

Effektiviteten af grønne tage

9.- 10. semester – Tilbageholdelsen af nedbør ved etableringen af grønne tage

Kandidatspeciale, Vand og Miljø - 2015

September 2014 – September 2015

Azra Ferhatbegovic



AALBORG UNIVERSITY

Titel: Effektiviteten af grønne tage

- *Tilbageholdelsen af nedbør ved etableringen af grønne tage*

Projektperiode:

9. og 10. Semester

September 2014 – September 2015

Deltagere:

Azra Ferhatbegovic

Vejledere:

Michael Robdrup Rasmussen
Jesper Ellerbæk Nielsen

Side antal: 86

Bilag antal: 14

Synopsis:

Følgende rapport omfatter undersøgelsen af, hvor effektive grønne tage er til tilbageholdelsen af nedbør. Da forandringerne i klimaet medfører en ændring i nedbørsforholdene, der er stigende tildens til ekstremregn og stormfloder, nedbøren er blevet mere varierende.

I rapporten analyseres der på et 400m² mossedum tag, der er etableret på Vejle Spildevands administrationsbygning, og specielt til det formål, at blive klogere på effektiviteten af grønne tage. Taget bliver monitoreret i realtid, måleopstillingen er specielt udviklet til dette tag og formål. Målingerne af vandføringen for afstrømningsmængden måles ved en ultralydsmåler og en tryktransducer. Der vil blive udført kalibreringsforsøg, der skal korrigere målerne på plads. Yderligere anvendes de målte afstrømningsdata fra taget til, at give en vurdering af, om etableringen af grønne tage har en positiv effekt på tilbageholdelsen og redueringen af nedbørsmængden, og derved aflaste afløbssystemerne.

FORORD

Følgende rapport er udarbejdet af Azra Ferhatbegovic studerende fra Vand og Miljø under institut Byggeri og Anlæg ved Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet på Aalborg Universitet. Rapporten er blevet udarbejdet på 9. - 10. semester, og er et afgangsprøve, kandidatspeciale, der udgør 45 ECTS. Projektperioden var fra den september 2014 til den 14. september 2015.

Titlen for projekt er *'Effektiviteten af grønne tage – Tilbageholdelsen af nedbør ved etableringen af grønne tage.'*

Vejlederne på projektet var Michael Robdrup Rasmussen og Jesper Ellerbæk Nielsen begge fra Aalborg Universitet. Der rettes en tak mod Gitte Bisgaard fra Vejle Spildevand A/S, der har været behjælpelig i projektperioden.

Læsevejledning

I denne rapport er kildehenvisningerne angivet efter Harvardmetoden. Kilderne er angivet i parenteser med efternavnet på forfatteren samt udgivelsesåret for publikationen, såsom (Efternavn, år). Kilder der angivet med flere forfattere er anført (Efternavn et al., år). Alle referencerne er opført i en bibliografi sidst i rapporten. Bilagene er placeret bagerst i mappen, og opdelt med faner, numrene på fanerne svarer til nummeret på bilaget. Hvis et bilag er på bilags-CD'en ville dette stå under fanen. Henvisningerne til figurer, tabeller samt ligninger er nummereret i nummeret rækkefølge.

Abstract

The aim of the project was to find out which effect green roofs have on the retention of the rainwater. Because all over the world it is seen that climate change has an effect on the precipitation, the drainage system is not designed to handle these amounts of rainwater therefore it is necessary to apply a different form of drainage because changing the pipe dimensions so they can handle the amount of rainwater is too expensive. SUDS – sustainable urban drainage system is a method for this, it can also be combined with the drainage system or other different SUDS-elements can be combined.

This project focuses on the green roof that is on Vejle Spildevands administration building, which is specially installed so analysis can be made. The measurement method is also specially made for this roof and is developed by Aalborg University. It is a 400 m² mossedum roof that is being monitored in real-time. The measurements of the runoff from the roof is measured by an ultrasonic sensor and a pressure transducer. Calibration experiments will be made to correct the ultrasonic and pressure transducer. Furthermore the measurements from the roof are used to give an establishment of if green roofs have a positive effect on retention and reduction of the precipitation, and if the help relieve the drainage systems.

The result analysis show that the roof will most likely have a storingvolume of 1.75 mm. Furthermore, the results show that the roof reduces the volumes of the precipitation, however, this is not the case for each rain event, but for the majority. The annual precipitation was reduced by 31%, which means that 69% must be derived in some different ways. This can be done by combination with other SUDS-solutions.

The conclusion on the efficiency of green roofs retention of the precipitation is that green roofs are effective for the retention of precipitation in the long run. Meaning, the retention of the precipitation is better for the annual retention, and more effective than for the single rain events. This means the amount of precipitation the drainage systems have to deal with on an annual basis will be less.

Indholdsfortegnelse

1. Indledning.....	1
1.1 Lokal afledning af regnvand	2
1.1.1 LAR processer	4
Forsinkelse	4
Nedsivning	4
Fordampning	5
Transport	5
Vandrensning	6
1.1.2 Sammenfatning	6
1.2 Grønne tage	8
1.2.1 Opsumeringstabeller	11
1.2.2 Hydrologiske processer for grønne tage	13
Sammenfatning.....	18
1.3 Projektlokalitet	19
2. Problemformulering	22
2.1 Metodeanvendelse og afgrænsning af projektet.....	22
3. Målemetoder.....	23
3.1 Palletanksmetoden.....	23
3.2 Kontinueret måling.....	24
Sammenfatning.....	25
4. Forsøgsopstilling	26
4.1 Måleopstillingen.....	26
4.2 Fremgangsmåden for den 1. omregningsmodel	30
4.2.1 Forsøgsbeskrivelse af kalibreringen for 1. omregningsmodel.....	32
4.2.2 Udregningerne for kalibreringen af 1. omregningsmodel.....	33
4.2.3 Vurdering af resultaterne ved anvendelse af den 1. omregningsmodel	38
4.3 Fremgangsmåden for den 2. omregningsmodel	41
4.3.1 Forsøgsbeskrivelse af kalibreringen for den 2. omregningsmodel, formel 1	42
4.3.2 Udregningerne for kalibreringen af 2. omregningsmodel, formel 1	43
4.3.3 Vurdering af resultaterne ved anvendelse af den 2. omregningsmodel, formel 149	

4.4	Fremgangsmåden for den 2. omregningsmodel, formel 2	52
4.4.1	Forsøgsbeskrivelse af kalibreringen for den 2. omregningsmodel, formel 2	53
	Palletanksforsøg	54
4.4.2	Udregningerne for kalibreringen af 2. omregningsmodel, formel 2.....	59
4.4.3	Vurdering af resultaterne ved anvendelse af den 2. omregningsmodel, formel 265	
	Sammenfatning.....	71
5.	Databehandling.....	72
5.1	Tilbageholdelse	75
	5.1.1 Årlig tilbageholdelse.....	77
5.2	Magasineringskapacitet.....	79
6.	Diskussion	83
7.	Konklusion	85
8.	Bibliografi	87

1. Indledning

I de senere år er der set flere tilfælde af ændring i det globale klima, klimaforandringer er på vej, hvilket vil ændre nedbørsforholdene i de kommende år. Selvom vi i Danmark ikke har oplevet den samme virkning af klimaforandringerne, som andre steder i verden, har vi i de senere år set, at de også kan få en betydning i Danmark. Klimaforandringerne har indvirkning på den nedbør der falder, da der er en stigende tendens til ekstremregn og stormfloder, nedbøren er blevet mere varierende. I Danmark har det betydet, at temperaturen er steget med 1,5 grad siden 1873, hvor nedbøren i denne periode er steget med 15 %. (Naturstyrelsen, klimatilpasning.dk)

En af de konsekvenser der optræder hyppigere i Danmark, grundet klimaændringer, er oversvømmelser. Da de offentlige afløbssystemer bliver overbelastet, fordi de ikke er dimensioneret til at kunne aflede den nye mængde nedbør, der forekommer på grund af de nye vejrforhold. Dette er især et problem i fælleskloakerede områder, da der her kan forekomme opstuvning af spildevand til terræn. Desuden vil klimaændringerne resultere i overbelastninger af renseanlæg og recipienter. Derfor skal der lægges fokus på, at mindske disse konsekvenser. En af måder at mindske konsekvensen på er, at aflaste de offentlige afløbssystemer ved. Aflastningen kan ske ved alternativ regnvandshåndtering i form af lokal afledning af regnvand (LAR) for, at forøge mængden af permeable og evapotranspirerende overflader i byen. Ved anvendelsen af LAR vil regnvandet blive afledt lokalt og ikke centraliseret.

Lokal afledning af regnvand består af forskellige tiltag, hvor hvert tiltag har en eller flere funktioner, der vil mindske belastningen af afløbssystemerne. Primært er der tre funktioner indenfor LAR, disse er at lede regnvandet væk og derved opsamle det et andet sted, forsinke regnvandet, og forøge nedsivning og absorption for, at bortledning ikke skal finde sted. Dog er det ikke nemt, at etablere de grønne tiltag i eksisterende byområder, da det er begrænset,

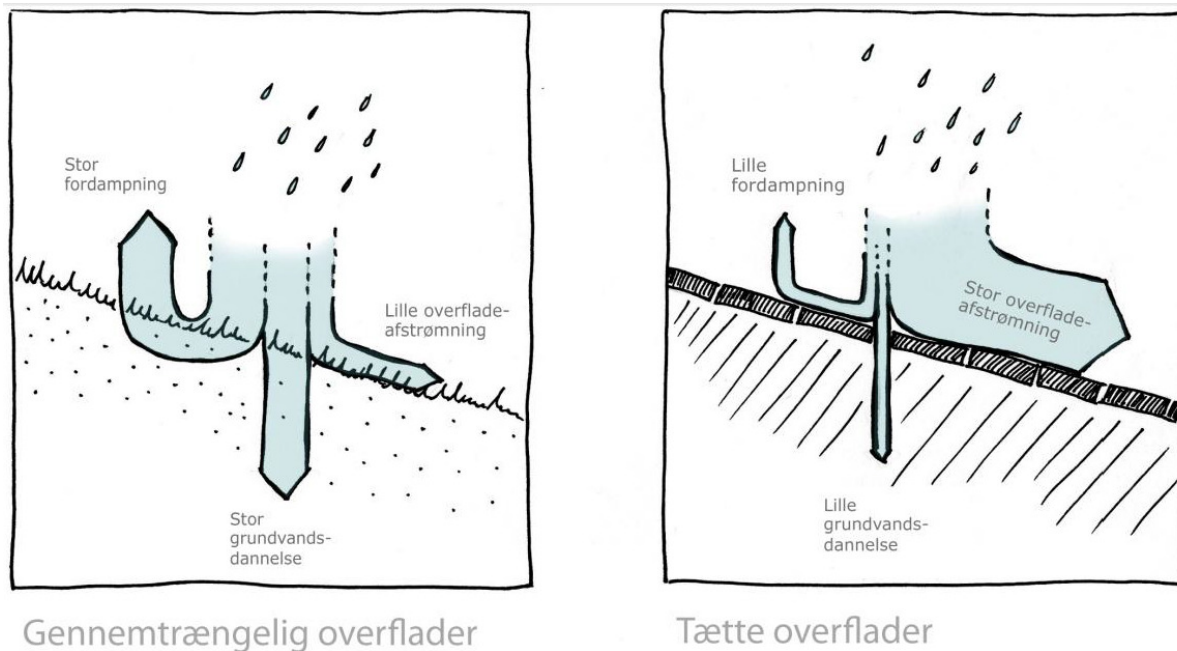
hvor meget offentlig bebyggelse der er. Derfor ligger der en mulighed i, at tilgodese private boligejere, hvis de vælger at lokal aflede regnvandet på egen matrikel ved at sænke deres afledningsbidrag, da de ikke længere vil aflede til det offentlige.

Det kommende afsnit indeholder en beskrivelse af de forskellige LAR-processer, hvilket giver en bedre forståelse af processerne indenfor lokal afledning af regnvand og en vurdering af hvilke positive effekter der forventes.

1.1 Lokal afledning af regnvand

Eftersom regn intensiteterne bliver kraftigere og befæstelsesgraden i eksisterende byområder samtidigt vokser, vil det skabe problemer med oversvømmelser. Det kan man løse ved, at aflede regnvandet på andre måde end ved, at lede det ud til de eksisterende afløbssystemer. Ved anvendelse af lokal afledning af regnvand kan man supplere eller erstatte de eksisterende afløbssystemer med forskellige teknikker til afledning forsinkelse, fordampning og nedsivning af regnvand (Backhaus, 2008). Herved kan man sikre at afløbskapaciteten ved eksisterende afløbssystemer ikke overskrides, og derved også skabe en form for sikkerhed omkring klimaændringer, der vil medføre flere ekstreme regnhændelser og stormfloder.

Derudover kan anvendelsen af LAR elementer skabe et mere æstetisk grønt bybillede, hvilket styrker byudviklingen, og gøre byen mere imødekommende. Desuden vil implementeringen af LAR styrke det naturlige vandkredsløb i tætbebyggede byområder, da der vil ske en forøgelse af grundvandsdannelsen og fordampningen samt en mindskning af overfladeafstrømning i forhold til de ellers tætte overflader. Dette kan ses på de to efterfølgende billeder på figur 1. (Backhaus, 2008)



(Figur 1: Billederne viser hvorledes overfladeafstrømningen, fordampningen og grundvandsdannelsen er for henholdsvis gennemtrængelige overflader og befæstede overflader. (Backhaus, 2008))

Billederne viser at ved, at have gennemtrængelige overflader, vil meget af nedbøren fordampe, nedsive og der vil være en meget lille overfladeafstrømning. Derimod ved de tætte overflader vil det være det modsatte, og det betyder, at den naturlige regnvandsfordeling ændres. Som det ses på billedet vil det være overfladestrømningen, som er størst, og derved vil store mængder af regnvand strømme i afløbssystemerne og videre til rensesanlæggene, hvor det til sidst ender ude i recipienterne. Dette vil også belaste de eksisterende afløbssystemer, og grundet den ændrede naturlige regnvandsfordeling vil det betyde, at der ikke vil være grundvandsdannelse, da regnvandet ikke kan trænge igennem de tætte overflader. Desuden vil det have en betydning for temperaturen, da fordampningen ikke er stor, hvilket kan medføre en temperaturstigning grundet manglende køling. Derfor vil anvendelsen af bæredygtig afledning af regnvand i tætbebyggede bydele, kunne genskabe det naturlige vandkredsløb. (Backhaus, 2008)

1.1.1 LAR processer

Lokal afledning af regnvand består, som tidligere nævnt, af fem forskellige tekniske principper. Disse principper dækker over forsinkelse, nedsivning, fordampning, transport og vandrensning. (Backhaus, 2008) De forskellige principper kan også sammensættes ved kombination af forskellige LAR elementer. Hvert element har sine fordele og ulemper, når det kommer til håndteringen af regnvand. I det følgende beskrives principperne.

Forsinkelse

Forsinkelsesprincippet består i, at tilbageholde den nedbør der falder således, at bortledningen tager længere tid til afløbssystemerne. Ved at etablere et forsinkelseselement, hvis bortledningen af regnvandet foregår til kloak, vil elementet være med til, at reducere peakflowet. Desuden vil fordampningen være større og stække sig over længere tid. LAR elementer der hører under begrebet forsinkelses elementer er våde, tørre og lukkede bassiner samt opsamling i regnvandstanke. Eftersom forsinkelseselementer er baseret på volumen betyder det, at de samler regnvandsafstrømningen midlertidigt, derfor vil disse elementer kun bidrage til regnvandshåndteringen, hvis der stadig er ledigt volumen, når nedbøren falder. (Teknologisk Institut)

Nedsivning

Nedsivningselementer dækker blandt andet over begreberne permeable belægninger, nedsivning fra overfladen, regnbed, faskiner og vadier. Ved at implementere et nedsivningsanlæg vil man skabe en god kontakt mellem vand og jord. Sådan at det regnvand, der tilstrømmer fra de nærliggende områder, kan infiltrere ned i jorden. Der er to forskellige begreber, der forklarer de processer ved nedsivning. Som nævnt er der infiltration, dette dækker over, når regnen infiltrerer fra atmosfæren og ned i jorden. Hvor perkolation dækker over bevægelsen af vand i jorden. Tilstrømningshastigheden af regnvandet vil være større end nedsivningshastigheden, derfor anbefales det, at kombinere nedsivningselementet med et forsinkelseselement for, at opnå den maksimale udnyttelse af nedsivningen. Der skal rettes opmærksomhed mod forureningen, når et element nedsiver til direkte råjord. Da regnvandet her ikke vil være rensat, da det ikke har været igennem et

biologisk aktivt muldlag, og kan komme i direkte kontakt med grundvandsførende lag urensset. (Teknologisk Institut)

Fordampning

Ved anvendelse af fordampningselementer vil der være en forøgelse af fordampningen. Da regnvandet, der optages af fordampningselementet, vil fordampe tilbage til atmosfæren. Fordampningen afhænger også af, hvor stort et volumen er til rådighed i det anvendte element, da ved opbrugt volumen vil vandet afstrømme til afløbssystemerne. Dette vil dog have den fordel, at der vil opstå en forsinkelse af nedbøren til afløbssystemet. Der er en gennemsnitlig årlig fordampning på 530 mm i Danmark, og den aktuelle fordampning vil være den samme, som den potentielle, hvis der er nok vand til rådighed. Det betyder, at hvis der er rigeligt med vand, vil fordampningen og transpirationen i et LAR-tiltag kunne nå op på 530 L/m² vandoverflade årligt. Derfor er det en god ide, at anvende træer, buske og planter med dybtgående rodnet, ville man kunne opnå en aktuel fordampning, der er lig med den potentielle i længere tid i tørvejrperioder, hvilket også vil være med til at sikre, at det anvendte LAR-tiltag kan tørre op. (Teknologisk Institut)

Transport

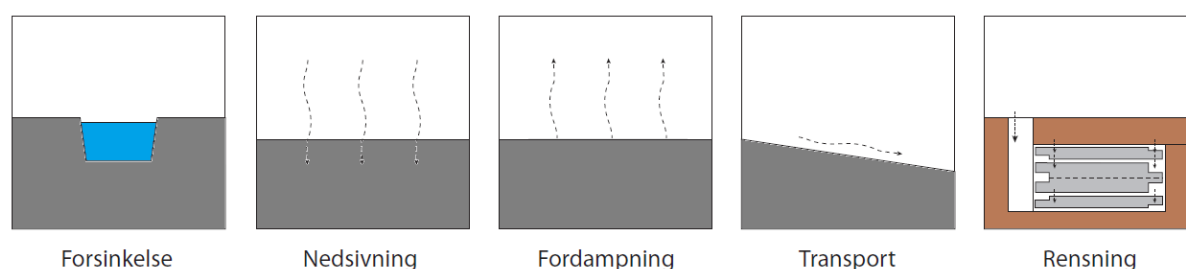
Transportelementer anvendes til, at transportere regnvandet. Denne transport kan eventuelt være nødvendig mellem forskellige LAR-elementer, der er kombineret i et LAR-anlæg. Transporten kan foregå med render, rør eller trug. Disse elementer kan udføres på forskellige måder samt i forskellige materialer, der er både overfladenære elementer samt nedgravet elementer. Ved anvendelse af nedgravet transportelementer, såsom nedgravet rør, sikre man en mere sikker bortledning af afstrømningsvandet og hurtigere. Ved anvendelse af transportelementer, som er synlige på jordoverfladen, såsom trug, vil regnvandet have mulighed for at fordampe og nedsive, da der vil forekomme en opmagasinering af regnvandet. (Teknologisk Institut)

Vandrensning

Vandrensning lægger i selve ordet, det handler om, at rense det afstrømmet regnvand og forbedre kvaliteten af vandet før det bortledes til recipienten. Forbedringen af kvaliteten kan ske ved blandt andet forebyggende tiltag baseret på udfasning, information, adfærdsregulering og fysiske installationer. De elementer der hører under denne proces er sandfang og olieudskillere, derudover er der også udviklet elementer specielt til rensningen af regnvandet. (Teknologisk Institut)

1.1.2 Sammenfatning

Under lokal afledning af regnvand, hører der 5 principper til forsinkelse, nedsivning, fordampning, transport og vandrensning. Se figur 2.



Figur 2: Principskitser over de 5 principper indenfor LAR-elementer.

Indenfor de 5 processer hører der forskellige LAR-tiltag eller LAR-elementer. Hvert tiltag har forskellige processer, der vil dog være flere af de 5 processer indenfor nogle tiltag. Derfor kan man opdele processerne indenfor primær og sekundær proces for hvert tiltag, disse er opstillet i tabellen nedenfor, tabel 1. Det hele afhænger af, hvorledes tiltagene er opbygget, og hvad man ønsker deres primære funktion er. Den primære funktion vil være markeret med et "x" og den sekundære med et "xx". Er det tilfældet, at nogle tiltag har flere

sekundære funktioner, vil disse markeres med ”xxx”, hvor ”xx” er den overordnet sekundære funktion.

Tabel 1: Viser LAR-elementers primære- og sekundære funktion.

LAR - tiltag	Forsinkelse	Nedsivning	Fordampning	Transport	Vandrensning
Bassiner (ikke lukkede)	X	XX	XXX		XXX
Faskiner		X			XX
Grøft/Trug	XX	XXX	XX	X	XXX
Grønne tage	XX		X		XXX
Nedsivning på græsplæne		X	XXX		XX
Permeable belægninger	XXX	X	XXX		XX
Regnbed	XXX	X	XX		XXX
Render	XX	XXX	XX	X	XXX
Rør				X	
Vandtank	X	XXX			XXX

Der er ved vandtanken valgt, at nedsivning er en sekundær funktion, da regnvandet fra vandtankene for det meste genanvendes til for eksempel vanding af græsplænen, bilvask, toiletskyl. Dette vil medføre en vis nedsivning af regnvandet, og derved også en vandrensning, ligesom ved ’nedsivning på græsplænen’. Genanvendelsen er i bund og grund den primære funktion for vandtanken.

Alle LAR-tiltagene kan enten implementeres i et område, som en kombination med hinanden eller i kombination med de eksisterende afløbssystemer, hvor de virker som et tillæg eller en erstatning. Hvilket af tiltagene, der kan implementeres i det ønskede område, afhænger blandt andet af hvilken jordbundsforhold der er, herunder den hydrauliske ledningsevne, placeringen af grundvandsspejlet osv. Desuden er pladsen i området en vigtig

faktor eftersom nogle af tiltagene er pladskrævende. I det efterfølgende afsnit vil grønne tage yderligere beskrives, da dette projekt lægger fokus på grønne tage.

1.2 Grønne tage

Grønne tage er tagkonstruktioner med vegetation, hvis funktion er at fordampe, reducere og forsinke regnvandet ved opmagasinering og tilbageholdelse, imodsætning til almindelige tagdækning, hvor regnvandet afstrømmer på tagoverfladen. Ved anvendelse af vegetation på taget, der kan klare våde og tørre perioder, kan små nedbør samt peaks fra større regnhændelser blive tilbageholdt i tagkonstruktionen, hvor større regnhændelser vil ryge igennem konstruktionen og videre til det offentlige system eller et andet tiltag.

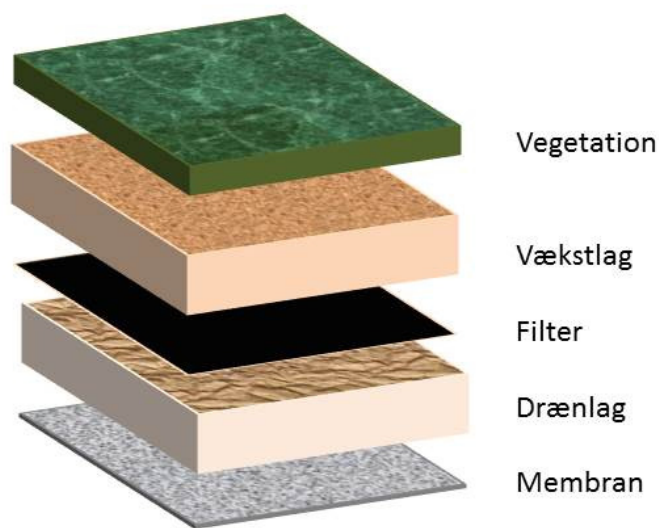
De grønne tage kan deles op i to typer, ekstensive og intensive tage, se figur 3, der defineres ud fra tykkelsen på vækstlaget, og derfor vil vægten også variere. De intensive tage består af større vækstlag end de ekstensive, og derved består af større planter, som vil skulle kræve en mere omfattende drift og vedligeholdelse. Eftersom de intensive tage har en større vækst af planter, vil tagets vægt også være højere end for de ekstensive. De ekstensive grønne tage har en lav vægt på omkring de 50 kg/m², og er tørketolerante modsat de intensive tage kræver de nærmest ikke vedligeholdelse. (Københavns Kommune, 2010) Vækstlaget kan være bestående af en kombination mellem mos og stenuarter eller græs og stenuarter. På de ekstensive tage kan man ikke opholde sig på på grund af den lave vægt modsat de intensive grønne tager, der for det meste anlægges til anvendelse, som taghaver. Eftersom de grønne tage ikke er tunge, kan de derved også etableres på eksisterende tage.



Figur 3: Det første billede viser et ekstensivt grønt tag i Augenstenborg, Malmö. Billede nr.2 viser et intensivt tag i Bymilen/SEB Bank og Pension, København. (Skov og Landskab, 2013)

Opbyggelsen af de grønne tage er bestående af et vækstlag, der alt afhængigt af om det er et intensivt eller ekstensivt tag, vil have forskellige tykkelser. Efterfulgt af et filterlag, hvis funktion er at filtrere de fine partikler fra det efterfølgende drænlag, derved bevares drænlagets permeabilitet. Drænlaget modtager det overskydende regnvand fra vækstlaget, og herefter vil det blive ledt væk fra taget, hvor det enten kan afledes til det offentlige system eller et andet LAR-element.

