spildevandspumpestationer har kortere eller længere stilstandsperioder, hvor pumperne ikke er i drift. I disse stilstandsperioder fungerer sumpen som en bundfældningstank.

3.1.1 Ristning af tilløb

I Danmark er etablering af riste på tilløb til pumpestationer ikke udbredt, og anvendes primært på store pumpestationer, som er efterfulgt af lange trykledninger. Den primære årsag til dette skal antageligt søges i, at riste anlæg er relativt omkostningstunge både med hensyn til etablering og løbende drift, da de er forholdsvis vedligeholdskrævende.

3.1.2 Maceratorer

Spildevandsselskaber i udlandet, har gennem mange år anvendt maceratorer til at neddele faste og fibrøse bestanddele i spildevandet, og gennem de senere år har maceratorer også fundet vej ind på det danske spildevandsmarked. Erfaringer fra Danmark viser, at maceratorer kan forøge driftssikkerheden og samtidig reducere de løbende driftsomkostninger. Der er ligeledes erfaring for, at tendensen til dannelse af flydelag og sedimentation reduceres, hvilket givetvis skyldes, at de partikler, der føres ind i pumpe, er neddelte, så risikoen for hel- og delblokeringer reduceres.

3.1.3 Tunge faste partikler og genstande

De faste stoffer med en $SV > 1$ bundfældes på sumpbunden, der over tid vil akkumuleres i sumpens stille områder, de "døde" zoner. Hvis sedimentet forbliver uforstyrret, kan det blive septisk og forårsage lugtproblemer, samt øge risikoen for korrosion og frigivelse af svovlbrinte. Sedimentet kan kun resuspenderes, og dermed komme ind i pumpen, hvis sugeshastigheden i indløbet til pumpen er i stand til at genere et strømnings- og hastighedsprofil på bunden af sumpen, hvor hastighederne overstiger sedimentets forskydningspænding eller bevægelsesgrænse.



Billede 3: Pumpesump med stagnationszoner "døde"-zoner, hvor sedimentopbygning foregår

Intermitterende drift, og deraf følgende stilstandsperioder kan medføre, at partikulært materiale kittes sammen med slam, så der dannes faste aflejringer, eller at det på anden måde interagerer med hinanden, så det dermed kan få negativ indflydelse på strømningerne i sumpen og dermed på pumpernes transport af sedimentet.

Varigheden af stilstandsperioder bør derfor begrænses, f.eks. ved at pumperne tvangsstartes uanset vandniveauet i pumpesumpen, hvis stilstandsperioden overstiger en given periode, f.eks. 1 time.

3.1.4 Vægtneutrale partikler og genstande

Vægtneutrale opdriftsstoffer, $SV=1$, bæres let af strømningerne i sumpen, og pumpes generelt let væk. Lange, sammenhængende og fibrøse materialer kan imidlertid forårsage problemer for pumperne, enten ved at de hæfter sig fast på pumpehjulets vinger, eller ved at blokere indløbet i pumperne. De mest alvorlige tilstopninger forårsages af "kludekugler, der kan dannes i lange gravitationsledninger, og muligvis også i sumpe, hvis strømningsforholdene er ugunstige.

Hvis "kludekugler" fanges af et roterende pumpehjul, er der risiko for at de længste fibre fanger andre materialer og bliver sammenfiltret med dem, så der dannes et langt "reb". Da større sammenfiltrede klumper sjældent kan passere gennem



Billede 4: Sammenfiltret fibrøst materiale i pumpe

pumperne, har disse en tendens til at vokse yderligere i størrelse. Da klumperne ofte er meget seje og vanskelige at rive over, ses ofte, at de fæster sig til pumpeindløbet eller pumpehjulets vinger, når pumpen kører. Når pumpen stopper, falder klumpen ofte tilbage til sumpbunden, men på et tidspunkt er der risiko for, at ”rebet” kan blokere pumperne helt. Konsekvenserne af klumperne er derfor, at de indledningsvist forringer pumpernes ydelse, og på et tidspunkt kan de sætte pumperne ud af funktion.

Der er gode erfaringer med at reducere driftsproblemer forårsaget af klumper ved at reversere pumperne, når det konstateres at det optagne moment øges og/eller pumpernes ydelse reduceres.

3.1.5 Flydende partikler og genstande

De flydende faste stoffer, $SV < 1$, har let ved at blive ført med flowet i gravitationsledninger, men kan være vanskelige at pumpe væk, da de befinder sig på væskeoverfladen, langt væk fra indløbet i pumperne. Hvis de flydende genstande ikke fjernes i takt med de kommer til pumpeumpen, vil de hæfte sig fast på kabler og kæder, og med tiden udgøre en stadigt større masse, som ”kittes” sammen af andre flydestoffer, f.eks. fedtstoffer, så der dannes et fast flydelag. Hvis flydelaget får lov til at udvikle sig, vil det over tid danne en hård og fast masse på toppen af spildevandet i sumpen, som pumperne ikke kan fjerne, og som selv slamsugere kan have svært ved at suge op.

4. Pumpesumpens udformning og volumen

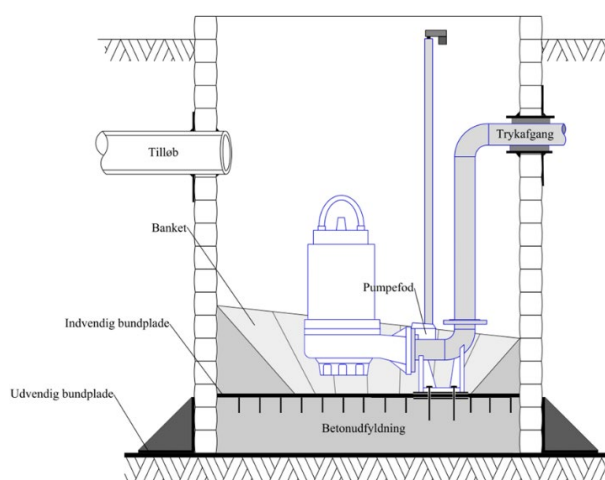
For at sikre den bedst mulige selvrensning og funktion af det samlede tryksatte transportsystem, er det nødvendigt at skabe de rette betingelser. Det kræver udover omhyggelighed i dimensionerings- og designfasen også forståelse for og viden om, hvorledes et tryksat system fungerer, både i hverdagen og når der opstår funktionsproblemer.

I forhold til udformning og indretning af pumpeumpe, kan der opstilles en række almenlydige designkriterier, som det bør søges at imødekomme, men et af kriterierne er dog et ufravigeligt krav, nemlig pumpeproducentens krav til respektafstande foran indløbet i pumperne. Der gælder jf. Fejl! Henvissningskilde ikke fundet. afstanden fra pumpeindløbet til:

- sumpbunden
- faste vægge
- banketter

Derudover skal den indbyrdes afstand mellem pumper også være tilstrækkelig til, at der ikke opstår kritiske strømningsforhold. Konsekvensen af at gå på kompromis med de krævede afstandsforhold i designfasen er, at det efterfølgende kan være vanskeligt og omkostningsfuldt at ændre.

Der er modstridende interesser i forhold til pumpeumpens størrelse og udformning. Visse forhold taler for at voluminet skal være mindst muligt, mens andre forhold taler for at øge voluminet. I Tabel 1 er vist nogle eksempler på forhold, som er modstridende med hensyn til sumpvolumen.



Figur 1: Snit i sumpbund

Konsekvens af minimalt sumpvolumen	Konsekvens af større sumpvolumen
Lavere bygge- og anlægsomkostninger	God plads til pumper og øvrige installationer
Reducerer risikoen for sediment	Gode hydrauliske strømningsforhold
Reducerer risikoen for septiske tilstande og korrosion	Stort magasineringsvolumen/lang opholdstid
Færre lugtgener	Færre pumpestarter
Færre flydestoffer	God evakuering af luft frem til pumpeindløbet

Tabel 1: Eksempler på modstridende ønsker til sumpstørrelse

Hovedparten af pumpestationer og -sumpe er cirkulære, og bestykket med to pumper, som enten er placeret i sumpen eller tørtopstillede i separat bygværk. For dykkede pumper ses ofte, at pumpe-sumpe generelt designes med god plads omkring pumperne, så servicepersonale har de bedst mulige arbejdsforhold, såfremt der skal udføres arbejde i sumpen. Ud fra et arbejdsmiljømæssigt aspekt er dette godt, men en af de negativt afledte konsekvenser er, at der er risiko for, at pumpe-sumpen bliver en bundfældningstank, hvor sediment løbende ophobes. Sedimentophobningen kan føre til dannelse af skadelige gasser, hvor især svovlbrinte er problematisk, og kan resultere i behov for periodisk bundsugning med slamsuger - til ugunst for de løbende driftsomkostninger.

Det optimale sumpdesign er derfor altid et kompromis, hvor der skal søges en løsning med det mindst mulige overflade- og bundpladeareal, for at fjerne flest mulige flydestoffer, slam og sediment, samtidigt med at sumpen skal være så stor, at respektafstande og strømningsforhold frem til indløbet i pumperne er tilfredsstillende for pumpernes funktion.

4.1 Sumpudformning

Sumpdiameter samt størrelsen og udformningen af pumpe-sumpens flade bundplade er de forhold, der har størst betydning for transporten af faste stoffer, og dermed pumpe-sumpens selvrensningsevne og funktionalitet.

Den første forudsætning for at få en velfungerende og selvrensende pumpe-sumpe er, at strømningsmønstret i sumpen er optimalt ved alle vandstande. Hvis stilstandsperioden mellem to driftsperioder er lang, vil de tunge faste stoffer bundfælde på sumpbunden i. Derfor skal det flade areal på sumpbunden under pumperne være mindst mulig.

For at kunne resuspendere sedimenterede faste stoffer, skal pumpen være i stand til at generere en sugekraft/forskydningskraft hen over sumpbunden og de sedimenterede faste stoffer, som overstiger den kritiske kraft, der er nødvendig for at løsrive sedimentet. Da pumpens sugeeffekt falder hurtigt med afstanden, skal pumpeindløbet placeres så tæt på bunden som muligt - jo tættere pumpeindløbet er på bunden, jo større er forskydningskraften der suger sedimentet ind i pumpen.

Det er ikke muligt at opstille almenlydige regler for, hvor stor forskydningskraft der er påkrævet for at resuspendere faste partikler, da det afhænger af spildevandssammensætningen og sedimenttypen.

Derudover skal de frie områder på sumpbunden og mellem installerede genstande udformes, så der dannes passager, hvor de faste stoffer kan bevæge sig ubesværet frem til pumpeindløbet.

4.2 Væskestand

Flydestofferne på sumpoverfladen kan som sedimentet på sumpbunden kun komme ind i pumpen, når flydestofferne er under tilstrækkelig påvirkning af suget fra pumpeindløbet. Det er derfor vigtigt, at væskenniveauet i indløbet i pumpen afstemmes med flydestoffernes og sedimentets beskaffenhed, hvilket kan være vanskeligt, da spildevandssammensætningen ikke er konstant.

Ved lejlighedsvist at sænke niveauet i sumpen så meget, at der sker en skimning af overfladen, ”slubrekørsel”, er det ofte muligt at holde overfladen fri for flydende faste stoffer. Derfor er det også her en fordel, at sumpens overfladeareal er mindst mulig, da de flydende faste stoffer da vil være så tæt på pumpeindløbet som det praktisk kan lade sig gøre. Hvis flydestofferne er for langt fra indløbet i pumpen, kan den nødvendige sugeseffekt ikke genereres frem mod pumpeindløbet.

Med hensyn til faststof med neutral opdrift føres det let med strømningerne i pumpeumpen, hvorfor de ikke udgør et problem, såfremt sumpen er veldesignet. Hvis der derimod er ”døde”-zoner i pumpeumpen, er der en tendens til, at stofferne samler sig der, og vil efterfølgende, når der er bevægelse i sumpen, let fanges af faste genstande, som rør og kabler. Som med alle andre partikulære og fibrøse stoffer i spildevandet gælder, at jo mindre sumpvoluminet er, desto mere effektiv vil transporten af de faste stoffer være.

Som tilfældet er med de tunge stoffer, har forsøg vist, at de neutralt flydende faste stoffer hovedsageligt kommer ind i pumpen, når vandstanden i sumpen er som lavest, dvs. umiddelbart før pumpen stopper.

De letteste bestanddele af faststoffer flyder oven på vandet i sumpen, og hvis det ikke fjernes løbende, vil det over tid ”kitte” sig sammen med bl.a. fedtstoffer i spildevandet. Hvis de sammenkittede flydestoffer får lov til at udvikle sig, vil de på et tidspunkt fylde hele overfladen, og i værste fald kan de blive så sammenhængende, at det kan være vanskeligt at fjerne selv med en slamsuger. Derudover er der betydelig risiko for at funktionen af f.eks. niveaudeviper, som hænger ned gennem flydelaget, hindres.

I langt de fleste tilfælde er det muligt at etablere tiltag, som minimerer risikoen for opbygningen af kritisk store mængder sammenhængende flydestoffer. Det kan eksempelvis være ved, at pumpestyringen programmeres, så niveauet i sumpen periodevis sænkes så meget, at flydestofferne føres med væskestrømmen ind i pumperne. I sumpe med betydelige mængder flydestoffer, eller hvor de udgør et problem, kan niveauet for vandspejlet sænkes så meget, at de ”slubrer”, hvorved flydestofferne tvinges frem mod pumpeindløbet. Frekvensen for ”slubrekørsel” er afhængig af tilstrømningen af faste stoffer og dermed behovet for overfladeskimning. Derfor bør frekvensen for ”slubrekørsel” være en variabel, f.eks. kan ”slubrekørslen” ved hver pumpestart, ved hver 10. eller for hver 50. starter.



Billede 5: Flydestof på toppen af mediet

Hvis trykledningen ikke er stigende hele vejen fra pumpestation til udløbet, kan slubrekørsel være en kritisk funktion, da der føres luft med ind i trykledningen, når pumpen slubrer, med deraf følgende udfordringer med luftansamlinger i trykledningens toppunkter. Ofte ses de værste

”luftproblemer”, hvis pumperne er frekvensregulerede, da strømningshastigheden ved nedreguleret drift ofte ikke er i stand til at fjerne luftansamlinger. I disse situationer anbefales det, at sumpen omrøres grundigt umiddelbart før pumperne starter.

Omrøringen kan ske ved at:

- installere en mixer i sumpen
- montere en spuleventil på pumpen
- etablere et by-pass fra trykledningen, som åbnes i forbindelse med pumpestart, så en del af pumpe flowet recirkuleres til sumpen.

Der er mange eksempler på, at omrøring i sumpen kan afhjælpe problemerne med ophobning af flydestoffer.

Især i pumpestationer med længere stilstandsperioder er der ofte problemer med, at fedtstoffer danner en ring ved pumpernes startniveau. Der er gode erfaringer med, at adaptive startniveauer kan nedbringe dette problem, dvs. når startkoten varierer ved alle starter.

4.3 Strømningsmønstre

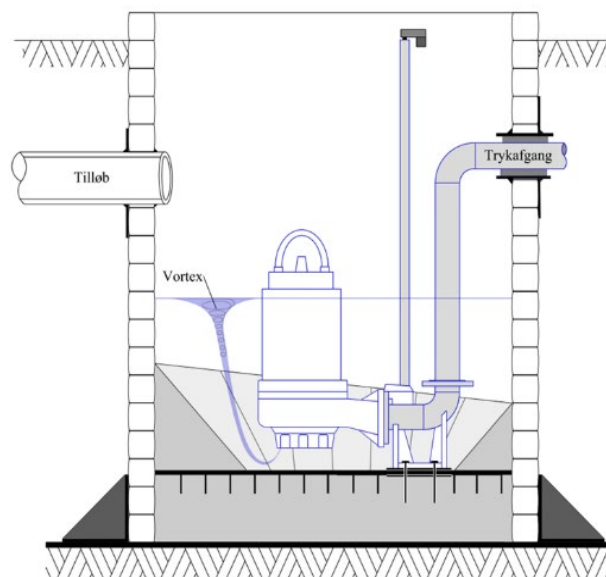
Ideelt set bør væskestrømningen i pumpe-sumpe være rolige og homogene, men det er ikke altid muligt. Derfor skal det tilstræbes, at sumpen udformes, så der er mindst mulig turbulens ved indløbet i pumpen, og der samtidigt er mindst mulig luft i mediet. Årsagen til at der skal tilstræbes mindst mulig turbulens i sumpen er, at turbulent strømning ofte resulterer i asymmetriske tilstrømningsforhold i indløbet i pumpehjulet. Dette kan forårsage reduceret hydraulisk virkningsgrad og samtidigt forringe pumpens mulighed for effektivt at fjerne sediment og flydestoffer.

En anden og ofte overset konsekvens af turbulente og/eller uensartede strømningsforhold er, at der opstår uensartede radiale belastninger på pumpehjulet, hvilket medfører, at pumpeakslens udbøjning kan blive kritisk stor, dvs. at den svinger som et pendul, hvilket kan føre til støj, levetidsforkortende vibrationer og leje-problemer.

Hvirvler i pumpeindtaget kan påvirke pumpe driftsbetingelser betydeligt og resultere i ændringer i pumpekapaciteten, effektoptag og virkningsgrad. Det kan også resultere i dannelse af hvirvelstrømninger, som inducerer en tragtformet strømning, der strækker sig fra væskeoverfladen ned til pumpeindløbet og videre ind i pumpen.

Hvis den tragtformede hvirveldannelse får lov til at udvikle sig, kan der dannes en vortex. En vortex er en tragtformet strømning, hvis center udgøres af en luftragt, som går fra væskeoverfladen til pumpeindløbet, hvorved der er en direkte lufttilførsel ind i pumpen og videre ned gennem transportsystemet.

Vortex bør altid undgås, da vortex udover at reducere pumpekapaciteten også vil skabe en uensartet belastning på pumpehjulet, som resulterer i støj og vibrationer med deraf følgende risiko for fysisk skade på både pumpe og rørsystem. Ved større



Figur 2: Vortex frem til pumpeindløb

mængder luft, vil pumpen begynde at vibrere, og hvis den masse, som pumpen er fixeret til, ikke er tilstrækkelig, er der betydelig risiko for, at vibrationerne overføres til pumpesumpskonstruktionen og de øvrige installationer, herunder rørsystemet.

4.4 Pumpestarter

Pumpesumpsvoluminet har direkte og indirekte indflydelse på hele pumpestationens funktion, som det fremgår af Tabel 1. Da målet med denne guideline er at vejlede i forhold som sikrer maksimal driftssikkerhed og -stabilitet, skal sumpvoluminet derfor som udgangspunkt være mindst muligt, så risikoen for ophobning af flydestoffer og sediment minimeres, men samtidigt må sumpvoluminet ikke være for lille af hensyn til antallet af starter. Derfor tager anbefalingerne udgangspunkt i dette.

Grundlæggende set, er den vigtigste parameter for fastsættelse af et optimalt sumpvolumen, pumpernes startantal. Hvis sumpvoluminet ikke er tilstrækkeligt stort, vil det tilladte antal pumpestarter med stor sandsynlighed overskrides. Derudover kan et utilstrækkeligt sumpvolumen give anledning til praktiske problemer, som ofte knytter sig til manglende magasineringskapacitet. Dette kan f.eks. være når:

- længden af opstrøms gravitationssystem er for kort til at udjævne tilstrømningen
- stødbelastninger fra opstrøms pumpe-systemer med tilnærmelsesvis samme kapacitet
- enkelt udledere som afleder i batch
- korte opstrøms gravitationssystemer med utilstrækkelig udjævning af afstrømningsmængden

Hvis opstrøms tilløbssystem og pumpe-sumpen ikke i tilstrækkelig grad udjævner tilløbsmængden, kan dette være medvirkende til at reducere driftsstabiliteten.

Der kan være andre overvejelser end funktionsoptimering, som ønskes inddraget i beslutningsprocessen, f.eks. ønsket om et ekstraordinært stort opmagasineringsvolumen, grundet behov for lang responstid, hvorfor der også er medtaget eksempler herpå.

De efterfølgende eksempler på fastlæggelse af sumpvoluminen, er anvendelige for pumpestationer med pumpeydelse på op omkring 200 l/s. For pumpestationer med en pumpeydelse over 200 l/s, er der meget ofte behov for supplerende overvejelser i forbindelse med dimensionering og udformning af pumpe-sumpe, da energimængden i det strømmende medie kan være så stor, at de generelle anvisninger ikke er tilstrækkelige til at sikre en tilfredsstillende helheds-løsning.

4.4.1 Tilladte antal starter

Den pumpe-tekniske årsag til at der er krav til sumpvolumen mellem start- og stopniveau er, at et utilstrækkeligt volumen ofte resulterer i flere pumpestarter end det pumpeproducenten anbefaler.

