



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2019 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Modellering av høydenivå, samt testing av idé til nivåmåler i sandfang

Modeling of Sludge Accumulation and Testing of a
Sludge Blanket Level-measuring Tool for Catch
Basins

Jørgen Narvestad og Einar Løvdal
Vann- og miljøteknikk

FORORD

Denne oppgaven er en masteroppgave innenfor studieretningen Vann- og miljøteknikk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Oppgaven har blitt skrevet i løpet av våren 2019 ved Fakultet for Realfag og Teknologi.

Avhandlingen er todelt hvor en del er skrevet i samarbeid med Rosim AS og består av å teste en idé for nivåmåling i sandfang. Den andre delen går ut på å utvikle en modell som simulerer oppfyllingsprosessen i et sandfang over tid ved bruk av SWMM og Python. Felles for idéen og modellen er at de skal være til hjelp med å forutsi når et sandfang bør tømmes.

Vi har ikke vært alene i dette arbeidet og ønsker derfor å takke en rekke personer. Først og fremst ønsker vi å gi en særs stor takk til hovedveileder Vegard Nilsen for konstruktive tilbakemeldinger gjennom hele løpet til tross for uhorvelige mengder arbeid ved siden av oss. En stor takk rettes også til Geir Lindholm og alle dere andre i Rosim AS for å ha gitt oss en fin utfordring som ble starten på denne masteroppgaven. I arbeidet med nivåmåleren har vi også hatt mange spørsmål angående sensorer og annen elektronikk og ønsker derfor å takke Tom Ringstad som har vist stor tålmodighet ovenfor oss. Takk også til Oddvar Lindholm som har vært behjelpelig med å skaffe vanskelig tilgjengelig litteratur. Under programmeringen har det også dukket opp mye spørsmål som vi ønsker å takke for at Yngve Moe og Stig Hornang tålmodig kunne svare på.

Ås, 13. mai 2019

Einar Løvdal

Jørgen Narvestad

SAMMENDRAG

Et gatesandfang blir brukt for å begrense partikler som sand, jord og forurensninger videre inn i ledningsnett. Det finnes ingen standard for hvordan et sandfang skal utformes, men retningslinjer er likevel gitt av både Statens vegvesen og VA/Miljø-blad. Mye forurensninger og tungmetaller i Oslofjorden kan spores tilbake til overvannet som ofte når resipienten via sandfang. Det er derfor blitt mer fokus på tømning av sandfang i det siste. Dette skyldes at det er de minste partiklene som binder mest forurensninger, men samtidig er vanskeligst å holde tilbake. Ved å tømme sandfanget før fyllingsgraden er 50 % økes tilbakeholdelsen av disse partiklene.

Det finnes få muligheter i dag til å anslå fyllingsgraden til et sandfang. Rosim AS har en idé til en nivåmåler som er billig i innkjøp og i løpet av ti år ikke trenger annen drift eller vedlikehold enn monteringen. Idéen går ut på at to vertikale rør står med en viss avstand fra hverandre nede i sandfanget. Det ene røret inneholder lysdioder som lyser via sandfangmassen/vannet mot det andre røret som inneholder lyssensorer. Oppgaven undersøker hvorvidt lyssensorer som er dekket av vann kan respondere på lyset mens sensorer som er dekket av sandfangmasse ikke gjør det.

Det undersøkes også om det er mulig å anslå høydenivået ved å modellere et sandfang i SWMM og Python. Datagrunnlag for modelleringen hentes fra en rapport som har undersøkt flere sandfang i blant annet Fossumveien i Oslo. Disse tallene er blitt brukt til å kalibrere modellen og innebærer blant annet tall over forskjellige masser, tømmedager og høyder i sandfangene. Til modelleringen er det også blitt brukt en formel over hvor mye masse som sedimenterer, samt en ytterligere justeringsfaktor som slår inn når høyden overstiger 50 %.

Resultatet av forsøket gjort med nivåmåleren viser at det er mulig å detektere skillet mellom vann og sand ved bruk av lysdioder og sensorer. Det beste resultatet oppnås ved bruk av kraftige lysdioder og sensitive sensorer. Dette betyr at idéen er mulig å bruke i videre arbeid

med produktet. Når det kommer til modellen er det blitt vist at det er mulig å modellere oppbygningen av masse. Det er likevel behov for videre arbeid med modellen for at den skal gi ut riktig høyde og dermed kunne benyttes som et planleggingsverktøy for tømmeintervall.

ABSTRACT

The purpose of a catch basin is to limit the displacement of sand particles and other pollutants to the sewage system. There are no design standards for catch basins, but both Statens vegvesen and VA/Miljø-blad give guidelines on this matter. Pollutants and heavy metals in the Oslo fjord can be traced to urban runoff. Therefore, awareness of the importance of emptying catch basins has increased in recent times. This is because pollutants attach to smaller particles, which have a tendency to flow through the catch basin. If catch basins are emptied before sediment height reaches fifty percent, a larger fraction of smaller particles will settle.

There are few ways to estimate the height of sediment in a catch basin. However, Rosim AS has an idea for a cheap sludge level-measuring tool, which does not need any operation or maintenance after installation. The idea is that two vertical tubes are fastened with a certain distance between them. One of the tubes contain light-emitting diodes (LED) that shine through water/sludge towards the other tube containing light sensors. This thesis examines whether light sensors covered by water respond to light, while sensors covered by sludge does not.

It will also be examined whether it is possible to estimate sludge level in a catch basin by the use of SWMM and Python. Data used in the model is gathered from a report where catch basins in Fossumveien in Oslo, amongst others, have been studied. This data is used to calibrate the model and comprises of mass transport, emptying schedule and the sludge level in the catch basins. The model uses a formula describing the catch basins capability of retaining solids, as well as a correcting factor that alters the amount of solids retained in the catch basin after the sludge level reaches fifty percent of maximum storage capacity.

The result of the test performed with the sludge level measuring-tool shows that it is possible to detect water from sludge by the use of LED and light sensors. The best result is obtained by using high intensity LEDs and sensitive light sensor. This shows that the idea is suitable

for further development. The model has shown that it is possible to simulate the buildup of sludge in a catch basin. Nevertheless, further development is needed for the model to be accurate and thereby be used as a planning tool for catch basin emptying management.

INNHALDSFORTEGNELSE

Forord	I
Sammendrag.....	III
Abstract	V
Innholdsfortegnelse.....	VII
Forkortelser	XI
Symboler	XIII
Figurliste	XV
Tabelliste.....	XVII
1 Innledning.....	1
1.1 Problemstilling.....	2
1.2 Oppgavens oppbygning.....	2
2 Teori og bakgrunn.....	3
2.1 Om behovet for sandfang	3
2.2 Utformingen til et sandfang.....	3
2.3 Funksjonen til sandfang.....	6
2.4 Innholdet i sandfanget	9
2.5 Problematikken rundt tømmeintervall	12
3 Hovedidé til nivåmåler	15
3.1 Lysdioder	16
3.2 Lyssensorer	17
4 Metode nivåmåler.....	19
4.1 Hensikt med forsøket	19
4.2 Utstyr	20

4.2.1	Lyskilder	20
4.2.2	Lyssensorer.....	22
4.2.3	Annet utstyr	22
4.3	Fremgangsmåte.....	23
4.3.1	Klargjøring av testtrigg.....	23
4.3.2	Programmering og kobling av krets.....	26
4.3.3	Gjennomføring av forsøkene	28
4.3.4	Verifikasjon.....	29
5	Metode modell.....	30
5.1	Oppbygning av modell i SWMM.....	32
5.2	Massetransport	35
5.2.1	Buildup-funksjonen og m_{tot}	36
5.2.2	Feiing og m_f	37
5.2.3	Washoff-funksjonen, m_{inn} , m_{sf} og m_{ut}	38
5.2.4	Resterende masse m_n	39
5.2.5	Masser i SWMM-modellen.....	39
5.3	Beregning av høydenivå.....	40
5.3.1	Estimering av sedimenteringseffektivitet	41
5.3.2	Justeringsfaktor for høyde	43
5.3.3	Verifikasjon.....	44
6	Resultat.....	46
6.1	Nivåmåler	47
6.1.1	Sensorlist A.....	48
6.1.2	Sensorlist B.....	49
6.1.3	Sensorlist C.....	51
6.1.4	Sensorlist D.....	52
6.1.5	Sensorlist E.....	54

6.1.6	Sensorlist F	55
6.1.7	Verifikasjon.....	56
6.2	Modell.....	57
7	Diskusjon.....	61
7.1	Nivåmåler	61
7.2	Modell.....	64
7.3	Videre arbeid	66
8	Konklusjon.....	67
9	Litteratur.....	69
	Vedlegg A: Detaljer fra SWMM.....	73
	Vedlegg B: Utrekninger av masser	91
	Vedlegg C: Detaljer nivåmåler	99

FORKORTELSER

Akronym	Forklaring
DF1	Delfelt 1
EPA	United States Environmental Protection
FOS	Fossumveien
FOS01	Sandfang 1 i Fossumveien
GRO	Grorudveien
LDR	Light dependent resistor
LED	Lysemitterende diode
N1	Node 1
NBM1	Nedbørsmåler 1
NIBIO	Norsk institutt for bioøkonomi
NMBU	Norges miljø- og biovitenskapelige
SMD	Surface mount device
SS	Suspendert stoff
SWMM	Storm Water Management Model
TS	Tørrstoff

SYMBOLER

Variabel	Forklaring	Enhet
B_{\max}	Maks oppbygning av materiale	
d_{50}	Median diameter	m
ϵ	Sedimenteringseffektivitet	
g	Tyngdeakselerasjon	m/s ²
h_{sfm}	Høyde på sandfangmasse	m
K_B	Oppbygningskonstant	
K_w	Washoff-koeffisient	mm ⁻¹
m_b	Oppbygning av partikler på	kg
m_f	Masse som feies opp	kg
$m_{f\text{forurensing}}$	Massen av m_f som er forurensing	kg
$m_{f\text{sand}}$	Massen av m_f som er sand	kg
m_{inn}	Total masse inn til sandfang	kg
$m_{\text{innforurensing}}$	Massen av m_{inn} som er sand	kg
m_{innsand}	Massen av m_{inn} som er sand	kg
m_n	Masse som blir liggende igjen i	kg
$m_{n\text{forurensing}}$	Massen av m_n som er forurensing	kg
$m_{n\text{sand}}$	Massen av m_n som er sand	kg
m_{sf}	Massen av sedimentet i sandfang	kg
$m_{\text{sfforurensing}}$	Massen av m_{sf} som er forurensing	kg
m_{sfsand}	Massen av m_{sf} som er sand	kg
m_{tot}	Total masse	kg
$m_{\text{totforurensing}}$	Massen av m_{tot} som er forurensing	kg
$m_{\text{tot sand}}$	Massen av m_{tot} som er sand	kg
m_{ut}	Masse ut fra sandfanget	kg
$m_{\text{utforurensing}}$	Massen av m_{ut} som er forurensing	kg
$m_{\text{ut sand}}$	Massen av m_{ut} som er sand	kg
n	Porøsitet	
N_B	Tidseksponent	
N_w	Washoff-eksponent	
Q	Volumstrøm	m ³ /s
q	Avrenning per areal	mm/ti
S	Spesifikk tetthet	

Variabel	Forklaring	Enhet
t	Oppbygningstid	dag
ν	Kinematisk viskositet	mm ² /s
w	Avrenning av partikler	kg/time
w_s	Sedimenteringshastighet	m/s
α	Korreksjonsfaktor for turbulens	
ρ	Massetetthet	kg/m ³
ρ_s	Massetetthet til sand	kg/m ³
ρ_f	Massetetthet til forurensing	kg/m ³

FIGURLISTE

Figur 2.1 Skisse av et sandfang.....	4
Figur 2.2 Eksempler fra VA-normer	6
Figur 2.3 Kornfordelingskurve over blant annet sandfangmasser fra to testveier	10
Figur 3.1 Illustrasjon av hvordan løsningen er tenkt seende ut.....	15
Figur 3.3 SMD LED.....	17
Figur 3.2 Klassisk LED.....	17
Figur 4.1 Oversikt over utstyret som ble brukt i forsøket.....	20
Figur 4.2 En ferdig laget trelist med fem lyssensorer.	24
Figur 4.3 Lyssensorer ferdig koblet og klar til bruk.....	25
Figur 4.4 Illustrasjon av testtrigg.....	26
Figur 4.5 Illustrasjon av hvordan en fotoresistor kan kobles til en Arduino.	27
Figur 5.1 Oversikt over sandfang på teststrekningen i Fossumveien.....	32
Figur 5.2 Skjermdump av SWMM-modell.....	32
Figur 5.3 Nedbør gjennom simuleringsperioden.....	33
Figur 5.4 Temperatur (blå) og snødybde (rød) gjennom simuleringsperioden.....	34
Figur 5.5 Skjematisk framstilling av massetransport inn og ut av nedbørsfeltet DF1.	35
Figur 5.6 Epsilon for sand og forurensing som funksjon av volumstrøm.....	42
Figur 5.7 Plot over hvordan justeringsfaktoren endres med tiltakende høyde.	44
Figur 6.1 Illustrasjon over testtrigg med nummerering av sensor.....	47
Figur 6.2 Resultater fra sensorlist A.....	48
Figur 6.3 Resultater fra sensorlist B.....	49
Figur 6.4 Resultater fra sensorlist C.....	51
Figur 6.5 Resultater fra sensorlist D.....	52

Figur 6.6 Resultater fra sensorlist E.....	54
Figur 6.7 Resultater fra sensorlist F.....	55
Figur 6.8 Forsøk gjort med kun lys 1 og lys 2 påslått.....	56
Figur 6.9 Graf over den akkumulerte høyden i sandfanget over tid.....	57
Figur 6.10 Graf over den akkumulerte høyden i sandfanget over tid.....	58
Figur 6.11 Akkumulert høyde ved en tenkt porøsitet.....	59
Figur 6.12 Verifikasjon over akkumulert høyde.....	60

TABELLISTE

Tabell 2.1 Volum som ikke kan utnyttes til lagring av sand.....	4
Tabell 2.2 Slamrom i sandfangskum	5
Tabell 2.3 Symboler i formel for sedimenteringseffektivitet (ϵ).....	6
Tabell 2.4 Symboler i formel for sedimenteringshastighet (w_s).....	7
Tabell 2.5 Fraksjon av forurensing fordelt på partikkelstørrelser.....	8
Tabell 2.6 Fraksjon av tungmetaller fordelt på partikkelstørrelser.	8
Tabell 2.7 Prosent sediment tilbakeholdt i sandfanget.....	9
Tabell 2.8 Utdrag av resultater fra analyser av metaller i gateoppsop og sandfang.....	11
Tabell 4.1 Oversikt over hva som skal testes ved forsøket.	19
Tabell 4.2 Oversikt over lyskilder brukt i forsøket	21
Tabell 4.3 Oversikt over lyssensorene brukt i forsøket.	22
Tabell 4.4 Diverse utstyr brukt til forsøket.	23
Tabell 4.5 Forklaring av symbolene brukt i formelen for spenningsdeling.	27
Tabell 4.6 Oversikt over de forskjellige testkonfigurasjonene.	29
Tabell 4.7 Kombinasjon av sensorer og motstand benyttet i de forskjellige forsøkene.....	29
Tabell 5.1 Oversikt over symbolene brukt i formelen.	36
Tabell 5.2 Forklaring til symbolene brukt i Power-funksjonen.....	36
Tabell 5.3 Forklaring til symbolene i eksponentiell-washoff-funksjonen.	38
Tabell 5.4 Oversikt over symboler brukt i formelen.	39
Tabell 5.5 Oversikt over masser i SWMM-modellen.....	40
Tabell 5.6 Oversikt over forventede verdier i modellen.	40
Tabell 5.7 Variablene brukt i høydeformelen.....	41
Tabell 5.8 Oversikt over massetransport ut av modellsandfanget.	43
Tabell 5.9 Oversikt over symboler brukt i formel for justeringsfaktor.	44

Tabell 6.1 Høyde og masstetthet ved tømning av modellsandfang.....	57
Tabell 6.2 Høyde og masstetthet ved tømning av sandfang ved forskjellige porøsiteter.	58
Tabell 6.3 Forventet m_{ut} og estimert m_{ut} fra modellsandfanget.....	59
Tabell 6.4 Høyde ved endt periode	60

1 INNLEDNING

Sandfang blir brukt for å begrense tilførselen av uønskede partikler som kommer med overvannet videre inn i avløpsledninger. Tidligere har det vært mest fokus på å begrense tilførselen av sand i avløpsnettene (Mosevoll & Lindholm, 1986). Men Lindholm & Haraldsen (2013) har vist at en betydelig andel av forurensningene som var å finne i Oslofjorden kom fra overvannet. Det har med andre ord blitt et økende behov for rensing av overvann (Åstebøl, 2015). Forurensninger, og kanskje spesielt tungmetaller, bindes til de minste partiklene (Sartor & Boyd, 1972). Forsøk har vist at det er mulig med sandfang å holde igjen en del forurensninger bundet til små partikler (Lager et al., 1977). Dermed er sandfang potensielt det første og kanskje eneste rens tiltak før overvann slippes ut til en resipient. Problemet er at når sandfang går fulle vil ikke slike forurensninger bli fanget opp, men heller følge med overvannet videre (Lager et al., 1977; Lunde, 1988). Sandfang må derfor tømmes alt etter dets høydenivå. Å anslå høydenivået er noe som inntil nylig ikke har vært vanlig å gjøre (Haraldsen, 2017). En mulighet er å være fysisk til stede og måle høydenivået i sandfangene når de tømmes. På denne måten kan det bygges statistikk som forhåpentligvis kan være til hjelp for når et sandfang bør tømmes i fremtiden. Likevel kan det være vanskelig å forutsi siden fyllingshastigheten varierer fra år til år og fra sandfang til sandfang basert på vær, strøing og lokale forhold rundt sandfangene. Rosim AS har derfor identifisert et potensielt behov for en nivåmåler som jevnlig gir informasjon om høydenivået. En annen mulighet er at høydenivået kan anslås ved hjelp av en modell som bruker nedbørsdata fra et sandfangs nedbørsfelt samt anslag over oppbygningen av partikler i feltet.

Denne masteroppgaven er en todelt oppgave hvor Rosims idé til nivåmåler skal testes, i tillegg til at det skal utvikles en modell som simulerer oppfyllingsprosessen i et sandfang over tid. Modellen skal sammenlignes med et faktisk sandfang fra en NIBIO-rapport hvor flere sandfang har blitt fulgt opp i en periode på omtrent 15 måneder. Data til modellen er derfor i størst mulig grad hentet fra denne rapporten. Det skal også undersøkes om en

justeringsfaktor for høyde kan implementeres for å beskrive hvordan et sandfangs evne til å holde tilbake partikler svekkes etter hvert som fyllingsgraden i sandfanget stiger.

1.1 PROBLEMSTILLING

Gjennom denne oppgaven er det spesielt to hovedspørsmål innenfor nevnte to temaer som ønskes besvart. Disse to problemstillingene er som følger:

Er det ved hjelp av lyssensorer mulig å detektere skillet mellom sandfangmasse og vann i et sandfang?

Kan det lages en modell som simulerer fyllingsgraden i et sandfang over tid, og vil denne modellen i så fall være nyttig i bruk som et planleggingsverktøy for tømning av sandfang?

1.2 OPPGAVENS OPPBYGNING

Oppgaven er delt inn i 9 kapitler. Kapittel 2 gir en innføring om teorien som er lagt til grunn. Kapittel 3 går inn på Rosims idé til en nivåmåler. Kapittel 4 og 5 tar for seg metoden til henholdsvis nivåmåler og modell. Resultatet er samlet i kapittel 6, som for øvrig er delt opp i to deler, et for nivåmåler og et for modell. I kapittel 7 diskuteres resultatene hvorpå en konklusjon er tatt i kapittel 8. Siste kapittel består av en litteraturliste.

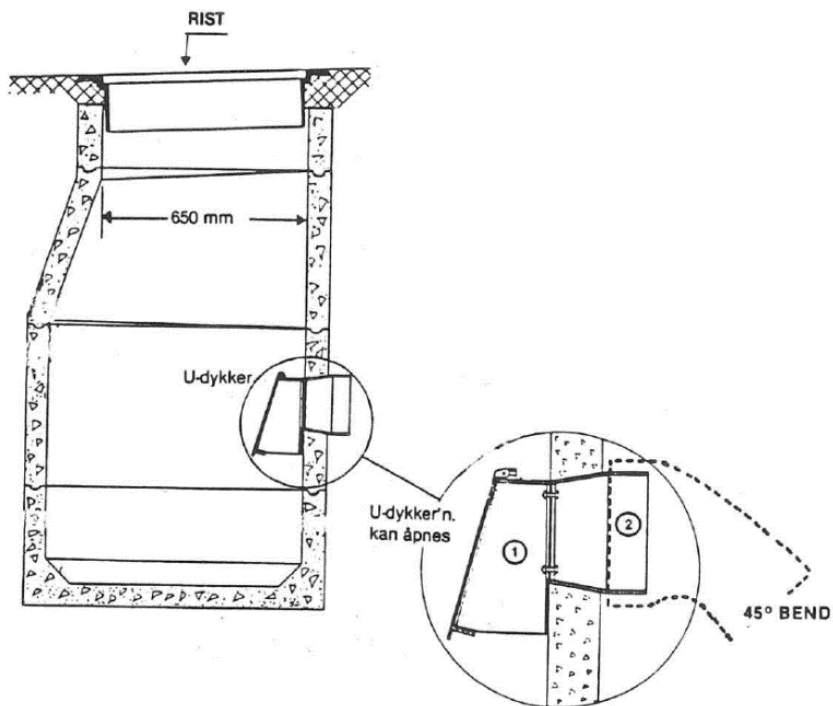
2 TEORI OG BAKGRUNN

2.1 OM BEHOVET FOR SANDFANG

Overvann ledes mange steder til fellesledninger eller rene overvannsledninger under bakkenivå. Men overvannet er på ingen måte rent og bærer med seg mye partikler fra bakken. Denne stofftransporten kan potensielt føre til to hovedproblemer: Økt forurensning i resipienten, samt redusert kapasitet i ledningene som følge av avleiringer (Deletic et al., 2000). I tillegg er også store partikler kilde til slitasje på pumper, og hvis ledningsnettets består av eldre betongrør og tynnveggede plastrør, også nedslitning av rørvegg (Lindholm, 2016). For å begrense tilførselen av sand, grus og jord til ledningsnettets brukes derfor sandfang som en enkel mekanisk rensemetode (Lindholm et al., 2012). Det er også vist at mye av miljøgiftene som over tid er blitt akkumulert i mange fjorder kommer fra overvannet fra byenes tette flater (Lindholm & Haraldsen, 2013). Med tiden har det derfor blitt et økende behov for rensing av dette overvannet (Åstebøl, 2007), hvilket potensielt kan gjøres med allerede eksisterende sandfang.

2.2 UTFORMINGEN TIL ET SANDFANG

Et sandfang kan best sammenlignes med et sedimenteringsbasseng i et renseanlegg, men forskjellen er at det vil være mye mer turbulent strømming i et sandfang kontra et sedimenteringsbasseng på grunn av forholdet mellom sandfangets dimensjon og volumstrøm inn til det. Figur 2.1 viser en skisse av et typisk sandfang i Norge.



Figur 2.1 Skisse av et sandfang (Illustrasjon: Mosevoll & Lindholm, 1986).

Det er gjort en rekke undersøkelser for å fremskaffe mer kunnskap om de hydrauliske egenskapene til et sandfang. Dette innbefatter blant annet undersøkelser av hvor høy hydraulisk kapasitet et sandfang tillater uten at vesentlig sediment vaskes ut (Lager et al., 1977; Lunde, 1988). Undersøkelser i Norge har vist at det ved en volumstrøm på mellom 5 og 25 liter pr sekund er et volum på 100 liter under utløpet som ikke kan utnyttes (Lunde, 1988). Dette volumet stiger med økende volumstrøm og kan ses i tabell 2.1.

Tabell 2.1 Volum som ikke kan utnyttes til lagring av sand ved forskjellige volumstrømmer (Lunde, 1988).

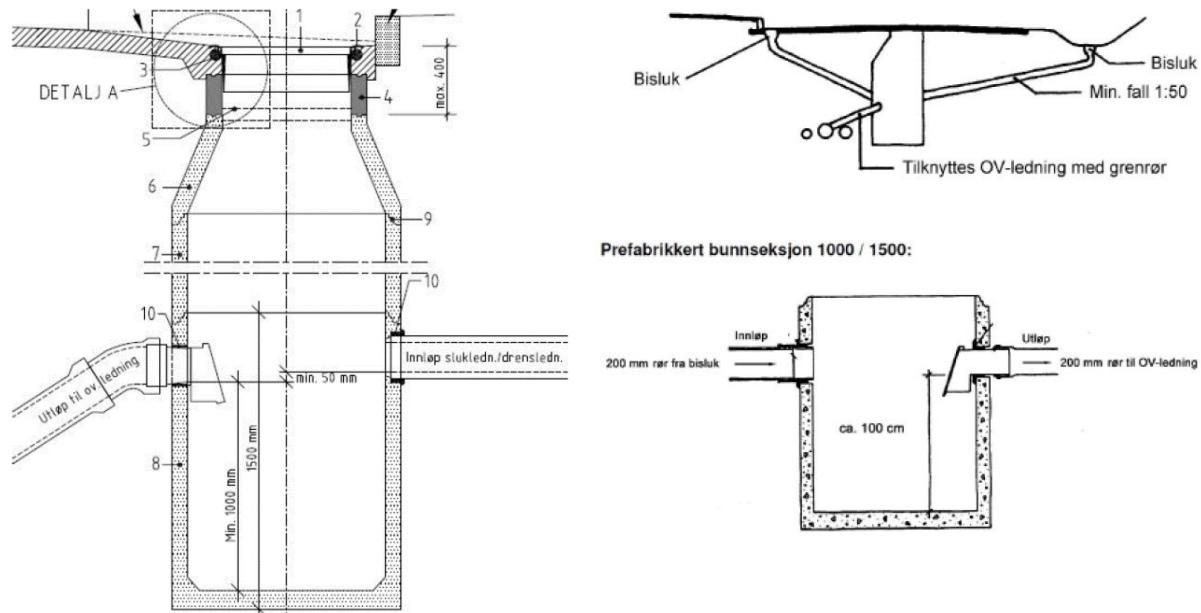
Total vannføring gjennom topprist og fra bisluk [l/s].	Volum som ikke kan utnyttes til lagring av sand [liter].
5-25	< 100
30	120-140
35	140-180

Undersøkelsen ble gjort med et sandfang med diameter på 1 meter og dybde under utløpet på 1 meter. Det er omtrent denne størrelsen som nå blir anbefalt å bruke. Etter Statens vegvesens anbefalinger bør ikke et sandfang ha mindre diameter enn 1 - 1,2 meter. Ved en diameter på 1 meter er anbefalt minimum dybde under utløp på 1 meter, og ved innvendig diameter på 1,2 meter er anbefalt minimum dybde under utløp på 0,75 meter i henhold til tabell 2.2 (Statens vegvesen, 2018).

Tabell 2.2 Slamrom i sandfangskum (Statens vegvesen, 2018).

Innvendig diameter kum	Minimum dybde under utløp
1,0 m	1,0 m
1,2 m	0,75 m

Volumet på et typisk sandfang vil derfor være på rundt 800 liter. Sandfang utformes vanligvis som et sylinder i plast eller betong (Lindholm, 2016). Vann, sand og andre forurensninger entrer sandfanget gjennom en rist som ligger i gateplanet, eller via en innløpsledning nede i kummen. Innløpsledning benyttes ofte når flere sluk er koblet til ett og samme sandfang. Innløpet bør være minst 50 mm over utløpet til sandfanget (Statens vegvesen, 2018) for å hindre gjentetning og tilbakeføring av vann. Sand og andre partikler sedimenterer og blir liggende igjen mens vannet renner ut via utløpet. For å motvirke problemer med lukt, frostgjennomgang i ledninger og videreføring av flytende gjenstander kan det være gunstig å bruke en dykker ved utløpet (Statens vegvesen, 2018). Dette er i henhold til Statens vegvesen noe som sandfang normalt ikke har (Statens vegvesen, 2018), mens det i henhold til VA/miljø-blad skal brukes på alle utløp (Lindholm, 2016). Det eksisterer med andre ord ingen standard på utformingen til sandfang selv om en del retningslinjer allerede er gitt. Av den grunn er det forskjellige normer fra kommune til kommune. Figur 2.2 viser skisser fra to forskjellige kommuner. Det er tydelig at begge bruker dykker, men at det kun er Trondheim kommune (venstre skisse) som har spesifisert Statens vegvesen sin anbefaling om at innløp fra bisluk skal ligge 50 mm over sandfangets utløp.



Figur 2.2 Eksempler fra VA-normer til henholdsvis Trondheim kommune (t.v.) og Porsgrunn kommune (t.h.) (Lindholm, 2016).

2.3 FUNKSJONEN TIL SANDFANG

Det er vist ved bruk av tracer at sandfang oppfører seg som en såkalt «complete mix reactor» (Butler & Karunaratne, 1995), hvilket gjør det mer tidkrevende å sedimentere partikler. For å beregne andelen partikler som sedimenterer i et sandfang benyttes følgende formel for sedimenteringseffektivitet (Butler & Karunaratne, 1995):

$$\epsilon = \frac{w_s}{w_s + \frac{Q}{A}}$$

Hvor symbolene er forklart i tabell 2.3.

Tabell 2.3 Symboler i formel for sedimenteringseffektivitet (ϵ).

Symbol	Forklaring
ϵ	Andelen av innkommende partikler som sedimenterer
w_s	Sedimenteringshastighet [m/s]
Q	Volumstrøm til sandfang [m ³ /s]
A	Grunnflateareal til sandfanget [m ²]

Sedimenteringshastigheten (w_s) beregnes med en modifisert versjon av Stokes lov (Butler & Karunaratne, 1995):

$$w_s = \alpha \frac{g * d^2 * (S - 1)}{18 * \nu}$$

Tabell 2.4 gir en forklaring på symbolene brukt i formelen.