Vækstlaget er som regel bestående af specielle jordtyper, da almindelig havejord vil øge belastningen samt er almindelig havejord næringsrig, hvilket vil øge væksten samt ukrudt. Derfor er det specialfremstillede jordtyper der anvendes, der er tilpasset den valgte vegetation på taget, og som nedbrydes efterhånden, hvilket medfører at der ikke forekommer ukrudt. Drænlaget kan være filt eller mineraluldtyper, disse typer materialer bliver anvendt, da de har en god vandoptagelses evne, og derudover vejer de ikke meget. Taghældningen har yderligere betydning for vandtilbageholdelsen, hvis hældningen bliver for stor vil vandoptagelsen ikke være optimal, og regnvandet vil afstrømme på overfladen. En anden konsekvens kunne være, at der ville ske erosion af taget ved alt for stor hældning. (Københavns Kommune, 2011) . Se figur 4, der viser en principskitse af opbygningen af et grønt tag.



Figur 4: Principskitse af opbygningen af et grønt tag

Ser man på, hvor godt et grønt tag klare regnvandshåndtering, viser det sig at ekstensive grønne tage kan tilbageholde op til 85 % af den maksimale regnvandsafstrømning i de første par timer af en regnhændelse, hvor den samlede afstrømningsmængde kan reduceres med 60%. Dog er dette varierende alt afhængigt af, hvor godt det grønne tag kan reducere nedbørsmængden, da det har betydning hvordan opbyggelsen af taget er samt hvilke materialer er anvendt. Det er grundet at de grønne tage kan forsinke og reducere afstrømningen, at risikoen for oversvømmelser reduceres, og aflaster det eksisterende afløbssystem. (Københavns Kommune, 2010) Samt kan de grønne tage forbedre luftkvaliteten, da de man mindske luftforureningsniveauet ved sænkning af høje temperaturer, hvilket sker ved optagelse af partikler og filtrering af skadelige gasser. (Københavns Kommune, 2010) Den egentlige rensningseffekt vil afhænge af, hvilken beplantning der anvendes på taget, da det vil være beplantningen som optager stofferne, som vil blive nedbrudt af mikroorganismer. Rensningsevnen for regnvandet er høj i forhold til tungmetaller, oliestoffer og pesticider. Men for suspenderende stoffer falder rensningseffekten. (Københavns Kommune, 2011)

1.2.1 Opsummeringstabeller

Tabellerne opsummerer det, som er beskrevet i de forrige afsnit omkring grønne tage. Hvilke funktioner grønne tage har, og hvilke fordele og ulemper, der er ved implementeringen af grønne tage, samt vedligeholdelse og anvendelsen af grønne tage.

Tabel 2: Egenskaber ved grønne tage (Københavns Kommune, 2011)

Egenskaber	Dårlig	Mellem	God
Reduktion af max flow		x	
Reduktion af vandvolumen		x	
Fordampning			x
Forsinkelse		x	
Fjernelse af suspenderet stof			x
Fjernelse af kvælstof	x		
Fjernelse af tungmetaller			x
Fjernelse af oliestoffer			x
Fjernelse af pesticider			x
Landskabelig værdi			x

Tabel 2 viser, at grønne tage er gode til rensning af regnvandet ved fjernelse af stoffer fra nedbøren. Derudover nogle af de hydrauliske egenskaber grønne tage har. Blandt andet har grønne tage et højt fordampningsniveau, hvilket vil være med til at reducere vandvolumenet yderligere. Hvor egenskaben til reduktion af max flowet, vandvolumenet og forsinkelsen af nedbøren er mellem, men disse egenskaber er stadig en fordel for taget.

Tabel 3: Tabellen viser fordele og ulemper ved etablering af grønne tage. (Teknologisk Institut, u.d.)

Fordele:	Ulemper:
<ul style="list-style-type: none"> - Fjernelse af by skabte forureninger fra regnvandet - Anvendelse i eksisterende bebyggelse - Økologisk, æstetisk, grønt bybillede - Intet arealbehov - Virker isolerende - Højere luftfugtighed - Beskyttelse af tagbelægningen - Lydabsorberende 	<ul style="list-style-type: none"> - Dyrt i forhold til normalt tag - Ikke anvendeligt på taghældning på mere end 15-20° - Kræver Vedligeholdelse - Risiko for vandskader - Vægten i våd tilstand

Tabel 3 viser, hvilke fordele og ulemper der kan være ved implementeringen af grønne tage.

Tabel 4: Tabellen viser, hvilken vedligeholdelse der kræves, og hvor implementeringen af grønne tage er mulig. (Teknologisk Institut, u.d.)

Vedligeholdelse:	Anvendelse:
<ul style="list-style-type: none"> - Vanding under etablering samt tørre perioder - Efterplantning - Fjernelse af affald - Rensning samt inspektion af tagrender og nedløbsbrønde 	<ul style="list-style-type: none"> - Boligområder - Forurenede områder - Over sårbart grundvand - Tæt bebyggelse - Handel/industri

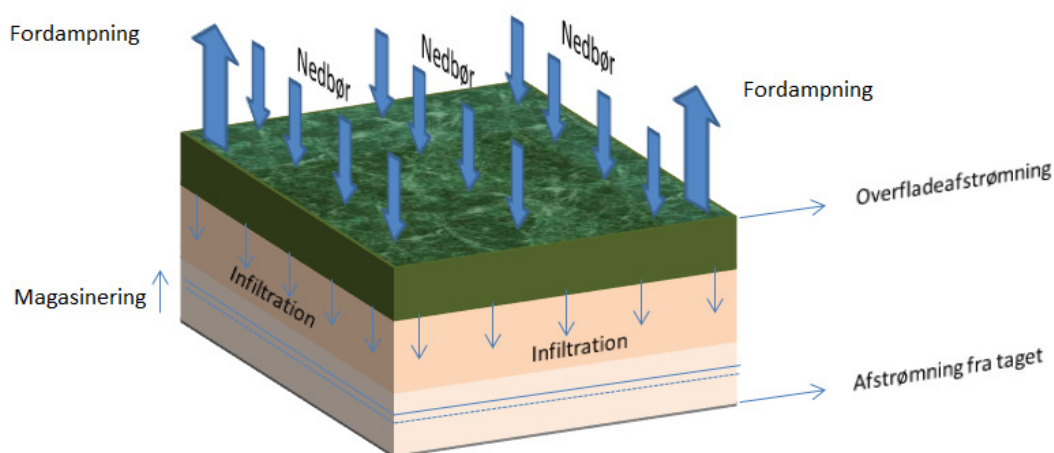
Tabel 4 viser, at grønne tage vil kræve en vis vedligeholdelse i modsætningen til et traditionelt tag, hvilket også blandt andet referer til ulempen, at et grønt tag er dyrere i drift end et traditionelt tag. Anvendelsen af grønne tage er i princippet, at de kan anvendes overalt. Alt fra boligområder til store og små industribygninger, forurenede områder mv.

Dog er det bedst, at anvende grønne tage på nye bygninger, da vægten af taget især i mættet tilstand kan medregnes ved opførelsen af bygningen. Grønne tage kan også implementeres på nye bygninger, men som tidligere nævnt, skal man sikre sig, at eksisterende bygning vil kunne bære den ekstra vægt.

1.2.2 Hydrologiske processer for grønne tage

Nedbøren repræsenterer alt vand, som ender på taget, i flydende eller fast form. Derfor defineres nedbøren i dette projekt som regn, sne, frost, slud, dug, hagl m.m., alt der indebærer en form for vand.

Illustrationen nedenfor viser, figur 5, de hydrologiske processer for grønne tage, at den mængde nedbør der falder på taget vil enten afstrømme fra taget ved overfladeafstrømning eller der kan ske en afstrømning fra taget. Afstrømningen fra taget refererer til den nedbør, der har infiltreret gennem taget. Hvor meget der afstrømmer fra tagoverfladen eller fra afstrømning gennem taget afhænger af, hvor meget magasineringskapacitet der er i taget på det pågældende tidspunkt, det vil sige hvad vandindholdet i taget er. Overfladeafstrømningen vil forekomme, hvis taget er helt fuldmættet. Hvis der ikke kan infiltreres mere nedbør ned i taget, vil det blive nødt til at strømme af fra overfladen. Hvis der er tale om flydende nedbør, vil regnintensiteten også have en betydning for afstrømningspotentialiet.



Figur 5: Hydrologiske processer for grønne tage

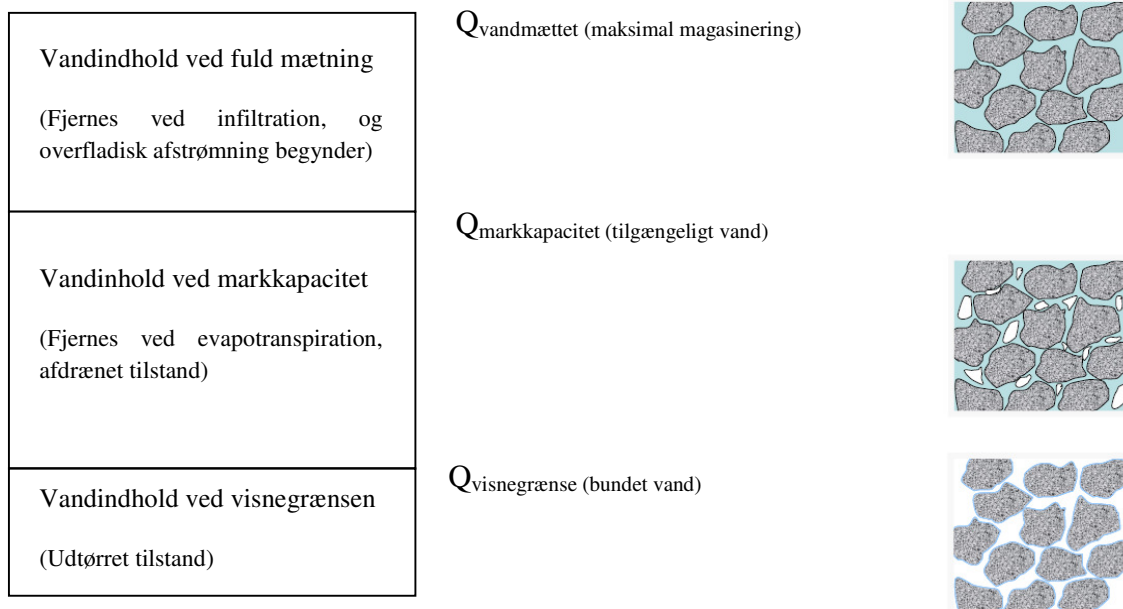
Udover overfladeafstrømning og afstrømning gennem taget vil nedbøren også fordampe. Fordampningen vil være større om foråret og sommeren, da planterne i de årstider optager meget af vandet, hvor det derefter fordamper tilbage til atmosfæren, denne proces betegnes transpiration. Derudover vil der, grundet højere temperaturer om sommeren, ske en større fordampning fra overfladen på taget, denne proces betegnes evaporation. Derfor kaldes fordampningen også evapotranspiration. (Københavns Kommune, 2011) Det er dog ikke altid transpirationen kan være mulig selvom, der kan findes vand i jordens mindste poresystem, da noget af vandet ikke længere vil være tilgængeligt for planterne. Den manglende tilgængelighed skyldes de kapilærkræfter i de grove porer og overfladespændinger i de fine porer. På et tidspunkt når taget til punktet "visnegrænsen", ved dette punkt vil det ikke længere være muligt for planterne, at optage vandet. Det skyldes, at deres rødder ikke kan udnytte vandet i jorden, det medfører derfor at planterne visner, deraf navnet visnegrænsen. For at der processen kan foregå skal vandindholdet være mellem markkapaciteten, som beskriver en tilstand, hvor de grove porer er luftfyldte og de fleste mellemporer er vandfyldte, og visnegrænsen, hvor mellemporerne er drænet for vand. Det er herimellem planternes vandforsyning foregår. (Københavns Universitet)

Yderligere vil noget af vandet fjernes ved infiltration, det er det vand som ikke fordamper, som vil infiltrere ned i de øverste jordlag og ved processen perkolation yderligere komme ned til de nederste jordlag, hvor magasineringen foregår. Infiltrationshastigheden vil afhænge af jordens infiltrationsevne, hvis denne er større end regnintensiteten vil den hastighed hvormed infiltrationen sker være lig med regnintensiteten, hvis jorden er vandholdig og de kapilærkræfter ikke spiller nogen rolle. Hvis regnintensiteten derimod er større end infiltrationsevnen af jorden, vil det medføre en afstrømning på overfladen, som vist på foregående figur, figur 5. (Burcharth og Jørgensen, 1976)

Magasineringen foregår således, at mellemporerne bliver først vandfyldte og derefter de grove porer. Som nævnt tidligere opnås markkapaciteten, når mellemporerne bliver vandfyldte, hvilket også svarer til fri afdræning. Herefter vil der ske en afstrømning af det infiltrerede vand gennem det grønne tag, og hvis der opnås fuld mætning af det grønne tag, vil det overskydende vand begynde at afstrømme på overfladen. (Rasmussen, et al., 2013)

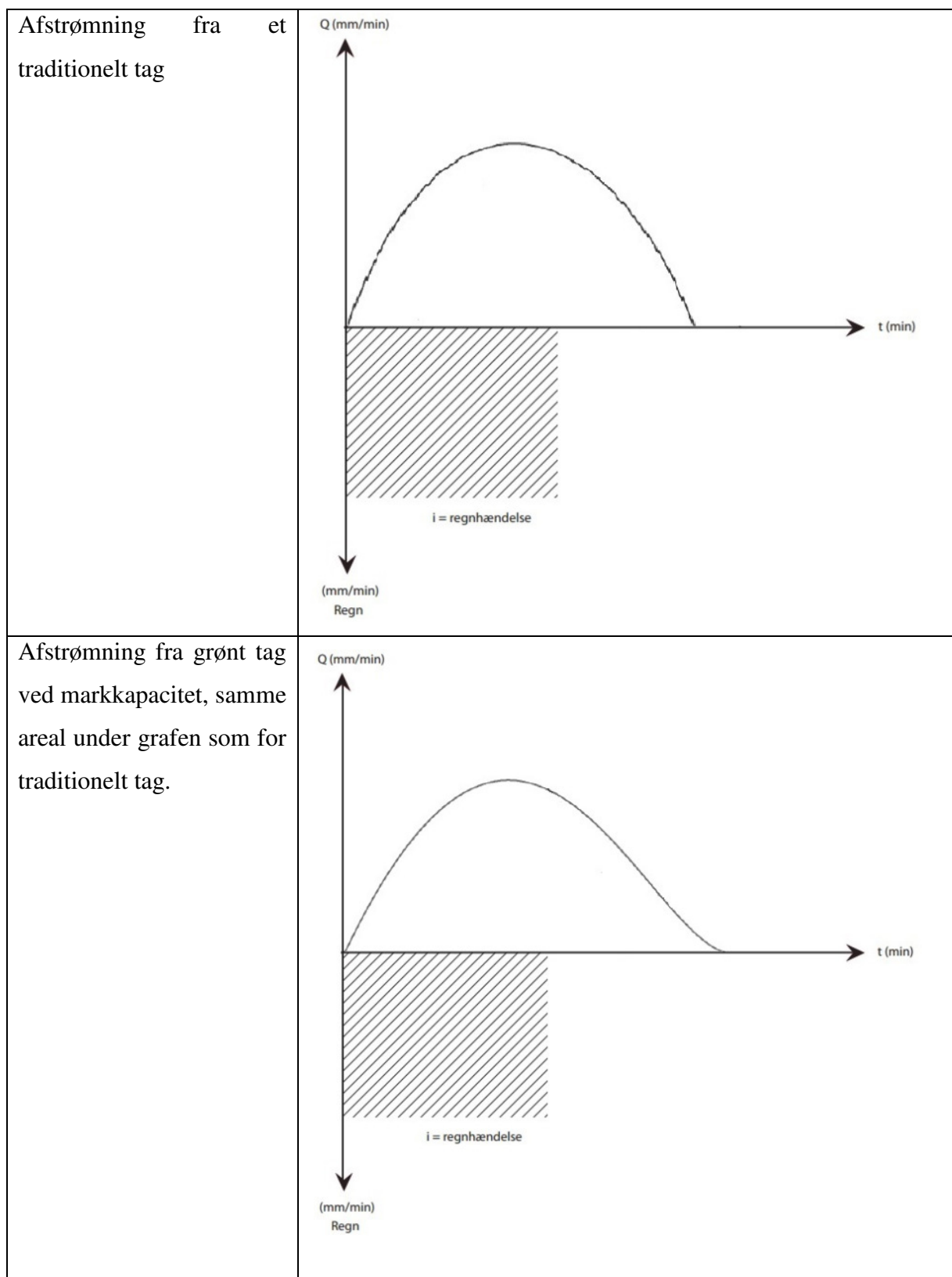
Det vil sige, at magasineringskapaciteten regnes med, at være mellem visnegrænsen og markkapaciteten.

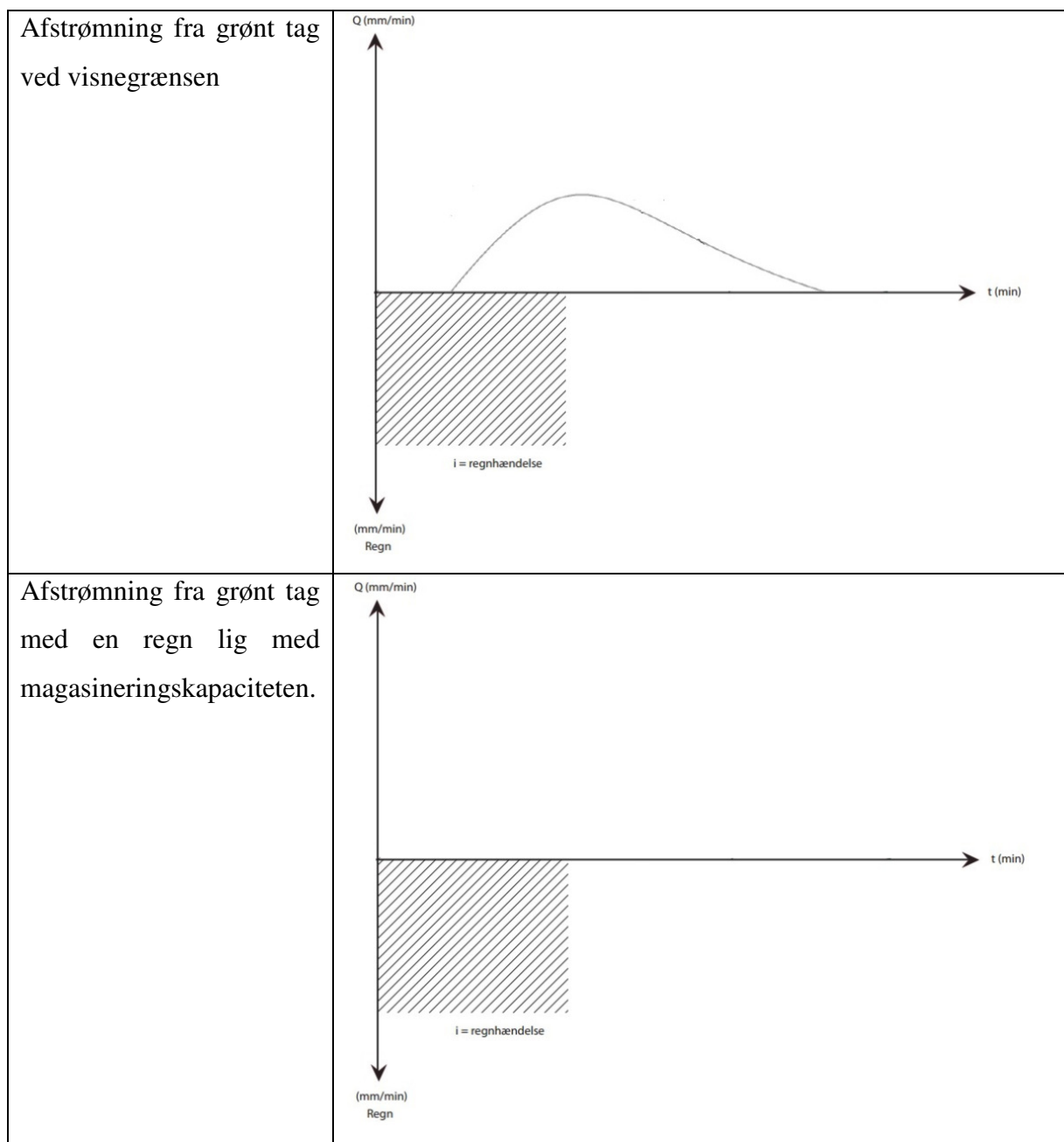
Figur 6 illustrerer begreberne, der forklarer vandindholdet i taget.



Figur 6: Begreberne vedrørende vandindholdet i grønne tage, inspiration fra (Rasmussen, et al., 2013)

Fra førnævnte processer og viden om grønne tage viser de efterfølgende grafer, hvorledes afstrømningen fra taget ville se ud i de forskellige scenarier. Graferne er principgrafer.





Den første graf viser, hvorledes afstrømningen ville se ud ved afstrømning fra et helt almindeligt tag.

Den anden graf viser, hvorledes afstrømningen vil se ud, når der er tale om grønt tag ved markkapacitet for samme regn. I dette scenarie vil alt vandet strømme af, det betyder at arealet under grafen for de to grafer er ens. Den eneste forskel der er, er at afstrømningen vil

være langsommere, derfor den længere hale, og peakflowet vil komme senere. Der vil ske en forskydning, hvilket også er illustreret på grafen.

Den tredje graf viser, hvorledes afstrømningen vil se ud, når der er tale om et grønt tag ved visnegrænsen for den samme regn. I dette scenarie vil noget af vandet kun strømme af, da resten af det vil blive opmagasineret, da magasineringsvoluminet vil være tilgængeligt. Det betyder, at der både vil forekomme en volumenreduktion, arealet under grafen vil være mindre end det for det almindelig rag, og afstrømningen vil blive forskudt en del. Det medfører at peakflowet vil komme senere end for taget ved markkapaciteten.

Den sidste graf viser, at hvis den nedbør der falder er mindre eller lig med magasineringen, det vil sige det vandindhold der er tilgængeligt fra visnegrænsen og til markkapaciteten, vil der ikke ske nogen form for afstrømning. Dette skyldes at al nedbøren vil blive tilbageholdt i taget, og vil højst sandsynligt via transpiration ende tilbage til atmosfæren igen.

Sammenfatning

Opbygningen af taget er en vigtig faktor, når det kommer til effektiviteten af et grønt tag, da effektiviteten afhænger af denne og vejrforholdene. Vandindholdet i taget vil være afhængigt af fordelingen af store og små porer samt den hydrauliske ledningsevne, og hermed også afstrømningen, da større magasineringskapacitet vil medføre en mindre afstrømning. Endvidere vil en hurtig udtørring af taget være at foretrække, da det vil betyde taget bedre vil kunne håndtere to regnhændelser med kort mellemrum.

1.3 Projektlokalitet

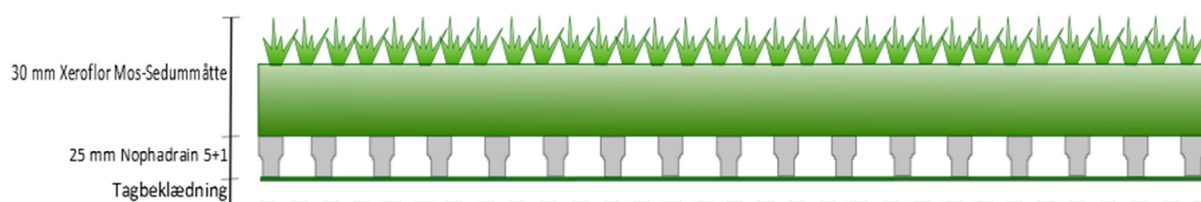
Det grønne tag der arbejdes med i dette projekt er, det grønne tag på Vejle Spildevands administrationsbygning. Lokaliteten af taget kan ses på figur 7.



Figur 7: Kort over projektlokaliteten (Google)

Det grønne tag er implementeret på bygningen med det formål, at blive anvendt til forsøg, der kan give et indblik i funktionen af grønne tage, og skabe en vurdering af om de har en positiv effekt. Taget udgør et areal på 626 m², hvor 400 m² er selve taget. Det resterende areal er implementerede solceller. Anvendelsen af solceller er en meget almindelig kombination med grønne tage.

Der regnes med, at taget har et areal på 626 m², da der forudsættes at den nedbør, som lander på solcellerne vil også ende på taget og nedsive. Taget er et Mos-sedum tag, der har en total byggehøjde på 55 mm, hvor vegetationshøjden maksimalt må være ca. 100 mm. Desuden har taget en dimensionerende vandmættet vægt på maksimalt 50 kg/m². Af de 55 mm har drænlaget en tykkelse på 25mm og består af et æggebakke lignende tæppe, hvoraf vegetationslaget er 30 mm. Opbyggelsen af det grønne tag kan se spå figur 8. (Veg Tech A/S) På figur 9 ses et billede af selve taget, hvor man også kan se solcellerne.



Figur 8: Opbygningen af et Mos-sedum tag



Figur 9: Det grønne tag på Vejle Spildevands administrationsbygning. (Gitte Bisgaard, 2014)

Måleopsætningen for taget er nøje overvejet, og er udført i samarbejde med Aalborg Universitet, måleopsætningen vil blive beskrevet i de kommende kapitler. Taget bliver monitoreret i realtid, der måler, hvor meget af den nedfaldne nedbør, der afstrømmer fra taget og ned i målebrønden. Yderligere er der opstilt et distrometer, der opsamler data om temperatur, vind og nedbør. Ellers kan der anvendes SVK-måler til, at fremskaffe nedbørsdata.