Såfremt antallet af pumpestarter overstiger det anbefalede, er der risiko for at pumpen overophedes. Det kan resultere i mekanisk overbelastning af aksler og lejer samt termiske fejl, da der ved pumpestart optages en stor mængde strøm, ampere, som omsættes til varme i pumpe-motoren.

Det tilladelige antal starter oplyses ofte på en af følgende måder, som begge metoder er lette at anvende:

- Maksimalt antal starter pr. time
- Minimum hviletid (starttid) mellem start

Der er flere forhold som er afgørende for antal tilladte starter, men der er tre generelle tommelfingerregler, nemlig:

- Jo mindre effekt motoren har, kW, desto flere starter er tilladt i timen
- Jo langsommere motor, højere antal poler, desto flere starter tilladt i timen
- Jo mere effektiv kølingen er, dykkede /tørtopstillede, desto flere starter tilladt i timen

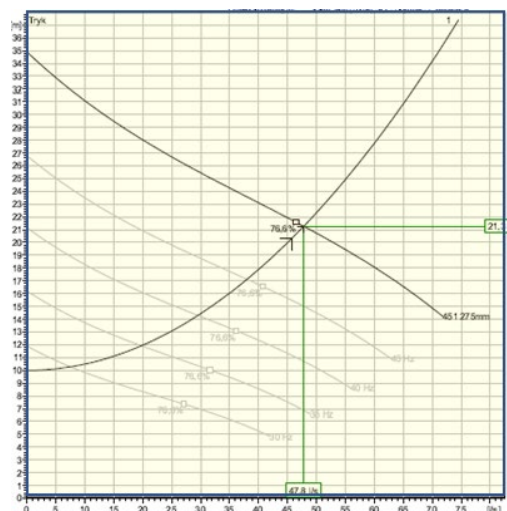
Årsagen til at motorer med mange kW, store motorer, har et lavere antal tilladte starter end mindre motorer er, at store motorer er mere kompakte end små motorer, hvorfor de er længere tid om at afgive den dannede varme til omgivelserne.

Under forudsætning af, at det antages at der optages samme effekt, kW, vil en motor med få poler, have færre tilladte starter end en tilsvarende pumpe med flere poler. Årsagen til dette skal søges i, at accelerationsenergien der optages ved start af en mange-polet motor er mindre end tilfældet er i en med færre poler. Som tommelfingerregel kan det antages, at antallet af tilladte starter for en 2 polet motor er i størrelsesordenen halvdelen af det tilladte antal starter for en tilsvarende 6-polet motor.

Kølingen af motoren er også betydende for antallet af tilladte starter. Mindre dykkede pumper med integrerede motorer, hvor motoren er omgivet af spildevand, er ofte mere effektiv kølet end en identisk pumpe der er tørt opstillet, hvorfor antallet af tilladte starter ofte er højere for en dykket pumpe med integreret motor.

Hvis den tørt opstillede pumpe er bestykket med norm-motor, ses ofte, at antallet af tilladte starter er højere, end for en tilsvarende pumpe med integreret motor, da kølingen af norm-motorer ofte er bedre. Den difference i antal tilladte starter mellem pumper med integrerede motorer og norm-motorer ses ved store motorer, da pumper med integrerede motorer bliver så massive, at disse køles markant dårligere end tilsvarende norm-motorer.

I Tabel 2 er der angivet nogle generelle sammenhænge mellem motorstørrelser og det maksimalt tilladte antal starter pr. time for dykkede og tørtopstillede spildevandspumper med integrerede motorer, men det anbefales at indhente pumpeproducentens specifikke krav



Figur 3: Pumpekurve med BEP

		Dykkede pumper					
Motorstørrelse	kW	<4,0	4-7,5	7,5-11	11-30	30-100	>100
Højeste tilladte antal starter	z/time	30	25	15	10	8	6
Korteste tid mellem starter [minutter]	T _{minimum_minut}	2	2,4	4	6	7,5	10
Korteste tid mellem starter [sekunder]	T _{minimum_sekund}	120	144	240	360	450	600
		Tørtopstillede pumper					
Motorstørrelse	kW	<4,0	4-7,5	7,5-11	11-30	30-100	>100
Højeste tilladte antal starter	z/time	20	15	12	10	8	4
Korteste tid mellem starter [minutter]	T _{minimum_minut}	3	4	5	6	7,5	15
Korteste tid mellem starter [sekunder]	T _{minimum_sekund}	180	240	300	360	450	900

Tabel 2: Eksempel på største antal tilladte starter for "moderne" spildevandspumper og mindste tid mellem starter

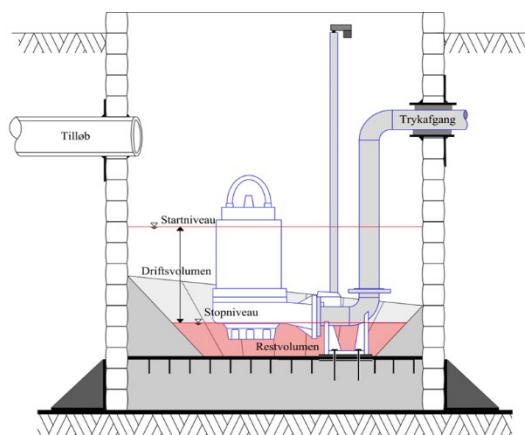
4.4.2 Største antal pumpestarter

Da tilløbsmængden altid vil være varierende, med hensyn til mængde og intensitet, bør der altid tages udgangspunkt i den belastningstilstand, der resulterer i det største antal pumpestarter, da det funktionsmæssigt er den værste forekommende driftstilstand.

Det største antal pumpestarter vil forekomme når tilløbsmængden udgør 50% af pumpekapaciteten, hvilket kan udtrykkes ved:

$$Q_{\text{tilløb}} = \frac{Q_{\text{pumpe}}}{2} \quad (1)$$

Formel 1: Beregning af største antal starter



Figur 4: Disponibelt og total sumpvolumen

4.5 Metoder til beregning af nødvendigt sumpvolumen

Der findes ikke en universel almenlydig metode til at fastlægge det optimale sumpvolumen, men en række brancheorganisationer og pumpeproducenter har publiceret forskellige metoder/værktøjer til at fastlægge det nødvendige sumpvolumen.

Ved valg af metode/værktøj skal man sikre sig, at den valgte model er anvendelig i den konkrete situation. Nogle metoder kan udelukkende anvendes ved solo-drift, mens andre kan anvendes både ved solo og parallel drift.

Det de fleste modeller har til fælles er, at de tager udgangspunkt i følgende forhold:

- Pumpens kapacitet, Q_{pumpe}
- Antallet af pumper, n
- Den dimensionsgivende tilløbsmængde, $Q_{\text{tilløb}}$
- Tilladeligt antal starter, z/time

Nogle beregningsmetoder omdefinerer ”tilladeligt antal starter pr. time” til ”korteste tid mellem starter”, som det fremgår af Metoder til beregning af nødvendigt sumpvolumen

I det følgende vil der blive gennemgået eksempler på metoder til sumpvolumenberegninger, som er almindeligt anvendte i det nordlige Europa. I Tabel 3 er vist en oversigt over metodernes anvendelighed, samt hvorvidt der er en individuel beregning eller om det er et estimat.

	Driftsform		Beregningsform	
	Solo	Parallel	Individuel	Estimat
Metode 1	x		x	
Metode 2		x	x	
Metode 3	x	x	x	
Metode 4	x		x	
Metode 5.1	(x)			x
Metode 5.2		(x)		x
Metode 5.3		(x)		x
Metode 6	(x)	(x)		x

Tabel 3:Oversigt over metoder som gennemgås

4.5.1 Metode 1, mindste sumpvolumen ved solo-drift

I pumpestationer, hvor solo-drift er eneste driftskombination, kan det minimale sumpvolumen, $V_{minimum}$, fastlægges jf. formel B.1. i bogen fra Hydraulic Institute ”Intake Design” - 1998. Metoden baserer sig på fire elementer, nemlig:

- Korteste tilladte tid mellem to starter
- tilstrømningsmængden
- pumpekapaciteten
- minimums sumpvolumen

$$T_{minimum} = \frac{V_{minimum}}{Q_{tilløb}} + \frac{V_{minimum}}{Q_{pumpe} - Q_{tilløb}} \quad (2)$$

Formel 2: Beregning af den kortest anbefalede tid mellem 2 pumpestarter

Ved omskrivning af Formel 2, kan $V_{minimum}$ isoleres, og vi kommer frem til, at:

$$V_{minimum} = \frac{Q_{tilløb} \cdot T_{minimum} \cdot (Q_{pumpe} - Q_{tilløb})}{Q_{pumpe}} \quad (3)$$

Formel 3: Beregning af mindste anbefalede sumpvolumen mellem start og stop af pumper

hvor:

$V_{minimum}$ = Minimumssumpvolumen [m^3]

$Q_{tilløb}$ = Tilløb til sump [m^3/s]

Q_{pumpe} = Pumpekapacitet [m^3/s]

$T_{minimum}$ = Korteste tid mellem starter [s]

Beregning af værst forekommende driftstilstand kan dermed omskrives, så $T_{minimum}$ isoleres som det fremgår af Formel 4:

$$T_{minimum} = \frac{V_{minimum}}{Q_{tilløb}} + \frac{V_{minimum}}{Q_{pumpe} - Q_{tilløb}} = \frac{4 \cdot V_{minimum}}{Q_{pumpe}} \quad (4)$$

Formel 4: Beregning af korteste tid mellem starter i værste forekommende driftstilstand

Når $Q_{tilløb}$ er beregnet efter Formel 1 **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** og $T_{minimum}$ efter Formel 4, kan det mindst anbefalede sumpvolumen $V_{minimum}$ beregnes for værst forekommende situation direkte ved hjælp af Formel 5:

$$V_{minimum} = 0,06 \cdot \frac{T_{minimum} \cdot Q_{pumpe}}{4} \quad (5)$$

Formel 5: Metode 1, beregning af mindste sumpvolumen ved solo-drift

hvor:

$V_{minimum}$ = Minimumssumpvolumen [m^3]

$T_{minimum}$ = Korteste tid mellem starter [minutter]

Q_{pumpe} = Pumpekapaцитet [l/s]

Hvis Formel 5 omskrives til SI-enheder fremkommer Formel 6.

$$V_{minimum} = 0,25 \cdot Q_{pumpe} \cdot T_{minimum} \quad (6)$$

Formel 6: Metode 1, beregning af mindste sumpvolumen ved solo-drift i SI-enheder

hvor:

$V_{minimum}$ = Minimums sumpvolumen [m^3]

$T_{minimum}$ = Korteste tid mellem starter [s]

Q_{pumpe} = Pumpekapaцитet [m^3/s]

4.5.2 Metode 2, mindste sumpvolumen ved parallel-drift med identiske pumper

I større pumpestationer med flere identiske pumper er $V_{minimum}$ mindst, såfremt pumperne starter successivt i takt med at vandstanden i sumpen stiger, og tilsvarende stoppes i takt med at vandstanden reduceres. For at udnytte den successive start og stop af pumper optimalt, skal pumperne stoppes i samme rækkefølge som de startede, dvs. at den pumpe som startede sidst, skal stoppes sidst, også kaldet cyklisk skifte. Voluminet mellem hver pumpestart skal være ens, så der sikres maksimal og ensartet afledning af den varme, som genereres i forbindelse med pumpestart.

Da voluminet i pumpeumpen mellem start af pumpe 1 og pumpe 2 indgår i formlen, kan det være nødvendigt med flere gennemregninger, så der fås et passende forhold mellem overfladearealet og afstanden mellem startniveauerne. Voluminet mellem de startniveauerne beregnes som følger:

$$\Delta V = A_{overflade} \cdot (P_{2Start} - P_{1Start}) \quad (7)$$

Formel 7: Volumenberegning mellem pumpestarter ved flere pumper i parallel drift

hvor:

- ΔV = Sumpvolumen mellem pumpestarter [m³]
 $A_{\text{overflade}}$ = Sumpoverflade [m²]
 $P2_{\text{start}}$ = Niveau for start pumpe 2 [m]
 $P1_{\text{start}}$ = Niveau for start pumpe 1 [m]

Det nødvendige sumpvolumen kan derefter bestemmes på baggrund af:

$$V_{\text{total}} = \frac{V_{\text{minimum}}}{n} + ((n - 1) \cdot \Delta V) \quad (8)$$

Formel 8: Metode 2, akkumuleret sumpvolumen ved flere identiske pumper i parallel drift

hvor:

- V_{total} = Det totale nødvendige sumpvolumen [m³]
 V_{minimum} = Det minimale sumpvolumen for én pumpe, jf. formel 6 [m³]
 n = Antallet af pumper [-]

Hvis de installerede paralleldrevne pumper har forskellige pumpekapaciteter, skal det nødvendige sumpvolumen beregnes separat for hver pumpe. Det akkumulerede sumpvolumen V_{total} afhænger af, hvorledes pumpernes indbyrdes driftsafhængigheder er, og skal analyseres i hvert enkelt tilfælde.

4.5.3 Metode 3, kombineret metode der kan anvendes ved solo og paralleldrif

Der findes metoder som er anvendelige til fastlæggelse af sumpvoluminer ved både solo og parallel drift med identiske pumper. Metode 3 baserer sig på de parametre som Grundfos anfører i "Wastewater Pumps, Engineering Manual".

Fordelen ved at have én metode, som er anvendelig ved både solo og parallel drift er, at man kan anvendes samme metode hver gang, under forudsætning af, at de installerede pumper er identiske. Sumpvoluminet for pumper i solo- og paralleldrif kan findes af Formel 9.

$$V_{\text{minimum+}} = \frac{Q_{\text{pumpe}}}{n \cdot 4 \cdot Z_{\text{max}}} \quad (9)$$

Formel 9: Metode 3, beregning af mindste sumpvolumen ved solo og parallel drift

hvor:

- Q_{pumpe} = Akkumuleret pumpekapacitet [m³/h]
 n = Antallet af pumper [-]
 Z_{max} = Maksimalt tilladte antal starter, z/h
 $V_{\text{minimum+}}$ = Nødvendigt effektivt sumpvolumen for det antal pumper som er i samdrift, [m³]

Hvis Formel 9 omskrives til SI-enheder fremkommer Formel 10.

$$V_{\text{minimum+}} = \frac{Q_{\text{pumpe}} \cdot 900}{n \cdot Z_{\text{max}}} \quad (10)$$

Formel 10: Metode 3, beregning sumpvolumen i SI-enheder ved solo og paralleldrif

hvor:

Q_{pumpe} = Akkumuleret pumpekapacitet [m^3/s]

n = Antallet af pumper [-]

Z_{max} = Maksimalt tilladte antal starter, z/h

$V_{minimum+}$ = Nødvendigt effektivt sumpvolumen for det antal pumper som er i samdrift, [m^3]

I lighed med Formel 8, kan Formel 9 og Formel 10 kun anvendes ved identiske pumper.

4.5.4 Metode 4, Svensk Vatten rekommandation til solo og parallel drift

Svenskt Vatten er en svensk brancheorganisation for landets vigtigste fødevarerproducenter og miljøbeskyttelsesvirksomheder - VA -organisationerne, som kan sammenlignes med vore forsyningsselskaber.

Svenskt Vatten har udgivet en række publikationer, herunder P47, Avloppspumpstationer, Dimensionering, utformning och drift. P47 indeholder instruktioner til dimensionering og design af spildevandspumpstationer, som baserer sig på informationer hentet fra interviews med personale i kommuner (forsyningsselskaber), rådgivere og pumpeproducenter.

$$V_{minimum} = \frac{Q_{pumpe}}{Z_{max}} \cdot 0,9 \quad (11)$$

Formel 11: Metode 4, Svensk Vatten rekommandation sumpvolumenberegning ved solo-drift

hvor:

Q_{pumpe} = Pumpekapacitet [l/s]

Z_{max} = Maksimalt tilladte antal starter, z/h

Hvis Formel 11 omskrives til SI-enheder fremkommer Formel 12.

$$V_{minimum} = \frac{Q_{pumpe} \cdot 900}{Z_{max}} \quad (12)$$

Formel 12: Metode 4, beregning af mindste sumpvolumen i SI-enheder ved solo drift

hvor:

Q_{pumpe} = Pumpekapacitet [m^3/s]

Z_{max} = Maksimalt tilladte antal starter, z/h

Som det ses, er rekommandationen fra Svenskt Vatten identisk med metode 3.

4.5.5 Metode 5, regelbaserede faktor-metoder til solo og paralleldrif

En ofte anvendt metode til indledningsvist at fastlægge sumpvolumen ved solo og paralleldrif er faktormetoden, hvor der udelukkende tages udgangspunkt i pumpeydelsen.

Metoden bygger på, at pumpekapaciteten multipliceres med en faktor, hvis størrelse afhænger af antallet af pumper som kan være i samdrift. Herunder er vist ofte anvendte faktorer, ved op til 3 pumper i samdrift.

- Solodrift: 60 gange pumpekapacitet
- Op til to pumper i samdrift : 90 gange pumpekapacitet ved 2 pumper i paralleldrif
- Op til tre pumper i samdrift : 120 gange pumpekapacitet ved 3 pumper i paralleldrif

Den anvendte pumpekapacitet skal være i enheden [l/s].

$$V_{\text{estimat solo}} = 60 \cdot Q_{\text{pumpe}} \quad (13)$$

Formel 13: Metode 5.1, faktormetode til estimering af sumpvolumen ved solo drift

$$V_{\text{estimat 2 parallelle}} = 90 \cdot Q_{\text{pumpe}} \quad (14)$$

Formel 14: Metode 5.2, faktormetode til estimering af sumpvolumen ved 2 pumper i parallel drift

$$V_{\text{estimat 3 parallelle}} = 120 \cdot Q_{\text{pumpe}} \quad (15)$$

Formel 15: Metode 5.3 faktormetode til estimering af sumpvolumen ved 3 pumper i parallel drift

Hvis faktormetoden anvendes til beregning af sumpvolumener, bør resultatet altid kontrolleres når der er valgt pumper, da faktormetoden ikke tager hensyn til det tilladelige antal starter.

4.5.6 Metode 6, regelbaserede driftstids-metoder

Den regelbaserede driftstidsperiode er på mange områder identisk med den faktorbaserede, metode 5, da sumpvoluminberegningen tager udgangspunkt i pumpekapaciteten, som multipliceres med en faktor.

Voluminet beregnes ved, at pumpekapaciteten multipliceres med den tid som pumper skal være i drift i hver enkelt driftscyklus, typisk 1 eller 3 minutter, uden hensyntagen til det tilladelige start-antal og om pumperne er i solo drift eller parallel drift. Ed beregning er det hensigtsmæssigt at driftstiden omregnes til sekunder. Det betyder, at det beregnede sumpvolumen ved krav om 1 minuts drift, 60 sekunder, er identisk med metode 5 beregning for en solo pumpe.

$$V_{\text{estimat 60 sekunder}} = 60 \cdot Q_{\text{pumpe}} \quad (16)$$

Formel 16: Sumpvolumen beregning ved krav om 60 sekunders pumpe drift i en pumpecyklus

$$V_{\text{estimat 180 sekunder}} = 180 \cdot Q_{\text{pumpe}} \quad (17)$$

Formel 17: Sumpvolumen beregning ved krav om 180 sekunders pumpe drift i en pumpecyklus

4.6 Beregning af sumpvoluminer med de gennemgåede metoder

Uanset hvilken af de gennemgåede metoder til sumpvoluminberegning der anvendes, bør der indledningsvist anlægges en risikobetragtning. Målet med dette er at identificere kritiske og potentielt kritiske forhold og afhængigheder, da der ikke findes én metode, som er den rigtige.

Det anbefales dog, at der i videst mulig udstrækning tages afsæt i kravene til den anvendte pumpe, da det, alt andet lige, vil give bedste resultat, da voluminet er afstemt pumpernes behov.

I efterfølgende tabeller er vist eksempler på sumpvolumenberegninger ved brug af de forskellige metoder. Beregningerne er gennemført med de forudsætninger der fremgår af Tabel 4 og af Tabel 5 fremgår resultaterne af pumpeudlægningen som anvendes ved sumpdimensioneringen.

Dimensioneringsparametre		Enheder
Pumpeinstallation	Dykket	[-]
Pumpekapacitet	20	[l/s]
Pumpekapacitet 2 pumper i parallel drift	26,5	[l/s]
Geometrisk trykhøjde	10	[m]
Trykledningsmateriale	PE100	[-]
Trykklasse	17	[SDR]
Trykledningslængde	2000	[m]
Trykledningsdimension	225	[mm]
Trykledningsruhed	0,3	[mm]
Sumpdiameter	1,25	[m]
Sumpoverflade	1,23	[m ²]
Startniveau pumpe 1	10	[-]
Startniveau pumpe 2	10,5	[-]

Tabel 4: Designforudsætninger for sumpvolumenberegninger

Resultater fra pumpeudlægning		
Beregnet trykledningsmodstand	9,92	[m]
Systemmodstand	19,92	[m]
Effektforbrug (P1)	6,3	[kW]
Tilladeligt antal starter jf. tabel 2	25	[z/h]
Korteste tid mellem starter	144	[T _{min_sek}]

Tabel 5: Resultater af pumpeudlægning som anvendes ved sumpvolumen beregninger

De viste beregninger er farvekodede, så beregninger som baserer sig på pumpen/-ernes krav til højst tilladte antal starter, behovsspecifikke metoder, er farvet grønne, Tabel 6, mens beregninger med faktormetoden er blå, og hvor der er anvendt regelbaseret driftstids-metode er rød. I venstre side af tabellerne er formlerne vist, og tallet i parentes (X) refererer til formelnummeret i foranstående tekst. Da nogle af metoderne ikke anvender SI-enheder, men andre ofte anvendte enheder, er enhederne der indgår i formlerne vist i klammeparenteser [X]. I de højre stillede gule rammer, er de anvendte tal indsat.