Tabell 2.4 Symboler i formel for sedimenteringshastighet (w_s).

Symbol	Forklaring
α	Korreksjonsfaktor for turbulens
g	Tyngdeakselerasjon [m/s^2]
d	Partikkeldiameter [m]
S	Spesifikk tetthet
ν	Kinematisk viskositet [m^2/s]

Sedimenteringshastigheten er altså avhengig av en partikkels diameter og spesifikke tetthet. Dette gjør at tyngre partikler som sandpartikler med massetetthet på 2650 kg/m^3 (Sæterbø et al., 1998) sedimenterer forttere enn partikler med lavere massetetthet. Korreksjonsfaktoren α tar høyde for at turbulens påvirker sedimenteringshastigheten negativt. Verdien på α kan variere med volumstrøm, partikkelstørrelse, og høydenivå i et sandfang. Butler & Karunaratne (1995) har i sine forsøk funnet at α alltid er over 0,4 og at en konstant verdi $\alpha = 0,6$ ga fullgode resultater for alle partikkelstørrelser og volumstrømmer i forsøkene.

Den kanskje viktigste funksjon til sandfanget er å samle opp miljøforurensinger som måtte følge med overvannet. Undersøkelser har vist at mye forurensninger som blir vasket vekk fra flaten av overvannet bindes til partikler mindre enn $60 \text{ }\mu\text{m}$ (Xanthopoulos & Hahn, 1993, referert i Deletic et al., 2000). Forurensninger slik det er nevnt her innebærer blant annet tungmetaller som bly, kadmium, sink og kobber. Et utdrag av de viktigste mengdene forurensinger (i % av vekt) som bindes til forskjellige partikkelstørrelser som er funnet på veioverflaten kan ses i tabell 2.5 (Sartor & Boyd, 1972).

Tabell 2.5 Fraksjon av forurensing fordelt på partikkelstørrelser. Prosent masse fra gater og fortau. (Sartor & Boyd, 1972)

Parameter	Partikkelstørrelse [μm]					
	>2000	840-2000	246-840	104-246	43-104	<43
Totalt fast materiale	24,4	7,6	24,6	27,8	9,7	5,9
BOF ₅	7,4	20,1	15,7	15,2	17,3	24,3
KOF	2,4	4,5	13,0	12,4	45,0	22,7
Kjeldahl nitrogen	9,9	11,6	20,0	20,2	19,6	18,7
Nitrater	8,6	6,5	7,9	16,7	28,4	31,9
Fosfater	0	0,9	6,9	6,4	29,6	56,2
Tungmetaller	16,3	17,5	14,9	23,5	27,8	

Med unntak av fast materiale viser tabell 2.5 at det er partikler mindre enn 100 μm som binder mest forurensninger. Likevel bindes også en del tungmetaller til større partikler. I henhold til tabell 2.6 er det en del bly og sink som adsorberes til partikler større enn 100 μm . Det samme kan også sies om kvikksølv.

Tabell 2.6 Fraksjon av tungmetaller fordelt på partikkelstørrelser. Prosent masse fra gater og fortauer. (Sartor & Boyd, 1972)

Metall	Partikkelstørrelse [μm]				
	>2000	840-2000	246-840	104-246	<104
Cr	26,1	13,6	16,3	16,3	27,7
Cu	22,5	20,0	16,5	19,0	22,0
Zn	4,9	25,9	16,0	26,6	26,6
Ni	26,2	14,2	15,3	17,2	27,1
Hg	16,4	28,8	16,4	19,2	19,2
Pb	1,7	2,6	8,7	42,5	44,5
Gjennomsnitt	16,3	17,5	14,9	23,5	27,8

Det er i utgangspunktet lite av partiklene mindre enn 100 μm som blir holdt igjen i sandfang (Sartor & Boyd, 1972), men tabell 2.7 viser at det ved en volumstrøm på omtrent 35 l/s likevel holdes igjen rundt 32% av partikler i denne størrelsesorden (Lager et al., 1977). Dette

tallet baserer seg riktignok på forsøk gjort med et sandfang som har en dimensjon noe større enn hva som er vanlig i Norge, men det anses likevel for å være nyttige resultater. For å minimere utvasking av sand er det i Norge anbefalt å dimensjonere et sandfang til å ha en kapasitet på 20-25 l/s (Lunde, 1988) hvilket vil bety at tilbakeholdelsen av forurensninger sannsynligvis vil være noe større enn ved 35 l/s. Tabell 2.7 viser et utdrag fra resultatene over hvor mye forsøkssand som tilbakeholdes i et sandfang.

Tabell 2.7 Prosent sediment tilbakeholdt i sandfanget (Lager et al., 1977).

Størrelse på forsøkssand [mm]	Volumstrøm [l/s]	
	35,4	14,2
>2,0	96,34 %	98,98 %
0,84-2,0	96,00 %	98,88 %
0,25-0,84	81,18 %	91,54 %
0,10-0,25	32,23 %	45,24 %
0,1-2,0	73,98 %	82,31 %

I tillegg har undersøkelser også vist at slitasje fra bildekk er blant de største enkeltkildene til mikroplastforurensingen i havet (Sundt et al., 2014). Disse gummipartiklene består ofte av mer enn bare rene dekkpartikler. Tungmetaller som stammer fra bremsestøv, veimerking, dieselforbrenning, katalysatorer og asfalt, som allerede er på veibanen blir adsorbent på gummipartiklene når de slites av dekket (Adachi & Tainosho, 2004). Av denne grunn har disse partiklene en massetetthet på mellom 1,7-2,1 g/cm³ hvilket er større enn rene dekkslitasjepartikler som ligger på 1,15-1,18 g/cm³ (Vogelsang et al., 2018). Det vil derfor ikke være kontroversielt å anta at mye av denne forurensningen også kan sedimenteres i et sandfang og dermed holdes tilbake før utslipp i en eventuell resipient.

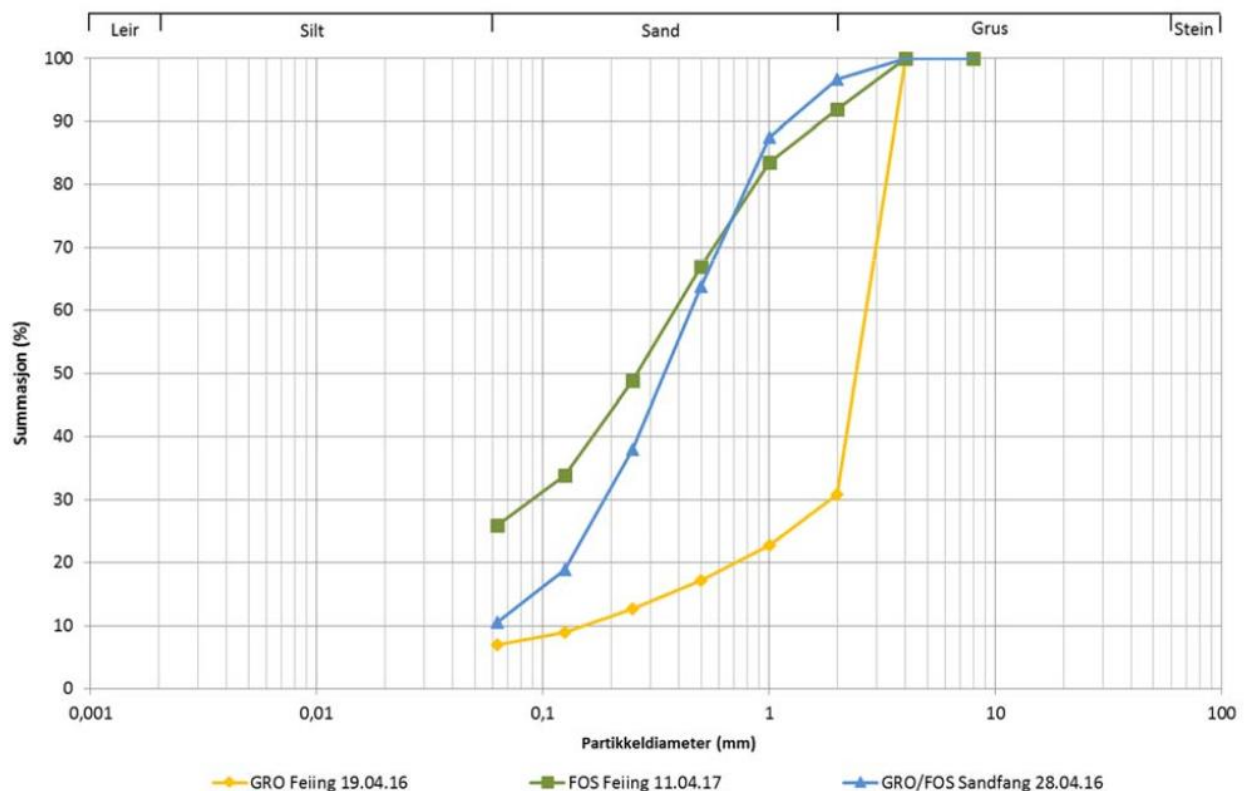
2.4 INNHOLDET I SANDFANGET

Sandfanget består for det meste av en mettett sandfangmasse med et lag vann over dette. Forholdet mellom sandfangmasse og vann i et sandfang er avhengig av porøsiteten til

sandfangmassene. Som eksempel kan det nevnes at en typisk porøsitet for sand er på 45 % (SNL, 2017).

Innholdet i massen kan variere noe basert på aktiviteten rundt sandfanget, men generelt består massen av sand, støv, søppel, organisk materiale og miljøgifter fra gater og veier. I en undersøkelse gjort av COWI på innholdet av miljøgifter kom det frem at i 16 av 18 sandfang som ble studert, var mer enn 60 % av massen sand. Studien viste også at massen inneholdt flere potensielt skadelige stoffer som bly, kobber og benzoperylen (Nesse, 2013).

I en NIBIO-rapport fra 2016 er sandfangmasser fra Fossumveien og Grorudveien i Oslo blitt analysert og laget en kornfordelingskurve over massen til alle sandfangene som er fremstilt i figur 2.3 (Leikanger & Roseth, 2016).



Figur 2.3 Kornfordelingskurve over blant annet sandfangmasser fra to testveier (blå kurve), (Leikanger & Roseth, 2016). Noen av resultatene fra analysene gjort på massene fra rapporten er presentert i tabell 2.8 i mg/kg TS (Leikanger & Roseth, 2016).

Tabell 2.8 Utdrag av resultater fra analyser av metaller i gateoppsop og sandfang i mg/kg TS (Leikanger & Roseth, 2016).

Komponent	Gateoppsop Grorudveien	Gateoppsop Fossumveien	Sandfangmasse begge veier
Arsen	0,92	1,99	1,61
Kadmium	<0,10	<0,10	<0,10
Krom	11,9	20,9	18,8
Kobber	35,1	63,6	57,2
Kvikksølv	<0,20	<0,20	<0,20
Nikkel	13,2	17	12,9
Bly	3,8	6,8	27,1
Sink	113	141	96
Antimon	<0,50	<0,50	<0,50
Jern	13000	14300	11500
Aluminium	12700	8050	6290

Av de komponentene fra sandfangmassene i tabell 2.8 som er nevnt i miljødirektoratets tilstandsklasser for forurenset grunn er alle verdiene karakterisert som «meget god» (Hansen & Danielsberg, 2009). I flere rapporter er det nevnt at forurensninger som blir ført ut i en resipient med overvann er betydelige (Deletic et al., 2000; Lindholm & Haraldsen, 2013). Dette kan med stor sannsynlighet bety at mesteparten av metallene i Fossumveien og Grorudveien ikke blir fanget opp av sandfangene og at dette er årsaken til at sandfangsmassen kan karakteriseres som «meget god». I alle tilfeller gir metallene som kan spores i sandfangmassen en indikasjon på hva som har vært innom sandfanget.

I tillegg til metaller viser NIBIO-rapporten at det i sandfangmassen også finnes en betydelig andel salt, samt olje tilsvarende klassene «moderat» og «dårlig» hvilket er verdier som tilsier at det bør iverksettes tiltak som kan redusere videre spredning (Leikanger & Roseth, 2016).

Vannet i sandfanget er på ingen måter rent. Ved en nedbørhendelse vil de minste partiklene erodere vekk fra sandfangmassen i starten av nedbørhendelsen (Butler & Karunaratne,

1995), hvilket betyr at vannet ut av sandfanget vil inneholde disse partiklene. I en studie som omhandlet modellering av sandfang under nedbør, antas det at slike små, sakte-sedimenterbare partikler har størrelsesorden på mellom 80 og 160 μm (Butler & Memon, 1999). NIBIO-rapportens analyser viste også klare endringer i vannkvalitet gjennom et avrenningsforløp i forbindelse med en nedbørshendelse. Vannprøvene ble tatt rett før overvannet entret Alnaelva, som er resipienten til sandfangene. Innholdet av SS steg raskt før det sakte avtok. Allerede etter 20 min inneholdt vannet over 3 ganger så mye SS som før nedbørsstart (Leikanger & Roseth, 2016). Denne økningen av SS, uavhengig om den kommer fra små partikler som har erodert vekk fra sandfanget eller fra nedbørsfeltet, vil gi vannet en betraktelig høyere turbiditet.

2.5 PROBLEMATIKKEN RUNDT TØMMEINTERVALL

Tømming av sandfang er noe som tradisjonelt sett ikke har blitt gjort ofte nok (Haraldsen, 2017). I tillegg til at det ikke har vært nok kunnskap om betydningen av sandfang, henger manglende tømming også sammen med at det i utgangspunktet ikke har vært noen god oversikt over antallet og hvor sandfangene finnes. Som eksempel kan det nevnes at det i 2014 ble anslått at Oslo kommune hadde omtrent 30 000 sandfang (Ræstad, 2014), mens en spørreundersøkelse i 2018 hvor blant annet Oslo kommune deltok, anslo at kommunen hadde 24000 sandfang. Dette tyder på at det er usikkerhet rundt antallet, hvilket fordrer at det heller ikke er oversikt over hvor alle sandfangene er plassert.

Nevnte NIBIO-rapport fra 2016 kom fram til at sandfangene på teststrekningene fyltes på omtrent 200-500 dager avhengig av veidriften (Leikanger & Roseth, 2016). Når det i Oslo kommune ikke ble tømt mer enn rundt 1500 sandfang i året pr 2014 (Ræstad, 2014), noe som gir et gjennomsnittlig tømmeintervall på hvert sandfang mellom 16-20 år er det sannsynlig at det eksisterer mange overfylte sandfang. Ved å sammenligne to av Norges offentlige utredninger (NOU) som tar for seg klimaendringer kommer det tydelig frem at det er blitt et økt fokus på drift og vedlikehold av sandfang. I NOU 2010: 10 fra 2010 er det mer vage antydninger, mens det i NOU 2015: 16 fra 2015 står konkret at det skal fokuseres på tømming av sandfang (NOU 2010: 10; NOU 2015: 16). Primært skyldes ikke dette fokuset

for mye tilførsel av sand og grus i ledningsnett. Om så hadde vært tilfelle ville det sannsynligvis ha blitt utbedret tidligere, siden dette har pågått i så lang tid. Derimot er det oppsamling av forurensninger som er hovedgrunnen til økt fokus på sandfang. Dette har sammenheng med at det er de minste partiklene som binder mest forurensninger og for at sandfangene skal holde igjen slike partikler må de tømmes fortrinnsvis før de er omtrent halvfulle (Lager et al., 1977, s. 70). I motsatt fall vil konsekvensen bli en utvasking av de allerede oppsamlede partiklene ved første regnskyll, noe som vil føre til en sjokkbelastning av henholdsvis resipienten eller renseanlegget (Mosevoll & Lindholm, 1986). Denne sjokkbelastningen kan være så ødeleggende for en resipient at det derfor er verre å ha et overfylt sandfang enn å ikke ha et sandfang i det hele tatt (Mosevoll & Lindholm, 1986).

I og med at indre Oslofjord allerede er utsatt for mye forurensning (Berge et al., 2013), sendte derfor fylkesmannen ut krav til kommunene rundt fjorden hvor de ble pålagt å registrere alle sandfang, samt sikre gode tømmerutiner av dem (Haraldsen, 2017). Dette pålegget har ført til at eksempelvis Oslo kommune har hatt en betydelig økning av sandfang som blir tømt i året. Og i tidligere nevnte spørreundersøkelse ble det opplyst at det i 2017 ble tømt over 8800 sandfang.

Når kommuner innehar et stort antall sandfang vil det med stor sannsynlighet være et behov for en mer systematisk tilnærming til fast tømmeintervall av dem. Et særlig insentiv for dette kan være en trang økonomi. En rutinepreget tømning hvor også sandfang som ikke er fulle tømmes, er utvilsomt lite økonomisk gunstig. I motsatt ende vil et overfylt sandfang som ikke tømmes på grunn av manglende informasjon om høydenivået være kilde til forurensning i både ledningsnett og resipient.

3 HOVEDIDÉ TIL NIVÅMÅLER



Figur 3.1 Illustrasjon av hvordan løsningen er tenkt seende ut. På toppen sitter en boks som sender dataen via GPRS til internett.

En enkel metode for nivåmåling er bruk av flottør ved at flottøren flyter på vannoverflaten og blir et referansepunkt for vannivået. Siden innholdet i sandfanget vil bestå av både vann og sand hvor sanden vil ligge på bunn mens vannet vil ligge over dette og opp til utløpet, kan ikke flottør brukes til å måle sandnivået. Rosim AS har derfor formidlet en idé om hvordan det kan lages en billig løsning for å måle nivået på sanden. Idéen går ut på at to vertikale rør med en gitt avstand festes inntil rørvæggen. Et av rørene inneholder lysdioder som lyser mot det andre røret hvis innhold er lyssensorer. Tanken er at sanden ikke slipper gjennom lys, mens vannet gjør det. Lyssensorene vil på den måten registrere hvor det er lys og hvor det ikke er lys og dermed vise sandnivået. Avstanden mellom rørene må av den grunn være stor nok til at sandfangmasse sedimenterer mellom dem, men ikke større enn at lys kan gå fra det ene røret via vannet til det andre. Sensoren trenger ikke være i drift mer

enn noen sekunder hver dag. I løpet av disse sekundene vil det være et lysglimt som eventuelt blir registrert. Informasjonen blir deretter sendt videre via et simkort slik at høyden kan leses av på internett. I og med at dette skjer en gang om dagen er det tenkt at batteritiden vil kunne holde i opp mot ti år. En viktig del av idéen er at løsningen skal være så billig at det ikke er noe problem for kommuner å kjøpe inn i store kvanta. Av denne grunn blir dyrere teknologier som for eksempel ultralyd utelukket. Siden blant annet lysdioder og lyssensorer er ekstremt billige i innkjøp vil det være stor sannsynlighet for at en løsning kan ha en salgspris på omtrent 1000 kroner.

Det finnes noen eksisterende produkter med lignende applikasjon som Rosims idee. For eksempel er det flere produkter som benytter akustiske sensorer for å måle nivå av enten vann eller sediment. Et av disse produktene forutser om sandfang flommer over ved å måle høydenivå av vann i sandfanget. Produktet har altså et litt annet fokus enn Rosims ide har, men en akustisk sensor kan også benyttes for å måle høyden av sediment i et sandfang. Det som gjør dette produktet mest interessant er at det er avhengig av dataoverføring. Data fra sensoren samles, lagres ved hjelp av en mini-computer (See et al., 2012). Data sendes en gang om dagen til en server hvor den prosesseres og legges ut på en nettside.

Et annet produkt benytter kraftig infrarødt lys og phototransistorer for å måle høyden av sediment i forskjellige sedimenteringsmetoder (Markland, u.å.). Løsningen består av en sonde med to rør hvor infrarødt lys fra det ene røret måles ved hjelp av phototransistorer i det andre. Legger det seg slam mellom rørene vil dette slå ut på sensorene. Metoden for måling av sedimenthøyde er altså den samme som Rosims ide, men produktet benytter seg ikke av noe form for tråldsdataoverføring. Det ser heller ikke ut som at produktet er laget for permanent instalasjon i en løsning.

3.1 LYSDIODER

En diode er en elektrisk komponent med to elektroder, anode og katode, som leder strøm i én retning, fra anoden til katoden (Larsen, 2018). Til bruk i nivåmåleren er det gunstig å benytte en lysemitterende diode (LED), også kalt lysdioder. Lysdioder er en halvlederdiode

som stråler ut lys når det går elektrisk strøm gjennom den (Larsen, 2018). Sammenlignet med vanlige glødepærer og lysstoffrør har LED mange fordeler som blant annet liten størrelse, mindre varmeutvikling, lang holdbarhetstid og lavt strømforbruk (Chang et al., 2009). Teknologien ble utviklet tidlig på 1960-tallet og det første patentet for praktiske LED ble innsendt i 1962 og godkjent i 1966 (Okon & Biard, 2015). Det er derfor en gammel teknologi som har utviklet seg over tid og det er i dag veldig vanlig i bruk. Den klassiske lysdioden er presentert i figur 3.3. Ved bruk blir den montert på et kretskort hvor all lodding og annen elektronikk finnes på baksiden av kortet. Noe som er mer vanlig i dag er Surface Mount Device (SMD) LED. Dette er lysdioder som består av en base, en LED chip og to terminaler (Orton, 1994). Et eksempel på dette er vist i figur 3.2. Disse lysdiodene er ofte mindre og blir montert på kretskort hvor all elektronikk er på framsiden istedenfor bak.



Figur 3.3 Klassisk LED (Foto: Tilpasset fra Kjell.com)



Figur 3.2 SMD LED (Foto: Tilpasset fra AliExpress.com)

3.2 LYSSENSORER

Lyssensorer brukes for å registre lys, ultrafiolett og infrarød stråling og for å omdanne lysintensitet til elektrisk spenning (Sandstad, 2009). De varierer i funksjonalitet alt etter hvordan de reagerer på lys. Det skilles hovedsakelig mellom tre typer sensorer: fotodiode, fototransistor og fotoresistor, sistnevnte også kalt LDR. For å lese av responsen til

lyssensorene kan de for eksempel kobles til en Arduino hvor reaksjonen til lyssensorene kan leses av som en analog input (Arduino, 2015).

En fotodiode er en type lyssensor som genererer elektrisitet. Når en lysstråle treffer fotodioden blir fotoner absorbert og elektroner frigjøres, og det skapes elektrisk spenning. Den elektriske spenningen som skapes varierer i mengde med lysintensiteten (Jerstad et al., 2013). En fotodiode er mer følsom for enkelte bølgelengder enn andre, basert på hvordan fotodioden er konstruert og hvilket materiale den er laget av.

En fototransistorer er en kombinasjon av en fotodiode og en transistor. Fototransistoren reagerer på lys på samme måte som en fotodiode, men den elektriske energien forsterkes av transistoren (SNL, u.å.). Dermed er en fototransistor mer følsom enn en fotodiode.

En fotoresistor, ofte forkortet til LDR, reagerer på lys ved å endre motstanden sin. Motstanden er høy når fotoresistoren ikke blir utsatt for lys, men minker ettersom fotoresistoren utsettes for økende lysmengde (Jerstad et al., 2013). En LDR-motstand er relativt langsom, slik at raske forandringer i lysintensiteten ikke vil registreres (Andersen, 2009).

Alle lyssensorer er oppgitt med en såkalt bølgelengde-peak. Denne peaken opplyser ved hvilken bølgelengde sensorene er mest følsomme. Ved kombinasjon av en lyskilde og en lyssensor, er det derfor hensiktsmessig å samkjøre disse verdiene. Velges det hvitt lys vil dette dog inneholde tilnærmet alle bølgelengder og det er stor sannsynlighet for at sensoren vil detektere lyset uansett peak.

4 METODE NIVÅMÅLER

4.1 HENSIKT MED FORSØKET

I henhold til Rosims idé til nivåmåleren (se kapittel 0) er det nødvendig å teste ut om det ved hjelp av lys kan skilles mellom vann og sandfangmasse i et sandfang. Det er viktig å undersøke om lyset trenger gjennom vannet som til tider kan inneholde store mengder partikler og suspendert stoff. Lyset må være kraftig nok til at det blir gjennomlysning i vannet, men ikke så kraftig at det blir gjennomlysning i sandfangmassen. Det er derfor viktig å teste forskjellige typer utstyr slik at det blir prøvd ut et bredt spekter av teknologi som finnes. Likevel er det viktig at utstyret som brukes ikke blir for langt unna et endelig produkt. En viktig del av idéen er at sluttproduktet må være billig, enkel å montere og enkel i drift. Derfor skal testingen gjøres med hensyn på dette, slik at testing med utstyr som helt klart ikke vil tilfredsstille disse kravene utelukkes. For enkelthets skyld er det i tabell 4.1 listet opp en oversikt over hva som skal testes.

Tabell 4.1 Oversikt over hva som skal testes ved forsøket.

Hva som skal undersøkes

Responderer sensorer på lys via vann?

Blir samme lys stoppet av sand?

Reagerer forskjellige sensorer ulikt på samme type lys?

Hvor mye påvirker vannets innhold av SS resultatet?

4.2 UTSTYR

Det ble brukt en del tid på å fremskaffe kunnskap, samt bestille utstyr som tilfredsstilte nevnte krav i kapittel 4.1. Det skal i dette kapittelet gis en innføring i dette utstyret. Figur 4.1 viser en overordnet oversikt over utstyret som ble brukt i forsøket. Foruten avbildet utstyr, var det også andre ting som inngikk for å klargjøre testingen. Det er ikke gått noe videre inn på dette enn det som er presentert i tabell 4.4 i kapittel 4.2.3.



Figur 4.1 Oversikt over utstyret som ble brukt i forsøket (Foto: Jørgen Narvestad)

4.2.1 Lyskilder

Tabell 4.2 viser en oversikt over hvilke lyskilder som ble brukt i forsøket. Det er valgt ut fem forskjellige typer som tilfredsstillt kravspesifikasjonene og derfor kan være relevante til videre bruk. Det ble kjøpt inn minst fem stk av hver lyskilde.

Tabell 4.2 Oversikt over lyskilder brukt i forsøket

Ref.kode	Type	Strømforbruk	Lysstyrke	Leverandør	Vedlegg
Lys A	Laser-diode	700 mA	-	Ikke oppgitt	-
Lys B	LED	25 mA	25000 mcd	Elfa Distrelec	C.8
Lys C	SMD-LED	350 mA	38000 mcd	AliExpress.com	C.9
Lys D	LED	30 mA	35000 mcd	RS Components	C.10
Lys E	SMD-LED	750 mA	65000 mcd	AliExpress.com	C.9

De to kraftigste lyskildene er kjøpt fra nettstedet AliExpress.com hvilket ikke er så gunstig, da kvaliteten på produkter fra slike nettsteder kan være varierende. Dessuten er det vanskelig å si noe om hvor lenge de vil være mulig å få tak i. Dette gjør de kanskje mindre egnet for masseproduksjon. Argumentet for likevel å teste dem er at det eksisterer veldig mange forskjellige lyskilder på markedet og det er derfor stor sannsynlighet for at det er mulig å få andre LED med samme egenskaper/lysintensitet fra en anerkjent elektronikkleverandør. Lysdiodene fra AliExpress.com er dessuten lette å lodde på, hvilket vil være gunstig i dette forsøket. Mange av de sterke lysdiodene fra elektronikkleverandørene er mer beregnet for masseproduksjon av komponenter og er derfor veldig små og vanskelige å lodde på for hånd.

Av de fem lyskildene viser tabell 4.2 at det er lys E etterfulgt av lys C og lys D som er kraftigst. Selv om lys D er nesten like sterkt som lys C opplevdes lys D merkbart svakere og ligner derfor mest på lys B. Dette kan ha noe med at lysspredningen var mindre på lys B og lys D kontra lys C og lys E.

Det ble opprinnelig kjøpt inn fem laser-dioder fra Elfa Distrelec, men da en del av disse ble ødelagt under monteringen, ble det heller brukt noen andre laser-dioder som Rosim hadde på lager. Det er uvisst hvem som er leverandøren til disse. Men da det på dette stadiet var mer interessant om lasere i det hele tatt kan fungere som en løsning anses eksakt type som blir brukt ikke som relevant. Det finnes heller ingen opplysninger om lysstyrken på lys A.

4.2.2 Lyssensorer

Det ble kjøpt inn 6 forskjellige lyssensorer med forskjellige egenskaper for å se hvilke som passet best til videre bruk. Av hver type ble det kjøpt inn minst 5 stk. Tabell 4.3 presenterer de forskjellige sensorene som ble testet ut.

Tabell 4.3 Oversikt over lyssensorene brukt i forsøket.

Ref.kode	Type	Bølgelengde peak	Leverandør	Vedlegg
Sensorlist A	Fototransistor	570 nm	Elfa Distrelec	C.2
Sensorlist B	Fotoresistor	600-650 nm	Farnell	C.3
Sensorlist C	Fotoresistor	550 nm	RS Components	C.4
Sensorlist D	Fotoresistor	550 nm	RS Components	C.5
Sensorlist E	Fototransistor	570 nm	RS Components	C.6
Sensorlist F	Fotodiode	860 nm	RS Components	C.7

De fleste sensorene har en maks sensitivitet på rundt 550-600 nm, hvilket vil si grønt, gult og oransje lys, men siden hvitt lys inneholder alle farger er det ikke tatt særlig hensyn til dette under valg av sensorer.

4.2.3 Annet utstyr

Utover lyssensorer og lyskilder er det nødvendig med utstyr for å gi riktig mengde strøm til diodene, registrere signalene fra sensorene samt annet utstyr for gjennomføringen av forsøket. Dette presenteres i tabell 4.4.

Tabell 4.4 Diverse utstyr brukt til forsøket.

Beskrivelse	Kommentar	Antall
Motstander	1 Ω - 1 M Ω	1460 stk
Ledninger	0,2 mm ²	2 ruller á 100 m
Tank	Plastfat, 200 liter	1
Strømforsyning	0-30 V, 0-5 A	1
Arduino	Uno	6
Pleksiglassrør med bunn	Rektangulær, 50 cm høy	2
Trelister	Skal passe i rørene	11
Koblingsbrett	Med 170 hull	6
Pc	Med Arduino programvare	1
Diverse verktøy		
Tung vekt	Murstein e.l.	4
Kanner/ bøtter	Til frakt av sandfangmasse	

4.3 FREMGANGSMÅTE

4.3.1 Klargjøring av testrigg

For å ha mest mulige like forhold hva angår ytre påvirkninger, vil det være mest gunstig å simulere et sandfang innendørs. Da det var ønskelig å gjøre testingen så virkelighetsnær som mulig ble det bestemt å hente både vann og sandfangmasse fra et faktisk sandfang på NMBU sitt område i stedet for å bruke testsand og vann.