2. Problemformulering

I dette projekt studeres et grønt tag på Vejle Spildevands administrationsbygning. Der vil analyseres på de målte afstrømningsdata fra taget sammenlignet med den faldende referenceregn for, at vurdere effektiviteten af denne LAR løsning.

Problemstillingen der ønskes, at finde svar på er:

Hvor effektive er grønne tage til tilbageholdelsen af regn?

2.1 Metodeanvendelse og afgrænsning af projektet

Løsningen til denne problemstilling vil blive forsøgt, at blive opnået ved at studere et grønt tag nærmere. Det grønne tag der undersøges er 400 m², og er etableret på Vejle Spildevand A/S's administrationsbygning. Taget bliver monitoreret i realtid, der bliver foretaget målinger af nedbøren samt, hvor meget af den nedfaldne regn, der afstrømmer fra taget og ned i afløbet.

Måleudstyret vil blive kalibreret på plads ved, at udføre forsøg, hvor mængden af vand der anvendes er kendt, og derved kendes mængden, som måleudstyret skal have registreret. Efterfølgende kan en formel udregnes, der omregner de målte volt for afstrømningsdata fra det grønne tag på bygningen, til vandføringer. Herefter vil der analyseres på de forskellige regnhændelser fra August 2014 – December 2014, og konkluderes på om grønne tage har en positiv effekt til tilbageholdelsen af nedbør.

3. Målemetoder

Forskellige metoder kan anvendes til måling af afstrømningen fra grønne tage. Hvor meget af nedbøren vil strømme af, hvor meget bliver tilbageholdt, hvad er flowet og andre spørgsmål, der kan findes svar på. Nogle metoder er bedre til måling af de høje flow mens andre er til de lave flow, andre steder er en kombination af forskellige metoder den rigtige løsning. Derudover vil andre faktorer spille ind på valget af, hvilken metode der kan anvendes. Blandt andet har størrelsen på taget også en indvirkning på valget af målemetoden, og pladstilgængelighed til en eventuel placering af tanke. To metoder der kan anvendes, som målemetoder, er palletanksmetoden og kontinuert måling. Disse to metoder vil blive beskrevet nærmere i de følgende afsnit.

3.1 Palletanksmetoden

Beskrivelsen af palletanksmetoden tager udgangspunkt i Østerbro Brandstation, der har valgt at anvende palletanksmetoden til måling af afstrømningen fra grønne tage.

I 2010 blev der på Østerbro Brandstation etableret 2 forskellige ekstensive grønne tage fra Nykilde, og derude blev der etableret et referencefelt med tagpap. Formålet med denne måleopstilling er, at lave undersøgelser omkring regnvandsbalancen i byerne gennem optagelse af afstrømningshydrografer for grønne tage, og undersøge hvilken vandkvalitet det afstrømmede vand har. Målingen foregår på stedet med en 0,2 mm opløsning, hvor al det regnvand, som afstrømmer fra tagene bliver opsamlet i 3 separate tanke. Selve flowet bliver målt indirekte ved niveaumåling i tankene, her bliver niveauet logget hvert minut med en datalogger. Opstillingen er opstilt specielt til det pågældende formål, og det er meningen, at det skal løbe over flere år. (Teknologisk Institut) Se figur 10, for billede af forsøgstagene på Østerbro Brandstation.



Figur 10: Billede af de grønne tage ved Østerbro brandstation (Teknologisk Institut)

Anvendelsen af palletanksmetoden er volumenbaseret, det vil sige at afstrømningen fra taget opsamles, som nævnt i palletanke, og ved sammenligning af volumener fra referenceregnen samt det referencetag der er etableret kan man skabe sig en vurdering af, hvor meget af den faldende mængde nedbør er blevet formindsket ved anvendelsen af grønne tage. Derfor er metoden en fordel for mindre tage og en ulempe ved anvendelse for større tage med et stort areal, da palletankene har et volumen på 1m^3 , samt et sted hvor plads ikke vil være et problem, da tankene fylder.

Til måling af afstrømningen fra taget vil palletanksmetoden være god for mindre hændelser med høje vandføringer.

3.2 Kontinueret måling

Beskrivelsen af den kontinueret måling tager udgangspunkt i det grønne tag, der er implementeret på Vejle Administrationsbygning. Da det her projekt omhandler dette tag vil

der i det følgende ikke være så detaljeret en beskrivelse af taget samt formål, da det vil blive forklaret i rapport.

Den kontinueret målingsmetoder bygger på flowmålinger, det vil sige modsat palletanksmetoden er en kontinueret målingsmetode ikke volumenbaseret men flowbaseret. Vandføringerne fra det grønne tag kan, som i Vejle, måles ved, at installere en tryktransducer eller/og en ultralydsmåler i en målebrønd. Når vandet passerer de to måler eller en alt afhængigt af, hvad der ønskes installeret, måler de voltsignaler. Efterfølgende kan de målte voltsignaler omregnes til vandføringer, og på den måde kan man finde den ønskede afstrømningsmængde fra det grønne tag.

Denne metode er velegnet for større tage med et stort areal, derfor blev denne metode blandt andet valgt i Vejle, hvor taget har et areal på 400 m², derudover også grundt pladsmangel for palletankene. Metoden er også anvendelig, modsat palletanksmetoden, til de små hændelser med de lave vandføringer, hvilket har en stor betydning for afstrømningen af grønne tage, da afstrømningsbilledet har lange haler med meget lave vandføringer.

Sammenfatning

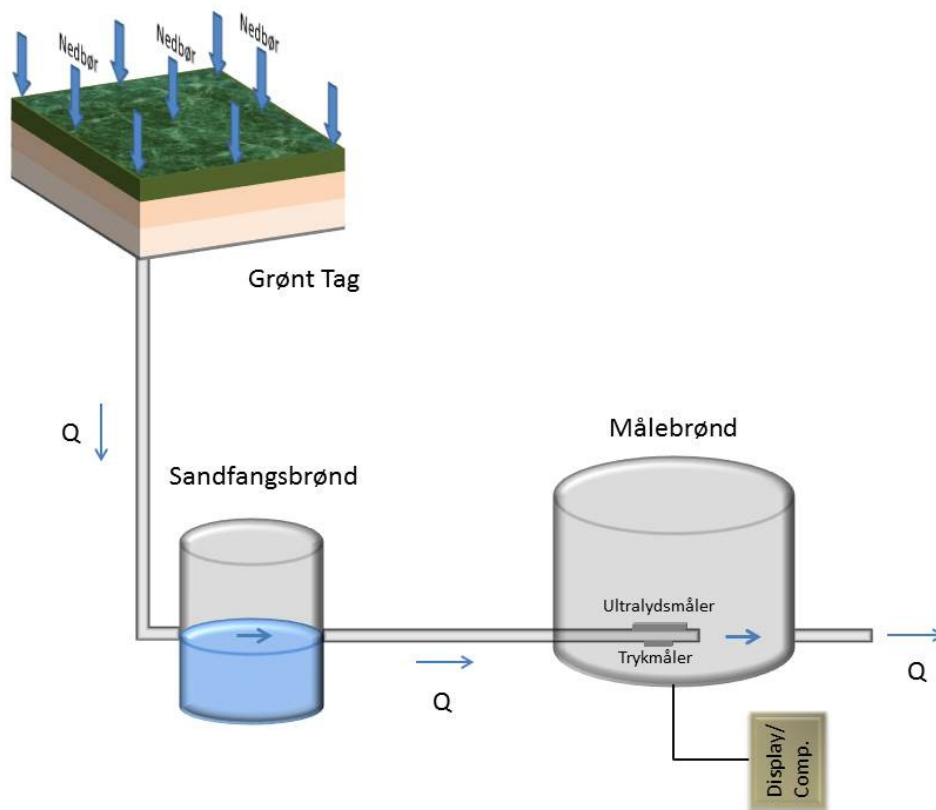
Begge metoder har deres fordele og ulemper, den ene metoder er bedre til de høje vandføringer, hvor den anden er bedre til de lave vandføringer. Derfor ville en kombination af de to metoder være, det mest ideale til målingen af afstrømningen fra grønne tage. Kombinationen kunne være, at palletanken kunne fyldes op løbende, når der så ikke var tilstrækkelig kapacitet i tanken for eksempel grunden en stor regnhændelse, kunne en ventil åbnes og vandet føres videre til en målebrønd, hvor der eventuelt er installeret en tryktransducer, og her kunne afstrømningen forsæt måles. Derved måles både de høje vandføringer og de små på en gang. I stedet for kun en af metoderne så modellerne skal kalibreres på plads så de passer til begge slags hændelser.

4. Forsøgsopstilling

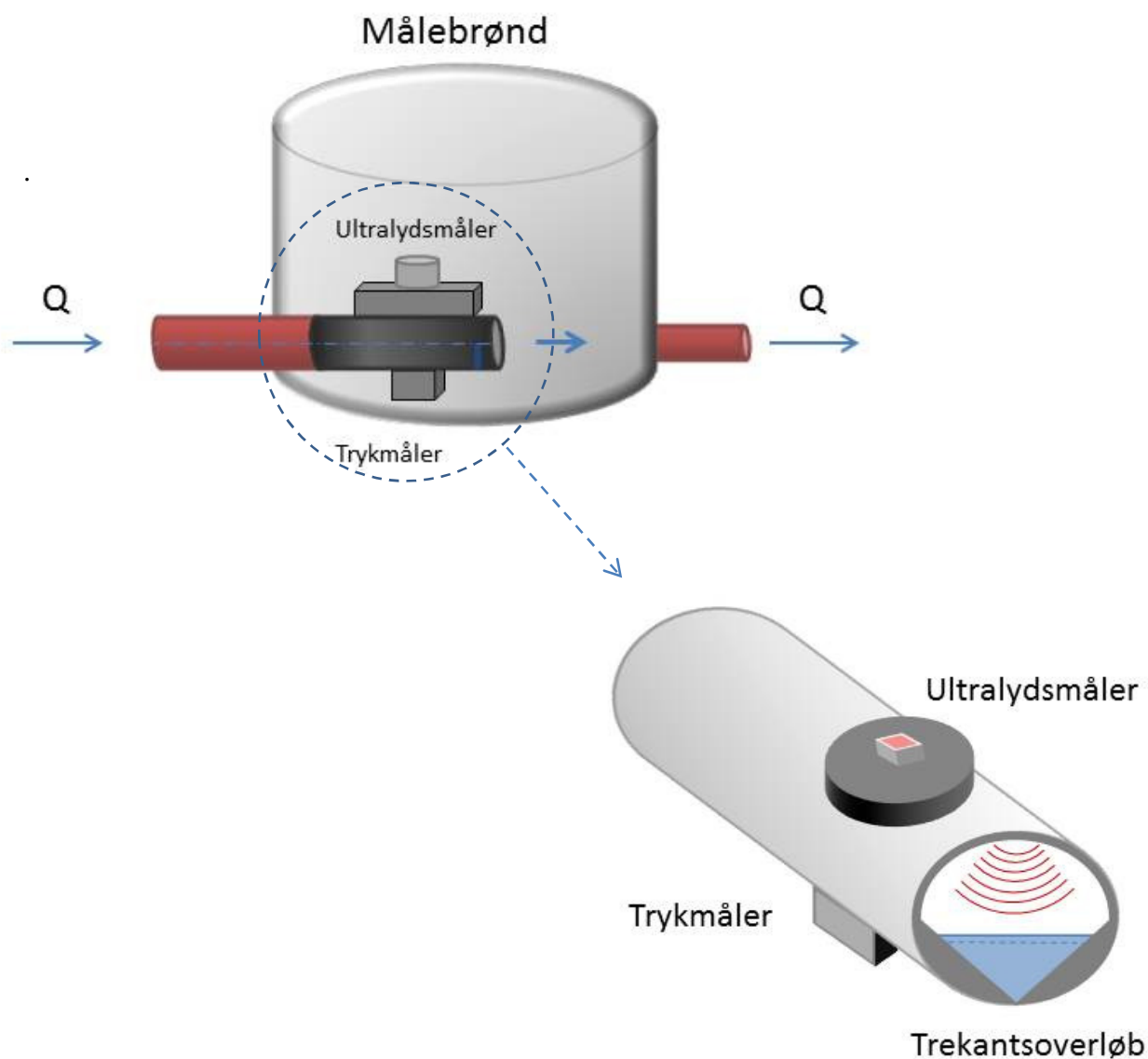
Følgende kapitel indeholder en beskrivelse af måleopstillingen og forsøget, der er udført på det grønne tag på Vejle Spildevands administrationsbygning. Derudover indeholder kapitlet en beskrivelse af kalibreringen af tryktransduceren.

4.1 Måleopstillingen

Måleopstillingen for det grønne tag ved Vejle Spildevand er specielt udført til formålet, da der er interesse i, at få afklaring på om der er en positiv effekt ved grønne tage og deres egenskaber. Opstillingen er, som tidligere nævnt, udført i samarbejde med Aalborg universitet, og metoden der er valgt er kontinuert måling ved hjælp af en tryktransducer og ultralydsmåler. Illustrationen på figur 11 viser måleopstillingen.



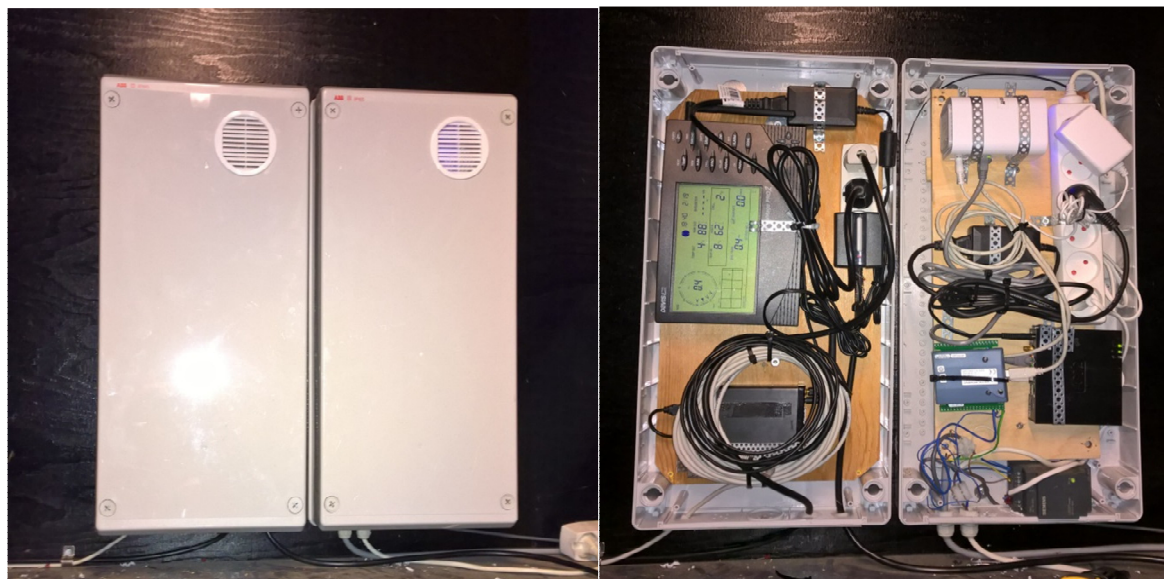
Figur 11: Måleopstillingen til måling af afstrømningen fra det grønne tag på Vejle Spildevands administrationsbygning



Figur 12: Øverst: skitse af målebrønden. Nederst: Rør med specialt designet trekantsoverløb.

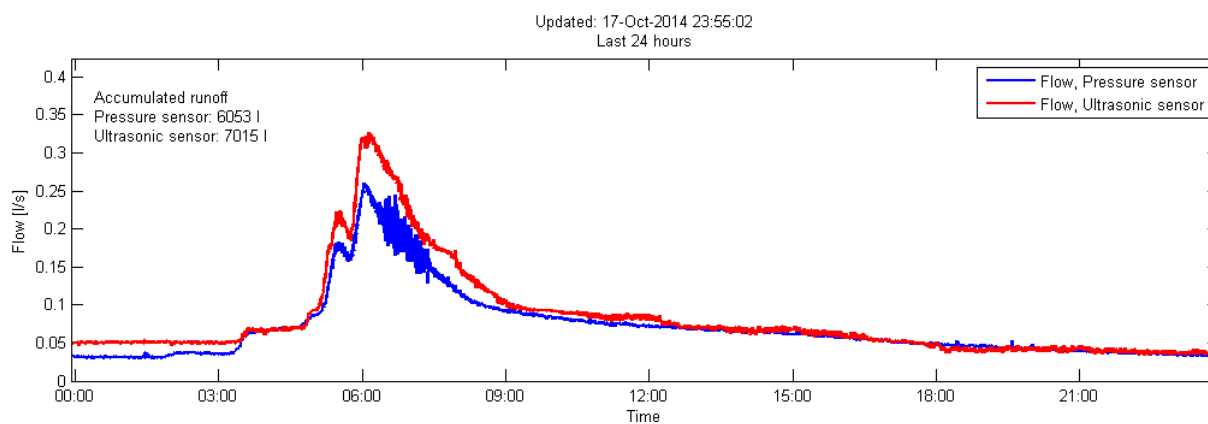
Afstrømningsvandet fra taget bliver samlet i sandfangsbrønden, hvor det fra sandfangsbrønden ryger over i målebrønden, illustration af målebrønden, hvor måleudstyret er installeret kan ses på figur 12 øverst. Her bliver det ført videre i et specielt designet trekantsoverløb, som også ses på figur 12 nederst. Det er på dette overløb, der er installeret en tryktransducer og ultralydsmåleren, der måler voltsignalerne på afstrømningen. Herefter bliver volt signalet sendt til en dataopsamlingsboks i det nærliggende skab, se figur 13, hvor

det via et internetsignal bliver sendt til en computer. Derudover bliver målingerne sendt live på en hjemmeside, hvor man kan følge med i afstrømningsbilledet fra taget.



Figur 13: Billede af dataopsamlingsboksen

Voltsignalerne laves om til et flow ved anvendelse af en omregningsmodel, der er udviklet til formålet, det er disse flowmålinger, der kan ses på den pågældende hjemmeside. Hertil anvendes programmet MATLAB. Der udsendes to forskellige voltsignaler, et ultralydssignal og et tryksignal. Et eksempel på dette kan ses på figur 14, hvor den røde graf viser ultralydmålingerne og den blå viser trykmålingerne.



Figur 14: Eksempel på målinger af afstrømningen fra det grønne tag mål med ultralydmåler og tryktransducer. Den blå graf er for tryktransduceren og den røde for ultralydmåleren.

Grafen viser, at der er en forskel på de to måler, ultralydsmåler måler et højere akkumuleret volumen end tryktransducere, dette er næsten tilfældet ved alle hændelserne. Samt viser grafen, at ultralydsmåleren har et højere nulniveau end tryktransducere, dog er nul niveauet for begge måler over 0, hvilket medfører der er en konstant afstrømning fra det grønne tag. Denne graf er baseret på den første udledte omregningsmodel for de to måler ud fra et udført kalibreringsforsøg, der beskrives i det efterfølgende.

4.2 Fremgangsmåden for den 1. omregningsmodel

Den første formel der blev udledt til anvendelse af omregningen af volt til en vandføring er en formel baseret på et traditionelt trekantsoverløb, et Thomson overløb. Et trekantsoverløb kaldes et Thomson overløb, når vinkel α er 90° . (Borsen, 2007) En Illustration af et Thomson overløb kan ses på figur 15.

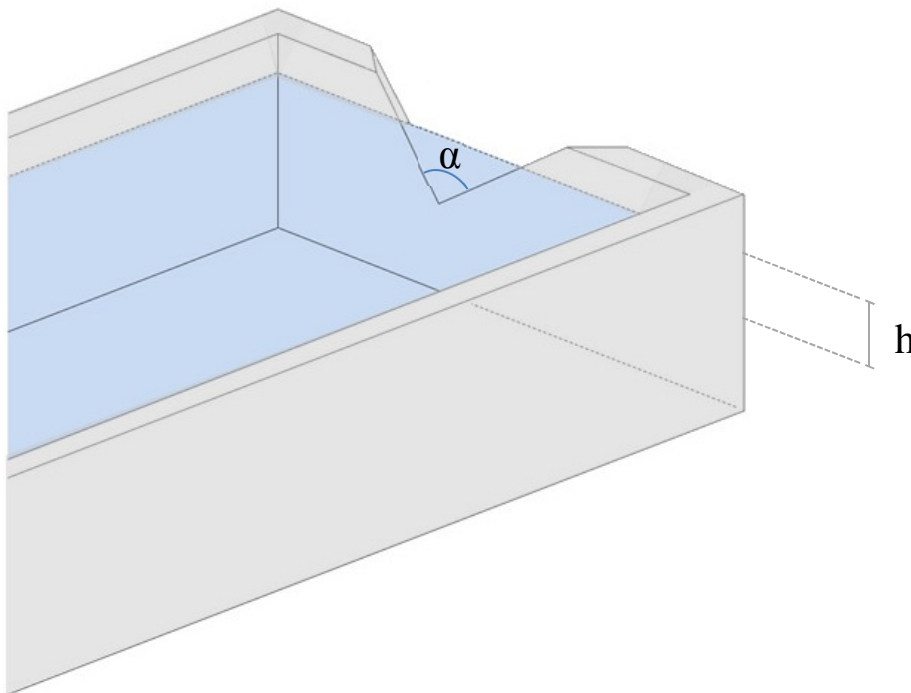
Er det tilfældet, at vinklen er 90° , kan vandføringen i overløbet regnes ved følgende formel (1) (Borsen, 2007):

$$Q = a \cdot h^b \quad (1)$$

$$Q = \text{vandføring i } \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$h = \text{højden fra overløbskanten til vandspejlet i [m]}$

a og $b = \text{konstanter}$



Figur 15: Skitse af et Thomson overløb

Tværsnittet der er anvendt ved Vejle Spildevand er, som nævnt, ikke et traditionelt Thomson overløb, da det går ned til bunden, som det kunne ses på figur 12. Udformningen blev valgt, da et Thomson overløb ville kræve mere plads, hvilket ville medføre mindre kapacitet i røret. Derudover vides det, at når flowet er 0 er vandstanden i overløbet ligeledes 0 det vil sige røret er tømt helt ud. Yderligere er det en forudsætning, at der er stationær ensformig strømning over bygværker. Hvilket ikke er tilfældet for det pågældende bygværk, hvor der er kvasi-stationær strømning, det betyder at der er næsten stationær strømning, i de situationer, hvor $V \neq 0$. Selv der vil være bølger, når afstrømningsvandet passerer overløbet forudsættes det ikke at være et problem, da der bliver midlet over 1 minut. Der vil også forekomme lav dybde ved stor vandføring, hvilket kan flytte rundt på den kritiske vanddybde.

Det betyder, at der derfor blev anvendt en empiri omkring stationære forhold. Hvilket medførte til en empirisk udgave af formel (1). Formlen der anvendes for overløbet i Vejle er følgende:

$$Q = (a \cdot \Delta V)^b \quad (2)$$

Højden h fra formel (1) er her et voltsignal, der ganges med en konstant:

$$h = k \cdot V \quad (3)$$

Hvis formel (3) sættes ind i formel (1) vil det se følgende ud:

$$Q = (a \cdot k \cdot V)^b \quad (4)$$

Der udregnes en ny konstant a_2 :

$$a_2 = a \cdot k \quad (5)$$

Det vil sige, at den formel der blev anvendt i første omgang til udregning af vandføringen er følgende:

$$Q = (a_2 \cdot \Delta V)^b \quad (6)$$

$$Q = \text{Vandføringen i } \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

a_2 og b er konstanter

$\Delta V = \text{målt volt} - \text{nulniveauet (volt)}$

Eftersom den anvendte formel er en empirisk formel blev det nødvendigt, at udføre en kalibrering af tryktransducere og ultralydsmåleren for at tilpasse formlen, og finde konstanterne a_2 og b .

4.2.1 Forsøgsbeskrivelse af kalibreringen for 1. omregningsmodel

Tilpasningen af formlen foregik ved kalibrering af tryktransducere og ultralydsmåleren ved forsøg med anvendelse af to palletanke.

Fremgangsmåden for forsøget var først, at først blev den ene palletank fyldt op, hvor der blev aflæst på vanduret, hvor stort et volumen, der var blevet fyldt i tanken. Vanduret blev anvendt til måling, da vandslangen var anvendt med maksimalt flow, og forudsættes at være mere præcist end ved aflæsning på palletanken. På samme måde blev den anden palletank fyldt op, og der blev aflæst på vanduret, hvor stort et volumen af vand, der var fyldt på tanken. Det kan ses ud fra tabel 5, hvilket volumener der blev fyldt på de to tanke. Det kan ses, at der næsten er 1 m^3 , hvilket er det egentlige volumen af tankene.

Tabel 5: Voluminer af vandmængder i palletankene

Volumen af palletank 1, [m ³]	Volumen af palletank 2, [m ³]
0,948	0,956

Til måling af flowet blev først den første palletank tømt på en gang, hvilket resulterer i, at i starten når tanken er helt fyldt op vil den blive tømt hurtigere, og jo mere tom den bliver jo langsommere kommer vandet ud, dette skyldes at trykket i tanken bliver mindre. Imens palletank 1 blev tømt, blev der åbnet op for palletank 2. De blev tømt på samme tid ned i brønden, og vandet ført videre i målebrønden. Ved at tømme begge palletanke på en gang får, man den største mængde vand med det største mulige flow, der er muligt at skabe ved udførsel af forsøget.

Da vandmængden fra de to palletanke var passeret gennem målebrønden og videre ud til recipienten, blev der anvendt en vandslange til forsøget. Der blev skruet helt op for vandslangen i 10 min for at få det maksimale flow, der kunne opnås med vandslangen. Vandmængden der blev tilført med vandslangen havde et volumen på 0,231 m³, hvilket resulterede i en vandføring på 0,385 l/s.

Efter endt forsøg blev målingerne anvendt til kalibreringsudregninger for modellen. Fremgangsmåden for kalibreringsudregninger bliver beskrevet i det efterfølgende afsnit.