Metode 1, behovsspecifik metode, anvendes til pumper i solo drift		Sumpvolumen
$V_{min} = 0,25 \cdot Q_p \left[\frac{m^3}{s} \right] \cdot T_{min} [s] \quad (6)$	→	$0,25 \cdot 0,020 \cdot 144 = 0,72 \text{ m}^3$
Metode 2, behovsspecifik metode, anvendes til pumper parallel drift		Sumpvolumen
Beregning af volumen mellem pumpestart 1 og pumpestart 2		
$\Delta V = A_{overflade} [m^2] \cdot (P2_{startkote} - P1_{startkote}) \quad (7)$	→	$1,23 \cdot (10,5 - 10,0) = 0,61 \text{ m}^3$
Metode 2, volumenberegning for 2 pumper i parallel drift:		
$V_{total\ min} = \frac{V_{min(fra\ metode\ 1)} [m^3]}{n} + ((n - 1) \cdot \Delta V [m^3]) \quad (8)$	→	$\frac{0,72}{2} + ((2 - 1) \cdot 0,61) = 0,97 \text{ m}^3$
Metode 3, behovsspecifik metode, anvendes til pumper i solo og parallel drift		Sumpvolumen
Metode 3, volumenberegning for pumpe i solo drift:		
$V_{total\ min} = \frac{Q_{pumpe} [m^3/s] \cdot 900}{Z_{max} [Z/time]} \quad (10)$	→	$\frac{0,020 \cdot 900}{25} = 0,72 \text{ m}^3$
Metode 3, volumenberegning for 2 pumper i parallel drift:		
$V_{total\ min} = \frac{Q_{pumpe} [m^3/s] \cdot 900}{Z_{max} [Z/time]} \quad (10)$	→	$\frac{0,0265 \cdot 900}{25} = 0,95 \text{ m}^3$

Tabel 6: Sumpvolumen beregninger baseret på pumpernes maksimalt tilladte antal starter

Metode 5, faktormetoder, anvendes til pumper i solo og parallel drift:		Sumpvolumen
Metode 5.1, volumenberegning for pumpe i solo drift:		
$V_{estimeret\ solo\ drift} = 60 \cdot Q_{pumpe} [l/s] \quad (13)$	→	$60 \cdot 20 = 1,20 \text{ m}^3$
Metode 5.2, volumenberegning for 2 pumper i parallel drift:		
$V_{estimeret\ 2\ pumper\ i\ parallel\ drift} = 90 \cdot Q_{pumpe} [l/s] \quad (14)$	→	$90 \cdot 20 = 1,80 \text{ m}^3$
Metode 5.3, volumenberegning for 3 pumper i parallel drift:		
$V_{estimeret\ 3\ pumper\ i\ parallel\ drift} = 120 \cdot Q_{pumpe} [l/s] \quad (15)$	→	$120 \cdot 20 = 2,40 \text{ m}^2$

Tabel 7: Sumpvolumenberegninger baseret på faktormetoden, uden hensyn til pumpernes maksimalt tilladte antal starter

Metode 6, regelbaseret driftstids-metode, anvendes til pumper i solo og parallel drift		
Metode 6.1, 60 sekunders driftstid		
$V_{estimeret\ 60\ sekunders\ drift} = 60 \cdot Q_{pumpe} [l/s] \quad (16)$	→	$60 \cdot 20 = 1,20 \text{ m}^3$
Metode 6.1, 180 sekunders driftstid		
$V_{estimeret\ 180\ sekunders\ drift} = 180 \cdot Q_{pumpe} [l/s] \quad (17)$	→	$180 \cdot 20 = 3,60 \text{ m}^2$

Tabel 8: Sumpvolumenberegninger baseret på driftstids-metode, uden hensyn til pumpernes maksimalt tilladte antal starter

Flere af metoderne har, som det fremgår af ovenstående tabeller, sammenfald eller tilnærmelsesvis sammenfald, mens andre metoder afviger markant. Overordnet set er der godt sammenfald mellem de behovsspecifikke metoder, mens der er en tendens til, at de regelbaserede metoder resulterer i noget større volumener. I Tabel 9 er resultaterne samlet, og den indbyrdes forskel er beregnet i forhold til den metode, som giver det mindste volumen.

Af Tabel 9 ses, at de beregnede sumpvolumener er mindst hvis der tages afsæt i pumpen krav, og de største volumener forekommer når udgangspunkt er den regelbaserede driftstids-metode. Derudover er afstanden mellem pumpestart og -stop angivet. Hvis der ønskes en pumpe med færrest mulige funktions- og driftsproblemer, anbefales det derfor, at beregningerne baseres sig på pumpen/ernes krav til antal starter. Hvis en af de øvrige metoder anvendes, er der betydelig risiko for, at selvrensningsevnen ikke er tilstrækkelig, hvorfor det må påregnes at der er behov for installation af supplerende sumpomrøring.

Solodrift	Vol.		Afvig.		Start/stop afstand		
					Pumpe 1	Pumpe 2	Pumpe 3
Metode 1, anvendes til pumper i solo drift	0,72	m ³	100	%	0,59 [m]	-	-
Metode 3, volumenberegning for Pumpe i solo drift:	0,72	m ³	100	%	0,59 [m]	-	-
Metode 5.1, volumenberegning for Pumpe i solo drift:	1,20	m ³	167	%	0,98 [m]	-	-
Parallel drift	Vol.		Afvig.		Pumpe 1	Pumpe 2	Pumpe 3
Metode 2, volumenberegning for 2 pumper i parallel drift:	0,97	m ³	100	%	0,59 [m]	0,21 [m]	-
Metode 3, volumenberegning for 2 pumper i parallel drift:	1,80	m ³	185	%	0,59 [m]	0,19 [m]	-
Metode 5.2, volumenberegning for 2 pumper i parallel drift:	1,80	m ³	185	%	0,98 [m]	0,49 [m]	-
Metode 5.3, volumenberegning for 3 pumper i parallel drift:	2,40	m ³	247	%	0,98 [m]	0,49 [m]	0,49 [m]
Regelbaseret driftstids-metode	Vol.		Afvig.		Pumpe 1	Pumpe 2	Pumpe 3
Metode 6.1, 60 sekunders driftstid	1,20	m ³	100	%	0,98 [m]	-	-
Metode 6.1, 180 sekunders driftstid	3,60	m ³	300	%	2,93 [m]	-	-

Tabel 9: Beregnede sumpvolumener og deres indbyrdes procentuelle forskel, samt afstand mellem start og stop af pumper

4.7 Frekvensregulering og tilladte antal starter

Udbredelsen af frekvensomformere i spildevandspumpestationer øges til stadighed, da det ofte er forbundet med en række driftsmæssige og økonomiske fordele, men det kan også resultere i utilstrækkelig køling af pumpen, hvor det især kan være en udfordring ved dykkede pumper.

I pumpestationer med varierende hydrauliske belastninger og mange driftstimer, installeres frekvensomformere for at kapacitetsregulere pumperne ved omdrejningsregulering.

For at opnå tilstrækkelig magnetiseringspænding i motoren, optager en Pumpe med direkte start, en strøm som er 6-7 gange større end fuldlast strømmen, mens der ved brug af frekvensomformere opnås tilstrækkelig magnetiseringspænding, ved en strømstyrke som kun er ca. 2 gange større end fuldlast strømmen. Det betyder, at den genererede opstartsvarme i motoren, og dermed den mekaniske stresspåvirkning, som aksler, lejer, pumpehjul, viklinger, etc. udsættes for, reduceres til ca. 30% af en fuldlastopstart ved direkte start.

Problemstillingen opstår, hvis den dykkede pumpe er i langvarig drift ved lav neddykning, hvilket kan reducere vandets køling af pumpen så meget, at der opstår termofejl. Fejltilstanden kan i de fleste tilfælde forebygges ved at:

- reducere antallet af tilladte starter
- anvende en pumpe designet til tør opstilling

4.7.1 Nødvendigt sumpvolumen ved frekvensreguleret drift

I forhold til fastlæggelse af mindste sumpstørrelse har frekvensregulerede pumper en række fordele, hvor især følgende overvejelser bør inddrages i designprocessen:

- Ved varierende tilløb til sumpen vil frekvensregulerede pumper have længere driftstid og dermed færre starter end uregulerede pumper. Det skyldes, at pumpernes hydrauliske kapacitet løbende afstemmes med variationerne i tilløbet ved regulering af pumpernes omdrejningstal. Dette vil være tilfældet, så længe variationerne ligger indenfor pumpernes funktionsområde.

De færre starter betyder, at sumpvoluminet $V_{minimum}$ kan reduceres i forhold til voluminet ved uregulerede pumper.

Fastlæggelse af det nødvendige sumpvolumen for frekvensregulerede pumper i solo-drift, kan ske efter Formel 5, hvor der anvendes en Q_{pumpe} -værdi svarende til pumpens hydrauliske kapacitet ved laveste driftsfrekvens.

- Den genererede varme i forbindelse med pumpestart er betydeligt lavere, hvorfor antallet af tilladte starter kan øges i forhold til det tilladte ved direkte start. Det er vanskeligt at få konkrete informationer om dette fra pumpeproducenterne, hvorfor det må bero på individuelle skøn og betragtninger.

Fastlæggelse af nødvendigt sumpvolumen for pumper i solo-drift sker efter Formel 5, hvor der anvendes en Q_{pumpe} -værdi svarende til pumpens hydrauliske kapacitet ved laveste driftsfrekvens.

Ved frekvensregulerede pumper i samdrift, paralleldrif, er der to forhold der bør tages højde for, nemlig anvendes Formel 5 og Formel 8, og Q_{pumpe} -værdien svarende til pumpens hydrauliske kapacitet ved laveste driftsfrekvens.

Såfremt der er store variationer i tilløbsmængderne, f.eks. som følge af direkte nedbørsbelastning, skal det sikres, at der er tilstrækkeligt sumpvolumen til, at kravene for pumpernes startantal også imødekommes i disse situationer.

4.8 Forhold mellem sumpvolumen og overfladeareal

Når det nødvendige sumpvolumen er beregnet, skal pumpeumpens overfladeareal fastlægges. Der er ingen beskrevne metoder til af fastlægge det optimale forhold mellem volumen og overfladeareal, hvorfor det udelukkende beror på skøn og erfaring.

I nærværende afsnit forsøges at give et bud på, hvorledes sumparealet kan estimeres.

4.8.1 Estimering af tilladte antal pumpestarter

Information om antallet af tilladte pumpestarter kan indhentes hos pumpeproducenten. Hvis det antages, at det tilladte startantal svarer til tallene i Tabel 2, kan det tilnærmelsesvist udtrykkes matematisk ud fra følgende formel:

$$Z_{max} = 35 \cdot \left(\left(\frac{Q_{pumpe} \cdot H \cdot g}{\eta \cdot 1000} \right)^{-0,21} \right) \quad (18)$$

Formel 18: Estimering af tilladt antal starter

hvor:

Z_{max} = Maksimalt tilladte antal starter, [z/h]

Q_{pumpe} = Akkumuleret pumpekapacitet [l/s]

g = Tyngdeacceleration [m/s^2]

H = Driftstryk ved 50 Hz [mVS]

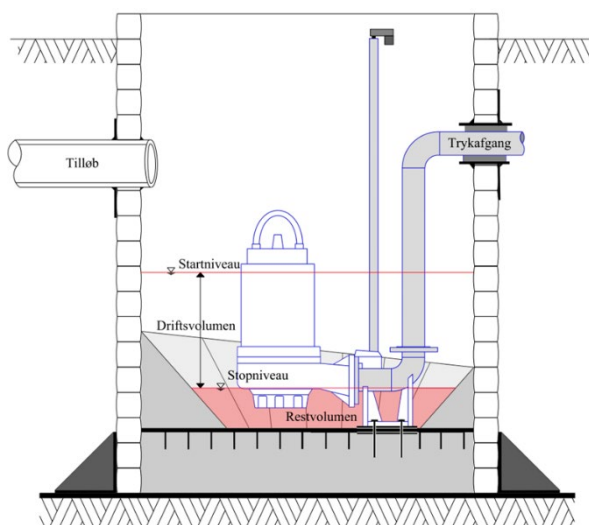
η = Pumpens virkningsgrad i driftspunkt ved 50 Hz [%]

4.8.2 Afstand mellem start- og stopkoter

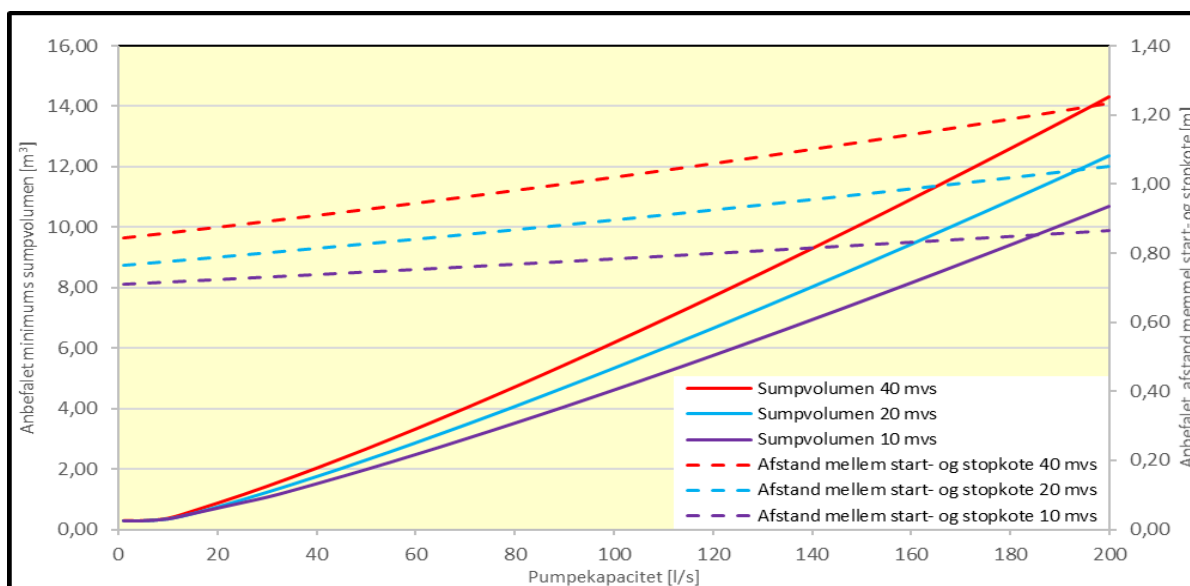
Mange af de pumpestationer der produceres, udformes med forholdsvis kort afstand mellem start- og stopkoterne. Årsagen hertil skal givetvis søges i ønsket om at minimere gravedybden. Da til-løbskoten ofte er bestemt på forhånd, og der ønskes at tilløbsledningerne har frit udløb, tilvejebringes den nødvendige sumpvolumen ofte ved at øge pumpeumpens overfladeareal. Denne investeringsoptimering er ofte økonomisk attraktiv på kort sigt, men på længere sigt kan det vise sig at være en meget omkostningstung løsning, da der er risiko for, at der skal udføres hyppigere omkostningstunge vedligeholdelsesopgaver.

For at definere hvor stor afstand der skal være mellem start- og stopkoter, skal pumpestationens driftsbetingelserne og herunder antallet af pumpecykler analyseres. En pumpecyklus består af en driftsperiode og en stilstandsperiode. I driftsperioden er pumperne i drift, mens de er stoppede i stilstandsperioden. Antallet af pumpecykler varierer, nogle pumper er blot i drift ganske få gange i døgnet, mens andre er i drift adskillige gange i timen. I pumpestationer med mange starter i timen, kan det tillades at forholdstallet mellem overfladeareal og sumpvolumen er større end i pumpestationer med få starter. Det skyldes, at pumpestationer med mange pumpestarter, som oftest er mindre udsat for potentielle problemer med sediment og flydestoffer, end tilsvarende pumpestationer med få starter.

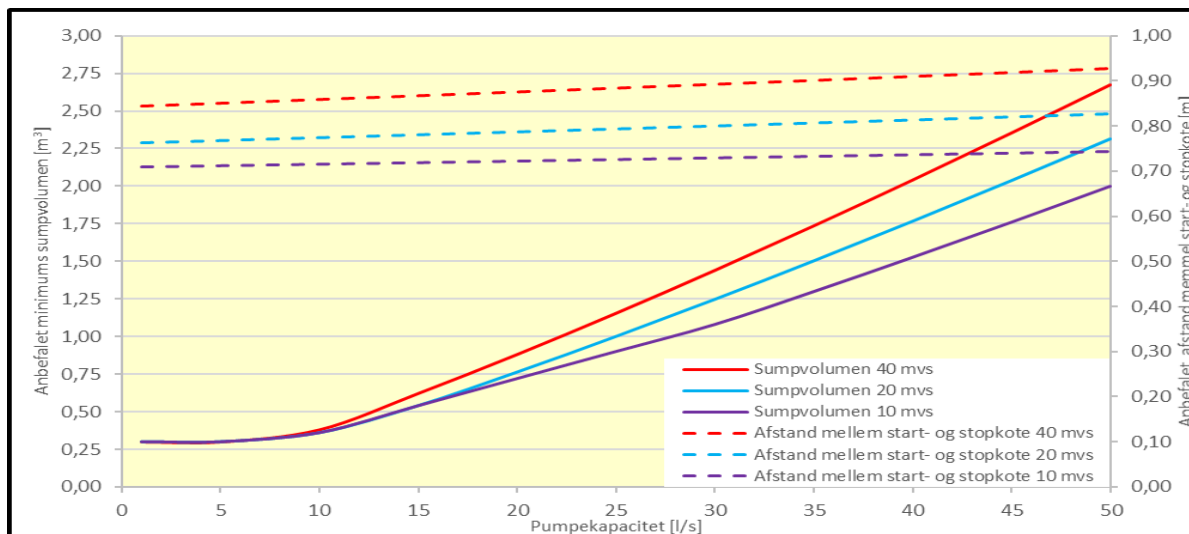
Da dimensioneringen af pumpeumpens volumen som udgangspunkt altid tager afsæt i den mest kritiske tilløbssituation, se afsnit 4.4.1 -Formel 1, vil det etablerede sumpvolumen være større end det faktuelle behov i alle de perioder hvor tilløbet er større eller mindre end 50% af pumpekapaciteten. Med henblik på at sikre størst mulig selvrensningseffekt i pumpeumpen, bør pumpeumpens overfladeareal derfor være mindst mulig, men pumpernes krav til afstand til faste vægge etc. skal naturligvis overholdes. I Figur 6 og Figur 7 er vist et eksempel på sammenhænge mellem pumpekapacitet, sumpdiameter, sumpvolumen og afstanden mellem start-**Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** og stopkoter, som kan anvendes som inspiration ved sumpdesign.