Til kum ble det brukt et plastfat med en diameter på omtrent 55 cm. Toppen ble kappet av slik at dybden ble på omtrent 75 cm. Dette er riktignok mindre dimensjoner enn et vanlig norsk sandfang, men for dette formålet er ikke dimensjonene det kritiske, og det ble derfor ansett som tilfredsstillende.

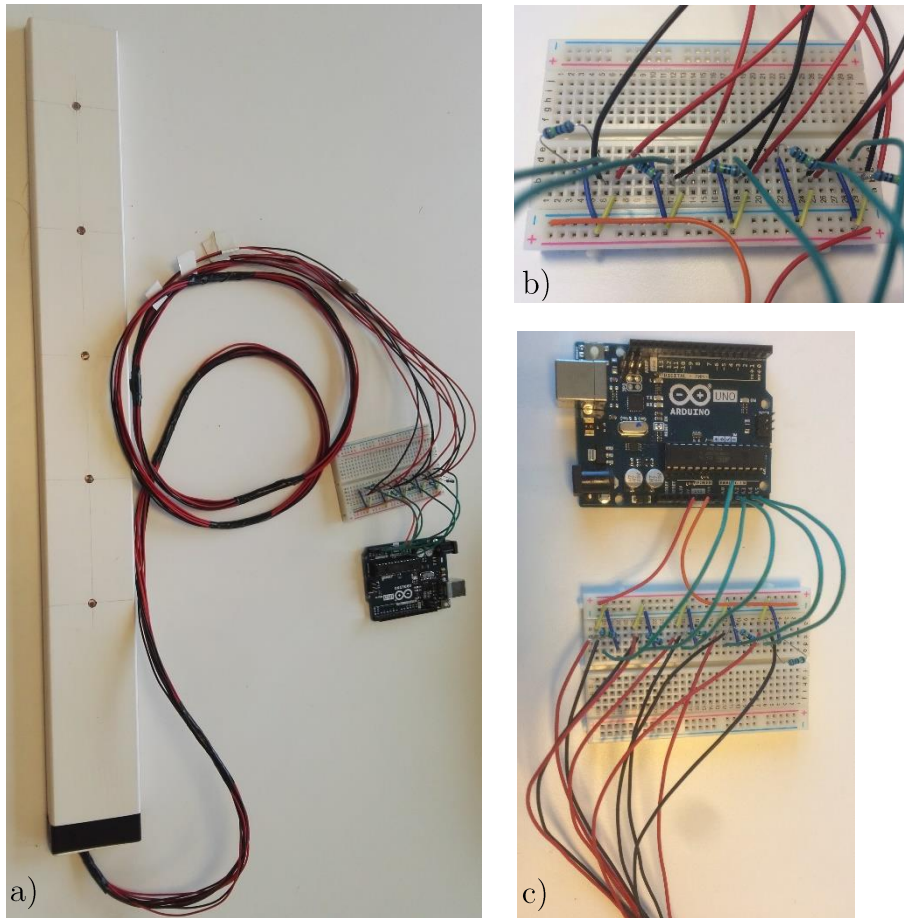
For at det skulle være mulig å bytte ut lyskildene og sensorene på en effektiv og enkel måte, ble komponentene montert på trelister som kunne skyves inn og ut av pleksiglassrørene som sto fast nede i testkummen. Pleksiglassrørene var rektangulære for at listene med sensorene

kunne ligge helt inntil rørveggen. Hensikten med dette var å unngå at lys kunne komme inn i røret og bevege seg nedover til en sensor som for eksempel ligger under sandnivået, noe som ville ha ført til at en sensor kunne gitt feilaktig utslag. Figur 4.2 viser en av trelistene som ble laget ved å bore hull som passet eksakt til hver komponent slik at de ble sittende fast i listen. Avstandene mellom hullene ble satt til 7,5 cm og første hull skulle være 5 cm fra bunnen. Hver trelist fikk tildelt en referansekode som samsvarte med det faktiske produktnummeret til utstyret som var montert på dette. Referansekodene er i henhold til tabell 4.2 og tabell 4.3. I tillegg ble hver komponent nummerert fra en til fem, hvor en var det nederste, mens fem sto øverst og ikke var tildekt med vann. Nummereringen er presentert i figur 4.2.



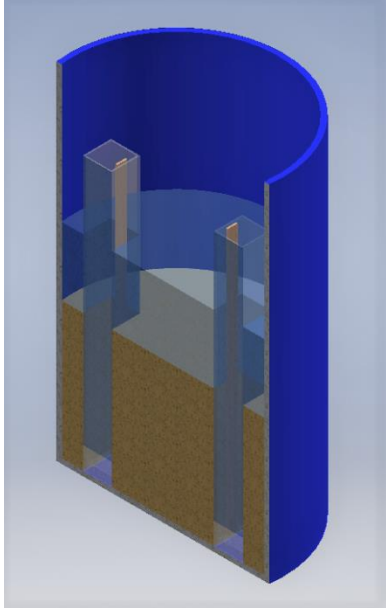
Figur 4.2 En ferdig laget trelist med fem lyssensorer. Overflaten var viktig å få flat slik at den kunne ligge helt inntil pleksiglasset. Hver komponent ble nummerert i henhold til figuren, hvor nr. 1 var plassert nederst i sylindere. (Foto: Einar Løvdal)

Da komponentene var satt inn i hver sin respektive trelist ble de loddet på baksiden. For å forenkle strømtilførselen til lyskildene ble disse seriekoblet, mens lyssensorene måtte være separate og ble koblet til egne innganger via et koblingsbrett til en arduino. Seriekobling av lysdiodene vil normalt gi noe større tap, men i og med at strømforsyningen kan gi variabel mengde strøm og spenning hadde ikke dette noe å si for forsøket. Koblingen av en trelist med fotoresistorer er presentert i figur 4.3.



Figur 4.3 a) Lyssensorer ferdig koblet og klar til bruk (Foto: Einar Løvda). b) Nærbilde av koblingsbrett (Foto: Jørgen Narvestad). c) Nærbilde av koblingsbrett og arduino (Foto: Jørgen Narvestad).

Pleksiglassrørene ble plassert nede i kummen, med 5 cm avstand mellom hverandre, før sand og vann ble tilført. For å holde rørene på plass ble det lagt vekter på toppen av dem. Figur 4.4 illustrerer hvordan testriggen var, uten vekter plassert på toppen



Figur 4.4 Illustrasjon av testrigg.
Riggen er delt i to for enklere
visualisering.

4.3.2 Programmering og kobling av krets

Siden det ikke var avansert programmering som trengtes for å lese hvorvidt en sensor registrerer lys, ble det bestemt at bruk av Arduino var hensiktsmessig under testingen. Denne ble programmert slik at sensorenes reaksjon kunne leses av. Arduinoen registrerte målinger hvert sekund og det ble derfor tydelig hvis utenforstående forhold påvirket resultatene ved at sensorenes spenning ikke var stabile over tid.

Oppkoblingen av lyssensorene og Arduinoen er basert på oppsettet illustrert i figur 4.5, men tilpasset for 5 sensorer. Røde ledninger fører strømmen til sensoren, mens svarte leder strømmen tilbake til jord. Den gule ledningen til input-pinnen A0 har ingen innvirkning på kretsen, men den gjør det mulig å lese av spenning som går over lyssensoren.

Kretsen kan gjøres mer sensitiv ved å øke verdien på resistoren, noe som gir større utslag på input-pinnen A0 for samme spenning gjennom kretsen. Prinsippet kan vises ved en omskriving av Ohms lov som gir formelen for spenningsdeling (Arduino, 2015):

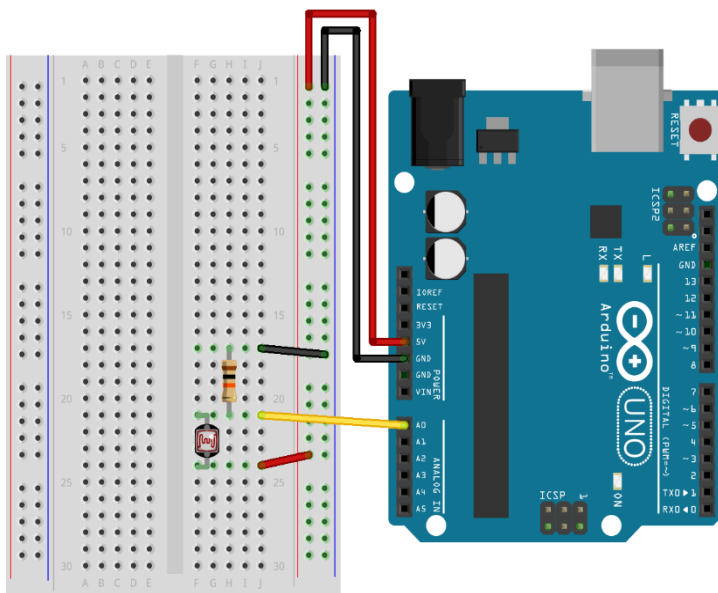
$$V_{ut} = V_{inn} * \frac{R_2}{(R_1 + R_2)}$$

Symbolene i formelen er forklart i tabell 4.5.

Tabell 4.5 Forklaring av symbolene brukt i formelen for spenningsdeling.

Symbol	Forklaring
V_{ut}	Målt spenning
V_{inn}	Spennning inn i kretsen
R_1	Variabel resistor
R_2	Resistor

Fotoresistoren i figur 4.5 fungerer som en variabel resistor R_1 , hvor motstanden synker med økende lysintensitet. Ved å benytte en resistor R_2 med høy motstand, øker V_{ut} hurtig ettersom motstanden i R_1 synker.



Figur 4.5 Illustrasjon av hvordan en fotoresistor kan kobles til en Arduino. (Illustrasjon: Tilpasset fra arduino.cc)

Scriptet med tilhørende forklaring finnes i vedlegg C.1

4.3.3 Gjennomføring av forsøkene

Før sand og vann ble tilført kummen, ble sensorer og lyskilder testet ned i pleksiglassrøret slik at eventuelle feil kunne rettes opp. På denne måten var det også enklere å gjøre justeringer og kontrollere disse slik at testriggeren var ferdig kalibrert da innhold ble tilført.

Kummen ble fylt med omtrent 45 liter sand, hvilket var mengden som skulle til for at sensor 1 og 2, samt lys 1 og 2 ble helt dekket. Deretter ble det fylt opp med omtrent 40 liter vann slik at sensor 3 og 4, samt lys 3 og 4 ble dekket med vann. Sensor 5 og lys 5 sto over vannivået og var ment som kontroll for å enkelt kunne observere at alt fungerte.

I et typisk sandfang vil det kunne komme lys ned i kummen via toppristen, men mengden lys vil variere fra sandfang til sandfang. Det vil derfor være fordelaktig å tillate så lite lysforurensing som mulig i løpet av testingen, slik at resultatene ikke vil være avhengig av dette. Det ble derfor plassert en presenning over kummen under hver test.

Alle lyskilder og sensorer ble først testet like etter at kummen var fylt opp med sandfangmasse, hvilket vil si at partikler ikke hadde fått tid til å sedimentere. Sensorene ga lite utslag og det ble derfor bestemt at det var hensiktsmessig å la partikler sedimentere en dag. Dette kan rettferdiggjøres med at det kun er under nedbørshendelser det blir turbulens i vannet, mens det vil bli god tid til at partikler kan sedimentere mellom hver nedbørshendelse. Når det er tenkt at sensoren bare skal registrere en gang i døgnet vil det med stor sannsynlighet være flere målinger som blir gjort med vann hvor partikler har sedimentert.

Oppsummert ble hver enkelt sensortreliste testet for alle typer lyskilder, med forskjellige konfigurasjoner i kummen. Disse konfigurasjonene er presentert i tabell 4.6.

Tabell 4.6 Oversikt over de forskjellige testkonfigurasjonene.

Forsøk nr	Sandfangegenskaper	Sensoregenskaper
1	Ikke sedimentert	Mindre sensitiv
2	Sedimentert	Mindre sensitiv
3	Sedimentert	Sensitiv
4	Ikke sedimentert	Sensitiv

Da det var ønskelig med mer utslag ble det gjort noen forandringer på elektronikken for å gjøre kretsene mer sensitive for lys. Dette ble gjort ved å øke motstanden i kretsene. Tabell 4.7 viser kombinasjoner av sensorer og motstander som er benyttet i de forskjellige forsøkene. Sensorene ble deretter testet både i vann med sedimenterte partikler og i vann med omrøring, altså ikke sedimenterte partikler.

Tabell 4.7 Kombinasjon av sensorer og motstand benyttet i de forskjellige forsøkene

Sensorlist	Motstand benyttet i forsøk 1 og 2 (Ω)	Motstand benyttet i forsøk 3 og 4 (Ω)
A	10k	1M
B	4.7k	1M
C	4.7k	820k
D	470R	220k
E	10k	1M
F	1M	1M

4.3.4 Verifikasjon

Som verifikasjon på at sensor 1 registrerte lys fra lys 1, og sensor 2 fra lys 2 og så videre, ble det gjennomført et forsøk hvor kun de to nederste lysdiodene var i bruk. Dette forsøket var også ment som verifikasjon på at det ikke var noe gjennomlysning av sanden.

5 METODE MODELL

Dette kapitlet beskriver oppbygningen av en modell for hvordan et sandfang fylles over tid. Massetransport fra et nedbørsfelt til et sandfang har blitt modellert i SWMM, mens estimeringer av høydenivå over tid er beregnet ved hjelp av Python. I arbeidet med modellen har det gått mye tid til å sette seg inn i SWMM, og finne en metode for å håndtere datamengdene generert av SWMM.

Målet med modellen er at den skal gi ut likt høydenivå på sedimentet som et faktisk sandfang fra NIBIO-rapporten. På denne måten kan det så forandres på input-verdier som samsvarer med et vilkårlig sandfang hvis høydenivå dermed kan beregnes. For å oppnå dette må blant annet verdiene i en såkalt washoff-funksjon defineres, noe det skal gås mer inn på i kapittel 5.2.3.

Data til nedenstående modell er i størst mulig grad hentet fra nevnte NIBIO-rapport. Det skal undersøkes om modellsandfanget kan gi samme fyllingsgrad som det utvalgte sandfanget i NIBIO-rapporten ved tre tidspunkt i perioden 22.06.15 til 03.10.16, hvor sandfanget tømmes. Det skal også undersøkes om en justeringsfaktor for høyden kan implementeres i Python-scriptet for å beskrive hvordan et sandfangs evne til å holde tilbake partikler svekkes etter hvert som høydenivået i sandfanget stiger.

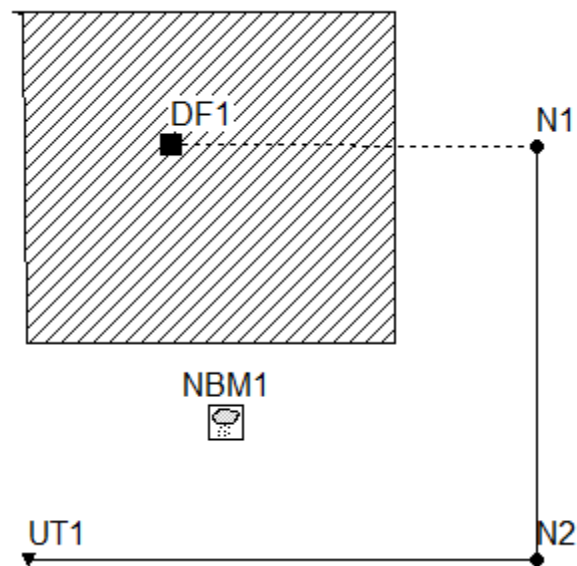
Rapporten fra NIBIO tar blant annet for seg sandfang i Fossumveien og Grorudveien i Oslo. Modellen baseres på sandfang FOS01 i Fossumveien, markert med rød ring i figur 5.1. Sandfanget er det første i en av to rekker med seriekoblede sandfang. Ved å velge dette sandfanget unngås problematikken med at seriekoblede sandfang kan få tilført materiale fra oppstrøms sandfang, noe som ville komplisere modellen.



Figur 5.1 Oversikt over sandfang på teststrekningen i Fossheimveien. FOS01 er markert med rød ring. (Illustrasjon: Tilpasset fra Leikanger og Roseth (2016))

5.1 OPPBYGNING AV MODELL I SWMM

EPA Storm Water Management Model (SWMM) er en dynamisk nedbør- og avrenningsmodell som kan simulere avrenning fra regn over en lengre periode, eller ved en enkelt nedbørshendelse (Rossman, 2015). I tillegg kan oppbygning og avrenning av partikler fra et nedbørsfelt modelleres. Avrenning ledes ned i avløpsnettet hvor SWMM kan beregne blant annet volumstrøm, trykk og vannkvalitet.

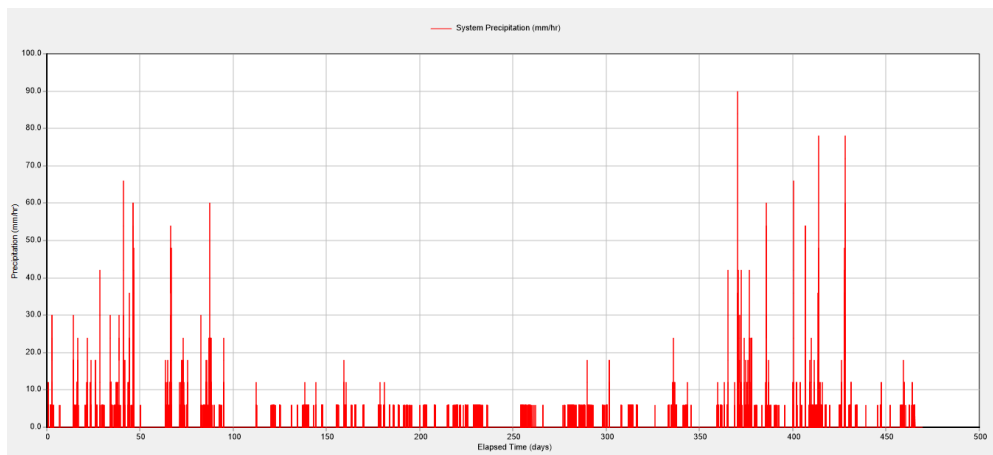


Figur 5.2 Skjermdump av SWMM-modell

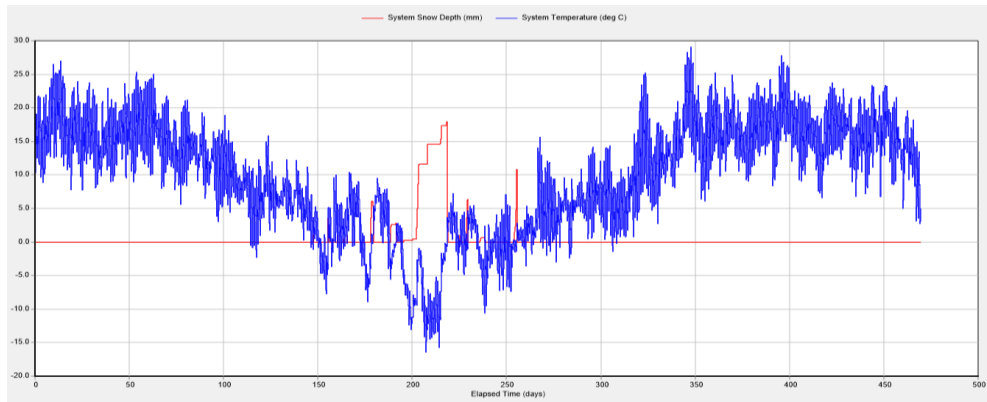
Figur 5.2 viser hvordan modellen ser ut i SWMM. DF1 er nedbørfeltet som er knyttet til noden N1. Størrelsen på nedbørfeltet DF1 er funnet ved å dele teststrekningen til NIBIO i Fossumveien opp i seks like store deler, hvor hver del tilhører et sandfang. Teststrekningen vist i figur 5.1 er 300 m og det antas at bredden på nedbørfeltet er 10 meter. Nedbørfeltets areal blir da:

$$\frac{300 \text{ m} * 10 \text{ m}}{6} = 500 \text{ m}^2$$

All nedbør som faller på DF1 renner inn i avløpsnettet via N1 da det er antatt at nedbørfeltet har en overflate av impermeabel asfalt. Nedbørfeltets helning er satt til 3 % og lengste strømningsvei er satt til 25 meter. Nedbørsdata legges inn i modellen via nedbørmåleren NBM1 og er hentet fra Meteorologisk institutts klimadatabase, eklima. Det benyttes nedbørdata fra Vestli med minutttoppløsning fra perioden 22.06.15 – 03.10.16, som presentert i figur 5.3. Det ble forsøkt hentet temperaturdata fra Vestli og Haugenstua, men da dataene fra disse var meget usikre, ble det i stedet benyttet data fra målestasjonen på Blindern, som vist i figur 5.4. Temperaturdataen benyttes i en «Snow pack» for å definerer om nedbør faller som regn eller snø, og er en viktig faktor for akkumulering og smelting av snø i SWMM.



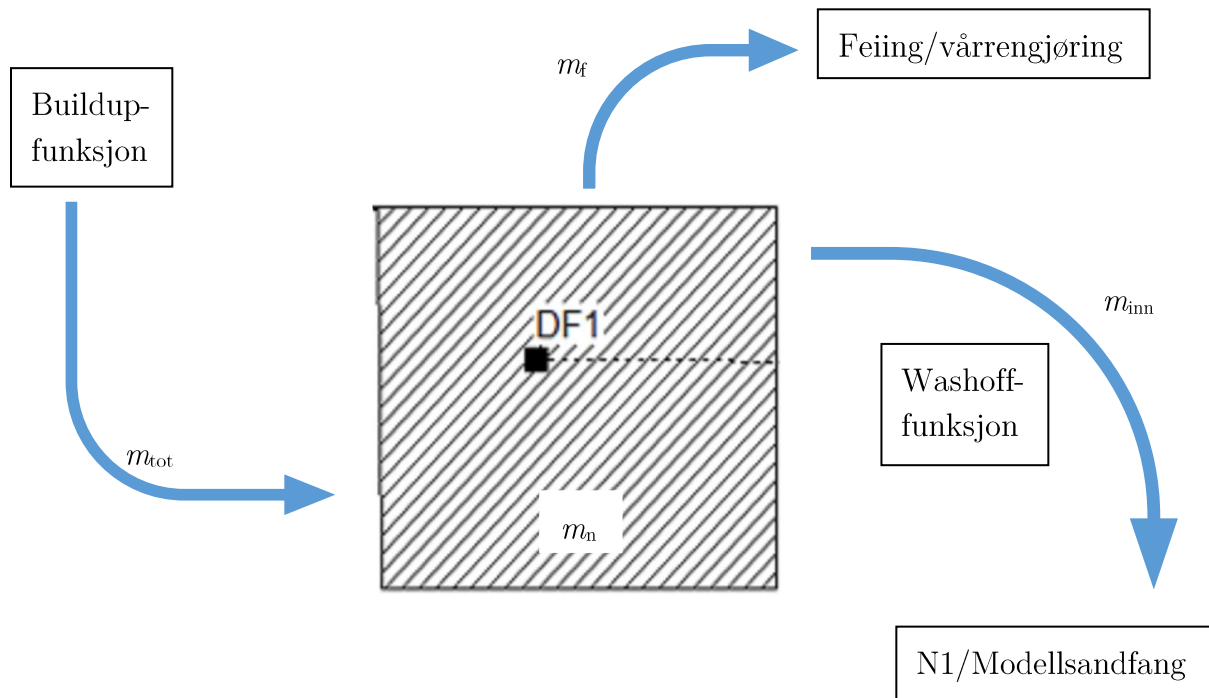
Figur 5.3 Nedbør gjennom simuleringsperioden (Skjermdump fra SWMM).



Figur 5.4 Temperatur (blå) og snødybde (rød) gjennom simuleringsperioden (Skjermdump fra SWMM).

5.2 MASSETRANSPORT

I SWMM er det som nevnt mulig å modellere oppbygning og avrenning av partikler i et nedbørsfelt. Dette kan gjøres ved å definere et materiale i «Pollutants» og tilegne en «Land Use» til et nedbørsfelt. I «Land Use» benyttes buildup- og washoff-funksjoner for å modellere massetransporten av materialene som er definert i «Pollutants».



Figur 5.5 Skjematisk framstilling av massetransport inn og ut av nedbørsfeltet DF1.

Figur 5.5 beskriver massetransporten inn og ut av nedbørsfeltet DF1 i SWMM-modellen. Buildup-funksjonen brukes for at massen m_{tot} skal bygges opp i nedbørsfeltet DF1. Washoff-funksjonen sørger for at massen m_{inn} transporteres til noden N1 med avrenning fra DF1. Massen m_f fjernes fra DF1 ved feiing/vårrengjøring, mens m_n er massen som til slutt blir liggende igjen i nedbørsfeltet DF1.

Massen m_{tot} er summen av massene som bygges opp over tid i SWMM-modellen og kan i henhold til figur 5.5 beskrives som:

$$m_{tot} = m_f + m_{inn} + m_n$$

Symbolene er for enkelthets skyld sammenfattet i tabell 5.1.

Tabell 5.1 Oversikt over symbolene brukt i formelen.

Symbol	Forklaring
m_{tot}	Total masse i SWMM-modell [kg]
m_{inn}	Total masse inn til sandfang [kg]
m_{f}	Masse som feies opp [kg]
m_{n}	Masse som blir liggende igjen i nedbørsfeltet [kg]

5.2.1 Buildup-funksjonen og m_{tot}

Oppbygning av materiale på et nedbørsfelt i SWMM kan gjøres under «Buildup» i «Land Use» ved hjelp av en Buildup-funksjon (Rossman & Huber, 2016). Denne oppbygningen danner grunnlaget for hvor mye partikler som maksimalt kan renne av nedbørsfeltet. Buildup-funksjonen som er benyttet er presentert nedenfor:

$$m_{\text{b}} = \text{Min}(B_{\text{max}}, K_{\text{B}}t^{N_{\text{B}}})$$

Hvor tabell 5.2 forklarer de forskjellige symbolene.

Tabell 5.2 Forklaring til symbolene brukt i Power-funksjonen.

Symbol	Forklaring
m_{b}	Oppbygning av materiale [kg]
t	Oppbygningstid, dager
B_{max}	Maks oppbygning av materiale [kg/ha]
K_{B}	Oppbygningskonstant [kg/ha]
N_{B}	TidsekspONENT

Ved å sette tidsekspONENTEN N_{B} lik 1 blir oppbygningen av materiale over tid lineær. Forsøk gjort av Sartor & Boyd (1972) tyder på at oppbygning av materiale på overflater ikke er

lineær. I SWMM-modellen er N_B likevel satt lik 1, da det gjør oppbygningen av materiale lettere å kontrollere.

I SWMM-modellen bygges det opp to materialer over tid uavhengig av hverandre. Disse har blitt kalt «sand» og «forurensing». Sand skal hovedsakelig beskrive oppbygning av strøsand på vinterstid, mens forurensing beskriver oppbygning av alt annet materiale. I «Pollutants» er det mulig å bestemme om et materiale kun skal akkumuleres når det ligger snø i nedbørsfeltet. Dette er gjort for sand, og oppbygning skjer da kun på dager hvor det ligger snø i nedbørsfeltet DF1. Oppbygningen av forurensing foregår på tørrværsdager gjennom hele simuleringsperioden.

Oppbygning av partikler m_{tot} i nedbørsfeltet baseres på informasjon fra NIBIO-rapporten. Ifølge Leikanger og Roseth (2016) akkumuleres 24 500 kg partikler/km vei årlig i Fossumveien. Skaleres denne oppbygningen av partikler ned til nedbørsfeltet DF1, blir oppbygningen av masse m_{tot} i SWMM i perioden 22.06.15-03.10.16:

$$m_{tot} = \frac{24500 \text{ kg/km} * 50\text{m} * 469 \text{ dager}}{1000 * 365 \text{ dager}} = 1574 \text{ kg}$$

5.2.2 Feiing og m_f

Vårrengjøring ble utført 11.04.16 i Fossumveien. Ved feiing i SWMM fjernes en prosentvis andel av partikkelinnholdet på nedbørsfeltet. Dette legges inn som «sweeping» i «Land use». SWMM ser på materialene separat, og tar utgangspunkt i hvor mye masse av hvert materiale som ligger i nedbørsfeltet når det feies. Det må så defineres hvor mye masse av hvert materiale som skal være tilgjengelig for å kunne feies opp, og hvor mye av den tilgjengelige massen som faktisk skal feies opp.

Massen m_f som feies opp i SWMM-modellen settes lik 46 % av m_{tot} hvilket er tilsvarende massen som feies opp under vårrengjøring 11.04.16 i Fossumveien. Dette betyr at:

$$m_f = 1574 \text{ kg} * 46\% = 724 \text{ kg}$$

5.2.3 Washoff-funksjonen, m_{inn} , m_{sf} og m_{ut}

Avrenning av partikler fra et nedbørsfelt kan i SWMM modelleres under «Washoff» i «Land Use» ved hjelp av en washoff-funksjon (Rossman & Huber, 2016). Det er denne avrenningen som transporterer partikler ned i sandfanget og funksjonen er derfor helt essensiell i videre beregninger. Washoff-funksjonen er presentert nedenfor:

$$w = K_W * q^{N_W} * m_b$$

I tabell 5.3 presenteres en forklaring på symbolene.

Tabell 5.3 Forklaring til symbolene i eksponentiell-washoff-funksjonen.