4.2.2 Udregningerne for kalibreringen af 1. omregningsmodel

I det forrige blev der beskrevet, hvorledes en empirisk formel blev fundet til, at beregne vandføringen ud fra målingen af voltsignaler. Det var formel (6), og den så således ud:

$$Q = (a_2 \cdot \Delta V)^b \quad (6)$$

$$Q = \text{Vandføringen i } \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

a_2 og b er konstanter

$$\Delta V = \text{målt volt} - \text{nulniveauet (volt)}$$

Det her afsnit indeholder en beskrivelse af bearbejdningen af forsøgsdata til kalibreringen af trykmåleren og ultralydsmåleren, der anvendes til at få tilpasset modellen på målt data så de to konstanter i modellen kan findes.

Målingerne der blev foretaget ved forsøget kan se på bilag 1, ”Regneark 1 – 1.omregningsmodel”. Regnearket viser udregningerne for tryktransducere, hvor bilag 2, ”Regneark 2 – 1.omregningsmodel”, viser udregningerne for ultralydsmåleren. Beskrivelsen tager udgangspunkt i tryktransducere, da samme fremgangsmåde er anvendt for ultralydsmåleren.

Der kan ses i regnearket, at der er voltsignaler for tryktransducere og for ultralydsmåleren. Efterfølgende udregnes der en ΔV både for ultralydsmåleren og tryktransducere ved, at minus voltsignalet for nulniveauet med de målte voltsignaler for vandføringen. Værdierne for nulniveauet kan ses i tabel 6.

Tabel 6: Nulniveauet i volt for henholdsvis tryktransducere og ultralydsmåleren

Tryktransducere nulniveau	Ultralydsmåleren nulniveau
6,435998 V	-0,8455 V

Vandføringen regnes ud ved formel (6), hvor konstanterne a og b er fundet ved at få de akkumulerede voluminer til at passe. Hvilket vil sige, at den mængde der er tilført ved forsøg skal stemme overens med den mængde, der regnes ud fra omregningsmodellen. Den vandmængden der blev tilført er summen af de to tankes voluminer, det vil sige de målte voltsignaler skal ved omregningen til vandføringer ende med en vandmængde så tæt på som muligt med den tilførte vandmængde på 1904 l. I regnearket ses en vandføring, Q-base, det er denne vandføring, der anvendes til kalibrering af de to konstanter. Denne vandføring er udregnet grundet, at der tages forbehold for den dag forsøget blev udført var der ikke tørvej.

Ved forsøget med vandslangen kalibreres konstanterne ved anvendelse af vandføringen, hvor det med palletankene er volumenbaseret. Vandføringen der ønskes, at komme så tæt på som muligt ved omregningsmodellen er 0,385 l/s.

De to konstanter der blev kalibreret på plads endte med en værdi på $a = 1,414$ og $b = 1,73$, hvilket betyder at omregningsmodellen bliver følgende:

$$Q = (1,414 \cdot \Delta V)^{1,73} \quad (7)$$

$$Q = \text{Vandføringen i } \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

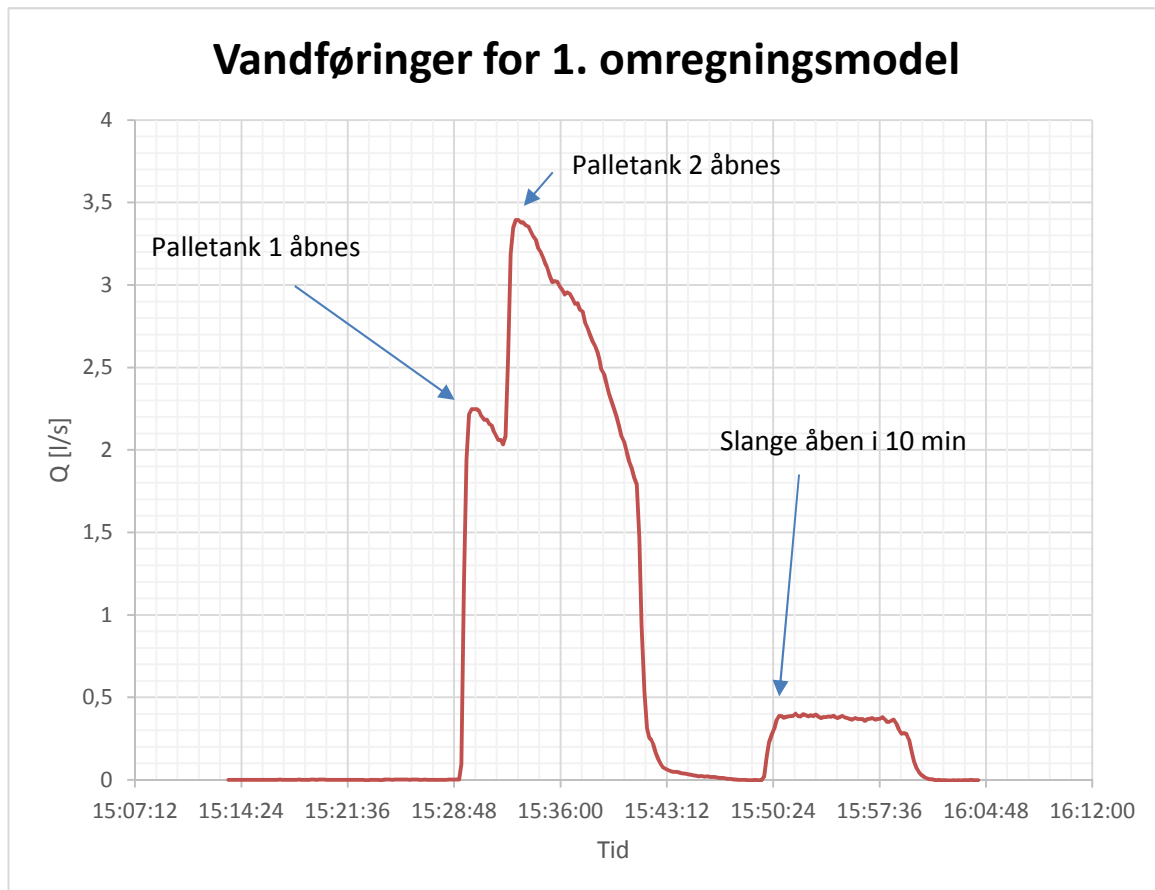
$$a_2 = 1,414$$

$$b = 1,73$$

$$\Delta V = \text{målt volt} - \text{nulniveauet (volt)}$$

$$\text{nulniveau} = 6,435998 \text{ V}$$

Denne model medfører en registreret samlet vandmængde på 1904,018 l og en vandføring for vandslangen på 0,385066 l/s. Resultaterne for vandføringerne kan ses illustreret grafisk på figur 16, der viser vandføringerne i forhold til tiden.



Figur 16: Graf over de omregnede voltsignaler fra tryktransduceren til vandføringer i l/s ved anvendelse af den første omregningsmodel

Det er voluminet under grafen for palletankene, der skal være lig med det volumen der blev fyldt på palletankene. Desuden kan det ses ud fra grafen, at den største vandføring der opnås er på 3,394344 l/s, hvor vandslangen blev anvendt til de mindre vandføringer, 0,385066 l/s. For ultralydsmåleren blev der ved kalibreringen fundet, at $a = 3,668$ og $b = 1,73$, hvilket betyder at for ultralydsmåleren så omregningsmodellen således ud:

$$Q = (3.668 \cdot \Delta V)^{1,73} \quad (7)$$

$$Q = \text{Vandføringen i } \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

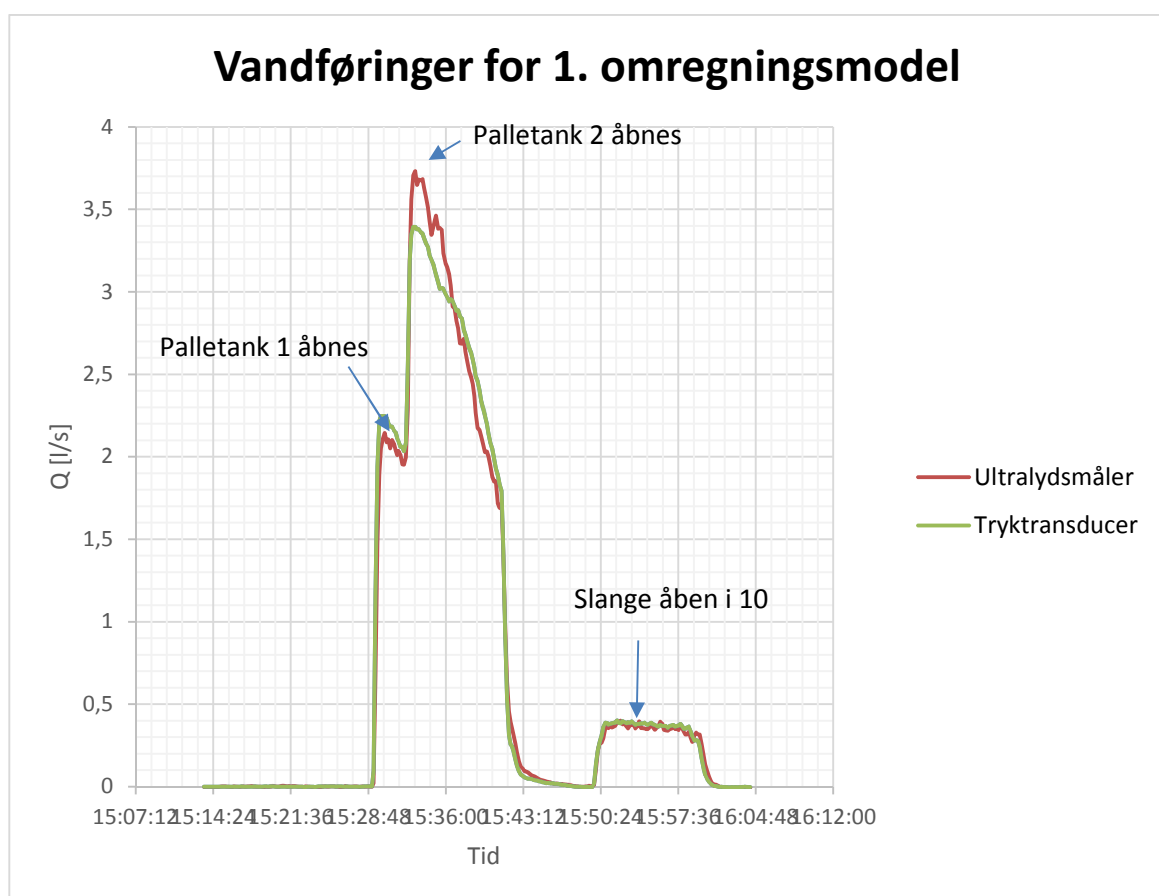
$$a_2 = 3,668$$

$$b = 1,73$$

$$\Delta V = \text{målt volt} - \text{nulniveauet (volt)}$$

$$\text{nulniveau} = -0,8455 \text{ V}$$

Denne model medfører en registreret samlet vandmængde på 1904,08 l og en vandføring for vandslangen på 0,385912 l/s. Resultaterne af vandføringerne kan ses illustreret grafisk på figur 17, der viser vandføringerne i forhold til tiden. Både ultralydsmåleren og tryktransduceren er illustreret på grafen.



Figur 17: Figur 16: Graf over de omregnede volt-signaler fra tryktransduceren og ultralydsmåleren til vandføringer i l/s ved anvendelse af den første omregningsmodel

Det er voluminet under grafen for palletankene, der skal være lig med det voluminet der blev fyldt på palletankene. Desuden kan det ses ud fra grafen, at den største vandføring der opnås er på 3,730825 l/s, hvor vandslangen blev anvendt til de mindre vandføringer, 0,385912 l/s. Det kan yderligere ses fra grafen, at ultralydsmåleren måler højere vandføringer end tryktransduceren for eksempel er forskellen på de to højeste vandføringer på ca. 10 %.

De to kalibrerede modeller blev anvendt i MATLAB på opsamlede data, graferne for regnhændelserne kan ses på bilag 3.

4.2.3 Vurdering af resultaterne ved anvendelse af den 1. omregningsmodel

Den 1. omregningsmodel, der blev udviklet til omregningen af voltsignalerne viste, at begge måler målte for høj en afstrømning fra det grønne tag, at afledningen fra taget var højere end den pågældende nedbør. Dette kan ses i tabel 7, der viser den akkumulerede referenceregn målt med SVK-måleren, og den akkumuleret målte afstrømning, hvor den første model for omregningen er anvendt. Resultaterne i tabellen er for vandføringerne målt med tryktransduceren, da det blev vurderet, at ultralydsmåleren måler for høje værdier. Det kan både ses på grafen for forsøget, der sammenligner de to måler, og på figuren 14, der også viser sammenligningen mellem de to måler for en konkret regnhændelse. Figuren viser også at tryktransduceren har registret en akkumuleret afstrømningsmængde på 6053 l, hvor ultralydsmåleren målte en akkumuleret afstrømningsmængde på 7015 l. Forskellen på de to mængder er ca. 16 %, hvilket er en betydelig forskel.

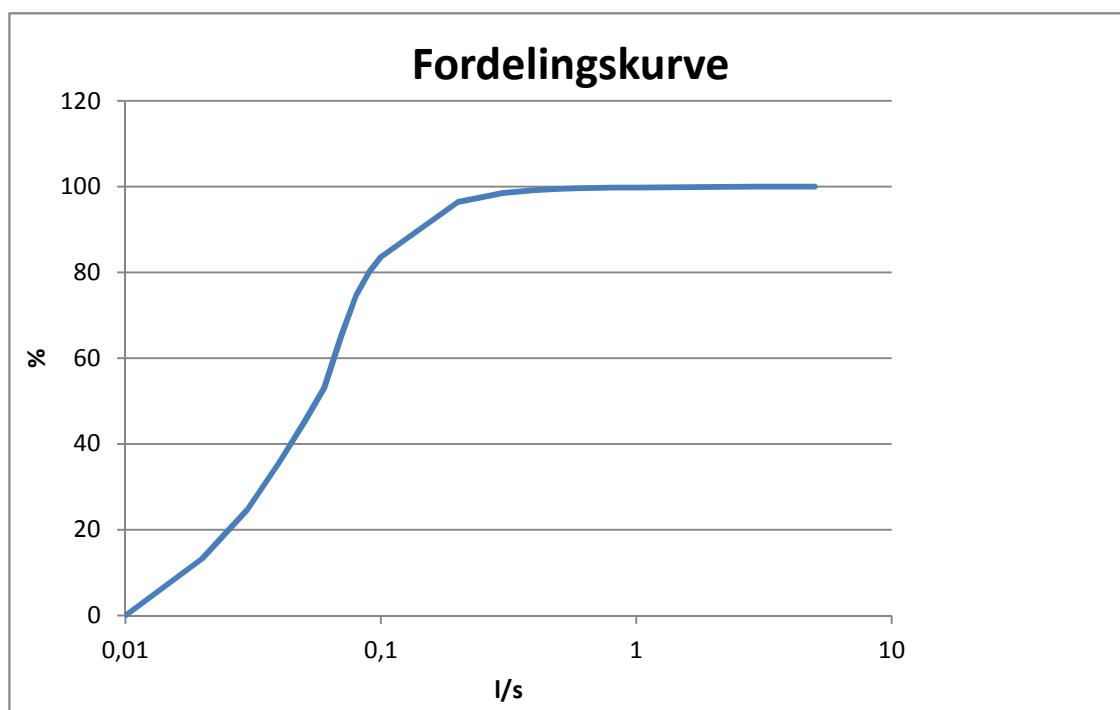
Tabel 7: Viser regnhændelserne og akkumuleret afstrømning fra taget og akkumuleret regnmængde samt, hvor meget taget reducerer nedbørmængden

Regnhændelse	Start dato	Slutdato	AccFlow [m ³]	AccSVK [m ³]	Reducering [%]
1	03-08-2014 09:40	04-08-2014 15:40	12,28	21,78	56,38
2	09-08-2014 10:06	10-08-2014 07:36	0,5486	3,881	14,13
3	10-08-2014 20:57	15-08-2014 08:01	34,52	28,70	119,9
4	15-08-2014 09:41	16-08-2014 14:04	1,611	1,126	143,1
5	17-08-2014 05:34	27-08-2014 10:40	56,47	30,17	187,2
6	27-08-2014 17:28	29-08-2014 03:01	0,4008	0,8763	45,73
7	29-08-2014 08:39	05-09-2014 10:33	14,30	5,384	265,6
8	08-09-2014 10:52	09-09-2014 03:47	0,5837	1,502	38,86
9	09-09-2014 04:49	10-09-2014 01:44	0,7035	0,3757	187,3
10	14-09-2014 17:05	14-09-2014 21:35	0,0449	0,7495	5,986
11	21-09-2014 03:32	22-09-2014 02:21	2,830	5,633	50,25
12	22-09-2014 03:20	24-09-2014 01:39	6,524	5,634	115,8
13	24-09-2014 07:48	29-09-2014 16:56	10,44	2,755	378,0
14	30-09-2014 08:51	03-10-2014 05:43	9,185	3,504	262,1
15	03-10-2014 06:28	06-10-2014 00:25	3,146	0,8761	359,1
16	07-10-2014 08:11	29-10-2014 06:31	125,1	64,47	194,1
17	29-10-2014 07:10	03-11-2014 01:21	7,142	0,7507	951,4
18	03-11-2014 01:13	16-11-2014 13:32	48,92	10,39	470,9
19	16-11-2014 14:58	29-11-2014 17:31	45,32	19,15	236,7
20	04-12-2014 20:01	13-12-2014 00:32	34,49	33,55	102,8
Samlet			436,07	241,36	180,67

Det kan ses ud fra tabellen, at i næsten alle tilfælde, er der en meget større mængde afstrømning end den mængde regn der er faldet, disse tilfælde er markeret med gult i tabellen. Samme gælder for de samlede mængder, der viser at alt nedbøren afstrømmer og yderligere 80,67 %. Eftersom dette ikke kan lade sig gøre, må der være en usikkerhed, som spiller en rolle. Bilag 4, "Regnhændelser data, reducering og ændring af konstanter", viser udregningen for tabel 7, og resultaterne ved ændring af konstanterne a og b. Ændringen af konstanterne blev foretaget for, at se om det kunne ændre noget. Dog kan det ses i bilaget, at afstrømningen stadig er for høj i de fleste tilfælde eller lav.

Yderligere viste graferne over regnhændelserne, at en del af dataerne var meget lave flows, deraf de lange haler på graferne. Inden et nyt forsøg blev udført til yderligere kalibreringen af målerne blev det forsøgt at afhjælpe problemet med, at fjerne de helt lave flows. For at få et større indblik i, hvor mange af dataerne, der var tale om som referer til de helt lave flows, det vil sige et flow på 0,1 l/s og derunder, laves der en fordelingskurve over alle daterne fra August 2014 – December 2014, som også er den tidsperiode der vil blive anvendt i dette projekt fremover.

Fordelingskurven kan ses på figur 18, og viser at 83,6 % har et flow på 0,1 l/s eller derunder. Det er en stor andel, og kan have en indflydelse og være grunden til, at afstrømningen af taget er større end den pågældende nedbør, derfor blev disse fjernet fra datasættene. På bilag 5, "Fordelingskurve", kan man se udregningerne for det efterfølgende fordelingskurve.



Figur 18: Fordelingskurve over de målte vandføringer for tidsperioden august 2014 – december 2014

Udelukkelsen af de lave flows hjalp ikke på, at mindske afstrømningen fra taget betydeligt, selvom en stor procentdel af flowene ligger her. Derfor blev der udført et nyt kalibreringsforsøg. Der vil i det efterfølgende kun fokuseres på trykmålingerne, da det som nævnt viste sig, at ultralydsmålingerne er urealistiske. De vandføringer, der forekommer fra ultralydsmåleren er en del for høje i forhold til målingerne for den referenceregn der måles på. Samt viser grafer afstrømningsbilleder, der ikke er realistiske for afstrømningen fra grønne tage. Det viser sig, at trykmåleren måler mere pålideligt, men eftersom der stadig er store usikkerheder, og målingerne ikke viser et realistisk resultat er det nødvendigt, at udføre forsøg til kalibreringen af tryktransduceren, også for at bekræfte eller afkræfte om tryktransduceren er i stand til, at måle de helt lave vandføringer, da en stor del af målingerne ligger i dette område.

4.3 Fremgangsmåden for den 2. omregningsmodel

Ud fra forrige observationer og vurderinger blev modellen yderligere udviklet, hvilket blev gjort ved nye forsøg til kalibreringen af tryktransduceren. Forsøget er blevet udført 2 gange, da det blev opdaget, at første gang blev det ikke udført helt udførligt nok.

Den første formel for 2. omregningsmodel er bestående af to formler, hvor den første formel er den empiriske formel, som ved første forsøg. Den anden formel er ligeledes den samme empiriske formel dog tilføjet en ekstra konstant. Formler er følgende:

$$Q = (a_2 \cdot \Delta V)^b \quad (8)$$

$$Q = \text{Vandføringen i } \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

a_2 og b er konstanter

$\Delta V = \text{målt volt} - \text{nulniveauet (volt)}$

$$Q = (a_2 \cdot \Delta V)^b + C \quad (9)$$

$$Q = \text{Vandføringen i } \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

a_2, b og C er konstanter

$\Delta V = \text{målt volt} - \text{nulniveauet (volt)}$

I det følgende vil der være en beskrivelse af kalibreringsforsøget af tryktransducere samt udregningerne for, hvorledes der blev fundet frem til model (8) og (9) og en tilpasning af formlerne for, at finde konstanterne.

4.3.1 Forsøgsbeskrivelse af kalibreringen for den 2. omregningsmodel, formel 1

Til forsøget blev anvendt en vandslange som vandforsyning til forsøget, der er tilkoblet et vandur. Vandslangen blev ført direkte ned i sandfangsbrønden, hvor der blev skruet på selve vandslangen til, at skabe høje og lave flows. Se figur 19 og 20, der viser opstillingen og et af de helt lave flows.



Figur 19: Opstillingen hvor vandslangen er sat ned i sandfangsbrønden



Figur 20: Viser hvor lidt vand, der strømmer ud af vandslangen, der anvendes til måling af de helt lave flows

Der blev udført 6 forskellige forsøg med 6 forskellige hastigheder på vandslangen. For hvert forsøg blev der taget tid på, hvor længe forsøget varede, og vanduret blev aflæst ved start og slut til for, at kunne finde det volumen der er strømmet i brønden under den tid forsøget tager til anvendelse af beregningen af flowet ud fra vandslangen.

4.3.2 Udregningerne for kalibreringen af 2. omregningsmodel, formel 1

I det forrige afsnit blev der nævnt, at de to formler der udgør den første formel af 2. omregningsmodel til, at beregne vandføringen ud fra målingen af voltsignaler., var formlerne (8) og (9), og den så således ud:

$$Q = (a_2 \cdot \Delta V)^b \quad (8)$$

$$Q = \text{Vandføringen i } \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

a_2 og b er konstanter

$\Delta V = \text{målt volt} - \text{nulniveauet (volt)}$

$$Q = (a_2 \cdot \Delta V)^b + C \quad (9)$$

$$Q = \text{Vandføringen i } \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

a_2, b og C er konstanter

$\Delta V = \text{målt volt} - \text{nulniveauet (volt)}$

Det her afsnit indeholder en beskrivelse af bearbejdningen af forsøgsdata til kalibreringen af tryktransduceren, der anvendes til at få tilpasset modellen på målt data så konstanterne i modellen kan findes.

Målingerne der blev foretaget ved forsøget kan se på bilag 6, ”Regneark 3 – 2.omregningsmodel”.

Der kan ses i regnearket, at der er voltsignaler for tryktransduceren, og efterfølgende udregnes der en ΔV ved at minus voltsignalet for nulniveauet med de målte voltsignaler for vandføringen. Værdien for nulniveauet der anvendes i denne model kan ses i tabel 8.

Tabel 8: Nulniveauet der anvendes til beregningerne for tryktransducere i volt

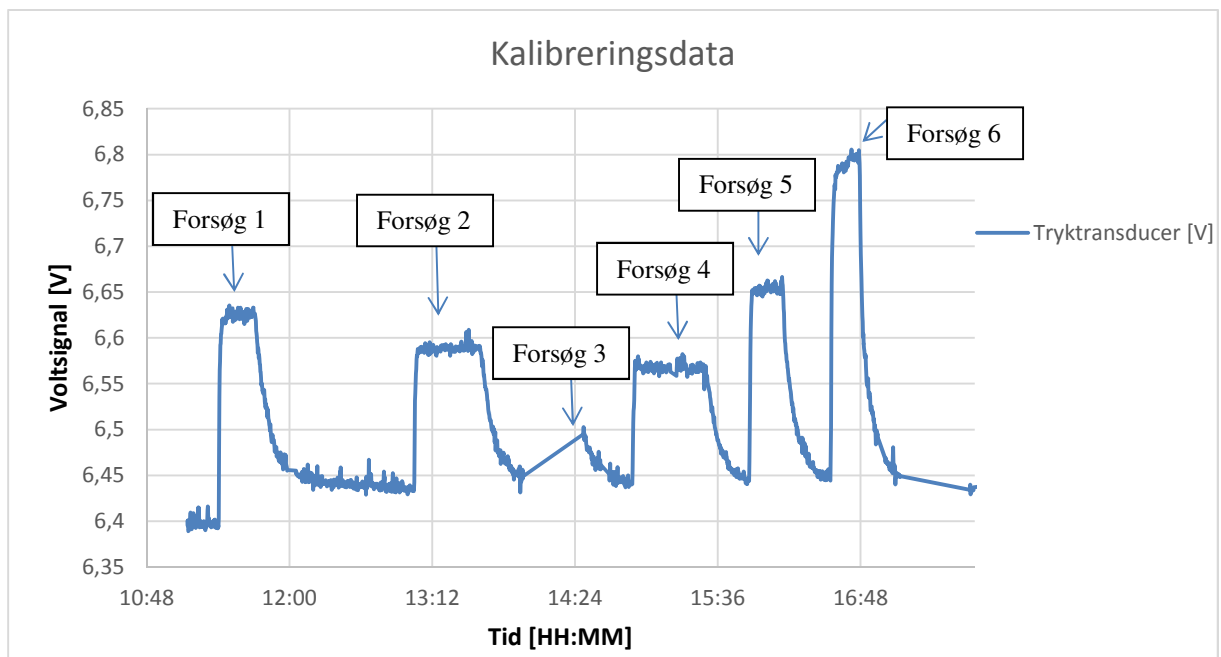
Tryktransducere nulniveau
6,44 V

Denne gang er vandføringen modsat den første omregningsmodel, der var baseret på at kalibrere ud fra kendt volumen, baseret på at kalibrere ud fra en kendt vandføring. Hvilket vil sige, at den mængde der er tilført ved forsøg blev, som nævnt, målt ved anvendelse af vanduret, og der blev taget tid på hvor længe tilførsel fandt sted. Ud fra disse målinger blev de pågældende vandføringer, der anvendes til kalibreringen af modellen udregnet, og kan ses i tabel 9.