Figur 5: Disponibelt og total sumpvolumen

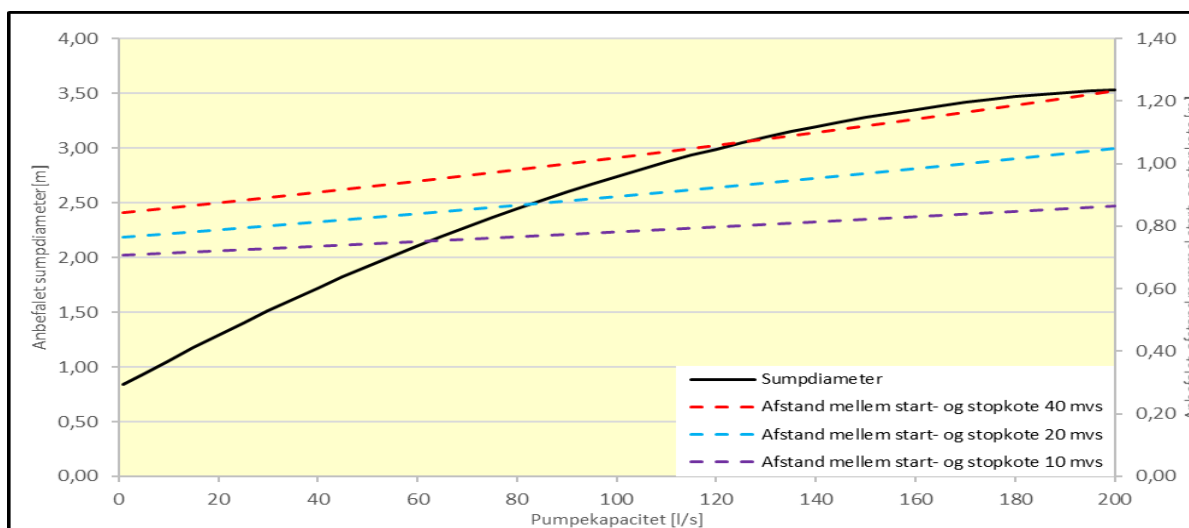


Figur 6: Anbefalet sumpvolumen og højde mellem start- og stopkoter 1-200 l/s

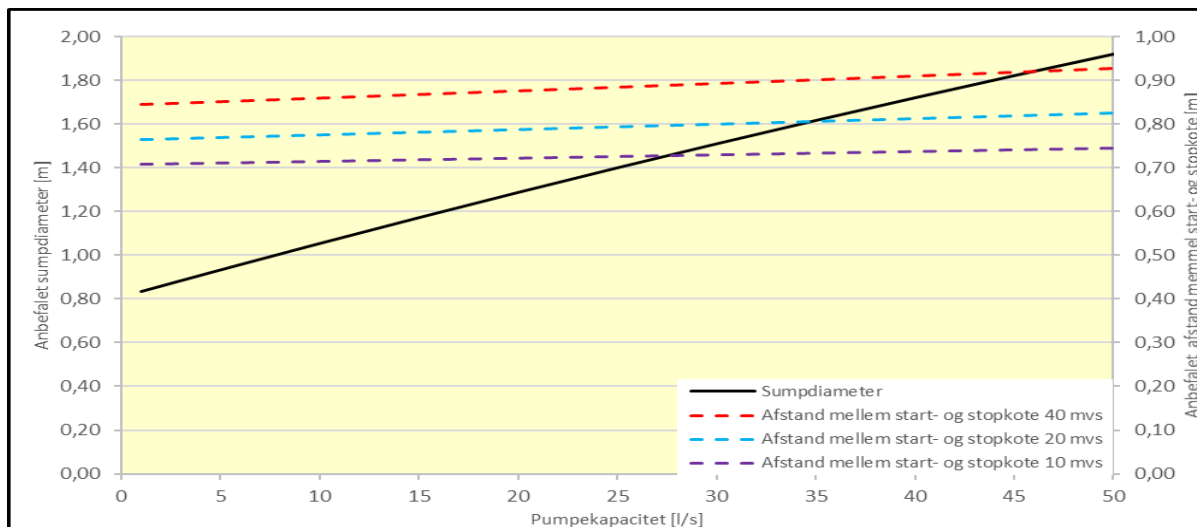


Figur 7: Anbefalet sumpvolumen og højde mellem start- og stopkoter 1-50 l/s

Konsekvensen af overflademineringen er, at sumpdiameteren bliver mindst mulig. Værdierne i Figur 6 og Figur 7 viser tydeligt, at der ved store pumpekapaцитeter er behov for store sumpvolumener, mens der ikke er behov for væsentligt større afstand mellem start- og stopkoterne. Hvis man ser på relationerne mellem sumpdiameteren og afstanden mellem start- og stopkoterne, fremkommer Figur 8 for flow op til 200 l/s og Figur 9 for flow op til 50 l/s.



Figur 8: Forhold mellem sumpvolumen og start- og stopkoter 1-200 l/s



Figur 9: Forhold mellem sumpvolumen og start- og stopkoter 1-50 l/s

Erfaringsmæssigt er der en udpræget tendens til, at planlæggere generelt estimerer tilløbsmængder højt, hvilket betyder at pumperne meget ofte overdimensioneres, hvorfor pumpebassener ligeledes bliver større end nødvendigt.

5. Hydraulisk belastning

Når en ny pumpestation skal designes, kan det være en udfordrende opgave at fastlægge den korrekte nødvendige pumpekapaцитet, først og fremmest fordi der er forskellige holdninger til, hvad der er den rigtige kapacitet. Planlæggere ønsker ofte, at pumpekapaцитeten fastlægges ud fra den største tilkommende vandmængde, hvilket betyder, at der vil være en del stilstandsperioder, hvis der er større variationer i tilløbsmængderne. Driftspersonalet ønsker derimod en pumpestation med mange driftstimer, da det, alt andet lige, resulterer i færrest drifts- og funktionsproblemer.

Uanset hvordan pumpekapaцитeten fastlægges, er ét krav ufravigeligt, nemlig kravet om at pumpestationen skal kunne håndtere den hydrauliske belastning, der forventes.

Der er ingen almengyldige regler eller anvisninger på, hvorledes dimensioneringsprocessen skal gennemføres, men der er en række belastningssituationer som ofte anvendes som grundlag for udarbejdelse af et anvendeligt dimensioneringsgrundlag. Belastningssituationerne kan opdeles i fire hovedgrupper, nemlig:

- Spildevand, som er karakteriseret ved afledning fra husholdninger og består primært af bidrag fra toiletter, badefaciliteter, køkken samt rengøring, mv. Spildevand fra institutioner vil almindeligvis kunne betragtes som husholdningsspildevand
- uvedkommende vand, er tilløb som ikke er ønsket i afløbssystem med afløb til renseanlæg. Det kan f.eks. være indsving, overlækning fra regnvandssystemer, fejltilslutninger, kildevæld og vandløb/grøfter, etc.
- nedbør, i form af regnvandstilkobling
- industribelastning, omfatter tilslutning af proces- og produktionsspildevand.

Hver gruppe kan nedbrydes i en række underpunkter, så der er et mere gennemskueligt og veldokumenteret grundlag for den videre dimensioneringsproces. Hvilke underpunkter der er relevante, varierer fra pumpestation til pumpestation, dog er nedenstående punkter i Tabel 10 ofte relevante.

			$Q_{\text{maks_time_tørvej}}$	$Q_{\text{maks_time_absolut}}$	$Q_{\text{maks_døgn}}$	$Q_{\text{middel_døgn}}$	$Q_{\text{minimum_døgn}}$	$Q_{\text{år}}$
Spildevand								
Timespidsbelastning	$Q_{\text{spv-tidemaks}}$	[m ³ /h]	×	×				
Døgnspidsbelastning	$Q_{\text{spv-døgnmaks}}$	[m ³ /d]			×			
Døgnmiddelbelastning	$Q_{\text{spv-døgnmiddel}}$	[m ³ /d]				×		
Døgnminimumsbelastning	$Q_{\text{spv-døgnminimum}}$	[m ³ /d]					×	
Spildevandsårsmængde	$Q_{\text{spv-år}}$	[m ³ /år]						×
Uvedkommende vand								
Døgnspidsbelastning	$Q_{\text{uved-døgnmaks}}$	[m ³ /d]	×	×	×			
Døgnmiddelbelastning	$Q_{\text{uved-døgnmiddel}}$	[m ³ /d]				×		
Døgnminimumsbelastning	$Q_{\text{uved-døgnminimum}}$	[m ³ /d]					×	
Uvedkommende vand årsmængde	$Q_{\text{uved-år}}$	[m ³ /år]						×
Nedbør								
Direkte nedbørsbelastning	$Q_{\text{dir-ned-tidemaks}}$	[m ³ /h]		×	×			
Indirekte nedbørsbelastning	$Q_{\text{ind-ned-døgnmaks}}$	[m ³ /d]		×	×			
Gennemsnitlig nedbørsbelastning	$Q_{\text{ned-gennemsnit}}$	[m ³ /d]				×		
Nedbør årsmængde	$Q_{\text{ned-år}}$	[m ³ /år]						×
Industribelastning								
Timespidsbelastning	$Q_{\text{indu-tidemaks}}$	[m ³ /h]	×	×				
Døgnspidsbelastning	$Q_{\text{indu-døgnmaks}}$	[m ³ /d]			×			
Døgnmiddelbelastning	$Q_{\text{indu-døgnmiddel}}$	[m ³ /d]				×		
Døgnminimumsbelastning	$Q_{\text{indu-døgnminimum}}$	[m ³ /d]					×	
Industri årsmængde	$Q_{\text{indu-år}}$	[m ³ /år]						×

Tabel 10: Eksempler på belastningsparametre som ofte anvendes

De enkelte hydrauliske bidrag kan kombineres som det fremgår af højre side af tabellen, så der opnås et dimensioneringsgrundlag, som både beskriver den maksimale time- og døgnbelastning, middel- og minimumsdøgnbelastning samt det årlige flow. Derudover kan det ofte være relevant at fastlægge den minimale timevandmængde, men dette kan være vanskeligt i nye systemer hvor der ikke er adgang til historiske data.

Hvilke akkumulerede designvandmængder der skal anvendes, afhænger af de forekommende belastninger, hvorfor det varierer fra opgave til opgave. Erfaringsmæssigt vil en kombination af flere af nedenstående akkumulerede mængder kunne anvendes som grundlag for dimensioneringen.

Som udgangspunkt for fastlæggelse af den nødvendige pumpekapacitet anvendes ofte $Q_{\text{maks_time_absolut}}$. I pumpestationer med store årstidsvariationer i tilløbsmængderne, f.eks. grundet tilløb fra:

- fælleskloakerede områder
- døgn- og sæsonvariationer, f.eks. fra fritids- og ferieområder
- årstidsbestemte variationer af uvedkommende vand

kan det også være relevant at forholde sig til årstidsvariationerne i både $Q_{\text{maks_time_tør}}$ og $Q_{\text{maks_døgn}}$.

I fælleskloakerede systemer, hvor variationerne i de afstrømmende mængder er store, anvendes $Q_{\text{maks_time_absolut}}$ og $Q_{\text{maks_døgn}}$ til at afgøre, hvorvidt der skal etableres flowudligningstiltag, f.eks.

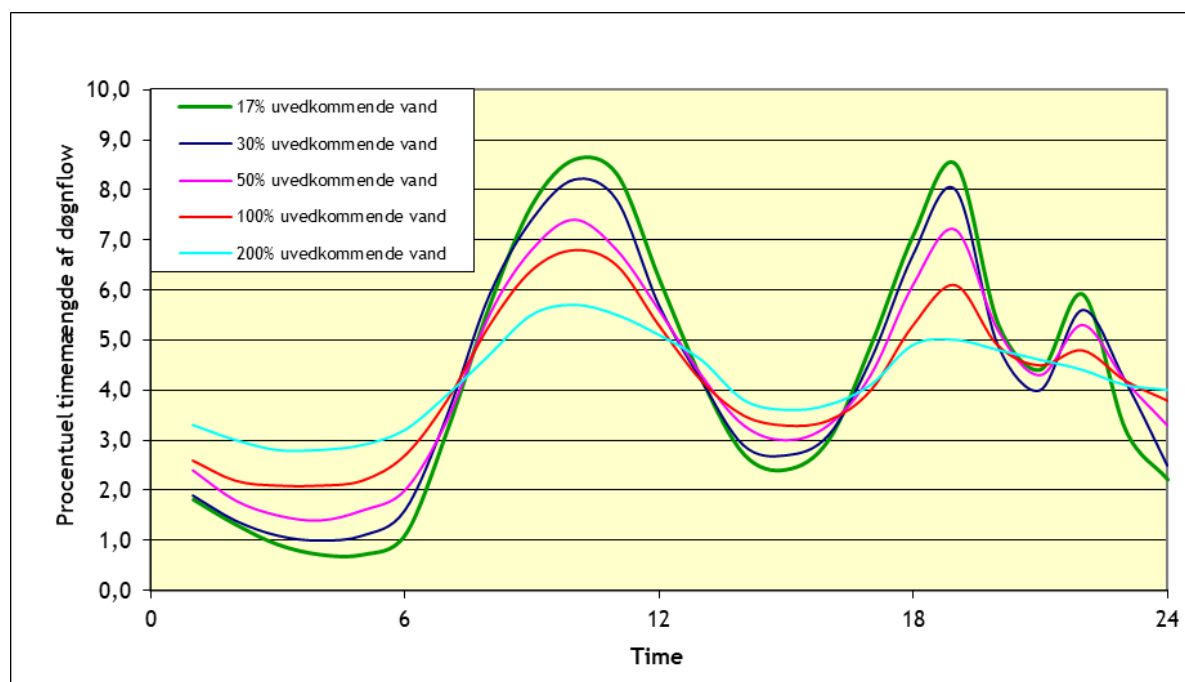
udlignings- eller rørbassiner umiddelbart før pumpestationen, for udligning af peaks. Derudover anvendes værdierne til fastlæggelse af den nødvendige pumpeydelse og dermed sumpstørrelsen.

Middeldøgnmængden anvendes primært i optimeringssammenhæng, da energi- og funktionsoptimeringen bør tage afsæt i den hydrauliske belastning, som resulterer i de største årsmængder, og ikke som det er udbredt praksis, i den maksimale pumpekapacitet.

5.1 Nye pumpestationer

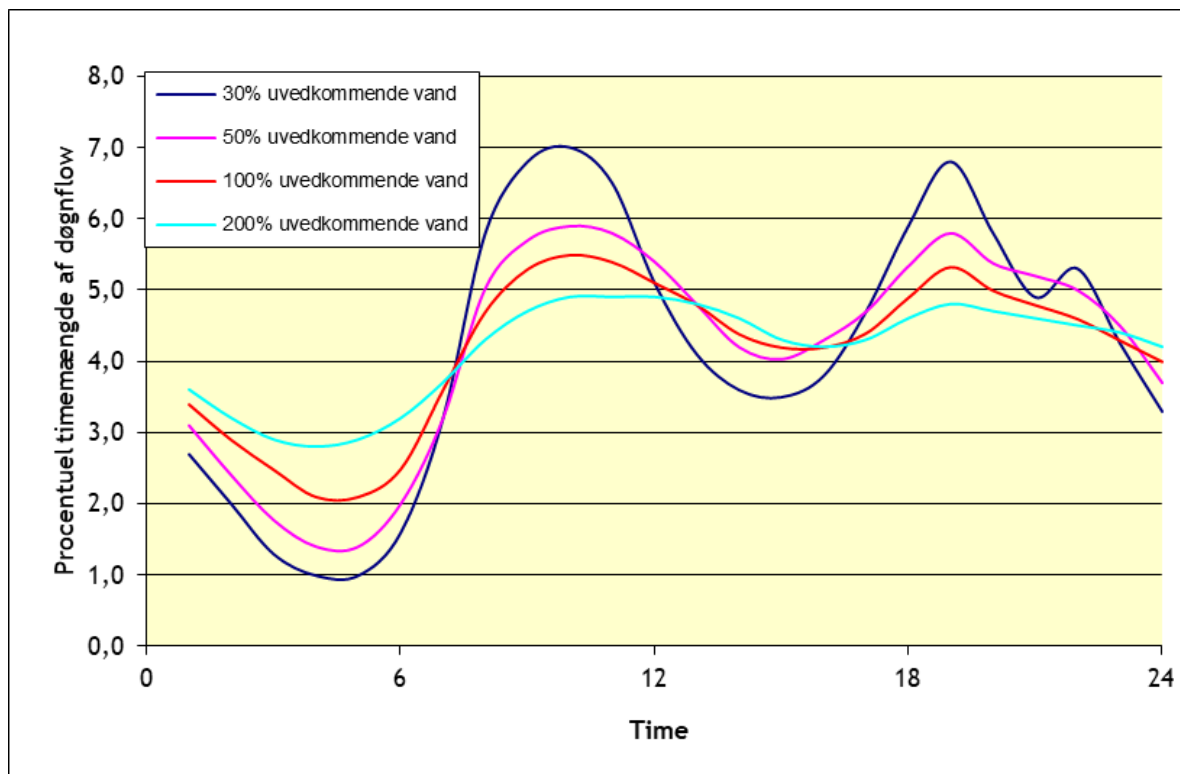
Når nye pumpestationer skal dimensioneres, er der ikke adgang til historiske belastningsdata. Ofte er det dog muligt at finde sammenlignelige oplande, hvorfra der skal skaffes historiske driftsinformationer. Dette kan åbne op for estimering af fremtidige vandstrømme baseret på et væsentligt bedre grundlag, end hvis der alene anvendes teoretiske værdier.

Estimeringen kan detaljeres yderligere ved at supplere med information om drikkevandsdistributionen (FAS-data), herunder døgn- og årstidsvariationer. Ved at analysere vandforbruget og supplere det med forventningerne til mængden af uvedkommende vand kan der genereres et middeldøgnprofil som vist i Figur 10. Det viste døgnprofil gælder for afstrømningsafstande op til 1.000 m.



Figur 10: Typisk døgnvariation for oplande med afstrømningslængde op til 1.000 m

I lighed med Figur 10, kan der genereres tilsvarende timeprofiler for andre typer oplande.



Figur 11: Typisk døgnavariation for oplande med afstrømningslængde mellem 2.500 og 5.000 m

Figur 11 viser et tilsvarende døgnprofil for oplande med afstrømningslængder mellem 2.500 og 5.000 m.

Når det er afklaret hvilket døgnprofil, der er repræsentativ for det pågældende opland, kan der udarbejdes et estimat for middeldøgnbelastningen opgjort på timeværdier. Variationerne i mængden af uvedkommende vand kan anvendes til at estimere årstidsvariationer.

En anden måde at estimere mængden og årstidsvariationerne af uvedkommende vand, er anvendelse af driftsdata fra nærtliggende pumpestationer og evt. renseanlæg gerne i kombination med registreret grundvandsniveau.

Uanset hvilken metode der anvendes, er naturlig sund skepsis uundværlig. Alle estimater bør underkastes en kritisk vurdering, da vurderinger kan have vidtrækkende økonomiske- og funktionsmæssige konsekvenser.

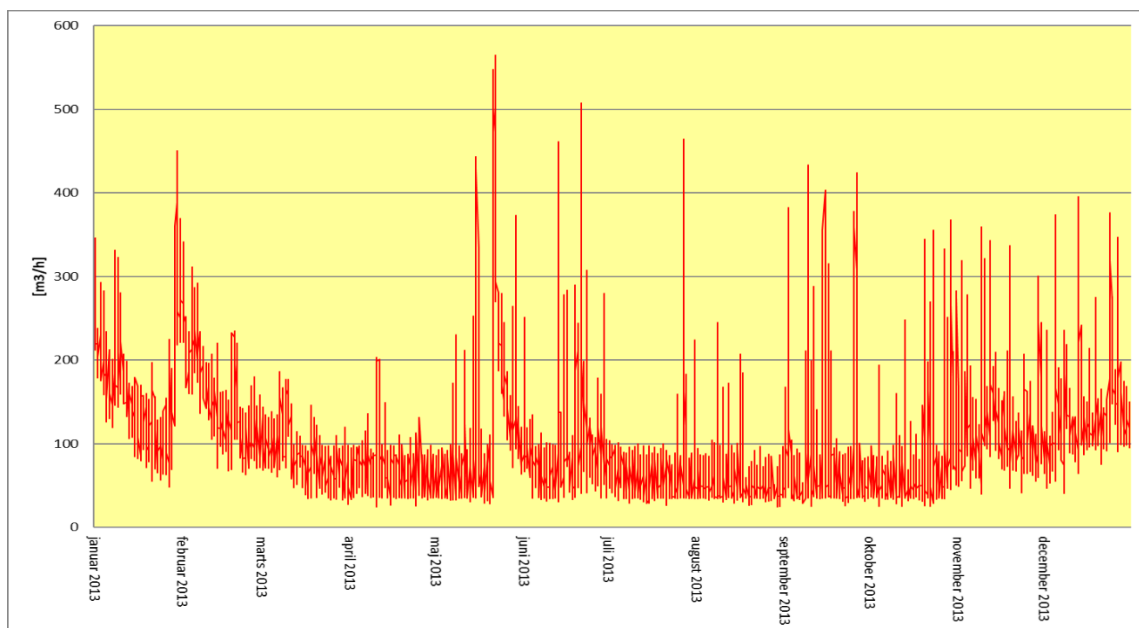
5.2 Eksisterende pumpestation

Den dimensionsgivende hydrauliske belastning på eksisterende pumpestationer kan ofte fastlægges ud fra historiske driftsdata. Da der som regel ikke er egentlige flowmålinger fra ældre pumpestationer, kan den dimensionsgivende hydrauliske belastning i stedet baseres på f.eks. driftstimer pr. døgn, suppleret med en fastlæggelse af pumpernes hydrauliske kapacitet. Resultatet vil ofte give et forholdsvis retvisende billede af det faktiske døgnflow med de variationer, der forekommer over tid. En anden og noget mere usikker driftsparameter at basere den hydrauliske belastning på, er

anvendelse af antal pumpestarter pr. døgn. Anvendelse af antal starter forudsætter, at voluminet mellem start og stopkoterne fastlægges, så de kan estimere et døgnflow.