Symbol	Forklaring
w	Avrenning av partikler [kg/time]
K_W	Washoff-koeffisient [mm^{-1}]
q	Avrenning fra feltet per areal [mm/time]
N_W	Washoff-eksponent
m_b	Oppbygning av partikler på nedbørsfeltet [kg]

SWMM estimerer avrenningen q ved hjelp av nedbørsdata. Oppbygningen av materiale m_b beregnes av buildup-funksjonen. For at høyden til modellsandfanget til slutt skal bli så nær som mulig et vilkårlig sandfang, må variablene K_w og N_w justeres etter hver simulering helt til funksjonen gir riktig mengde masse inn til sandfanget.

Den totale massen m_{inn} som renner til node N1 er ukjent, men består av massen som sedimenterer i sandfanget og massen som *ikke* sedimenterer i sandfanget. Dette kan skrives som:

$$m_{inn} = m_{sf} + m_{ut}$$

Hvor tabell 5.4 forklarer symbolene.

Tabell 5.4 Oversikt over symboler brukt i formelen.

Symbol	Forklaring
m_{sf}	Masse som sedimenterer i sandfanget [kg]
m_{ut}	Masse som renner gjennom sandfanget [kg]

Massen m_{sf} er i henhold til tabell 5.4 massen som sedimenterer i sandfanget. NIBIO-rapporten har oppgitt massetetthet, porøsitet og volum av sandfangmassen i FOS01. På grunnlag av dette forventes m_{sf} til å bli 646,8 kg.

I tillegg til dette er det partikler som ikke rekker å sedimentere og derfor renner gjennom sandfanget. Denne mengden kalles i henhold til tabell 5.4 m_{ut} . Lager et al. (1977) har gjort forsøk på et sandfangs evne til å holde tilbake partikler ved forskjellige volumstrømmer. Resultater fra dette forsøket er noe som er blitt brukt til å regne ut en forventet m_{ut} til å bli 60,1 kg.

5.2.4 Resterende masse m_n

I NIBIO-rapporten er det ikke tatt høyde for at en mengde partikler blir liggende igjen i Fossumveien, men det virker sansynlig at dette kan være tilfelle. Sartor & Boyd (1972) konkluderte blant annet i deres forsøk at de minste partiklene stort sett ikke blir tatt opp under gatefeiling. Av den grunn er det sannsynlig at det blir en resterende masse m_n igjen på nedbørsfeltet, og i DF1 i SWMM-modellen forventes dette dermed å bli:

$$m_n = 1574 \text{ kg} - 724 \text{ kg} - 706,9 \text{ kg} = 143,1 \text{ kg}$$

5.2.5 Masser i SWMM-modellen

Tabell 5.5 viser en oversikt over massene m_{tot} og m_f brukt i SWMM-modellen. Tabellen viser at massene er delt inn i forurensing og sand.

Tabell 5.5 Oversikt over masser i SWMM-modellen.

Masser	Forurensing [kg]	Sand [kg]	Total [kg]
Masse som bygges opp (m_{tot})	973,8	600,2	1574
Masse som feies opp (m_t)	449	275	724

Modellen kalibreres slik at total mengde avrenning av partikler blir m_{inn} på 706,9 kg, hvilket fører til at m_n blir 143,1 kg. Dette er sammenfattet i tabell 5.6 hvor verdiene også her er spesifisert for forurensing og sand.

Tabell 5.6 Oversikt over forventede verdier i modellen.

Masser	Forurensing	Sand	Total
Masse inn til sandfanget (m_{inn})	436,1 kg	270,8 kg	706,9 kg
Masse som blir liggende igjen i nedbørsfeltet (m_n)	88,7 kg	54,4 kg	143,1 kg

For utregninger til verdiene i tabell 5.5 og tabell 5.6 henvises det til vedlegg B.

5.3 BEREGNING AV HØYDENIVÅ

For å beregne høydenivået i sandfanget blir resultater fra SWMM behandlet videre i et skript i Python. Skriptet er laget som en funksjon som tar en tekstfil inn og gir et datasett ut. Tekstfilen inneholder informasjon om volumstrøm, mengde forurensing og mengde sand inn i sandfanget per minutt. Disse massene er tidligere blitt omtalt som m_{inn} . I datasettet kan blant annet parametre som massetetthet og naturligvis høydenivået til sedimentets masse leses av.

Skriptet går minutt for minutt gjennom hva som går ned i sandfanget og beregner deretter hva som sedimenterer og hva som passerer. Ut i fra massen som sedimenterer blir høyden beregnet. For mer detaljert informasjon om skriptet henvises det til vedlegg A.7. I nedenstående kapitler skal det gås gjennom hva som ligger til grunn for å beregne den endelige høyden av sedimentet.

5.3.1 Estimering av sedimenteringseffektivitet

Data over hvor mange kilo sand og forurensing som fraktes fra nedbørsfeltet og ned i node N1 hentes ut fra SWMM. For å finne høydenivået må først sandfangets sedimenteringseffektivitet ϵ , altså den andelen av innkommende partikler som sedimenterer, beregnes:

$$\epsilon = \frac{w_s}{w_s + \frac{Q}{A}}$$

Som det kan ses er sedimenteringseffektiviteten ϵ blant annet avhengig av sedimenteringshastigheten w_s :

$$w_s = \alpha \frac{g * d^2 * (S - 1)}{18 * \nu}$$

Partikkeldiameteren d er hentet fra den grønne kornfordelingskurven til de oppfeide massene i figur 2.3 og settes til $d=0,27$ mm som er d_{50} av de oppfeide massene i Fossumveien.

Sedimenteringseffektiviteten beregnes for hvert materiale (sand og forurensing). Deretter beregnes masse og densitet til den akkumulerte massen slik at høyden på sedimentet kan finnes ved bruk av følgende formel:

$$h_{\text{sfm}} = \frac{m_{\text{sf}}}{\rho * (1 - n) * A}$$

Hvor variablene er forklart i tabell 5.7.

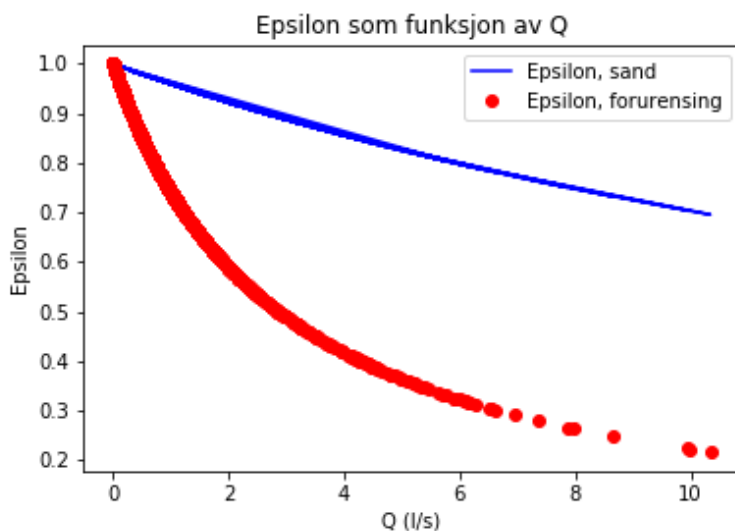
Tabell 5.7 Variablene brukt i høydeformelen

Variabel	Forklaring
h_{sfm}	Høyden på sandfangmassen
m_{sf}	Massen til sedimentet i sandfanget
ρ	Massetettheten til sedimentet i sandfanget
n	Porøsiteten til sedimentet
A	Grunnflatearealet av sandfanget

Som det kan observeres tar formelen hensyn til porøsiteten til massen i sandfanget. Uten dette vil densiteten ikke bli korrekt, da sandfangmassen naturlig nok inneholder mye porer som mest sannsynlig er fylt med vann. Når massen veies må altså massen til innholdet i porene trekkes fra.

Porøsiteten til sandfangmasser er vanskelig å beregne uten målinger. Sandfangmassen i FOS01 hadde en massetetthet på 1773 kg/m^3 , og en porøsitet på 24 % (Leikanger & Roseth, 2016). Disse verdiene gjelder kun for denne spesifikke sammensetningen i sandfanget. Siden det i SWMM er forenklet til at sandfangmassen skal bestå av to materialer er det ikke gitt at SWMM-modellen gir lik sammensetning i sandfangmassene som det faktiske sandfang, og derfor er porøsiteten til sandfangmassene ukjent. Fysiske målinger vil naturlig nok ikke være mulig å gjennomføre i SWMM. Ved beregninger av høydenivå i modellsandfanget vil derfor forskjellige porøsiteter testes, og en sensitivitetsanalyse på forholdet mellom høyde og porøsitet gjennomføres.

Figur 5.6 viser to grafer over sedimenteringseffektiviteten med hensyn på volumstrøm for henholdsvis sand og forurensing. Det er forskjellige effektiviteter alt etter sedimenteringshastigheten til partiklene. I henhold til figur 5.6 er det tydelig at effektiviteten synker raskere for forurensing ved økende volumstrøm enn den gjør for sand.



Figur 5.6 Epsilon for sand og forurensing som funksjon av volumstrøm.

Til slutt bør høyden i sandfanget bestå av den totale mengden sediment m_{sf} beregnet i kapittel 5.2.3. Det samme gjelder også for massen som ikke sedimenterer i sandfanget. Denne bør være lik m_{ut} i samme kapittel. Disse verdiene er repetert i tabell 5.8

Tabell 5.8 Oversikt over massetransport ut av modellsandfanget.

Masser	Forurensing	Sand	Total
Masse som sedimenterer i sandfanget (m_{sf})	388 kg	258,8 kg	646,8 kg
Massetransport ut av sandfanget (m_{ut})	48,1 kg	12 kg	60,1 kg

5.3.2 Justeringsfaktor for høyde

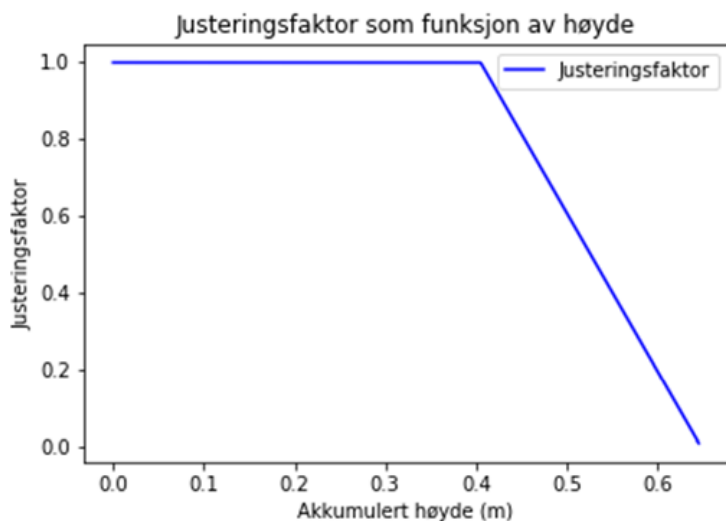
Ved siden av partikkelstørrelse og volumstrøm inn i sandfanget er tilbakeholdelsen av partikler også avhengig av høyden på sandfangmassen. Forsøk har vist at hvis sandfangene fylles opp til over 40-50 % vil kun større partikler sedimentere (Lager et al., 1977). Som tidligere nevnt bindes mye forurensninger til partikler mindre enn 100 μm . Så for å holde igjen forurensninger er det derfor ønskelig med en tilbakeholdelse av også små partikler. I mye norsk litteratur er det av den grunn anbefalt å tømme sandfang før det har oppnådd 50 % fyllingsgrad (Mosevoll & Lindholm, 1986; Statens vegvesen, 2014; Lindholm, 2015; Lindholm, 2016). Sedimenteringseffektiviteten \mathcal{E} er uavhengig av høyden av sediment som allerede har samlet seg opp i et sandfang, og beskriver derfor ikke sedimenteringsevnen tilstrekkelig. I den sammenheng dukker det opp et behov for en justeringsfaktor som tar hensyn til høyden av sedimentet i et sandfang. Justeringsfaktoren tar utgangspunkt i at sedimenteringsevnen er 1 frem til 50 % fyllingsgrad (Lager et al., 1977), og at den svekkes lineært ned til 0 ved 80 % fyllingsgrad, som vist i figur 5.7. Justeringsfaktoren blir dermed:

$$K_h = \frac{h_{80} - h_{sfm}}{h_{80} - h_{50}} \text{ for } h_{50} \leq h_{sfm} \leq h_{80}$$

Hvor tabell 5.9 forklarer symbolbruken.

Tabell 5.9 Oversikt over symboler brukt i formel for justeringsfaktor.

Symbol	Forklaring
h_{80}	Høyde ved 80 % fyllingsgrad
h_{50}	Høyde ved 50 % fyllingsgrad
h_{sfm}	Høyden av sandfangmasser



Figur 5.7 Plot over hvordan justeringsfaktoren endres med tiltakende høyde.

Ved 80 % fyllingsgrad vil massetransport inn og ut av sandfanget være lik, og derfor vil ikke noe mer sandfangmasse kunne akkumuleres i modellen. I realiteten vil mer masse kunne akkumuleres etter 80 % fyllingsgrad, noe som skjer i flere sandfang i NIBIO-rapporten, men dette skyldes sannsynligvis gjentetting av rør.

5.3.3 Verifikasjon

For å verifisere at skriptet i Python er korrekt er det nødvendig å regne ut høyden på en annen måte. I hovedskriptet brukes numeriske beregninger for å estimere endringen i høyde basert på nåværende høyde. Dette betyr at skriptet egentlig har diskretisert en differensiallikning. Det er derfor behov for å regne ut differensiallikningen direkte, noe som er blitt gjort i Python ved bruk av innebygde funksjoner. Funksjonen `Interp1d` i pakken `SciPy` interpolerer volumstrømsverdiene, og m_{inn} for sand og forurensing. Mens `solve_ivp` brukes for å løse differensiallikningen direkte. I verifikasjonen regnes massene ut hver for

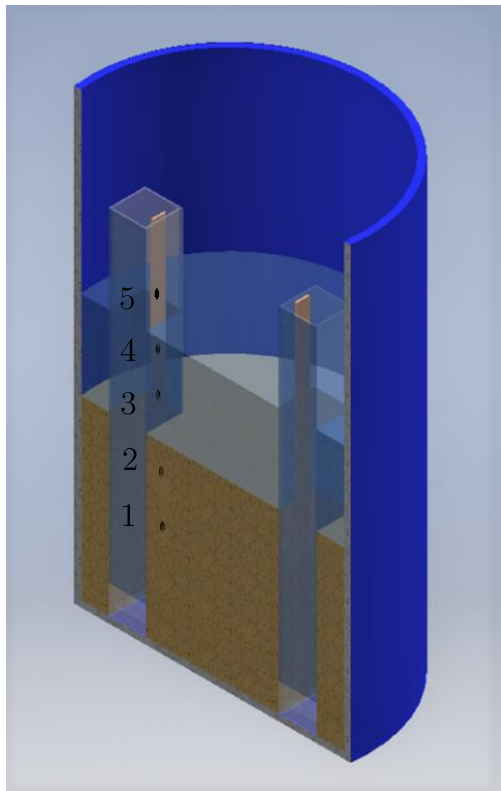
seg hvorpå den totale høyden blir beregnet ut i fra andelen masse av hvert enkelt stoff. Siden det kun er en verifikasjon er det bare testet på en del av skriptet og uten tømning av sandfang. Verifikasjonsskriptet er i sin helhet presentert i vedlegg A.8.

6 RESULTAT

6.1 NIVÅMÅLER

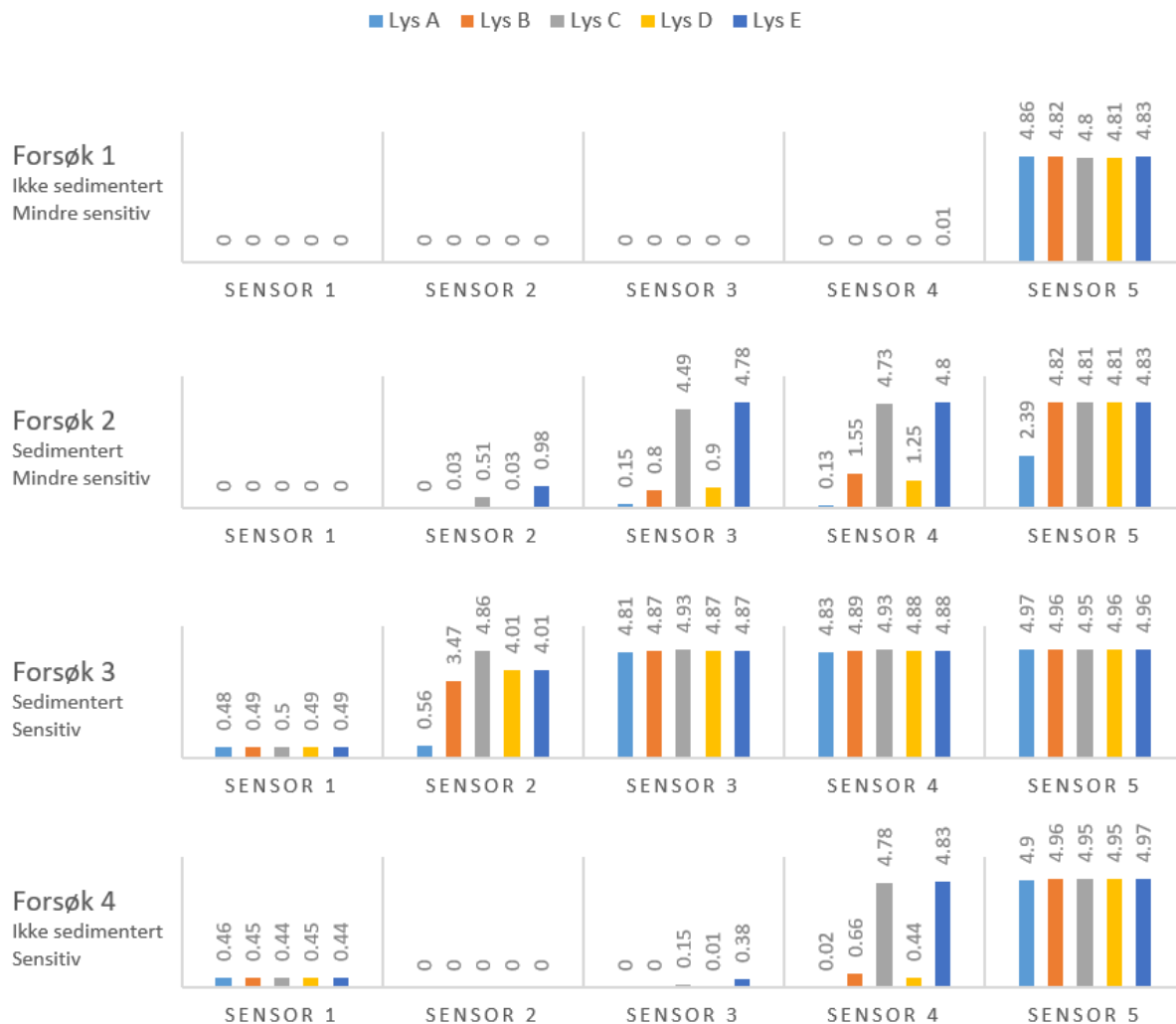
Følgende figurer er et resultat av fire forsøk gjort i henhold til kapittel 4.3.3. Figurene viser responsen i volt til alle de fem sensorene som var montert på hver sin respektive trelist. For nærmere spesifikasjoner av forsøksnumrene henvises det til tabell 4.6. Sensor 1 og 2 er plassert nederst under sanden, mens sensor 3 og 4 er plassert i vannet. Sensor 5 er øverst og ment som en kontrollsensor som står over vannivået. I figur 6.1 er det visualisert hvordan nummereringen er på sensor-/lyslistene.

I forsøk 3 og 4 gir sensor 1 respons på omtrent 0,5 V på samtlige lyskilder, uten at dette egentlig skal være tilfelle. Av den grunn blir ikke denne responsen videre nevnt i følgende avsnitt, men heller diskutert i kapittel 7.1.



Figur 6.1 Illustrasjon over testrigg med nummerering av sensor. Lysnummereringen følger samme prinsipp.

6.1.1 Sensorlist A



Figur 6.2 Resultater fra sensorlist A. Responsen er oppgitt i volt, hvor 5V er høyeste mulige respons.

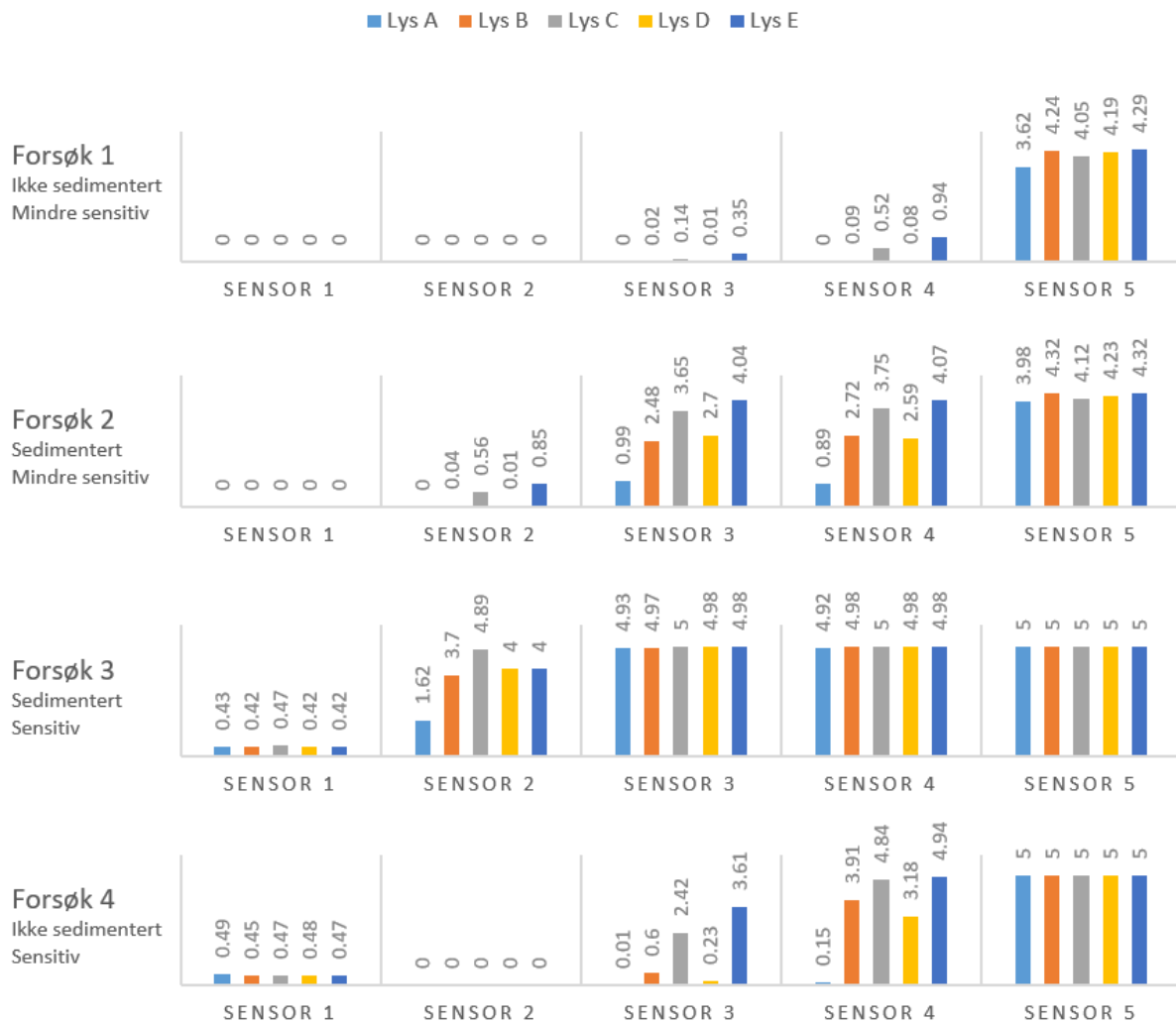
I figur 6.2 kommer det frem at sensorlist A gir lite respons på alle lyskilder i forsøk 1. Det er kun sensor 5 som fungerer hvilket betyr at vannet har for høyt innhold av suspenderte partikler til at lyskildene gir noen utslag på sensorene.

I forsøk 2 har partiklene i vannet fått tid til å sedimentere hvilket gir utslag på alle sensorene som er dekket av vann. Mest utslag er det likevel på to av de kraftigste lyskildene, lys C og lys E som også gir utslag på sensor 2 hvilket er tildekt med sand.

I forsøk 3 er sensorene modifisert til å være mer sensitive hvilket speiler seg i resultatene. Til og med sensor 2 som er dekket med sand gir vesentlig utslag på alle lyskildene bortsett fra lys A.

I forsøk 4 har vannet for høyt innhold av partikler i suspensjon til at sensorene kan gi noe klart skille på sandnivået og vannnivået.

6.1.2 Sensorlist B



Figur 6.3 Resultater fra sensorlist B. Responsen er oppgitt i volt, hvor 5V er høyeste mulige respons.

Også sensorlist B gir lite utslag i første forsøk i figur 6.3. Det vises kun en liten antydning til respons på sensor 3 og 4 på de kraftigste lyskildene, lys C og lys E. Dette er dog så lite

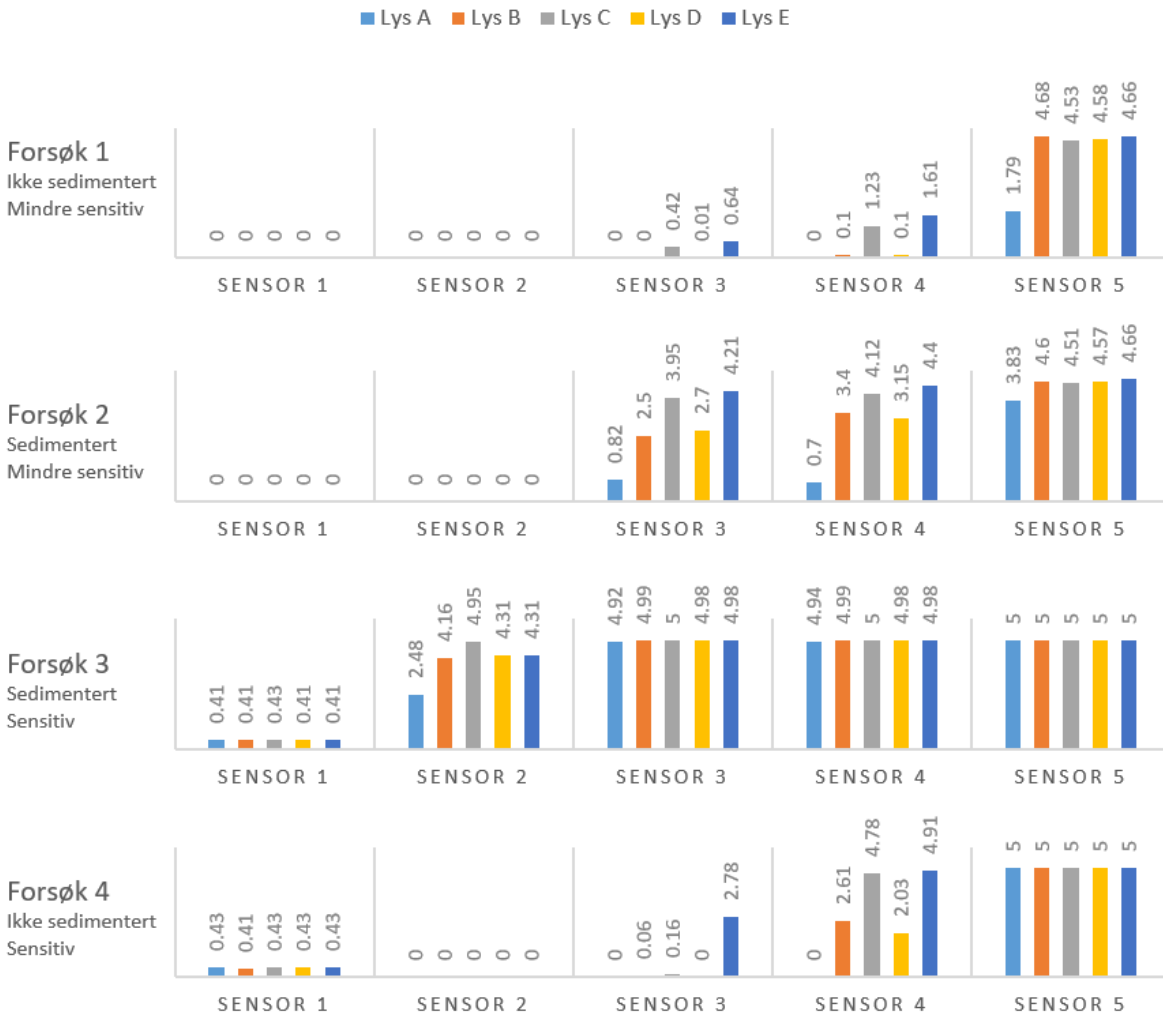
at det er vanskelig å si om dette vil være nok for å tydelig kunne skille mellom sandfangmasse og vann.

Forsøk 2 gir mer utslag på alle sensorer. Partiklene i vannet har fått sedimentert og dette viser seg også i en vesentlig respons på også de svakere lysdiødene, lys B og lys D.

Ved å gjøre alle sensorene mer følsomme blir det et vesentlig utslag på sensor 2 til 5 ved alle lyskilder i forsøk 3. Også her gir sensor 2 mye utslag, til tross for at denne er dekket med sand. Dette kan tyde på at sandlaget over sensor 2 ikke er tjukt nok til at lyset ikke går gjennom.

I forsøk 4 er det kun de kraftigste lyskildene, lys C og lys E som gir vesentlig utslag på sensor 3 og 4 som er dekket med vann med høyt innhold av suspenderte partikler. Lys B og lys D gir god respons på sensor 4, men veldig lite på sensor 3.

6.1.3 Sensorlist C



Figur 6.4 Resultater fra sensorlist C. Responsen er oppgitt i volt, hvor 5V er høyeste mulige respons.