Tabel 9: Forsøgsdata for 5 af forsøgene

Forsøg	Start tid	Slut tid	V Start	V Slut	Delta t	Delta V	Q [l/s]
1	11,22	11,42	1605,1723	1605,2337	1200	61,4	0,051166667
2	13,00	13,35	1605,2337	1605,2693	2100	35,6	0,016952381
4	14,48	15,28	1605,2700	1605,2760	2400	6	0,0025
5	15,50	16,08	1605,2760	1605,3765	1080	100,5	0,093055556
6	16,32	16,47	1605,3765	1605,6750	900	298,5	0,331666667

Det vil sige de målte voltsignaler skal ved omregningen med modellen ende med de udregnede vandføringer for de 6 forsøg, dog anvendes kun 5 af forsøgene, da forsøg 3 ikke medtages i beregninger. Forsøg 3 medtages ikke, da måleren gik i stå, og derved manglede der data for dette forsøg. Se figur 21.



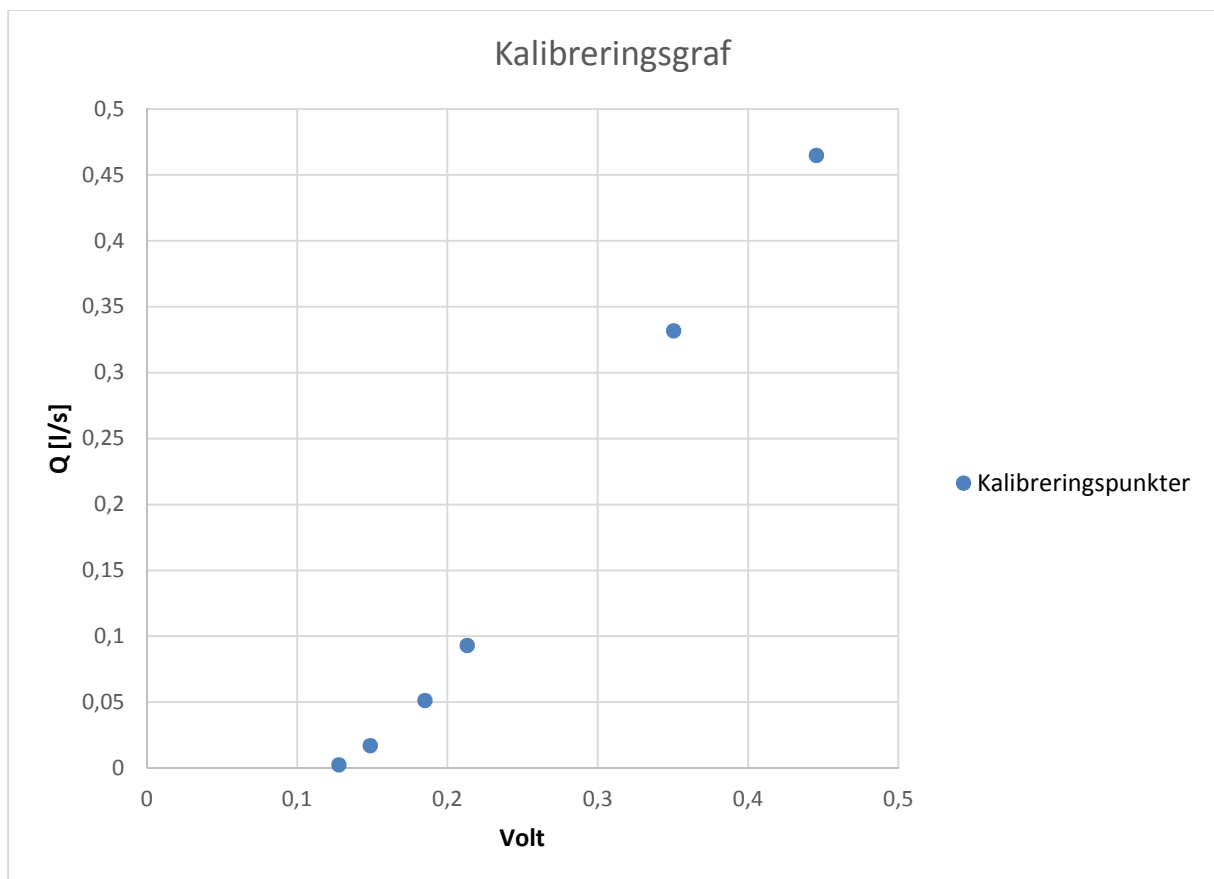
Figur 21: Graf over de 6 forsøg, der viser de registrerede voltssignaler. Det kan ses, at forsøg 3 mangler målinger og derfor anvendes dette forsøg ikke

Næste trin er, at isolere de maksimale værdier for hvert forsøg så der kan findes en middelværdi af voltssignalerne, der er blevet registreret. Disse kan se på bilag 7, ”Regneark 4 – middelværdier af voltssignaler”, middelværdierne anvendes til yderligere beregninger. Der bliver beregnet en ΔV for hvert forsøg ved anvendelse af middelværdierne, og nulniveauet trækkes fra. Værdierne kan aflæses fra tabel 10.

Tabel 10: Middelværdier af voltssignalerne for de 5 forsøg, og den beregnede ΔV

	Middel [V]	ΔV
Forsøg 1	6,625168	0,185168
Forsøg 2	6,588635	0,148635
Forsøg 4	6,567746	0,127746
Forsøg 5	6,653313	0,213313
Forsøg 6	6,790468	0,350468

Til at kalibrere konstanterne på plads for de to formler, kalibreres der efter at få formlerne til at passe med følgende graf, der viser middelværdierne i forhold til vandføringerne. Se figur 22.



Figur 22: Kalibreringsgraf, hvor afstrømningen er som funktion af volt. Det er ud fra disse punkter, at konstanterne kalibreres på plads.

Det er ud fra denne graf, at det er blevet vurderet, at de to modeller der passer er formel (8) og (9). Denne vurdering bygger også på fra den første kalibrering, da modellen i bund og grund var god ved de høje vandføringer, men skulle kalibreres på plads for de lave. Til at finde konstanterne i de to formler anvendes funktion 'problemløser' i Excel. Formel (8) anvendes fra vandføringer mellem 0 – 0,35 l/s, hvor formel (9) anvendes for vandføringer

større end 0,35 l/s. Ved at indsætte ΔV i de to formler for de 5 forsøg forventes der, at komme så tæt på de målte vandføringer som muligt. Anvendelsen af de udregnede konstanter, der blev regnet ved anvendelsen af problemløseren i excel, og de dertilhørende vandføringer kan ses i følgende tabel, tabel 11. Det ses at de udregnede vandføringer og de målte er tæt på hinanden, undtagen 3 forsøg der er højere end de målte vandføringer, dog vurderes det, at resultaterne er tilfredsstillende. Udregninger kan som nævnt ses på bilag 6, ”Regneark 3 – 2. omregningsmodel”.

Tabel 11: Viser konstanterne for de to modeller, og de vandføringer der fås ved anvendelse af konstanterne

	Model	Volt [V]	Q [l/s]	Målt Q [l/s]
1:				
a	2,86131384	0,185168	0,047908	0,051167
b	4,783384178	0,148635	0,016744	0,016952
		0,127746	0,008114	0,0025
		0,213313	0,094267	0,093056
2:				
a	1,399	0,350468	0,326927	0,331667
b	1,73			
c	0,035515			

De to formler der udgør den 2. omregningsmodel ser derfor følgende ud:

$$Q = (2,86131384 \cdot \Delta V)^{4,783384178} \quad (10)$$

$$Q = \text{Vandføringen i } \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$a_2 = 2,86131384$$

$$b = 4,783384178$$

$\Delta V = \text{målt volt} - \text{nulniveauet} (= 6,44 \text{ volt})$

$$Q = (1,399 \cdot \Delta V)^{1,73} + 0,035515 \quad (11)$$

$$Q = \text{Vandføringen i } \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$a_2 = 1,399$$

$$b = 1,73$$

$$C = 0,035515$$

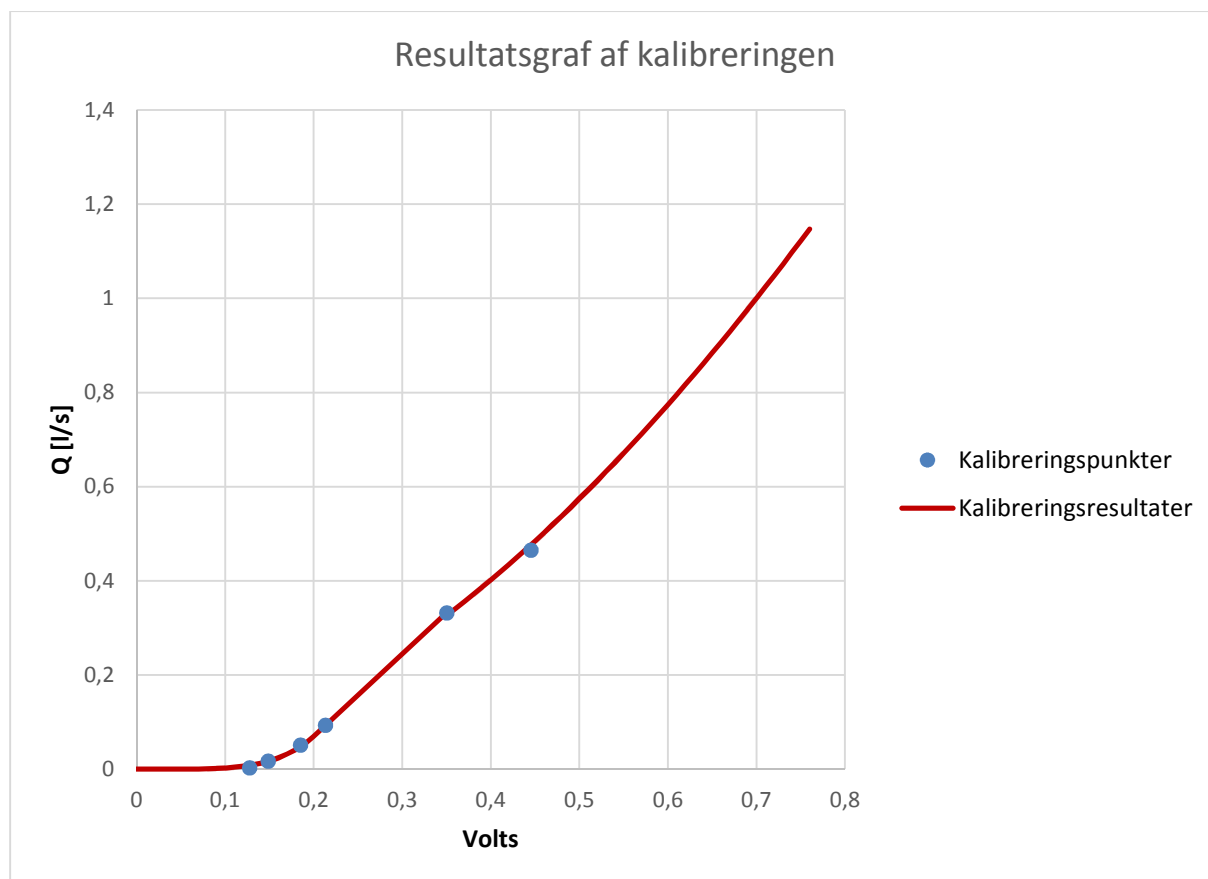
$\Delta V = \text{målt volt} - \text{nulniveauet} (= 6,44 \text{ volt})$

En vurdering af kalibreringen kan læses i næste afsnit.

4.3.3 Vurdering af resultaterne ved anvendelse af den 2. omregningsmodel, formel 1

Den første 2. omregningsmodel, der blev udviklet ved til omregningen af voltsignalerne, ved kalibreringsforsøg af tryktransduceren. Ud fra figur 23 kan det ses på grafen, at den kalibrede model for omregningen af voltsignalerne passer fint overens med kalibreringspunkterne, og skær igennem disse. Dog er det sidste kalibreringspunkt en smule under resultatgrafens, men afvigelsen vurderes, at være uden betydning.

Resultatgrafen blev udregnet ved anvendelse af formel (10) og (11) på en måleserie med vandføringer fra 0 – 0,76 l/s, hvor formel (10) er anvendt for vandføringer mellem 0-0,35 l/s, de resterende vandføringer er udregnet ved formel (11).

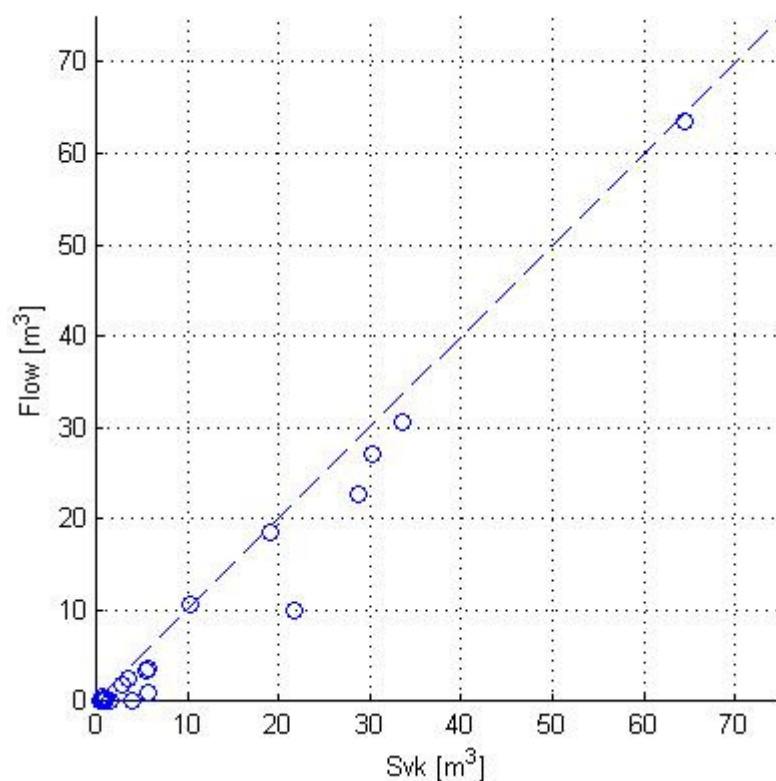


Figur 23: Resultatsgraf af kalibreringen hvor de blå punkter er de målte kalibreringspunkter ud fra forsøg, og den røde kurve er udregnede værdier for afstrømningen ved anvendelse af omregningsmodellen

Den nye kalibrerede omregningsmodel blev anvendt i MATLAB på opsamlede data, til yderligere analyse af regnhændelserne.

Det kan ses ud fra figur 24, der viser sammenhængen mellem alle regnhændelserne afbildet i en graf, hvor forholdet ses mellem SVK målerens nedbørsmængder, og de målte omregnede værdier for afstrømningsmængden af det grønne tag på Vejle Administrationsbygning. I næsten alle tilfælde, er der en lavere afstrømningsmængde end den mængde nedbør SVK-

måleren har registreret. Dette er i princippet en god observation, da det betyder, at det grønne tag mindsker nedbørsmængderne.



Figur 24: Sammenhængen mellem akkumuleret volumen af afstrømningen og SVK-regndata

Dog blev der opdaget en usikkerhed ved dette forsøg, der medhører at de vandføringer, der blev anvendt som kalibreringspunkter ikke er korrekte. Fejlen ved det her forsøg var, at vanduret blev anvendt, som aflæsning til volumen af det tilførte vand til brønden, da vanduret er en stor usikkerhedskilde ved lave flow. Derfor blev der udført endnu et kalibreringsforsøg, der skulle udelukke fejlkilden med vanduret.

Eftersom det 1 forsøg vurderes til ikke, at have blevet udført tilstrækkeligt præcist, blev det i anden omgang udført mere omhyggeligt. Forsøget er en videreudvikling af den 2. omregningsmodel, og vil blive beskrevet i de følgende afsnit.

4.4 Fremgangsmåden for den 2. omregningsmodel, formel 2

Den 2. omregningsmodel, formel 1 viste sig, at have visse usikkerheder med de værdier, der var anvendt til kalibreringen af modellen. Derfor blev modellen yderligere udviklet, hvilket blev gjort ved et nyt forsøg til kalibreringen af tryktransducere, der ligner det forrige forsøg.

Den anden formel for 2. omregningsmodel er bestående af to formler ligesom den første formel. Første formel er fundet ud fra, at den skal passe med, hvordan kalibreringspunkterne ligger, og formen på kalibreringsgrafen, grafen vil blive vist under beskrivelsen af udregningerne for kalibreringen. Den anden formel er den samme empiriske formel, som fra den 1. omregningsmodel, dog tilføjet en ekstra konstant. Formler er følgende:

$$Q = e^{\left(a_2 + \frac{b}{\Delta V} + C \cdot \ln(\Delta V)\right)} \quad (12)$$

$$Q = \text{Vandføringen i } \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

a_2, b og C er konstanter

$\Delta V = \text{målt volt} - \text{nulniveauet (volt)}$

$$Q = (a_2 \cdot \Delta V)^b + C \quad (13)$$

$$Q = \text{Vandføringen i } \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

a_2, b og C er konstanter

$\Delta V = \text{målt volt} - \text{nulniveauet (volt)}$

I det følgende vil der være en beskrivelse af kalibreringsforsøget af tryktransduceren samt udregningerne for, hvorledes der blev fundet frem til model (12) og (13) og en tilpasning af formlerne for, at finde konstanterne.

4.4.1 Forsøgsbeskrivelse af kalibreringen for den 2. omregningsmodel, formel 2

Inden selve målingen startede, ved tilførsel af vand med vandslangen, som ved det første forsøg, blev de forskellige flows målt. Det betyder, at for hver gang der blev skruet op eller ned for vandslangen blev det pågældende flow fra vandslangen målt ved anvendelse af beholder med kendt volumen. Der blev anvendt et målerør på 0,5L og 1L, og en spand på 10L. Hvert flow blev målt ved, at tage tid på, hvor længe det ville tage, at fylde den pågældende beholder op med et kendt volumen. Flowet blev målt 3 – 4 gange for hver vandhastighed vandslangen med indstillet med, hvor der til sidst blev taget en middelværdi af tiderne for at mindske usikkerhederne mindst muligt. På denne måde blev vanduret ikke anvendt til anvendelse af måling af volumen til, at finde det pågældende flow. Især de lave flow blev målt med en større nødagtighed ved, at anvende beholder med kendte volumener til beregningen af flowet. Da flowet var kendt blev vandslangen sat i sandfangsbrønden uden, at der blev skruet på den. Efter endt forsøg, blev flowet igen tjekket på samme måde med kendt beholdervolumen for, at sikre at der ikke var sket ændringer under vejs.

Fremgangsmåden blev anvendt for de første 9 forsøg, hvor forsøg 10 blev udført ved måling med vanduret, da vandslangens maksimale hastighed blev anvendt. Det forudsættes, at vanduret er præcist ved måling af de høje flows, hvilket de forrige forsøg også har vist. Dog for at være sikker på, at flowet stadig var det samme efter endt forsøg, blev det målt på

samme måde, som ved de første 9 forsøg. På den måde sikre, at vanduret var pålideligt i dette tilfælde. Det kendte volumen der blev anvendt for forsøg 10 var en spand på 10L.

Efter udførelsen af de 10 forsøg, hvor vandet blev tilført brønden med vandslangen, blev der udført 2 forsøg med palletankene.

Palletanksforsøg

I det første forsøg med palletankene blev der anvendt én palletank. Tanken blev fyldt op løbende, hvor der for hvert tiende minut blev aflæst på vanduret, hvor stort et volumen, der var blevet fyldt i tanken. Vanduret blev anvendt til måling, da vandslangen var anvendt med maksimalt flow, og forudsættes at være mere præcist end ved aflæsning på palletanken, samt har forrige forsøg vist, at vanduret er pålideligt ved maksimal hastighed på vandslangen. Det kan ses ud fra tabel 12, at 'palletank 1' blev fyldt op ad 5 gange, hvilket næsten gav et samlet volumen på 1 m³, som er det egentlige volumen af tankene.

Tabel 12: Opfyldningen af palletankene

Palletank 1	Akk. Vol	Vandstand	Palletank 2	Akk. Vol	Vandstand
Vol 1	202	202	198,4	198,4	17,04195
Vol 2	205,4	407,4	197,3	395,7	35,060107
Vol 3	201,5	608,9	188,7	584,4	52,432532
Vol 4	204,1	813	199	783,4	69,919002
Vol 5	183,1	996,1	176,5	959,9	86,658016

I palletanken blev der nedsænket en datalogger, der blev indstillet til, at løbende måle vandstanden i tanken, som den blev fyldt op, det er den samme fremgangsmåde, som beskrevet tidligere for Østerbro Brandstation. Dataloggeren er fastspændt og nedsænket i tanken lige over bunden sammen med vandslangen, dataloggeren skulle forholdes mest muligt i ro, da for store bevægelser og forstyrrelser ville påvirke målingerne, som blev fortaget af vandstanden.

Palletanken blev tømt på en gang, hvilket resulterer i, at i starten når tanken er helt fyldt op vil den blive tømt hurtigere, og jo mere tom den bliver jo langsommere kommer vandet ud, dette skyldes trykket i palletanken. Figur 25 viser et billede af tømningen af 'palletank 1'.



Figur 25: Tømningen af den første palletank

Imens 'palletank 1' blev tømt, blev 'palletank 2' fyldt op på samme måde, som beskrevet for 'palletank 1', også disse resultater kan ses i tabel 12. Den eneste forskel ved dette forsøg var, at der blev ventet med tømningen af tanken indtil 'palletank 1' var helt tom. Herved bliver 'palletank 1' fyldt op igen, da forsøget denne gang blev udført med tømning af begge tanke på en gang. Se figur 26, der viser de to palletanke.



Figur 26: Opstillingen af de to palletanke

Opfyldningen af 'palletank 1' foregik denne gang ved, at fylde palletanken op på en gang, denne gang blev vandret anvendt til måling af volumenet. Da 'palletank 1' var fyldt op, blev der åbnet for begge palletanke på en gang, så de blev tømt på samme tid ned i sandfangsbrønden, og vandet strømmede videre til målebrønden. Ved at tømme begge palletanke på en gang får man den største mængde vand med det største mulige flow, der er muligt at skabe ved udførelse af forsøget.

På figur 27 ses hvordan tømningen af begge palletanken på en gang så ud, og på figur 28 kan man se hvordan det så ud i målebrønden, da den store mængde vand nåede frem.



Figur 27: Tømningen af begge palletanke på en gang



Figur 28: Tømning af de to palletanke i målebrønden

Det er ikke tydeligt at se på billedet med målebrønden, hvor meget vand der egentlig kommer ud, men det kan ses på billedet med tømningen, hvor meget tryk der er på vandet. Dog, kan ses på billedet med målebrønden, at bunden i brønden bliver fyldt op med vand fordi udledningen fra brønden ikke sker hurtigt nok, og der forekommer en mindre opstuvning i brønden. Ved de små vandmængder følger udledningen fint med, og der forekommer ingen opstuvning i brønden. Dette kan ses på figur 29. Billedet illustrerer meget godt, at lige sådan som vandet kommer til brønden, kommer det også videre derfra med samme hastighed.



Figur 29: Tilstrømningen til målebrønden ved de lave flow.

4.4.2 Udregningerne for kalibreringen af 2. omregningsmodel, formel 2

I det forrige afsnit blev der nævnt, at de to formler der udgør den anden formel af 2. omregningsmodel til, at beregne vandføringen ud fra målingen af voltsignaler, var formlerne (12) og (13), og de så således ud:

$$Q = e^{(a_2 + \frac{b}{\Delta V} + C \cdot \ln(\Delta V))} \quad (12)$$

$$Q = \text{Vandføringen i } \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

a_2, b og C er konstanter

$\Delta V = \text{målt volt} - \text{nulniveauet (volt)}$

$$Q = (a_2 \cdot \Delta V)^b + C \quad (13)$$

$$Q = \text{Vandføringen i } \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

a_2, b og C er konstanter

$\Delta V = \text{målt volt} - \text{nulniveauet (volt)}$

Det her afsnit indeholder en beskrivelse af bearbejdningen af forsøgsdata til kalibreringen af tryktransduceren, der anvendes til at få tilpasset modellen på målt data så konstanterne i modellen kan findes.

Målingerne der blev foretaget ved forsøget kan se på bilag 8, ”Regneark 5 – 2.omregningsmodel”.

Der kan ses i regnearket, at der er voltsignaler for tryktransduceren, og efterfølgende udregnes der en ΔV ved, at minus voltsignalet for nulniveauet med de målte voltsignaler for vandføringen. Værdien for nulniveauet der anvendes i denne model kan ses i tabel 13.