Ved at se på historiske data for en periode på mindst 2-3 år, er det muligt at skabe et billede af pumpestationens drift, herunder de årstidsvariationer der historisk har forekommet.

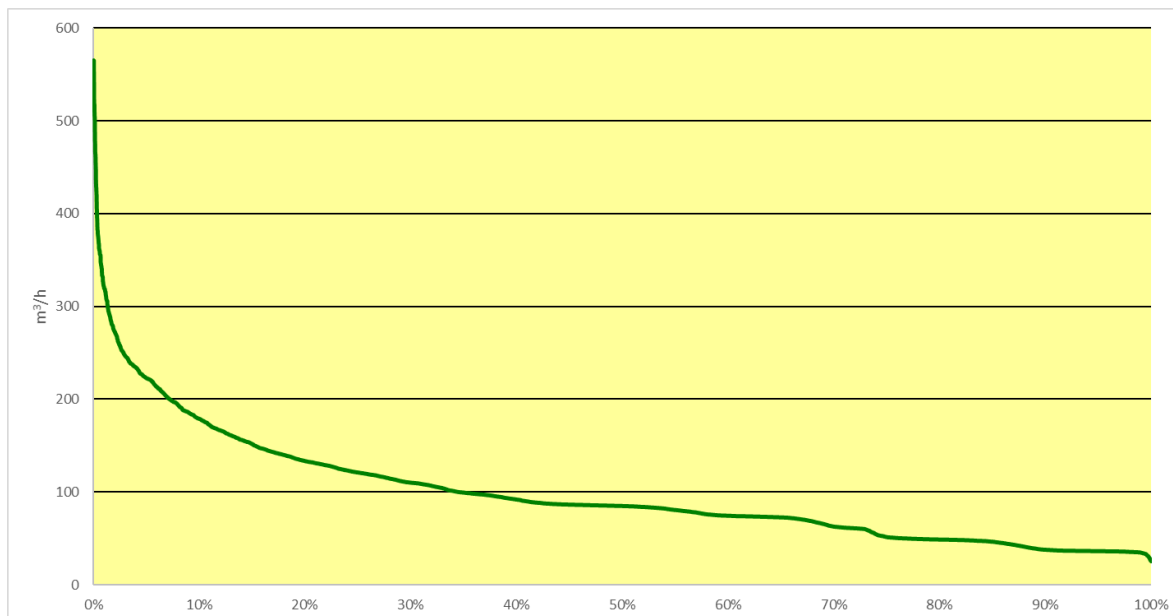
Såfremt driftsdata har en tidsopløsning på døgn, kan døgnvariationerne f.eks. fastlægges ved hjælp af kurver svarende til Figur 10 og Figur 11.



Figur 12: 12 måneders usorterede timedata for pumpestation med to pumper

Fejl! Henvisningskilde ikke fundet. er vist et eksempel med timeflow fra en pumpestation forsynet med to parallelle pumper. Som det ses af figuren, er det vanskeligt at få overblik over pumpeydelse, da de mange peaks er vanskelige at overskue.

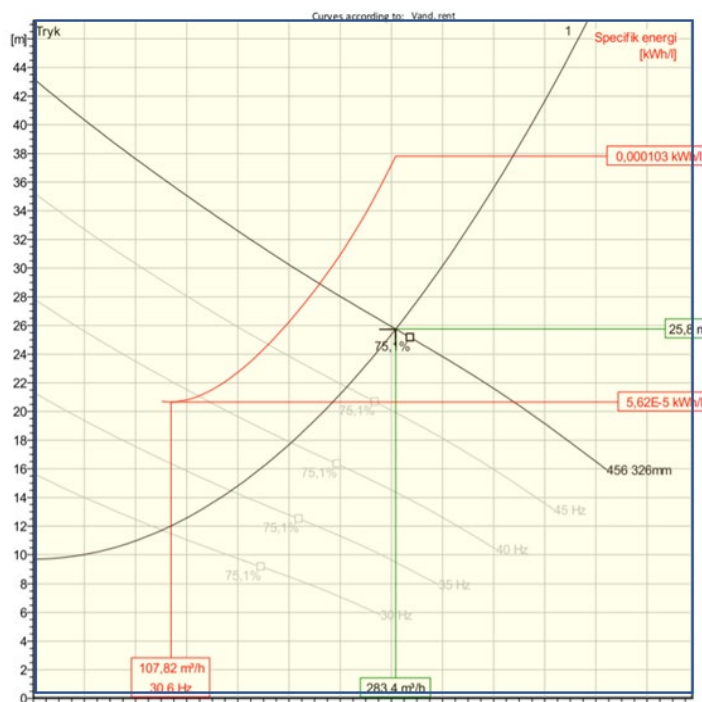
Ved at rangordne timeværdierne i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** fremkommer en fraktalkurve som vist i Figur 13.



Figur 13: Rangordnede timeværdier, hvor højeste timeværdi placeres længst til venstre

Resultatet af analyserne udmøntede sig i en løsning med to identiske pumper, og den eksisterende trykledning blev erstattet af to nye identiske trykledninger. Tværsnitsarealet i de to nye trykledninger er identisk med tværsnitsarealet i den oprindelige trykledning. Beslutningen om at udskifte den oprindelige trykledning skyldtes, at der jævnligt forekom ledningsbrud, hvilket blev tilskrevet dels ledningens alder dels de udmattelsespåvirkninger den havde været udsat for ved stop af pumperne.

I den renoverede pumpestation kan en pumpe transportere tørvejrs mængden på en trykledning, og begge pumper sættes i drift under nedbør. I takt med separering af oplandet, reduceres behovet for anvendelse af to pumper på to trykledninger i takt med, at den nedbørspåvirkede afstrømning nedbringes.



Figur 14: Eksempel på pumpe som matcher behovet jf. Figur 13

På baggrund af den hydrauliske analyse blev det konkluderet, at den bedste pumpetekniske helhedsløsning er som skitseret ovenfor, hvorfor sumpen skulle designes og dimensioneres for dette. I Tabel 11 er vist eksempler på anvendelse af sumpdimensioneringsmetoder, og som det fremgår af tabellen, matcher de to første, grønne celler, metoder rekommendationerne som tidligere er anført

i skriftet. Metoderne 5.1 og 6.1 fremkommer med et volumen der kun er 67% af de rekommanderede metoder, hvilket vil føre til kritisk mange starter, mens metode 6.2 viser behov for et dobbelt så stort volumen som de rekommanderede metoder, hvilket med stor sikkerhed vil føre til sediment og flydestoffer. Beregningerne er gennemført for solodrift, da en pumpe skal kunne håndtere den daglige afstrømning.

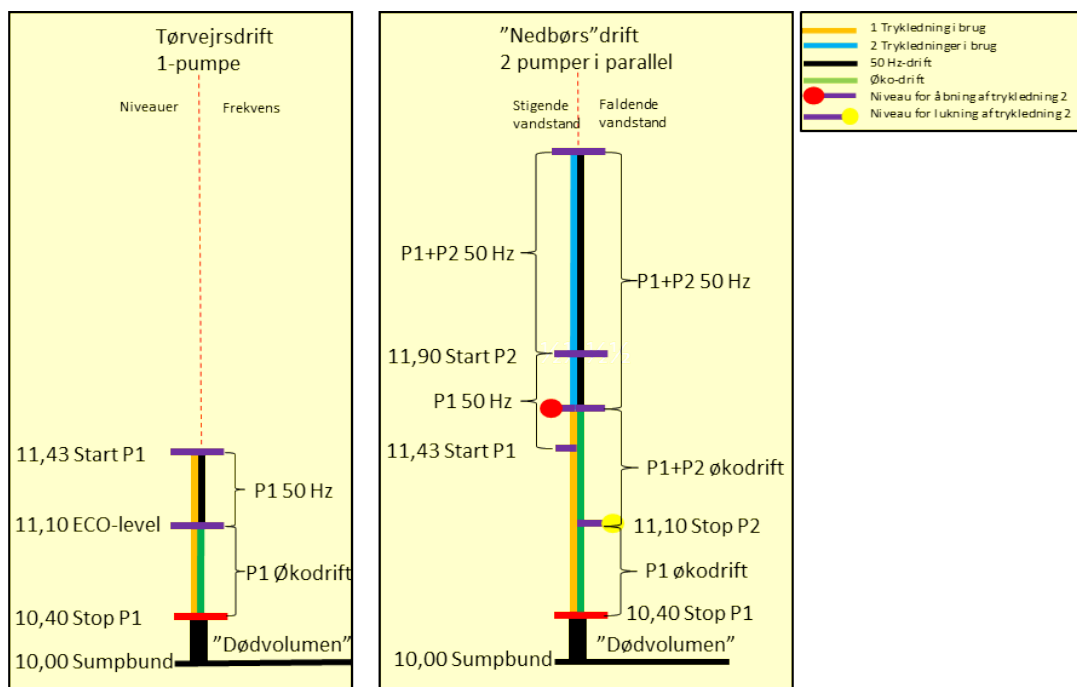
Dimensioneringsparametre		Enheder
Pumpeinstallation	Dykket	[-]
Pumpekapaцитet	78	[l/s]
Pumpekapaцитet 2 pumper i parallel drift	26,5	[l/s]
Geometrisk trykhøjde	10	[m]
Sumpdiameter	2,4	[m]
Sumpoverflade	4,52	[m ²]
Startniveau pumpe 1	11	[-]
Startniveau pumpe 2	12	[-]

Resultater fra pumpeudlægning		
Beregnet trykledningsmodstand	15,9	[m]
Systemmodstand	25,9	[m]
Effekttag (P1)	26,4	[kW]
Tilladeligt antal starter jf. tabel 2	10	[z/h]
Korteste tid mellem starter	360	[T _{min_sek}]

Metode 1, anvendes til pumper i solo drift		Sumpvolumen
$V_{min} = 0,25 \cdot Q_p \left[\frac{m^3}{s} \right] \cdot T_{min} [s] \quad (6)$	→	$0,25 \cdot 0,078 \cdot 360 = 7,02 \text{ m}^3$
Metode 3, volumenberegning for pumpe i solo drift:		
$V_{total\ min} = \frac{Q_{pumpe} [m^3/s] \cdot 900}{Z_{max} [Z/time]} \quad (10)$	→	$\frac{0,078 \cdot 900}{15} = 7,02 \text{ m}^3$
Metode 5.1, volumenberegning for pumpe i solo drift:		
$V_{estimeret\ solo\ drift} = 60 \cdot Q_{pumpe} [l/s] \quad (13)$	→	$60 \cdot 78 = 4,68 \text{ m}^3$
Metode 6.1, 60 sekunders driftstid		
$V_{estimeret\ 60\ sekunders\ drift} = 60 \cdot Q_{pumpe} [l/s] \quad (16)$	→	$60 \cdot 78 = 4,68 \text{ m}^3$
Metode 6.1, 180 sekunders driftstid		
$V_{estimeret\ 180\ sekunders\ drift} = 180 \cdot Q_{pumpe} [l/s] \quad (17)$	→	$180 \cdot 78 = 14,04 \text{ m}^3$

Tabel 11: Eksempler på sumpvolumener ved forskellige metoder

Med afsæt i Tabel 11, er der efterfølgende udarbejdet en styringsbeskrivelse, som viser hvorledes pumpernes skal styres som funktion af niveauet i pumpeumpen. I Figur 15 er styringen illustreret.

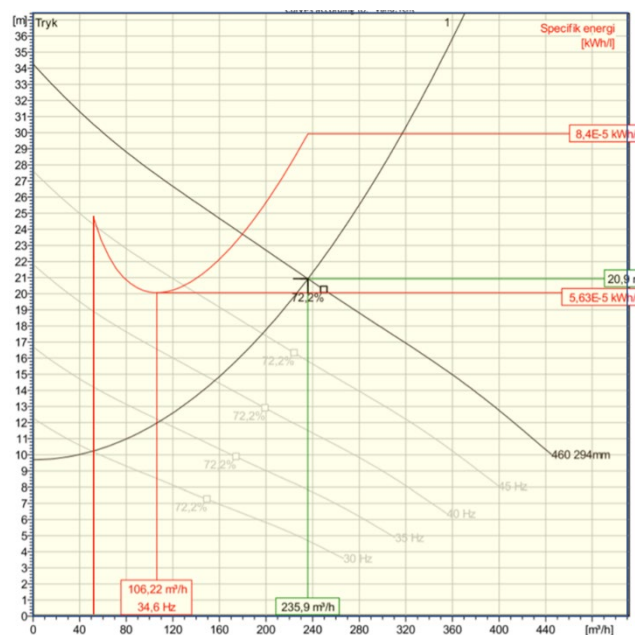


Figur 15: Udkast til styringsstrategi for pumper og trykledninger

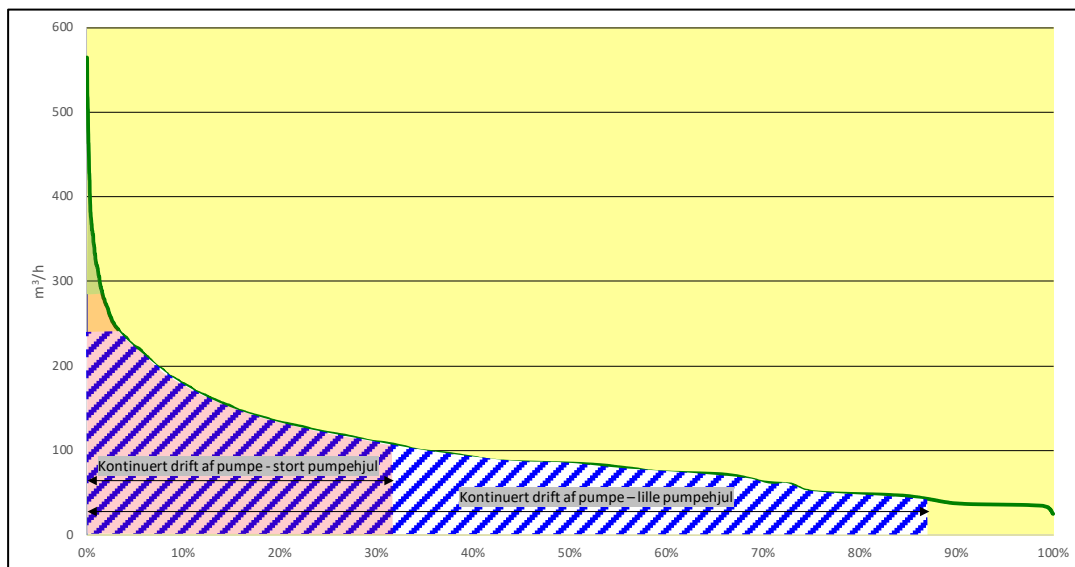
Ved at reducere størrelsen af pumpehjulet fra en diameter på 326 mm jf. Figur 14, til 294 mm jf. , er muligt at frekvensregulere pumperne ned til 52 m³/h, hvilket kan være relevant i takt med at oplandet separeres. Som det fremgår af

, er det ikke energiøkonomisk attraktivt, men ud fra en driftsmæssig betragtning kan det være hensigtsmæssigt da antallet af stødbelastninger som følge af pumpestarter reduceres betragteligt.

Da pumperne er frekvensregulerede, og der fremadrettet er mulighed for at erstatte de nye pumpehjul med en type med mindre diameter, blev pumpeumpen dimensioneret for en hydraulisk belastning svarende til maksimal kapacitet for mindste pumpehjul. I Figur 17 er vist i hvilke driftsområder pumperne kan reguleres i med "stort" og "lille" pumpehjul.



Figur 16: Eksempel på samme pumpe som i Figur 14 med et mindre pumpehjul



Figur 17: Driftsområder med frekvensregulerede pumper med "stort" og "lille" pumpehjul

I Tabel 12 er resultaterne af sumpberegningerne vist for den endelige løsning.

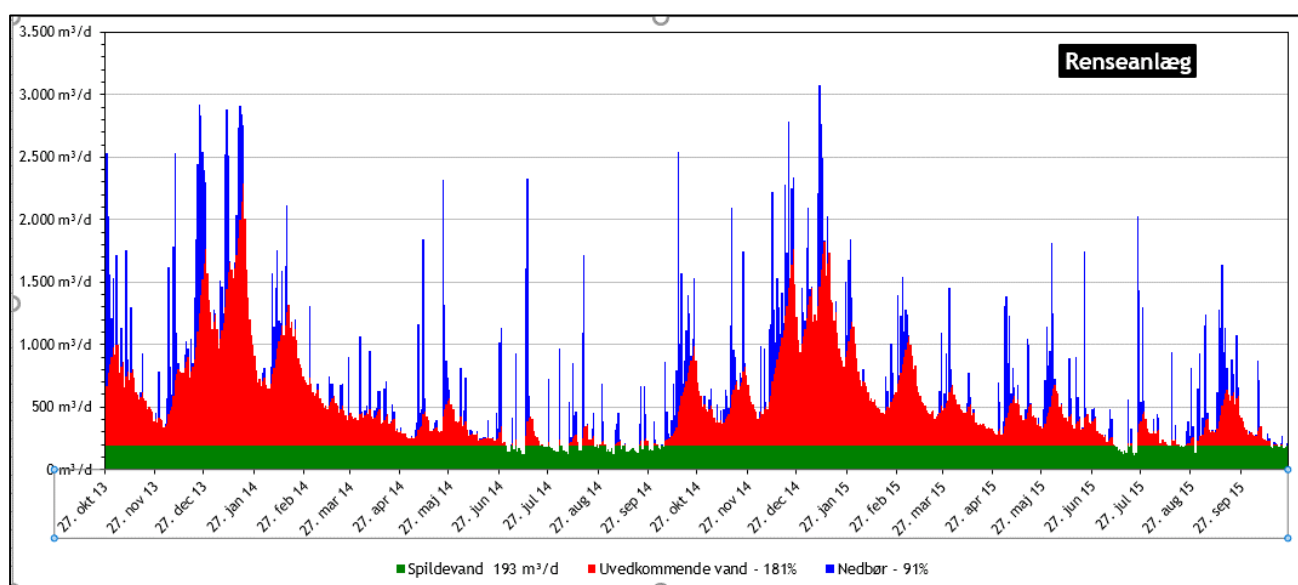
Dimensioneringsparametre		Enheder
Pumpeinstallation	Dykket	[-]
Pumpekapacitet	66	[l/s]
Pumpekapacitet 2 pumper i parallel drift	26,5	[l/s]
Geometrisk trykhøjde	10	[m]
Sumpdiameter	2,2	[m]
Sumpoverflade	3,80	[m ²]
Startniveau pumpe 1	11	[-]
Startniveau pumpe 2	12	[-]
Resultater fra pumpeudlægning		
Beregnet trykledningsmodstand	13,5	[m]
Systemmodstand	23,5	[m]
Effektoptag (P1)	22,6	[kW]
Tilladeligt antal starter jf. tabel 2	10	[z/h]
Korteste tid mellem starter	360	[T _{min_sek}]

Metode 1, anvendes til pumper i solo drift		Sumpvolumen
$V_{min} = 0,25 \cdot Q_p \left[\frac{m^3}{s} \right] \cdot T_{min} [s] \quad (6)$	→	$0,25 \cdot 0,066 \cdot 360 = 5,94 \text{ m}^3$
Metode 3, volumenberegning for pumpe i solo drift:		
$V_{total \ min} = \frac{Q_{pumpe} [m^3/s] \cdot 900}{Z_{max} [Z/time]} \quad (10)$	→	$\frac{0,066 \cdot 900}{15} = 5,94 \text{ m}^3$
Metode 5.1, volumenberegning for pumpe i solo drift:		
$V_{estimeret \ solo \ drift} = 60 \cdot Q_{pumpe} [l/s] \quad (13)$	→	$60 \cdot 66 = 3,96 \text{ m}^3$
Metode 6.1, 60 sekunders driftstid		
$V_{estimeret \ 60 \ sekunders \ drift} = 60 \cdot Q_{pumpe} [l/s] \quad (16)$	→	$60 \cdot 66 = 3,96 \text{ m}^3$
Metode 6.1, 180 sekunders driftstid		
$V_{estimeret \ 180 \ sekunders \ drift} = 180 \cdot Q_{pumpe} [l/s] \quad (17)$	→	$180 \cdot 66 = 11,88 \text{ m}^3$

Tabel 12: Det endelige designprojekt, hvor sumpdiameteren er fastlagt til 2,2 m og 1,7 m mellem start- og stopkoter

5.3 Pumpeydelse som konsekvens af oplandssanering

I takt med at spildevandsrensningen centraliseres, gennemføres der mange steder en sanering af afløbssystemet i de områder hvorfra der skal overpumpes til et centralt renseanlæg. I mange tilfælde opstilles der ikke konkrete succeskriterier for saneringerne, dvs. at forsyningerne ikke på forhånd har fastlagt hvilke forventninger der er til effekten af saneringerne.