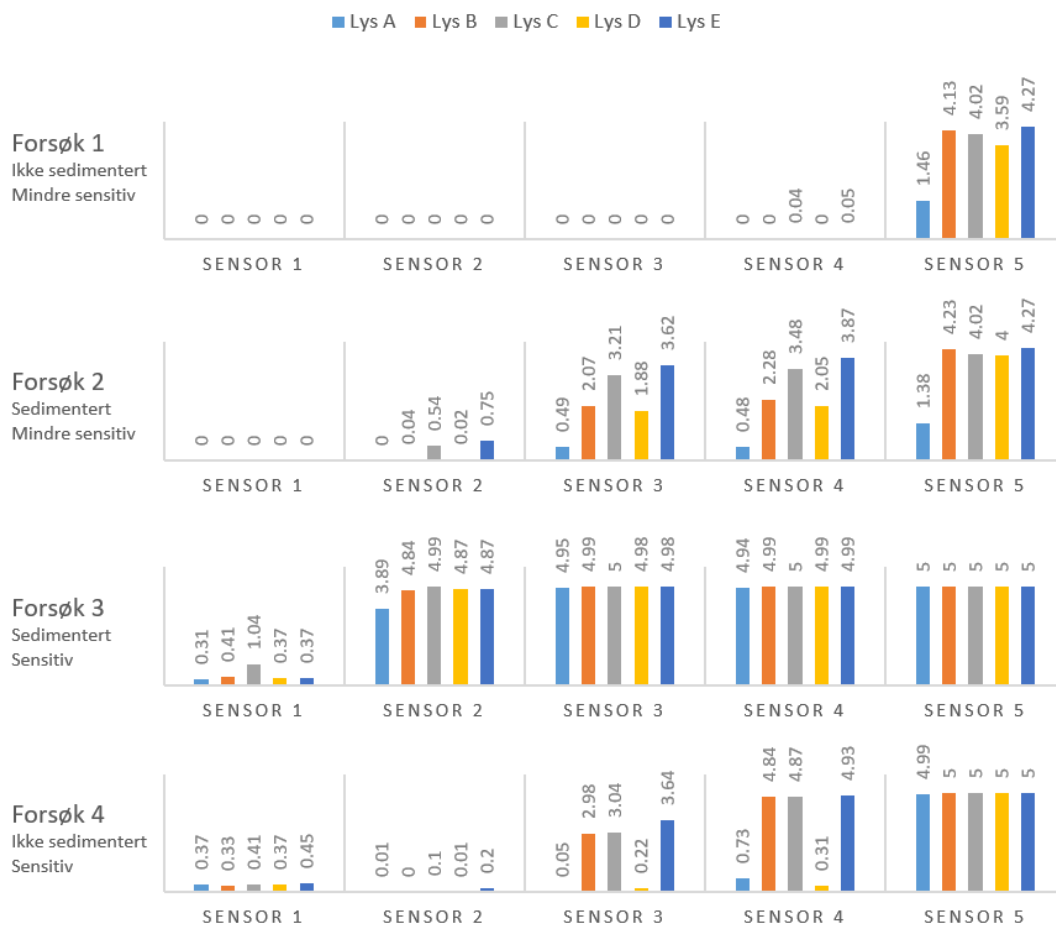
I henhold til figur 6.4 er det tydelig at det i første forsøk trengs kraftigere lys for at sensorlist C skal gi respons. Det at lys A gir betraktelig mindre utslag enn de andre, kan skyldes at lysstrålen ikke treffer sensoren helt korrekt.

Sedimentering av partikler i forsøk 2 øker som forventet responsen. Sensor 3 og 4 gir betraktelig utslag på alle lyskildene bortsett fra lys A. De svake lysdiodene gir riktignok litt mindre utslag enn de sterkere, men dette er å forvente.

Ved økning av sensitiviteten i forsøk 3 blir responsen også her betraktelig høyere på selv sensor 2 som skal ligge under sand. Unntaket er igjen lys A som gir omtrent halvparten så lite respons på sensor 2 som de andre lyskildene.

I forsøk 4 er det kun det kraftigste lyset lys E som gir respons på sensor 3, mens resterende lyskilder gir tilnærmet ingen respons på denne sensoren. Sensor 1 og 2 gir som forventet ingen respons.

6.1.4 Sensorlist D



Figur 6.5 Resultater fra sensorlist D. Responsen er oppgitt i volt, hvor 5V er høyeste mulige respons.

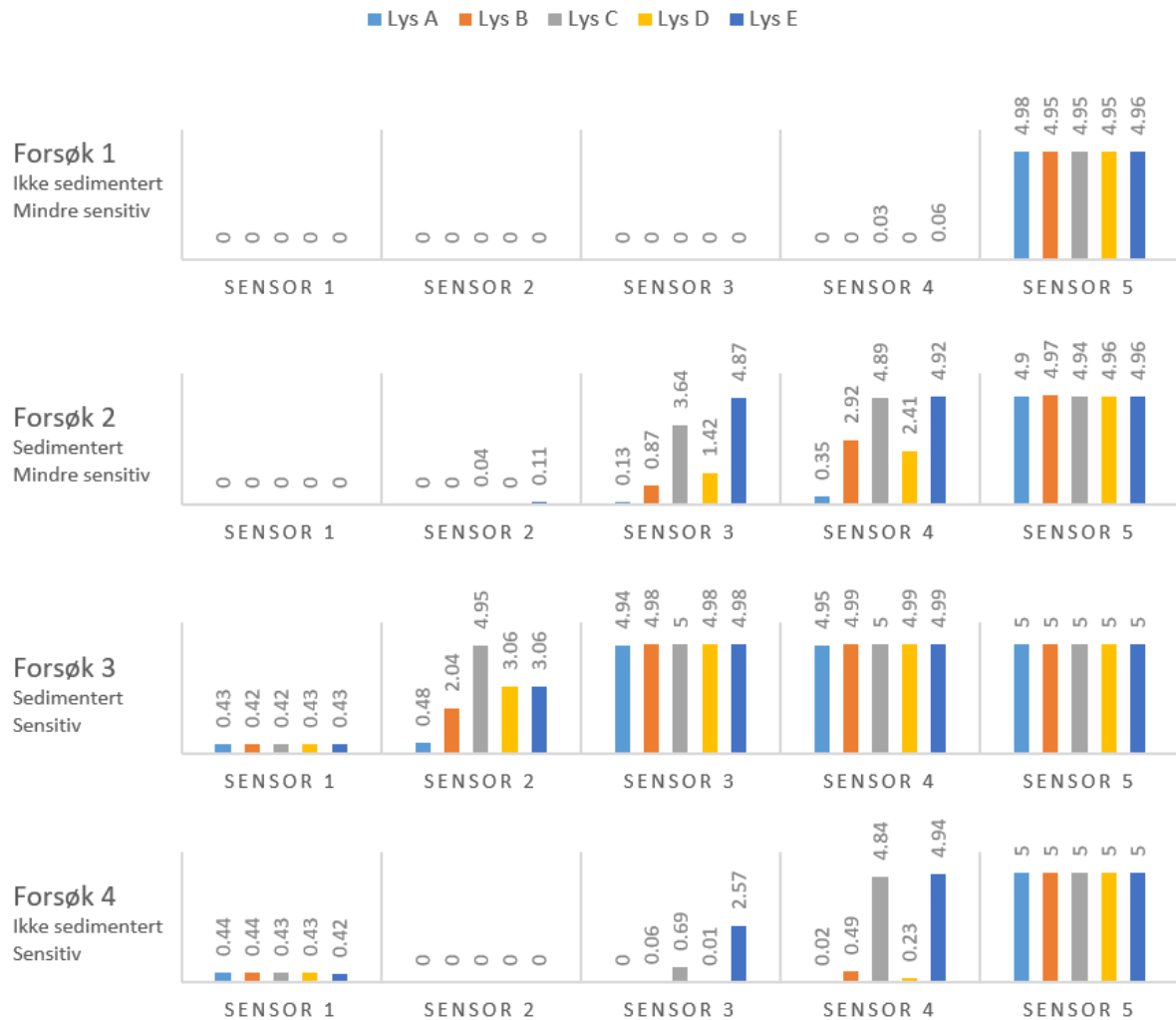
Som sensorlist C gir også denne resistoren lite respons på alle dykkede sensorer i forsøk 1. Figur 6.5 viser at i forsøk 1 er sensor 5 litt mindre sensitive enn sensor 5 på sensorlist C (figur 6.4) da den gir omtrent 0.5V mindre respons på alle lyskilder.

I forsøk 2 er det generelt bedre respons på sensor 3 og 4, enn hva det var i forsøk 1. Det er likevel noe varierende utslag hvis det skilles mellom svake og sterke lyskilder. Lys A gir lite respons på selv sensor 5. De kraftigste lysene fører også til at sensor 2 gir noe utslag på disse kildene.

I forsøk 3 gir alle lyskilder høyere respons på sensor 2 til 5. Det som er overraskende er at lys C også gir respons på sensor 1 på 1,04V. Dette er vanskelig å si hvor kommer fra. Ved lysforurensing skulle det i så fall ha blitt større respons på lys E som er kraftigere. Responsen på de øvrige sensorene ved bruk av lys C er alle på 4,99-5V hvilket er den høyeste responsen logget i forsøk 3 ved bruk av sensorlist D. Responsen på sensor 1 kan skyldes at det går strøm over sensoren selv om den ikke utsettes for lys. Denne problematikken går videre inn på i kapitell 7.1.

I siste forsøk er responsen på lys B, lys C og lys E tilfredsstillende til å si noe om høydenivået i sandfanget. Det er likevel vanskelig å si noe om årsaken til de store forskjellene i responsen mellom lys B og lys D i forsøk 4.

6.1.5 Sensorlist E



Figur 6.6 Resultater fra sensorlist E. Responsen er oppgitt i volt, hvor 5V er høyeste mulige respons.

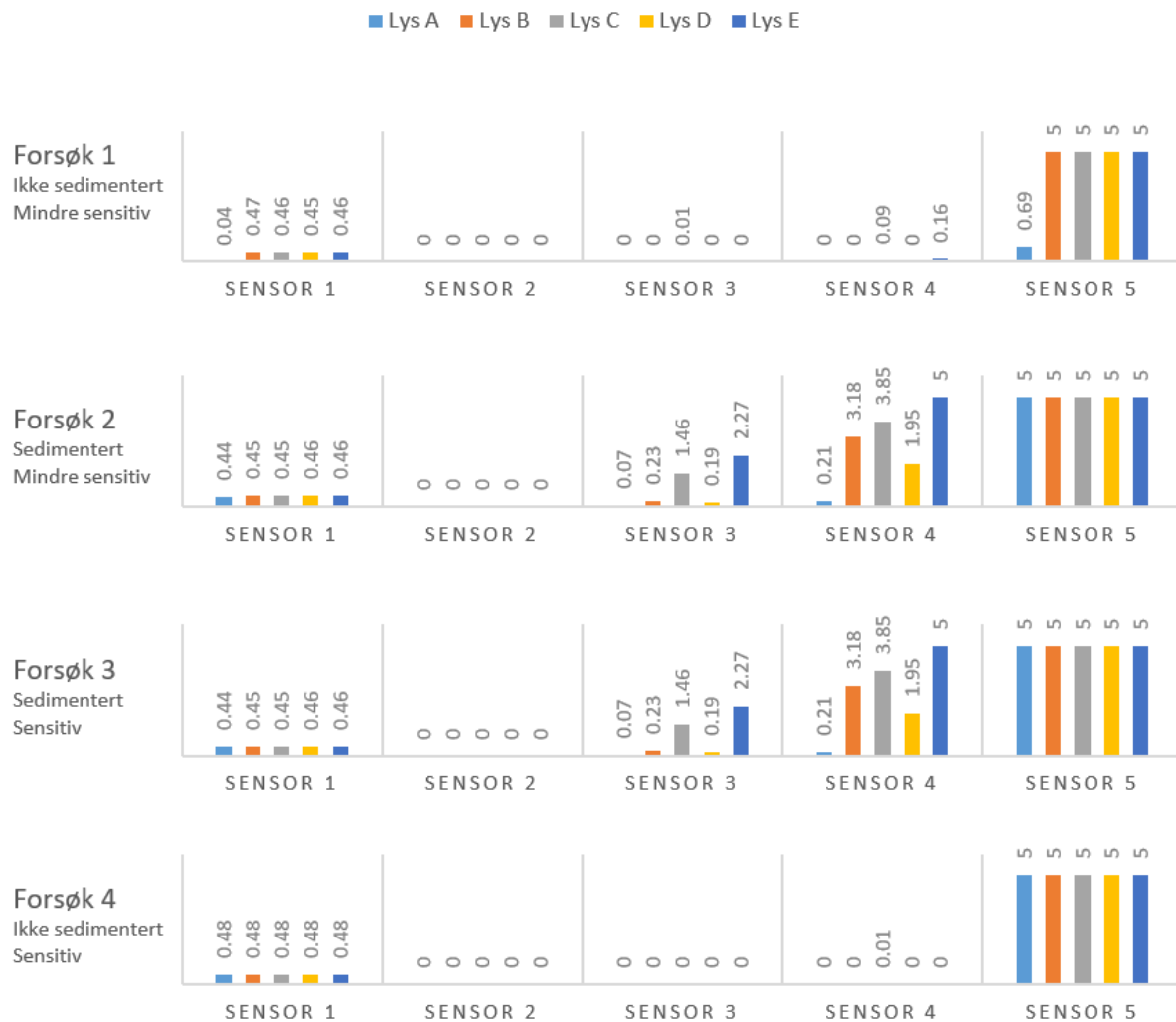
Figur 6.6 viser at det i forsøk 1 ble høyt utslag, mellom 4,95V og 4,98V, på sensor 5 ved bruk av alle lyskilder. De resterende sensorene ga som forventet lite respons på grunn av høy andel partikler i suspensjon.

Forsøk 2 viser tydelig forskjell mellom sand og vann ved bruk av lys C og lys E. Lys B og lys D har mindre utslag på sensor 3 og 4, hvor sensor 3 er nede i henholdsvis 0,87V og 1,42V. I og med at sensor 1 og 2 ikke gir noe utslag vil selv denne lave responsen være nok til å si noe om høydenivået.

I forsøk 3 gis det høy respons på sensor 3 til 5 på alle lyskilder. Varierende respons (fra 2,04V til 4,95V) kan også observeres på sensor 2 på lys B, lys C, lys D og lys E. Den eneste lyskilden som fungerer bra til nivåmåling i forsøk 3 er i henhold til figur 6.6 lys A.

Forsøk 4 viser at det også med sensorlist E kun er de kraftigste lysene som gir utslag på sensorene. Høyest respons blir det ikke uventet av lys E.

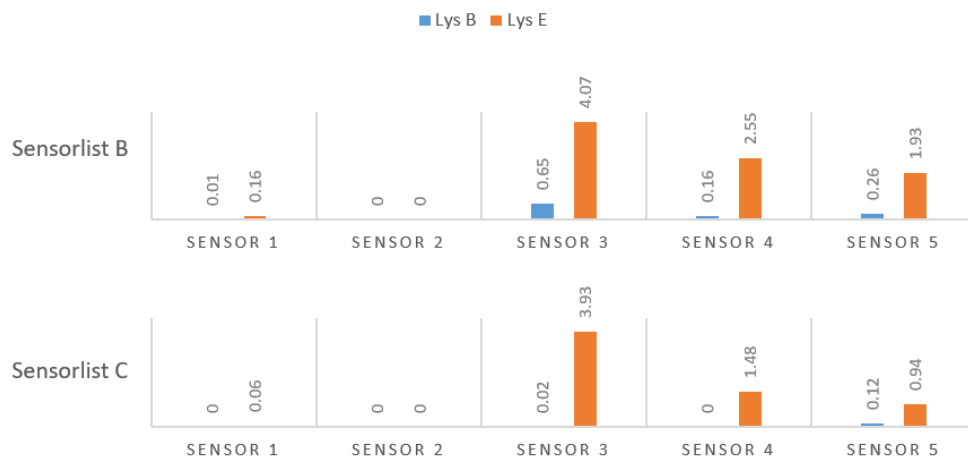
6.1.6 Sensorlist F



Figur 6.7 Resultater fra sensorlist F. Responsen er oppgitt i volt, hvor 5V er høyeste mulige respons.

Resultatene fra forsøkene med sensorlist F i figur 6.7 er delvis uventede da fotodioder, som denne sensorlisten består av, generelt er følsomme sensorer. Første forsøk gir lave utslag lik de andre sensorene. Forsøk 2 og 3 er like da sensorene i utgangspunktet var sensitive, slik at de ikke ble forandret på mellom disse forsøkene. Det er tydelig at det også her kun er de kraftigste lyskildene som gir tilstrekkelig respons til å kunne skille mellom vann og sand. Siden sensorene ikke er gjort mer sensitive mellom forsøk 2 og 3 betyr dette at forsøk 4 skal gi noenlunde like resultater som forsøk 1, hvilket også er tilfelle i henhold til figur 6.7. Unntaket er lys A som er større respons i forsøk 4. Dette kan tyde på at lyset treffer bedre her, da denne sensoren står over vann, så vannkvaliteten skulle i utgangspunktet ikke påvirke resultatet.

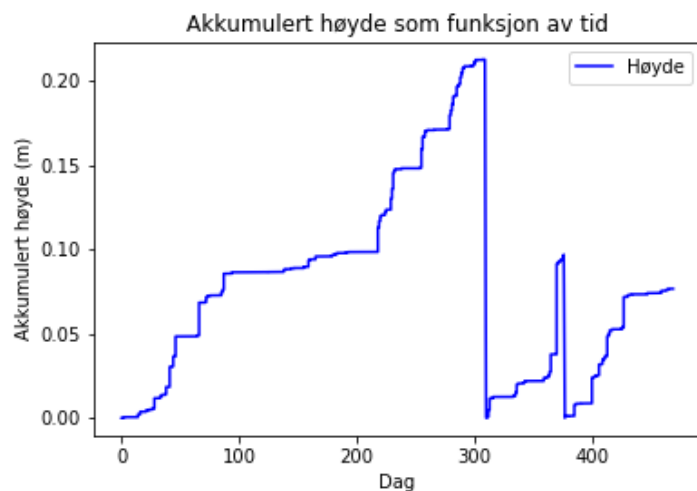
6.1.7 Verifikasjon



Figur 6.8 Forsøk gjort med kun lys 1 og lys 2 påslått. Det er brukt en sterk og en svak lyskilde.

For å verifisere at lysene ikke går gjennom sanden, samt at riktig sensor reagerer på riktig lys er det gjort et forsøk med kun de to nederste lysene i bruk. Figur 6.8 viser at det i alle tilfeller ikke går noe lys gjennom sanden, da utslagene er for små. Sensor 3-5 gir derimot en respons ved bruk av den kraftigste lyskilden til tross for at lys 3-5 ikke er i bruk.

6.2 MODELL



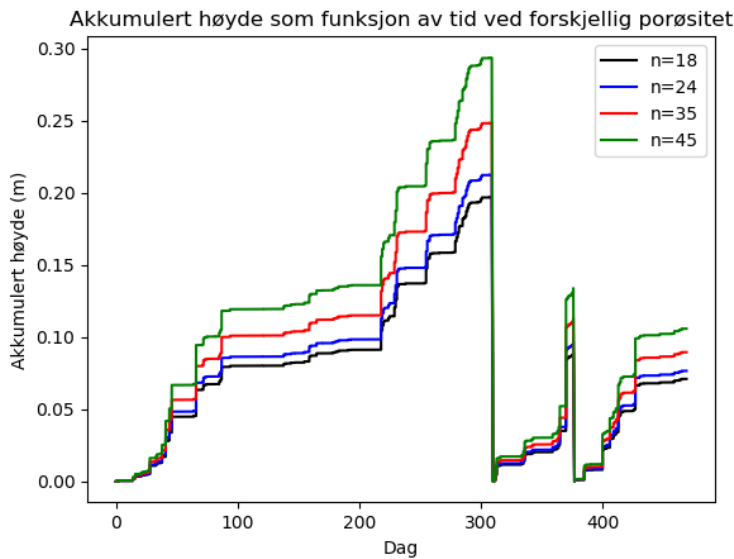
Figur 6.9 Graf over den akkumulerte høyden i sandfanget over tid.

Figur 6.9 viser til enhver tid høyden i sandfanget. De brå senkningene skjer når sandfanget blir tømt. Siden høyden går over en periode på 470 dager er det vanskelig å lese ut tall direkte fra grafen. Av den grunn er de viktigste verdiene presentert i tabell 6.1. Første tømming av sandfanget skjer i SWMM på dag 311. Høyden er da på 21,2 cm og massetettheten på 2206 kg/m³. Ved de neste tømmingene er høydene henholdsvis 9,7 cm og 7,7 cm, mens massetettheten er på 1974 kg/m³ og 1912 kg/m³.

Tabell 6.1 Høyde og masstetthet ved tømming av modellsandfang.

Dag	Høyde før tømming [cm]	Massetetthet [kg/m ³]
311	21,2	2206
378	9,7	1974
470	7,7	1912

Som en følsomhetsanalyse er det blitt sett på spredningen av forskjellige høydeverdier, ved å bruke varierende porøsitet til materialet. Porøsiteten er satt til henholdsvis 18, 35 og 45. Disse høydene er plottet inn sammen med den opprinnelige porøsiteten i figur 6.10 for lettere sammenligning. Ekstremalverdier kan leses av i tabell 6.2.



Figur 6.10 Graf over den akkumulerte høyden i sandfanget over tid ved en porøsitet på 18, 24, 35 og 45.

Ved en mindre porøsitetsandel av materialene blir naturlig nok høyden lavere enn ved $n=24$. Tilsvarende for høyere porøsitetsandeler. Høyden ved første tømning er i følge tabell 6.2 19,7 cm, 24,8 cm og 29,4 cm for henholdsvis $n=18$, $n=35$ og $n=45$. Alle disse verdiene er lavere enn at justeringsfaktoren trer i kraft.

Tabell 6.2 Høyde og massetetthet ved tømning av sandfang ved forskjellige porøsiteter.

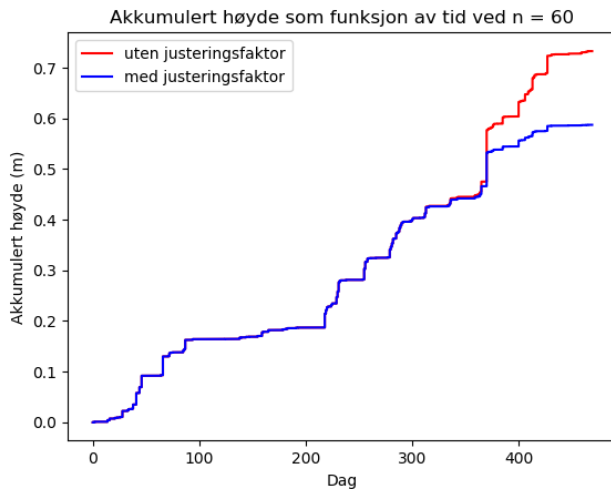
Dag	Høyde, $n=18$ [cm]	Høyde, $n=35$ [cm]	Høyde, $n=45$ [cm]	Massetetthet [kg/m ³]
311	19,7	24,8	29,4	2206
378	9,0	11,3	13,4	1974
470	7,1	8,9	10,6	1912

Tabell 6.3 viser mengde forurensing som renner gjennom modellsandfanget m_{ut} sammenlignet med forventet m_{ut} .

Tabell 6.3 Forventet m_{ut} og estimert m_{ut} fra modellsandfanget.

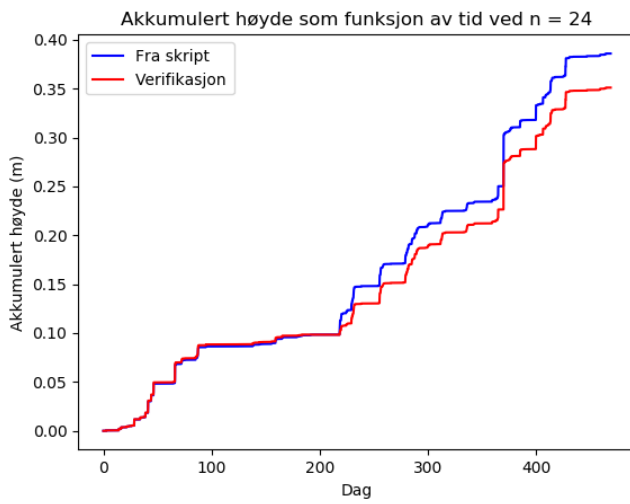
Materiale	Forventet m_{ut} [kg]	Resultat fra modellsandfang [kg]	Differanse [kg]
Sand	12	9,4	2,6
Forurensing	48,1	272	-223,9

For å kunne se hvordan justeringsfaktoren eventuelt ville ha slått ut ble det plottet to høydekurver med en masse hvis porøsitet var på 60 % og hvor sandfanget ikke ble tømt. Den ene grafen var med justeringsfaktor og den andre uten. Som vist i figur 6.11 er det tydelig at høyden til grafen med justeringsfaktor ikke stiger like fort som den andre, fra høyden er omtrent 0,4 meter og oppover.



Figur 6.11 Akkumulert høyde ved en tenkt porøsitet hvilket ville gitt en høyde som ville ha oversteget 60 % uten tømning.

En verifikasjon av høyden er presentert i figur 6.12 som viser at nivået gjort i verifikasjonen blir litt lavere enn ved bruk av hovedskriptet. Tabell 6.4 viser at høydene mellom de to grafene skiller 3,5 cm ved periodens slutt. Disse tallene gjelder når sandfanget ikke blir tømt.



Figur 6.12 Verifikasjon over akkumulert høyde sammenlignet med estimert høyde fra originalskriftet.

Tabell 6.4 Høyde ved endt periode

Høyde hovedskript	Høyde verifikasjon
38,6 cm	35,1 cm

7 DISKUSJON

7.1 NIVÅMÅLER

Hensikten med forsøket var som nevnt å finne ut om det ved hjelp av lys er mulig å skille mellom sand og vann slik at sandnivået kan detekteres. Det er likefullt også andre problemstillinger som dukker opp underveis som er fornuftig å belyse. I følgende avsnitt vil både testingen av idéen samt andre temaer diskuteres.

Resultatene fra forsøk 1, ved alle typer sensorer, viser at det uavhengig av lyskilde vil være vanskelig å lyse gjennom vann med veldig høyt innhold av partikler i suspensjon ved en relativ lav sensitivitet på sensorene. Dette høye SS-nivået skyldes sakte sedimentering av partiklene ved tilførsel av sandfangmasse til testtriggen før forsøket. Hvor lenge vannet burde stå før mengden suspenderte og sedimenterte partikler ville blitt lik et sandfang under en nedbørshendelse er en problemstilling som ikke er tatt hensyn til her. Det kan således diskuteres hvorvidt metoden har en del svakheter, uten at det skal gås nærmere inn på nå. Likevel kan det slås fast etter forsøk 4 at det ved å øke sensitiviteten på sensorene er mulig å lyse gjennom også denne vannkvaliteten, noe som kan sies å være verst tenkelige situasjon. Dette avhenger dog av sensortypen, og i dette forsøket har det blitt vist at det er fotoresistorer som fungerer best. Det er likevel et forbehold med metoden her. I forsøk fire er det blitt prøvd å gjenskape vannkvaliteten til forsøk 1. Hvorvidt samme mengde SS er oppnådd for begge forsøkene, samt for alle sensorlistene og lysene er usikkert. Vannet ble satt i bevegelse ved omrøring før målinger ble tatt, men om omrøringen var lik for alle målinger er ikke gitt. Det kan derfor tenkes at det kan være noe forskjellig turbiditet i vannet ved gjennomføringen av disse 2 forsøkene.

Ved å sammenligne resultatene fra forsøk 3 og 4 gjort med alle sensorer bortsett fra sensorlist F kan det se ut som at det er en utfordring når sensitive sensorer skal fungere godt i både vann med sedimenterte partikler og i vann med partikler i suspensjon. Sensor 2, som ligger under sandnivået gir nemlig betraktelig respons i alle nevnte tilfeller med sedimenterte

partikler. Ved å se på resultatene fra verifikasjonen i figur 6.8 er det tydelig at det ikke går horisontalt lys mellom rørene gjennom sanden da sensor 2 ikke gir noen respons. Dermed er det stor sannsynlighet for at sensor 2 i forsøk 3 registrerer lys fra lysdiode 3 til 5 som eventuelt skjer via en lysbrytning i pleksiglasset og/eller ved en bred lysstråle. Det er viktig å presisere at i et endelig produkt vil sensorene stå med mye større avstand vertikalt slik at denne lysforurensingen ikke vil være like stor, om ikke fraværende. Dette kan slås fast siden sensor 1 ikke gir respons på de fleste trelister i forsøk 3 hvilket betyr at det ikke kommer lys ned til denne sensoren som lå mellom 7,5 og 10 cm under sandnivået.

Videre er det tydelig at sensor 3 til sensor 5 i verifikasjonen registrerer lys fra en eller begge de nederste lyskildene. Det som med høy sannsynlighet skjer er at det mangler et tilstrekkelig lag med sand over lys 2 slik at noe lys går gjennom dette tynne laget og videre opp i vannet. Dette vil ikke være noe problem så lenge det ikke slår ut på sensorene som ligger under sandnivået, noe som verifikasjonen bekrefter ikke skjer.

Etter at sensitiviteten ble skrudd opp i forsøk 3 og 4 reagerer sensor 1 med omtrent 0,5 V uavhengig av lyskilde. Dette kommer mest sannsynlig av en av to årsaker. Enten er sensorene så følsomme at også sensor 1 reagerer på lys som eventuelt måtte komme via pleksiglasset. Eller så er det fordi det selv ved helt mørklagte sensorer går noe strøm gjennom koblingsbrettet. Når så sensitiviteten øker gir dette utslag på sensorene. I retrospekt er nok dette noe som kunne ha vært utbedret litt mer. Blant annet kunne det ha vært målt med et voltmeter rett før inngangen til arduinoen. På denne måten ville det også blitt sjekket om spenningen som arduinoen viser ved de forskjellige sensorene er den faktiske spenningen. Selv om det kan antas at spenningen stemmer, burde det nok likevel ha vært målt.