Tabel 13: Nulniveauet for tryktransduceren der anvendes til resultatbehandling

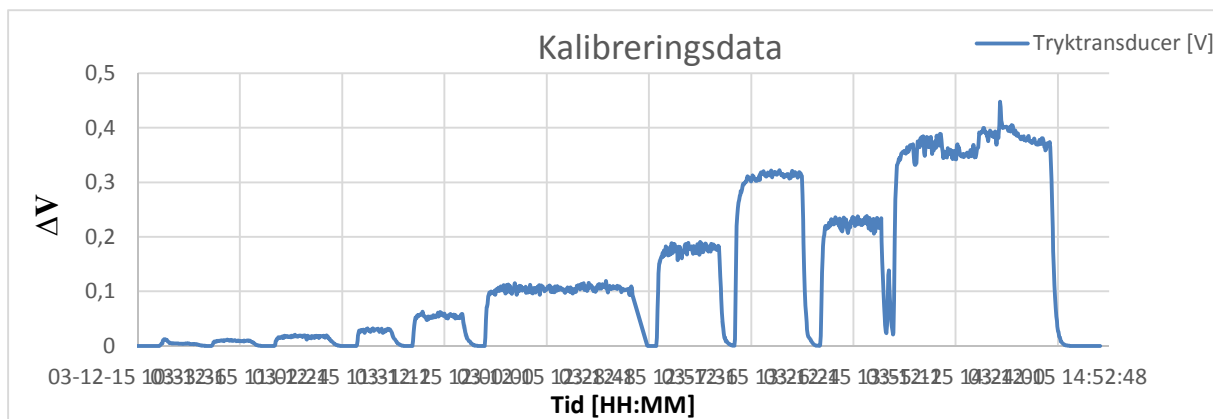
Tryktransduceren nulniveau
6,44 V

Princippet for udregning af denne model er den samme som for den forrige, det vil sige vandføringen er baseret på at kalibrere ud fra en kendt vandføring. De målte vandføringer ved forsøg, der anvendes til kalibreringen af modellen kan ses i tabel 14. I forsøg 10 er det maksimale flow, for den anvendte vandslange, opnået som cirka er 0,35 L/s, hvilket også kan ses i tabel 14. Det kan ses i tabellen, at tryktransduceren kunne måle et flow helt ned til 0,0059 L/s. Bilag 8 indeholder forsøgsdata, som er anvendt til udregningen, af værdierne i tabel 14.

Tabel 14: Forsøgsmålinger for de 10 udførte forsøg

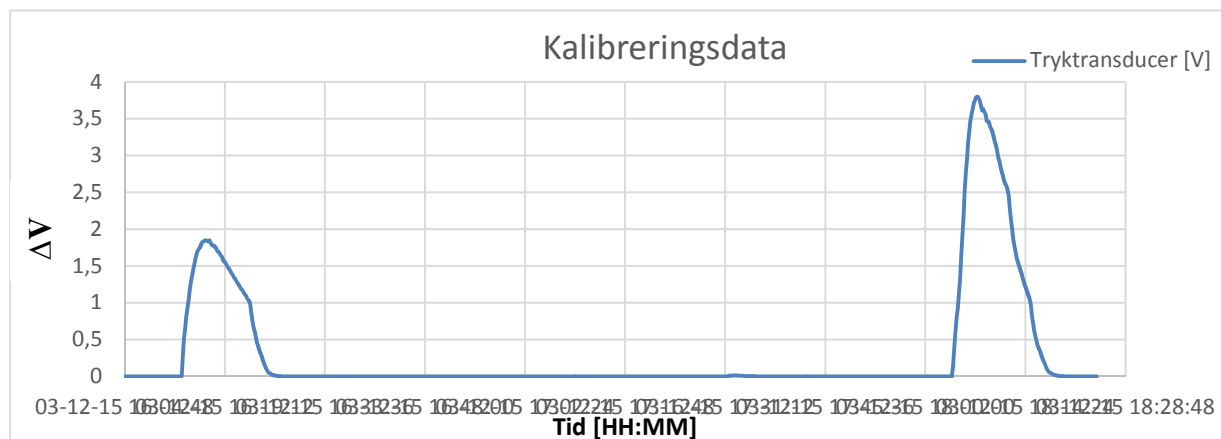
	Volumen [l]	Middel tid [s]	Flow [l/s]
Forsøg 1	0,5	84,5	0,00591716
Forsøg 2	0,5	53,5	0,009345794
Forsøg 3	0,5	29,985	0,016675004
Forsøg 4	0,5	16,542	0,030226091
Forsøg 5	1	17,78166667	0,056237698
Forsøg 6	10	98,51333333	0,101509102
Forsøg 7	10	59,125	0,169133192
Forsøg 8	10	32,18	0,31075202
Forsøg 9	10	41,6775	0,239937616
Forsøg 10	920	2640	0,348484848

Det vil sige de målte voltsignaler skal ved omregningen med modellen ende med de udregnede vandføringer for de 10 forsøg, se figur 30.



Figur 30: ΔV for tryktransducere for de 10 første forsøg

Næste figur viser samme slags graf men for palletankforsøgene.



Figur 31: ΔV for tryktransducere for de to palletankforsøg

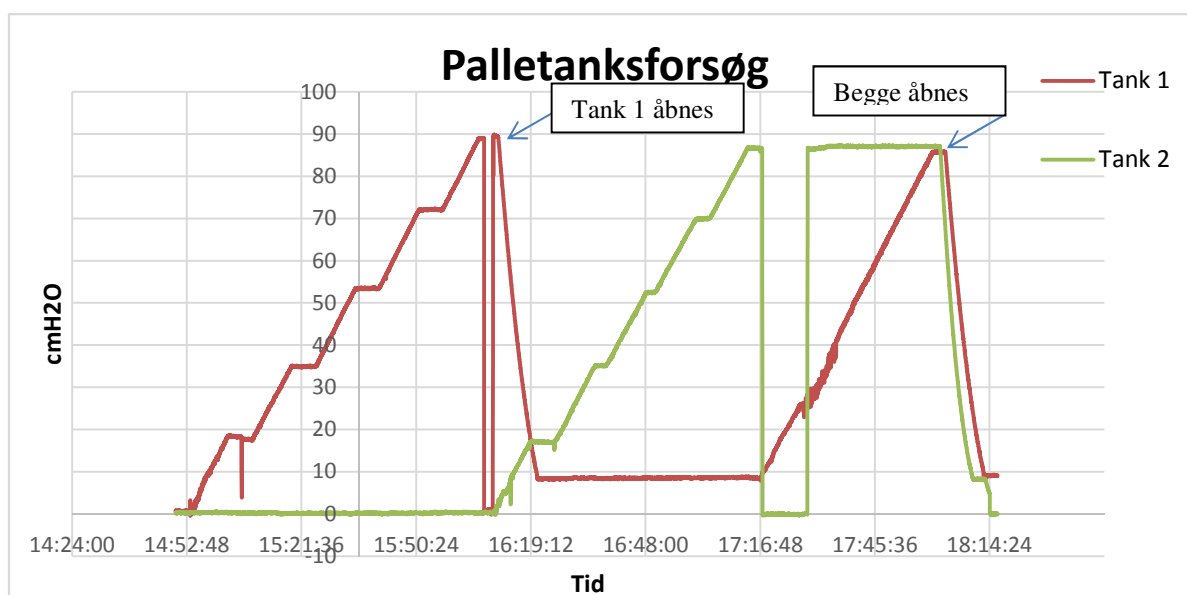
Næste trin er, at isolere de maksimale værdier for hvert af de 10 forsøg så der kan findes en middelværdi af voltsignalerne, der er blevet registreret. Disse kan se på bilag 9, "Regneark 6 – middelværdier af voltsignaler", middelværdierne anvendes til yderligere beregninger. Der

bliver beregnet en ΔV for hvert forsøg ved anvendelse af middelværdierne, og nulniveauet trækkes fra. Værdierne for ΔV kan aflæses fra tabel 15.

Tabel 15: ΔV for middelværdierne af voltsignalerne

	ΔV [V]
Forsøg 1	0,120056774
Forsøg 2	0,132859206
Forsøg 3	0,145009176
Forsøg 4	0,158666667
Forsøg 5	0,180085256
Forsøg 6	0,210939471
Forsøg 7	0,24901
Forsøg 8	0,326781313
Forsøg 9	0,274364316
Forsøg 10	0,36

Kalibreringen af palletankene foregik på samme måde som forklaret ved et første forsøg, se afsnit 4.2.2, det vil sige kalibreringen af palletankene er volumenbaseret. På figur 32 kan det ses på kurven, at der er 5 hak, det er de 5 opfyldninger hver tankopfyldning bestod af.



Figur 32: Grafen viser opfyldningen af tankene og åbningen

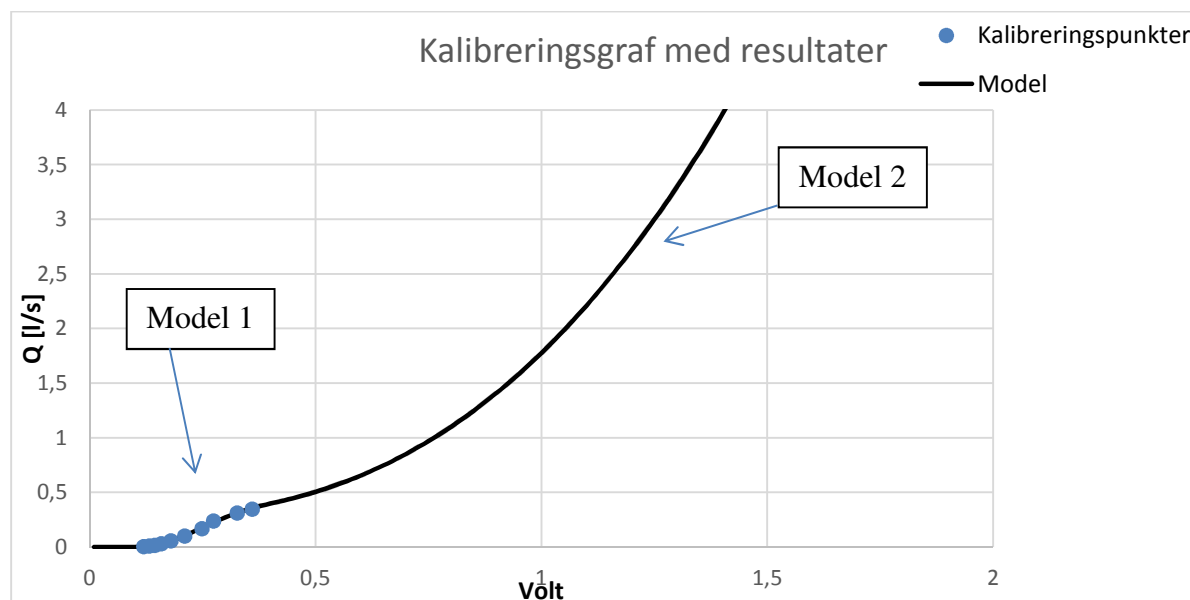
Det kan ses ud fra tabel 16, at kalibreringen af palletankene er udført med et resultat, hvor voluminerne for forsøgsmålingerne næsten ikke afviger fra voluminerne for modellen.

Tabel 16: Tank kalibreringsresultaterne

	Forsøgsmåling, [l]	Model, [l]
Tank forsøg 1	904,2844385	904,2925371
Tank forsøg 2	1718,368465	1718,363683

Udregningerne for palletanksforsøgene kan også ses på bilag 8.

Til at kalibrere konstanterne på plads for de to formler, kalibreres der efter at få formlerne til at passe med følgende graf, der viser middelværdierne af voltsignalerne i forhold til vandføringerne, disse er kalibreringspunkterne. Det kan ses, at formlerne udgør en model der stemmer overens med kalibreringspunkterne. Det er ud fra denne graf, at det er blevet vurderet, at de to modeller der passer er formel (12) og (13). Se figur 33.



Figur 33: Kalibreringsgraf for den nye model med kalibreringspunkterne og resultatsgrafen.

Til at finde konstanterne i de to formler anvendes funktion 'problemløser' i Excel. Formel (12) anvendes fra vandføringer mellem 0 – 0,4 l/s, hvor formel (13) anvendes for vandføringer større end 0,4 l/s. Ved at indsætte ΔV i de to formler for de 10 forsøg forventes der, at de kommer så tæt på de målte vandføringer som muligt. De to formler der udgør den 2. omregningsmodel, formel 2 ser således ud efter fundne konstanter:

$$Q = e^{\left(0,09249 + \frac{-1,2386}{\Delta V} - 2,265 \cdot \ln(\Delta V)\right)} \quad (14)$$

$$Q = \text{Vandføringen i } \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$a_2 = 0,09249$$

$$b = -1,2386$$

$$c = -2,265$$

$$\Delta V = \text{målt volt} - \text{nulniveauet} (= 6,44 \text{ volt})$$

$$Q = (1,16802 \cdot \Delta V)^{2,65519} + 0,265 \quad (15)$$

$$Q = \text{Vandføringen i } \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$a_2 = 1,16802$$

$$b = 2,65519$$

$$c = 0,265$$

$$\Delta V = \text{målt volt} - \text{nulniveauet} (= 6,44 \text{ volt})$$

En vurdering af kalibreringen kan læses i næste afsnit.

4.4.3 Vurdering af resultaterne ved anvendelse af den 2. omregningsmodel, formel 2

Den anden 2. omregningsmodel, der blev udviklet ved til omregningen af voltsignalerne, ved kalibreringsforsøg af tryktransducere. Ud fra den forrige figur af resultatgrafene, figur 33, kan det ses på grafen, at den kalibrede model for omregningen af voltsignalerne passer fint overens med kalibreringspunkterne, og skær igennem disse.

Den nye kalibrerede omregningsmodel blev anvendt i MATLAB på opsamlede data, de enkelte grafer over regnhændelserne for denne omregningsmodel kan ses på bilag 10.

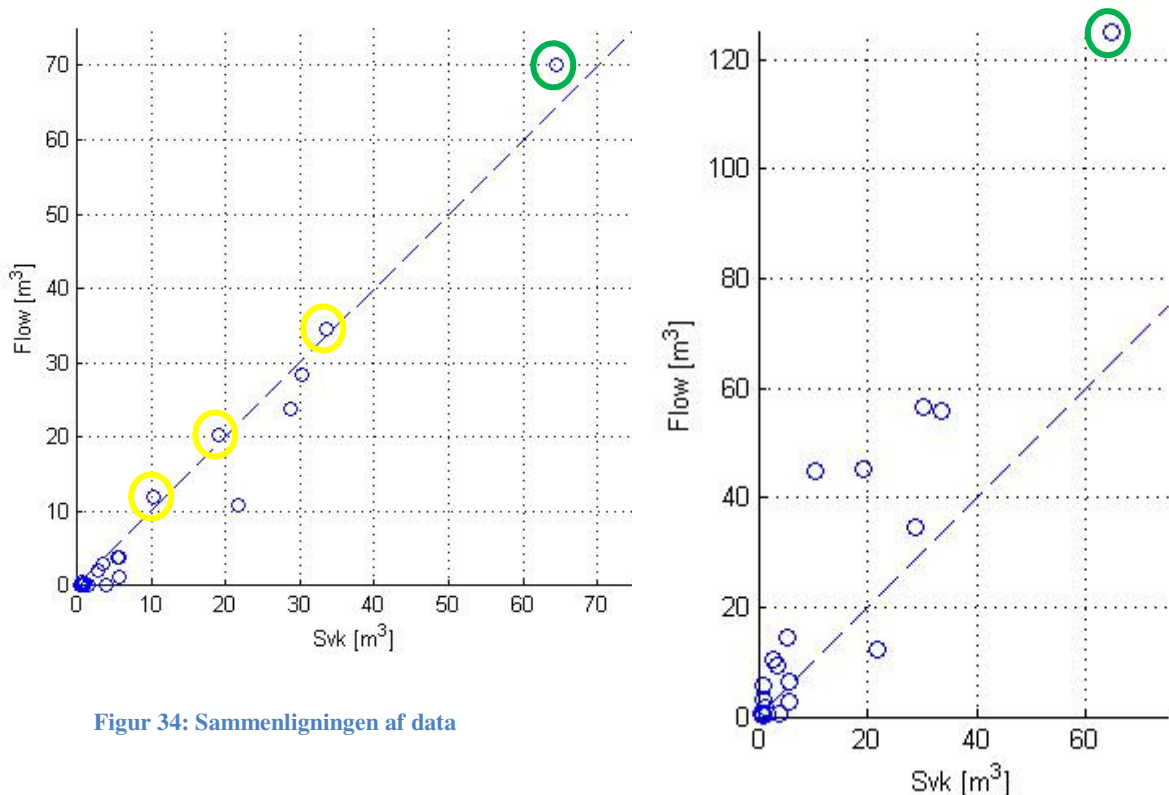
Analysen af regnhændelserne efter kalibreringsforsøget viser en mere realistisk afstrømningsmængde fra det grønne tag ved de pågældende regnhændelser. Det kan ses ud fra tabellen, at i næsten alle tilfælde, er der en mindre mængde afstrømning end den mængde regn der er faldet. Der er dog stadig få hændelser, hvor afstrømningen er større, disse er markeret med gul. De samlede mængder viser, at ca. 91% af nedbøren afstrømmer fra taget.

Tabel 17: Reducering af regnhændelser

Regnhændelse	Start dato	Slutdato	AccFlow [m ³]	AccSVK [m ³]	Reducering [%]
1	03-08-2014 09:40	04-08-2014 15:40	10,86	21,78	49,87
2	09-08-2014 10:06	10-08-2014 07:36	0,07957	3,881	2,050
3	10-08-2014 20:57	15-08-2014 08:01	23,73	28,80	82,40
4	15-08-2014 09:41	16-08-2014 14:04	0,2846	1,126	25,27
5	17-08-2014 05:34	27-08-2014 10:40	28,37	30,17	94,039
6	27-08-2014 17:28	29-08-2014 03:01	0	0,8763	0
7	29-08-2014 08:39	05-09-2014 10:33	3,772	5,384	70,06
8	08-09-2014 10:52	09-09-2014 03:47	0,01715	1,502	1,142
9	09-09-2014 04:49	10-09-2014 01:44	0	0,3757	0

10	14-09-2014 17:05	14-09-2014 21:35	0	0,7495	0
11	21-09-2014 03:32	22-09-2014 02:21	1,240	5,633	22,02
12	22-09-2014 03:20	24-09-2014 01:39	3,922	5,634	69,60
13	24-09-2014 07:48	29-09-2014 16:56	1,997	2,755	72,47
14	30-09-2014 08:51	03-10-2014 05:43	2,919	3,504	83,30
15	03-10-2014 06:28	06-10-2014 00:25	0,2951	0,8761	33,69
16	07-10-2014 08:11	29-10-2014 06:31	70,04	64,47	108,6
17	29-10-2014 07:10	03-11-2014 01:21	0,4764	0,7507	63,45
18	03-11-2014 01:13	16-11-2014 13:32	16,39	10,39	157,8
19	16-11-2014 14:58	29-11-2014 17:31	20,24	19,15	105,7
20	04-12-2014 20:01	13-12-2014 00:32	34,49	33,55	102,9
Samlet			219,1	241,4	90,78

Tabel 17, der viser den akkumulerede referenceregning målt med SVK-måleren, og den akkumuleret målte afstrømning. Det kan ses ud fra nedenstående figur 34, hvor den første graf viser ligevægten mellem SVK måleren og afstrømningen fra taget målt med flowmåleren efter kalibreringsforsøget i kubikmeter. Den anden graf viser ligevægten af de samme data, men regnet ud fra den gamle flowmåler model i MATLAB, hvor afstrømningen fra taget var større end den regn SVK målerne observerede.



Figur 34: Sammenligningen af data

Grafen for den gamle model, viser tydeligt, at afstrømningen fra taget er noget større end SVK-regnen. Forskellen ses helt tydeligt på det sidste punkt på grafen, markeret med grøn, hvor afstrømningsmængden for den gamle model næsten er dobbelt så stor, og at der er sket en forbedring med den nye model. Dog er punktet stadig forskudt fra ligevægtslinien, men eftersom de andre punkter er under eller flugter med linien, markeret med gul, konkluderes det, at det ikke skyldes omregningsmodellen, men andre faktorer og usikkerheder, som spiller ind.

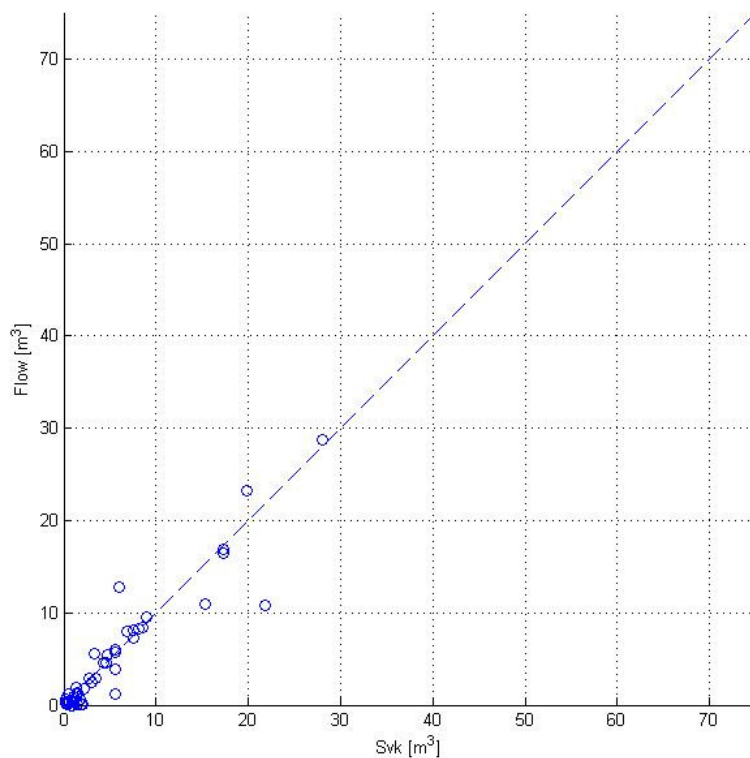
Det kan ses fra bilag 10, at der i nogle af hændelserne nu er flere regnhændelser, da der i dette projekt regnes med, at en regnhændelse er, når afstrømningen fra det grønne tag stopper. Derfor defineres der nye regnhændelser, disse kan ses i tabel 18, og på bilag 11.

Tabel 18: Viser de nye regnhændelser og deres akkumulerede afstrømning og regndata, og til sidst en reducereing.