Figur 18: Eksempel på fraktionering af flowmålinger

En analyse af den hydrauliske afstrømning før sanering viser jf. Figur 18, at mængden af uvedkommende vand udgør i størrelsesordenen 181% af spildevandsmængden, mens mængden af nedbør og nedbørsrelateret indsivning udgør omkring 91% af spildevandsmængden. Fordelingen mellem uvedkommende vand og nedbørsrelaterede afstrømning er naturligvis behæftet med nogen usikkerhed, men summen af de to andele er forholdsvis troværdig, da spildevandsmængden er baseret på solgt vand. Der vil naturligvis være en årstidsvariation i mængden af forbrugt vand, men det har ikke indflydelse på andelen af ikke-spildevand, som samlet udgør 272% af den solgte spildevandsmængde. Det betyder, at der for hver solgt m^3 vand kommer $3,7 \text{ m}^3$ ind på det nuværende renseanlæg.

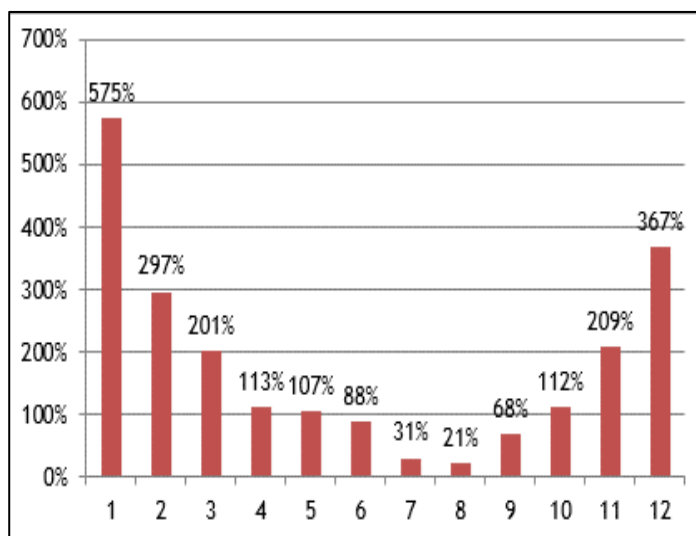
Da der er en naturlig årstidsvariation i mængden af uvedkommende vand, er det interessant at se nærmere på, hvorledes dette fordeler sig over året. Analysen er vist i Figur 19, og det ses tydeligt, at der i vintermånederne er betragteligt mere uvedkommende vand, end der er i sommermånederne, hvilket betyder, at indsivningsmængden er meget påvirkelig af det omkringliggende grundvandsniveau.

Når der skal udarbejdes saneringsplaner for området, er det således meget relevant, at der fokuseres mest på de områder som erfaringsvist er vådest om vinteren, hvilket i den givne situation er for bunden af en stejl bakke samt ledningsanlæg, som er placeret parallelt med et mindre vandløb.

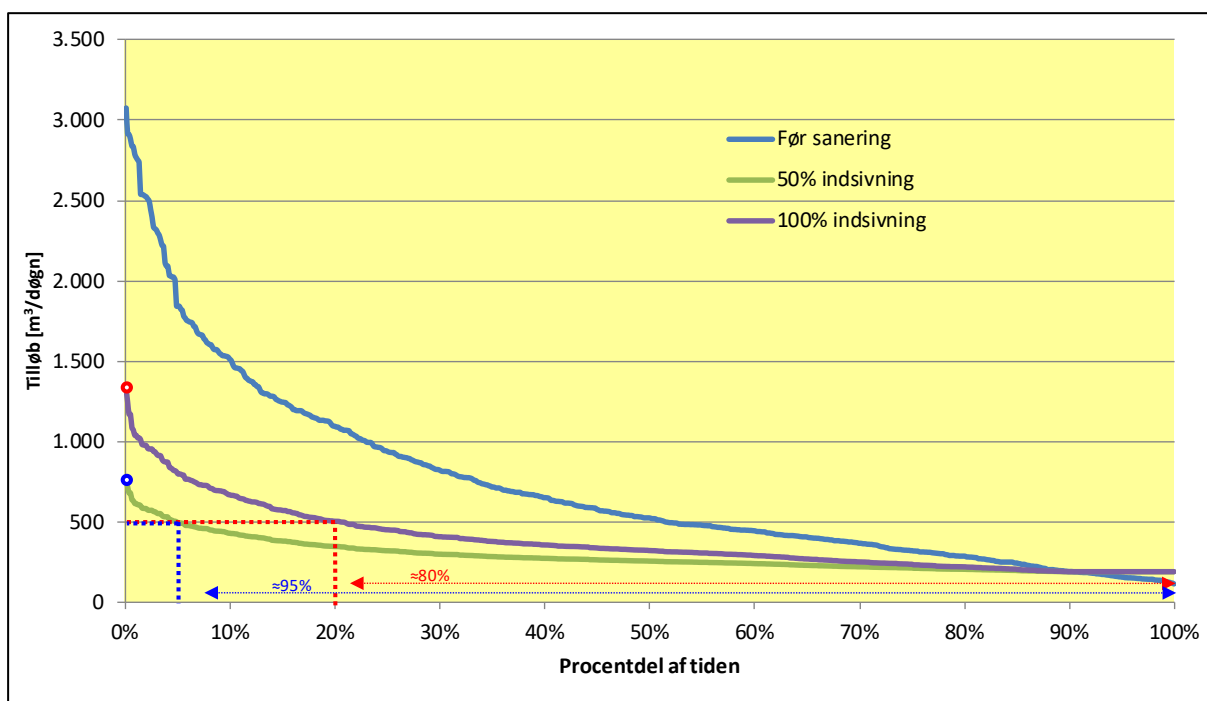
I den konkrete opgave ønskede forsyningen en analyse af, hvad konsekvensen af forskellige ambitionsniveauer havde af betydning for det efterfølgende afledningsbehov.

I

Figur 20 er vist et eksempel på målt afstrømning fra oplandet før sanering, samt de forventelige afstrømningsmængder ved indsivningsandel på hhv. 100% og 50% af spildevandsmængden.



Figur 19: Månedsfordeling af uvedkommende vand



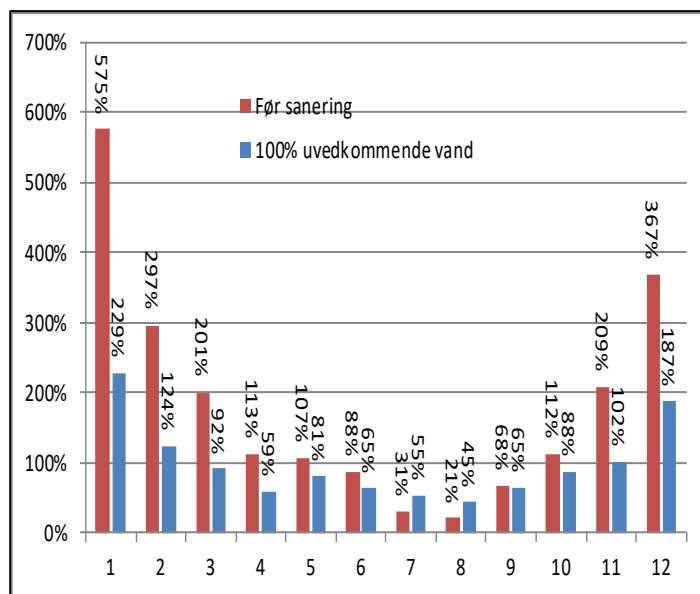
Figur 20: Konsekvenserne ved indsivningsmængder på 50% og 100%

Som det fremgår af figuren, er der før saneringen en maksimal døgnmængde på godt 3.000 m³/døgn, men i 90% af tiden vil den maksimalt udgøre 1.500 m³/døgn, og i 50% af tiden vil den være 500 m³/døgn eller derunder.

Hvis indsivningsmængden begrænses til 100% af spildevandsmængden, vil den anslåede maksimale døgnmængde være ca. 1.300 m³/døgn, og i mere end 80% af tiden vil den være 500 m³/døgn eller

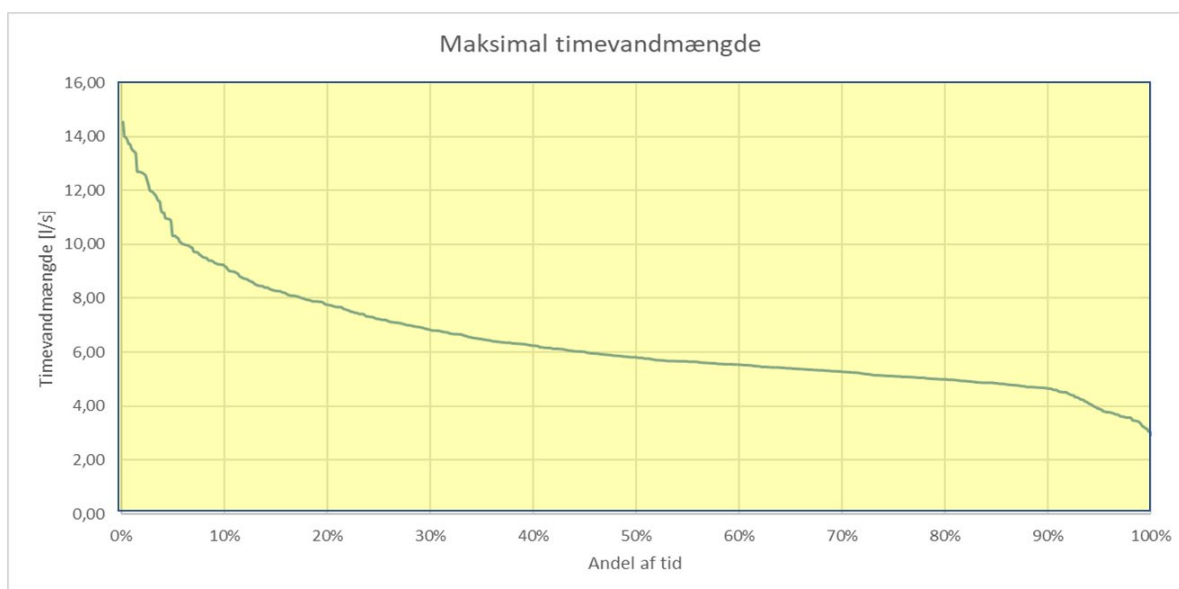
lavere. Tilsvarende vil den maksimale døgnmængde ved en indsvivningsandel på 50% højest være 750 m³/døgn, og i 95% af tiden vil den være lavere end 500 m³/døgn.

Det er antageligt ikke realiserbart at sanere afløbssystemet, så effekten af det omkringliggende grundvandsspejl elimineres, derfor blev det besluttet at fastholde månedsfordelingen for uvedkommende vand i den efterfølgende belastningsopgørelse. Når månedsfordelingen fastholdes, fremkommer Figur 21. Som det fremgår af figuren, vil der ved en gennemsnitlig indsvivningsmængde på 100% være en indsvivningsandel på 229% af spildevandsmængden i januar måned, faldende til 31% i juli måned.



Figur 21: Månedsfordeling for uvedkommende vand før og efter sanering

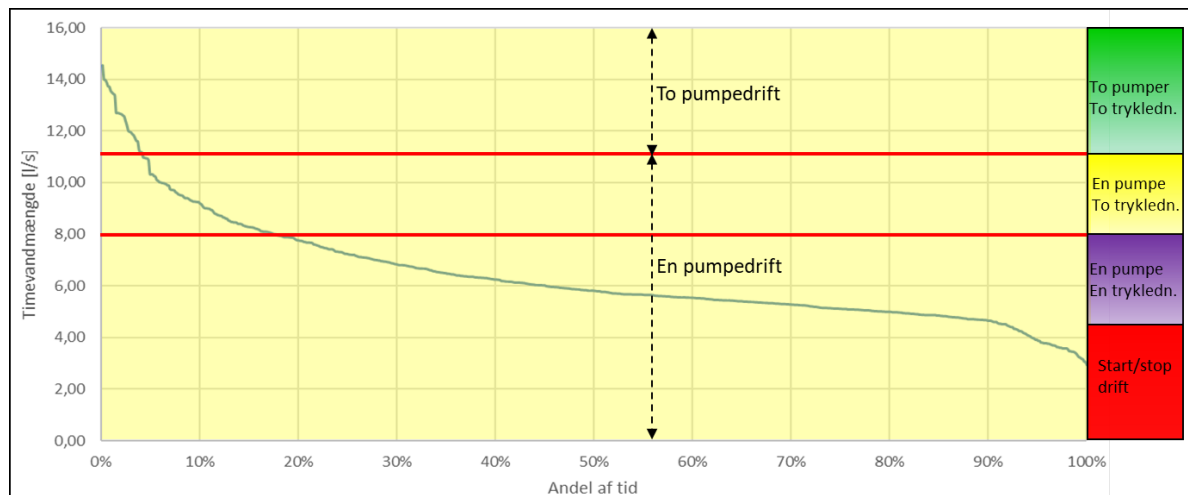
For at beregne den maksimale timevandmængde, fordeles spildevandsmængden jf. døgnvariationen. I det konkrete tilfælde betød det, at den maksimale spildevandsmængde, som afledes på én time udgjorde 8% af døgnmængden, mens mængden af uvedkommende vand blev fordelt over 24 timer. Resultatet af analysen fremgår af Figur 22, hvoraf det ses, at den maksimale tilstrømningsmængde udgør i størrelsesordenen 15 l/s, og at den i 90% af tiden vil være 9 l/s eller derunder.



Figur 22: Maksimal timeafstrømning

Opgaven blev løst ved, at der blev etableret to parallelle trykledninger, hver med en kapacitet på 8 l/s, så den maksimale hydrauliske kapacitet blev 16 l/s, med mulighed for at øge pumpehjulsdiameteren, så der kan opnås en akkumuleret kapacitet på 20 l/s. Det lilla område i Figur 23 viser reguleringsområdet for én pumpe i drift på én trykledning, og det grønne område viser reguleringsområdet

for to pumper i samdrift på to trykledninger. Derudover er der mulighed for at køre en pumpe på to trykledninger, hvor reguleringsområdet er indikeret med gult.



Figur 23: Eksempel på valg af pumpekapa­citet ud fra trykledning

Som det fremgår af eksemplet, kan adgang til historiske data være til stor hjælp, når der skal etableres en ny pumpestation. Eksemplet her viser, at dataanalyse er meget anvendelig, når pumpekapa­citeten skal fastlægges, og dermed når sumpvoluminet skal specificeres.

Her anvendtes Formel 9, $\frac{Q_p}{n \cdot 4 \cdot Z_{max}}$ eller Formel 10 $\frac{Q_{pumpe} \cdot 900}{n \cdot z}$ og den anvendte pumpekapa­citet var den absolut maksimale, nemlig 20 l/s, og pumpernes Z_{max} var 20 så beregningen blev:

$$\frac{20 \cdot 3,6}{2 \cdot 4 \cdot 20} = 0,45 \text{ m}^3 \text{ eller } \frac{0,020 \cdot 900}{2 \cdot 20} 0,45 \text{ m}^3$$

Som supplement til selve pumpe­sumpen blev der etableret et rørbassin på 5 m³, som anvendes til udligning af korterevarende peaks, så behovet for brug af to trykledninger reduceres.

5.4 Ændringer over tid

I forbindelse med sanering af ældre afløbssystemer, tættes hovedafløbssystemet som oftest. Det betyder, at der kan optræde lokal stigning i grundvandsniveauet med det resultat, at grundvandet finder vej ind i afløbssystemet via de dele af afløbssystemet, som ikke er saneret; eksempelvis de private stikledninger. Derfor bør man i forbindelse med områdesaneringer opstille succes­kriterier og målstyring for det samlede saneringsprojekt, så der er vished for, at sanerings­projektet ikke afsluttes før, den tiltænkte forbedring i afløbsforholdene og reduktionen i afstrømnings­mængderne er opnået.

Såfremt de opstillede mål ikke opfyldes, er der risiko for, at pumpestationen ikke har den fornødne kapa­citet, efter saneringen er afsluttet.

6. Generelle forhold i forbindelse med strømninger i pumpe-sumpe

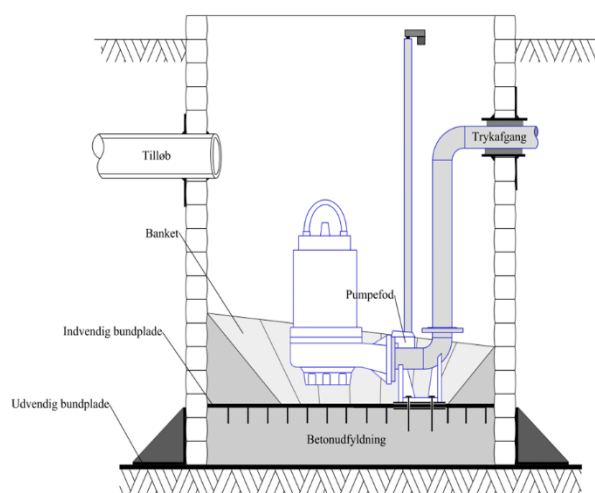
Det bør tilstræbes at have så få tilløb til pumpe-sumpe som mulig, da det er vanskeligt at forudsige strømningmønstret hvis der er flere tilløb, og tilstrømningen fra dem er varierende. Dette kan eksempelvis gøres ved, at der etableres en samlebrønd umiddelbart før pumpe-sumpen.

Nedenstående beskrivelser skal ses i sammenhæng med de generelle designrekommendationer.

6.1 Sumpe med tilløb under 5 l/s

I små stationer med en tilløbsmængde på mindre end 5 l/s, er pumpekapaciteten tilsvarende lav, ofte mindre end 10 l/s. Her er strømningshastighederne i sumpen lave, og der er almindeligvis ikke behov for særlige forhold omkring indløbet. Man skal dog være opmærksom på, at hvis tilløbsvandet kommer ind højt oppe i forhold til pumpens stopniveau, vil tilløbsvandet plaske ned i sumpen, hvorved der er risiko for, at der kan indlejres luft i mediet, se Figur 24.

Banketterne kan med fordel etableres med fald ind mod kanten af pumpen, som det fremgår af Figur 24, så både overfladearealet og sumpbundens overflade ved pumpes-top er mindst mulig. Det øger sandsynligheden for, at flydestoffer og sediment i videst mulig udstrækning løbende pumpes bort. Pumpens krav til minimumsafstand til faste vægge, banketter etc. skal dog altid overholdes.



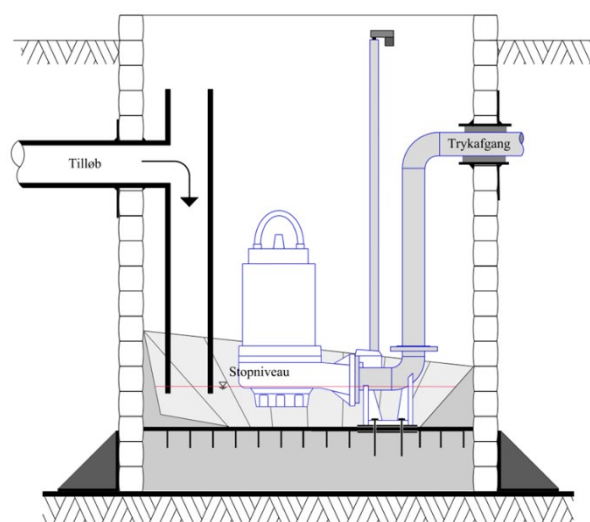
Figur 24: Sump med banketter

6.2 Sumpe med tilløb fra 5 til 50 l/s

I pumpestationer med tilløbsmængder mellem 5 og 50 l/s kan hvirvler og turbulent strømning almindeligvis undgås ved hjælp af nedføringsrør/prelplader, som føres ned under laveste sumpvandspejl, som det fremgår af Figur 25.

Prelplader kan med fordel udformes så siderne er åbne, og bunden tilnærmelsesvis er lukket. Af hensyn til støj, bør nedføringsrør og prelplader udføres af PE-plader, men kan også fremstilles af rustfrit stål i klasse 316. Et alternativ til prelplader er et nedføringsrør, en Tee-sektion, med en åben ende øverst for at gøre det lettere at rense, såfremt der er fastsiddende genstande i røret.

Billede 7 viser en pumpe-sumpe hvor der er tre tilløb, som kommer ind over vandspejlet, hvilket resulterer i, at det tilkommende vand trækker en masse luft ned i sumpmediet. Da der meget ofte er begrænset plads i mindre pumpe-sumpe, er det anbefalet at reducere antallet af tilløb til pumpe-sumpen, så der kan skabes gode tilløbsforhold.



Figur 25: Eksempel på nedføringsrør

Som det fremgår af Billede 7 kan en utilstrækkelig løsning resultere i negativ nytteeffekt. Udover at reducere mængden af luft frem til indløbet i pumpen, kan prelplader og nedføringsrør ligeledes medvirke til at skabe gode strømningsforhold i sumpen, og dermed forbedre driftssikkerheden.