Ettersom fotodiodene skal være de mest sensitive sensorene var det noe uventet at sensorlist F ikke ga mer utslag enn den gjorde, da denne besto av nettopp fotodioder. Dette kan skyldes at lyset ikke kom vinkelrett inn på sensorene, samt at sensorene i utgangspunktet er mest sensitive for infrarødt lys i henhold til tabell 4.3. Like uventet var det også at laserdioden på lyslist A ikke ga mer respons. Dette skyldes nok at lyset er så sentrert at bare små variasjoner i plasseringen vil føre til at lyset ikke treffer sensoren korrekt. Men

siden prisen på laserlys er såpass mye høyere enn vanlige lysdioder, blir nok lasere utelukket i et ferdig produkt. Av den grunn er responsen på lys A på de forskjellige sensorlistene ikke like interessante.

Avstanden mellom pleksiglassrørene var på omtrent 5 cm siden dette er den avstanden Rosim har sett for seg skal være i et endelig produkt. Ved uttak av sandfangmasse ved NMBU ble det observert at konsistensen til mettete masse var omtrent som gjørme. Det som er viktig er at avstanden mellom rørene er stor nok til at denne massen kan sedimentere mellom rørene, og i samme høyde som i resten av sandfanget. I tillegg må ikke massen bli værende igjen mellom rørene under tømning av sandfanget. Hvis sandfangmasse generelt er lik den som ble brukt i forsøkene skulle ikke dette være noe problem. I realiteten kan sandfangmasse variere fra sandfang til sandfang og det er derfor vanskelig å si noe om massen som ble brukt i forsøket er representativ for alle sandfang. Det er også viktig å presisere at organisk materiale vanligvis fører til oppblomstring av mikroorganismer. Hvilken innvirkning dette vil ha på det endelige produktet kan det ikke sies noe om før en testing i et sandfang over lengre tid er gjennomført, men det er naturlig å tro at det vil kunne oppstå begroing utenpå rørene.

Det som er gjennomgående ved studering av resultatene, og spesielt ved forsøk 4, er at det er fotoresistorer i kombinasjon med kraftig lys som fungerer best. Ulempen ved bruk av kraftig lys er høyt strømforbruk, som fører til kortere batterilevetid. Enheten skal likevel kun være i drift i noen få sekunder, hvorav lysdiodene kun skal være påslått i en brøkdel av dette, slik at strømforbruket til lysdiodene likevel antas å være lav. Av denne grunn anbefales det å bruke sensorlist D i kombinasjon med kraftige lysdioder lignende lys C, eventuelt lys E, i videre arbeid med nivåmåleren. Denne kombinasjonen er vist at vil fungere i vann med høyt innhold av partikler og SS og det er derfor ikke nødvendig å ta som forbehold at partiklene i vannet må få tid til å sedimentere for å gi et gyldig resultat. Sensoren vil i så måte fungere både under en nedbørshendelse og i en tørrværsperiode.

7.2 MODELL

Målet med modellen var at den skulle gi ut likt høydenivå på sedimentet som et faktisk sandfang fra NIBIO-rapporten. På denne måten kan det så forandres på input-verdier i modellen som samsvarer med et vilkårlig sandfang hvis høydenivå dermed kan beregnes. Hvorvidt disse målene er nådd og andre aktuelle problemstillinger diskuteres i følgende avsnitt.

Resultatene viser at høyden er lavere i modellsandfanget sammenlignet med FOS01 i NIBIO-rapporten, ved alle tre tømminger. Dette gjelder for alle porøsitetene. Grunnen til at ulikheten mellom høydenivå i modell og FOS01 blir såpass stor er hovedsakelig at modellen ikke er ferdig kalibrert. Beregninger av massetransport inn og ut av nedbørsfeltet DF1 stemmer sannsynligvis ikke med virkeligheten. Dette blir tydelig ved å sammenligne forventet massetransport m_{ut} ifølge Lager et al. (1977) med estimert massetransport m_{ut} av modellsandfanget. Som vist i tabell 6.3 blir denne differansen stor.

Dette gjenspeiler seg også i densiteten til sedimentet i modellsandfanget sammenlignet med forventet massetetthet. Sandfangmassene i modellsandfanget har en massetetthet på 2206 kg/m³ ved første tømming, mens den antatte massetettheten til sandfangmassene var på 1773 kg/m³. Dette skyldes at det akkumuleres mindre forurensing enn forventet.

Siden m_{sf} aldri gir en høyde større en 50% av sandfanget blir aldri justeringsfaktorens funksjonalitet testet ut. Dette er noe som ville ha blitt gjort hvis målinger fra en lenger testperiode, hvor høyden stiger over 50 % hadde vært tilgjengelig. Det er således vanskelig å sjekke om faktoren stemmer med virkeligheten.

At det har vært nødvendig å gjøre noen antagelser i de forventede massene er i seg selv en svakhet for modellen, da disse antagelsene legger store føringer for resultatene. Som eksempel kan det nevnes at m_{ut} av forurensing er basert på tall fra forsøk gjort av Lager et al. (1977) hvor det er blitt brukt sand som har høyere densitet enn forurensing. Dermed blir forventet m_{ut} lavere enn i resultatet. Mer informasjon om mengde og massetetthet til

massene som bygges opp i Fossumveien hadde derfor vært med på å gjøre modellen mer nøyaktig.

Modellen tar utgangspunkt i at kun to materialer blandes i sandfanget, mens det i sandfanget i NIBIO-rapporten i prinsippet kan være mange flere materialer med ulik massetetthet. Ved definere flere materialer i modellen, vil muligens modellen bli mer nøyaktig. Samtidig kan dette overkomplisere modellen og muligens gjøre mer skade enn nytte, da flere materialer krever flere beregninger av forventet masse, og mer data som må behandles i Python.

I tillegg tar modellen som input at forurensing og sand har en kornstørrelse tilsvarende d_{50} (0,27 mm) av oppfeide masser i Fossumveien. Kornstørrelse er en viktig faktor for å bestemme en partikkels sedimenteringsevne, og legger dermed føringer for hvor fort partikler sedimenterer. Det er mulig at det ville vært mer korrekt å benytte en annen, eller flere, kornstørrelser enn det som har blitt gjort i denne modellen. En mer kompleks modell ville håndtert flere partikkelstørrelser, og forskjellig fordeling av partikkelstørrelser for sand og forurensing. Dermed kunne andelen sand og forurensing i modellsandfanget blitt mer korrekt og høydeviået i modellsandfanget ville sannsynligvis vært nærmere høydenivået til FOS01 i NIBIO-rapporten.

Siden justeringsfaktoren ikke trer i kraft ble det sjekket hvordan høyden ville ha forandret seg ved å fjerne tømning og anta at porevolumet var 60 %. Dette viste at det var tydelig at justeringsfaktoren slår inn fra 50 % fyllingsgrad. Hvorvidt justeringsfaktoren stemmer med virkeligheten er dog vanskelig å si på nåværende tidspunkt.

Verifikasjonen viste at nivået i sandfanget ble litt lavere enn hva som ble estimert med skriptet. Det er vanskelig å si hva dette skyldes, men det er sannsynlig at siden verifikasjonen løser en differensiallikning direkte vil høyden bli noe annerledes. I og med at forskjellen ikke er mer enn noen cm på hele perioden, antas det at skriptet fungerer godt nok som det er. Det skal legges til at siden grafen må være kontinuerlig i verifikasjonen er det fjernet fra skriptet at sandfanget tømmes.

7.3 VIDERE ARBEID

For å utvikle nivåmåleren videre anbefales det å teste sensorene ved større vertikal avstand slik at det blir full kontroll på hvor mye lyskilder over sandnivået påvirker sensorer under sandnivået. Det er også sannsynlig at innholdet til sandfangmasser, og dermed også egenskapene, varierer stort fra sandfang til sandfang. Derfor kan det være hensiktsmessig å undersøke hvordan sandfangmassen beveger seg mellom rørene. Dette innebærer å få svar på om avstanden mellom rørene er stor nok til at massen ikke blir sittende igjen mellom rørene når sandfanget blir tømt og om det sedimenterer på samme høydenivå som resten av sandfanget. I tillegg bør det undersøkes hvordan situasjonen med begroing på rørene kommer til å bli. Vil dette eventuelt påvirke responsen på sensorene i en grad som fører til at det er behov for sterkere lyskilder og mer sensitive sensorer for å kunne garantere en driftstid på 10 år? En trødløs nivåmåler vil være avhengig av å kunne lagre og overføre data. Dette er en problemstilling som det ikke har blitt sett på i denne oppgaven, men som vil være veldig viktig for funksjonaliteten til et endelig produkt. Det anbefales derfor at forskjellige metoder for trådløs dataoverføring undersøkes nærmere. Til slutt kan det også være gunstig med en grundig kartlegging av interessen for et endelig produkt i markedet før igangsetting av masseproduksjon.

I videre arbeid med modellen anbefales det å prøve ut justeringsfaktoren. Siden sandfanget aldri når over 50 % fyllingsgrad, trer aldri justeringsfaktoren i kraft. Dermed er ikke effekten av justeringsfaktoren på høydenivå i modellsandfanget testet opp mot høydenivået i et reelt sandfang. Det anbefales også å gjøre nye beregninger av forventede masser. Massene m_{inn} , m_{sf} og m_{ut} er da spesielt viktige. Disse beregningene setter rammene for resultatet fra modellen. For å få beregningene til å stemme med faktisk massetransport inn og ut av et sandfang kan det være nødvendig å gjøre målinger av partikkelinnhold i avrenningen fra et sandfang, samt å måle høyden av sediment over tid. Deretter bør washoff-funksjonen i SWMM-modellen kalibreres på nytt, basert på nye forventede verdier. Flere iterasjoner av masseberegninger og kalibrering av washoff-funksjonen er nødvendig for at høydenivået i modellsandfang skal bli lik sandfanget i NIBIO-rapporten.

8 KONKLUSJON

Denne oppgaven har testet ut om Rosims idé til en nivåmåler har vært bærekraftig for videre utvikling, samt sett på muligheten for å modellere høydenivået til et sandfang.

Under testingen av nivåmåleren er det kommet fram at det er mulig å få sensorer til å reagere på lys som går via vann. Vannets innhold av SS påvirker resultatet ved at sensorene gir mindre respons i vann med mye SS en i vann hvor partikler har fått tid til å sedimentere. Det er likevel mulig å bruke lyskilde og sensorer som fungerer godt nok til at hensynet til vannkvaliteten er neglisjerbart. Dette betinger at sensorene er sensitive nok og at lyskilden er reativ kraftig. Verifikasjonen bekreftet at horisontalt lys blir stoppet av sandfangmasse. For at en sensor som ligger under sandnivået ikke skal respondere på lys er det sannsynlig at det kreves masse over sensoren tilsvarende en høyde på mellom 7,5 og 10 cm. På grunnlag av dette kan det slås fast at det er mulig ved hjelp av lyssensorer å detektere skillet mellom sandfangmasse og vann i et sandfang. Ulike typer sensorer reagerer forskjellig på samme type lys. Av den grunn anbefales det å gå videre med sensorlist D i kombinasjon med kraftige lysdioder lignende lys C, eventuelt lys E. Mer informasjon om dette utstyret fins i vedlegg C.5 og C.9.

Modellen er per dags dato ikke klar for å benyttes som et planleggingsverktøy for tømning av sandfang. Den er i stand til å simulere fyllingsgraden i modellsandfanget over tid, men resultatene fra simuerlingen viser at høydenivået av sedimentet i modellsandfanget blir lavere enn høydenivået i sandfanget fra NIBIO-rapporten. Dette gjelder for alle porøsiteter som høyden er testet mot. For øvrig vil porøsiteten til massene i modellsandfanget i alle tilfeller være ukjent. Derfor vil aldri høyden i sandfanget bli helt nøyaktig, og en sensitivitetsanalyse av forholdet mellom høyde og porøsitet vil være nødvendig i en analyse av resultatene. Modellen er ikke ferdig kalibrert og verdiene på massetransporten inn og ut av modellsandfanget er veldig usikre. Derfor anbefales nye beregninger av massetransport fra nedbørsfeltet til modellsandfanget, og videre kalibrering av washoff-funksjonen for å gjøre modellen mer nøyaktig.

9 LITTERATUR

- Adachi, K. & Tainosho, Y. (2004). Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Environment international*, 30 (8): 1009-1017.
- Andersen, P. B. (2009). LDR-motstand. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/LDR-motstand> (lest 02.04.2019).
- Arduino. (2015). *Analog Input*. Tilgjengelig fra: <https://www.arduino.cc/en/tutorial/AnalogInput> (lest 10.04.2019).
- Berge, J. A., Rannekleiv, S., Selvik, J. R. & Steen, A. O. (2013). *Indre Oslofjord – Sammenstilling av data om miljøgifttilførsler og forekomst av miljøgifter i sediment*. Miljøgifter marin. Oslo: Norsk institutt for vannforskning.
- Butler, D. & Karunaratne, S. H. P. G. (1995). The suspended solids trap efficiency of the roadside gully pot. *Water research*, 29 (2): 719-729.
- Butler, D. & Memon, F. A. (1999). Dynamic modelling of roadside gully pots during wet weather. *Water research*, 33 (15): 3364-3372.
- Chang, Y.-C., Ou, C.-J., Tsai, Y.-S. & Juang, F.-S. (2009). Nonspherical LED packaging lens for uniformity improvement. *Optical review*, 16 (3): 323-325.
- Deletic, A., Ashley, R. & Rest, D. (2000). Modelling input of fine granular sediment into drainage systems via gully-pots. *Water research*, 34 (15): 3836-3844.
- Hansen, H. & Danielsberg, A. (2009). Helsebaserte tilstandsklasser for forurenset grunn. *SFT rapport*, 2553/2009.
- Haraldsen, S. (2017). *Forurensingsmyndighetenes oppfølging av forurenset veivann*. Vann (2): 235-241.
- Hofstad, K. (2018). Massetetthet. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/massetetthet> (lest 25.03.2018).
- Jerstad, P., Sletbak, B., Grimenes, A. A., Renstrøm, R., Bråtveit, O. & Nymo, M. (2013). *Rom Stoff Tid Fysikk 1*. Oslo: Cappelen Damm.
- Lager, J. A., Smith, W. G. & Tchobanoglous, G. (1977). Catchbasin technology overview and assessment [Water pollution]. *Environmental Protection Technology Series EPA*.

- Larsen, B. B. (2018). Diode. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/diode> (lest 02.04.2019).
- Leikanger, E. & Roseth, R. (2016). Veiavrenning og driftstiltak. Overvåking av avrenning samt oppfølging av feie- og sandfangmasser ved ulik veidrift. *NIBIO Rapport*.
- Lindholm, O., Endresen, S., Smith, B. T. & Thorolfsen, S. (2012). *Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem*. Hamar: Norsk Vann.
- Lindholm, O. & Haraldsen, S. (2013). Miljøgifter i overvann fra tette flater, renseanlegg og overløp - Case Indre Oslofjord. *Vann* (2): 223-229.
- Lindholm, O. (2016). *Gatesandfang*: VA/Miljø-blad.
- Lunde, T. (1988). *Hydraulisk dimensjonering av gatesandfang*. Prosjektrapport 69/88. Trondheim: NTNf's Program for VAR-teknikk.
- Markland. (u.å.). Automatic sludge blanket level detector. Tilgjengelig fra: <http://www.sludgecontrols.com/our-products/automatic-sludge-level-detector/> (lest 09.05.19).
- Mosevoll, G. & Lindholm, O. (1986). *Sandfang i avløpsledninger fra gater og veier. Forprosjekt*. Prosjektrapport 50/86. Trondheim: NTNf Program for VAR-teknikk.
- Nesse, E. (2013). *Prøvetaking Sandfang Vågen*. Bergen: COWI.
- NOU 2010: 10. *Tilpassing til eit klima i endring: Samfunnet si sårbarheit og behov for tilpassing til konsekvenser av klimaendringane*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2010-10/id624355/> (lest 11.02.2019).
- NOU 2015: 16. *Overvann i byer og tettsteder: som problem og ressurs*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2015-16/id2465332/> (lest 05.02.2019).
- Okon, T. M. & Biard, J. R. (2015). The first practical LED. *Edison Tech Center*: 1-14.
- Orton, K. R. (1994). *Surface-mount LED*: U.S. Patent No. 5,331,512.
- Rossman, L. A. (2015). *Storm Water Management Model Users's Manual Version 5.1*. Cincinnati: EPA – United States Environmental Agency.

- Rossman, L. A. & Huber, W. C. (2016). *Storm Water Management Model Reference Manual - Water Quality*. Cincinnati: EPA - United States Environmental Protection Agency.
- Ræstad, C. (2014). *Håndtering av overvann fra urbane veier*. Hamar: Norsk Vann.
- Sandstad, J. (2009). Fotocelle. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fotocelle> (lest 16.01.2019).
- Sartor, J. D. & Boyd, G. B. (1972). *Water pollution aspects of street surface contaminants*, b. 81. Washington D.C.: US Government Printing Office.
- See, C. H., Horoshenkov, K. V., Abd-Alhameed, R. A., Hu, Y. F. & Tait, S. J. J. I. S. J. (2012). A low power wireless sensor network for gully pot monitoring in urban catchments. 12 (5): 1545-1553.
- SNL. (2017). Porøsitet. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/porositet> (lest 02.04.19).
- SNL. (u.å.). Fototransistor. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fototransistor> (lest 16.01.2019).
- Statens vegvesen. (2018). *Håndbok N200. Vegbygning*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen. (2014). Håndbok R610. Standard for drift og vedlikehold av riksveger. Oslo: Vegdirektoratet
- Sundt, P., Schulze, P.-E. & Syversen, F. (2014). *Sources of microplastic-pollution to the marine environment*. Asker.
- Sæterbø, E., Syvertzen, L., Teasaker, E. & Roen, S. (1998). *Vassdragshåndboka. Håndbok i forbygningsteknikk og vassdragsmiljø*. Trondheim: Tapir Forlag.
- Vogelsang, C., Lusher, A. L., Dadkhah, M. E., Sundvor, I., Umar, M., Ranneklev, S. B., Eidsvoll, D. & Meland, S. (2018). Microplastics in road dust—characteristics, pathways and measures
- Åstebøl, S. O. (2007). *Rensing av overvann i byområder - kompakte renseløsninger*. Statens vegvesen rapport nr UTB 2007/2. Oslo: Vegdirektoratet.

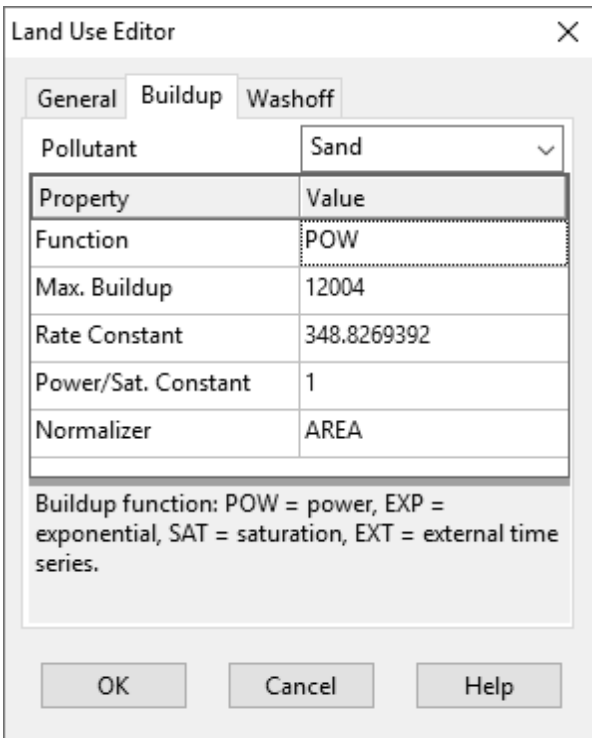
VEDLEGG A: DETALJER FRA SWMM

A.1 LAND USE EDITOR

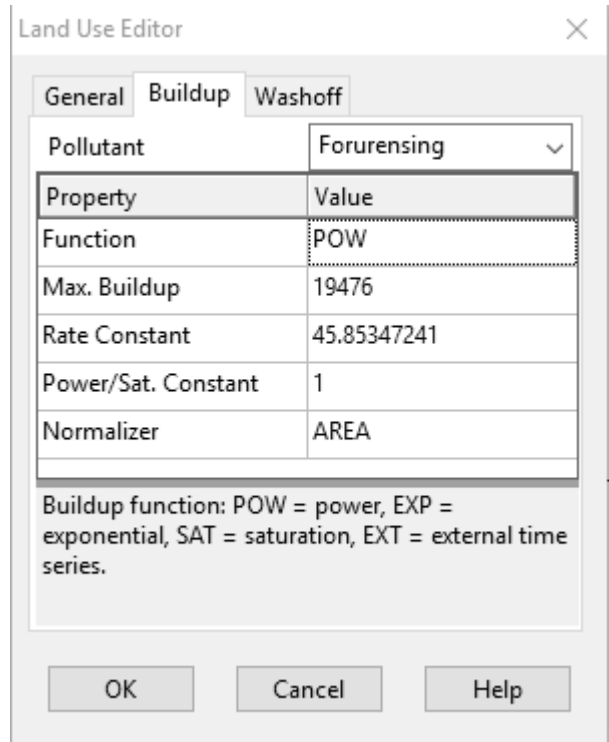


Figur A.1 'General' i Land Use Editor. Skjermdump fra SWMM

Figur A.1 viser en skjermdump av Land Use Editor i SWMM hvor feiing, oppbygning og avrenning av forskjellige materialer defineres.

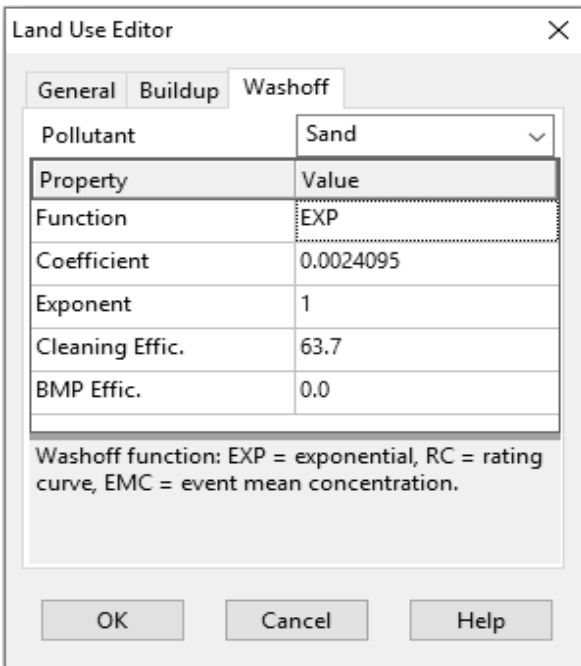


Figur A.2 "Buildup" av sand i Land Use Editor. Skjermdump fra SWMM.

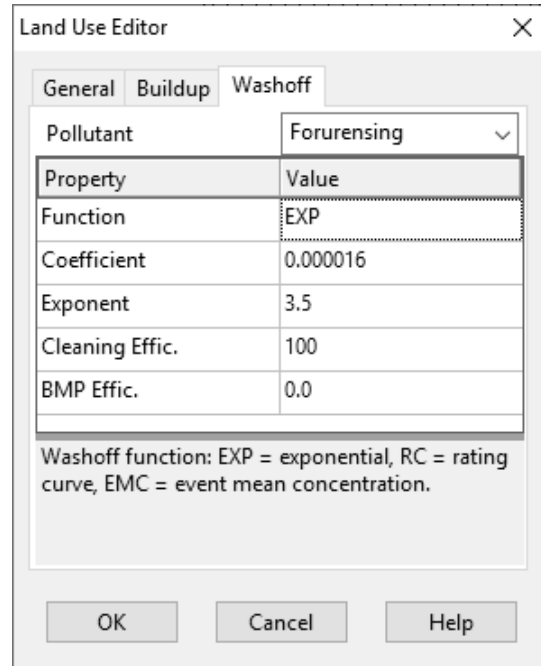


Figur A.3 "Buildup" av forurensing i Land Use Editor. Skjermdump fra SWMM.

Under fanen «buildup» vist i figur A.2 og figur A.3, legges verdier inn for å definere oppbygging av henholdsvis sand og forurensing.



Figur A.4 "Washoff" av sand i Land Use Editor. Skjermdump fra SWMM



Figur A.5 "Washoff" av forurensing i Land Use Editor. Skjermdump fra SWMM

Under fanen «washoff» vist i figur A.4 og figur A.5, legges verdier inn for å definere avrenning av henholdsvis sand og forurensing fra nedbørsfeltet og ned i noden FOS01.

A.2 POLLUTANT EDITOR

Property	Value
Name	Sand
Units	MG/L
Rain Concen.	0.0
GW Concen.	0.0
I&I Concen.	0.0
DWF Concen.	0.0
Init. Concen.	0.0
Decay Coeff.	0.0
Snow Only	YES
Co-Pollutant	*
Co-Fraction	0.0

User-assigned name of the pollutant.

OK Cancel Help

Figur A.6 Pollutant Editor for sand.Skjermdump fra SWMM

Property	Value
Name	Forurensing
Units	MG/L
Rain Concen.	0.0
GW Concen.	0.0
I&I Concen.	0.0
DWF Concen.	0.0
Init. Concen.	0.0
Decay Coeff.	0.0
Snow Only	NO
Co-Pollutant	*
Co-Fraction	0.0

Fraction of the co-pollutant's runoff concentration that becomes the current pollutant's runoff concentration.

OK Cancel Help

Figur A.7 Pollutant Editor for forurensing.Skjermdump fra SWMM

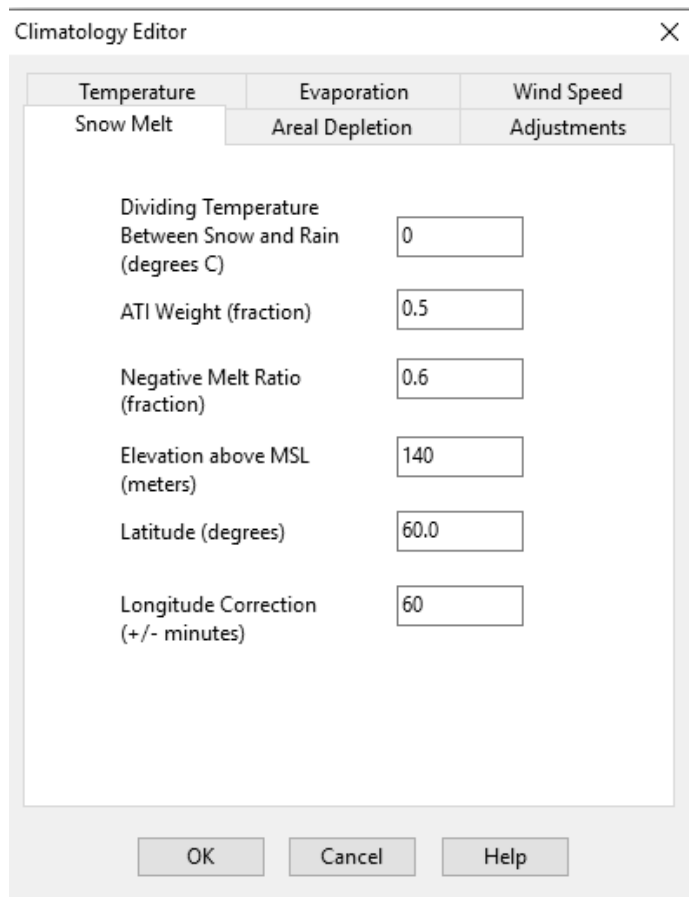
Figur A.6 og figur A.7 viser Pollutant Editor for sand. «Snow only» i Pollutant Editor bestemmer hvorvidt oppbygning av et spesifikt materiale kun skal forekomme når det ligger snø på bakken (YES) eller i tørrværsperioder (NO).

A.3 NEDBØRSFELETET DF1

Subcatchment DF1	
Property	Value
Name	DF1
X-Coordinate	-379.939
Y-Coordinate	7082.066
Description	
Tag	
Rain Gage	NBM1
Outlet	N1
Area	0.05
Width	25
% Slope	3
% Imperv	100
N-Imperv	0.01
N-Perv	0.1
Dstore-Imperv	2
Dstore-Perv	4
%Zero-Imperv	25
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration	HORTON
Groundwater	NO
Snow Pack	SNOW
LID Controls	0
Land Uses	1
Initial Buildup	NONE
Curb Length	0
Curb length (if needed for pollutant buildup functions)	

Figur A.8 Input for DF1. Skjermdump fra SWMM

A.4 CLIMATOLOGY EDITOR



Figur A.9 Climatology Editor. Skjermdump fra SWMM

Under fanen «Temperature» i Climatology Editor kan temperatur legges til i SWMM-modellen.

Figur A.9 viser fanen «Snow Melt» hvor det er mulig å definere en temperatur som skiller om nedbør faller som regn eller snø.

A.5 SNOW PACK EDITOR

Snow Pack Editor

Snow Pack Name:

Snow Pack Parameters | Snow Removal Parameters

Subcatchment Surface Type	Plowable	Impervious	Pervious
Min. Melt Coeff. (mm/hr/deg C)	0.2	0.2	0.2
Max. Melt Coeff. (mm/hr/deg C)	1.7	1.7	1.7
Base Temperature (deg C)	1	1	1
Fraction Free Water Capacity	0.10	0.10	0.10
Initial Snow Depth (mm)	0.00	0.00	0.00
Initial Free Water (mm)	0.00	0.00	0.00
Depth at 100% Cover (mm)		0.00	0.00

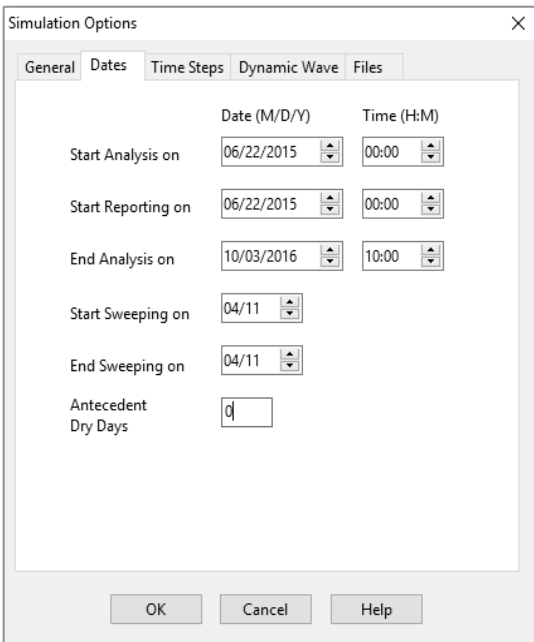
Fraction of Impervious Area That is Plowable:

OK Cancel Help

Figur A.10 "Snow Pack Parameters" i Snow Pack Editor. Skjermdump fra SWMM

For at snø skal legge seg i nedbørsfeltet må en Snow Pack legges til i SWMM-modellen. Dette gjøres i Snow Pack Editor. Figur A.10 viser fanen «Snow Pack Parameters», hvor det under Base Temperature kan defineres ved hvilken temperatur snøsmelting starter.