Regnhændelse	Starttid	Sluttid	AccFlow [m ³]	AccSVK [m ³]	Reducering [%]
1	03-08-2014 09:40	04-08-2014 15:40	10,86	21,78	49,87
2	09-08-2014 10:06	09-08-2014 11:54	0	2,004	0
3	09-08-2014 13:10	10-08-2014 07:36	0,07958	1,878	4,238
4	10-08-2014 20:57	11-08-2014 23:30	10,93	15,28	71,54
5	12-08-2014 00:00	12-08-2014 16:30	7,21	7,513	95,97
6	12-08-2014 18:30	14-08-2014 21:00	5,592	6,009	93,06
7	15-08-2014 09:41	16-08-2014 14:04	0,2846	1,126	25,27
8	17-08-2014 05:34	19-08-2014 19:28	16,47	17,28	95,35
9	20-08-2014 01:14	20-08-2014 17:40	1,142	1,502	75,99
10	21-08-2014 11:35	21-08-2014 17:00	1,168	0,5007	233,2
11	21-08-2014 18:00	22-08-2014 18:15	1,846	1,377	134,1
12	22-08-2014 19:14	27-08-2014 10:40	9,583	9,014	106,3
13	27-08-2014 17:28	29-08-2014 03:01	0	0,8764	0
14	29-08-2014 08:39	29-08-2014 19:43	0,6403	1,754	36,51
15	30-08-2014 12:08	31-08-2014 03:43	1,816	2,128	85,36
16	31-08-2014 09:48	05-09-2014 10:33	1,315	1,503	87,53
17	08-09-2014 10:52	09-09-2014 03:47	0,0171	1,502	1,142
18	09-09-2014 04:49	10-09-2014 01:44	0	0,3757	0
19	14-09-2014 17:05	14-09-2014 21:35	0	0,7496	0
20	21-09-2014 03:32	22-09-2014 02:21	1,240	5,633	22,02
21	22-09-2014 03:20	24-09-2014 01:39	3,922	5,634	69,60
22	24-09-2014 07:48	25-09-2014 16:28	1,725	2,254	76,53

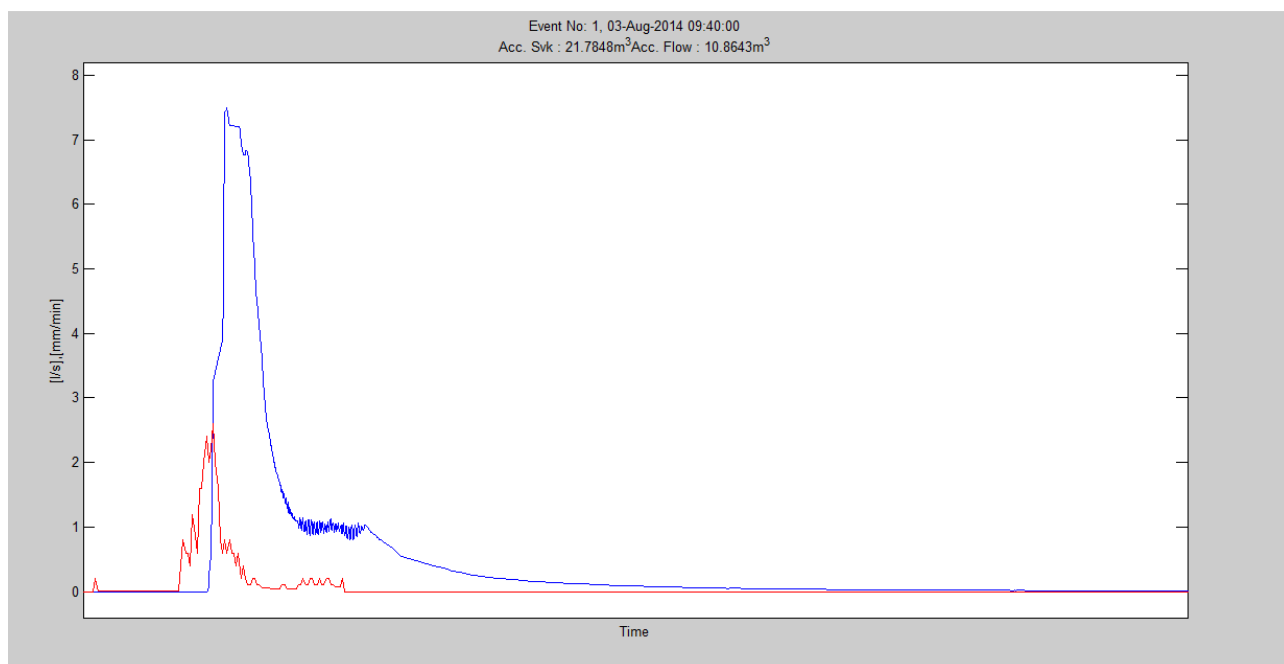
23	26-09-2014 13:30	29-09-2014 16:56	0,2714	0,5009	54,18
24	30-09-2014 08:51	03-10-2014 05:43	2,919	3,505	83,30
25	03-10-2014 06:28	06-10-2014 00:25	0,2951	0,8761	33,69
26	07-10-2014 08:11	10-10-2014 15:18	16,857	17,28	97,57
27	11-10-2014 19:51	12-10-2014 22:00	4,657	4,632	100,5
28	13-10-2014 07:02	16-10-2014 23:10	23,22	19,78	117,4
29	17-10-2014 01:37	18-10-2014 00:30	2,875	2,754	104,4
30	18-10-2014 20:54	20-10-2014 22:10	8,178	7,513	108,9
31	21-10-2014 12:07	22-10-2014 12:05	5,683	5,633	100,9
32	23-10-2014 16:48	26-10-2014 00:57	8,049	6,885	116,9
33	29-10-2014 07:10	29-10-2014 13:18	0,1776	0,5005	35,48
34	31-10-2014 03:26	31-10-2014 16:04	0,2988	0,2503	119,4
35	02-11-2014 13:32	03-11-2014 17:00	0,6501	1,127	57,67
36	03-11-2014 23:34	05-11-2014 03:55	3,990	4,257	93,74
37	05-11-2014 10:53	06-11-2014 03:29	0,5754	0,2502	230
38	08-11-2014 00:00	08-11-2014 09:00	0,1845	0,3755	49,13
39	10-11-2014 06:51	10-11-2014 23:33	0,9547	1,0006	95,41
40	12-11-2014 10:02	14-11-2014 23:21	5,141	3,3781	152,2
41	16-11-2014 14:58	18-11-2014 00:44	8,439	8,513	99,14
42	19-11-2014 01:52	19-11-2014 19:05	0,1443	0,2505	57,61
43	22-11-2014 15:41	23-11-2014 20:00	6,049	5,632	107,4
44	24-11-2014 00:00	25-11-2014 08:31	5,505	4,754	115,8
45	04-12-2014 20:01	06-12-2014 20:30	2,433	3,004	80,99
46	07-12-2014 07:11	08-12-2014 22:41	8,216	8,135	100,9
47	10-12-2014 00:30	15-12-2014 23:50	28,70	28,04	102,3
Samlet			220,3	246,5	89,38

Det kan ses ud fra tabellen, at jo flere regnhændelser der er, jo flere er der, hvor afstrømningen er større end nedbøren. Dog er den samlede afstrømningsmængde igen mindre end den samlede nedbør. Figur 35 viser ligevægten mellem SVK-målingerne og afstrømningen fra taget, og selvom der i tabellen ses, at der ved flere af hændelserne sker en større afstrømningen end den mængde nedbør der er faldet, så ses det på figuren at størstedelen ligger tæt ved ligevægtslinien.

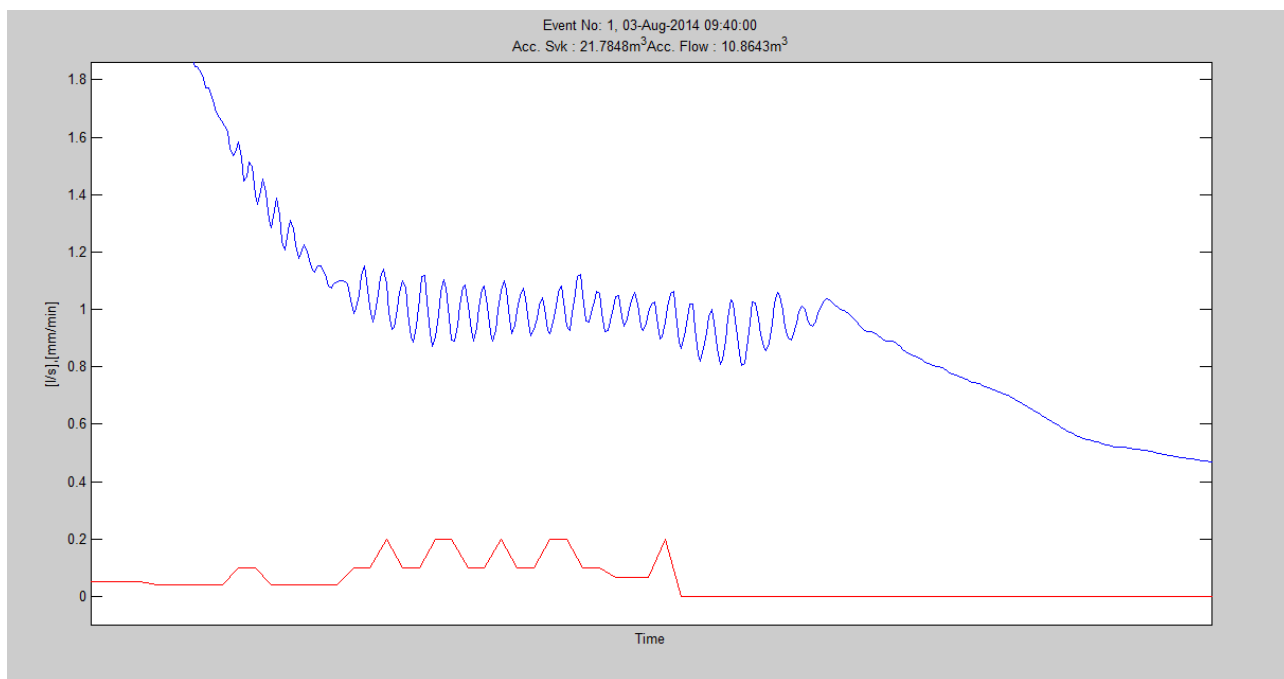


Figur 35: Sammenhængen mellem SVK-voluminerne og de afstrømmede voluminer.

Den første regnhændelse, se figur 36, vil der blive set bort fra. Selve regnhændelse starter den 3 august 2014 kl. 10.52 og varer omkring til to timer frem, hvor afstrømningen fra taget er forskudt og starter kl. 11.40. Dette tyder på, at taget ikke var vandmættet, da regnhændelsen indtraf, og derfor bliver afstrømningen forskudt, da taget først skal mættes. Afstrømningen varer i over 10 timer, indtil kl. 22.09, der ses dog en forstyrrelse på afstrømningsmålingerne. Forstyrrelsen kan ses tydeligere på figur 37, og den kan eventuelt skyldes nogle nærliggende pumper. Men da oversagen til den pågældende forstyrrelse på målingerne er uvis vælges det, at udelukke denne hændelse.



Figur 36: Graf over den første regnhændelse



Figur 37: Forstyrrelsen der ses på ovenstående graf

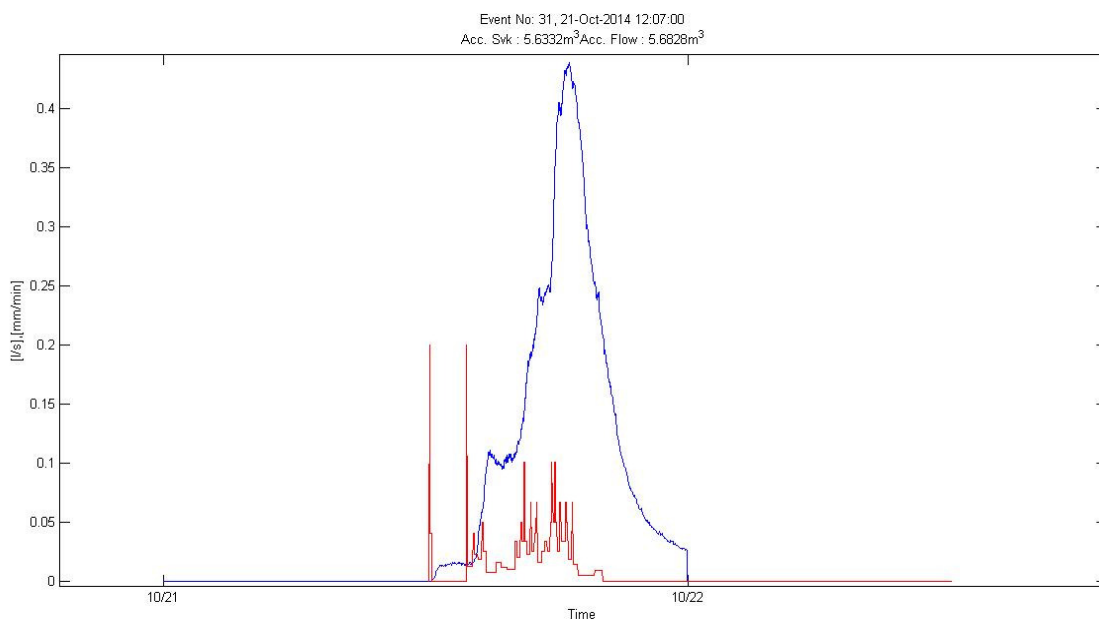
Sammenfatning

Resultatet af forsøget blev en ny omregningsmodel, der anvendes i MATLAB til en mere præcis omregning af de målte volt, som tryktransducere måler, når der sker en afstrømning fra taget, om til L/s. Omregningsmodellen vurderes, at være kalibreret til, at regne så præcise vandføringer, som det er muligt ved anvendelsen af dette kalibreringsforsøg, fra det grønne tag.

5. Databehandling

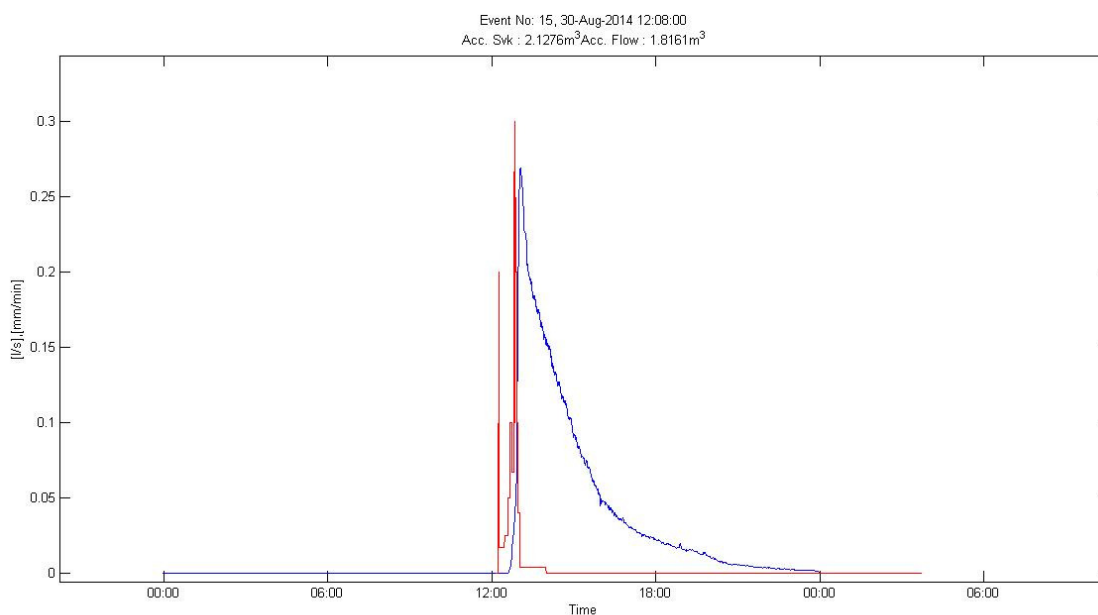
I afsnit 1.2.2 Hydrologiske processer er der vist principgrafer over afstrømningen fra grønne tage, en graf der viser afstrømningen fra et traditionelt tag, en der viser afstrømningen når taget er ved markkapacitet, det vil sige et tag der er fuld afdrænet men ikke udtørret, en hvor det grønne tag er udtørret, det vil sige taget er ved visnegrænsen, her vil afstrømningen starte senere og det samlede volumen vil være mindre, det vil sige der sker en volumenreduktion. (Rasmussen, et al., 2013). Der er for det grønne tag i Vejle fundet regnhændelser, der viser de 3 forskellige afstrømningsbilleder for taget, den første principgraf findes ikke, da der ikke er et reference tag. Den blå graf illustrerer afstrømningen, og den røde er regnhændelsen.

Figur 38 viser et afstrømningsbillede, hvor afstrømningen starter næsten samme tid som regnen, dog er der en mindre forsinkelse, derudover ses det at voluminet af nedbøren og afstrømningsmængden er de samme. Den lille forskel i mængderne kan skyldes nogle usikkerheder ved målingen af afstrømningen. Taget har været fuld afdrænet men ikke udtørret, det vil sige ved markkapacitet.



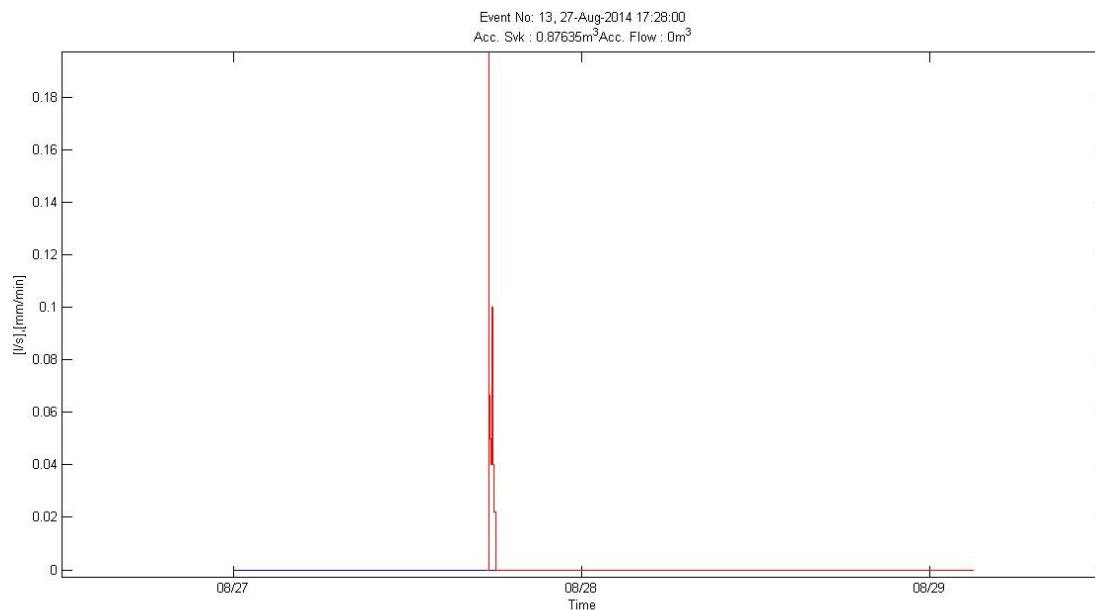
Figur 38: Ved markkapacitet, voluminet er det samme.

Figur 39 viser en afstrømningen fra taget, når det er ved visnegrænsen, det vil sige taget er udtørret. Det kan ses, at afstrømningen starter senere end begyndelsen af regnhændelsen, og det samlede volumen er mindre for afstrømningsmængden, der sker en volumenreduktion. Det skyldes, at det første stykke vil blive magasineret i taget, da taget er ved visnegrænsen og derved har magasineringskapacitet. Den mængde nedbør, der er før afstrømningen begynder, er derfor ved denne hændelse, det magasineringsvolumen i taget.



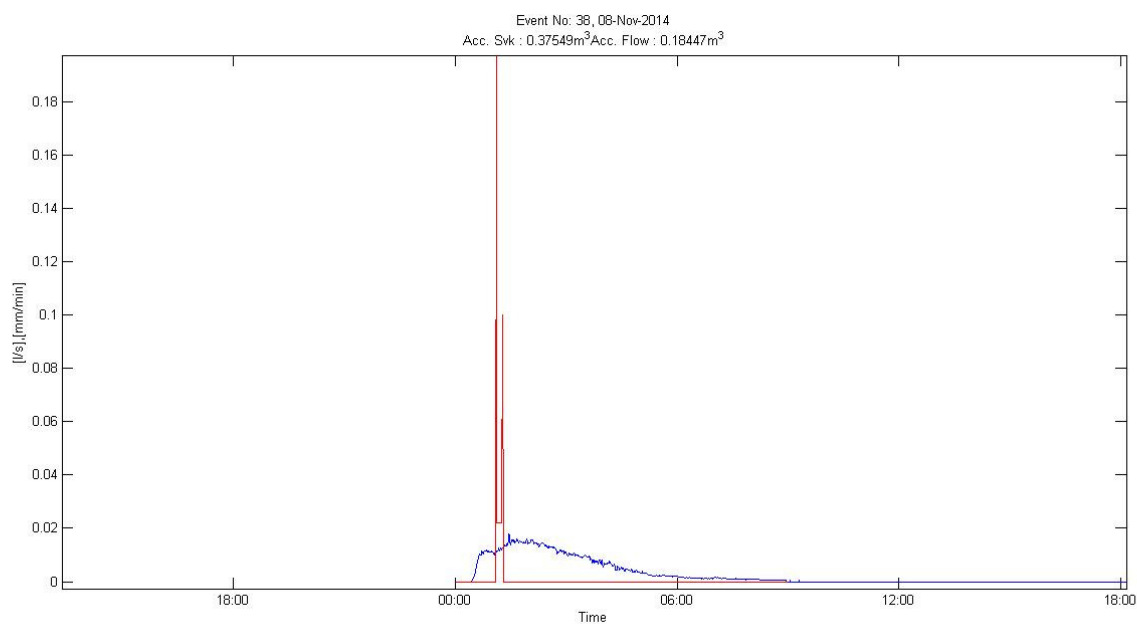
Figur 39: Afstrømningsbillede når taget er ved visnegrænsen

Figur 40 viser en regnhændelse, der er mindre end vandindholdet fra visnegrænsen til markkapaciteten, derfor sker der ingen afstrømning i taget. Nedbøren vil det her tilfælde blive opmagasineret i taget.



Figur 40: En regnhændelse, hvor der ikke sker nogen form for afstrømning

Der kan ses i bilag 11 flere eksempler på afstrømningsbilleder for det grønne tag. Nogle af hændelserne, sker der en afstrømning før selve regnhændelsen begynder. Grunden til det kan være, at der er sket en tidsforskydning af data, det kan skyldes at der ikke er blevet korrigeret for, at SVK-målerens data er i UTC-tid og afstrømningsmålinger er målt med dansk tid. Eftersom der er taget højde for denne korrugering kan tidsforskydningen skyldes, at uret på computeren til tryktransduceren ikke er korrekt. Yderligere kan det skyldes, at SVK-målerne først kan måle, når der er faldet 0,2mm regn, da målerens vippekar er på 0,2 mm. I princippet betyder det, at man ikke kan kende det præcise starttidspunkt for regnhændelsen, men hvornår det første vip er registreret, det er højst sandsynligt dette der er grunden til afstrømningen begynder før nedbøren. En sådan hændelse kan ses på figur 41. Det ses her, at det først peak har en intensitet på 0,2 mm/min, det vil sige at indenfor dette minut er det første vip registreret. Derfor kan det ikke vides om det har regnet let op til det første vip, det kunne i princippet have regnet svagt i nogle timer inden det første vip er blevet registreret.



Figur 41: Afstrømningsgraf hvor afstrømningen fra taget starter før nedbøren.

5.1 Tilbageholdelse

En af de egenskaber grønne tage siges, at have og der bliver lovet af producenten er, at grønne tage kan reducere nedbørsmængden med op til 50 %. (Københavns Kommune, 2011) Grønne tage siges derfor, at have en god tilbageholdelsesevne. Det betyder at nedbørsmængden der afledes til afløbssystemerne vil blive reduceret, da der sker en tilbageholdelse af noget af nedbøren i taget, dette kan være med til at aflaste afløbssystemerne.

Tilbageholdelsesevnen for projekt taget i Vejle er blevet udregnet for alle regnhændelserne, samt en årlig tilbageholdelse, resultaterne for de enkelte regnhændelser fra bilag 11 kan ses i tabel 19, hvor der også er en samlet tilbageholdelse for regnhændelserne. Tilbageholdelsen er udregnet på følgende måde:

$$\text{Tilbageholdelse} = \frac{V_{nedbør} - V_{afstrømning}}{V_{nedbør}} \cdot 100\% \quad (14)$$

Voluminerne for henholdsvis nedbøren og afstrømningen er, som tidligere nævnt, fundet ved anvendelse af MATLAB, hvor der er udviklet et script til beregningen af voluminerne. Hvor den akkumulerede sum af regndata mellem starttid og sluttid er ganget op med arealet af taget:

$$V_{nedbør} = A_{tag} \cdot \int_0^{t_{regn}} p(t)dt \quad (15)$$

Tabel 19: Tabel over regnhændelserne og tagets tilbageholdelse for dise

Regnhændelse	Starttid	Sluttid	AccFlow [m ³]	AccSVK [m ³]	Tilbageholdelse [%]
2	09-08-2014 10:06	09-08-2014 11:54	0	2,004	100
3	09-08-2014 13:10	10-08-2014 07:36	0,07958	1,878	95,76
4	10-08-2014 20:57	11-08-2014 23:30	10,93	15,28	28,46
5	12-08-2014 00:00	12-08-2014 16:30	7,21	7,513	4,035
6	12-08-2014 18:30	14-08-2014 21:00	5,592	6,009	6,941
7	15-08-2014 09:41	16-08-2014 14:04	0,2846	1,126	74,73
8	17-08-2014 05:34	19-08-2014 19:28	16,47	17,28	4,646
9	20-08-2014 01:14	20-08-2014 17:40	1,142	1,502	24,01
10	21-08-2014 11:35	21-08-2014 17:00	1,168	0,5007	-133,2
11	21-08-2014 18:00	22-08-2014 18:15	1,846	1,377	-34,06
12	22-08-2014 19:14	27-08-2014 10:40	9,583	9,014	-6,315
13	27-08-2014 17:28	29-08-2014 03:01	0	0,8764	100
14	29-08-2014 08:39	29-08-2014 19:43	0,6403	1,754	63,49
15	30-08-2014 12:08	31-08-2014 03:43	1,816	2,128	14,64
16	31-08-2014 09:48	05-09-2014 10:33	1,315	1,503	12,47
17	08-09-2014 10:52	09-09-2014 03:47	0,0171	1,502	98,86
18	09-09-2014 04:49	10-09-2014 01:44	0	0,3757	100
19	14-09-2014 17:05	14-09-2014 21:35	0	0,7496	100
20	21-09-2014 03:32	22-09-2014 02:21	1,240	5,633	77,98
21	22-09-2014 03:20	24-09-2014 01:39	3,922	5,634	30,40
22	24-09-2014 07:48	25-09-2014 16:28	1,725	2,254	23,47
23	26-09-2014 13:30	29-09-2014 16:56	0,2714	0,5009	45,82
24	30-09-2014 08:51	03-10-2014 05:43	2,919	3,505	16,70
25	03-10-2014 06:28	06-10-2014 00:25	0,2951	0,8761	66,31
26	07-10-2014 08:11	10-10-2014 15:18	16,857	17,28	2,431
27	11-10-2014 19:51	12-10-2014 22:00	4,657	4,632	-0,5289

28	13-10-2014 07:02	16-10-2014 23:10	23,22	19,78	-17,42
29	17-10-2014 01:37	18-10-2014 00:30	2,875	2,754	-4,416
30	18-10-2014 20:54	20-10-2014 22:10	8,178	7,513	-8,856
31	21-10-2014 12:07	22-10-2014 12:05	5,683	5,633	-0,8805
32	23-10-2014 16:48	26-10-2014 00:57	8,049	6,885	-16,91
33	29-10-2014 07:10	29-10-2014 13:18	0,1776	0,5005	64,52
34	31-10-2014 03:26	31-10-2014 16:04	0,2988	0,2503	-19,38
35	02-11-2014 13:32	03-11-2014 17:00	0,6501	1,127	42,33
36	03-11-2014 23:34	05-11-2014 03:55	3,990	4,257	6,263
37	05-11-2014 10:53	06-11-2014 03:29	0,5754	0,2502	-130
38	08-11-2014 00:00	08-11-2014 09:00	0,1845	0,3755	50,87
39	10-11-2014 06:51	10-11-2014 23:33	0,9547	1,0006	4,591
40	12-11-2014 10:02	14-11-2014 23:21	5,141	3,3781	-52,19
41	16-11-2014 14:58	18-11-2014 00:44	8,439	8,513	0,8634
42	19-11-2014 01:52	19-11-2014 19:05	0,1443	0,2505	42,39
43	22-11-2014 15:41	23-11-2014 20:00	6,049	5,632	-7,412
44	24-11-2014 00:00	25-11-2014 08:31	5,505	4,754	-15,78
45	04-12-2014 20:01	06-12-2014 20:30	2,433	3,004	19,01
46	07-12-2014 07:11	08-12-2014 22:41	8,216	8,135	-0,9871
47	10-12-2014 00:30	15-12-2014 23:50	28,70	28,04	-2,322
Samlet			209,44	224,71	6,793