Billede 6: Sump med 3 tilløb over vandspejlet uden prelplader



Billede 7: Uvirkosom prelplade, hvor der er luft i sumpmediet

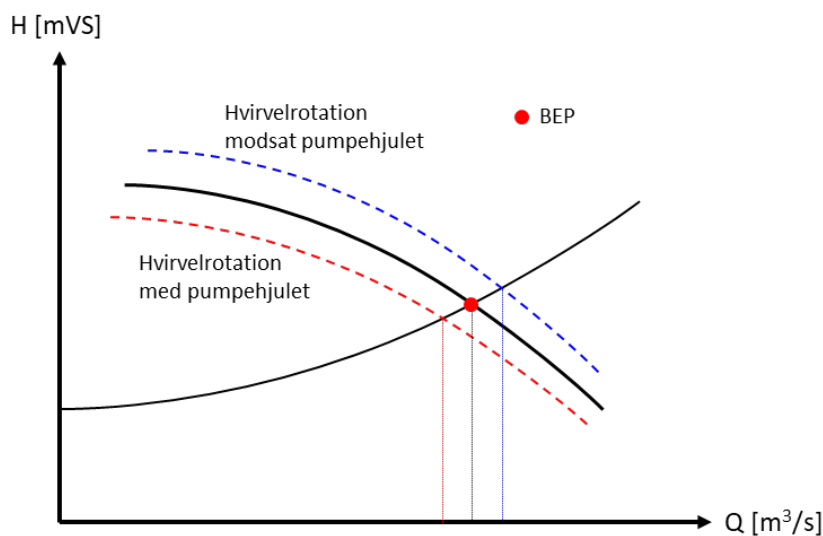
I tilfælde hvor tilløbet kommer ind højt over pumpestop, er det vigtigt, at nedføringsrør og prelplader føres under laveste vandstand i pumpeumpen. Hvis nedføringerne ikke udmunder under laveste vandspejl, er der risiko for at tiltagene kan være virkningsløse. I Figur 25 er vist et nedføringsrør som udmunder over pumpens stopniveau, og samtidig tæt på pumpehuset, hvilket kan reducere nytteeffekten.

Åbningen i nedføringsrør og mellem prelplader og sumpvægge skal være større end tilløbsrørets dimension, så faste og sammenfiltrede klumper kan passere ned i pumpeumpen, da der ellers er risiko for at tilløbet kan blokeres.

6.3 Sumpe med tilløb større end 50 l/s

I større pumpestationer bør strømningsforholdene være så homogene som muligt, da asymmetriske strømninger og uensartede strømningshastigheder i mediet frem til pumperne ofte er den direkte årsag til forrotation. Hydraulic Institute anfører i forhold til store pumpestationer, at "Ideelt set skal væskestrømmen ind i enhver pumpe være ensartet, stabil og fri for hvirvler og luft.

Baggrunden for dette er, at forrotation ændrer strømningsforholdene ved indløbet i pumperne, hvilket påvirker den relative pumpehjulshastighed. En ændring i den relative pumpehjulshastighed resulterer ofte i en ændring af pumpes ydelse, da pumpens driftspunkt bevæger sig væk fra det forudsatte driftspunkt. Hvis der opstår hvirvelrotation med en strømningsretning modsat pumpehjulets rotationsretning, vil driftspunktet bevæge sig mod højre på pumpekurven, hvorved pumpeydelsen og den optagne effekt øges. Dermed er der risiko for, at pumpemotoren overbelastes, hvilket kan føre til overophedning.



Figur 26: Kapacitetskonsekvens af hvirvelrotationens omdrejningsretning

Hvis hvirvlernes rotationsretning er sammenfaldende med pumpehjulets rotationsretning, vil pumpeydelsen reduceres, da driftspunktet vil bevæge sig mod venstre. Disse påvirkninger vil have indflydelse på pumpens BEP, som det fremgår af Figur 26, Best Efficiency Point.

Udover de kapacitetsmæssige konsekvenser er der betydelig risiko for, at uensartede strømninger og forrotation kan resultere i kritiske radiale belastninger på pumpehjulet, hvilket kan få pumpehjulet til at svinge som et pendul. Konsekvenserne af svingningerne er ofte, at der opstår driftsstøj, vibrationer, lejeproblemer og udmattelsesbrud i pumpeaksler. I tilfælde af kraftig forrotation, er der betydelig risiko for omfattende skader efter selv kort driftstid.

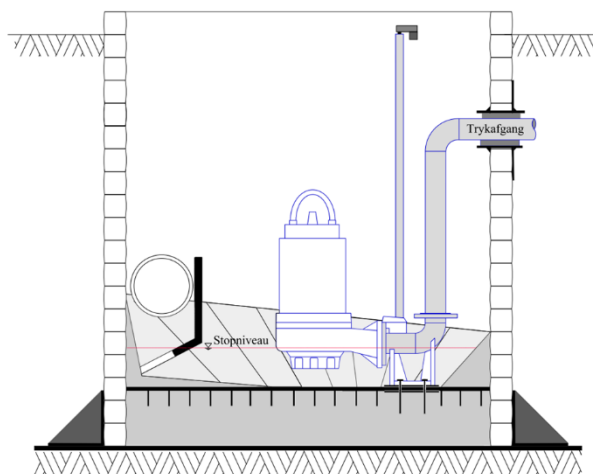
For at sikre den forventede pumpeydelse og lange serviceintervaller er det vigtigt at designe pumpe- og sumpen hensigtsmæssigt for at forhindre ugunstige strømningsforhold. Hydraulic Institute anbefaler ANSI / HI 9.8-2018, at forrotationen ikke overstiger en vinkel på 5° , beregnet ud fra forholdet mellem den tangentielle hastighed og den aksiale hastighed. Grundlæggende er vinklen en konvention til at beskrive forholdet mellem den aksiale hastighed og den tangentielle hastighed af indgangsstrømmen, som karakteriserer intensiteten af den roterende bevægelse i mediet.

Hvornår en pumpestation kan defineres som større er individuelt, men det anbefales at der ved tilløb som overstiger 50 l/s tages væsentlige tiltag til optimering af strømningsforholdene, da bevægelsesinertien i det tilkomne vand kan være så stor, at der er risiko for at det kan skabe kritiske strømningsforhold frem til indløbet i pumperne.

For at skabe tilstrækkeligt homogene strømningsforhold etableres der ofte indretninger med det formål at reducere risikoen for forrotation. De mest udbredte tiltag er baffelvægge og skærmbjælker, som placeres foran tilløbet til pumpe- og sumpen, så inertien i tilløbsvandet ikke forplanter sig som uensartede strømninger i mediet i pumpe- og sumpen. Baffelvægge og skærmbjælker fungerer ved, at energien i tilløbsvandet reduceres når det bremses op, hvorved det fordeles langt mere jævnt i sumpen. En positiv sideeffekt af opbremsningen er, at indlejret luft har mulighed for at evakuere inden det når frem til pumpeindløbet. Det anbefales, at udløbet fra baffelvægge altid er dykkede, dvs. udløbshøjden altid er under laveste vandstand i sumpen, og at skærmbjælker udformes så direkte strømning ind i pumpe- og sumpen, ikke er mulig.

I Figur 25 er vist et eksempel på baffelvægge og skærmbjælker. Baffelvægge kan konstrueres ved, at der etableres en tværgående væg i sumpen, med en åbning nederst rettet mod pumperne, jf. Figur 25, som resulterer i, at væskestrømmen sker langs sumpbunden, hvilket medvirker til at renholde bundpladen.

Alternativt kan åbningen i baffelvæggen/skærmbjælken være nedadrettet, som det fremgår af Figur 27: Skærmbjælke med horisontal åbning langs sumpbund



Nedadrettede åbninger har almindeligvis større opbremsningseffekt end en fremadrettet, da vandets strømningsretning skal ændres 90°. Baffelvægge/ skærmbjælker med nedadrettede åbninger har derfor størst udbredelse når der er tale om store vandmængder, eller hvor tilløbshastigheden er høj.

Højden på baffelvæggen/skærmbjælken skal være tilstrækkelig til at sikre, at det tilkommende vand ikke strømmer over væggen, og dermed resulterer i turbulent overfladestrømning.

Uanset om der etableres baffelvæggen/skærmbjælken med horisontale eller vertikale åbninger, er der risiko for, at der kan ophobes flydestoffer på baffelvæggens tilløbsside. Derfor kan baffelvægge med fordel udformes med lavereliggende partier, hvor niveauet er lavere end pumpernes startniveau, så flydestoffet løbende transporteres ind til pumperne. De sænkede partier må ikke forårsage turbulent overfladestrømning, da det kan resultere i hvirveldannelse og eventuelt vortex.

Figur 27: Skærmbjælke med horisontal åbning langs sumpbund

Udover de konstruktive tiltag i pumpeumpen, er det ved større tilstrømningsmængder hensigtsmæssigt, at tilløbsrøret har vinkelret indløb i pumpeumpen, og at tilløbsrøret er retlinet på en længde af mindst fem gange rørdiameter opstrøms indløbet, så risikoen for rotationspåvirkning grundet uensartet tilløb minimeres.

6.4 Sump i pumpestationer med mere end 4 pumper

Hvis der er mere end fire pumper i en pumpestation, er der erfaring for, at sumpens overflade og det plane areal under pumperne bliver så stor, at der kan opstå problemer med både flydestoffer og sediment.

Derfor anbefales det at udføre sumpbunden i forskudte niveauer, så der i perioder med lav tilstrømning kun er vand ved eksempelvis to pumper, og når tilløbet øges, stiger vandniveauet, så alle pumper bliver dykkede.

6.5 Banketoptimering af små og mindre pumpestationer

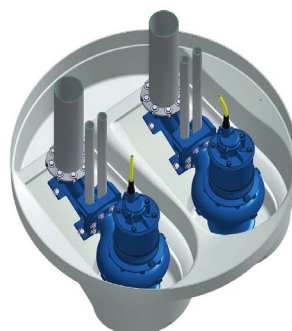
For at sikre en tilstrækkelig selvrensning af pumpeumpen, skal der etableres banketter, som reducerer overfladearealet fra det fulde areal til det frie areal under pumperne. Banketterne skal udføres uden skarpe kanter, og hældningen skal være tilstrækkelig til at sikre banketternes selvrensning. Selvrenningshældningen afhænger af overfladens ruhed, hvorfor der anbefales en hældning

på 60° målt fra vandret hvis banketterne udføres i beton, mens 45° ofte er tilstrækkeligt, hvis banketterne udføres i PE-plader. Hvis der installeres omrøring i sumpen, kan bankethældningen reduceres.

Flere pumpeproducenter tilbyder præfabrikerede bunde til små og mindre spildevandspumper. De præfabrikerede bunde er optimeret med hensyn til "døde" zoner og selvrensning af både banketter og sumpbunden.



Xylem TOP-præfab sumpbund



Hidrostal PreroClean præfab sumpbund

Billede 8: Eksempler på præfabrikerede sumpbunde

Banketternes udformning og hældning skal afpasses med den måde pumperne drives på. Hvis banketterne er utilstrækkelige, og ikke afstemt med pumpernes stopkoter, er der betydelig risiko for, at der vil ske ophobning af flydestoffer på overfladen, da hastigheden frem mod pumperne er for lav.

7. Bygværkets konstruktion

Da der er forventning om at pumpe-sumpe har lang levetid, er det essentielt, at de dimensioneres for de belastninger de udsættes for, da der ellers er risiko for drifts- og funktionsproblemer. I Danmark er de mest anvendte materialer til pumpe-sumpe:

- Beton, insitu- eller elementløsninger
- Hærdeplast, glasfiberarmeret polyester
- Termoplast, polyethylen/PE samt polypropylen /PP

Forud for beslutning om hvilket konstruktionsmateriale der skal anvendes til pumpe-sumpen, skal det afklares hvilke statiske og dynamiske belastninger konstruktionen udsættes for, så den designes med den nødvendige styrke og holdbarhed.

De drifts- og funktionsproblemer som oftest ses i pumpe-sumpe i forhold til materialevalg og konstruktion er:

Hærde- og termoplastiske konstruktioner

- Deformation og opbøjning af bundplade, grundet udvendigt grundvandstryk
- Deformation af sumpside/-væg, grundet udvendigt jord- og grundvandstryk
- Deformation af sumpside/-væg, grundet forkert udført omkringfyldning og komprimering
- Utætheder i rørgennemføringer
- Opdrift, grundet utilstrækkelig og/eller ukorrekt udført opdriftssikring

- Vibrationer, typisk grundet utilstrækkelig masse og stivhed i bundpladen
- Løse pumpefødder og rørføringer, grundet utilstrækkelig fastholdelse

Betonkonstruktioner

- Utætheder i rørgennemføringer
- Utætheder i elementsamlinger
- Korrosion grundet svovlbrinte
- Opdrift, grundet utilstrækkelig og/eller ukorrekt udført opdriftssikring
- Vibrationer, typisk grundet utilstrækkelig masse og stivhed i bundplade
- Løse pumpefødder og rørføringer, grundet utilstrækkelig fastholdelse

Erfaringer viser, at omkostningerne til at afhjælpe selv relativt små fejl i pumpeumskonstruktioner kan være meget høje, og forbundet med betydelige besværligheder, f.eks. overpumpning.

7.1 Belastninger

Det er forskelligt hvilke fysiske og statiske belastninger en pumpeudsættes for, hvorfor der skal ske afklaring heraf i hver enkelt opgave. I de fleste situationer kan belastningerne henføres til:

- Udvendige belastninger fra jord og grundvand
- Udvendige punkt- og trafikbelastninger
- Opdriftspåvirkning fra højtbeliggende grundvandsspejl
- Torsions- og vibrationspåvirkninger fra pumper

Udover de fysiske belastninger, kan sumpe også påvirkes negativt af spildevandet, f.eks. svovlbrinte og høje temperaturer.

Den samlede last fastsættes som summen af de belastninger de udsættes for.

7.2 Dimensioneringskriterier

Ved udbud af pumpeudsættes bør det specificeres hvilke belastninger pumpeudsætten skal dimensioneres for, og hvorledes leverandøren i sit tilbud skal dokumentere, at den tilbudte løsning har de ønskede egenskaber. Hvilke krav der skal stilles varierer, men de bør som minimum omfatte krav til:

- Fysiske styrke
- Kemisk modstandsdygtighed
- Tolerance i forhold til faktuelle temperatursvingninger

I forhold til brug af hærde- og termoplast, bør der derudover stilles krav om, at det tilbudte produkt er produceret efter en velspecificeret norm, f.eks. EN13476 - "Plastrørssystemer til trykløse jordlagte dræn og afløb - Rørssystemer af PVC-U, PP og PE med profileret rørvæg, del 1-3".

Desuden bør der stilles krav til pumpeudsætten mindste ringstivhed, f.eks. mindst SN 4 eller SN 8.

Herunder er vist eksempler på lastpåvirkninger der kan foreskrives.

7.2.1 Partialkoefficienter

Ved dimensionering skal der anvendes partialkoefficienter jf. Eurocode 7.

7.2.2 Sikkerheds- og kontrolklasser

Sikkerheds- og kontrolklasser skal vurderes i hver opgave, og afstemmes med den belastning de udsættes for.

Der skal anvendes partialkoefficienter jf. DS 409.

Med parkerings- og trafiklast	Sikkerhedsklasse	Kontrolklasse
Jord	Høj	Skærpet
Rørmaterialer/sumpmaterialer	Høj	Normal

Brønde som ikke er udsat for parkerings- og trafiklast

Uden parkerings- og trafiklast	Sikkerhedsklasse	Kontrolklasse
Jord	Normal	Skærpet
Rørmaterialer/sumpmaterialer	Normal	Normal

7.2.3 Jord- og grundvandslast

Der anvendes den jordlast, som er beskrevet i DS 430.

7.2.4 Trafiklast

Der anvendes den trafiklast jf. Danva vejledning nr. 54

Trafiklasten skal beregnes som en tre-akslet lastgruppe, hvor hvert akseltryk består af to hjultryk hver med en karakteristisk værdi på 65 kN ved normal vejtrafiklast. For brønde og rør i veje med svær trafiklast f.eks. fjernveje, primærveje og fordelingsveje i bymæssig bebyggelse (vejtyper iht. DS 430) er den karakteristiske værdi 100 kN ved svær vejtrafiklast.

7.3 Deformation og spændinger i sumpe

Der kan f.eks. stilles krav om, at sumpproducenten skal dokumentere, at sumpen har tilstrækkelig ringstivhed til at optage de belastninger de udsættes for, herunder at ingen del af sumpen udsættes for spændinger og deformationer, som overstiger:

- den maksimale spænding må højst være 80% af tilladelig trækstyrke
- korttidsdeformationen må højst udgøre 80% af langtidsdeformationen
- i sumpe hvor der installeres stive komponenter som kan påvirkes af deformationer, f.eks. guiderør til pumper og trykrør, må bygværksforkortelsen grundet langtidsdeformation af lodrette sumpvægge/sider ikke forårsage udbøjning af stive komponenter
- deformationen af dæksler må højst være 1/300 af korteste spændvidde, se afsnit 8.2

Den del af sumpen som er over jordoverfladen kan udelades af deformationsberegningen.

7.4 Konstruktionskrav

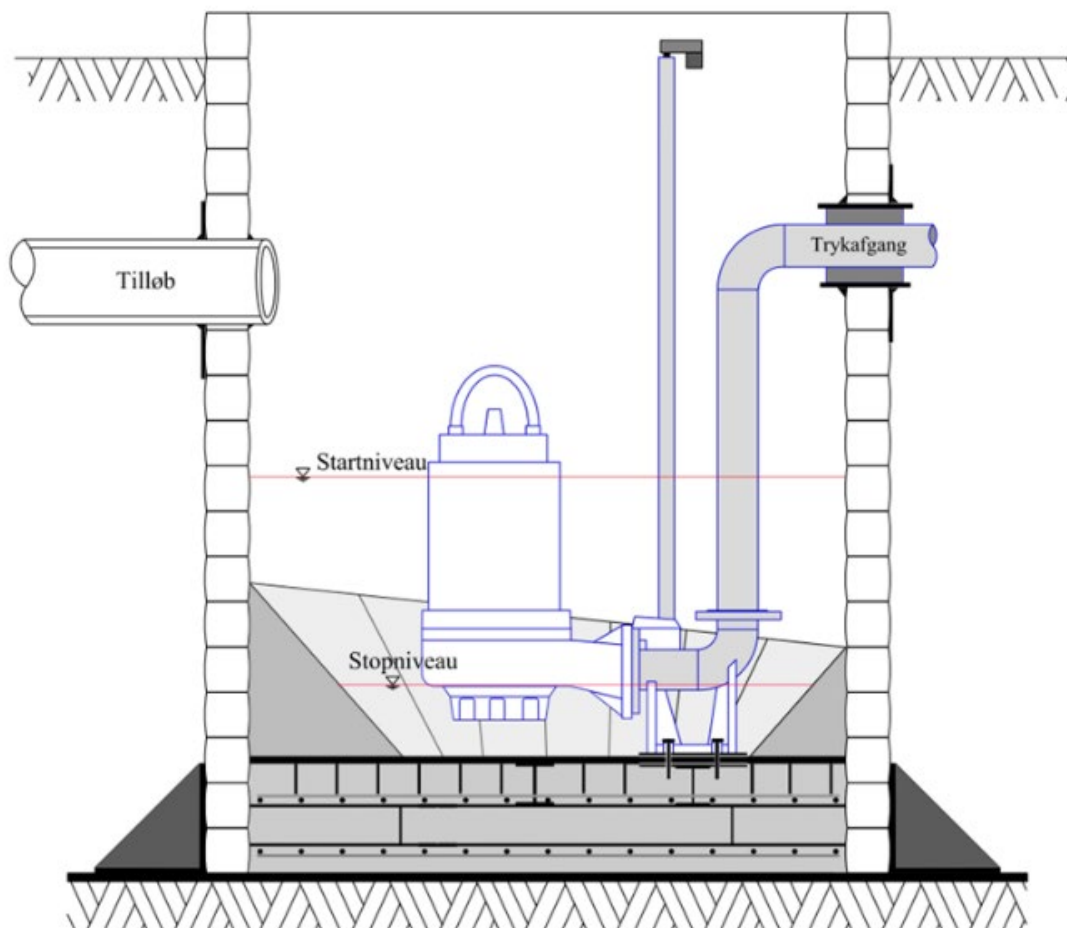
Ved udbud af pumpe-sumpe kan der f.eks. stilles krav om, at sumpproducenten skriftligt dokumenterer at skal bundpladen er udført med en vægt og stivhed som sikrer:

- at statiske belastninger fra vægten af vandet i sumpen, pumper og andre installationer f.eks. rør, ventiler og kontraventiler, som hviler på bundpladen, ikke er skadevoldende

- at dynamiske belastninger fra f.eks. start og stop af pumpe, pumpens rotation, samt væskestrømning gennem pumpen og rørsystemet effektivt overføres til bundpladen, og ikke er skadevoldende

Hvilke krav der skal stilles varierer, men det kan f.eks. være krav til:

- for at forebygge skadevoldende vibrationer, forårsaget af pumpens rotation og væsken som ledes gennem pumpen, skal alle installationsdele fikseres tilstrækkeligt
- betonfundamentets masse skal være mindst tre til fem gange større end massen af det opstillede udstyr og være tilstrækkeligt stift til at modstå de aksiale, tværgående og vridende belastninger der genereres
- pumpefundamentet skal være mindst 25 cm bredere end pumpens fodplade
- pumpefundamentet skal udføres af velegnet beton, og have en mindste trækstyrke på 2,5 MPa
- fastholdelse af fodpladen til pumpefundamentet skal ske med velegnede limankre og ankerbolte, med dimension og antal som foreskrevet af pumpeleverandøren
- limankre og ankerbolte til fastholdelse af fodplade skal have en udtræksstyrke som foreskrevet af pumpeleverandøren, dog minimum 25 kN
- ankerbolte skal have tilstrækkelig forskydningsstyrke til at optage tværgående og vridende belastninger



Figur 28: Pumpsumpbund med armering

Da hærde- og termoplastiske sumpkonstruktioner er mere fleksible end betonkonstruktioner, bør det overvejes at stille skærpede konstruktionskrav, hvilket f.eks. kan ske som:

- Bundpladekonstruktionen skal udformes som en dobbeltbund, sandwichkonstruktion. Bundpladen må etableres med ensidigt fald på op til 10 o/oo, dog skal fikseringspunkter for pumpefødder være i samme niveau.
- Toppladen i sumpbundkonstruktionen skal have tilstrækkelig styrke til at sikre, at den maksimale opbøjning ikke overstiger 5 mm, ved en opadrette belastning svarende til vand i terræn og tom brønd. Opbøjningen skal være jævnt fordelt over hele pladen.
- Pumperne må ikke fastgøres i PE- materiale, men skal fastgøres i en stålkonstruktion og betonfundamentet placeret i hulrummet mellem bundpladerne. Stål- og betonkonstruktionen skal have tilstrækkelig fysisk styrke til at fastholde pumperne i den påtænkte position, uanset hvilken driftsbelastning de udsættes for, herunder vibrationer som kan henføres til påvirkninger som må påregnes ved håndtering af spildevand, f.eks. større sammenhængende klumper, sand og grus.
- Ankerbolte som skal fastholde pumpefødderne skal have tilstrækkelig styrke til at optage de belastninger de udsættes for, og skal kunne udskiftes uden destruktive indgreb.

- Pumperne skal fikseres på en måde som sikrer at PE-pladen ikke flyder eller deformeres som følge af både kort- og langtidsbelastninger, og der skal kunne monteres pumper med anden afstand mellem fikseringspunkterne.
- Hulrullet mellem bundpladerne skal efter sætning af sumpen fyldes med en vibrationsfri beton med en stenstørrelse på maksimalt 16 mm, flydesætmål 560-600, styrke C40/50 i ekstra aggressiv miljøklasse. Bundkonstruktionen skal udformes så der opnås fuldstændig fyldning af hulrummet. Ved betonfyldningen skal det sikres, at der ikke opstår opbøjning, f.eks. ved at fylde sumpen med vand.
- Hulrummets højde skal afstemmes med pumpernes vægt, og det skal sikres at vægten af betonen mindst udgør 3-5 gange den samlede vægt der hviler på bundpladen. Betontykkelse skal som minimum være som anført herunder:
 - Pumpemotorer ≤ 10 kW: Bundtykkelse ≥ 300 mm
 - Pumpemotorer > 10 kW ≤ 20 kW: Bundtykkelse > 400 mm
 - Pumpemotorer > 20 kW: Bundtykkelse ≥ 500 mm
- Eventuelle fyldningsstudse skal afsluttes vandtæt ved brug af propper, som sikrer mod udvendig vandindtrængning i hulrummet.
- Betonfyldningen skal armeres såfremt der installeres højtrykspumper, 2-polede pumper eller pumpemotorerne er > 20 kW. Armeringen skal være tilstrækkelig til at sikre, at betonen i hulrummet har tilstrækkelig fysisk styrke til at optage de fysiske påvirkninger den udsættes for, herunder de aksiale, tværgående og vridende belastninger der genereres samt vibrationer

7.5 Præfabrikerede sumpe

Flere leverandører tilbyder præfabrikerede hærde- og termoplastiske pumpe-sumpe til mindre pumper. Ofte er det gode veldesignede centrifugalstøbte løsninger, men der ses iblandt løsninger som ikke har tilstrækkelig styrke til at optage de belastninger de udsættes for, hvorfor de deformeres i et omfang som påvirker funktionalitet og holdbarhed. I en del tilfælde skyldes deformationerne givetvis forkert udført omkringfyldning og komprimering, hvorfor der bør stilles skærpede krav til udførelsen heraf.

8. Dæksler og sikkerhedsriste

8.1 Sikkerhedsriste

Jf. §37 i AT-bekendtgørelse nr. 1516, af 16. dec. 2010, som omhandler ”*Sikring mod nedstyrtning og gennemstyrtning*”, skal der ”etableres kollektive sikkerhedsforanstaltninger, f.eks. rækværk, skærme eller net, der effektivt sikrer mod nedstyrtning eller gennemstyrtning”.

Definitionen af hvad der effektivt sikrer mod nedstyrtning eller gennemstyrtning fremgår ikke af AT’s skrivelser, så det er bygherrens ansvar at formulere krav og regler for udformning og dimensionering af sikkerhedsristene, samt sikre at det kan dokumenteres at ristene har den nødvendige holdbarhed og styrke.

Herunder er angivet eksempler på dimensioneringskriterier samt krav til konstruktiv udformning. De angivne eksempler er alene medtaget for at illustrere hvorledes det kan gøres, og ikke udtryk for at kravene er dækkende og tilstrækkelige, ej heller er det givet, at de opfylder gældende krav.

Sikkerhedsriste skal opfylde følgende krav:

- Korrosionsbestandighed: Kloakmiljø med svovlbrinte, f.eks. AISI316L/EN1.4404
- Punktlast: 4,0 kN punkt last på ethvert sted på sikkerhedsristen
- Nedbøjning: Ved punktlast på 2,0 kN er maksimal tilladt nedbøjning 2/100 ristelængde
- Fladelast: 5,0 kN jævnt fordelt på sikkerhedsristen
- Nedbøjning: Ved fladelast på 5,0 kN eller punktlast på 4,0 kN er maksimal tilladt nedbøjning 5/100 af ristelængde
- Deformation: Beregningsmæssig deformation højest 5/100 af diagonal mål ved løft af ét hjørne
- Åbninger: Maksimal åbningsbredde 100 mm, uden længdebegrænsning
- Øvrig åbning: Én åbning i sikkerhedsristen med hulstørrelse mindre end 300x300 mm
- Opdeling: Ved diameter ≥ 1.500 mm sektionsopeles i stykker med bredde $\leq 1,0$ m
- Åbne/lukkefunktion: Ikke-hængslede sikkerhedsriste, skal kunne håndteres sikkerhedsmæssigt forsvarligt af én person i forbindelse med fjernelse og montering
- Åbne/lukkekræften: Maksimalt 15 kg
- Betjening: Ristene skal kunne betjenes sikkert og bekvemt af én person.
- Fastholdelse: I åben stilling skal sikkerhedsristen kunne fastholdes effektivt
- Afskærmning: Anvendes sikkerhedsristen som gelænder/afspærring, skal den udføres i henhold til DS 410. Mindste vandrette dimensionsgivende påvirkning er 0,8 kN/m
- Dokumentation: Bæreevne og belastningsdeformation af rist skal kunne dokumenteres
- Bearbejdning: Svejsninger skal kunne beregnes og dokumenteres i nødvendigt omfang.

Uanset hvilke materialer, samlemetoder, og konstruktioner der anvendes til sikkerhedsristen, er det et krav, at både producenten og leverandøren skriftligt dokumenterer at den samlede sikkerhedsrists konstruktion har en styrke og holdbarhed som opfylder belastningskravene.

Såfremt der anvendes andre materialer end AISI316L/EN1.4404, herunder højere legerede ståltyper, andre metaller, kompositmaterialer, PE, etc. skal producent og leverandør skriftligt dokumentere at de anvendte materialer kan modstå de fysiske og kemiske belastninger de udsættes for, og har en mindste levetid på 25 år i det miljø de placeres i.

8.2 Dæksler

Planforsænkede dæksler skal overholde krav i DS/EN 124, og klassen skal vælges ud fra de belastninger dækslet udsættes for. Planforsænkede dæksler kan udføres af varmtforzinket Stål St37 efter DS/EN ISO 1461-1999, rustfrit stål EN 1.4301/AISI 304 eller rustfri syrefast stål EN 1.4401/AISI 316.

Planforsænkede dæksler placering	Trafikbelastning	Klasse	Belastning
Befæstede arealer med tung trafikbelastning, havneanlæg, containerterminaler, etc.	Tung	E600	600 kN
Asfaltbelægning og lign. med normal trafikbelastning	Almindelig	D400	400 kN
Helleanlæg, midterrabat etc. med fast belægning	Almindelig	D400	400 kN
Fortove og kantstene hvor der kan forekomme parkeringer. Maksimalt 0,5 m ind på kørebanen.	Let	C250	250 kN

Adgangsveje i forbindelse med fodgængerzoner samt parkeringspladser for personvogne.	Meget let	B125	125 kN
Dæksler < 200 mm over terræn	Meget let	B125	125 kN

Tabel 13: Belastningsklasser for planforsænkede dæksler

Overfaldede dæksler placering	Trafikbelastning	Klasse	Belastning
Uden trafikbelastning	Meget let	-	15 kN

Tabel 14: Belastningsklasser for overfaldede dæksler

Fritliggende pumpestationer udenfor færdselsområder er almindeligvis forsynet med overfaldede aluminiumsdæksler, som hængsles på direkte på sumpen. Da aluminiumsdæksler er lette, er det almindeligt at dækslerne dækker hele sumpåbningen. På mindre dimensioner etableres dækslet ofte som et stort dæksel, mens dækslet på større sumpe almindeligvis sektionsopeles i 2 eller 4 dele. Der er mange grunde til at anvende aluminiumsdæksler, herunder gunstige materialepriser, at de er lette og dermed enkle at åbne og lukke og en kuplet struktur øger styrkeegenskaberne.

Hvor der er risiko for forekomst af svovlbrinte, kan ikke-trafikbelastede dæksler udføres i korrosionsbestandigt PE-materiale. PE-dæksler skal forsynes med indvendig ribbestruktur, som giver dækslet den nødvendige stivhed, da dækslet ellers vil deformeres, grundet den løbende flydning af materialet.



Billede 9: Overfaldede aluminiumsdæksler



Billede 10: Kuplet 2-delt overfaldet aluminiumdæksel



Billede 11: Overfaldet PE-dæksel over svovlbrintebelastet sump



Billede 12: Overfalsede aluminiumsdæksler i forskellige udformninger



Billede 13: Planforsænket dæksel med sikkerhedsrist

I nogle tilfælde, hvor dækslet udsættes for trafikbelastning fra gående/kørende trafik og/eller risiko for oversvømmelse, samt over større betonbygværker anbefales det dog at bruge rektangulære ståldæksler, som boltes fast over pumpe-sumpe, så der opnås tilstrækkelig styrke og tæthed. Rektangulære dækslers åbningsareal er som regel mindre end pumpe-sumpens overfladeareal.

Hvis der anvendes rektangulære dæksler, skal det sikres, at åbningsarealet er så stort, at der dels er gode adgangsforhold til sumpen for driftspersonalet, dels at alle installerede komponenter, f.eks. pumperne, ubesværet kan transporteres op og ned gennem dækslet, og at det er let at få pumperne ned over guiderørene. Bortset fra fastlæggelse af det nødvendige åbningsareal i rektangulære dæksler, er designprocessen for et rektangulært dæksel den samme som en cirkulær.

Fælles for alle dæksler over pumpe-sumpe er, at de bør konstrueres, så sikkerhedsristen er en integreret del af dækselløsningen. Formålet med sikkerhedsristene er, at daglige service og vedligeholdelsesarbejder kan gennemføres uden sikkerhedsristen åbnes, derfor skal der være på den ene side være så store åbninger at der er god sigt gennem risten, og på den anden side må åbningerne ikke være så store, at der er risiko for, at man kan falde gennem sikkerhedsristen.

Eksempler på krav til dæksler:

- Adgangsdæksler (personadgang) skal være hængslede
- Montagedæksler behøver ikke at være hængslede
- Der skal være skridsikkert mønster på dæksler i trafikerede arealer
- Overfalsede dæksler skal udføres med pilhøjde, der giver naturlig afdræning af overflade
- Løftekraft må maks. være 12 kg/120 N
- Dæksler skal være låsbare
- Dæksler over nødopgange skal kunne åbnes nedefra uanset lås
- Planforsænkede dæksler skal udføres med låsebolte, og karm skal forsynes med skørt
- Overfalsede dæksler skal kunne forsynes med hængelås

- Hvis det er nødvendigt, skal dækslet leveres luft og lugttæt
- Hvis det er nødvendigt, skal dækslet leveres tryktæt for ind- og eller udvendig trykpåvirkning/-er. I sådanne tilfælde skal karmen forankres til bygværket, så den samlede konstruktion kan tåle det dimensionsgivende tryk
- Der skal være indbygget faldsikring/sikkerhedsriste og rækværk
- Skal forsynes med lågstøtte med automatisk låsning
- Overfaldede dæksler bør hæves min. 10 cm over tilstødende terræn og indstøbes vandtæt
- Nogle dæksler vil skulle udføres ud fra særlige krav til f.eks. udseende.



Billede 14: Overfaldet dæksel med sikkerhedsrist

8.3 Aflastningsfjedre

Såfremt det er påkrævet med mekanisk hjælp til at opfylde kravet til maksimal løftekraft, skal dæksler med mekaniske aflastningsfjedre eller hydrauliske cylindre. Gasfjedre accepteres ikke.

9. Sammenfatning af designrekommandationer

Dimensionering og udformning af pumpe-sumper er en opgave som forudsætter kendskab til pumpe-stationens hydrauliske belastning, pumpernes konstruktion og ydelse, samt spildevandets sammensætning. Den hydrauliske belastning og pumpernes ydelse er forholdsvis enkle at fremskaffe, hvorimod det er umuligt at definere spildevandets karakteristika, på både kort og længere sigt. Derfor indebærer dimensionering og udformning af pumpe-sumpe en lang række kvalificerede skøn og antagelser. Da flere af ønskerne til optimalt design er modsatrettede, er designfasen som regel forbundet med kvalitative kompromisser, hvor det tilstræbes at designe den samlet set bedste helheds-løsning.

Herunder er der angivet en række designrekommandationer, som kan medvirke til, at pumpe-sum-pene bliver designet på baggrund af faktuelle overvejelser, hvorved drifts- og funktionsproblemerne forhåbentligt bliver minimale.

9.1 Design guidelines

Praktiske erfaringer og laboratorietest af sedimentbevægelse har vist, at der kan defineres en række almen-gyldige designrekommandationer som kan være til hjælp ved dimensionering og

udformning af pumpe-sumpe. Hvis designkriterierne følges, er der god sandsynlighed at pumpe-sumpen vil være velfungerende, til gavn for den daglige drift, og ikke mindst for drifts- og servicemedarbejderne. Bagerst i nærværende skrift er rekommandationerne vist.

9.2 Almengyldige designrekommandationer:

9.2.1 Sumpvolumen

- Sumpvoluminet skal være tilstrækkelig til, at antallet af pumpestarter ikke overstiger pumpeproducentens anvisninger
- Død-voluminet mellem pumpestop og sumpbunden skal være mindst muligt
- Ved frekvensregulerede pumper, skal voluminet være tilstrækkeligt til at sikre optimal udnyttelse af omdrejningsreguleringen
- Ved stor variation i tilløbsmængderne, f.eks. ved tilløb fra fælles kloakerede oplande, bør differentierede bundniveauer i pumpe-sumpen overvejes

9.2.2 Pumpernes funktion

- Tilløbstrykket skal være tilstrækkelig til at sikre pumpernes $NPSH_A$, så kavitation undgås
- Lavest mulige stopniveau uden "slubren" ved trykledninger med lokale toppunkter
- Varigheden af sammenhængende stilstandsperioder mellem pumpestarter reduceres
- Ved pumpestop rampes op til nominelt omdrejningstal
- Afstanden mellem start- og stopkoterne skal afstemmes med sumpoverfladen så der er størst mulig sikkerhed for tilstrækkelig selvrensning, herunder muligheden for adaptive startkoter

9.2.3 Strømningsforhold

- Strømning af vand fra tilløb til sumpen bør ske direkte mod pumpernes indløb, og skal være indenfor en 120° -zone, modsat pumpeafgangen, så der er mindst mulig risiko for hvirvlende strømninger
- Prelplader og andre former for strømningsbrydere foran tilløb i sumpen, kan reducere tendensen til dannelse af hvirvler og vortex
- Hvis tilløbsvandet føres ind over laveste sumpvandspejl, bør der etableres preplader eller lign. for at minimere indlejringen af luft
- Vandhøjden over pumpeindløbet skal også være stor nok til at undertrykke overfladehvirvler, forårsaget af pumpernes rotation
- Banketter og forhindringer i sumpen udformes og placeres, så væskestrømning frem til pumpeindløbene i videst mulig udstrækning er upåvirket og uniform
- Påvirkes mindst muligt, og samtidigt sådan, at sediment og flydelag fjernes effektivt
- Voldsom turbulens og store hvirvlerstrømninger bør altid undgås af hensyn til pumpernes funktionalitet, dog kan moderat turbulent strømning reducerer risikoen for dannelse af hvirvler, da strømningsmønsteret hele tiden varierer
- Hydrauliske overfladestrømninger må ikke skabe turbulens, etc. i et omfang, som påvirker niveausensorernes funktionalitet
- Tilløbsvandet må ikke falde direkte ned oven på pumperne, eller i nærheden af pumpeindløb

9.2.4 Selvrensningsevne

- Sumpbundens plane overfladeareal skal være mindst muligt, og placeret direkte under pumpens indløb, så risikoen for sedimentophobning er minimal
- Der må ikke være døde zoner på sumpbunden, hvor faste stoffer kan sedimentere
- Afstanden fra pumpeindløbet til bundplade, banketter og vægge skal være mindst mulig, Dog skal pumpeproducenternes krav til minimumsafstand overholdes
- Overfladearealet i pumpesumpen skal være mindst muligt, for optimal fjernelse af flydestoffer
- Alle overflader, med undtagelse af bundpladen, skal være lodrette eller skrånede - med en hældning på mindst 45 grader for glatte overflader (plast eller overfladebehandlet beton) eller mindst 60 grader for beton
- Afstanden fra pumpens sugeindløb til bunden af sumpen skal være mindre end halvdelen af indløbsdiameteren
- Vandhøjden over indløbet i pumpen skal være tilstrækkelig til, at der ikke opstår vortex
- Pumperne skal lejlighedsvis køre til det lavest mulige væskniveau i sumpen - det vil sige til tidspunktet for begyndende luftindtagelse eller "slubren", hvor der ses bort fra vortex
- Vanddybden skal være tilstrækkelig til at sikre køling af pumperne

9.3 Afhjælpende tiltag

9.3.1 Mulige tiltag til reduktion af flydestoffer

- "Slubreørsel" i pumpestationer med ensidigt stigende trykledninger
- Omrøring i sump ved recirkulering af pumpevand, f.eks. ved spuleventil påbygget pumpe, by-pass fra trykafgangsledning eller mixer
- Macerator i pumpeindløbet, som finder større faste genstande og agglomererede klumper
- Prelplader ved alle indløb så unødige overfladestrømninger og turbulens undgås

9.3.2 Mulige tiltag til reduktion af sedimentproblemer

- Varigheden af sammenhængende stilstandsperioder mellem pumpearter reduceres
- Ved pumpestop rampes op til nominelt omdrejningstal
- Sumpbundens overfladeareal skal være mindst mulig
- Banketter skal have en hældning på 45-60° afhængig af overfladeruheid
- Pumpeindløbet skal være så tæt på sumpbunden som muligt
- Lavest mulige stopniveau uden "slubren" ved trykledninger med lokale toppunkter
- "Slubreørsel" i pumpestationer med ensidigt stigende trykledninger
- Omrøring i sump ved recirkulering af pumpevand, f.eks. ved spuleventil påbygget pumpe, by-pass fra trykafgangsledning eller mixer
- Macerator i pumpeindløbet, som finder større faste genstande og agglomererede klumper
- Prelplader ved alle indløb, så unødige overfladestrømninger og turbulens undgås
- Varigheden af sammenhængende stilstandsperioder reduceres
- Alle pumpearter skal være med nominelt omdrejningstal.