A.6 SIMULATION OPTIONS



Figur A.11 Dates i Simulation Options.Skjermdump fra SWMM

Figur A.11 viser fanen «Dates» i Simulation Options. Her defineres startpunkt for analyse og rapportering, og sluttunkt for analyse. Start- og sluttunkt for feing bestemmes også her.

A.7 PROGRAMMERING I PYTHON

I følgende avsnitt vil en mer detaljert beskrivelse av skriptet som er blitt laget i Python presenteres. Det skal dog nevnes at forfatterne innehar begrensede kunnskaper innenfor programmering, og det derfor er godt mulig at samme resultater kunne ha kommet frem til på en enklere programmeringsteknisk måte.

Table - Node FOS01				
Days	Hours	Total Inflow (LPS)	Forurensing (MG/L)	Grus (MG/L)
231	05:24:00	0.00	0.00	0.00
231	05:25:00	0.07	28.64	6209.19
231	05:26:00	0.06	21.09	6314.22
231	05:27:00	0.05	15.47	6314.03
231	05:28:00	0.05	11.55	6313.87
231	05:29:00	0.04	8.77	6313.74
231	05:30:00	0.03	6.74	6313.62
231	05:31:00	0.03	5.25	6313.51
231	05:32:00	0.03	4.14	6313.42
231	05:33:00	0.02	3.30	6313.34
231	05:34:00	0.02	2.65	6313.27
231	05:35:00	0.02	2.15	6313.20
231	05:36:00	0.02	1.76	6313.14
231	05:37:00	0.02	1.44	6313.09
231	05:38:00	0.01	1.20	6313.04
231	05:39:00	0.01	1.00	6313.00
231	05:40:00	0.01	0.84	6312.96
231	05:41:00	0.01	0.71	6312.92
231	05:42:00	0.01	0.60	6312.89
231	05:43:00	0.01	0.51	6312.86
231	05:44:00	0.01	0.44	6312.83
231	05:45:00	0.01	0.37	6312.80
231	05:46:00	0.01	0.32	6312.78

Figur A.12 Skjermdump av et tekstfileksempel eksportert ut fra SWMM.

Skriptet er laget som en funksjon som tar en tekstfil inn og gir et datasett ut. I dette tilfellet er tekstfilen eksportert fra SWMM med fem kolonner, nemlig dag, klokkeslett, volumstrøm inn til sandfanget, mengde forurensing og mengde sand inn i sandfanget. Formatet på tekstfilen er vist i figur A.12.

```

19
20     ""Konstanter""
21
22     from math import pi
23     D = 1                # Kumdiameter [m]
24     alfa = 0.6          # Konstant til sedimenteringshastighet
25     g = 9.81           # Tyngdeakselerasjon [m/s**2]
26     d50 = 0.00027      # d50 til partikler [m]
27     rho_sand = 2650     # Tetthet til sand [kg/m**3]
28     rho_forurensing = 1200 # Tetthet til forurensing [kg/m**3]
29     rho_vann = 1000     # Tetthet til vann [kg/m**3]
30     n = 0.24           # Porositet til massen
31     nivå = 0.405       # Høyde hvor det begynner å vaskes ut [m]
32     fullt = 0.648      # Høyde hvor sandfanget er fullt [m]
33     v = 1.3063*10**-6  # Viskositet vann ved 10 grader
34     t_dag1 = 310       # Tømmedag 1 (settes til 0 hvis ikke tømming)
35     t_dag2 = 377       # Tømmedag 2 (settes til 0 hvis ikke tømming)
36
37     A = pi/4*D**2      # Grunnflateareal kum [m**2]
38     SG_s = rho_sand/rho_vann # Spesifikk massetetthet sand
39     SG_f = rho_forurensing/rho_vann # Spesifikk massetetthet forurensing
40     Ws = (alfa*g*d50**2*(SG_s-1))/(18*v) # Sedimenteringshastighet sand [m/s]
41     Wf = (alfa*g*d50**2*(SG_f-1))/(18*v) # Sedimenteringshastighet forurensing [m/s]
42

```

Figur A.13 Skjermdump av del 1 av skriptet i Python.

Oppbygningen til funksjonen kan deles inn i fire deler. Første del starter med å opprette en array (ofte kalt vektor) med 16 kolonner og like mange rader som eksportfilen fra SWMM. Deretter introduseres konstanter som er nødvendige for videre behandling av data senere i funksjonen. For at det skal være enkelt å forandre på grunnleggende konstanter i skriptet er de lagt øverst i avsnittet, mens størrelser som synkehastighet til partikler og spesifikk tetthet, hvilket blir beregnet, er plassert nederst. Dette er presentert i henholdsvis linje 23 til 35 og linje 37 til 41 i figur A.13. Tømmedagene i linje 34 og 35 blir en dag før dagene i NIBIO-rapporten. Dette skyldes at første dag i Python-skriptet er dag 0.

```

45
46     """Utregninger"""
47
48     verdier[2] = np.array([SWMM['(LPS)']])           # Total Inflow, Q [l/s]
49     verdier[3] = verdier[2]/0.05                    # Regnintensitet [l/ha*s]
50     verdier[4] = np.array([SWMM['(MG/L)']])        # Sand [mg/l]
51     verdier[5] = np.array([SWMM['(MG/L).1']])      # Forurensing [mg/l]
52     verdier[6] = verdier[2]*verdier[4]*60*10**-6   # Sand [kg]
53     verdier[7] = verdier[2]*verdier[5]*60*10**-6   # Forurensing [kg]
54     verdier[8] = Ws/(Ws + (verdier[2]*0.001/A))    # Epsilon sand
55     verdier[9] = Wf/(Wf + (verdier[2]*0.001/A))    # Epsilon forurensing
56     verdier[10] = verdier[6]*verdier[8]            # Masse sand sedimentert [kg]
57     verdier[11] = verdier[7]*verdier[9]            # Masse forurensing sedimentert [kg]
58
59
60     for i in range(len(verdier[10])):                # Høyde tilført [m]
61         if verdier[10][i] != 0 or verdier[11][i] != 0:
62             verdier[12][i] = (verdier[10][i]+verdier[11][i]) / \
63                 ((rho_sand*verdier[10][i] / \
64                  (verdier[10][i]+verdier[11][i]) + \
65                  rho_forurensing*verdier[11][i] / \
66                  (verdier[10][i]+verdier[11][i])) * \
67                 A*(1-n))
68         else:
69             verdier[12][i] = 0
70

```

Figur A.14 Skjermdump av del 2 av skriptet i Python.

I andre del av skriptet behandles data fra SWMM. For majoriteten av verdiene dreier det seg om enkle omregninger av allerede oppgitte data både med og uten bruk av tidligere nevnte konstanter (linje 48-57). Men som presentert i linje 60 til 69 i figur A.14 har det vært nødvendig å regne ut høyden av det som er tilført sandfanget på en annen måte. Dette er fordi høyden er en funksjon av massetettheten av sandfangsmassen. Massen er grovt delt inn i to typer, nemlig sand og forurensninger. Av denne grunn er det beregnet en massetetthet basert på andel sand og andel forurensing som sedimenteres i sandfanget. En oversikt over de forskjellige verdiene som blir plassert inn i en array er presentert i tabell A.1. De to første kolonnene, `verdier[0]` og `verdier[1]` er ikke tilegnet noen verdier, da de senere i skriptet blir brukt til dag og klokkeslett.

Tabell A.1 Oversikt over de forskjellige verdiene i arrayen brukt i Python-skriptet.

Plassering i matrisen	Beskrivelse
verdier[2]	Volumstrøm inn i sandfang [Q]
verdier[3]	Nedbørsintensitet [l/s/ha]
verdier[4]	Sand inn i sandfanget [mg/l]
verdier[5]	Forurensing inn i sandfanget [mg/l]
verdier[6]	Sand inn i sandfanget [kg]
verdier[7]	Forurensing inn i sandfanget [kg]
verdier[8]	Effektivitet til sand
verdier[9]	Effektivitet til forurensing
verdier[10]	Masse sand sedimentert i sandfanget [kg]
verdier[11]	Masse forurensing sedimentert i sandfanget [kg]
verdier[12]	Høyde tilført sandfanget [m]
verdier[13]	Justeringsfaktor
verdier[14]	Høydenivå i sandfang [m]
verdier[15]	Massetetthet [kg/m ³]

Skriptets del tre er presentert i figur A.15 og beregner justeringsfaktor, akkumulert høyde samt massetetthet til sedimentert masse i sandfanget. Justeringsfaktoren blir beregnet i linje 80 til 87 og baseres på forrige beregnede akkumulerte høyde. Faktoren blir brukt til å estimere nåværende høydenivå i linje 90 og 91. I tillegg blir det beregnet en massetetthet ut i fra andelen sand og forurensing som er sedimentert i sandfanget i 94 til 100. Hvis det er spesifisert at sandfanget skal tømmes i første del av skriptet, blir dette tatt hensyn til underveis ved å nullstille parametrene akkumulert høyde, total masse stein, total masse forurensing og massetetthet i linje 103 til 106.


```

73
74     """Beregning av justeringsfaktor, akkumulert høyde og massetetthet"""
75
76     m_s = 0 # Total masse sand i sandfang (kg)
77     m_f = 0 # Total masse forurensing i sandfang (kg)
78
79     """Justeringsfaktor"""
80     for i in range(t_dag1*1440-1):
81         if verdier[14][i-1] < nivå:
82             verdier[13][i] = 1
83         elif verdier[14][i-1] >= fullt:
84             verdier[13][i] = 0
85         else:
86             verdier[13][i] = (fullt-verdier[14][i-1]) \
87                 /(fullt-niva)
88
89         """Akkumulert høyde"""
90         verdier[14][i] = verdier[14][i-1]+verdier[12][i] \
91             *verdier[13][i]
92
93         """Massetetthet"""
94         if verdier[10][i] != 0 or verdier[11][i] !=0:
95             m_s += verdier[10][i]
96             m_f += verdier[11][i]
97             verdier[15][i] = rho_sand*m_s/(m_s+m_f)+ \
98                 rho_forurensing*m_f/(m_s+m_f)
99         else:
100             verdier[15][i] = verdier[15][i-1]
101
102     """Nullstille noen verdier etter tømming av sandfang"""
103     verdier[14][t_dag1*1440-1] = 0 # Akkumulert høyde (m)
104     verdier[15][t_dag1*1440-1] = 0 # Massetetthet (kg/m**3)
105     m_s = 0 # Total masse sand i sandfang (kg)
106     m_f = 0 # Total masse forurensing i sandfang (kg)
107

```

Figur A.15 Skjermdump av noe av del 3 Python-skriptet.

Den siste delen av skriptet er kun brukt for å navngi kolonner i datasettet og flytte verdiene inn i datasettet, som vist i figur A.16.

```

164
165     """Navngi kolonner i tabell og fyller inn verdier"""
166
167     navn = np.array(['Dag','Klokkeslett','Q (l/s)','Regnintensitet (l/ha*s)', \
168                 'Sand (mg/l)','Forurensing (mg/l)','Sand (kg)', \
169                 'Forurensing (kg)','epsilon sand', \
170                 'epsilon forurensing','Sand sedimentert (kg)', \
171                 'Forurensing sedimentert (kg)','Høyde tilført (m)', \
172                 'Justeringsfaktor','Akkumulert høyde (m)', \
173                 'Massetetthet (kg/m**3)'])
174
175     Datasett = pd.DataFrame(data=verdier, columns=navn)
176
177     Datasett['Klokkeslett'] = np.transpose(np.array([SWMM['Hours']]))
178     Datasett['Dag'] = np.transpose(np.array([SWMM['Days']]))
179

```

Figur A.16 Skjermdump av del 4 av skriptet i Python.

A.8 VERIFISERING AV PYTHONSKRIPT

```
9
10 import numpy as np
11 import matplotlib.pyplot as plt
12 from scipy.integrate import solve_ivp
13 from scipy.interpolate import interp1d
14
15
16
17
18 """Noen variabler"""
19 A = 0.7853981633974483
20 Ws = 0.030110384291510372
21 Wf = 0.0036497435504861055
22 n = 0.24
23
24
25 q = np.array(liste_n24['Q (l/s)'])
26 s = np.array(liste_n24['Sand (kg)'])
27 f = np.array(liste_n24['Forurensing (kg)'])
28
29
30 s_int = interp1d(range(len(liste_n24)), s)
31 q_int = interp1d(range(len(liste_n24)), q)
32 f_int = interp1d(range(len(liste_n24)), f)
33
34
35
36 def dmdt(t, m_vector):
37     m_f = m_vector[0]
38     m_s = m_vector[1]
39     m = m_f+m_s
40
41     H = 0.81
42     h = m**2 / (A * (2650 * m_s + 1200 * m_f)*(1-n))
43     if h < 0.5 * H :
44         dm_f_dt = Wf / (Wf + q_int(t)*0.001/ A) * f_int(t)
45         dm_s_dt = Ws / (Ws + q_int(t)*0.001/ A) * s_int(t)
46     elif h > 0.8 * H:
47         dm_f_dt = 0
48         dm_s_dt = 0
49     else:
50         dm_f_dt = f_int(t) - (1 - Wf / (Wf + q_int(t) * 0.001/ A)) * f_int(t) * (-10 / (3 * H) * h + 8 / 3)
51         dm_s_dt = s_int(t) - (1 - Wf / (Wf + q_int(t) * 0.001/ A)) * s_int(t) * (-10 / (3 * H) * h + 8 / 3)
52     return [dm_f_dt, dm_s_dt]
53
54
55 t0_minutes = 0
56 t1_minutes = len(liste_n24)-1
57 initial_conditions = [0.0000001, 0.0000001]
58 res = solve_ivp(dmdt, (t0_minutes, t1_minutes), initial_conditions, max_step=1)
59 m_f = res.y[0]
60 m_s = res.y[1]
61 m = m_f+m_s
62
63
64 h = m**2 / (A * (2650 * m_s + 1200 * m_f)*(1-n))
65
66 plt.plot(range(len(liste_n24)), liste_n24['Akkumulert høyde (m)'], 'b-')
67 plt.plot(range(len(h)),h, 'r-')
68 plt.show()
69
```

Figur A.17 Skjermdump av verifikasjonen til Pythonskriptet.

A.9 RAPPORT I SWMM

EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.1 (Build 5.1.013)

Rainfall File Summary

Station ID	First Date	Last Date	Recording Frequency	Periods w/Precip	Periods Missing	Periods Malfunc.
18270	06/22/2015	10/03/2016	1 min	21749	0	0

NOTE: The summary statistics displayed in this report are based on results found at every computational time step, not just on results from each reporting time step.

Analysis Options

Flow Units LPS
Process Models:
 Rainfall/Runoff YES
 RDII NO
 Snowmelt YES
 Groundwater NO
 Flow Routing YES
 Ponding Allowed NO
 Water Quality YES
Infiltration Method HORTON
Flow Routing Method DYNWAVE
Surcharge Method EXTRAN
Starting Date 06/22/2015 00:00:00
Ending Date 10/03/2016 10:00:00
Antecedent Dry Days 0.0
Report Time Step 00:01:00
Wet Time Step 00:01:00
Dry Time Step 00:01:00
Routing Time Step 60.00 sec
Variable Time Step YES
Maximum Trials 8
Number of Threads 1
Head Tolerance 0.001500 m

Figur A.18 Utrag fra rapport i SWMM

*****	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
*****	-----	-----
Initial Snow Cover	0.000	0.000
Total Precipitation	0.062	1230.700
Evaporation Loss	0.000	0.000
Infiltration Loss	0.000	0.000
Surface Runoff	0.062	1235.874
Snow Removed	0.000	0.000
Final Snow Cover	0.000	0.000
Final Storage	0.000	1.500
Continuity Error (%)	-0.542	

*****	Forurensing	Grus
Runoff Quality Continuity	kg	kg
*****	-----	-----
Initial Buildup	0.000	0.000
Surface Buildup	973.800	600.200
Wet Deposition	0.000	0.000
Sweeping Removal	449.437	274.985
Infiltration Loss	0.000	0.000
BMP Removal	0.000	0.000
Surface Runoff	436.077	270.795
Remaining Buildup	88.286	54.420
Continuity Error (%)	0.000	0.000

*****	Volume	Volume
Flow Routing Continuity	hectare-m	10^6 ltr
*****	-----	-----
Dry Weather Inflow	0.000	0.000
Wet Weather Inflow	0.062	0.618
Groundwater Inflow	0.000	0.000
RDII Inflow	0.000	0.000
External Inflow	0.000	0.000
External Outflow	0.062	0.619
Flooding Loss	0.000	0.000
Evaporation Loss	0.000	0.000
Exfiltration Loss	0.000	0.000
Initial Stored Volume	0.000	0.000
Final Stored Volume	0.000	0.000
Continuity Error (%)	-0.127	

Figur A.19 Utrag fra rapport i SWMM

```

*****
Quality Routing Continuity      Forurensing      Grus
*****                          kg              kg
*****                          -----
Dry Weather Inflow .....      0.000          0.000
Wet Weather Inflow .....     436.077        270.795
Groundwater Inflow .....      0.000          0.000
RDII Inflow .....             0.000          0.000
External Inflow .....          0.000          0.000
External Outflow .....        299.170        265.916
Flooding Loss .....           0.000          0.000
Exfiltration Loss .....        0.000          0.000
Mass Reacted .....            0.000          0.000
Initial Stored Mass .....      0.000          0.000
Final Stored Mass .....        0.001          0.008
Continuity Error (%) .....     31.395         1.799

```

```

*****
Highest Continuity Errors
*****
Node N2 (9.09%)

```

```

*****
Time-Step Critical Elements
*****
None

```

```

*****
Highest Flow Instability Indexes
*****
All links are stable.

```

```

*****
Routing Time Step Summary
*****
Minimum Time Step      :   58.00 sec
Average Time Step      :   60.00 sec
Maximum Time Step      :   60.00 sec
Percent in Steady State :    0.00
Average Iterations per Step :    2.00
Percent Not Converging  :    0.00

```

```

*****
Analysis begun on:  Fri Apr 26 14:45:56 2019
Analysis ended on:  Fri Apr 26 14:46:00 2019
Total elapsed time:  00:00:04

```

Figur A.20 Utdrag fra rapport i SWMM

VELDEGG B: UTREGNINGER AV MASSER

B.1 SANDFANGMASSENE'S DENSITET

Mengdeforholdet mellom sand og forurensing i sandfangmassene, bestemmes ut ifra massetettheten til sandfangmassene i Fossumveien. Denne informasjonen vil bli benyttet til å estimere hvor mange kg sand og forurensing som skal bygges opp i SWMM-modellen. I tabell B.1 kommer det frem at sandfangmassene, hentet ut 22.06.15 i Fossumveien har en massetetthet på 1347,3 kg/m³. Disse tallene er ikke eksakte, og bør derfor anses som grove estimater (Leikanger & Roseth, 2016). Likevel er det disse målingene som best beskriver sandfangmassene i Fossumveien og vil derfor benyttes å estimere mengdeforholdet mellom sand og forurensing.

Tabell B.1 Vekt, volum, og massetetthet av sandfangmasser hentet fra sandfang i Grorudveien og Fossumveien (Leikanger & Roseth, 2016)

Sandfangmasser	Volum i sandfang [m ³]	Våtvekt [kg]	Tørrvekt [kg]	Massetetthet [kg/m ³]
FOS 22.06.15	4,29	6800	5780	1347,3
GRO 09.10.15	14,08	19300	16405	1164,9
GRO/FOS 28.04.16	7,02	8800	7480	1065,8
GRO/FOS 04.07.16	3,17	3600	3060	965,3
GRO/FOS 03.10.16	3,03	3300	2805	925,7

Vannmassen i sandfangmassene fra Fossumveien 22.06.15 er:

$$m_{\text{vann}} = 6800 \text{ kg} - 5780 \text{ kg} = 1020 \text{ kg}$$

Volumet av vannmassen er 1,02 m³. Porøsiteten n til sandfangmassene blir da:

$$n = \frac{1,02 \text{ m}^3}{4,29 \text{ m}^3} = 0,2377 = 24\%$$

Massetettheten ρ til sandfangmassen uten porer blir da:

$$\rho = \frac{1347,3}{(1 - 0,24)} = 1773 \text{ kg/m}^3$$

I videre beregninger antas det at massetettheten til forurensing ikke kan være lavere enn massetettheten til vann, som er 999.87 kg/m^3 ved 0°C (Hofstad, 2018), da stoffer med lavere massetetthet sannsynligvis ikke vil tilbakeholdes i sandfanget. Minimum massetetthet for sandfangmassene settes derfor til 1200 kg/m^3 . Det antas også at en del av sandfangmassene er sand med massetetthet 2650 kg/m^3 . Prosent av sandfangmassene med massetetthet til sand blir:

$$1773 \text{ kg/m}^3 = 2650 \text{ kg/m}^3 * x + 1200 \text{ kg/m}^3 * (1 - x)$$

$$x = 0,40$$

Hvorpå prosent massetetthet til forurensing blir:

$$1 - 0,40 = 0,60$$

Andelen av sandfangmassen som har massetetthet på 2650 kg/m^3 (tilsvarende sand) settes til 40%. De resterende 60% av sandfangmassene har da en massetetthet på 1200 kg/m^3 (tilsvarende forurensing).

B.2 ESTIMERING AV SANDFANGMASSER

I disse beregningene antas det at massetettheten til sandfangmassene hentet ut 22.06.2015 i Fossumveien er representativ for sandfangmassene som hentes ut ved tømning av FOS01 28.04.2016, 04.07.2016 og 3.10.2016. Summen av volumet til sandfangmassene hentet ut fra FOS01 disse dagene er kjent, og massetettheten kan da benyttes for å regne ut vekten av sandfangmassene. Volum av sandfangmassene som hentes ut er $0,48 \text{ m}^3$, den totale mengden sandfangmasse m_{sf} hentet ut av FOS01 blir da:

$$m_{sf} = V_{sf} * \rho_{sf} * (1 - n) = 0,48 \text{ m}^3 * 1773 \text{ kg/m}^3 * (1 - 0,24) = 646,8 \text{ kg}$$

Av dette er 40 % sand. Massen sand i sandfang $m_{sf_{sand}}$ er da:

$$m_{sf_{sand}} = 646,8 \text{ kg} * 0,40 = 258,8 \text{ kg}$$

Resterende masse blir da forurensing $m_{sf_{forurensing}}$:

$$m_{sf_{forurensing}} = 646,8 \text{ kg} - 258,8 \text{ kg} = 388 \text{ kg}$$

B.3 MASSER VIDEREFØRT FRA SANDFANG

Et sandfangs evne til å sedimentere partikler er i stor grad avhengig av partikkelstørrelse og volumstrøm inn til sandfanget. I modellen benyttes $d = 0,27$ mm som partikkelstørrelse for både sand og forurensing. I tabell 2.7 kommer det frem at ved en volumstrøm på 14,2 l/s, holdes 91,54 % av sandpartikler med en partikkelstørrelse på 0,25-0,84 mm igjen i sandfanget. Da sandfang i Norge dimensjoneres for en volumstrøm på 25 l/s, virker det rimelig å anta at en volumstrøm på 14,2 l/s er representativ ved en nedbørshendelse. Det antas at 91,54 % av partikler som går inn til sandfanget sedimenterer, dermed blir masse inn til sandfanget m_{inn} :

$$m_{inn} = \frac{m_{sf}}{0,915} = \frac{646,8 \text{ kg}}{0,915} = 706,9 \text{ kg}$$

Masse som renner ut av sandfanget blir da:

$$m_{ut} = m_{inn} - m_{sf} = 706,9 \text{ kg} - 646,8 \text{ kg} = 60,1 \text{ kg}$$

Da massetettheten til sand er 2650 kg/m³, og massetettheten til forurensing er 1200 kg/m³, er det rimelig å anta at mesteparten av masse m_{ut} er forurensing fordi forurensing har lavere sedimenteringshastighet enn sand for partikkelstørrelse $d = 0,27$ mm. I modellen antas det at andelen av masse m_{ut} som er sand er 20 %, mens resterende 80 % er forurensing. Andelen masse av hvert materiale som renner ut av sandfanget blir da:

$$m_{ut_{sand}} = 60,1 \text{ kg} * 0,2 = 12 \text{ kg}$$

$$m_{ut_{forurensing}} = 60,1 \text{ kg} - 12 \text{ kg} = 48,1 \text{ kg}$$

B.4 MENGDE SAND OG FORURENSING INN TIL SANDFANGET

Mengden sand inn i sandfanget er:

$$m_{\text{inn,sand}} = m_{\text{sf,sand}} + m_{\text{ut,sand}} = 258,8 \text{ kg} + 12 \text{ kg} = 270,8 \text{ kg}$$

Mengden forurensing inn i sandfanget er:

$$m_{\text{inn,forurensing}} = m_{\text{sf,forurensing}} + m_{\text{ut,forurensing}} = 388 \text{ kg} + 48,1 \text{ kg} = 436,1 \text{ kg}$$

Prosentandelen av massen m_{inn} som er sand:

$$\% \text{ Sand} = \frac{m_{\text{inn,sand}}}{m_{\text{inn}}} = \frac{270,8 \text{ kg}}{706,9 \text{ kg}} = 38 \%$$

Prosentandelen av massen m_{inn} som er forurensing:

$$\% \text{ Forurensing} = \frac{706,9 \text{ kg} - 270,8 \text{ kg}}{706,9 \text{ kg}} = 62 \%$$

B.5 OPPFEIDE MASSER

I Fossumveien samles 46 % av total oppbygning opp under vårrengjøring (Leikanger & Roseth, 2016). Dette tilsvarer:

$$m_f = 1574 \text{ kg} * 0,46 = 724 \text{ kg}$$

Forholdet mellom forurensing og sand i de oppfeide massene m_f , antas å være lik forholdet mellom forurensing og sand i massene m_{inn} . Andelen av oppfeide masser som er sand $m_{f_{sand}}$ blir da:

$$m_{f_{sand}} = 724 \text{ kg} * 0,38 = 275 \text{ kg}$$

Andelen av oppfeide masser som er forurensing $m_{f_{fourensing}}$ blir da:

$$m_{f_{fourensing}} = 724 \text{ kg} * 0,62 = 449 \text{ kg}$$

B.6 MASSER SOM BLIR LIGGENDE IGJEN PÅ NEDBØRSFELTET

Masser som ikke samles opp under vårrengjøring, og ikke går til sandfanget, blir i SWMM-modellen liggende igjen på nedbørsfeltet. Massen m_n som blir igjen på nedbørsfeltet DF1 er da:

$$m_n = m_{\text{tot}} - m_f - m_{\text{inn}}$$

$$m_n = 1574 \text{ kg} - 724 \text{ kg} - 706,9 \text{ kg} = 143,1 \text{ kg}$$

Forholdet mellom sand og forurensing for gjenværende masse m_n i nedbørsfeltet antas å være lik forholdet mellom sand og forurensing i de oppfeide massene m_f . Andelen av gjenværende masser i nedbørsfeltet som er sand $m_{n_{\text{sand}}}$ blir da:

$$m_{n_{\text{sand}}} = 143,1 \text{ kg} * 0,38 = 54,4 \text{ kg}$$

Andelen av gjenværende masser som er forurensing $m_{n_{\text{forurensing}}}$ blir da:

$$m_{n_{\text{forurensing}}} = 143,1 \text{ kg} * 0,62 = 88,7 \text{ kg}$$

B.7 OPPSUMMERING AV MASSER TIL SWMM-MODELL

Total mengde sand $m_{\text{tot}_{\text{sand}}}$ som bygges opp i SWMM-modellen blir:

$$m_{\text{tot}_{\text{sand}}} = m_{\text{inn}_{\text{sand}}} + m_{\text{f}_{\text{sand}}} + m_{\text{n}_{\text{sand}}}$$

$$m_{\text{tot}_{\text{sand}}} = 270,8 \text{ kg} + 275 \text{ kg} + 54,4 \text{ kg} = 600,2 \text{ kg}$$

Total mengde forurensing $m_{\text{tot}_{\text{forurensing}}}$ som bygges opp i SWMM-modellen blir:

$$m_{\text{tot}_{\text{forurensing}}} = m_{\text{inn}_{\text{forurensing}}} + m_{\text{f}_{\text{forurensing}}} + m_{\text{n}_{\text{forurensing}}}$$

$$m_{\text{tot}_{\text{forurensing}}} = 436,1 \text{ kg} + 449 \text{ kg} + 88,7 \text{ kg} = 973,8 \text{ kg}$$

Total masse m_{tot} som bygges opp blir da:

$$m_{\text{tot}} = 600,2 \text{ kg} + 973,8 \text{ kg} = 1574 \text{ kg}$$

VEDLEGG C: DETALJER NIVÅMÅLER

C.1 PROGRAMMERING ARDUINO

```
1 int LysSensor1 = A0;
2 int LysSensor2 = A1;
3 int LysSensor3 = A2;
4 int LysSensor4 = A3;
5 int LysSensor5 = A4;
6
7 int reading1 = 0;
8 int reading2 = 0;
9 int reading3 = 0;
10 int reading4 = 0;
11 int reading5 = 0;
12
13 void setup(){
14   pinMode(LysSensor1,INPUT);
15   pinMode(LysSensor2,INPUT);
16   pinMode(LysSensor3,INPUT);
17   pinMode(LysSensor4,INPUT);
18   pinMode(LysSensor5,INPUT);
19   Serial.begin(9600);
20 }
```

Figur C.1 Skjermdump av del 1 av scriptet til Arduinoen.

```
void loop(){
  reading1 = analogRead(LysSensor1);
  float voltage1 = reading1;
  Serial.print("LysSensor1: ");
  Serial.println((voltage1*5)/1023);

  reading2 = analogRead(LysSensor2);
  float voltage2 = reading2;
  Serial.print("LysSensor2: ");
  Serial.println((voltage2*5)/1023);

  reading3 = analogRead(LysSensor3);
  float voltage3 = reading3;
  Serial.print("LysSensor3: ");
  Serial.println((voltage3*5)/1023);

  reading4 = analogRead(LysSensor4);
  float voltage4 = reading4;
  Serial.print("LysSensor4: ");
  Serial.println((voltage4*5)/1023);

  reading5 = analogRead(LysSensor5);
  float voltage5 = reading5;
  Serial.print("LysSensor5: ");
  Serial.println((voltage5*5)/1023);
  Serial.println();
  delay(1000);
}
```

Figur C.2 Skjermdump av del 2 av scriptet til Arduinoen.