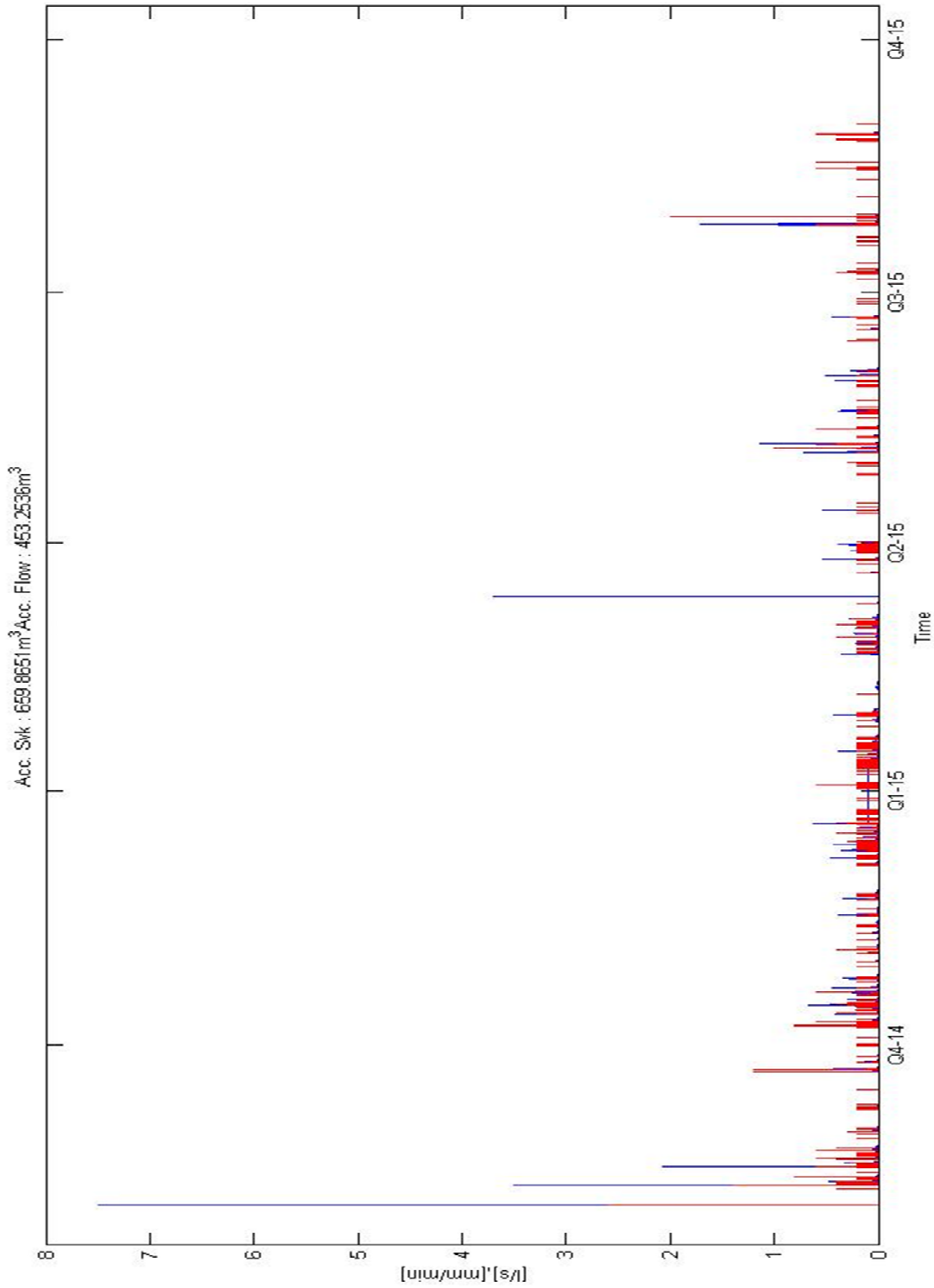
Tabellen viser, i de tilfælde, hvor der er en negativ tilbageholdelse er fordi afstrømningsmængden er større end nedbørmængden. Dog er der tilbageholdt omkring 7 % for den samlede mængde. Resultaterne vil yderligere blive diskuteret i næste kapitel.

5.1.1 Årlig tilbageholdelse

Den årlige tilbageholdelse er baseret på et års data fra August 2014 – August 2015. Samme model og script er anvendt i MATLAB som for resten af resultaterne. Det betyder, at tilbageholdelsen udregnes på samme måde, som for hver regnhændelse, og det årlige volumen nedbør. Nedbøren akkumuleres fra august 2014 – 2015, og tagets areal ganges på, herved fås et volumen:

$$V_{nedbør} = A_{tag} \cdot \int_{1/8,14}^{31/8,15} p(t)dt \quad (16)$$

Grafen over årsnedbøren og afstrømningen kan ses på figur 42.



Figur 42: Graf over årsnedbøren og afstrømningen

Tabel 20: Data og resultater for den årlige hændelse

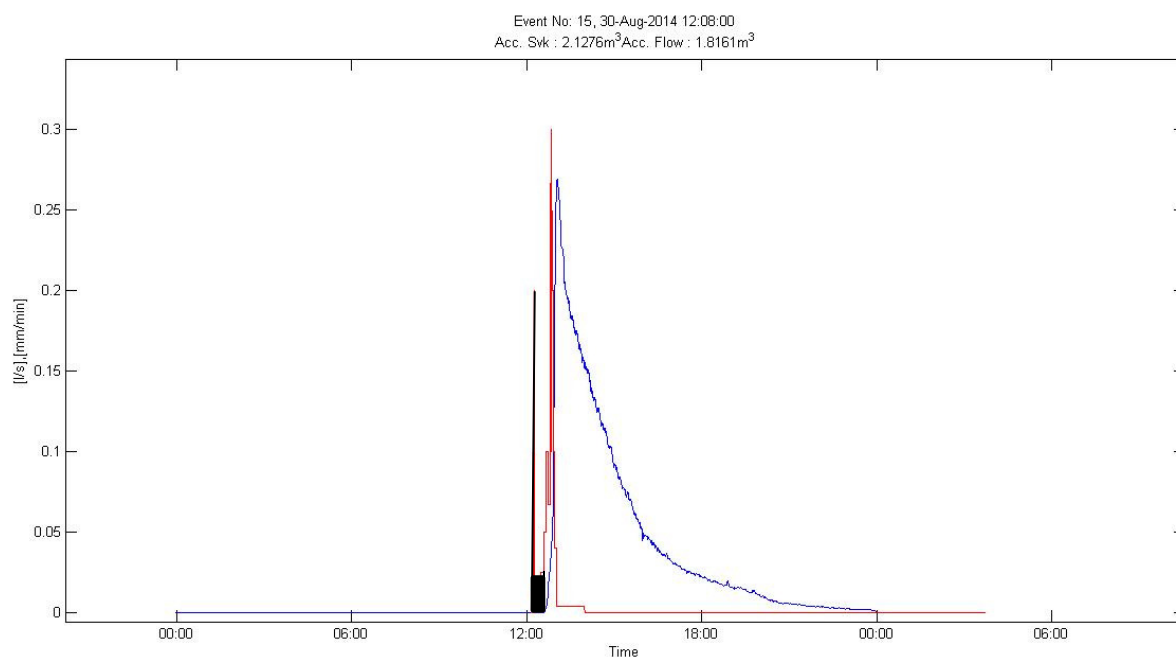
Årsdata	Start	Slut	Akk.Flow [m ³]	Akk.SVK [m ³]	Afstrømning [%]	Tilbageholdelse [%]
	aug-14	aug-15	453,2536	659,8651	68,69	31,31

Den årlige tilbageholdelsen udregnes ved anvendelse af data i tabel 20 og formel (14), det resulterer i, at cirka 69 % af nedbøren vil afstrømme, og ende i afløbsystemet, og at vil ske en tilbageholdelse af årsnedbøren på cirka 31 %.

5.2 Magasineringskapacitet

Tilbageholdelsen vil også være afhængig af, hvor meget magasineringskapacitet, der er i taget, jo mere kapacitet der er, jo større vil tilbageholdelsen være. Der vil ske en opmagasinerung i det tidstum, hvor regnintensiteten overskrider afstrømningshastigheden. Herved fås magasineringskapaciteten [mm], som arealet af forskellen mellem de to kurver, så længe at regnintensiteten er større end afstrømningshastigheden. (Rasmussen, et al., 2013)

De regnhændelser, hvor der er magasinerung kan ses på bilag 12, og graf af dertilhørende regndata af arealet. Figur 43 viser en af regnhændelserne, hvor magasinerungen er optegnet. Ligeså snart afstrømningen begynder stopper magasinerungen, alt før dette tidspunkt er blevet opmagasineret. Til udregningen af magasinerungen, der er oprettet et script i MATLAB, der akkumulere regndataerne til et volumen i [m³] indenfor det tidsrum der sker en opmagasinerung, hvor det efterfølgende bliver ganget op for tagets areal, og laves om til [mm].



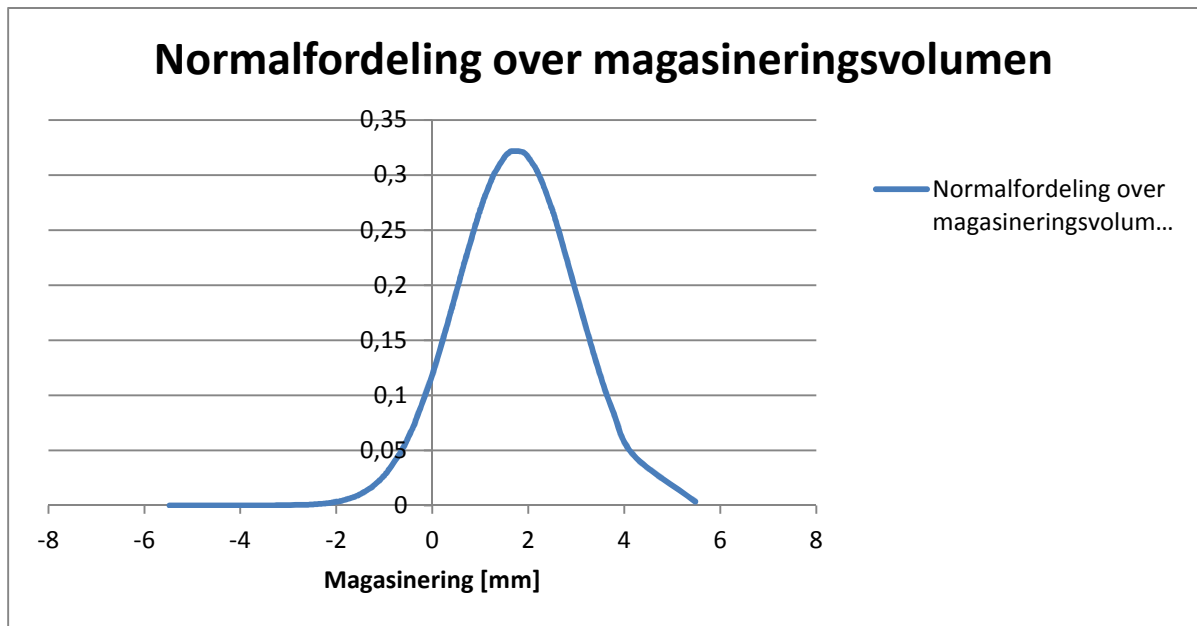
Figur 43: Viser regnhændelse 4 med optegnet opmagasineringsvolumen

Resultaterne for magasineringsvoluminer kan ses i tabel 21.

Regnhændelse	Starttid	Sluttid	Sluttid volumen	Magasineringsvolumen, [mm]
2	09-08-14 10:06:25	09-08-14 11:54:23		0
3	09-08-14 13:10:27	10-08-14 07:36:44		0
4	10-08-14 20:57:31	11-08-14 23:30:00	08-10-14 22:25:06	5,5
5	12-08-14 00:00:00	12-08-14 16:30:26	08-12-14 00:19:33	1,3
6	12-08-14 18:30:05	14-08-14 21:00:26	08-12-14 19:56:32	1,0
7	15-08-14 09:41:32	16-08-14 14:04:21	08-15-14 10:08:52	1,7
8	17-08-14 05:34:29	19-08-14 19:28:32	08-17-14 09:40:51	2,6
9	20-08-14 01:14:29	20-08-14 17:40:01	08-20-14 01:56:00	2,5
10	21-08-14 11:35:05	21-08-14 17:00:05	08-21-14 11:47:54	1,1
11	21-08-14 18:00:05	22-08-14 18:15:30	08-21-14 18:23:02	2,0
12	22-08-14 19:14:56	27-08-14 10:40:00	08-22-14 19:35:00	0,94
13	27-08-14 17:28:08	29-08-14 03:01:40	08-29-14 03:01:40	2,2
14	29-08-14 08:39:06	29-08-14 19:43:03	08-29-14 10:16:10	3,4
15	30-08-14 12:08:46	31-08-14 03:43:03	08-30-14 12:37:10	1,0
16	31-08-14 09:48:24	05-09-14 10:33:20	08-31-14 10:11:00	1,0
17	08-09-14 10:52:48	09-09-14 03:47:14	09-09-14 03:47:14	3,8

18	09-09-14 04:49:31	10-09-14 01:44:35	09-10-14 01:44:35	0,94
19	14-09-14 17:05:30	14-09-14 21:35:45	09-14-14 21:35:45	1,9
20	21-09-14 03:32:38	22-09-14 02:21:34	09-21-14 04:44:20	9,7
21	22-09-14 03:20:47	24-09-14 01:39:21	09-22-14 03:43:00	10,0160313
22	24-09-14 07:48:49	25-09-14 16:28:19	09-24-14 11:21:10	1,5092547
23	26-09-14 13:30:47	29-09-14 16:56:12	09-29-14 16:56:12	1,2521565
24	30-09-14 08:51:00	03-10-14 05:43:15	09-30-14 10:38:40	2,2879674
25	03-10-14 06:28:42	06-10-14 00:25:22	10-03-14 07:39:20	2,1275862
26	07-10-14 08:11:06	10-10-14 15:18:02	10-07-14 11:51:50	4,1929167
27	11-10-14 19:51:21	12-10-14 22:00:41	10-11-14 20:16:10	1,5936708
28	13-10-14 07:02:29	16-10-14 23:10:51	10-13-14 08:11:00	0,6866907
29	17-10-14 01:37:46	18-10-14 00:30:16	10-17-14 01:56:20	0,4110942
30	18-10-14 20:54:36	20-10-14 22:10:13	10-18-14 21:06:00	0,6259374
31	21-10-14 12:07:53	22-10-14 12:05:41	10-21-14 12:16:00	0,6261252
32	23-10-14 16:48:52	26-10-14 00:57:51	10-23-14 17:40:10	0,5533527
33	29-10-14 07:10:46	29-10-14 13:18:43		0
34	31-10-14 03:26:27	31-10-14 16:04:50		0
35	02-11-14 13:32:21	03-11-14 17:00:37		0
36	03-11-14 23:34:47	05-11-14 03:55:55		0
37	05-11-14 10:53:37	06-11-14 03:29:34		0
38	08-11-14 00:00:41	08-11-14 09:00:46		0
39	10-11-14 06:51:03	10-11-14 23:33:41		0
40	12-11-14 10:02:36	14-11-14 23:21:34		0
41	16-11-14 14:58:55	18-11-14 00:44:54	11-16-14 17:22:50	0,3681819
42	19-11-14 01:52:17	19-11-14 19:05:37		0
43	22-11-14 15:41:29	23-11-14 20:00:10		0
44	24-11-14 00:00:02	25-11-14 08:31:44		0
45	04-12-14 20:01:48	06-12-14 20:30:51		0
46	07-12-14 07:11:09	08-12-14 22:41:24		0
47	10-12-14 00:30:54	15-12-14 23:50:30		0

Ud fra tabellen er der lavet en normalfordeling af magasineringskapaciteten, se bilag 13, resultaterne for regnhændelse 20 og 21 ses der bort fra, da de ikke forudsættes, at være realistiske, da de er langt over tagets byggehøjde. Figur 44 viser en graf over normalfordelingen for magasineringskapaciteten.



Figur 44: Normalfordeling over magasineringskapaciteten

Grafen viser, at der er størst sandsynlighed for, at der vil være en magasineringskapacitet, som er lig med middelværdien på, 1,74 mm.

På bilag 14 kan man se de scripts der anvendes til udregninger i MATLAB.

6. Diskussion

Hvorvidt grønne tage har gode egenskaber, når det kommer til den afløbstekniske del, kan diskuteres. Der er i det foregående blevet gjort nogle antagelser og resultater vedrørende grønne tage og deres egenskaber. Gennem rapporten er der blevet fokuseret på et specifikt grønt tag, nemlig taget på Vejle Spildevands administrationsbygning, der er implementeret specielt til det formål, at finde svar på om grønne tage kan være med til blandt andet, at aflaste de eksisterende afløbssystemer.

Selve udregningerne er udført på data fra August 2014 – December 2014, resultaterne blev anvendt til, at se hvor meget af nedbøren for hver hændelse, der ville afstrømme fra taget, og hvor meget ville blive reduceret af taget. Det kunne ses ud fra tabel 18, at 16 af regnhændelserne havde en afstrømning, der er større end selv regnhændelsen. Dette kan skyldes, at der i taget er blevet tilbageholdt vand fra de forrige hændelser, som så afstrømmer med næste hændelse. Dog kan det ses, at for den samlede mængde vil omkring 89 % afstrømme, og ende i afløbssystemet. Yderligere ses det, fra tabel 19, at der sker en tilbageholdelse af det samlede volumen for den periode dataerne er fra, på cirka 7 %. Det kan dog ses, at der ikke tilbageholdes nedbør for hver af regnhændelserne, det kan skyldes det samme, som for tabel 18. Derfor vil det have en betydning, hvor meget magasineringsvolumen der vil hver for hver hændelse, det betyder at foregående hændelser har en betydning for magasineringssevnen og tilbageholdelsesevnen. Normalfordelingen viser, at det magasineringsvolumen, som vil optræde hyppigst vil være på 1,75 mm, derudover ligger 34,1 % af magasineringsvolumener mellem 1,75+spredningen og 1,75-spredningen, det vil sige at det er indenfor dette interval, der vil være størst sandsynlighed for, at magasineringen ligger. Hvor for de større volumener er sandsynligheden mindre.

Tilbageholdelsen for årsnedbøren er beregnet ud fra et årsdata resultat heraf viser, at ud af de cirka 660 m³ nedbør der falder vil omkring 31 % blive tilbageholdt, hvor det betyder at omkring 69 % vil være afstrømningsmængden for taget.

Det som resultaterne viser for tilbageholdelsen af de enkelte regnhændelser sammenlignet med den årlige tilbageholdelse er, at det grønne tag virker bedre til volumenreducering af den samlede årsnedbørsmængde end for en enkelt hændelse. Det vil sige, at det kan godt være, at taget ikke tilbageholder en stor mængde nedbør for en regnhændelse, men at taget i et større perspektiv vil være effektivt til tilbageholdelsen af nedbøren. Hvilket også betyder, at den mængde nedbør afløbssystemerne vil skulle håndtere på et årsbasis vil være mindre.

Eftersom 69 % af årsnedbøren vil skulle afledes på anden vis kunne det være en mulighed, at kombinere det grønne tag med andre LAR-løsninger for at få en yderligere reducere af afstrømningsmængden og mindske afledningen til afløbssystemerne. En mulighed hertil kunne være, at koble det med en opsamlingskølle så regnvandet kan genanvendes. Desuden kan man også koble afstrømningen fra taget med for eksempel et regnbed eller en nedslivningsgrøft, denne slags kobling vil kunne være anvendelig, og være med til, at tilbageholde endnu mere regnvand også fra større bygninger.

7. Konklusion

Fremtiden byder på flere ændringer i klimaforholdene, der vil resultere i ændrede nedbørsforhold. Det vil belaste de eksisterende afløbssystemer, der ikke er dimensioneret til, at kunne håndtere de nye mængder nedbør, derfor kan et alternativ til afledningen af regnvand anvendes. Et alternativ hertil kunne være lokal afledning af regnvand, der består af forskellige løsninger, som enten selv eller i kombination med andre tiltag, kan aflede regnvandet lokalt så det kan aflaste de eksisterende afløbssystemer.

Den LAR-løsning, der blev arbejdet med i dette projekt er grønne tage for, at der kunne svares på problemformuleringen om, hvor effektive grønne tage er til tilbageholdelsen af regn blev der foretaget målinger på det grønne tag på Vejle Spildevands administrationsbygning. Inden der kunne konkluderes på dette, blev der udført flere kalibreringsforsøg, der skulle kalibrere tryktransduceren, der måler afstrømningen fra taget. Der blev set bort fra ultralydsmåleren, da det blev vurderet blandt andet ud fra forsøgene, at målingerne ikke var realistiske. Kalibreringen resulterede i, at der blev udviklet en model, der omregner de målte volt til vandføringer. Yderligere kunne det konkluderes ud fra forsøgene, at tryktransduceren kan måle de helt lave vandføringer meget præcist. Hvilket er en fordel, da afstrømningen fra de grønne tage kan munde ud i lange haler med lave vandføringer.

Resultatbehandlingen af taget vidste, at det magasineringsvolumen taget med størst sandsynlighed vil have er på 1,75 mm. Endvidere viser resultaterne at taget reducere de vandmængder, der falder, dog er dette ikke tilfældet for hver regnhændelse, men for størstedelen. Årsnedbøren blev reduceret med 31 %, hvilket betyder, at 69 % skal afledes på anden vis. Dette kan eventuelt gøres ved kombination med andre LAR-løsninger.

Konklusion på, hvor effektive grønne tage er til tilbageholdelsen af nedbøren er, at grønne tage er effektive til tilbageholdelsen af nedbør i det lange løb. Det vil sige, tilbageholdelsen nødvendigvis ikke er den bedste for en enkelt regnhændelse, men set ud fra den årlige

tilbageholdelse vil grønne tage være effektive, da det vil betyde, at den mængde nedbør afløbssystemerne vil skulle håndtere på et årsbasis vil være mindre. Dog, er der flere faktorer der vil spille en rolle såsom, magasineringkapaciteten, opbygningen af taget, taghældningen, og den tid der går mellem hver hændelse for, jo længere tid der går, jo mere vil taget udtørre, hvilket vil medføre at magasineringen i taget vil blive større, derved vil tilbageholdelsesevnen også være bedre.

8. Bibliografi

Backhaus, A., 2008. *Lokal Afledning af regnvand (LAR) som merværdi og synergi*, s.l.: Københavns Universitet.

Brorsen, M. o. L. T., 2007. *Lærebog i Hydraulik*. s.l.:Aalborg Universitetsforlag.

Burcharth og Jørgensen, H. F. B. o. T. W. J., 1976. *Hydrologi*. s.l.:s.n.

Gitte Bisgaard, 2014. *Powerpoint fra temadag*. s.l.:Vejle Spildevand A/S.

Google, M., u.d. www.google.dk. [Online] Available at: <https://www.google.dk/maps> [Senest hentet eller vist den September 2015].

Københavns Universitet, I. f. G. o. N., u.d. www.ign.ku.dk. [Online] Available at: <http://ign.ku.dk/partnerlandskab/god-vaekstjord/markkapacitet-og-visnegrænse/> [Senest hentet eller vist den Juli 2015].

Københavns Kommune, 2011. *Grønne tage*, s.l.: Københavns Kommune.

Københavns Kommune, C. f. p. o. n., 2010. *Notat om grønne tage*. [Online] Available at: <http://www.klimatilpasning.dk/media/381039/5336735.pdf> [Senest hentet eller vist den Juli 2015].

Naturstyrelsen, [klimatilpasning.dk](http://www.klimatilpasning.dk), u.d. www.klimatilpasning.dk. [Online] Available at: <http://www.klimatilpasning.dk/viden-om/klima.aspx> [Senest hentet eller vist den Juni 2015].

Rasmussen, M. R. et al., 2013. *Grønne tages hydrauliske egenskaber*, s.l.: s.n.

Skov og Landskab, 2013. *Grønne tage – typologi og opbygning*, s.l.: www.videntjenesten.dk.

Teknologisk Institut, u.d. www.laridanmark.dk. [Online] Available at: <http://www.laridanmark.dk/forsinkelselementer/om-metoden/27945> [Senest hentet eller vist den Juli 2015].

Teknologisk Institut, u.d. www.laridanmark.dk. [Online] Available at: <http://www.laridanmark.dk/nedsivningselementer/om-metoden/27952> [Senest hentet eller vist den Juli 2015].

Teknologisk Institut, u.d. www.laridanmark.dk. [Online]
Available at: <http://www.laridanmark.dk/fordampningselementer/om-metoden/27944>
[Senest hentet eller vist den Juli 2015].

Teknologisk Institut, u.d. www.laridanmark.dk. [Online]
Available at: <http://www.laridanmark.dk/transportelementer/om-metoden/31511>
[Senest hentet eller vist den Juli 2015].

Teknologisk Institut, u.d. www.laridanmark.dk. [Online]
Available at: <http://www.laridanmark.dk/renseelementer/om-metoden/27932>
[Senest hentet eller vist den Juli 2015].

Teknologisk Institut, u.d. www.laridanmark.dk. [Online]
Available at: <http://www.laridanmark.dk/brandstation-oesterbro-groent-tag/forside/30247>
[Senest hentet eller vist den September 2015].

Teknologisk Institut, u.d. www.teknologisk.dk. [Online]
Available at: <http://www.teknologisk.dk/lokal-afledning-af-regnvand-lar/28273>
[Senest hentet eller vist den Juli 2015].

Veg Tech A/S, u.d. www.vegtech.dk. [Online]
Available at: <http://www.vegtech.dk/gronne-tage-og-taghaver/mos-sedumtag/>
[Senest hentet eller vist den September 2015].