Figur C.1 viser første del av scriptet som brukes for å programmere Arduinoen. Det starter med å definere hvilken inngang på Arduinoen hver av de fem lyssensorene skal kobles til. Deretter gjøres Arduinoen klar for å lagre informasjon fra lyssensorene, og det spesifiseres at inngangene lyssensorene er koblet til skal ta imot input.

Figur C.2 viser den andre delen av scriptet og består av en loop hvor Arduinoen leser og behandler informasjon fra lyssensorene og gir deretter tilbakemelding på hvordan lyssensorene reagerer på lys. Loopen gjør nye målinger hvert sekund slik at sensorene kan leses av kontinuerlig.

Når lys treffer lyssensorene reagerer de litt forskjellig avhengig av om lyssensoren er en fotoresistor, fotodiode, eller fototransistor, men Arduinoen tolker uansett reaksjonen som spenning. Arduinoen leser av spenningen og uttrykker den som en verdi fra 0 til 1023, hvor 0 tyder på at lyssensoren ikke utsettes for lys, og 1023 tyder på at lyssensoren utsettes for sterkt lys. I scriptet regnes spenningen om slik at den representeres som en verdi mellom 0-5 V.

C.2 UTDRAG AV DATABLAD TIL SENSORLIST A

www.osram-os.com

SFH 3310

Radial T1 Ambient Light Sensor

Silicon NPN Phototransistor with V_A Characteristics



Applications

- Access Control / Biometrics (IRIS, Scan, Vein scan)
- Remote Control, Proximity, Ambient Light Sensing
- Smartphone, Tablet (Backlighting)

Features:

- Package: clear epoxy
- ESD: 2 kV acc. to ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 (HBM, Class 2)
- Adapted to human eye sensitivity (V_A)
- Spectral range of sensitivity: (typ) 350 ... 970 nm

Ordering Information

Type	Photocurrent $V_{CE} = 5 \text{ V}; \lambda = 560 \text{ nm}; E_e = 0.01 \text{ mW/cm}^2$ I_{PCE}	Ordering Code
SFH 3310	2.5 ... 8.0 μA	Q65110A5343

Maximum Ratings

$T_A = 25\text{ °C}$

Parameter	Symbol		Values
Operating temperature	T_{op}	min. max.	-40 °C 100 °C
Storage temperature	T_{stg}	min. max.	-40 °C 100 °C
Collector-emitter voltage	V_{CE}	max.	5.5 V
Collector current	I_C	max.	20 mA
Emitter-collector voltage	V_{EC}	max.	0.5 V
ESD withstand voltage acc. to ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 (HBM, Class 2)	V_{ESD}	max.	2 kV

Characteristics

$T_A = 25\text{ °C}$

Parameter	Symbol		Values
Wavelength of max sensitivity	$\lambda_{S\ max}$	typ.	570 nm
Spectral range of sensitivity	$\lambda_{10\%}$	typ.	350 ... 970 nm
Chip dimensions	L x W	typ.	0.75 x 0.75 mm x mm
Radiant sensitive area	A	typ.	0.29 mm ²
Half angle	ψ	typ.	75 °
Photocurrent $E_v = 1000\text{ lx}$; Std. Light A ; $V_{CE} = 5\text{ V}$	I_{PCE}	typ.	375 μ A
Dark current $V_{CE} = 5\text{ V}$; $E = 0$	I_{CE0}	typ. max.	3 nA 50 nA
Collector-emitter saturation voltage ¹⁾ $I_C = I_{PCE,min} \times 0.3$; $E_e = 0.01\text{ mW/cm}^2$	V_{CEsat}	typ.	100 mV
Capacitance $V_{CE} = 0\text{ V}$; $f = 1\text{ MHz}$; $E = 0$	C_{CE}	typ.	16 pF

C.3 DATABLAD TIL SENSORLIST B



LDR CdS PHOTO CELL

Absolute Maximum Ratings

Allowable Power Dissipation (P_D) 100 mW (Derate above 25 °C ; 1.0 mW/ °C)
Maximum Applied Voltage (V_{MAX}) 150 V _{DC}
Ambient Temperature Range (T_A) -30 ~ +75 °C

Photo-electric Characteristics (at 25 °C)

PARAMETER SYMBOL		MIN.	MAX.	UNITS
Light Resistance at 10 Lux	R_L 50		100	k Ω
Gamma Value at 10 ~ 100 Lux	γ 0.8	(Typ.)		—————
Dark Resistance (10 sec. After shut off 10 Lux)	R_D 5		—————	M Ω
Peak Spectral Response	λ_P	600	650	Nm

※ Pre-measurement condition ; Exposed in 500 Lux for more than 3 hours.

Dimensions unit: mm



Order Code: N5AC-50108

Copyright LPRS 2012

Two Rivers Industrial Estate Station Lane Witney Oxfordshire OX28 4BH Tel: +44 1993 709418 Fax: +44 1993 705415 www.lprs.co.uk

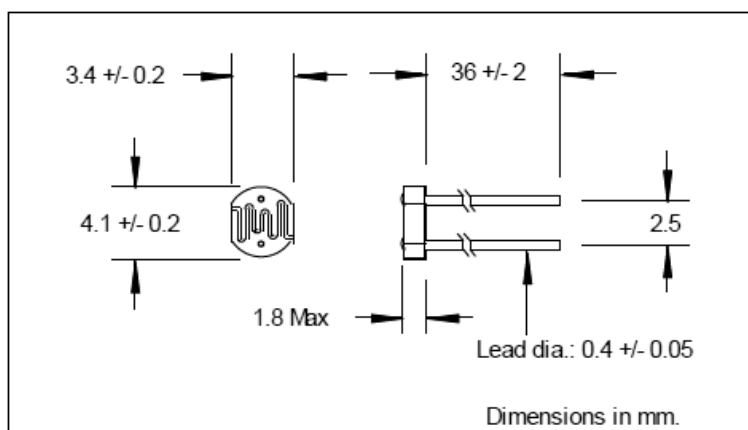
C.4 DATABLAD TIL SENSORLIST C



To-18 Ceramic Package Photocells NSL-19M51

WWW.LUNAINC.COM

Precision – Control – Results



DESCRIPTION

The NSL-19M51 is a light dependent resistor with sensitivity in the visible light region. The CdS photoconductive cell is on a TO-18 ceramic and the photocell surface is plastic encapsulated for moisture resistance.

FEATURES

- Passive resistance output
- Ceramic package

RELIABILITY

Contact Luna for recommendations on specific test conditions and procedures.

APPLICATIONS

- Industrial

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	MIN		MAX	UNITS	(TA)= 23°C UNLESS OTHERWISE NOTED
Voltage (peak AC or DC)	-	-	100	V	-
Power Dissipation @ 25°C ¹	-	-	50	mW	-
Operation Temperature	-60	to	+75	°C	-
Storage Temperature	-60	to	+75	°C	-
Soldering Temperature ²	-	-	+260	°C	-

NOTES:

1. Derate linearly to 0 at 75°C
2. >0.05" from case for <10 sec.

Information in this technical datasheet is believed to be correct and reliable. However, no responsibility is assumed for possible inaccuracies or omission. Specifications are subject to change without notice.

Page 1/2

REV 01-04-16

© 2016 Luna Optoelectronics. All rights reserved.

Luna Optoelectronics, 1240 Avenida Acaso, Camarillo CA 93012 • Phone (805) 987-0146 • Fax (805) 484-9935

OPTO-ELECTRICAL PARAMETERS

T_a = 23°C unless noted otherwise

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Light Resistance	10 lux., 2854°K ³	20	-	100	KΩ
	100 lux., 2854°K ³	-	5	-	
Dark Resistance	10 sec after removal of test light.	20	-	-	MΩ
Spectral Peak	-	-	550	-	nm
Gamma	1-10 Lux	-	0.7	-	-
Gamma	10-100 Lux	-	0.7	-	-

NOTE:

- Cells light adapted at 30 to 50 Ftc for 16 hrs minimum prior to electrical tests.

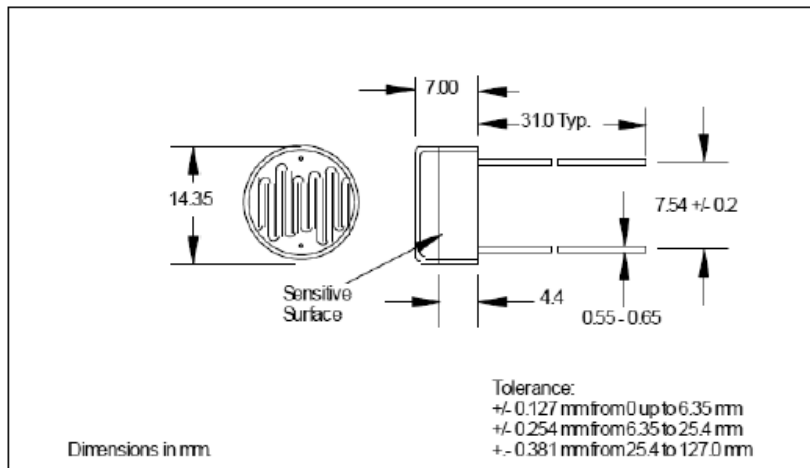
C.5 DATABLAD TIL SENSORLIST D



Plastic Package Cds Photocells
NORPS-12

WWW.LUNAINC.COM

Precision – Control – Results



DESCRIPTION

The NSL-19M51 is a light dependent resistor with sensitivity in the visible light region. The CdS photoconductive cell is on a TO-18 ceramic and the photocell surface is plastic encapsulated for moisture resistance.

FEATURES

- Compact design
- 550nm peak response
- Passive resistance
- Output

RELIABILITY

Contact Luna for recommendations on specific test conditions and procedures.

APPLICATIONS

- Industrial

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	MIN		MAX	UNITS	(TA)= 23°C UNLESS OTHERWISE NOTED
Power Dissipation at 30°C ¹	-	-	250	mW	-
Operation Temperature	-60	to	+75	°C	-
Storage Temperature	-60	to	+75	°C	-
Voltage (peak AC or DC)	-	-	+250	V	-

NOTES:

1. Derate linearly to 0 at 75°C

Information in this technical datasheet is believed to be correct and reliable. However, no responsibility is assumed for possible inaccuracies or omission. Specifications are subject to change without notice.

Page 1/2

REV 01-04-18

© 2016 Luna Optoelectronics. All rights reserved.

Luna Optoelectronics, 1240 Avenida Acaso, Camarillo CA 93012 • Phone (805) 987-0146 • Fax (805) 484-9935

OPTO-ELECTRICAL PARAMETERS

T_a = 23°C UNLESS NOTED OTHERWISE

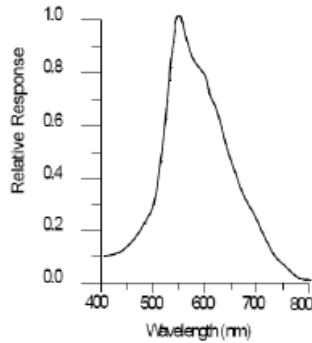
PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Light Resistance	1 ftc. ²	5.4	-	12.6	KΩ
Dark Resistance	15 sec after removal of test light.	1.0	-	-	MΩ
Spectral Peak	-	-	550	-	nm

NOTE:

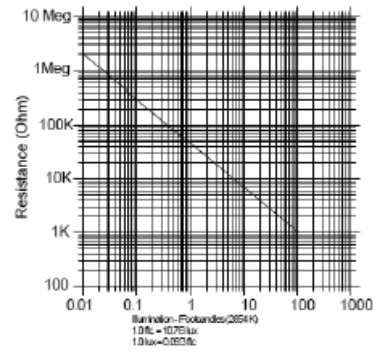
2. Cells light adapted at 30 to 50 ftc. for 16 hrs. minimum prior to electrical tests.
3. Print "NORPS-12" and date code "YYWW" on housing.

TYPICAL PERFORMANCE

PEAK SPECTRAL RESPONSE



TYPICAL RESISTANCE vs. ILLUMINATION CHARACTERISTICS



Information in this technical datasheet is believed to be correct and reliable. However, no responsibility is assumed for possible inaccuracies or omission. Specifications are subject to change without notice.

C.6 UTDRAG AV DATABLAD TIL SENSORLIST E

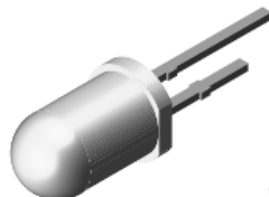


www.vishay.com

TEPT5600

Vishay Semiconductors

Ambient Light Sensor



94 8390

FEATURES

- Package type: leaded
- Package form: T-1 $\frac{3}{4}$
- Dimensions (in mm): \varnothing 5
- High photo sensitivity
- Adapted to human eye responsivity
- Angle of half sensitivity: $\varphi = \pm 20^\circ$
- Compliant to RoHS Directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS
COMPLIANT
GREEN
[E-ROHS]T**

Note

** Please see document "Vishay Material Category Policy":
www.vishay.com/doc?99902

DESCRIPTION

TEPT5600 ambient light sensor is a silicon NPN epitaxial planar phototransistor in a T-1 $\frac{3}{4}$ package. It is sensitive to visible light much like the human eye and has peak sensitivity at 570 nm.

APPLICATIONS

- Replacement of cadmium sulfide (CdS) photoresistors
- Ambient light sensor

PRODUCT SUMMARY			
COMPONENT	I_{PCE} (A)	φ (deg)	$\lambda_{0.5}$ (nm)
TEPT5600	350	± 20	440 to 800

Note

- Test condition see table "Basic Characteristics"

ORDERING INFORMATION			
ORDERING CODE	PACKAGING	REMARKS	PACKAGE FORM
TEPT5600	Bulk	MOQ: 4000 pcs, 4000 pcs/bulk. Label with I_{PCE} group on each bulk. Specifications of group A/B/C/D see table "Type Dedicated Characteristics" on page 2	T-1 $\frac{3}{4}$

Note

- MOQ: minimum order quantity

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_{amb} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Collector emitter voltage		V_{CEO}	6	V
Emitter collector voltage		V_{ECO}	1.5	V
Collector current		I_C	20	mA
Power dissipation	$T_{amb} \leq 55^\circ\text{C}$	P_V	100	mW
Junction temperature		T_J	100	$^\circ\text{C}$
Operating temperature range		T_{amb}	- 40 to + 85	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range		T_{stg}	- 40 to + 100	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature	$t \leq 3$ s, 2 mm distance to package	T_{sd}	260	$^\circ\text{C}$
Thermal resistance junction/ambient	J-STD-051, soldered on PCB	R_{thJA}	230	K/W

Rev. 1.8, 23-Aug-11

1

Document Number: 84768

For technical questions, contact: detectortechsupport@vishay.com

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?91000

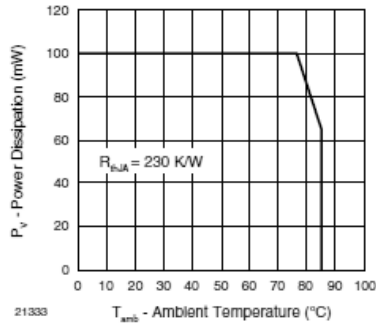


Fig. 1 - Power Dissipation Limit vs. Ambient Temperature

BASIC CHARACTERISTICS (T _{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Collector emitter breakdown voltage	I _C = 0.1 mA	V _{CEO}	6			V
Collector dark current	V _{CE} = 5 V, E = 0	I _{CEO}		3	50	nA
Collector emitter capacitance	V _{CE} = 0 V, f = 1 MHz, E = 0	C _{CEO}		16		pF
Photo current	E _v = 20 lx, CIE illuminant A, V _{CE} = 5 V	I _{PCE}	25		226.8	μA
	E _v = 100 lx, CIE illuminant A, V _{CE} = 5 V	I _{PCE}		350		μA
Angle of half sensitivity		φ		± 20		deg
Wavelength of peak sensitivity		λ _p		570		nm
Range of spectral bandwidth		λ _{0.5}		440 to 800		nm

TYPE DEDICATED CHARACTERISTICS (T _{amb} = 25 °C, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	BINNED GROUP	SYMBOL	MIN.	MAX.	UNIT
Photo current	E _v = 20 lx, CIE illuminant A, V _{CE} = 5 V, T _{amb} = 25 °C	A	I _{PCE}	25	50.4	μA
		B	I _{PCE}	41.7	84	μA
		C	I _{PCE}	69.4	140	μA
		D	I _{PCE}	113.4	226.8	μA

Note

- Each 4000 piece bag will contain a single group. The label on the bag will indicate which binned group is in the bag. A specific group cannot be ordered. Production shipments containing multiple bags will likely include multiple groups. Please design accordingly.

C.7 UTDRAG AV DATABLAD TIL SENSORLIST F

Silizium-PIN-Fotodiode mit sehr kurzer Schaltzeit Silicon PIN Photodiode with Very Short Switching Time Lead (Pb) Free Product - RoHS Compliant

SFH 229 SFH 229 FA



SFH 229



SFH 229 FA

Wesentliche Merkmale

- Speziell geeignet für Anwendungen im Bereich von 380 nm bis 1100 nm (SFH 229) und bei 880 nm (SFH 229 FA)
- Kurze Schaltzeit (typ. 10 ns)
- 3 mm-Plastikbauform im LED-Gehäuse
- Auch gegurtet lieferbar

Anwendungen

- Lichtschranken für Gleich- und Wechselbetrieb
- Industrieelektronik
- „Messen/Steuern/Regeln“

Features

- Especially suitable for applications from 380 nm to 1100 nm (SFH 229) and of 880 nm (SFH 229 FA)
- Short switching time (typ. 10 ns)
- 3 mm LED plastic package
- Also available on tape and reel

Applications

- Photointerrupters
- Industrial electronics
- For control and drive circuits

Typ Type	Bestellnummer Ordering Code
SFH 229	Q62702P0215
SFH 229 FA	Q62702P0216

Grenzwerte
Maximum Ratings

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Betriebs- und Lagertemperatur Operating and storage temperature range	$T_{op}; T_{stg}$	- 40 ... + 100	°C
Sperrspannung Reverse voltage	V_R	20	V
Verlustleistung Total power dissipation	P_{tot}	150	mW

Kennwerte ($T_A = 25\text{ °C}$)
Characteristics

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value		Einheit Unit
		SFH 229	SFH 229 FA	
Fotostrom Photocurrent $V_R = 5\text{ V}$, Normlicht/standard light A, $T = 2856\text{ K}$, $E_V = 1000\text{ lx}$ $V_R = 5\text{ V}$, $\lambda = 950\text{ nm}$, $E_e = 1\text{ mW/cm}^2$	I_P	28 (≥ 18)	-	μA
	I_P	-	20 (≥ 10.8)	μA
Wellenlänge der max. Fotoempfindlichkeit Wavelength of max. sensitivity	$\lambda_{S\text{ max}}$	860	900	nm
Spektraler Bereich der Fotoempfindlichkeit $S = 10\%$ von S_{max} Spectral range of sensitivity $S = 10\%$ of S_{max}	λ	380 ... 1100	730 ... 1100	nm
Bestrahlungsempfindliche Fläche Radiant sensitive area	A	0.3	0.3	mm^2
Abmessung der bestrahlungsempfindlichen Fläche Dimensions of radiant sensitive area	$L \times B$ $L \times W$	0.56×0.56	0.56×0.56	$\text{mm} \times \text{mm}$
Halbwinkel Half angle	φ	± 17	± 17	Grad deg.
Dunkelstrom, $V_R = 10\text{ V}$ Dark current	I_R	50 (≤ 5000)	50 (≤ 5000)	pA
Spektrale Fotoempfindlichkeit, $\lambda = 850\text{ nm}$ Spectral sensitivity	S_λ	0.62	0.60	A/W
Quantenausbeute, $\lambda = 850\text{ nm}$ Quantum yield	η	0.90	0.88	Electrons Photon

2005-04-06

2

Kennwerte ($T_A = 25\text{ °C}$)
Characteristics (cont'd)

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value		Einheit Unit
		SFH 229	SFH 229 FA	
Leerlaufspannung Open-circuit voltage $E_v = 1000\text{ lx}$, Normlicht/standard light A, $T = 2856\text{ K}$ $E_e = 0.5\text{ mW/cm}^2$, $\lambda = 950\text{ nm}$	V_O	450 (≥ 400)	–	mV
	V_O	–	420 (≥ 370)	mV
Kurzschlußstrom Short-circuit current $E_v = 1000\text{ lx}$, Normlicht/standard light A, $T = 2856\text{ K}$ $E_e = 0.5\text{ mW/cm}^2$, $\lambda = 950\text{ nm}$	I_{SC}	27	–	μA
	I_{SC}	–	9	μA
Anstiegs- und Abfallzeit des Fotostromes Rise and fall time of the photocurrent $R_L = 50\ \Omega$, $V_R = 10\text{ V}$, $\lambda = 850\text{ nm}$; $I_p = 800\ \mu\text{A}$	t_r , t_f	10	10	ns
Durchlaßspannung, $I_F = 100\text{ mA}$, $E = 0$ Forward voltage	V_F	1.3	1.3	V
Kapazität, $V_R = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$, $E = 0$ Capacitance	C_0	13	13	pF
Temperaturkoeffizient von V_O Temperature coefficient of V_O	TC_V	–2.6	–2.6	mV/K
Temperaturkoeffizient von I_{SC} Temperature coefficient of I_{SC} Normlicht/standard light A $\lambda = 950\text{ nm}$	TC_I	0.18 –	– 0.2	%/K
Rauschäquivalente Strahlungsleistung Noise equivalent power $V_R = 10\text{ V}$, $\lambda = 850\text{ nm}$	NEP	6.5×10^{-15}	6.5×10^{-15}	$\frac{\text{W}}{\sqrt{\text{Hz}}}$
Nachweisgrenze, $V_R = 10\text{ V}$, $\lambda = 850\text{ nm}$ Detection limit	D^*	8.4×10^{12}	8.4×10^{12}	$\frac{\text{cm} \times \sqrt{\text{Hz}}}{\text{W}}$

C.8 UTDRAG AV DATABLAD TIL LYS B

LED 5 mm round White



FEATURES:

Low power consumption
High efficiency
General purpose leads
High intensity

SPECIFICATION:

Lens size	5 mm round
Light colour	White
Transmission angle	15 °
Case colour	Clear
Housing type	Clear
Conducting-state voltage max.	3.4 V
Conducting-state voltage min.	2.8 V
Forward voltage	2.8...3.4 V
Luminous intensity	23500...27000 mcd
Luminous intensity max.	27000 mcd
Luminous intensity min.	23500 mcd
Off-state current	10 µA
Off-state voltage	5 V
Operating temperature	-40...+85 °C
Rated on-state current	25 mA
Technology	InGaN



Art. Nr.
RND 135-00040

C.9 DETALJER OM LYS C OG LYS E

10-1000Pcs LED COB Lamp Chip 1W 3W 3.2-3.6V Input 100-220LM Mini LED Bulb Diode SMD For DIY LED Floodlight Spotlight Downlight

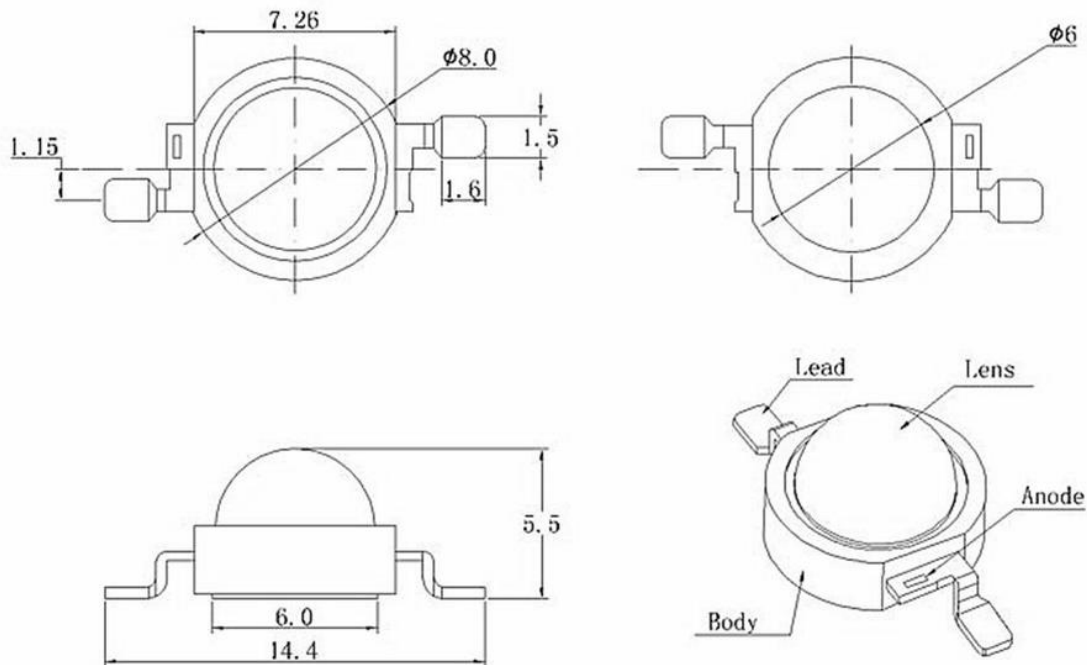
Specifications:

- 100% Brand new and high quality
- Safety, energy-saving, sanity, non-pollution, convenient, green product
- LED emitter: 1W / 3W
- Emitted color: White / Warm white
- DC voltage (VF): 3.2V - 3.4V / 3.4V - 3.6V
- Forward Current: 300mA / 750mA
- Beam angle: 120 degrees
- Life Span time: > 100,000 hours
- Intensity luminous: 100-120 Lumen / 200-220Lumen
- Color temperature: Warm white 2800-3000K , White 6500-7000K

Applications:

- High-power LED 1W 3W widely used in general illumination, contour LED lights, garden LED lights, ceiling LED lights, decorative LED lights, architectural LED lighting, LED street lamps and so on

* Product Information					
Power	Color	Chip Size	Wavelength Dominant	Voltage	Luminous Flux
1W	White	30MIL	6500-7000K	3.2-3.4V	100-110LM
	Warm white	30MIL	2800-3000K	3.2-3.4V	100-110LM
3W	White	45MIL	6500-7000K	3.4-3.6V	200-220LM
	Warm white	45MIL	2800-3000K	3.4-3.6V	200-220LM



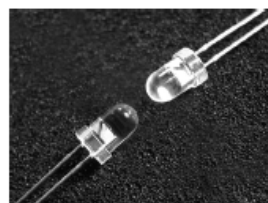
C.10 UTDRAG AV DATABLAD TIL LYS D



PRODUCT FAMILY DATA SHEET

CLD-CT1098,009

Cree® 5mm Round LED C503C-WAS/WAN



PRODUCT DESCRIPTION

Round LEDs offer superior light output for excellent readability in sunlight and dependable performance. They provide extremely stable light output over long periods of time.

These lamps are made with an advanced optical-grade epoxy offering superior high-temperature and high-moisture-resistance performance in lighting and illumination applications. This product utilizes an epoxy containing a UV inhibitor. It therefore provides a UV resistance and can be used in outdoor applications.

FEATURES

- Size (mm): 5
- Color Temperatures:
Cool White :
Min . (4600K) / Typical (9000K)
- Luminous Intensity (mcd)
C503C-WAS/WAN:
(20150-46100)
- Viewing angle: 15 degree
- Lead-Free
- RoHS Compliant

APPLICATIONS

- Torch
- Light Strip
- Channel Letter
- Retail Display Lighting

WWW.CREE.COM/HB

Copyright © 2015 Cree, Inc. All rights reserved. The information in this document is subject to change without notice. Cree and the Cree logo are registered trademarks of Cree, Inc.

Cree, Inc.
4600 Silicon Drive
Durham, NC 27703
USA Tel: +1.919.313.5300

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Items	Symbol	Absolute Maximum Rating	Unit
Forward Current	I_F	30	mA
Peak Forward Current ^{100%}	I_{FP}	100	mA
Reverse Voltage	V_R	5	V
Power Dissipation	P_D	120	mW
Operation Temperature	T_{opr}	-40 ~ +95	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	T_{stg}	-40 ~ +100	$^\circ\text{C}$
Lead Soldering Temperature	T_{sld}	Max. 260 $^\circ\text{C}$ for 3 sec. max. (3 mm from the base of the epoxy bulb)	

Note: Pulse width ≤ 0.1 msec, duty $\leq 1/10$.

TYPICAL ELECTRICAL & OPTICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Characteristics	Color	Symbol	Condition	Unit	Minimum	Typical	Maximum
Forward Voltage	WAS/WAN	V_f	$I_f = 20$ mA	V		3.2	4.0
Reverse Current	WAS/WAN	I_r	$V_R = 5$ V	μA			100
Luminous Intensity	WAS/WAN	I_v	$I_f = 20$ mA	mcd	20150	35000	
Chromaticity Coordinates	WAS/WAN	x	$I_f = 20$ mA			0.2895	
		y	$I_f = 20$ mA			0.2905	
50% Power Angle	WAS/WAN	$2\theta_{1/2}$	$I_f = 20$ mA	deg		15	



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway