

# Hydraulisk utforming av nedløp fra gateavrenning

**Henrik Svaland Aas**

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2015

Hovedveileder: Sveinung Sæggrov, IVM

Medveileder: Sveinn T Thorolfsson, IVM  
Jochen Aberle, BAT

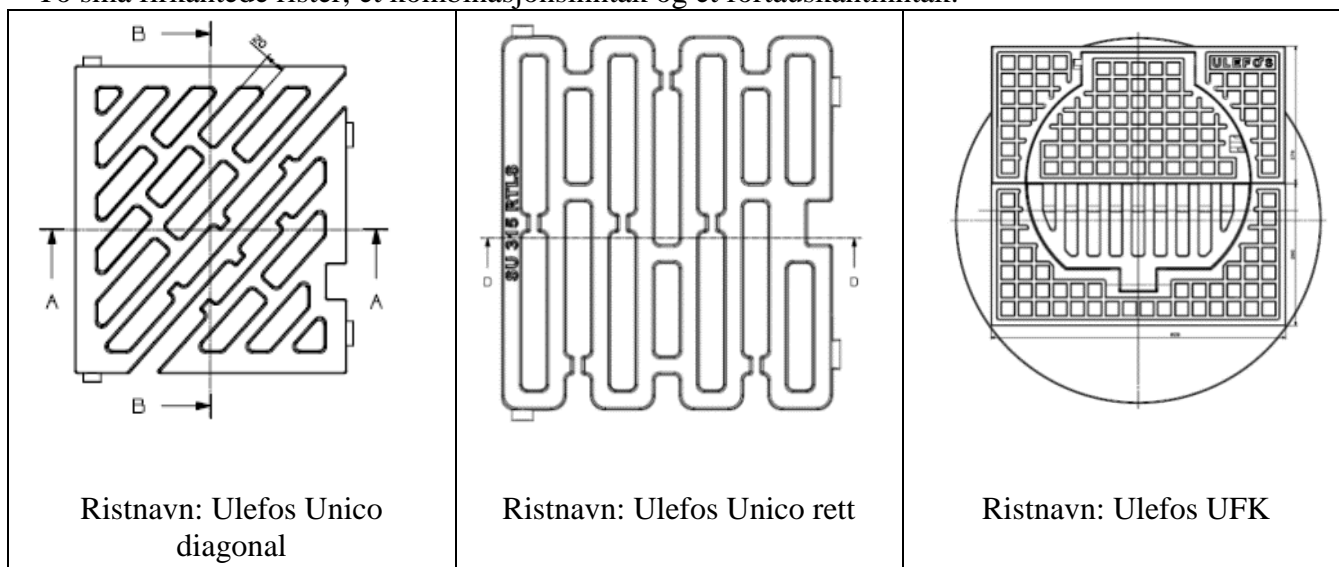
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for vann- og miljøteknikk



## Sammendrag

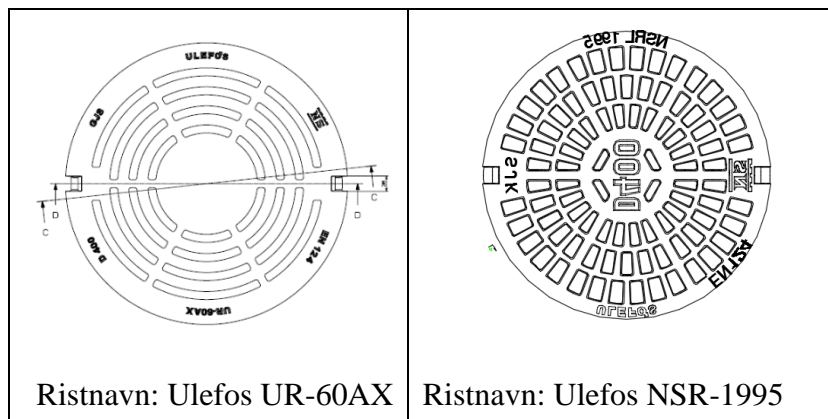
I denne masteroppgaven er det sett på hvordan den hydrauliske kapasiteten til forskjellige rister varierer med hensyn på helning, vannføring i vegbanen, ristutforming og størrelse. Det er sett på hvordan kapasiteten beregnes i andre land, og da spesielt USA. Det er gjort praktiske forsøk i laboratoriet, som deretter er kombinert med teori. Det er blitt testet to små firkantsluk, to store runde rister og et kombinasjonsinntak i laboratoriet, samt gjort en teoretisk betraktning for to fortauskantinntak.

To små firkantede rister, et kombinasjonsinntak og et fortauskantinntak:



FIGUR 1: TRE AV RISTENE SOM ER TESTET

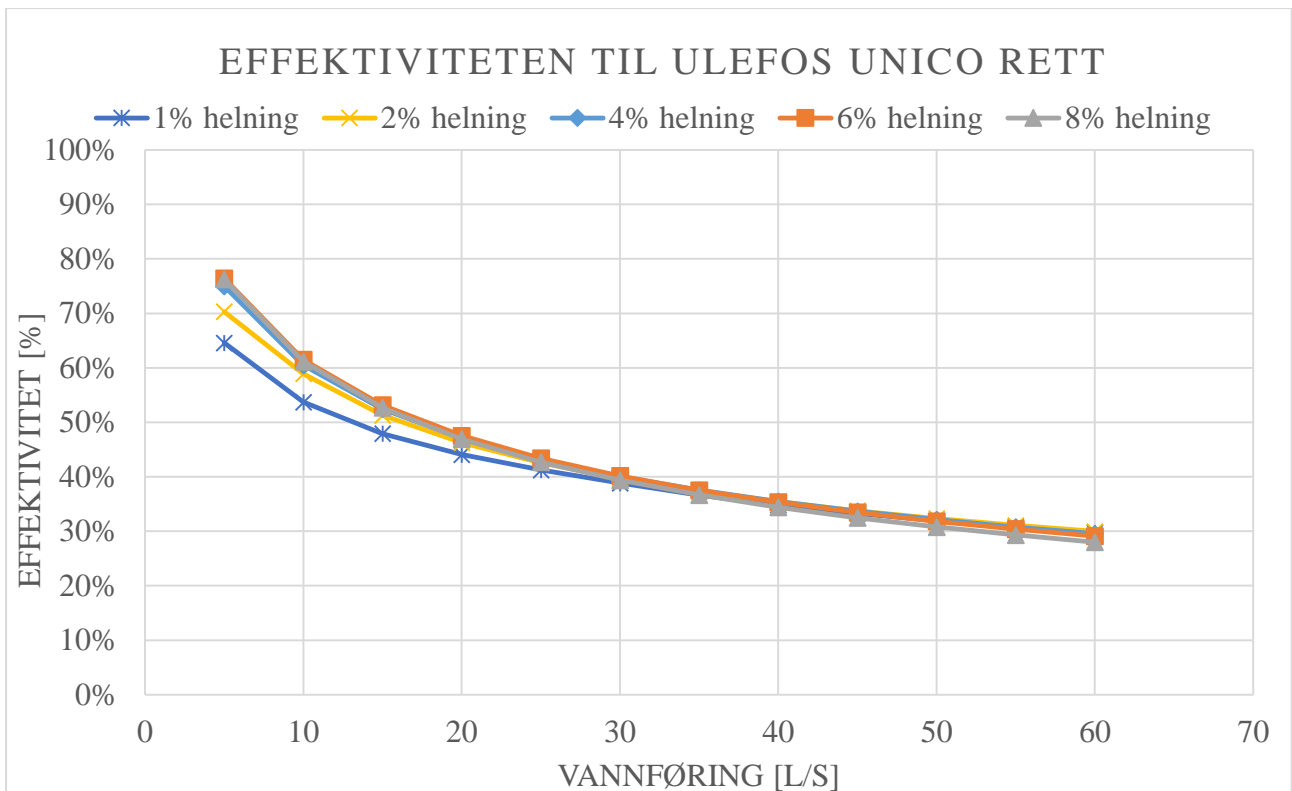
To runde rister:



FIGUR 2: DE STORE RUNDE RISTENE SOM ER TESTET I LABORATORIET

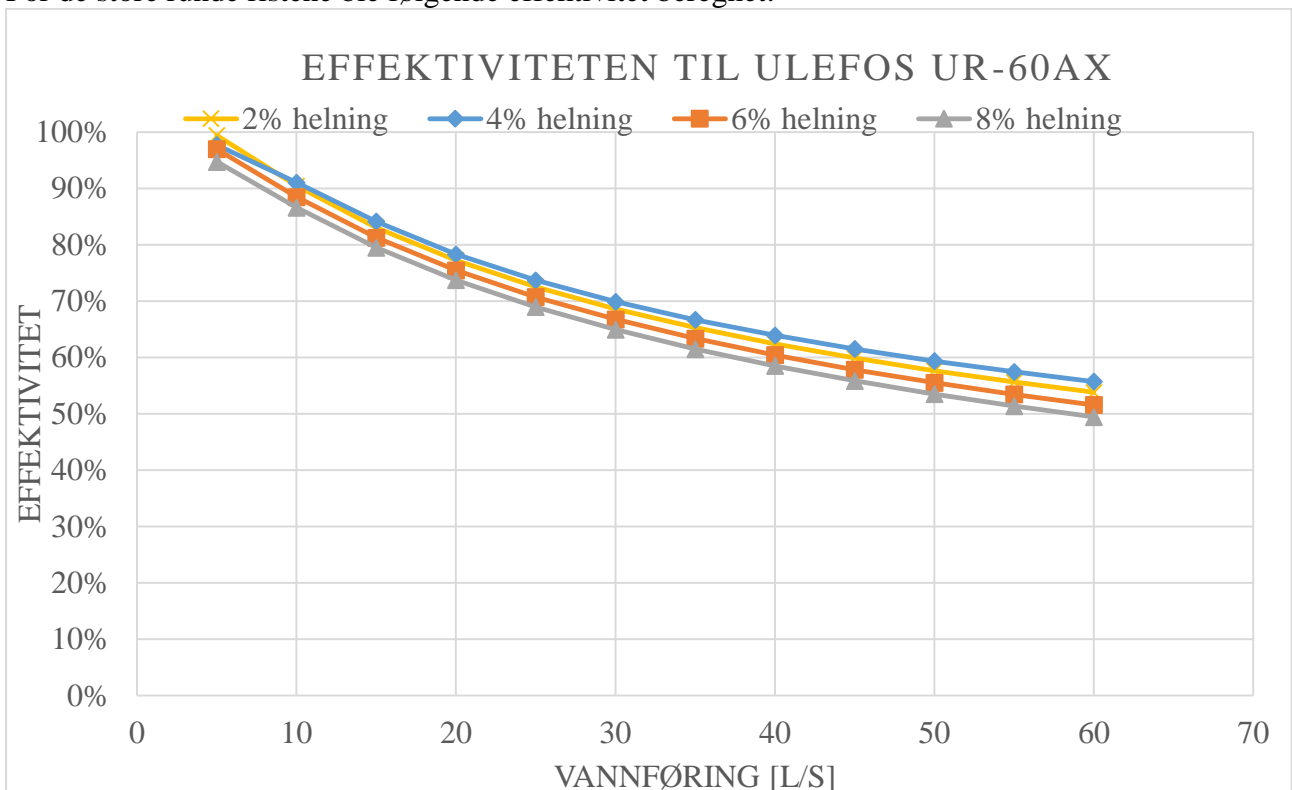
I oppgaven er det funnet ut at de to firkantristene har omtrent samme kapasitet. For de to runde ristene er det funnet ut at Ulefos NSR-1995 har størst effektivitet. Sannsynligvis skyldes det at Ulefos NRS-1995 har størst gjennomstrømningsareal.

I laboratorieforsøkene ble også «splash-over» hastigheten funnet. Dette er den hastigheten hvor vannet begynner å passere over risten. Ut ifra «splash-over» hastigheten og formelverk utarbeidet av FHWA ble følgende effektivitet for de små firkantede ristene beregnet:



FIGUR 3: EFFEKTIVITETEN TIL ULEFOS UNICO RETT VED 3% SIDEHELNING

For de store runde ristene ble følgende effektivitet beregnet:



Teoretiske beregninger viser at for fortauskantinntak er det dårlig kapasitet for veger med helning. For eksempel gir 10 l/s vannføring og 2% helning en effektivitet på bare 26 %. Derfor anbefales det å ikke bruke fortauskantinntak i gater hvor det er helning. Derimot kan fortauskantinntak fungere bra i lavbrekk, hvis man har mulighet til å ha en relativt stor vanddybde. Det ble beregnet hvor langt et fortauskantinntak må være for å fange opp alt vannet i gater med helning. Tabell 1 viser resultatene for forskjellige vannføringer og helninger med en konstant sidehelning på 3%.

TABELL 1: LENGDE [M] SOM KREVES FOR Å FANGE OPP 100% AV VANNFØRINGEN I ET FORTAUSKANTINNTAK VED 3% SIDEHELNING

<b>Vannføring [l/s] /Helning [%]</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	3.04	3.74	4.23	4.61
<b>10</b>	4.07	5.01	5.66	6.17
<b>20</b>	5.44	6.7	7.57	8.25
<b>30</b>	6.45	7.95	8.97	9.78
<b>40</b>	7.28	8.96	10.12	11.03



# Abstract

This master thesis shows how the hydraulic capacity to different kind of storm water inlets change dependent on slope, discharge in the roadway, grate design, and size of the inlet. It also shows how the capacity is calculated in other countries, particularly the United States. Practical experiments in the hydraulic laboratory has been combined with theoretical expressions developed by other scientists. The storm water inlets, which have been tested in the laboratory, is two small square grates, two big round grates, and one combination inlet.

Two small grate inlets, one combination inlet, and one curb inlet

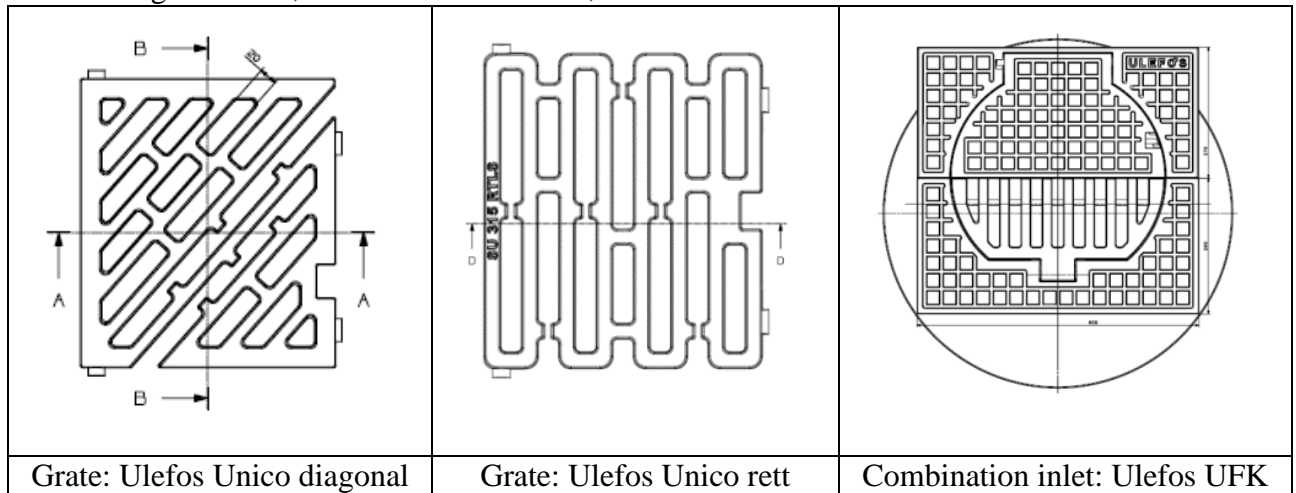


FIGURE 4: FOUR OF THE GRATES THAT IS TESTED

Two round grate inlets:

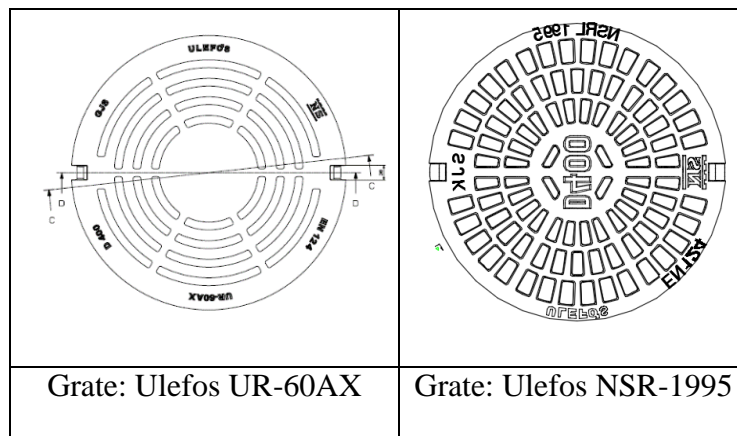


FIGURE 5: THE TWO BIG ROUND GRATES THAT IS TESTED

The two small square grate inlets have approximately the same capacity, and approximately the same flow area. For big flows, and for a high slopes the Ulefos NSR-1995 has higher capacity compared to Ulefos UR-60AX. This is due to the higher flow area in Ulefos NSR-1995.

In the experiments was the splash-over velocity found. This means the flow when the water started to pass the grate. From the splash-over velocity in the experiments and formulas developed from FHWA, the following efficiency for small quadratic grates was developed:

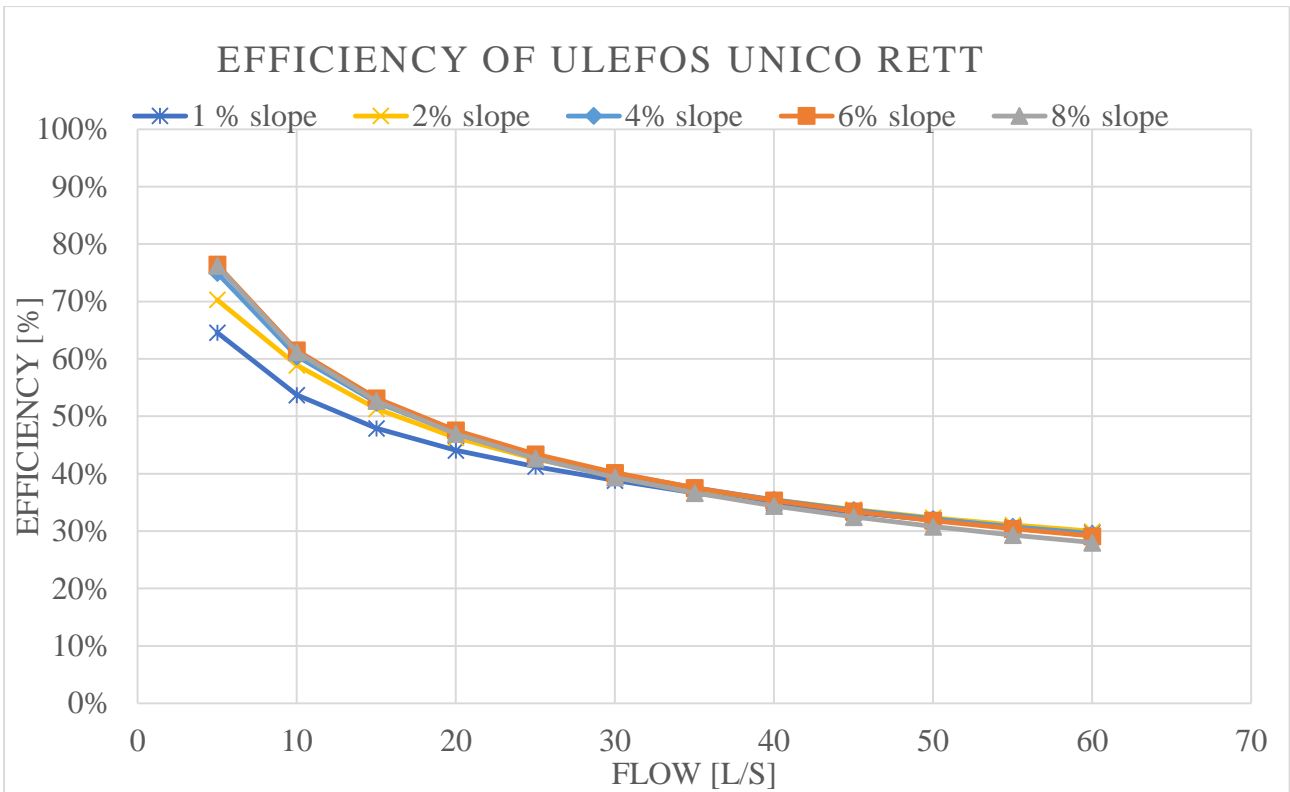


FIGURE 6: EFFICIENCY FOR A SMALL QUADRATIC GRATE INLET

For the two big round grate inlets was the following efficiency found:

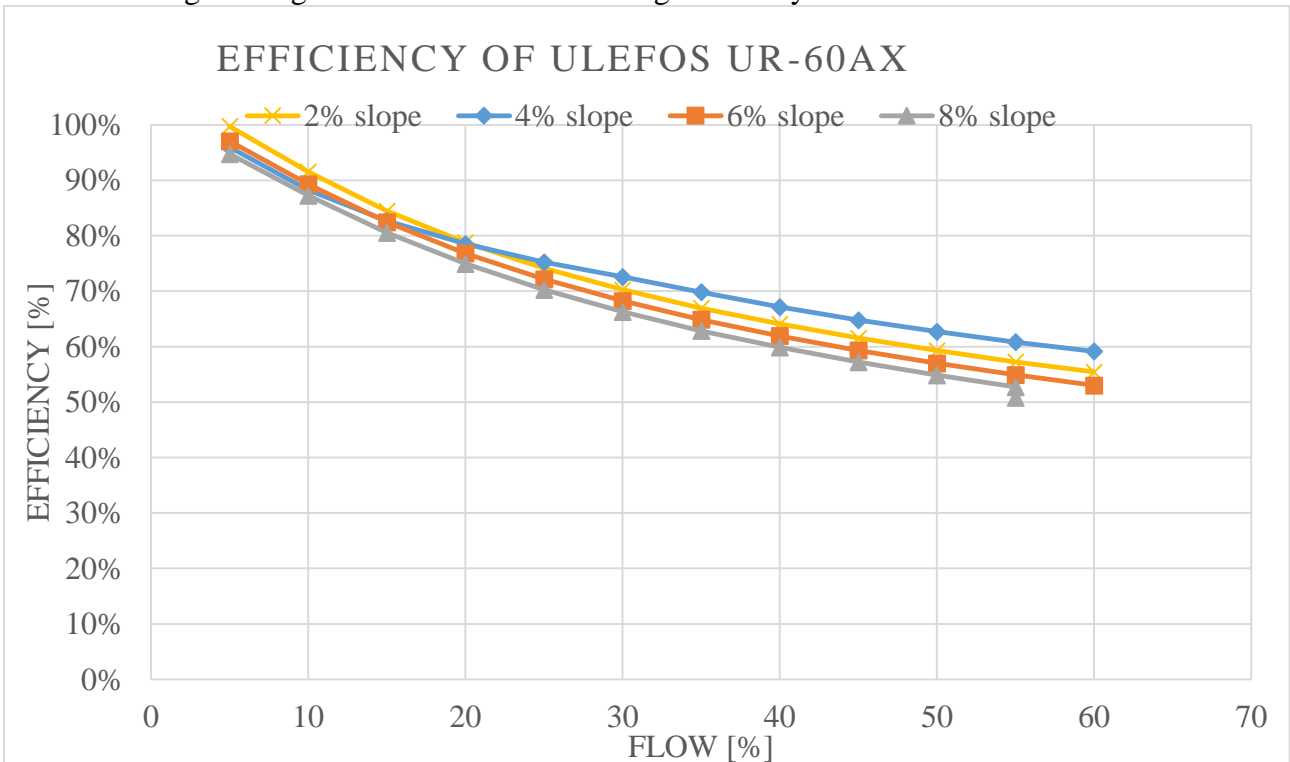


FIGURE 7: EFFICIENCY FOR A BIG ROUND GRATE INLET



Theoretical calculations shows that when it is slope on the road it is a low efficiency on the curb inlet. For example, gives 10 l/s flow, and 2 % slope an efficiency of only 26 %. Therefore it is recommended to don't use a curb inlet on streets, where it is a slope, and where is not in a sag, making it submerged. The table below show how long a curb inlet need to be to have an efficiency on 100 % for different slopes with 3% cross fall.

TABLE 2: LENGTH [M] OF A CURB INLET FOR A 100 % EFFICIENCY WITH 3% SIDE SLOPE

<b>Vannføring [l/s] /Helning [%]</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	3.04	3.74	4.23	4.61
<b>10</b>	4.07	5.01	5.66	6.17
<b>20</b>	5.44	6.7	7.57	8.25
<b>30</b>	6.45	7.95	8.97	9.78
<b>40</b>	7.28	8.96	10.12	11.03



## Forord

Dette prosjektet er en del av masterstudiet mitt på NTNU, innen Bygg og -miljøteknikk, og med spesialisering innen vann- og avløpsteknikk. Denne rapporten er innleveringen min i faget TVM4905 VA-teknikk, og den skal tilsvare 30 studiepoeng. Oppgaven bygger videre på prosjektoppgaven min, og jeg har brukt samme modellen som ble bygget i prosjektoppgaven.

Jeg synes oppgaven har vært spennende, og jeg synes det har vært lærerikt å få kombinere teori og praksis gjennom laboratoriearbeid. Det har vært noen utfordringer underveis, men det har vært lærerikt å være delaktig i hele prosessen fra planlegging av modellen, planlegging av forsøkene, fysisk utføre testene, analysere resultatene og til slutt levere det som en rapport.

Jeg vil takke Ulefos Jærnverk, som har sponset prosjektoppgaven, slik at det ble mulig å bygge en modell i vassdragslaboratoriet. Jeg vil også takke Ulefos Jærnverk for god støtte underveis. Det er gøyere å jobbe med noe når man føler at noen er interessert i det man driver med. Jeg vil takke min veileder Sveinung Sægrov for god veiledning gjennom hele semesteret, Geir Tesaker for byggingen av modellen og Jochen Arberle og Sveinn Thorolfsson for gode innspill underveis.



# Innhold

<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>FORORD</b> .....	<b>IX</b>
<b>1. INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 OPPGAVETEKST.....	1
1.2 INTRODUKSJON .....	1
<b>2. TEORI</b> .....	<b>3</b>
2.1 MODELLFORSØK .....	3
2.2 FYSISK MODELLERING OG SKALERING AV MODELLEN.....	3
2.3 FORSKJELIGE TYPER GATESLUK .....	5
2.4 HYDRAULIC ENGINEERING CIRCULAR NO. 22 THIRD EDITION (HEC-22).....	13
2.5 SANDFANG.....	15
<b>3. METODE</b> .....	<b>16</b>
3.1 MÅLEUTSTYR .....	16
3.2 RISTTYPENE SOM ER TESTET .....	16
3.3 RISTTYPENE SOM ER GJORT EN TEORETISK BETRAKTNING PÅ .....	18
3.4 MODELLEN .....	18
3.5 MÅLING .....	23
3.6 TESTPROTOKOLL.....	23
3.7 FORUTSETNINGER GJORT FOR FORSØKET .....	24
<b>4. RESULTAT</b> .....	<b>25</b>
4.1 TEST AV STORE RUNDE RISTER .....	25
4.2 TESTING AV GJENTETTING AV ULEFOS UR-60AX.....	28
4.3 TESTING AV GJENTETTING AV ULEFOS NSR-1995 .....	30
4.4 TESTING AV SMÅ FIRKANTEDE RISTER: .....	32
4.5 ULEFOS UNICO RETT, SNUDD 90 GRADER .....	35
4.6 TEST AV GJENTETTING I SMÅ RISTER .....	36
4.7 TESTING AV KOMBINASJONSINNTAK .....	40
<b>5. ANALYSE</b> .....	<b>41</b>
5.1 SPREDNING AV VANNET I EN VEGBANE .....	41
5.2 RISTINNTAK .....	41
SMÅ FIRKANTRISTER .....	45
5.3 FORTAUSKANTINNTAK.....	47
<b>6. DISKUSJON</b> .....	<b>49</b>
6.1 DISKUSJON AV METODE .....	49
1.2 DISKUSJON AV RESULTATER .....	50
6.2 DISKUSJON AV PARAMETERE .....	53
6.3 FEILKILDER.....	54
MODELLEFEIL.....	54
<b>7. KONKLUSJON</b> .....	<b>56</b>
<b>8. VIDERE TESTING</b> .....	<b>57</b>
<b>9. REFERANSER</b> .....	<b>58</b>
<b>10. VEDLEGG</b> .....	



# Figurliste

FIGUR 1: TRE AV RISTENE SOM ER TESTET .....	I
FIGUR 2: DE STORE RUNDE RISTENE SOM ER TESTET I LABORATORIET .....	I
FIGUR 3: EFFEKTIVITETEN TIL ULEFOS UNICO RETT VED 3% SIDEHELNING .....	II
FIGURE 4: FOUR OF THE GRATES THAT IS TESTED .....	V
FIGURE 5: THE TWO BIG ROUND GRATES THAT IS TESTED .....	V
FIGURE 6: EFFICIENCY FOR A SMALL QUADRATIC GRATE INLET .....	VI
FIGURE 7: EFFICIENCY FOR A BIG ROUND GRATE INLET .....	VI
FIGUR 8: FORSKJELLEN MELLOM FRONTAL VANNFØRING OG SIDEVANNSFØRING (MAIN ROADS, 2014) .....	6
FIGUR 9: RISTINNTAK: (SCHALL, 2001).....	7
FIGUR 10: NEW JERSEY RISTER (PAZWASH, 2011).....	9
FIGUR 11: FORTAUSKANTÅPNING (SCHALL, 2001).....	11
FIGUR 12: KOMBINASJONSINNTAK: (SCHALL, 2001).....	12
FIGUR 13: EKSEMPEL PÅ NORSK SLISSERENNE (SKJÆVELAND CEMENTSTØPERI, 2014) .....	12
FIGUR 14: SLISSERENNE: (SCHALL, 2001) .....	12
FIGUR 17: TO AV RISTENE SOM BLE TESTET I HEC-22 (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2009) .....	13
FIGUR 18: KAPASITET FOR FORSKJELLIGE RISTTYPER (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2009).....	14
FIGUR 19: HVORDAN FORSKJELLIGE RISTER TAKLER SKRAP (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2009).....	14
FIGUR 20: BILDE AV SANDFANG (BASAL, 2015).....	15
FIGUR 19: DE SMÅ RISTENE SOM ER TESTET I LABORATORIET .....	16
FIGUR 20: DE STORE RUNDE RISTENE SOM ER TESTET I LABORATORIET .....	17
FIGUR 21: KOMBINASJONSINNTAKET SOM ER TESTET I LABORATORIET.....	17
FIGUR 22: PLANTEGNING AV MODELLEN .....	19
FIGUR 23: PROFILTEGNING AV MODELLEN .....	19
FIGUR 24: MODELLEN SETT SKRÅTT OVENFRA .....	20
FIGUR 25: MODELLEN SETT FRA SIDEN .....	20
FIGUR 26: V-OVERLØPET SOM MÅLER VANNFØRINGEN GJENNOM KUMMEN .....	21
FIGUR 27: SPJELDVENTIL FOR Å JUSTERE VANNMENGDE INN I MODELLEN .....	21
FIGUR 28: AVLØPET FRA MODELLEN .....	22
FIGUR 29: MÅLING AV VANNMENGDE INN I MODELLEN.....	22
FIGUR 30: TEST AV EFFEKTIVITETEN TIL STORE RUNDE RISTER FOR 0% HELNING .....	25
FIGUR 31: TEST AV EFFEKTIVITETEN TIL STORE RUNDE RISTER VED 2% HELNING.....	26
FIGUR 32: TEST AV EFFEKTIVITETEN TIL STORE RUNDE RISTER VED 4% HELNING.....	26
FIGUR 33: TEST AV EFFEKTIVITETEN TIL STORE RUNDE RISTER VED 6% HELNING.....	27
FIGUR 34: TEST AV EFFEKTIVITETEN TIL STORE RUNDE RISTER VED 8% HELNING.....	27
FIGUR 35: EN RAD GJENTETTET .....	28
FIGUR 36: TO RADER GJENTETTET .....	28
FIGUR 37: TRE RADER GJENTETTET.....	28
FIGUR 38: TEST AV GJENTETTING FOR ULEFOS-UR-60AX VED 2% HELNING.....	28
FIGUR 39: TEST AV GJENTETTING FOR ULEFOS-UR-60AX VED 4% HELNING.....	29
FIGUR 40: EN RAD GJENTETTING .....	30
FIGUR 41: TO RADER GJENTETTING .....	30
FIGUR 42: TEST AV GJENTETTING FOR ULEFOS-NSR-1995 VED 2% HELNING .....	30
FIGUR 43: TEST AV GJENTETTING FOR ULEFOS-UR-NSR-1995 VED 4% HELNING .....	31
FIGUR 44: TEST AV SMÅ FIRKANTEDE RISTER FOR 0% HELNING.....	32
FIGUR 45: TEST AV SMÅ FIRKANTEDE RISTER FOR 2% HELNING.....	33
FIGUR 46: TEST AV SMÅ FIRKANTEDE RISTER FOR 4% HELNING.....	33
FIGUR 47: TEST AV SMÅ FIRKANTEDE RISTER FOR 6% HELNING.....	34
FIGUR 48: TEST AV SMÅ FIRKANTEDE RISTER FOR 8% HELNING.....	34
FIGUR 49: TEST AV ULEFOS UNICO RETT, SNUDD 90 GRADER VED 2% HELNING.....	35
FIGUR 50: TEST AV ULEFOS UNICO RETT, SNUDD 90 GRADER VED 4% HELNING.....	35
FIGUR 51: EN RAD GJENTETTING.....	36
FIGUR 52: TO RADER GJENTETTING.....	36
FIGUR 53: TEST AV GJENTETTING FOR ULEFOS UNICO DIAGONAL VED 2% HELNING .....	37
FIGUR 54: TEST AV GJENTETTING FOR ULEFOS UNICO DIAGONAL FOR 4% HELNING.....	37
FIGUR 55: TEST AV GJENTETTING FOR ULEFOS UNICO RETT FOR 2% HELNING .....	38
FIGUR 56: TEST AV GJENTETTING FOR ULEFOS UNICO RETT FOR 4% HELNING .....	39
FIGUR 57: OPPSETT FOR TESTING AV KOMBINASJONSINNTAK.....	40
FIGUR 58: KOMBINASJONSINNTAK .....	40
FIGUR 59: ULEFOS UR-60AX MED HØYDE OG LENGDEMÅL FOR OMRÅDET MED HULL .....	43

FIGUR 60: ULEFOS UR-60AX MED HØYDE OG LENGDEMÅL FOR OMRÅDET MED HULL .....	43
FIGUR 61: EFFEKTIVITETEN TIL UR-60AX FOR FORSKJELLIGE TYPER HELNING .....	44
FIGUR 62: EFFEKTIVITETEN TIL ULEFOS NSR-1995 FOR FORSKJELLIGE TYPER HELNING .....	44
FIGUR 63: EFFEKTIVITETEN TIL ULEFOS UNICO RETT FOR FORSKJELLIGE TYPER HELNING .....	45
FIGUR 64: EFFEKTIVITETEN TIL ULEFOS UNICO DIAGONAL .....	45
FIGUR 65: 2% HELNING MED AREALREDUKSJON .....	46
FIGUR 66: 2% HELNING MED AREAL OG BREDDEREDUKSJON .....	47
FIGUR 67: EFFEKTIVITETEN TIL ET 650 MM LANGT FORTAUSKANTINNTAK .....	48
FIGUR 68: EFFEKTIVITETEN TIL ET 400 MM LANGT FORTAUSKANTINNTAK .....	49
FIGUR 69: 2% HELNING MED AREAL- OG BREDDEREDUKSJON .....	51
FIGUR 70: RIST I VIRKELIGHETEN .....	54
FIGUR 71: RIST I MODELLE .....	54

## Tabelliste

TABELL 1: LENGDE [M] SOM KREVES FOR Å FANGE OPP 100% AV VANNFØRINGEN I ET FORTAUSKANTINNTAK VED 3% SIDEHELNING .....	III
TABLE 2: LENGTH [M] OF A CURB INLET FOR A 100 % EFFICIENCY WITH 3% SIDE SLOPE .....	VII
TABELL 3: MANNINGSTALLET TIL FORSKJELLIGE TYPER ASFALT .....	4
TABELL 4: KAPASITETEN TIL ÅPNE RISTER .....	23
TABELL 5: GJENTETTING AV RISTER .....	24
TABELL 6 KOMBINASJONSINNTAK .....	24
TABELL 7: SPREDNING AV VANNFØRING [M] FOR FORSKJELLIGE HELNINGER OG VANNFØRINGER .....	41
TABELL 8: NØDVENDIG LENGDE PÅ FORTAUSKANTINNTAK FOR Å FANGE OPP ALT VANNET AVHENGIG AV VANNFØRING OG HELNING. SIDEVEIS HELNING PÅ 3% .....	48
TABELL 9: TEORETISK EFFEKTIVITET TIL ET 650 MM LANGT FORTAUSKANTINNTAK MED 3% SIDEHELNING .....	48



# 1. Innledning

## 1.1 Oppgavetekst

### Hydraulisk utforming av nedløp fra gateavrenning

1. Gjennomføre testing av nedløpskapasiteten for aktuelle ristutforminger fra Ulefos Jernverk. Testingen utføres for varierende helninger og vannføringer og ved delvis gjentetting av ristene. Presentere resultatene ved fotografier/video fra forsøkene og som kurver og tabeller.
2. Bruke resultatene til å sammenligne de forskjellige ristene og utarbeide kapasitetsdiagram for de forskjellig nedløpene.

## 1.2 Introduksjon

I det norske overvannsystemet brukes det i dag forskjellige nedløp for å fange opp overvann i veier. Disse er utformet på forskjellige måter, ut ifra forskjellige behov. Det er gjort en del forskning på den hydrauliske kapasiteten på overvannsnedløp i utlandet, men ikke i Norge. Siden nedløpene i Norge har en annen utforming enn i resten av verden kontaktet Ulefos Jernverk, som er en av de største ristprodusentene NTNU for å undersøke dette nærmere.

Hensikten med denne oppgaven er å teste nedløpskapasiteten til forskjellige overvannsnedløp. Det er gjort laboratorietester av fem forskjellige nedløp. Det er to små firkantede rister, to store runde rister og et kombinasjonsinntak. Disse er testet for forskjellige typer helning og gjentetting. Det er viktig med kunnskap om inntakskapasiteten, siden dette kan være begrensende for den hydrauliske kapasiteten til ledningssystemet for overvannshåndtering. I en del tilfeller er det om å gjøre å ha høyest mulig kapasitet, mens det i andre situasjoner kan være bedre med lavere kapasitet for å redusere belastningen på det nedstrøms ledningsnettet. Men det er i begge tilfellene viktig med kunnskap, slik at man kan vite hva man dimensjonerer etter.

Siden ristutforminger er vanskelig å modellere i numeriske modelleringsverktøy på grunn av mye usikkerhet, og det uansett er nødvendig å kalibrere modellen gjøres forsøkene i en fysisk modell. Siden det ikke er snakk om så store konstruksjoner, så testes det i skala 1:1. Dermed unngår man skaleringsproblemer, og får mer pålitelige resultater. Det testes for forskjellige helninger, for å se hvordan ulike helninger påvirker kapasiteten til de forskjellige ristene.

Rapporten er bygd opp på følgende måte:

- Sammendrag
- Teori
- Metode
- Resultater
- Analyse
- Diskusjon
- Konklusjon
- Videre testing
- Referanser
- Vedlegg

Teorikapittelet består av to deler. Først kommer det en generell del om laboratorieteknikk, og hvilke formler som er viktige for laboratorieforsøk. Andre del består av eksisterende kunnskap om overvannssystemet, med fokus på ristinntak, hvor det spesielt er fokusert på hvordan det gjøres i USA. Til slutt kommer det litt om sandfang, siden det er så nært knyttet sammen med ristinntak.

Metodekapittelet tar for seg hvordan modellforsøket er lagt opp. Det starter med utstyret som er brukt, med et særlig fokus på ristene som er testet. Så forklarer det hvordan modellen er bygd opp, og hvordan målingene er utført. Deretter kommer det en testprotokoll, hvor det forklares hvilke tester som er utført. Kapittelet avsluttes med forutsetningene gjort for forsøket.

Resultatkapittelet presenterer grafer over alle resultatene som er funnet i laboratorieforskene. Det starter med de store runde ristene, først sammenlignes de mot hverandre, og deretter er hver enkelt rist testet for gjentetting. Så kommer de tilsvarende testene for de små firkantede ristinntakene. Til slutt kommer resultatet fra testen av kombinasjonsinntaket.

Analysekapittelet prøver å koble resultatene fra laboratorieforskene til virkeligheten ved hjelp av formlene utviklet i HEC-22, hvor enkeltparametre er funnet gjennom laboratorieforskene. Det starter med å ta for seg spredningen av vannet for en vegbane med gitt helning. Så kommer de beregnede kapasitetene for ristinntakene og fortauskantinntakene.

Diskusjonskapittelet diskuterer hvordan metoden i forsøket har vært, sammenlignet med andre forsøk, og tar for seg svakheter og styrker med denne. Deretter diskuteres resultatene, hva de sier, og hvorfor de er som de er. Diskusjonskapittelet avsluttes ved å diskutere hva som er potensielle feilkilder.

Konklusjonskapittelet viser en oppsummering av det som er funnet i løpet av rapporten

I vedlegget ligger alle forsøkene som er gjort. Disse er sortert på dato etter når de er utført: Deretter ligger det et sett grafer med anbefalt kapasitet. Det er også et elektronisk vedlegg som viser videofilmingen av forsøkene.

## 2. Teori

### 2.1 Modellforsøk

Modellforsøk brukes for å kunne finne ut av ting som er for vanskelig å måle i virkeligheten. Dette kan skyldes at det er for dyrt å gjøre i full-skala, at det ikke er mulig å gjøre det gjenprøvbart, eller at det i laboratorieforsøk er enklere å endre enkeltparametre, og på den måten optimalisere systemet. Man får også mer kontrollerte former, og det blir derfor enklere å normalisere forsøkene. Man får en god visuell tilbakemelding, og det er enkelt å se hva som skjer. Bakdelen med å gjøre laboratorieforsøk i forhold til testing i virkeligheten er at man må gjøre en del tilnærminger, og at man derfor innfører en del usikkerheter.

### 2.2 Fysisk modellering og skalering av modellen

I en modell er det om å gjøre å modellere virkeligheten på en best mulig måte. Tre typer likedannethet er viktig å få til på en best mulig måte.

#### Geometrisk likedannethet

Geometrisk likhet er når forholdet mellom alle lengdene i modellen og prototypen er like. Geometrisk likhet er uavhengig av bevegelse, og involverer kun likhet i form. Geometrisk likedannethet uttrykkes ved følgende formel (Arberle, 2015):

$$L_r = \frac{L_m}{L_p} \quad \text{FORMEL 2-1}$$

*L<sub>r</sub> er geometrisk forholds faktor*

*L<sub>m</sub> er lengdene i modellen*

*L<sub>p</sub> er lengdene i prototypen*

#### Kinematisk likedannethet

Kinematisk likedannethet er likhet i bevegelse mellom partiklene i vannet. Dette blir oppnådd når forholdet mellom alle de vektorielle bevegelsene er like i modellen og prototypen, med andre ord når formen på strømningslinjene til enhver tid er i lik skala i modellen og prototypen. Kinematisk likedannethet uttrykkes med følgende formel (Arberle, 2015):

$$V_r = \frac{V_m}{V_p} = \frac{V_{1,m}}{V_{1,p}} = \frac{V_{2,m}}{V_{2,p}} \quad \text{FORMEL 2-2}$$

*V<sub>r</sub> er forholdet mellom hastighet i modell og prototyp*

*V<sub>p</sub> er hastighetene i prototypen*

*V<sub>m</sub> er hastighetene i modellen*

## Dynamisk likedannethet

Dynamisk likedannethet er forholdet mellom alle kreftene er like i to system når kravet til geometrisk og kinematisk likedannethet er oppfylt. Dynamisk likevekt sikrer at det er et konstant prototype-modell forholdstall for alle masser og krefter. Det sikrer at kinematisk og dynamisk likedannethet er oppfylt. Dynamisk likedannethet uttrykkes med følgende formel (Arberle, 2015):

$$F_r = \frac{F_m}{F_p} \quad \text{FORMEL 2-3}$$

$F_r$  er forholdet mellom krefter i modell og prototyp

$F_m$  er krefter i modell

$F_p$  er krefter i prototypen

I og med at modellen i dette forsøket er i skala 1:1 vil disse være oppfylt hvis det er like forhold i modellen og prototypen.

## Mannings formel

Mannings formel brukes til å beregne vannføringen i en åpen kanal med frispelstrømning. Den tar hensyn til friksjon i kanalen, helningen på energilinjen, og den hydrauliske radiusen.

Den er gitt ved følgende formel:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} \quad \text{FORMEL 2-4}$$

Hvor:

$n$  er Mannings tall, som er en konstant basert på modellforsøk

$A$  er areal

$R$  er hydraulisk radius:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\text{Høyde} * \text{Bredde}}{2 * \text{Høyde} + \text{Bredde}} \quad \text{FORMEL 2-5}$$

$I$  er helning på energilinjen

Ifølge Chow (Chow, 1959) er Manningstallet ( $n$ ) lik:

TABELL 3: MANNINGSTALLET TIL FORSKJELLIGE TYPER ASFALT

Type materiale	Minimum	Normal	Maksimal
Glatt asfalt	0.013	0.013	
Grov asfalt	0.016	0.016	

For å beregne strømning i vegbanen regner man vegbanen som en triangulær åpen kanal. Her brukes det en utledning fra Mannings formel, som er gitt ved formelen: (Pazwash, 2011)

$$Q = \frac{K}{n} * Sx^{\frac{5}{3}} * S^{\frac{1}{2}} * T^{\frac{8}{3}} \quad \text{FORMEL 2-6}$$

$K=0.375$  når det brukes SI enheter

$S$  er helning i lengderetning

$Sx$  er helning i tverr-retning

$T$  er spredningen på vannføringen

$Q$  er vannføring

Omskrevet gir denne formelen at spredningen på vannføringen (T) blir (Pazwash, 2011):

$$T = \left(\frac{\bar{K}}{Sx^{0.625}}\right) * \left(\frac{Q}{S^{0.5}}\right)^{0.375} \quad \text{FORMEL 2-7}$$

## Froudetallet

Froudetallet (Fr) brukes til å bestemme om det er overkritisk eller underkritisk strømning i en kanal. Det er gitt ved formel 2-8. Froudetallet må ikke forveksles med kreftene i dynamisk likevekt, som også har notasjonen Fr:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g * d}} \quad \text{FORMEL 2-8}$$

*Fr < 1 gir underkritisk strømning*

*Fr > 1 gir overkritisk strømning*

Her er Froudetallet brukt for å se hvilken type strømning det er for de forskjellige testtilfellene. Froudetallet brukes også for å skalere modeller, og er en viktig variabel, hvis man senere skal teste i en nedskalert modell.

## 2.3 Forskjellige typer gatesluk

I Hydraulic design handbook deler Larry W. Mays inn i fire forskjellige typer inntak som brukes for å fange opp avrenningen fra veier (Mays, 1999):

- Ristinntak (Grate inlets)
- Fortauskantåpning (Curb-opening Inlets)
- Kombinasjonsinntak (Combination Inlets)
- Slisserenne (Slotted Inlets)

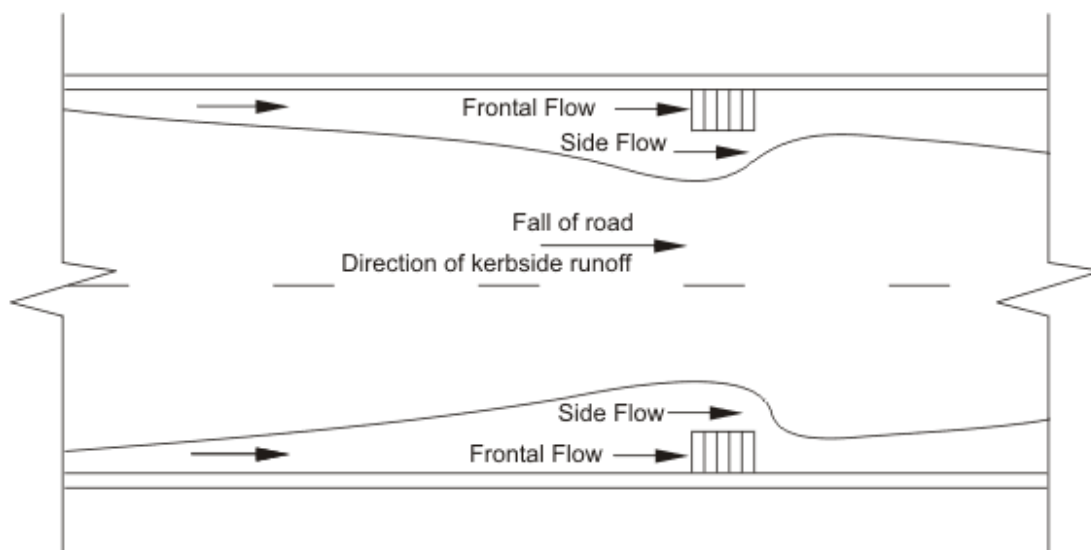
Mays skriver videre at innløpskapasiteten øker for alle inntakene ved økende vannføring, mens effektiviteten går ned.

### Ristinntak

Ristinntak er effektivt ved fortau når det ikke er mye skrapgods. Det må være utformet sikkert for syklistene. Effektiviteten til risten avhenger av vannmengden som strømmer over risten, størrelsen og formen til rista, og vannhastigheten over rista (Mays, 1999).

Når man beregner kapasiteten på ristinntak deles det inn i to vannføringer. Frontal vannføring, som er den vannmengden som passerer over rista, og sidevannføring, som er den vannføringen som passerer ved siden av rista (Mays, 1999).

Når hastigheten på vannet som passerer over rista er liten fanger rista opp all den frontale vannføringen. Etter hvert blir vannføringen såpass stor at noe av vannet starter å sprute over. Den hastigheten når dette først opptrer kalles «splash-over» hastigheten (Mays, 1999).



FIGUR 8: FORSKJELLEN MELLOM FRONTAL VANNFØRING OG SIDEVANNSFØRING (MAIN ROADS, 2014)

Frontal vannføring i forhold til total vannmengde er gitt ved formelen (Mays, 1999):

$$E_0 = \frac{Q_w}{Q} = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2.67} \quad \text{FORMEL 2-9}$$

$Q$  er total vannføring [ $m^3/s$ ]

$Q_w$  er vannføringen som går over rista [ $m^3/s$ ]

$W$  er bredden til rista [ $m$ ]

$T$  er den totale spredningen på vannet [ $m$ ]

Altså er andelen frontal vannføring avhengig av 1 minus forholdstallet mellom riststørrelsen og den totale bredden, opphøyd i en faktor på 2.67. Det vil si at en bred rist og liten spredning på vannet gir en høy frontal vannføring.

Når vannhastigheten er mindre enn «splash-over» hastigheten kan man regne med at alt vannet blir fanget opp. Når  $V > V_0$ , er andelen oppfanget vann av frontal vannføring er gitt ved formelen (Mays, 1999):

$$R_f = 1 - K_c(V - V_0) \quad \text{FORMEL 2-10}$$

$K_c = 0.295$

$V$  er vannhastigheten [ $m/s$ ] over rista

$V_0$  er vannhastigheten [ $m/s$ ] over rista når «splash-over» først forekommer. Denne verdien finnes fra laboratorieforsøk, eller fra diagram for forskjellige risttyper, som er utledet fra laboratorieforsøk

Altså ser man at andelen av den frontale vannmengden som blir fanget opp er gitt som en funksjon, som er avhengig av forskjellen mellom vannhastigheten og «splash-over» hastigheten. Den har en lineær økning, så hvis forskjellen mellom vannhastighet og «splash-over hastighet» doubles vil andelen vann som ikke fanges opp doubles.

Andelen av sidevannføringen som blir fanget opp er gitt ved formelen (Mays, 1999):

$$R_S = \frac{1}{1 + \frac{K_C V^{1.8}}{S_X L^3}}$$

FORMEL 2-11

$K_C = 0.295$

$V$  er vannhastigheten over rista

$S_X$  er tverrfallet

$L$  er lengden på rista

Hvor mye som blir fanget opp av denne er avhengig av lengden på rista, vannhastigheten, og helningen på rista. For høye hastigheter og korte rister blir mengden sidevannføring som blir fanget opp så liten at det kan neglisjeres (Main Roads, 2014).

Dermed blir den totale effektiviteten til risten gitt ved formelen (Pazwash, 2011):

$$E = R_f * E_0 + R_S(1 - E_0)$$

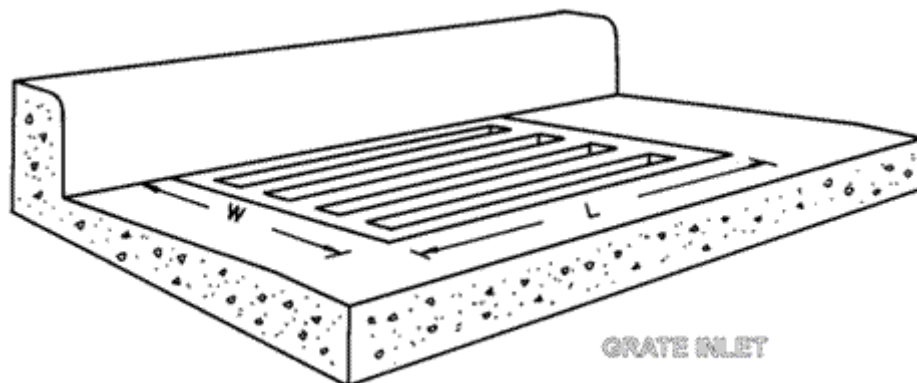
FORMEL 2-12

$R_f$  er andelen oppfanget vann av den frontale vannføringen

$E_0$  er frontal vannføring i forhold til total vannføring

$R_S$  er andelen oppfanget vann av sidevannføringen

Som man ser er den totale effektiviteten til rista, avhengig av hvor stor andel som kommer som frontal vannføring, og hvor stor andel som kommer som sidevannføring, samt hvor stor andel av de forskjellige vannføringene som blir fanget opp. Generelt vil en større andel bli fanget opp når en stor andel av vannet er frontal vannføring, og spesielt når hastigheten er lavere enn «splash-over» hastigheten.



FIGUR 9: RISTINNTAK: (SCHALL, 2001)

### Ristinntak i lavbrekk

Vannstrømmen i et lavbrekk fungerer som strømning over et overløp frem til vannet bygger seg opp til en viss dybde. Over denne dybden fungerer strømningen som et utløp. New Jersey department of Transportation oppgir at sykkelsikre innløp opptrer som overløp opp til 230mm, og som utløp for større vandedybder (Pazwash, 2011).

For overløpsstrømning kan kapasiteten beskrives med følgende formel: (Pazwash, 2011):

$$Q_i = C_w P d^{1.5} \quad \text{FORMEL 2-13}$$

$C_w = 1.66$  (SI)

$P$  er perimeter rundt det åpne området av rista

$D$  er dybden på den innkommende vannstrømmen

Perimeter ( $P$ ) kan bli funnet ut ifra følgende formel for rister som er plassert henholdsvis ved siden av fortauskanter, og alene: (Pazwash, 2011):

$$P = 2w + l \quad \text{FORMEL 2-14}$$

$$P = 2(w + l) \quad \text{FORMEL 2-15}$$

$w$  er bredde på rista

$l$  er lengde på rista

For dykket innløp kan kapasiteten beskrives med følgende formel (Pazwash, 2011):

$$Q_i = C_0 A_0 (2gd)^{0.5} \quad d > 0.5 \quad \text{FORMEL 2-16}$$

$C$  er utløpskoeffisienten (Kan settes til 0.6)

$A_0$  er gjennomstrømningsarealet til rista. For ristinntak uten fortauskantinntak bør arealet reduseres med 50% for å ta hensyn til delvis gjentetting

$d$  er dybden til den innkommende vannstrømmen

$g = 9.81 \text{ m}^2/\text{s}$



## Kapasitet på rister i New Jersey

I New Jersey er det gjort laboratorieforsøk, siden det her brukes en del risttyper som ikke er testet i FHWA sin undersøkelse. I disse laboratorieforsøkene ble følgende risttyper testet (Pazwash, 2011):

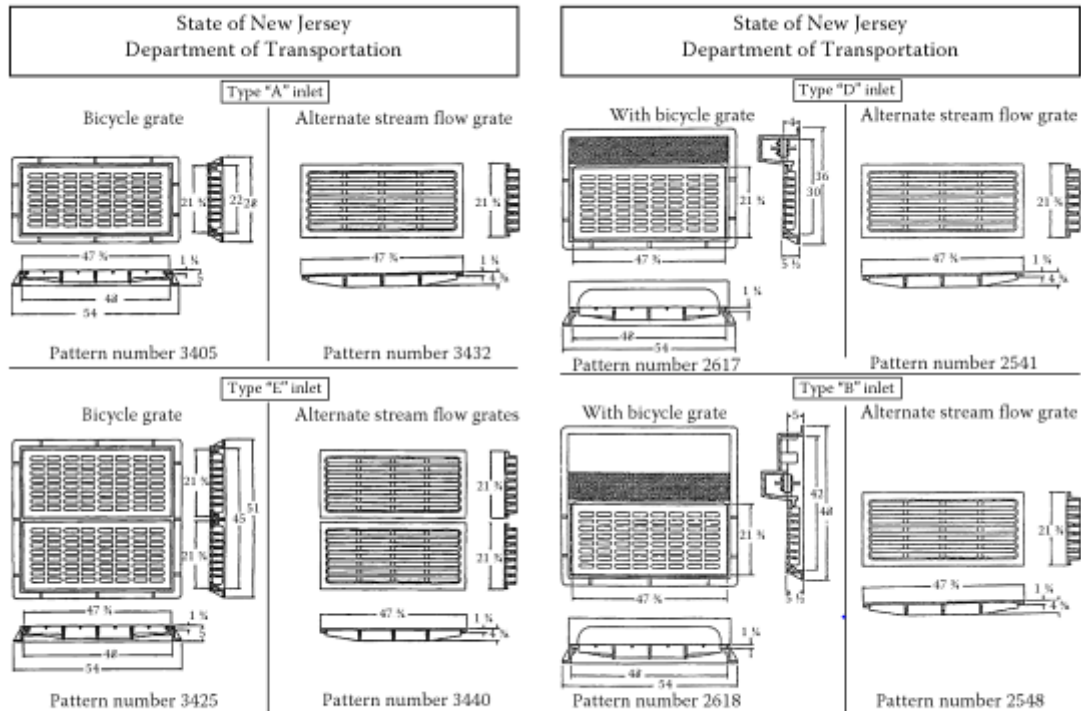


FIGURE 4.11 New Jersey type "A," "B," "D," and "E" inlets.

FIGUR 10: NEW JERSEY RISTER (PAZWASH, 2011)

Sammenlignet med de små firkantristene fra Ulefos som er testet i laboratoriet er disse omtrent like brede, og omtrent dobbelt så lange. New Jersey Department of transportation har utviklet følgende formler for kapasiteten på ristene (Pazwash, 2011):

$$Q_i = 5.23 * \frac{Sx^{0.302}}{S^{0.056}} * (nQ)^{0.5775} \quad \text{FORMEL 2-17}$$

$$E = \frac{Q_i}{Q} = 5.23 * \frac{Sx^{0.302}}{S^{0.056}} * n^{0.5775} / Q^{0.4225} \quad \text{FORMEL 2-18}$$

Her anbefales det å bruke formelen slik den står for risttype A, B og D, mens det for kombinasjonsinntak som type D og B er det en større kapasitet for lave helninger enn for type A. For bruk av disse inntakene kan K verdien økes med en faktor på 1.05 når helningen er mindre eller lik 2%.

Her ser man at faktorene som avgjør effektiviteten på ristene er helning, sideveis helning, ruhet og vannføring

## Avstand mellom rister

Det finnes forskjellige måter å sette krav til avstand mellom sluk. I Norge skriver Statens vegvesen følgende om avstanden mellom sluk (Vegdirektoratet, 2014): «Slukene plasseres med inntil ca. 70 m avstand. Ved avvanning av større arealer reduseres slukavstanden i samsvar med slukristens kapasitet. Kapasiteten avhenger av gjennomløpsarealet og tillatt oppstuvning over risten. (Vanlige gatesluk har kapasitet på ca. 15 l/s).»

Altså brukes det i Norge en grov tilnærming for beregning av avstanden mellom sluk. Dette gjør at det i Norge i dag finnes mange sluk som ikke er gjennomtenkte, og som ikke har noen særlig funksjon (Thorolfsson, 2014). Det gjør også at man underdimensjonerer i bunnen av lavbrekk, siden man ikke tar hensyn til at en del av vannet renner forbi risten, og at det samles opp i bunnen.

I USA baseres avstanden mellom ristene på tilgjengelig spredning av vannet. Den tilgjengelige spredningen baseres på grad av trafikksikkerhet. For motorveger er tilgjengelig spredning på vannet vegskulderen, mens det for mindre veger kan tillates en større spredning. Deretter er prosedyren for å beregne mellomrommet mellom ristene gitt ved følgende: (Pazwash, 2011)

- a) Beregn vannføringen i rennesteinen
- b) Beregn spredningen på vannet
- c) Beregn kapasiteten på risten, og effektiviteten. Juster beliggenheten til rista hvis nødvendig for å oppnå den ønskede effektiviteten, og beregn den videreførte vannmengden
- d) Beregn vannføringen på risten nedenfor. Legg til den videreførte vannmengden fra forrige rist
- e) Repeter steg «b» til «d» gjennom hele systemet

NJDOT design manual oppgir 400 fot (125 meter) som maksimal avstand mellom ristene. Samtidig stiller det krav om minimum 75% effektivitet på ristene. (Pazwash, 2011)

### **Fortauskantåpning**

Vannstrømmen gjennom en fortauskantåpning opptrer som overløpsstrømning frem til åpningen er fullstendig dykket. For et fortauskantinntak uten nedsenking og overløpsstrømning er vannføringen gitt ved (Pazwash, 2011):

$$Q = 1.66 * L * d^{1.5} \quad \text{FORMEL 2-19}$$

*L er lengden på fortauskantinntaket  
d er dybden på vannet ved fortauskantåpningen.*

Under dykkede forhold blir formelen for vannføringen gjennom fortauskantinntaket (Pazwash, 2011):

$$Q = 0.67 * L * h * (2gh_0)^{\frac{1}{2}} \quad \text{FORMEL 2-20}$$

*h er høyden på åpningen  
 $h_0 = (d-h/2)$ , som er vanddybden til midten av åpningen  
 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$*

For nedsenkede fortauskantinnløp blir formelen for dykkede innløp den samme, mens det for overløpsstrømning endres til (Pazwash, 2011):

$$Q = 1.25(L + 1.8W_0)d^{1.5} \quad \text{FORMEL 2-21}$$

*Her er  $W_0$  bredden til nedsenkingen*

Kapasiteten på fortauskantåpningen er sterkt avhengig av høyden på vannstanden. Maksimal høyde pleier å være på mellom 100 og 150 mm. Nødvendig lengde for å fange opp vannmengden i et tverrsnitt med konstant sidelengs helning er gitt ved følgende formel (Mays, 1999):

$$L_T = K_T Q^{0.42} S_L^{0.3} * \left( \frac{1}{n * S_x} \right)^{0.6} \quad \text{FORMEL 2-22}$$

$L_T$  er lengden på fortauskantåpningen som skal til for å fange opp 100% av vannmengden

$K_T$  er en konstant

$Q$  er vannføringen på veien

$S_L$  er helningen på veien i lengderetning

$S_x$  er helning i tverretning

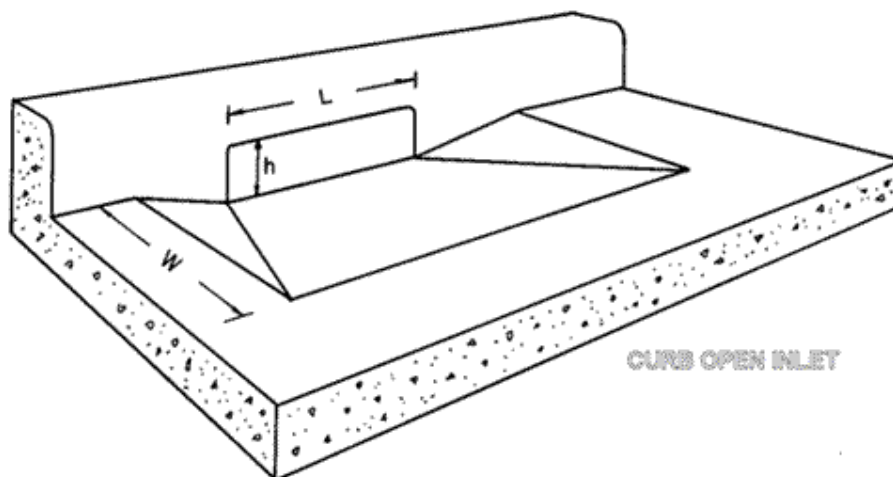
$n$  er Manningtallet til vegoverflaten. Ligger mellom 0 og 1

Ut ifra formelen ser man at lengden på fortauskantåpningen som er nødvendig for å fange opp alt vannet, er avhengig av vannføringen, helningen på veien og tverrfallet på veien. Lavt tverrfall, liten helning og stor vannmengde gir behov for en lang fortauskantåpning. Verdt å merke seg er at alle faktorene er opphøyd i et tall godt under 1, slik at når for eksempel vannføringen dobles, vil ikke lengden på fortauskantåpningen dobles. Effektiviteten (E) for en rist som er kortere enn lengden som må til for å fange opp alt vannet er gitt ved:

$$E = 1 - \left( 1 - \left( \frac{L}{L_{100}} \right) \right)^{1.8} \quad \text{FORMEL 2-23}$$

$L_{100}$  er lengden på fortauskantåpningen som fanger opp alt vannet.

Ut i fra formelen over vil fortauskantåpningen som skal til for å oppnå 75% effektivitet være  $L=0.54L_{100}$

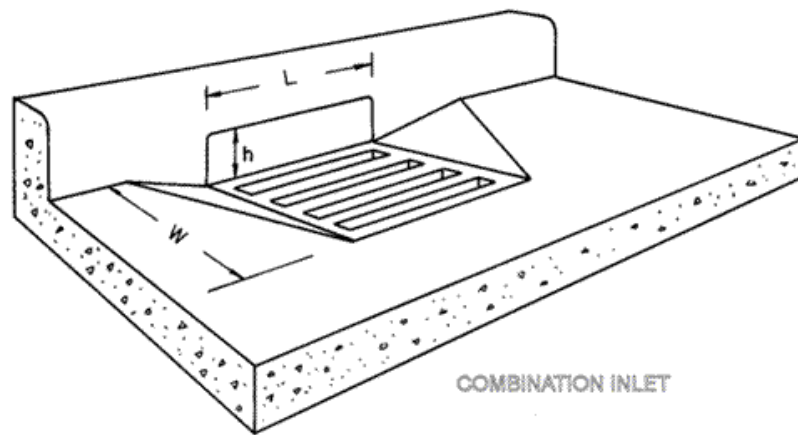


FIGUR 11: FORTAUSKANTÅPNING (SCHALL, 2001)

## Kombinasjonsinntak

Kombinasjonsinntak er en type inntak som består av både ristinntak og fortauskantåpning. Ved dimensjonering av kapasiteten i USA tar man ikke hensyn til fortauskantåpningen. Denne er i hovedsak for å fange opp skrapgods. Et alternativ her er å plassere fortauskantåpningen oppstrøms ristinntaket. Da blir den totale kapasiteten lik kapasiteten på fortauskantåpningen pluss kapasiteten til

ristinntaket, med unntak av at noe av vannet som normalt skulle passert rista, blir fanget opp av fortauskantåpningen (Mays, 1999).



FIGUR 12: KOMBINASJONSINNTAK: (SCHALL, 2001)

### Slisserenne (langsgående inntak)

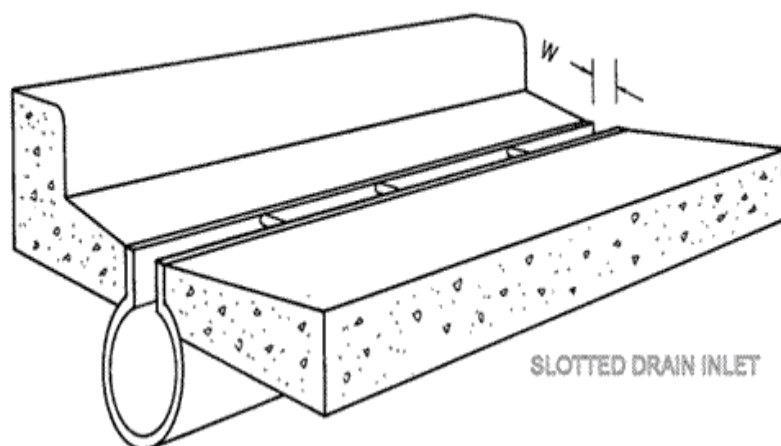
Slisserenner fører til lite ulemper for trafikk og kan brukes både i områder med og uten fortau. De er spesielt effektive i tilknytning til flyplass-striper, parkeringsplasser, garasjetun, og veier med liten lengdehelning (Pazwash, 2011).

Hvis slisserennen er plassert rettvinklet i forhold til vannføringen, virker inntaket på samme måte som et kort ristinntak. Hvis man antar en «splash-over» hastighet på 0.3m/s og ingen sidevannføring kan formlene for ristinntak brukes. Hvis inntaket derimot er plassert parallelt med vannstrømmen er kapasiteten til et langsgående inntak og fortauskantåpning likt (Mays, 1999).

Det finnes ikke tilgjengelig forskning på hvordan langsgående inntak håndterer skrapgods (Mays, 1999).



Figur 13: Eksempel på norsk slisserenne (Skjæveland Cementstøperi, 2014)



Figur 14: Slisserenne: (Schall, 2001)

## 2.4 Hydraulic Engineering Circular No. 22 Third Edition (HEC-22)

Den hydrauliske kapasiteten til rister har blitt undersøkt av flere produsenter og andre. Her kommer en oppsummering fra den viktigste, som Hydraulic Engineering Circular No. 22 (HEC-22) er basert på.

HEC-22 er en manual Federal Highway Administration (FHWA) har laget for design av overvannsløsninger. I denne forbindelse fikk de Bureau of Reclamation til å gjøre hydrauliske beregninger av ristinntak og slisserenner. Her testet de syv rister, hvor fire rister var rangert på topp i tester av sikkerhet for syklist, tre var med tilsvarende design som de sykkelsikre og en var med parallelle riller, som ble brukt som standard for å sammenligne de andre ristene med. Her er vannføringen ( $Q$ ) definert ved følgende uttrykk:

$$E = \frac{Q_1}{Q} \quad \text{FORMEL 2-24}$$

$E$  = Effektiviteten på innløpet

$Q$  = Total vannføring

$Q_i$  = Oppfanget vannmengde

I figur 15 er to av ristene som ble testet vist.

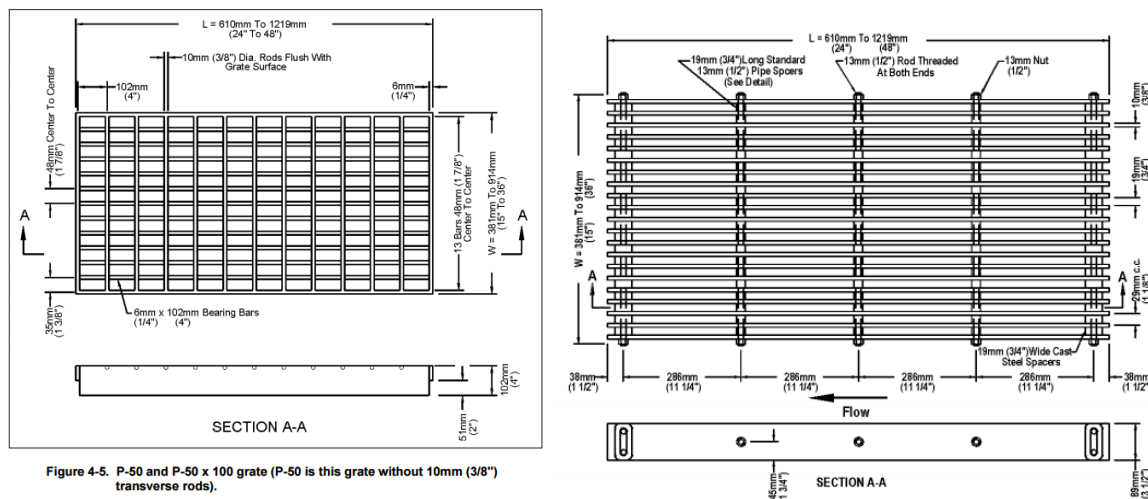


Figure 4-5. P-50 and P-50 x 100 grate (P-50 is this grate without 10mm (3/8") transverse rods).

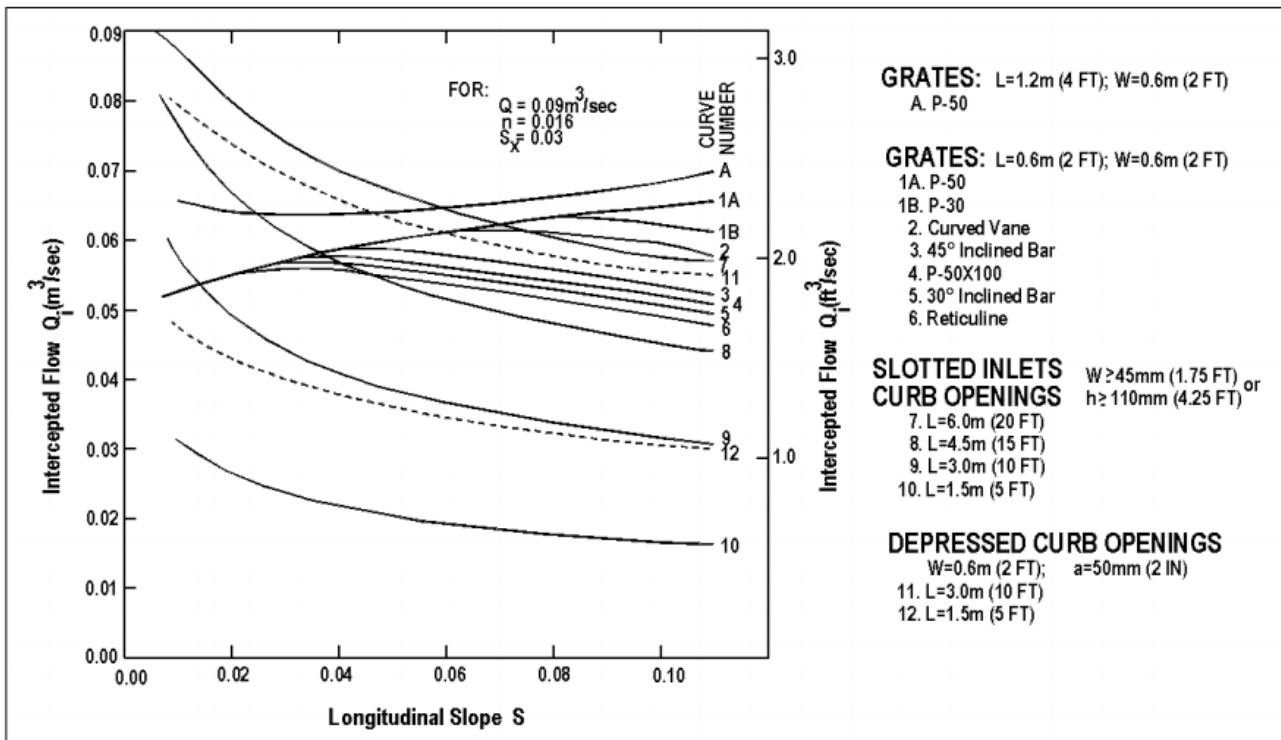
FIGUR 15: TO AV RISTENE SOM BLE TESTET I HEC-22 (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2009)

I laboratorieforsøkene fant de ut at kapasiteten på alle ristene øker med økende vannføring, mens effektiviteten synker med økende vannføring. Både kapasiteten og effektiviteten er avhengig av mengden vann, størrelse og utforming av rista og hastigheten på vannet. I tillegg er den totale vannmengden en faktor for effektiviteten. (Federal Highway Administration, 2009)

Kapasiteten til fortauskantinntak er strengt avhengig av lengden på rista, og dybden på vannet. Slisserenner oppfører seg på samme måte som langsgående fortauskantinntak. (Federal Highway Administration, 2009)

Kombinasjonsinntak har omtrent samme kapasitet som et ristinntak på tilsvarende lengde. Fortauskantintakdelen øker ikke kapasiteten nevneverdig, men hindrer gjentetting. En mer effektiv utforming kan være å plassere fortauskantinntaket oppstrøms ristinntaket. Da blir kapasiteten tilsvarende fortauskantinntaket pluss ristinntaket, når man tar hensyn til den reduserte spredningen og dybden over ristinntaket, samtidig som man får fordelen med redusert fare for gjentetting (Federal Highway Administration, 2009).

I HEC-22 undersøkte de også hvordan kapasiteten for forskjellige inntak forandret seg avhengig av helning. Her ser man at for ristinntak øker kapasiteten på rista for økende helning og konstant vannføring frem til «splash-over» hastigheten blir oppnådd, deretter synker den. Kapasiteten til nedløpet synker når helningen øker for både slisserenna og fortauskantinntaket.



FIGUR 16: KAPASITET FOR FORSKJELLIGE RISTTYPER (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2009)

De testet også hvordan forskjellige rister taklet skrap. Da kom de frem til følgende tabell:

Rank	Grate	Longitudinal Slope	
		0.005	0.04
1	Curved Vane	46	61
2	30° - 85 Tilt Bar	44	55
3	45° - 85 Tilt Bar	43	48
4	P - 50	32	32
5	P - 50x100	18	28
6	45° - 60 Tilt Bar	16	23
7	Reticuline	12	16
8	P - 30	9	20

FIGUR 17: HVORDAN FORSKJELLIGE RISTER TAKLER SKRAP (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2009)

## 2.5 Sandfang

Det finnes ikke noen oversikt over hvor mange sandfang det finnes i Norge, men det er snakk om i størrelsesorden flere hundre tusen. Antall sandfang i noen av de store byene i Norge er følgende; Oslo 35 000, Bergen 10 000, Trondheim 10 000, Tromsø 3 500 og Kristiansand 4 500 (Thorolfsson, 2011). Sandfang fungerer som mekanisk rensing ved at de tunge partiklene synker til bunns, og blir igjen i sandfanget, mens vannet går videre.

Overvannet inneholder betydelige mengder sand og grus. Dette er i hovedsak sand og grus fra vinterstrøing. Det kan også skyldes eroderte masser fra omkringliggende arealer. En annen viktig kilde er avslitt materiale fra asfalten i vegbanen. (Mosevoll & Lindholm, 1986) Overvannet inneholder også en del partikulært bundne forurensninger. Disse vil også fanges opp av et sandfang.

Det er vanlig å bygge sandfang mellom et overvannsluk og selve hovedledningen for overvann (Mosevoll & Lindholm, 1986).



FIGUR 18: BILDE AV SANDFANG (BASAL, 2015)

Sandfang brukes som en del av overvannssystemet, og har flere hensikter: (Mosevoll & Lindholm, 1986)

- Minske faren for avleiringer i avløpsnett. Slike avleiringer kan forårsake tilstoppinger i ledningen.
- Minske slitasjen i avløpsledningene og i pumper
- Minske utslippet av forurensninger fra regnvannsoverløp i ledningsnett lagt etter fellessystemet
- Minske innholdet av forurensninger i overvannet fra sterkt trafikkerte veger

Sandfang er avhengig av å tømmes regelmessig, slik at de ikke fylles opp, og mister renseeffekten. Det ble i 1988 laget en prosjektrapport som undersøkte effektiviteten til sandfang, og som undersøkte hvor mye sand som ble vasket ut ved forskjellige vannføringer. (Mosevoll & Lindholm, 1986)

Det ble bygget en modell av et sandfang med diameter på 1,0 meter, og 150 mm utløp, og testet for forskjellige vannføringer, hvor vannføringen kom fra et bisluk, samt et ristlokk. Det ble testet for vannføring fra ristlokket alene, i kombinasjon med bisluket, og bisluket alene.

Her fant de at en sandfangskum med diameter 1,0 meter og 150 mm utløp har en hydraulisk kapasitet på opptil 20-25l/s. Sandutvaskingen ved 10l/s fra ristlokket var på omtrent 90 liter, mens det for 15 og 20l/s var en betydelig sandutvasking.

Hvis sandfangskummen ikke har tilstrekkelig kapasitet eller ikke blir tømt regelmessig vil det føre til at den blir full. Hvis det da kommer en nedbørshendelse som er større enn kummen er dimensjonert for vil det føre til at sanden i kummen blir vasket ut, noe som igjen fører til at det vil bli en stor forurensningsbelastning over en kort periode. Derfor er det bedre å ikke ha sandfang, enn å ha et sandfang som har for stor belastning, eller som ikke blir tømt regelmessig.

I britiske «Design manual for Roads and Bridges» (Highways Agency, 2001) er kapasiteten til sandfang gitt til å være:

- 10 l/s for sandfang med 100 mm utløpsrør
- 15 l/s for sandfang med 150 mm utløpsrør



### 3. Metode

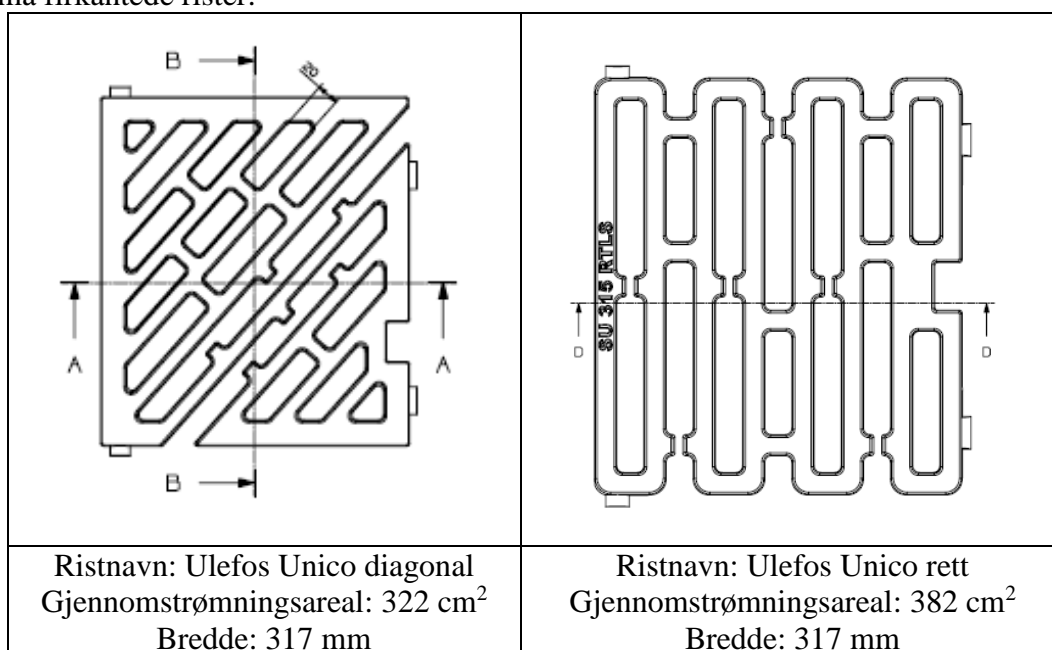
#### 3.1 Måleutstyr

- Induktiv sensor for vannføringsmålinger
- Thomson V-overløp
- Punktmåler for innmåling av vanndybde
- 2 jekker for justering av helning på modellen
- Høydemåler V-overløp
- Sony Xperia Z3 Compact til videofilming og fotografering

#### 3.2 Risttypene som er testet

- To små firkantede rister
- To runde rister
- Ett kombinasjonsinntak

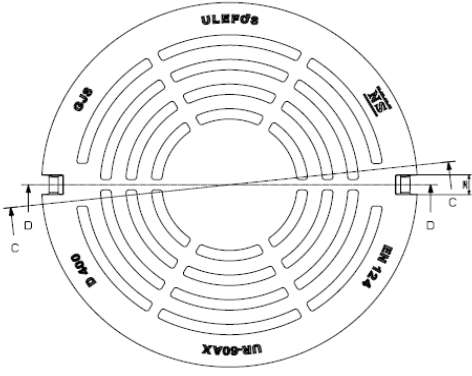
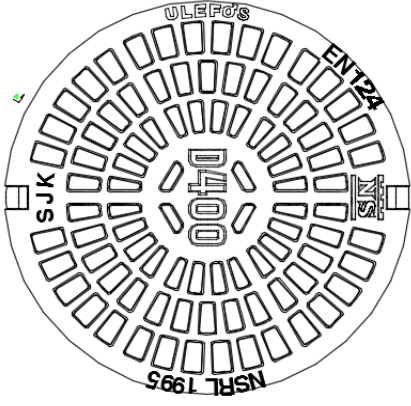
To små firkantede rister:



FIGUR 19: DE SMÅ RISTENE SOM ER TESTET I LABORATORIET

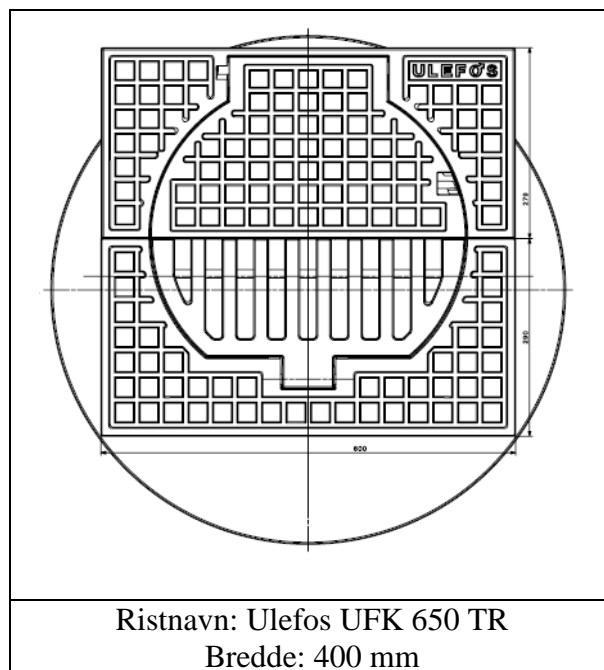


To runde rister:

	
<p>Ristnavn: Ulefos UR-60AX Gjennomstrømningsareal: 880 cm<sup>2</sup> Bredde 667 mm</p>	<p>Ristnavn: Ulefos NSR-1995 Gjennomstrømningsareal: 1000 cm<sup>2</sup> Bredde: 644 mm</p>

FIGUR 20: DE STORE RUNDE RISTENE SOM ER TESTET I LABORATORIET

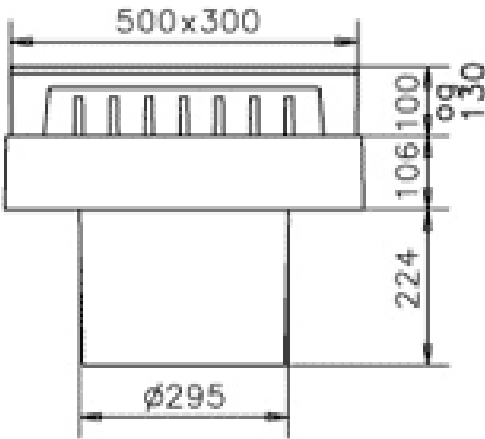

Et kombinasjonsinntak:



FIGUR 21: KOMBINASJONSINNTAKET SOM ER TESTET I LABORATORIET

### 3.3 Risttypene som er gjort en teoretisk betraktning på

- To fortauskantinntak

	
<p>Ristnavn: Ulefos UFK-300 Bredde: 500 Gjennomstrømningsareal: 113 cm<sup>2</sup></p>	<p>Ristnavn: Ulefos Kjeftesluk 650 mm<sup>1</sup> Bredde 650 mm</p>

FIGUR 22: DE TO FORTAUSKANTINNTAKENE SOM ER GJORT TEORETISKE BEREGNINGER PÅ

### 3.4 Modellen

Det er tatt utgangspunkt i modellen som ble laget i prosjektoppgaven. Modellen er laget for å teste rister i skala 1:1. Modellen er laget for å teste forskjellige rister, for å sammenligne de mot hverandre og finne den hydrauliske kapasiteten til de forskjellige ristene.

Vannet blir først pumpet opp til et høydebasseng via det sentrale vannsystemet i laboratoriet. Her finnes det to pumper, en på 100 l/s og en på 200 l/s. Deretter går vannet i rør ned til modellen, hvor det er en ventil som åpnes for at vannet skal komme inn i modellen. Så passerer vannet en måler som måler hvor mye vann som passerer. Deretter er det nok en ventil, som brukes til å justere vannmengden inn i modellen. Det er brukt en vannmengde fra 10 l/s til 60 l/s i disse forsøkene. Vannet strømmer inn i modellen, hvor det passerer en terskel som er satt opp for å få en jevn vannstrøm over hele tverrsnittet. Så passerer vannet en netting, som fungerer som en energidreper, for å få roligere strømningsforhold. Vannet går så inn i modellen

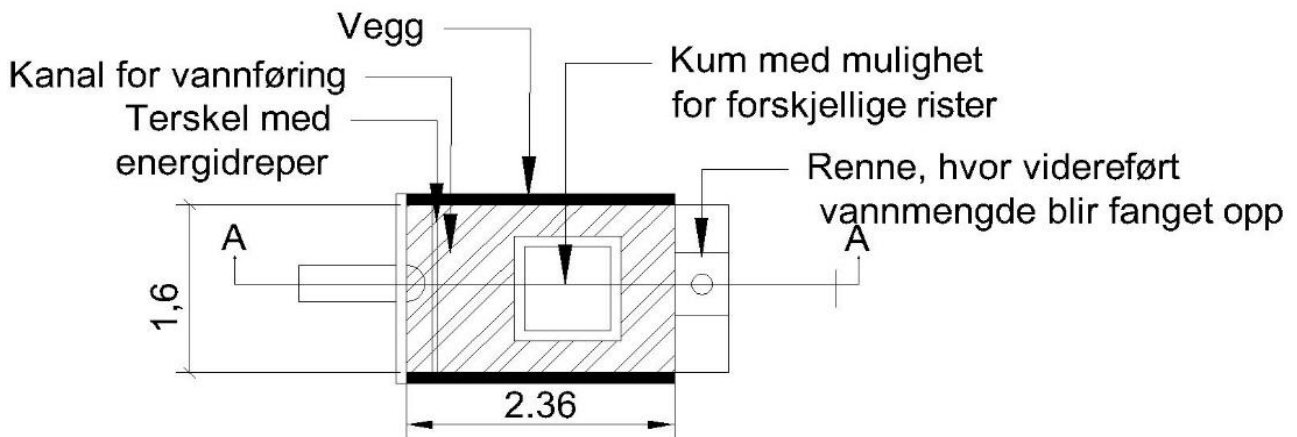
Deretter går vannet gjennom modellen, hvor vandybden blir målt med en lasermåler, før noe vann går ned i kumristen, mens det resterende går i overløp. Det vannet som går gjennom kumristen går over et V-overløp, hvor vannmengden måles manuelt ved å finne høyden, og regne ut den tilhørende vannmengden. Dermed vet man hvor mye vann som kommer inn, og hvor mye vann som går gjennom kumristen, og kan regne ut hvor mye som går videre, ved å ta vannføring inn minus vannføring i kum.

Modellen er laget med et hull i midten, for å ha plass til kumristen og kumrammen. Dette gjør det mulig å bytte ut kumristen og kumrammen. Det er laget rammer for de mindre ristene, slik at man har testet de forskjellige ristene i samme modell. For fortauskantinntaket er det laget en ramme, samt bygget opp en fortauskant for å få testet dette

<sup>1</sup> Har ikke verken tegning eller navn på denne rista, så i denne oppgaven er navnet Ulefos Kjeftesluk brukt, og det er brukt et fotografi.

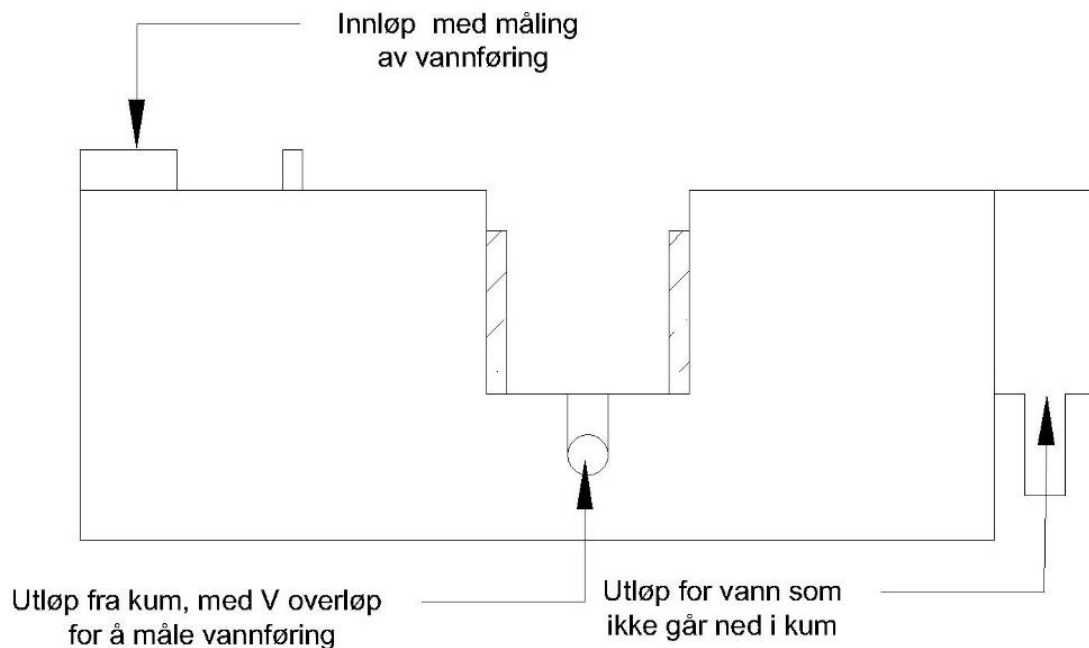
Man har mulighet til å endre helningene, slik at det er mulig å teste hvordan de forskjellige risttypene oppfører seg ved forskjellig helning i både lengde- og tverretning. Dette skyldes at man har mange forskjellige typer helning på forskjellige veier i virkeligheten. Det er mulig å teste opp til 8% helning i både tverr- og lengderetning. I denne oppgaven er det testet for forskjellige helning i lengderetning med null tverrfall, mens det for fortauskantinntakene er testet for 3% tverrfall. Under følger plantegning, profiltegning og bilder av laboratorieforsøkene:

## Plan



FIGUR 23: PLANTEGNING AV MODELLEN

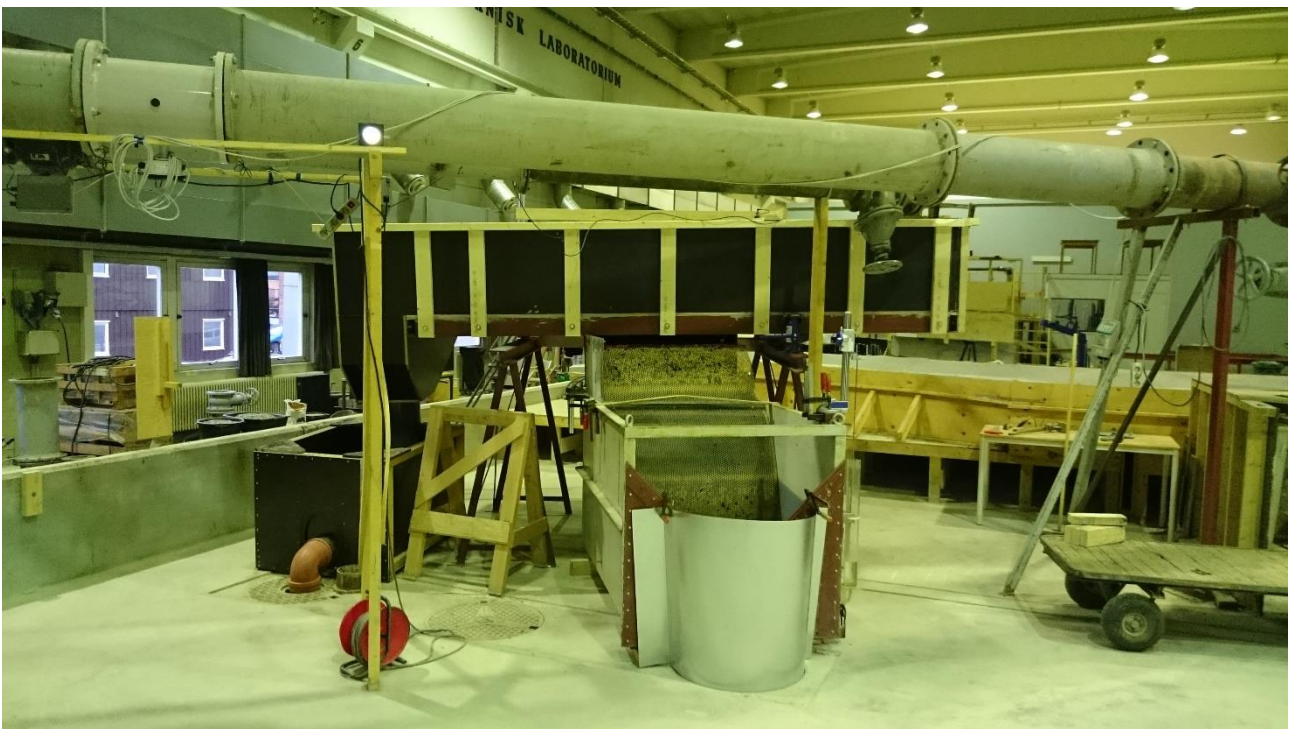
## Profil: Snitt A-A



FIGUR 24: PROFILTEGNING AV MODELLEN

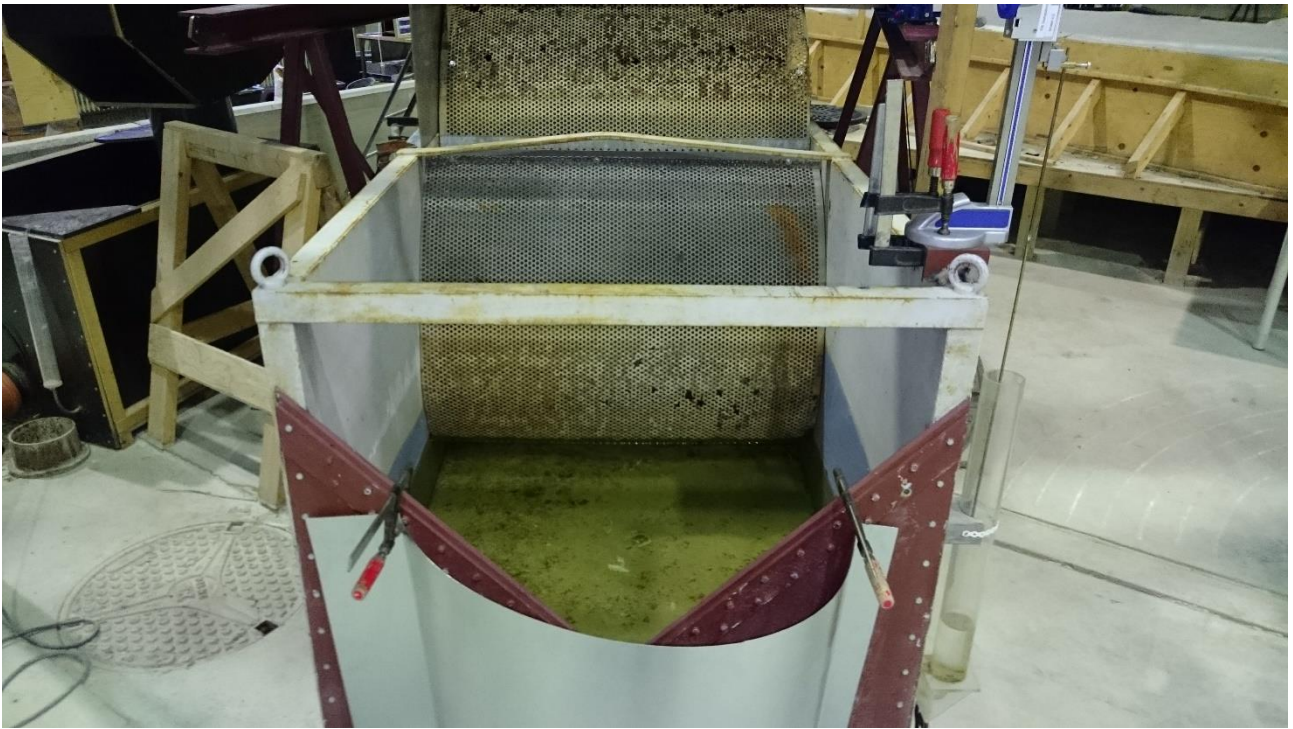


FIGUR 25: MODELLEN SETT SKRÅTT OVENFRA



FIGUR 26: MODELLEN SETT FRA SIDEN

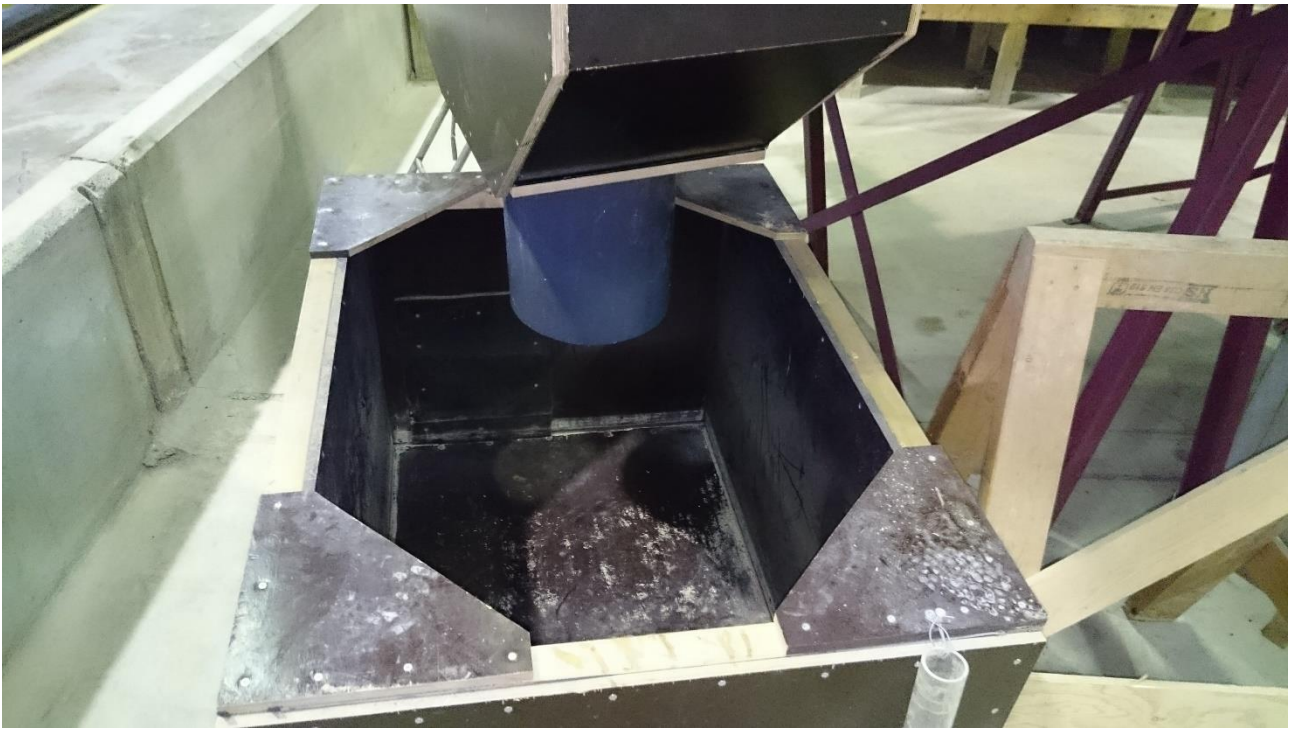




FIGUR 27: V-OVERLØPET SOM MÅLER VANNFØRINGEN GJENNOM KUMMEN



FIGUR 28: SPJELDVENTIL FOR Å JUSTERE VANNMENGDE INN I MODELLEN



FIGUR 29: AVLØPET FRA MODELLEN



FIGUR 30: MÅLING AV VANNMENGE INN I MODELLEN



### 3.5 Måling

Vannet i modellen er hentet fra det sentrale vannforsyningssystemet i laboratoriet, hvor vannet først pumpes opp i et høydebasseng, for deretter å gå ned i modellen. Det kan brukes to forskjellige pumper for å pumpe vannet opp i høydebassenget. Disse er på henholdsvis 100 l/s og 200l/s.

Vannføring inn i modellen måles ved hjelp av en induktiv sensor. Vannføringen inn i modellen varierer med omtrent 0.1-0.2l/s når den skal være konstant.

For å måle høyden over V-overløpet måles høyden på magasinet bak V-overløpet. Her er det plassert en slange i bunnen av magasinet, som går til et målebeger på utsiden av magasinet. Dermed vil vannstanden her være like høy som i magasinet. Her blir vannstanden målt ved en digital høydemåler, som måler relativ endring av vannhøyden. Ved å måle høyden ved forskjellige vannføringer, samt uten noen vannføring finner man vannstandshøyden over V-overløpet. Dette blir manuelt målt, og notert ned.

For å justere helningen på modellen står det to hydrauliske jekker ved innløpet. Dette gjør det mulig å justere helningen i både lengderetning og tverretning opp til litt over 8%. Måten modellen er bygd opp gjør at når man skal ha tverrfall må man også ha fall i lengderetning.

For å finne vannhastigheten i modellen er det brukt en lasermåler oppstrøms kummen, som måler lengden fra utsendingspunktet på laseren til den treffer noe. Denne har en oppløsning på 1 mm for manuell avlesning, og omkring 0.1 for datalogging. Her er det brukt manuell avlesning. Her var det også vanskelig å lese av nøyaktig, og vannhøyden varierte med opptil 1-2 mm for samme vannføring inn. Dette skyldes at strømmingen ikke var helt jevn.

Det er oppgitt fra produsent at vannføringen over V-overløpet er gitt ved følgende formel:

$$Q = 0,0146 * h^{\frac{5}{2}} \quad \text{FORMEL 3-1}$$

Feilmarginen ved kalibreringen av V-overløpet er størst for små vannføringer, men fra 10l/s og høyere er den maksimale feilen på 4% Dette er en liten feil.

### 3.6 Testprotokoll

Tabellene under viser hvilke laboratorieforsøk som er gjennomført i løpet av masteroppgaven:

TABELL 4: KAPASITETEN TIL ÅPNE RISTER

Vannføring [l/s]	Helning [%]	Risttype	Antall tester
5, 10, 15, 20, 30, 40	0, 2, 4, 6, 8	Ulefos 220941315, Ulefos SU 315 RTLS, åpent hull for referanse	90
17.5, 20, 22.5, 25, 27.5, 30, 32.5, 35	0, 2, 4, 6, 8	Ulefos 220941315, Ulefos SU 315 RTLS, åpent hull for referanse	120
10, 20, 25, 30, 35	2, 4	Ulefos SU 315 RTLS snudd 90 grader	10
10, 20, 30, 40, 50, 60	0, 2, 4, 6, 8	Ulefos NSR-1995, Ulefos UR-60AX, Åpent hull for referanse	90
<b>Totalt</b>			<b>310</b>

Gjentetting av rister:

TABELL 5: GJENTETTING AV RISTER

Vannføring [l/s]	Helning [%]	Risttype	Gjentetting	Antall tester
10, 20, 30, 40, 50, 60	2, 4	Ulefos NSR- 1995	En rad, to rader	12
10, 20, 30, 40, 50, 60	2, 4	Ulefos UR-60AX	En rad, to rader, tre rader	12
10, 15, 20, 25, 30, 35	2, 4	Ulefos SU 315 RTLS	To rader, fire rader	12
10, 15, 20, 25, 30	2, 4	Ulefos 220941315	Seks rader, åtte rader	12
<b>Totalt</b>				<b>48</b>

Kombinasjonsinntak:

TABELL 6 KOMBINASJONSINNTAK

Vannføring [l/s]	Helning [%]	Risttype	Antall tester
10, 12.5, 15, 17.5, 20	2	Ulefos UFK 650 TR med lokk, med rist og åpent hull	<b>15</b>

### 3.7 Forutsetninger gjort for forsøket

I dette forsøket er det testet uten sideveis helning for ristinntaket. Dette er gjort for å forenkle forsøktakingen. I virkeligheten vil tverrfallet på en rett vegstrekning i Norge være på 3% (Vegdirektoratet, 2013). Samtidig er rista lagt midt i modellen, og ikke inntil veggen. Dette er gjort siden det var slik det passet best med modellen, og gjorde det enklere å holde samme tverrsnitt på modellen for testinga av alle ristinntakene, og dermed enklere oppnå en sammenligning mellom de ulike ristene. Effektiviteten (E) er definert på følgende måte:

$$E = \frac{\text{Kapasitet på rist}}{\text{Kapasitet på åpent hull}}$$



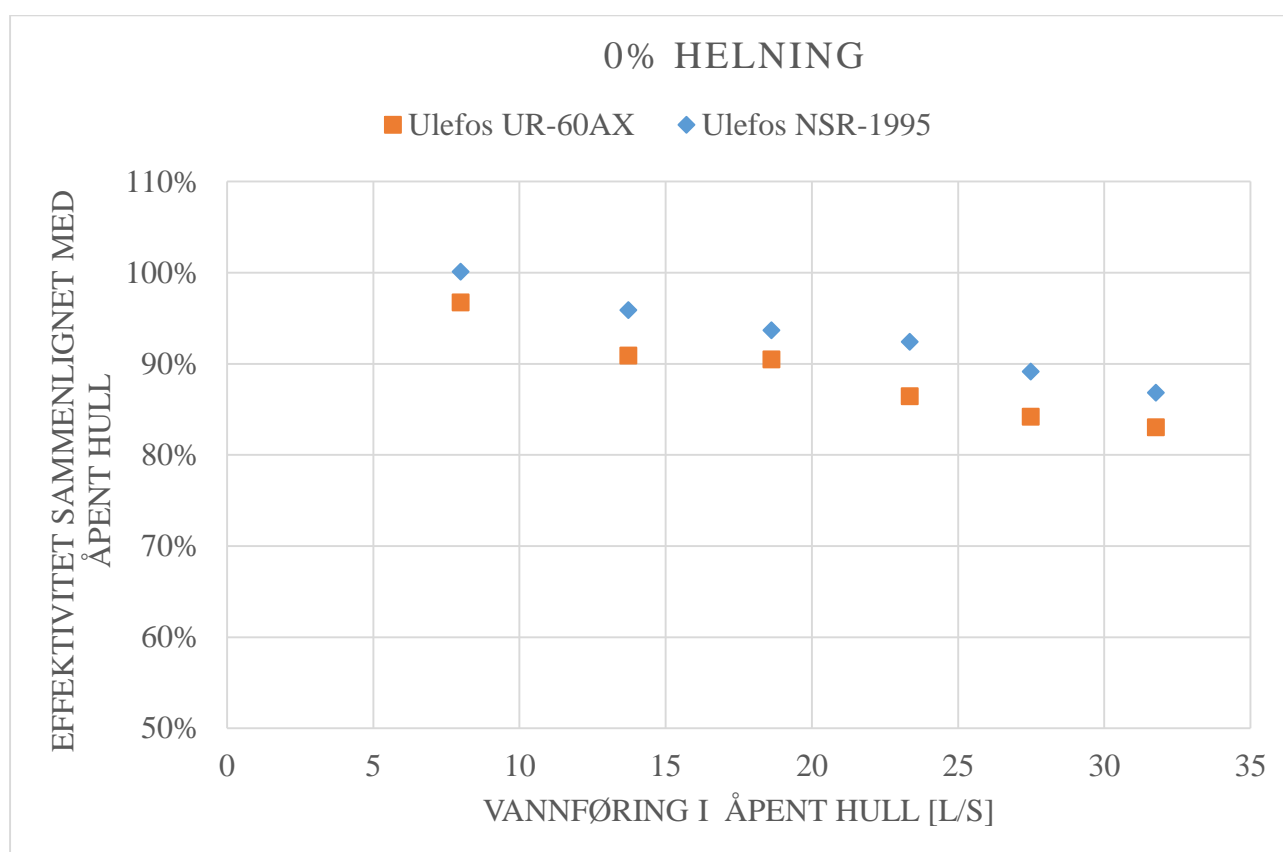
## 4. Resultat

Oppgaven har gått ut på å teste den hydrauliske kapasiteten til 6 forskjellige risttyper. Det har bestått av to store runde rister, to firkantrister, et fortauskantinntak og et kombinasjonsinntak. Det er også testet for gjentetting av de fire ristinntakene. Det er testet for forskjellige helninger, samt for forskjellige vannføringer. Under vil grafene fra resultatene bli presentert, mens selve rådataene kommer i vedlegg 2

### 4.1 Test av store runde rister

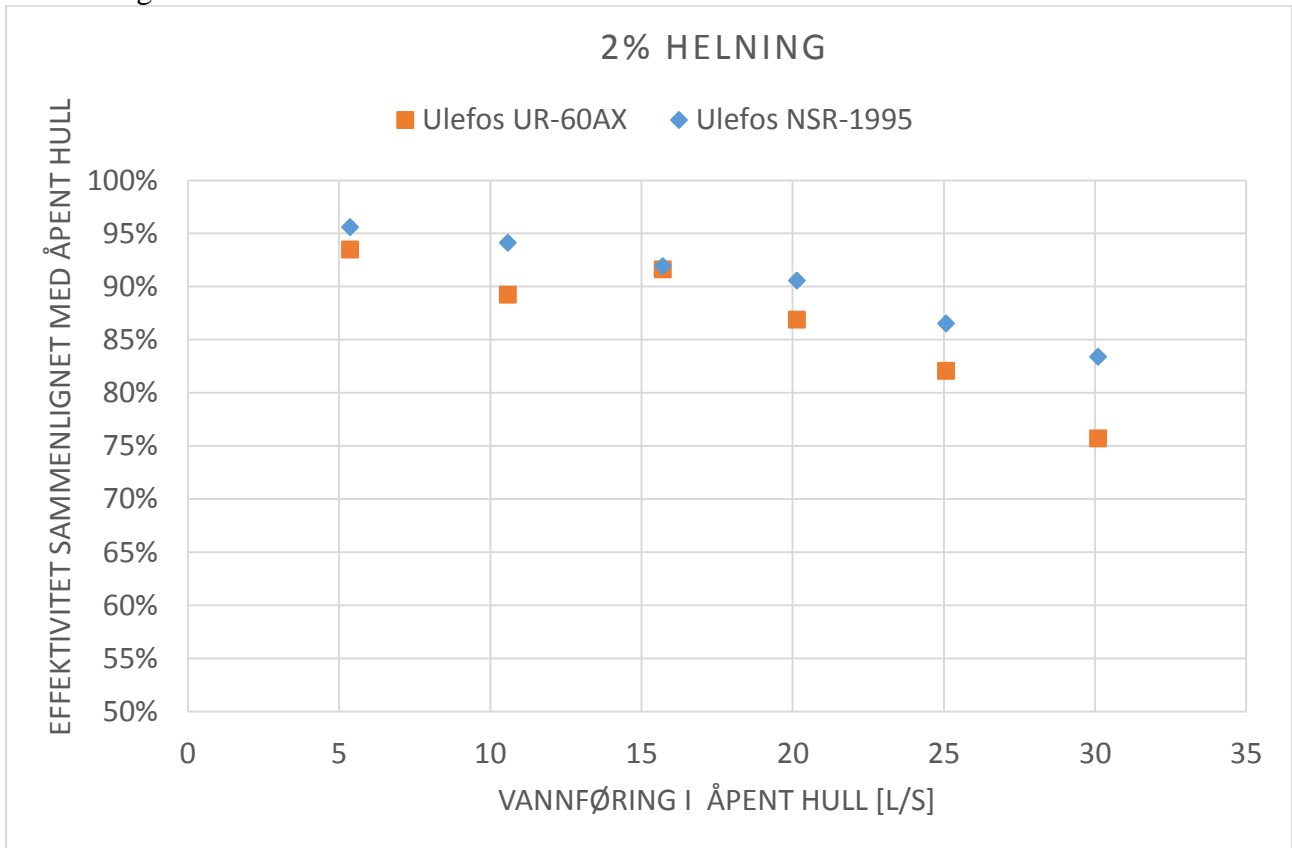
Her følger grafene for testingen av de runde ristene for helning fra 2 til 8%. Her sammenlignes Ulefos UR-60AX, Ulefos NSR-1995, samt et åpent hull, som brukes som referanse. Ut ifra figur 30 til 34 ser man generelt at kapasiteten er størst for et åpent hull (definert som 100%) og mindre for de to ristene. Ser også at kapasiteten er litt større for rista med små hull, i forhold til rista med runde hull. Dette gjelder spesielt for de største vannføringene, og testene med størst helning, hvor det blir tydeligst.

0% helning:



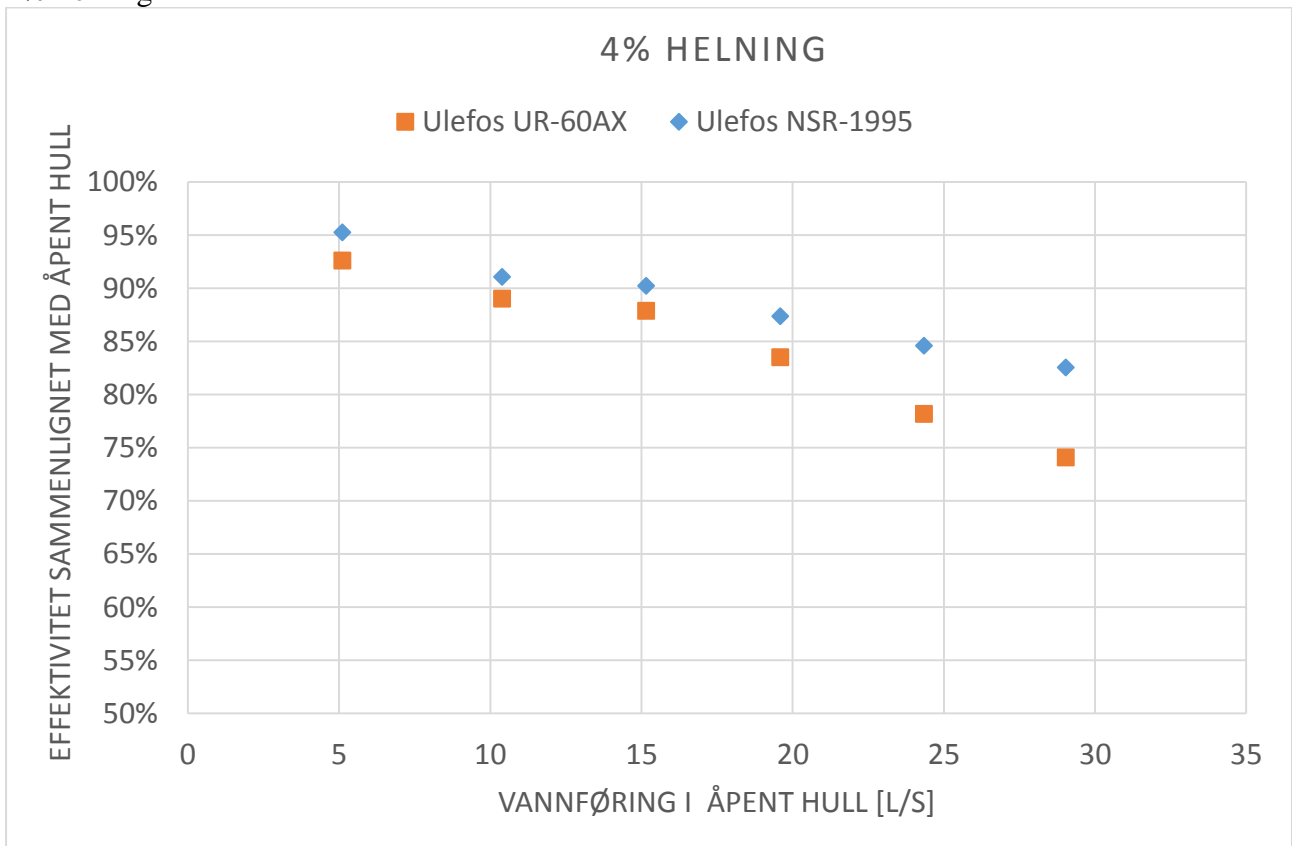
FIGUR 31: TEST AV EFFEKTIVITETEN TIL STORE RUNDE RISTER FOR 0% HELNING

2% helning:



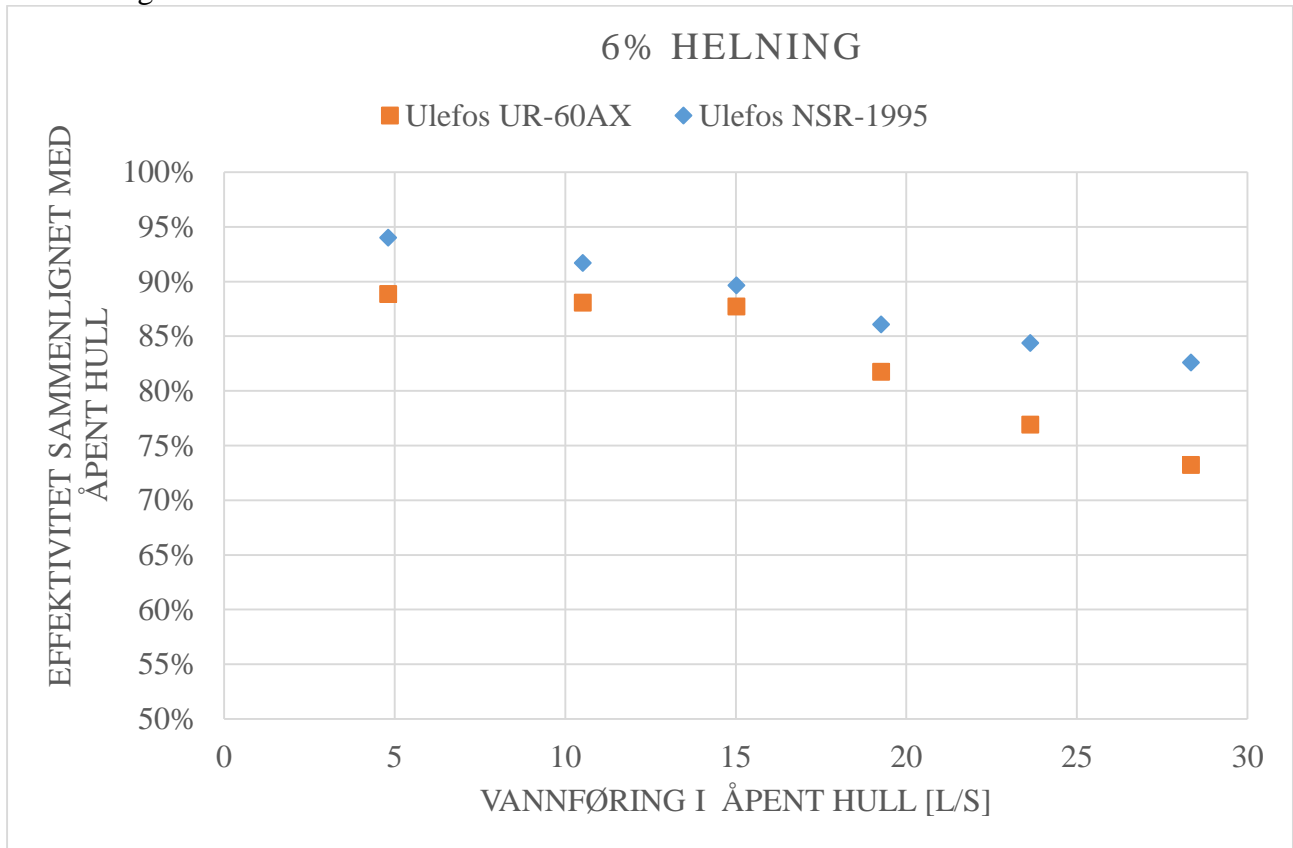
FIGUR 32: TEST AV EFFEKTIVITETEN TIL STORE RUNDE RISTER VED 2% HELNING

4% helning



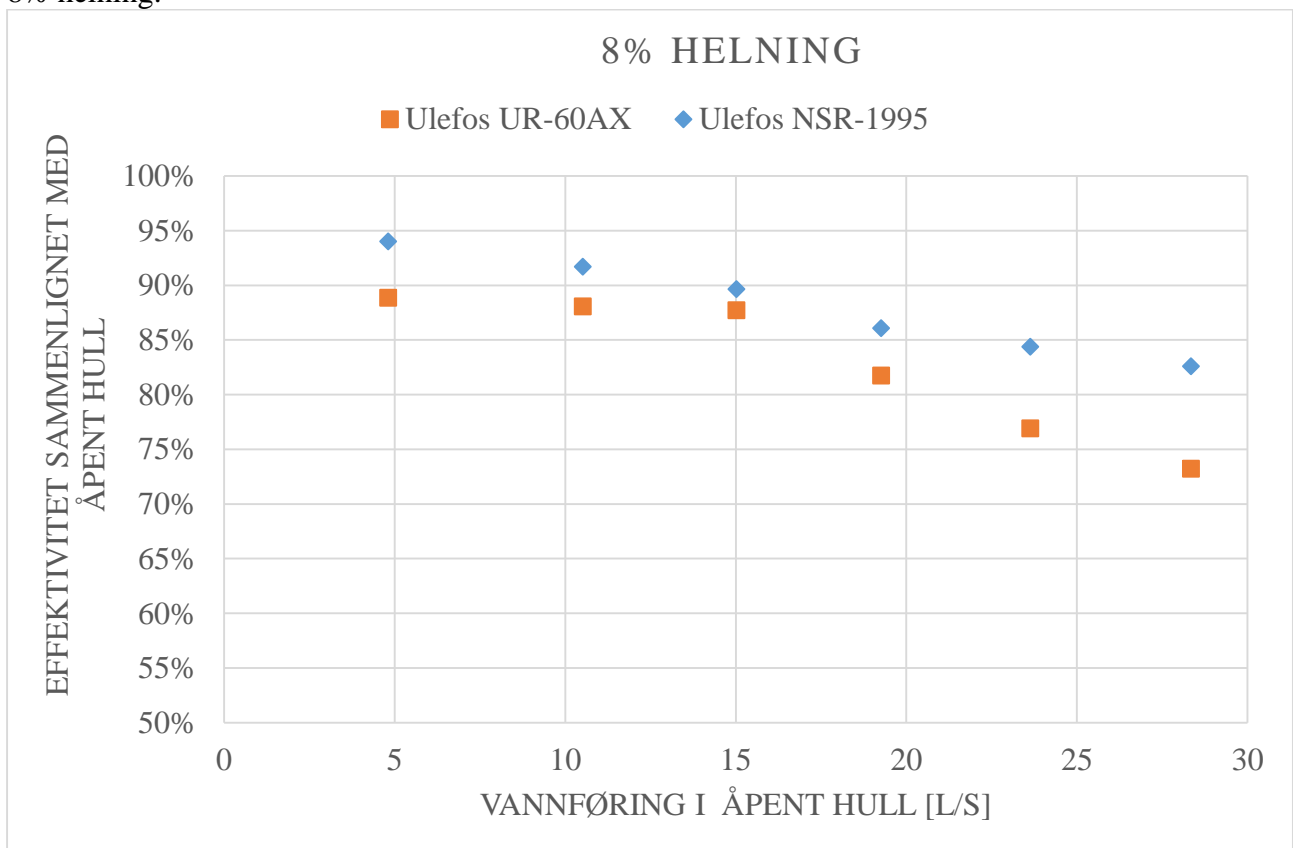
FIGUR 33: TEST AV EFFEKTIVITETEN TIL STORE RUNDE RISTER VED 4% HELNING

6% helning:



FIGUR 34: TEST AV EFFEKTIVITETEN TIL STORE RUNDE RISTER VED 6% HELNING

8% helning:

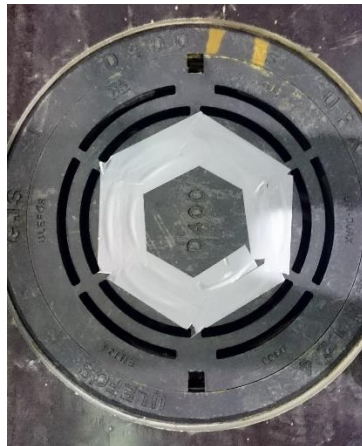


FIGUR 35: TEST AV EFFEKTIVITETEN TIL STORE RUNDE RISTER VED 8% HELNING

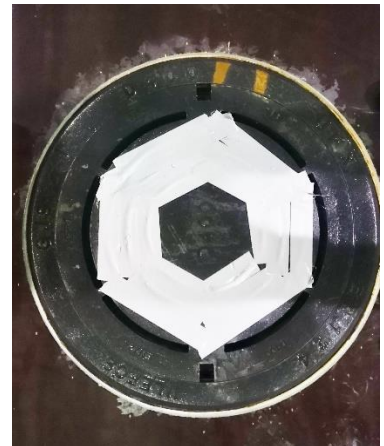
## 4.2 Testing av gjentetting av Ulefos UR-60AX



FIGUR 36: EN RAD GJENTETTET



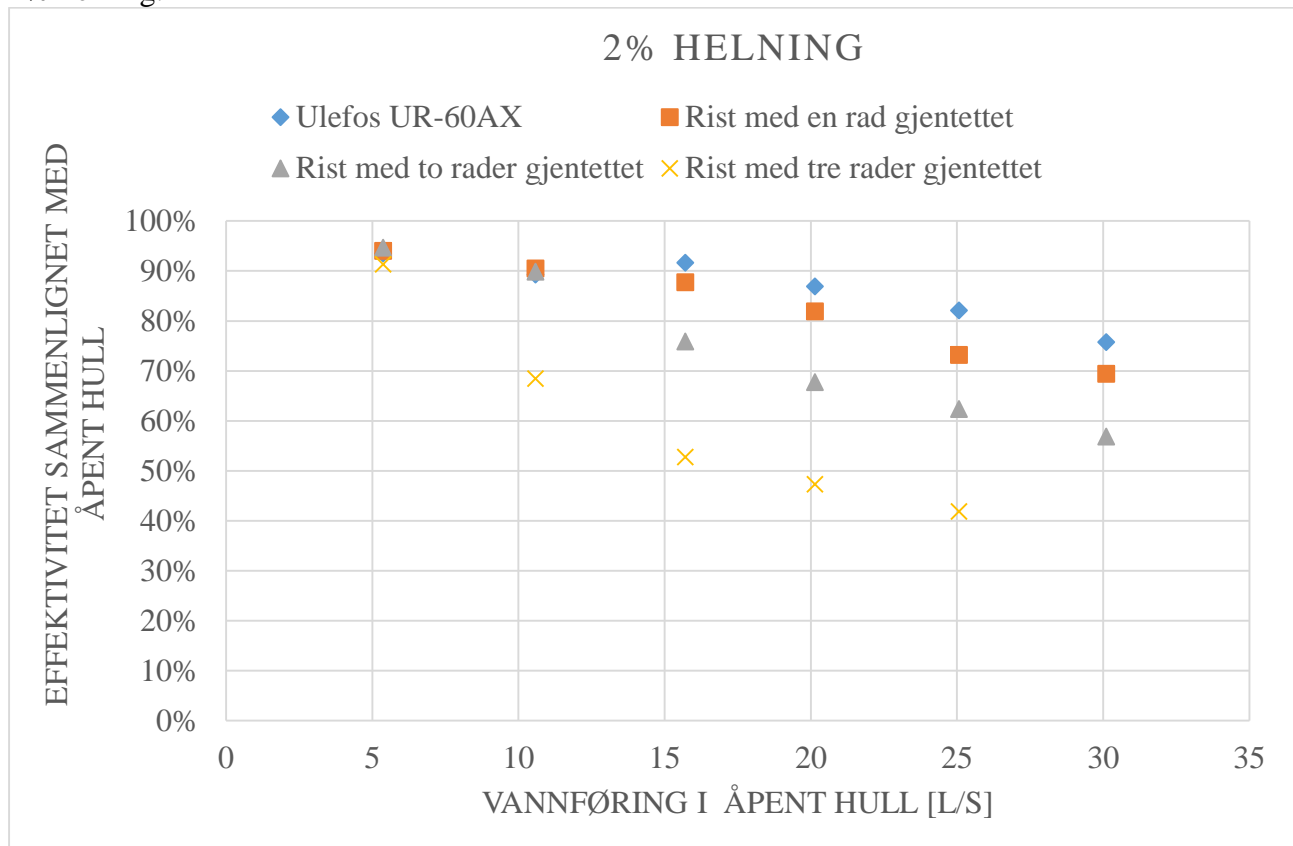
FIGUR 37: TO RADER GJENTETTET



FIGUR 38: TRE RADER GJENTETTET

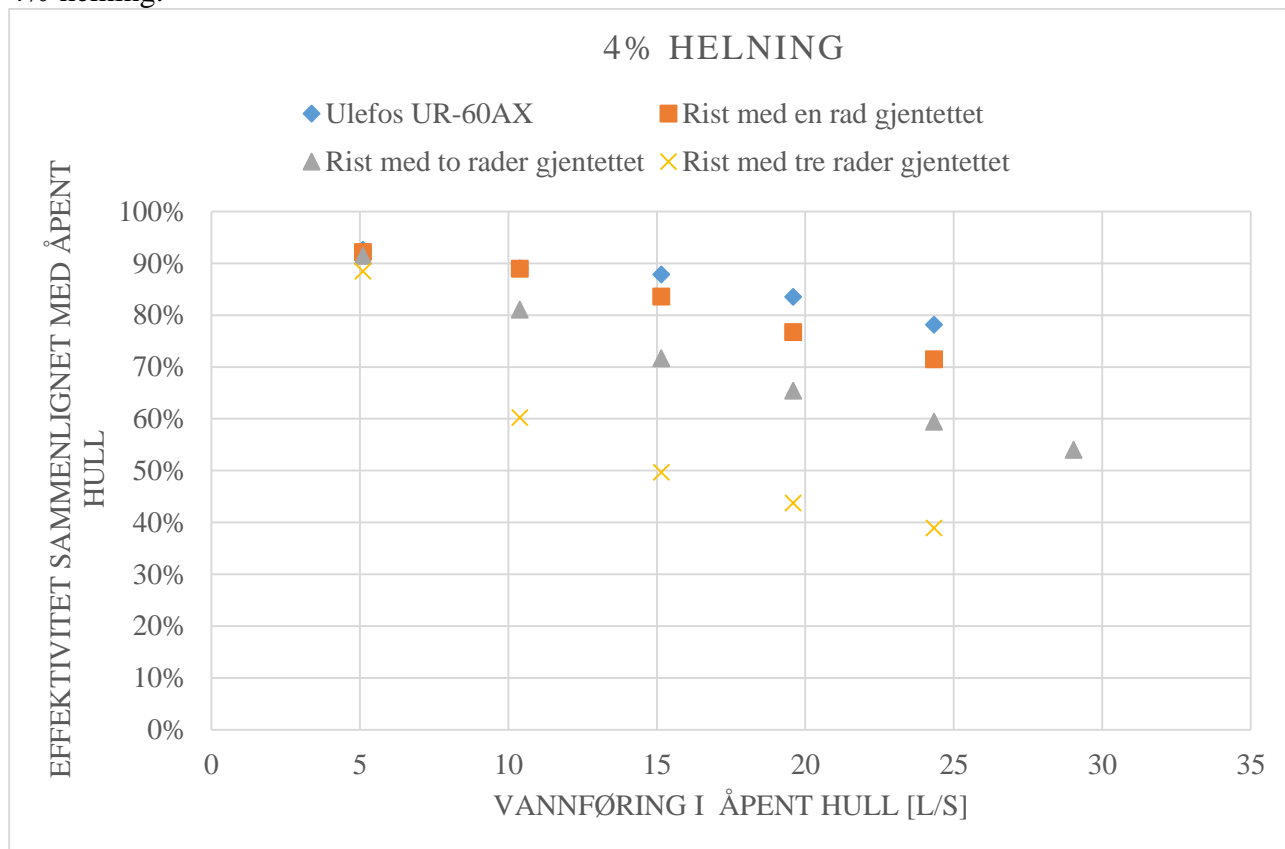
På grafene som følger ser man tydelig at kapasiteten til rista reduseres drastisk når gjennomstrømningsarealet synker. Dette gjelder både for 2% og 4% helning. Dermed er det fornuftig i dimensjonering av ristkapasitet å legge til en faktor for gjentetting. Ser at kapasiteten ikke synker så mye for en rad gjentetting, mens for to rader og tre rader er det en stor reduksjon.

2% helning:



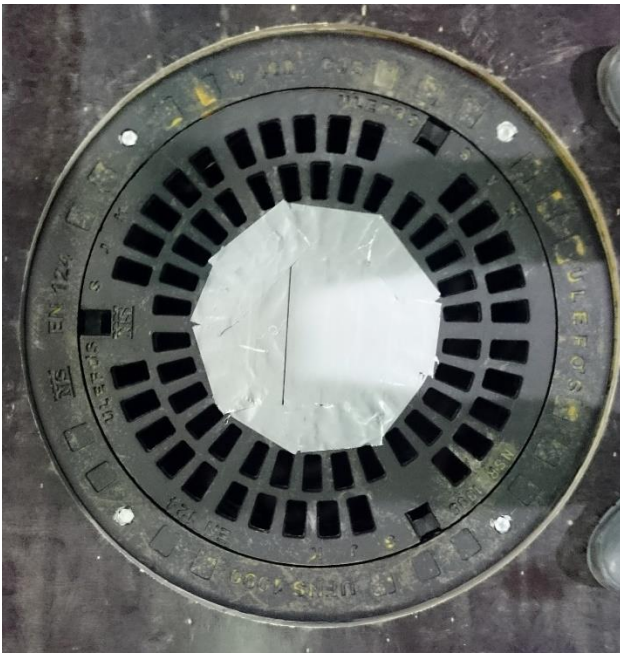
FIGUR 39: TEST AV GJENTETTING FOR ULEFOS-UR-60AX VED 2% HELNING

4% helning:

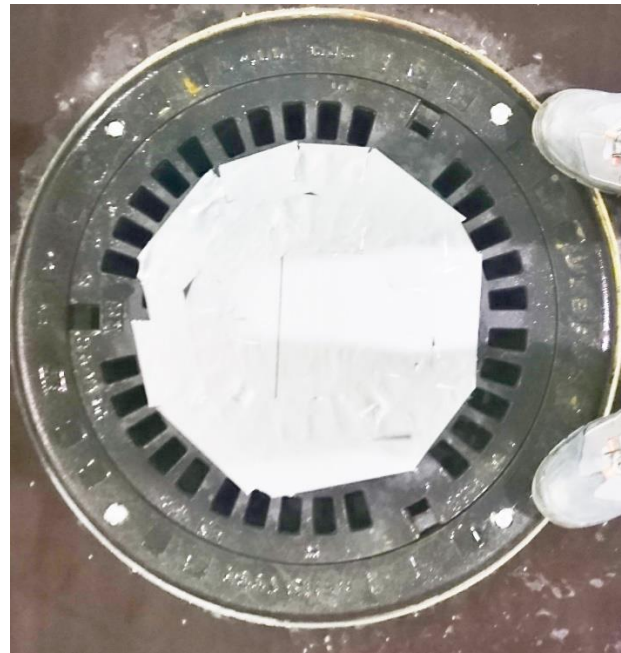


FIGUR 40: TEST AV GJENTETTING FOR ULEFOS-UR-60AX VED 4% HELNING

### 4.3 Testing av gjentetting av Ulefos NSR-1995



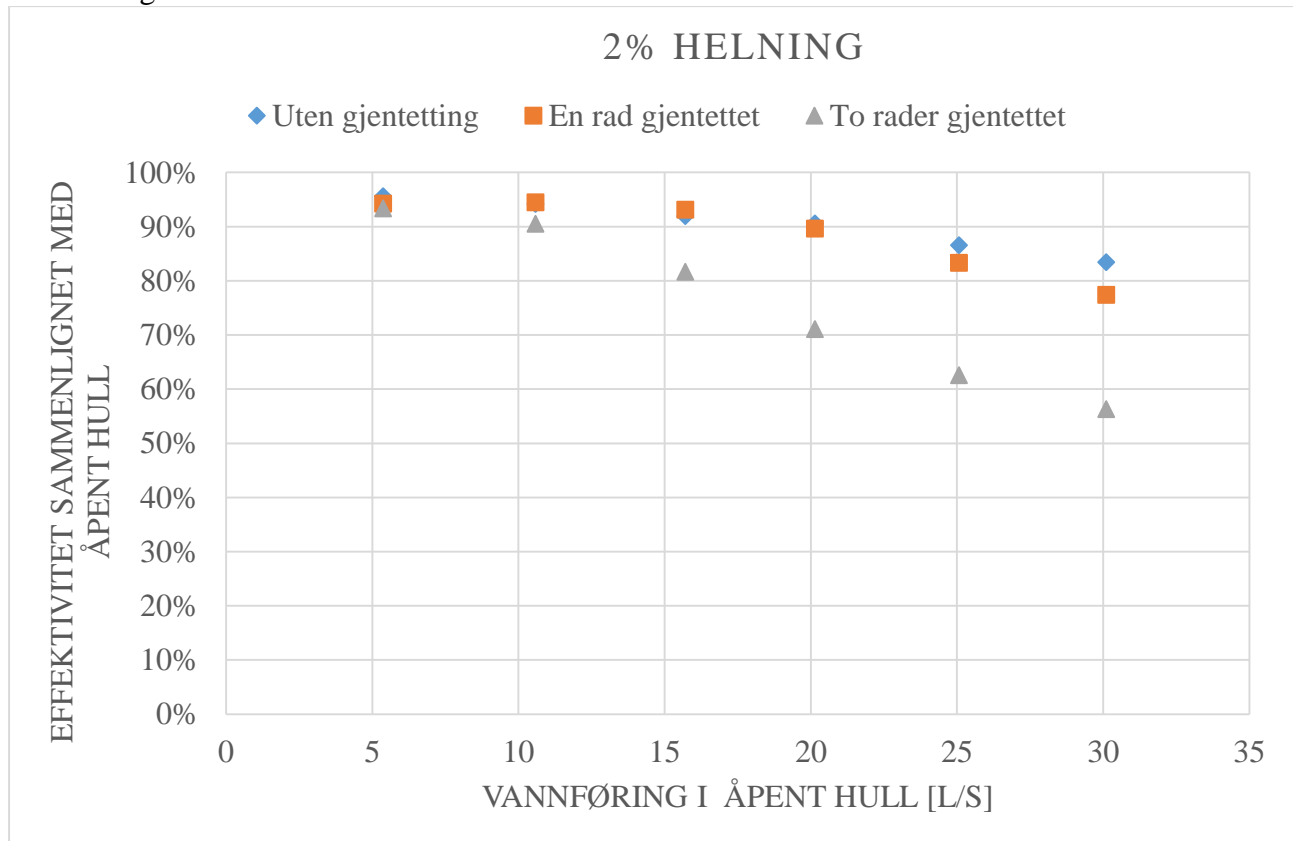
FIGUR 41: EN RAD GJENTETTING



FIGUR 42: TO RADER GJENTETTING

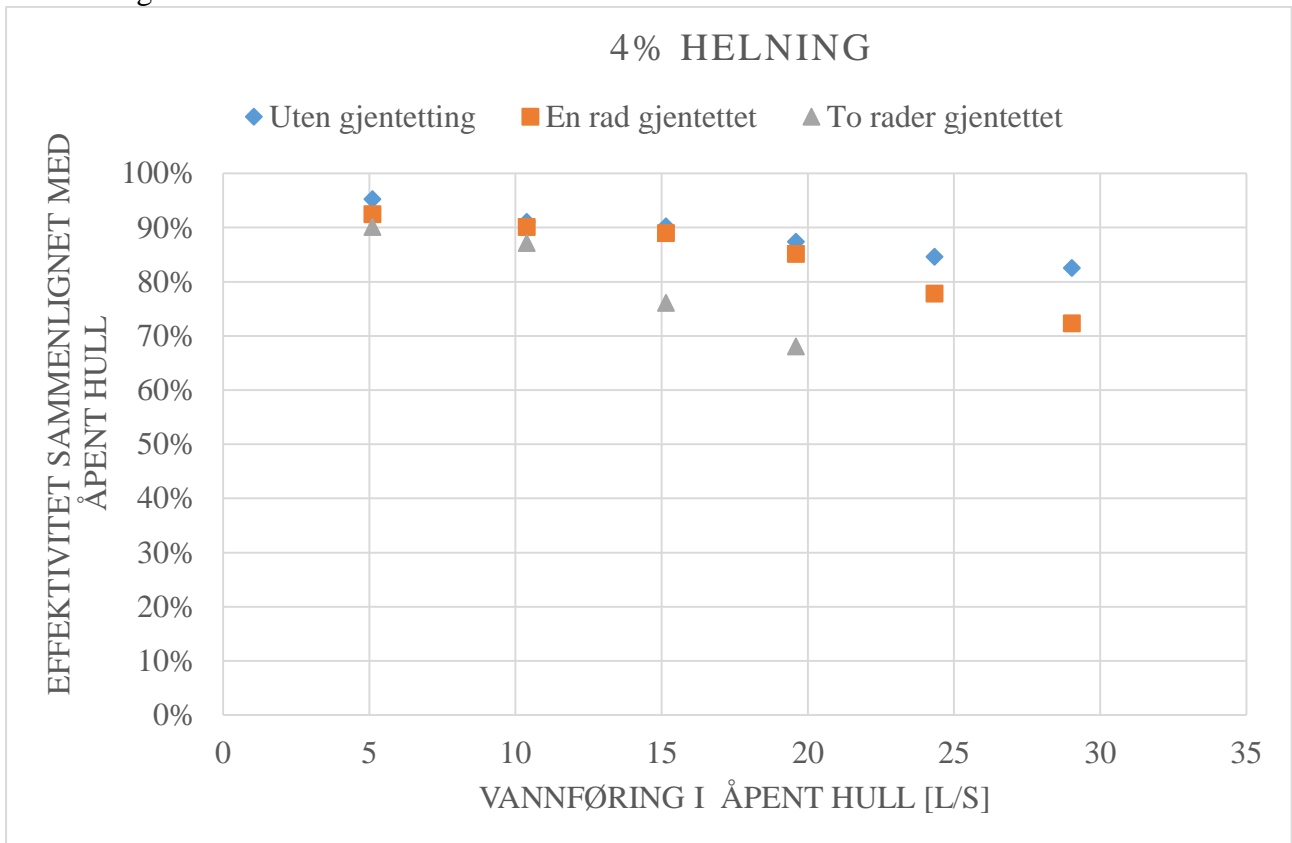
Ser at det ikke er noe særlig reduksjon i kapasitet for en rad gjentetting. For to rader er det en betydelig reduksjon i kapasiteten. Ser at kapasiteten er litt høyere for to rader gjentetting for Ulefos NSR-1995 enn Ulefos UR-60AX.

2% helning:



FIGUR 43: TEST AV GJENTETTING FOR ULEFOS-NSR-1995 VED 2% HELNING

4% helning:

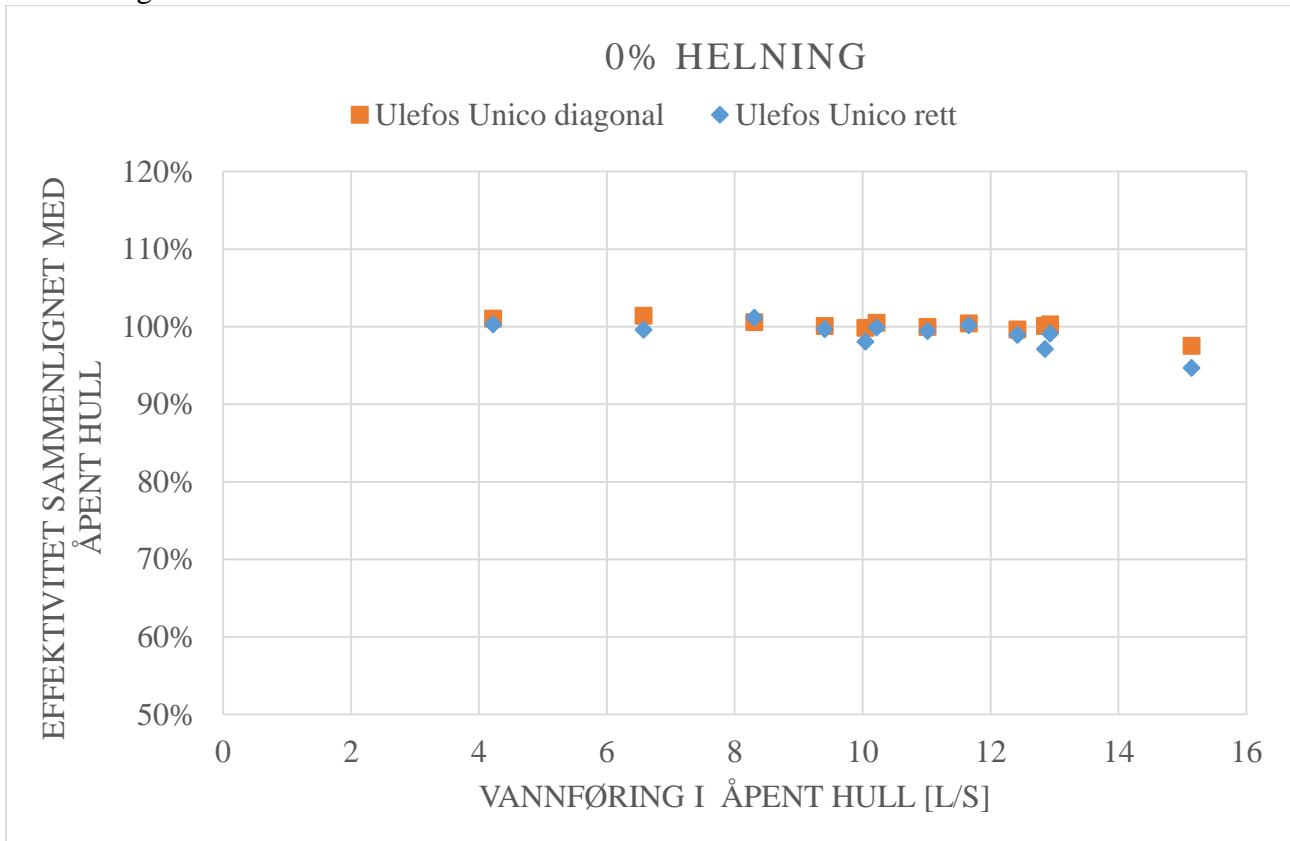


FIGUR 44: TEST AV GJENTETTING FOR ULEFOS-UR-NSR-1995 VED 4% HELNING

#### 4.4 Testing av små firkantede rister:

Ser at kapasiteten ligger på omtrent samme nivå som det åpne hullet for 0% helning. For 2 og 4% helning ligger det rundt samme nivå som det åpne hullet, frem til det begynner å synke rundt 8 l/s. For 6 og 8% helning begynner kapasiteten å synke rundt 7l/s. For alle helningene er det ikke noe forskjell mellom de to risttypene

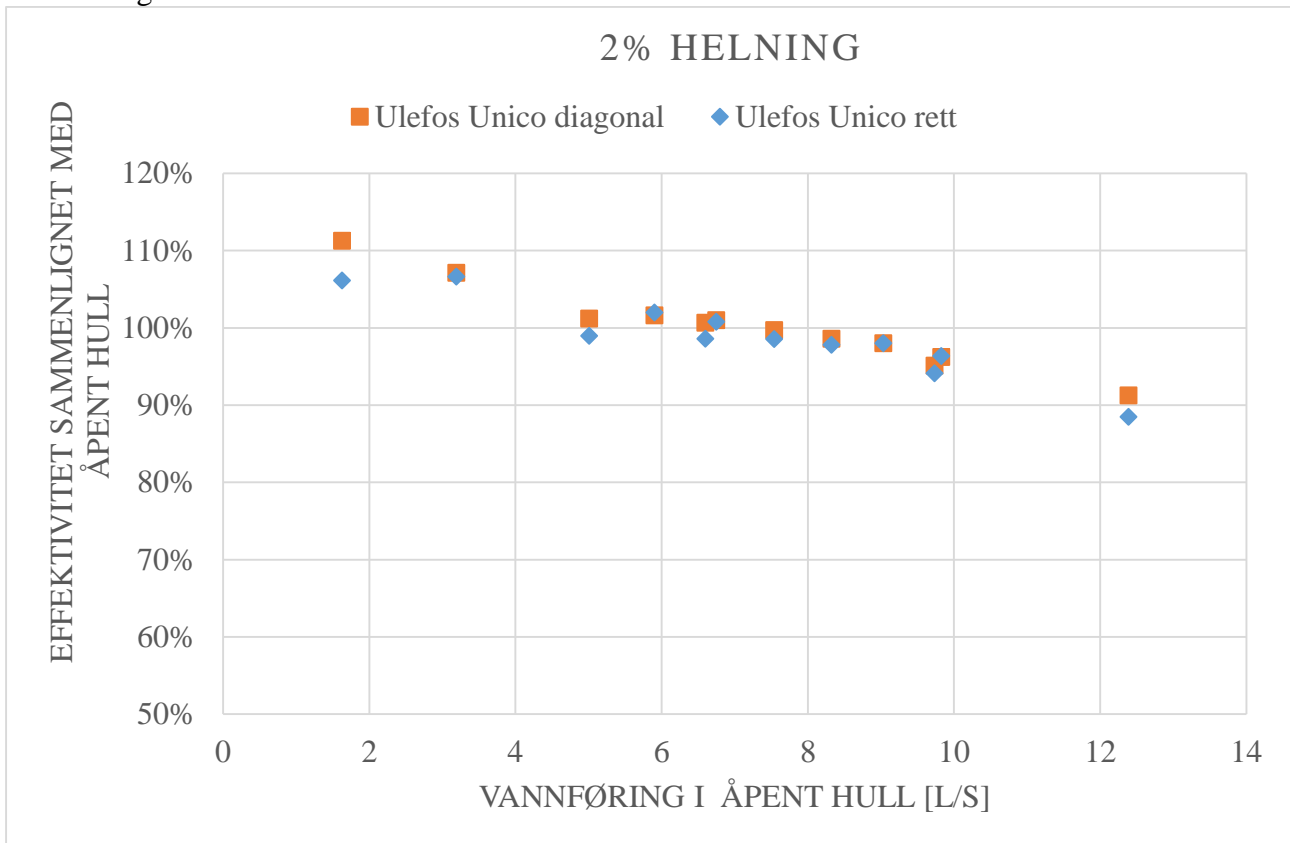
0% helning:



FIGUR 45: TEST AV SMÅ FIRKANTEDE RISTER FOR 0% HELNING

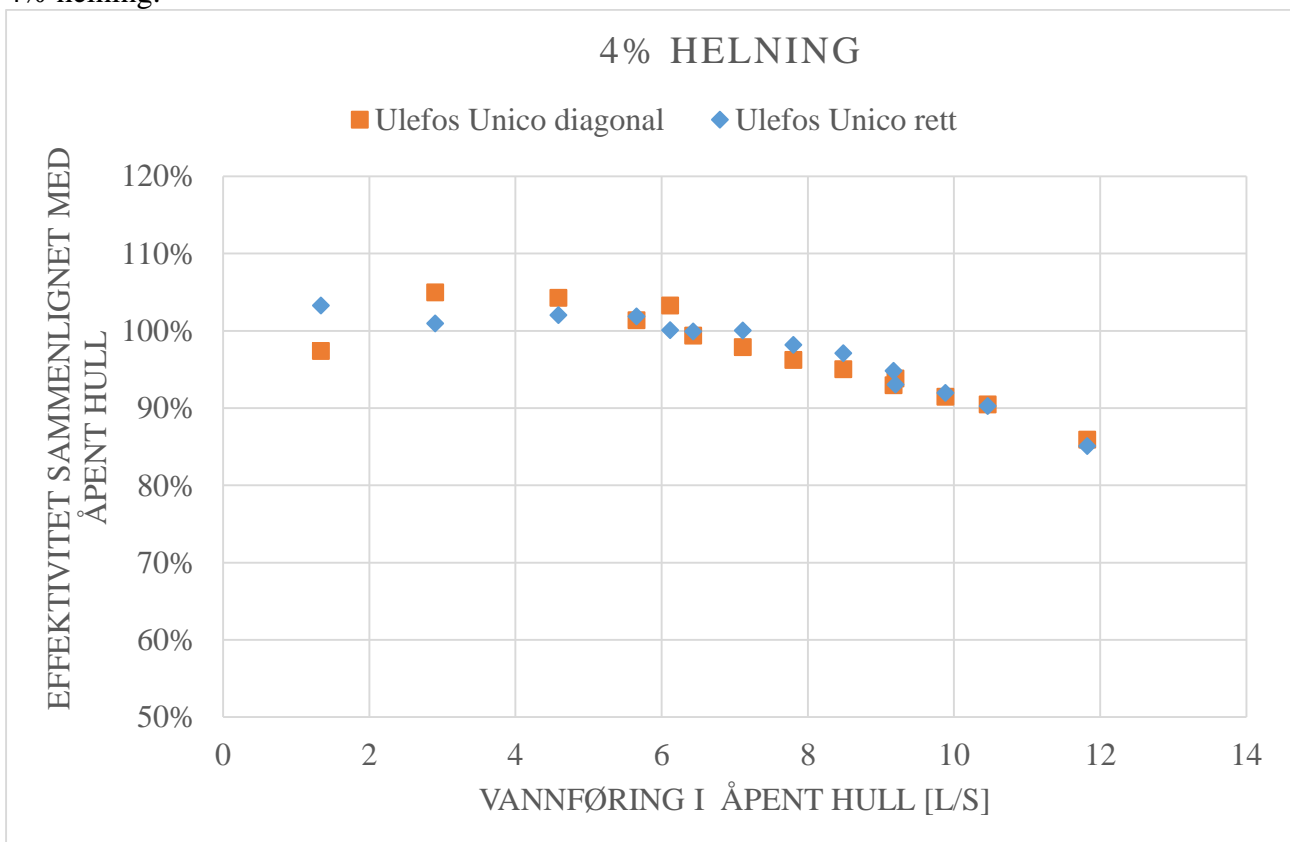


2% helning:



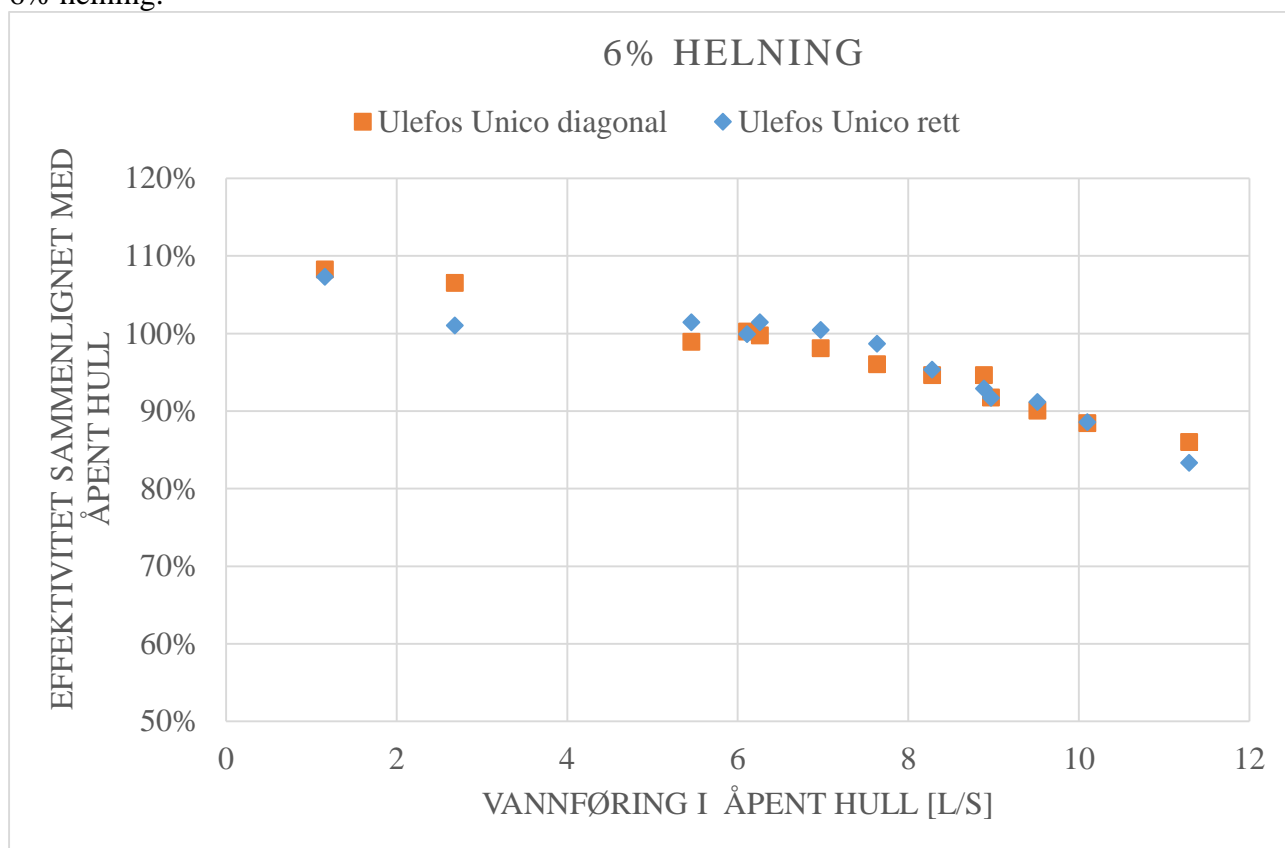
FIGUR 46: TEST AV SMÅ FIRKANTEDE RISTER FOR 2% HELNING

4% helning:



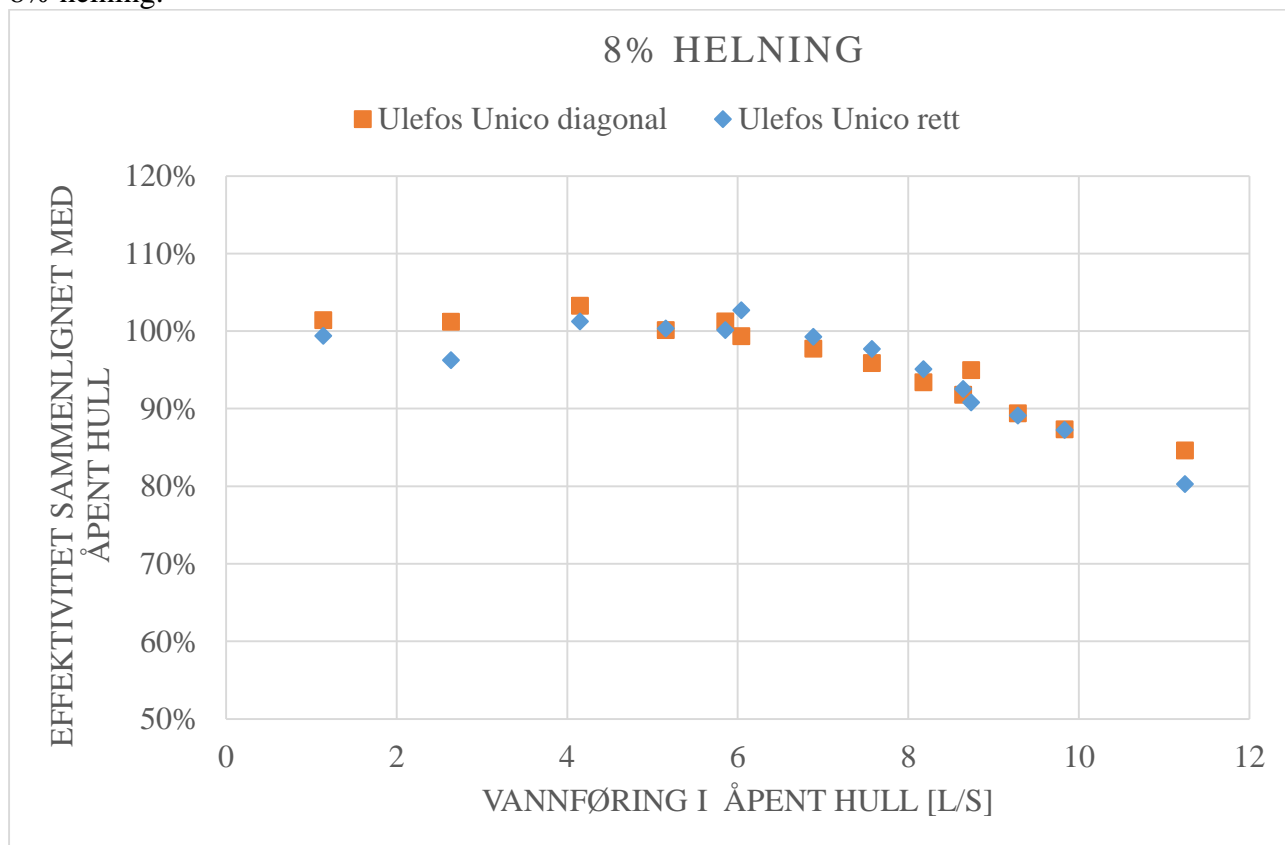
FIGUR 47: TEST AV SMÅ FIRKANTEDE RISTER FOR 4% HELNING

6% helning:



FIGUR 48: TEST AV SMÅ FIRKANTEDE RISTER FOR 6% HELNING

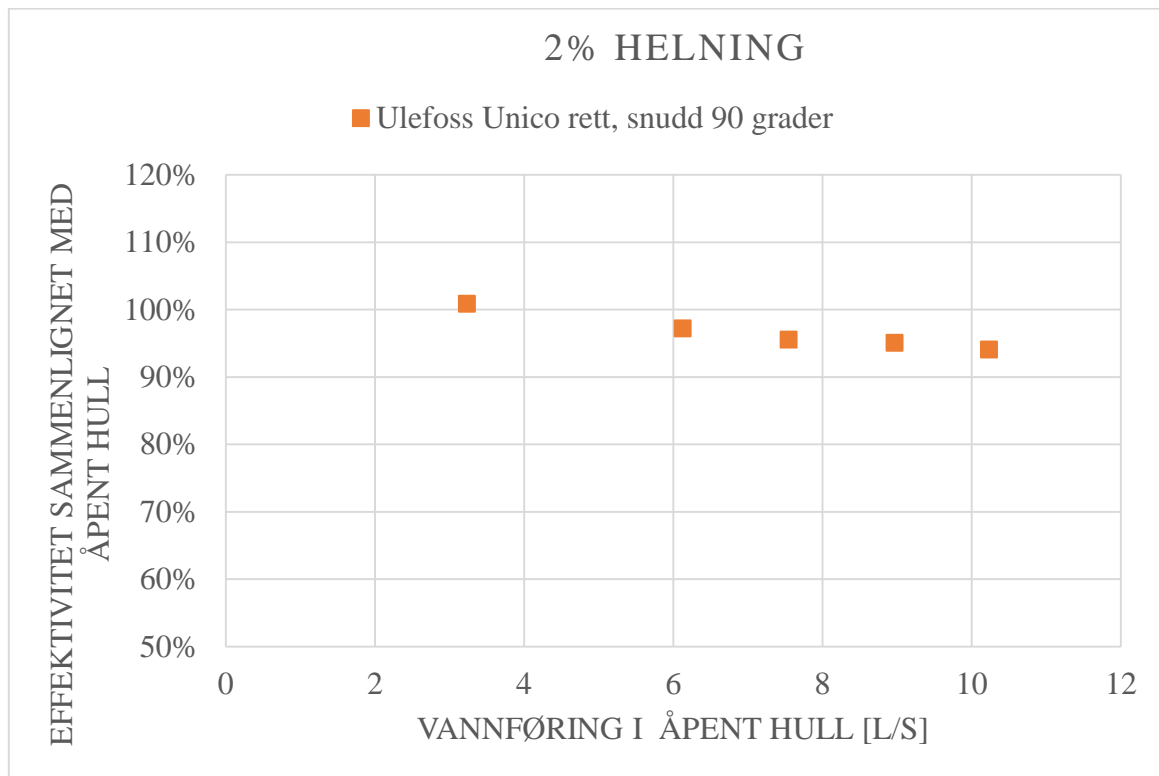
8% helning:



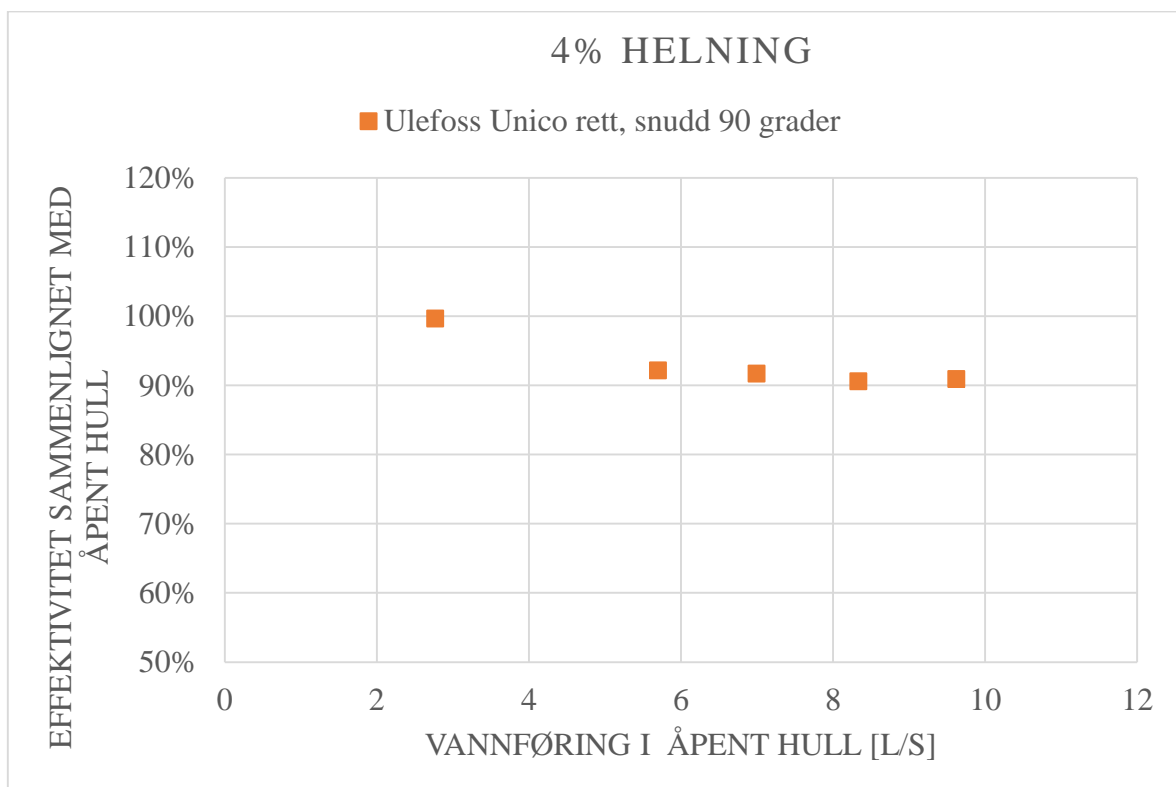
FIGUR 49: TEST AV SMÅ FIRKANTEDE RISTER FOR 8% HELNING

## 4.5 Ulefoss Unico rett, snudd 90 grader

Denne testen er valgt å ha i en egen graf, siden den sammenlignes med et referansehull på en annen størrelse enn de andre. Kapasiteten ligger jevnt høyt for alle målingene.



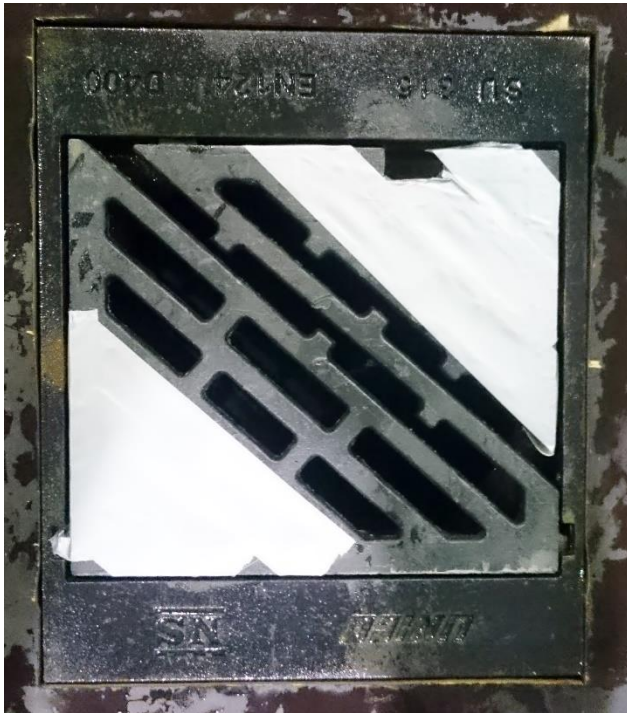
FIGUR 50: TEST AV ULEFOS UNICO RETT, SNUDD 90 GRADER VED 2% HELNING



FIGUR 51: TEST AV ULEFOS UNICO RETT, SNUDD 90 GRADER VED 4% HELNING

## 4.6 Test av gjentetting i små rister

### Ulefos unico diagonal



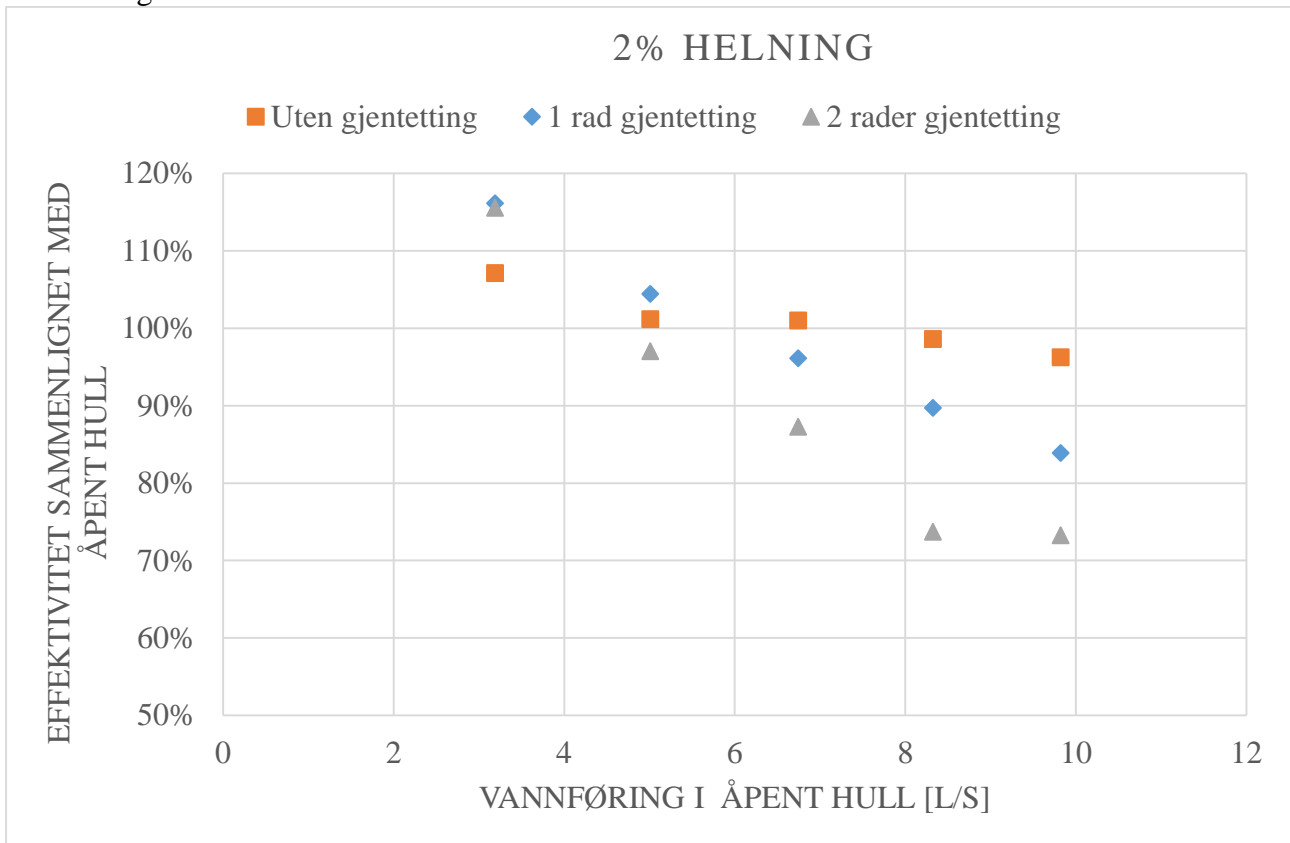
FIGUR 52: EN RAD GJENTETTING



FIGUR 53: TO RADER GJENTETTING

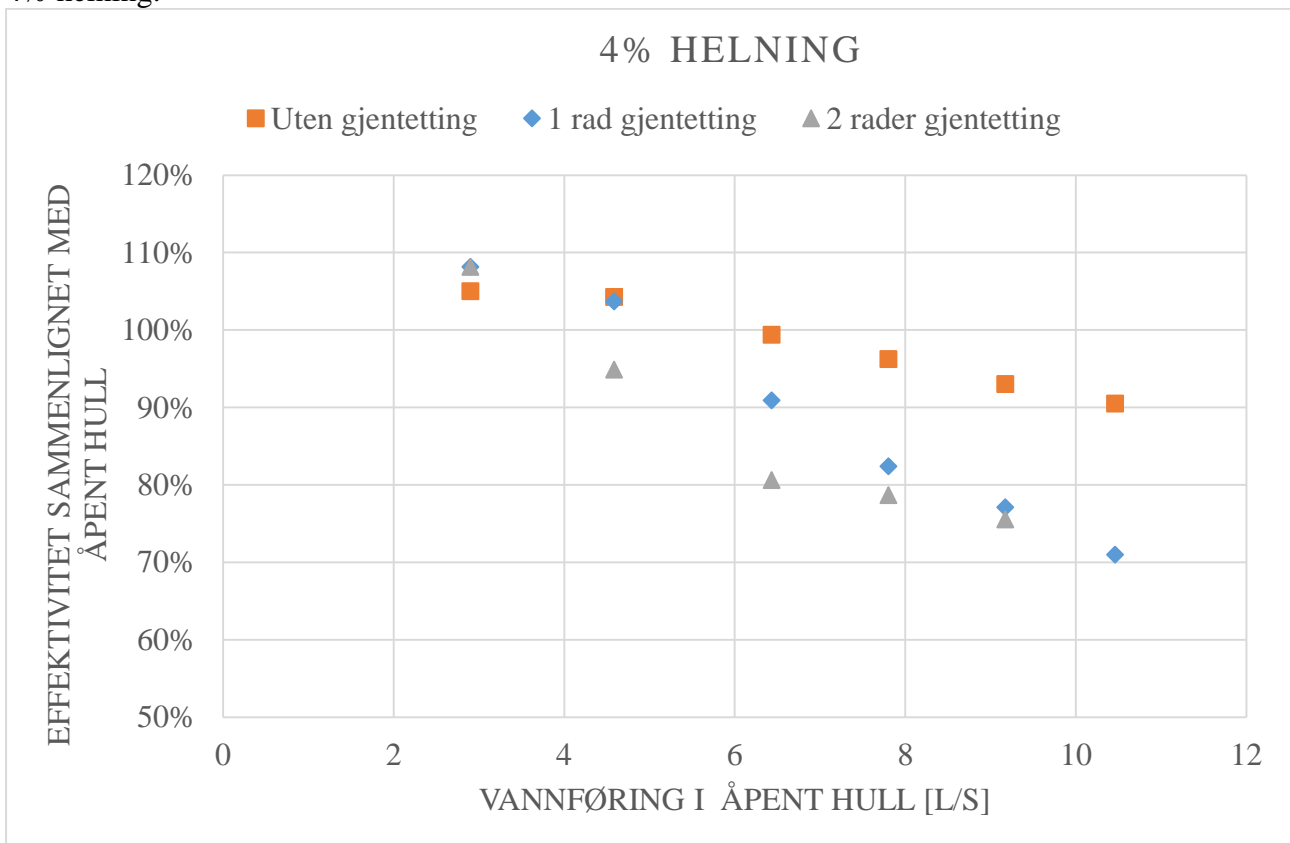
Kapasiteten reduseres betydelig for store vannmengder ved både en og to rader gjentetting. Som ventet reduseres kapasiteten mest for to rader gjentetting. Ser at det er en del forskjell mellom 2 og 4% helning. Det kan tyde på dårlige målinger.

2% helning:



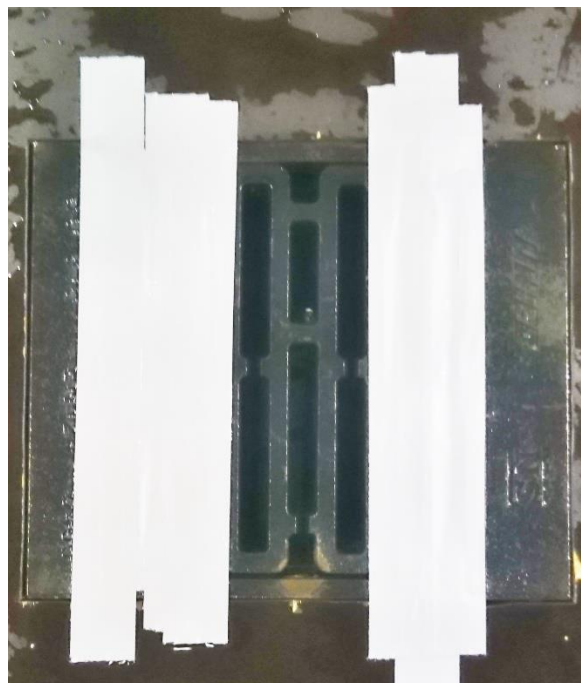
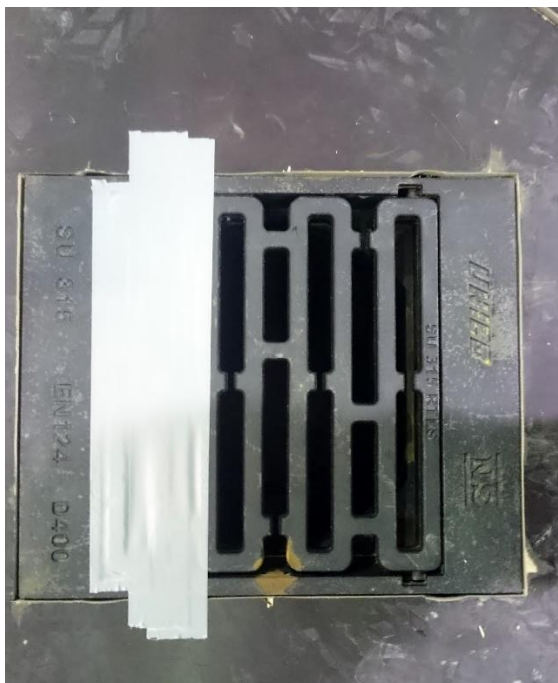
FIGUR 54: TEST AV GJETETTING FOR ULEFOS UNICO DIAGONAL VED 2% HELNING

4% helning:



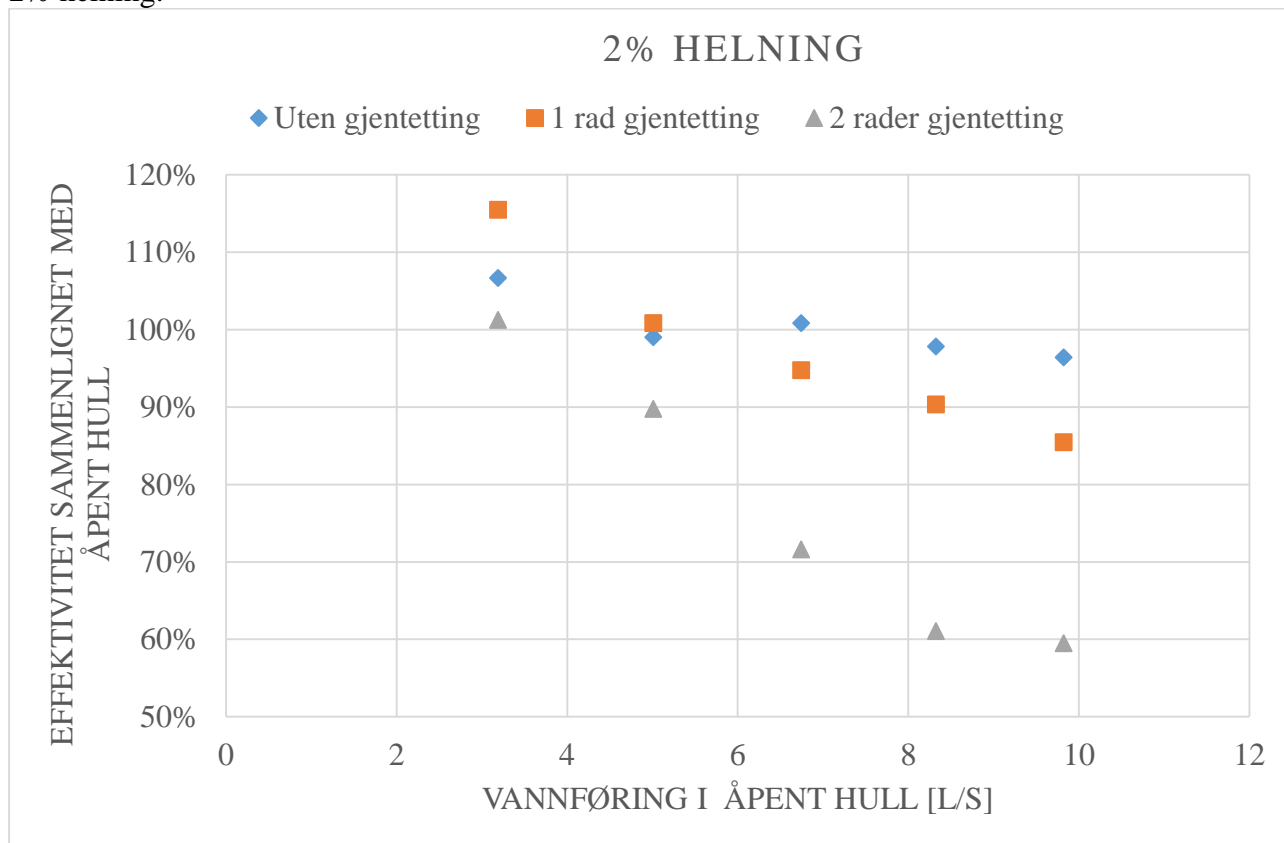
FIGUR 55: TEST AV GJETETTING FOR ULEFOS UNICO DIAGONAL FOR 4% HELNING

## Ulefos Unico rett



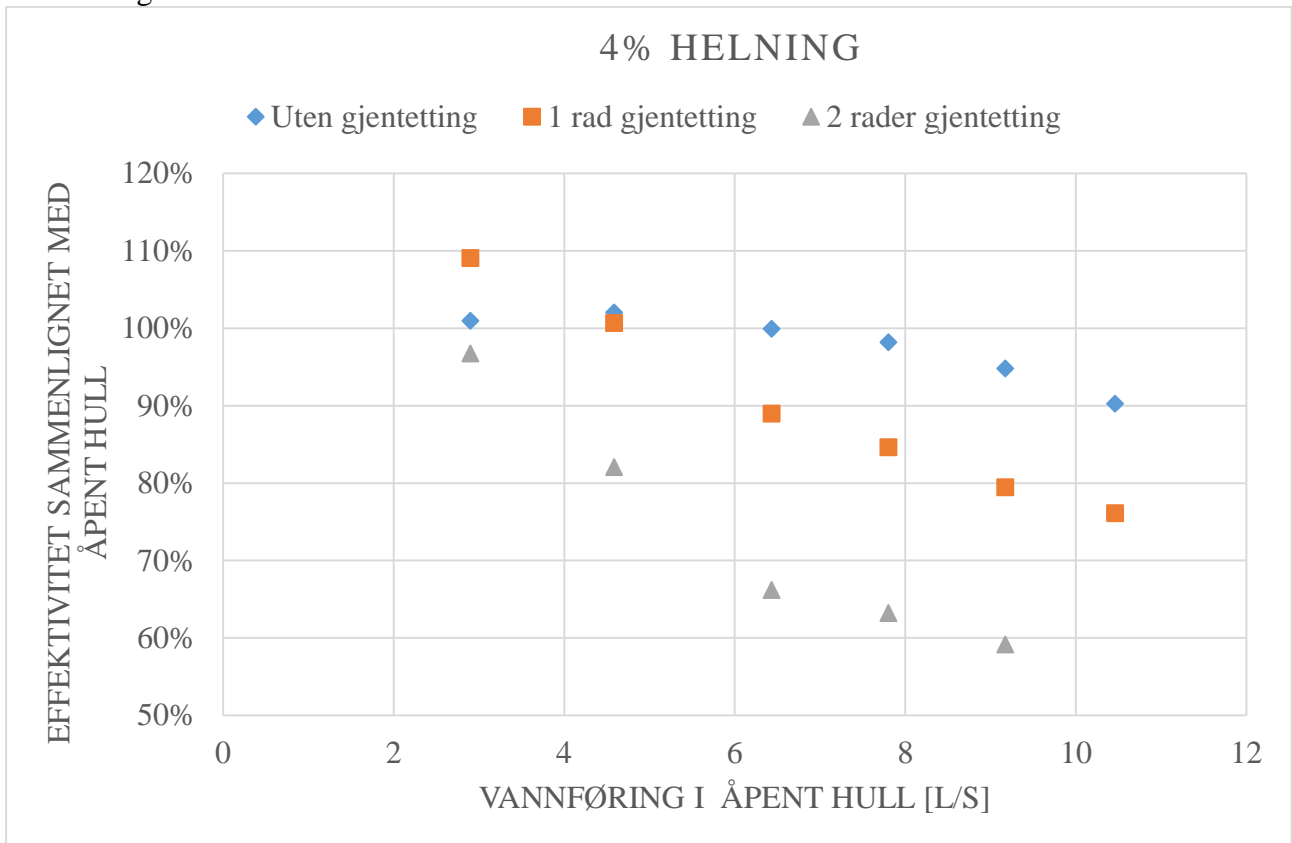
Kapasiteten reduseres litt for en rad gjentetting, mens den reduseres drastisk for 2 rader gjentetting. Har ikke noen god forklaring på hvorfor kapasiteten for en rad gjentetting og lave vannmengder er større enn både åpent hull og uten gjentetting. Det kan skyldes målefeil.

2% helning:



FIGUR 56: TEST AV GJENTETTING FOR ULEFOS UNICO RETT FOR 2% HELNING

4% helning:

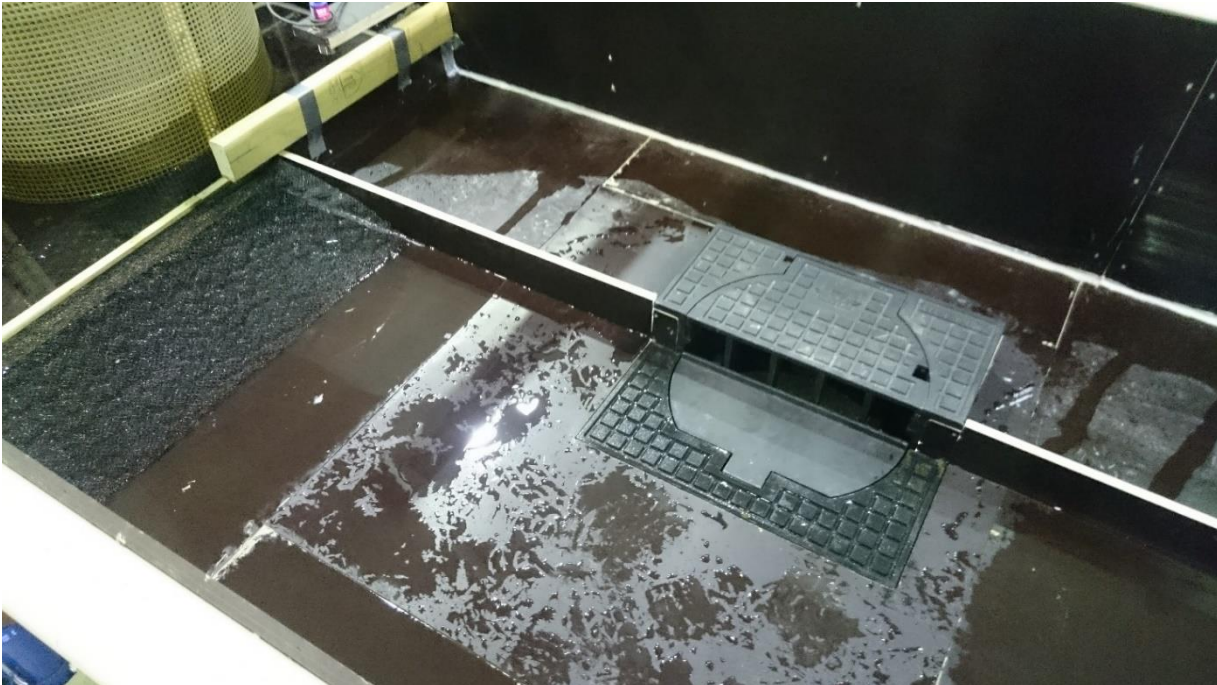


FIGUR 57: TEST AV GJENTETTING FOR ULEFOS UNICO RETT FOR 4% HELNING

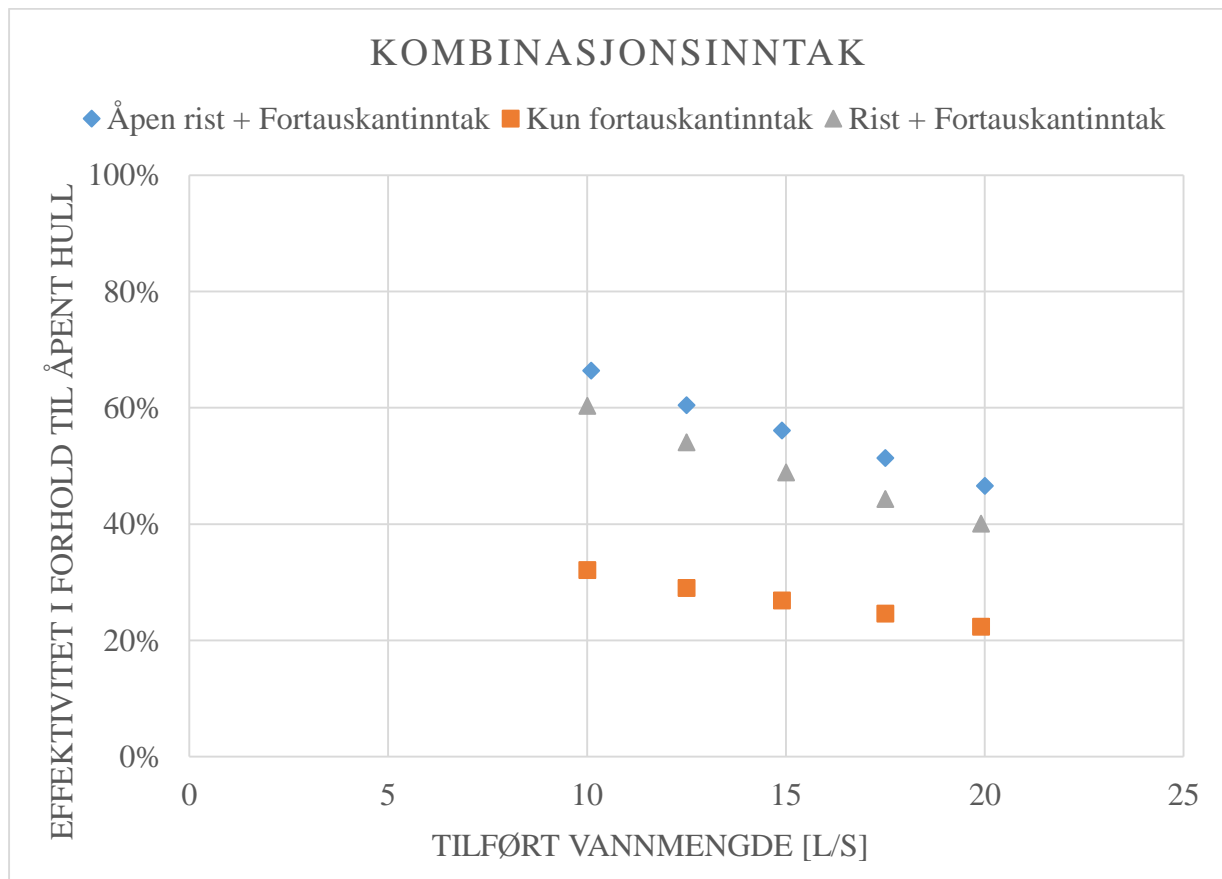


## 4.7 Testing av kombinasjonsinntak

Ser at kapasiteten reduseres noe ved rist i stedet for åpent hull, mens det reduseres drastisk når det er fortauskantinntaket som må fange opp alt vannet. Dette stemmer med FHWA sine undersøkelser som viser at man kan beregne et kombinasjonsinntak på samme måte som et ristinntak, og at fortauskantåpningen er for å hindre gjentetting.



FIGUR 58: OPPSETT FOR TESTING AV KOMBINASJONSINNTAK



FIGUR 59: KOMBINASJONSINNTAK



## 5. Analyse

### 5.1 Spredning av vannet i en vegbane

Spredningen på vannet i en vegbane er bredden på vannstrømmen som går langs kanten av vegbanen. I forsøkene er det sett på hvordan kapasiteten varierer med forskjellige vannføringer. Det er testet uten sideveis helning, noe som gjør at man ikke får tatt hensyn til at en del vann går på utsiden av rista. Under følger en tabell, hvor det via et Excel-ark er regnet ut hvor stor spredningen på vannet er for forskjellige vannføringer og helninger ut ifra formelen under. Forklaring på formlene som er brukt er vist under kapittel 2 teori.  $T$  er spredning på vannet. Det er antatt et Manningstall på 0.013, samt en sideveis helning på 3 %

$$T = \frac{n}{S\chi^{0.625}} * \left(\frac{Q}{S^{0.5}}\right)^{0.375} \quad \text{FORMEL 5-1}$$

Tabellen under viser spredningen av vannføringen, det vil si bredden på vannstrømmen som funksjon av vannføring og helning i lengderetning. Det er antatt en sideveis helning på 3%

TABELL 7: SPREDNING AV VANNFØRING [M] FOR FORSKJELLIGE HELNINGER OG VANNFØRINGER

Vannføring [l/s] / Helning [%]	2	4	6	8
5	0.72	0.63	0.59	0.56
10	0.94	0.82	0.76	0.72
20	1.22	1.07	0.99	0.94
30	1.42	1.25	1.15	1.09
40	1.58	1.39	1.29	1.22
50	1.72	1.51	1.40	1.32
60	1.84	1.62	1.50	1.42

### 5.2 Ristinntak

I oppgaven er det testet forskjellige risttyper, med både varierende vannmengde og med varierende vannføring. Her har man fått et godt sammenligningsgrunnlag mellom de forskjellige ristene. Samtidig er «splash-over» hastigheten funnet. Ut ifra testene har det vært vanskelig å finne ut hva den virkelige kapasiteten på en rist i veibanen er, siden modellen har hatt et annerledes tverrsnitt enn veibanen. Derfor er det også sett en del på hva forsøk i andre land har kommet frem til. Her er det gjort lignende forsøk, også i skala 1:1. Ut ifra disse forsøkene er det utledet en del formler som vist i kapittel 2 teori.

Dette delkapittelet kobler sammen det som er funnet i laboratorieforsøkene med det som er funnet i forsøk i andre land. Så presenteres en graf som viser hvordan effektiviteten til en rist varierer med vannføringen og helningen til vegbanen. Dette kan være nyttig i dimensjoneringen av kapasiteten til ristene i forskjellige tilfeller.

Følgende formler er hentet fra kapittel 2 Teori, hvor de er ytterligere forklart:

$$E = R_f * E_0 + R_S(1 - E_0) \quad \text{FORMEL 5-2}$$

Hvor:

$$R_f = 1 - K_c(V - V_0) \quad \text{FORMEL 5-3}$$

FORMEL 5-4

$$R_s = \frac{1}{1 + \frac{K_c V^{1.8}}{S_x L^{\frac{2}{3}}}} \quad \text{FORMEL 5-5}$$

$$E_0 = \frac{Q_w}{Q} = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2.67} \quad \text{FORMEL 5-6}$$

$$V = \frac{Q}{\frac{S_x T^2}{2}} \quad \text{FORMEL 5-7}$$

$$T = \frac{n}{S_x^{0.625}} * \left(\frac{Q}{S^{0.5}}\right)^{0.375} \quad \text{FORMEL 5-8}$$

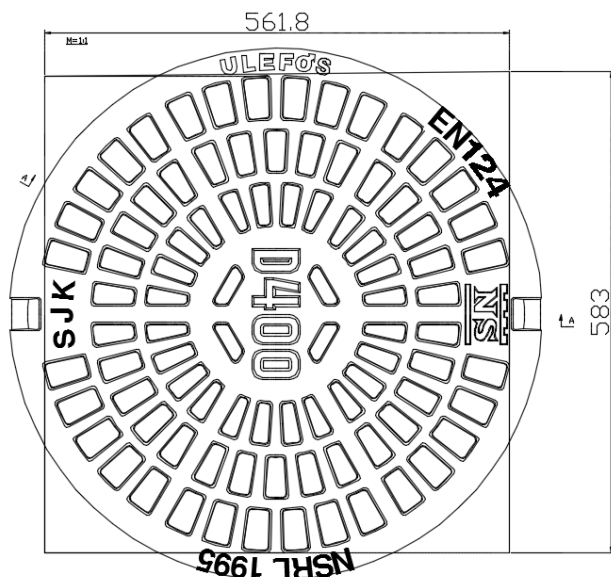
Her er variablene  $V_0$ ,  $S_x$ ,  $L$ ,  $W$ ,  $n$ ,  $Q$ ,  $S$

Ved å putte disse formlene inn i et Excel-ark, hvor  $V_0$  er funnet fra videofilming av laboratorieforsøkene,  $S_x$  holdes konstant på 3%,  $L$  er lengden på rista,  $W$  er bredden på rista,  $n$  er satt til 0.013 og hvor  $Q$  (vannføring) og  $S$  (helning) endres, får man en graf over hvordan effektiviteten på rista utvikler seg ved forskjellige helninger.

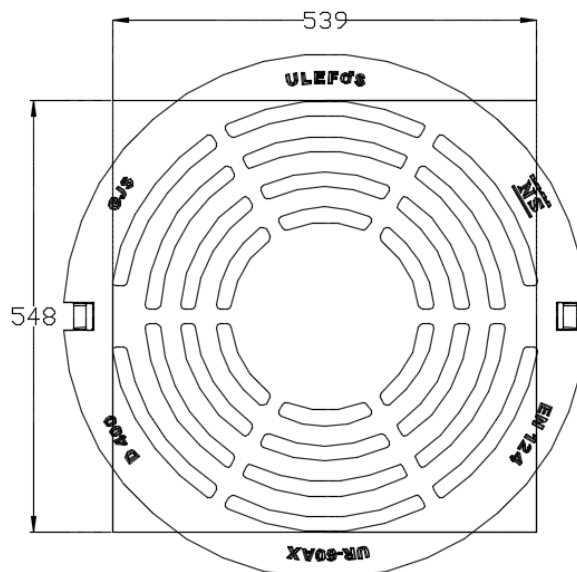
De amerikanske forsøkene var kun utført på firkantede rister. For å bruke formlene på de runde ristene ble det derfor gjort en forenkling. Forenklingen er at de runde ristene fungerer likt som om de var firkantede, med henholdsvis høyde og bredde som vist i figur 51 og figur 52. «Splash-over» hastigheten ble funnet ved å studere videoopptak, og se når ristene ble oversvømt. Ulefos NSR-1995 ble oversvømt ganske jevnt. For lave helninger ble den ikke oversvømt i det hele tatt, og derfor er «splash-over» hastigheten satt til høyeste målte vannhastighet. Dette gjøres for å være på sikre siden.

For Ulefos UR-60AX er det oppgitt to «splash-over» verdier. Den laveste er når midten av rista blir oversvømt, mens den høyeste er når hele rista er oversvømt. I beregningene er verdien for når midten av rista er oversvømt brukt. Under følger det en tabell for «splash-over» hastighet for de forskjellige

## Store runde rister



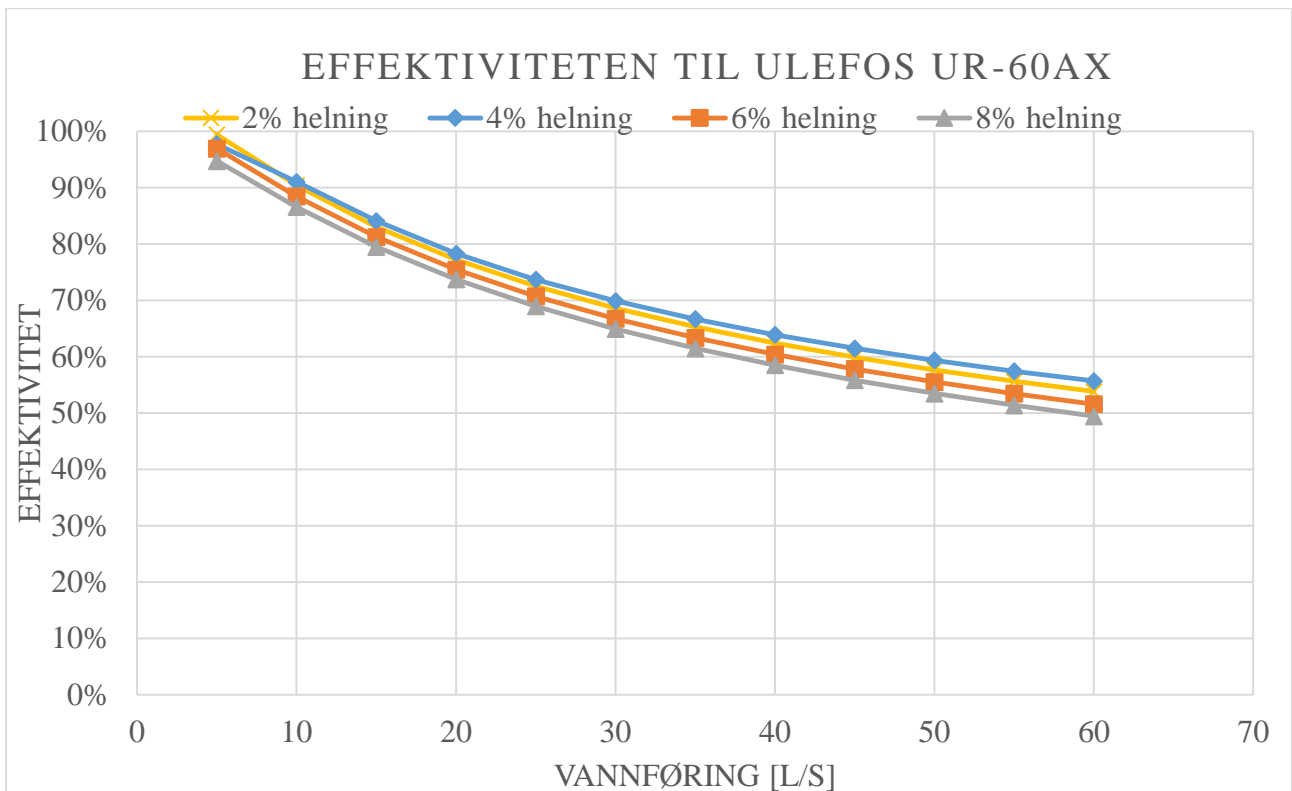
FIGUR 60: ULEFOS UR-60AX MED HØYDE OG LENGDEMÅL FOR OMRÅDET MED HULL



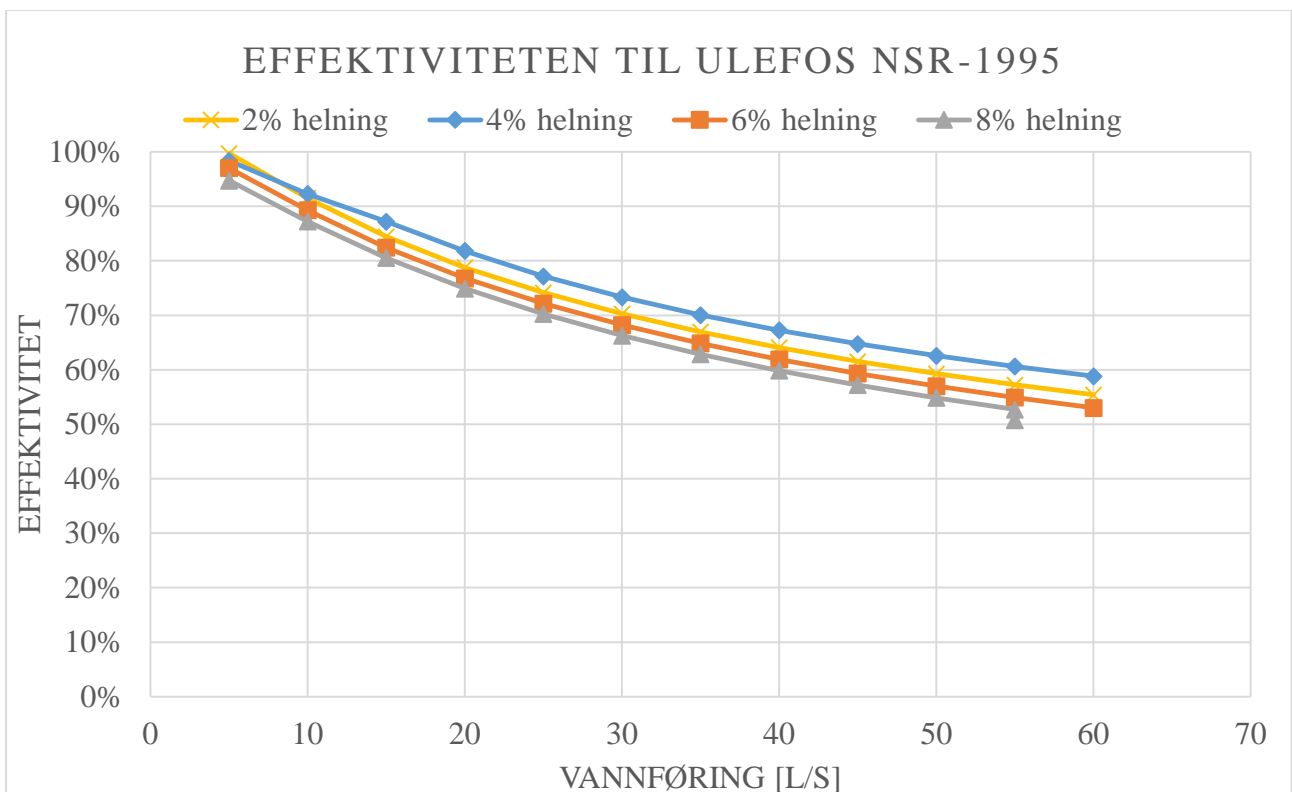
FIGUR 61: ULEFOS UR-60AX MED HØYDE OG LENGDEMÅL FOR OMRÅDET MED HULL

Det er ikke funnet noen forsøk som er gjort på runde rister. Derfor er det gjort en forenkling, hvor formlene for firkantrister er brukt, mens «splash-over» hastigheten på de runde ristene er brukt. Det er da brukt lengde og bredde som vist i figur 51 og 52.

Risttype	Helning	Vannføring [l/s]	«Splash-over» hastighet [m/s]	Kommentar
Ulefos UR-60AX	2	40	0.78	Laveste verdien for Ulefos UR-60AX er når midten blir oversvømt, mens høyeste verdien er når hele rista blir oversvømt
		60	0.87	
	4	40	0.83	
		50	0.87	
6	40	0.86		
	50	0.92		
8	30	0.89		
	40	0.93		
Ulefos NSR-1995	2	60	0.85	Ikke oversvømt på midten
	4	60	0.91	Ikke oversvømt på midten
	6	60	0.94	Nesten oversvømt på midten
	8	60	0.93	Nesten oversvømt på midten

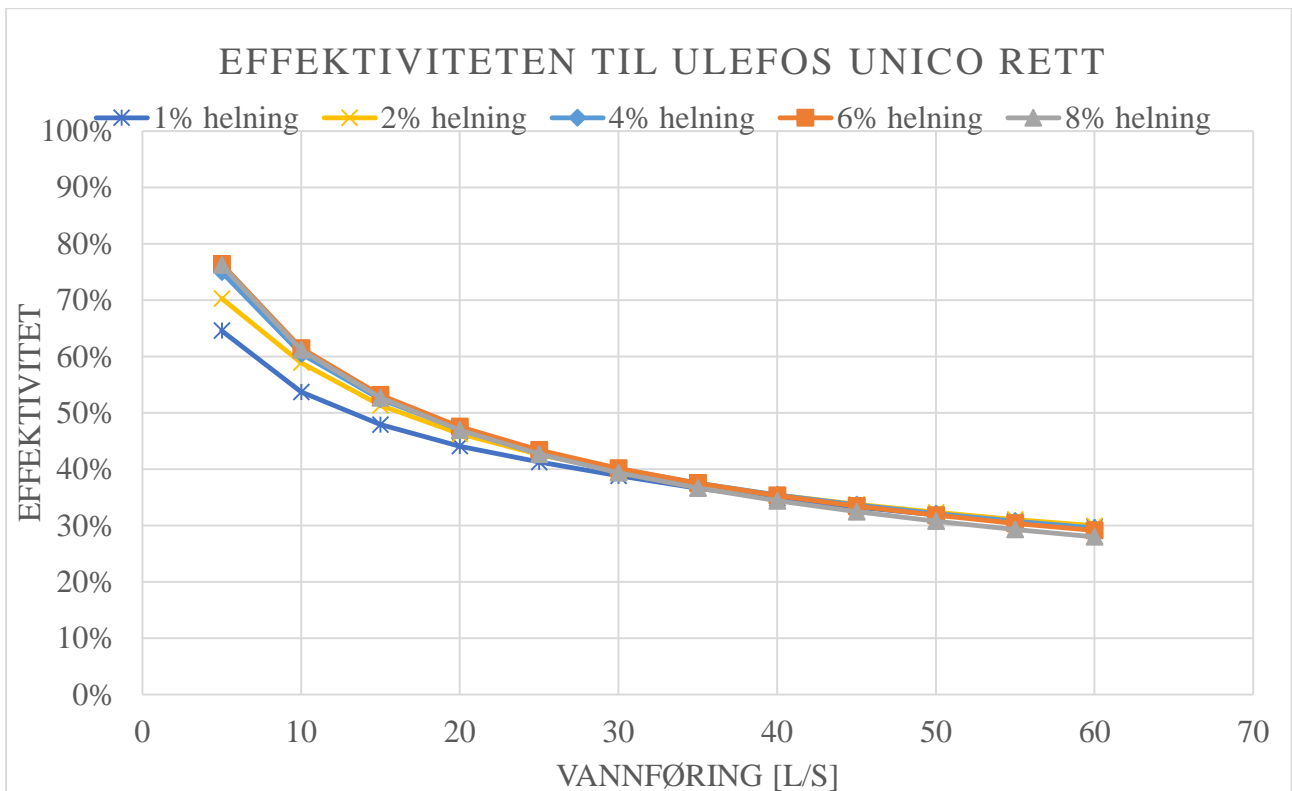


FIGUR 62: EFFEKTIVITETEN TIL UR-60AX FOR FORSKJELLIGE TYPER HELNING

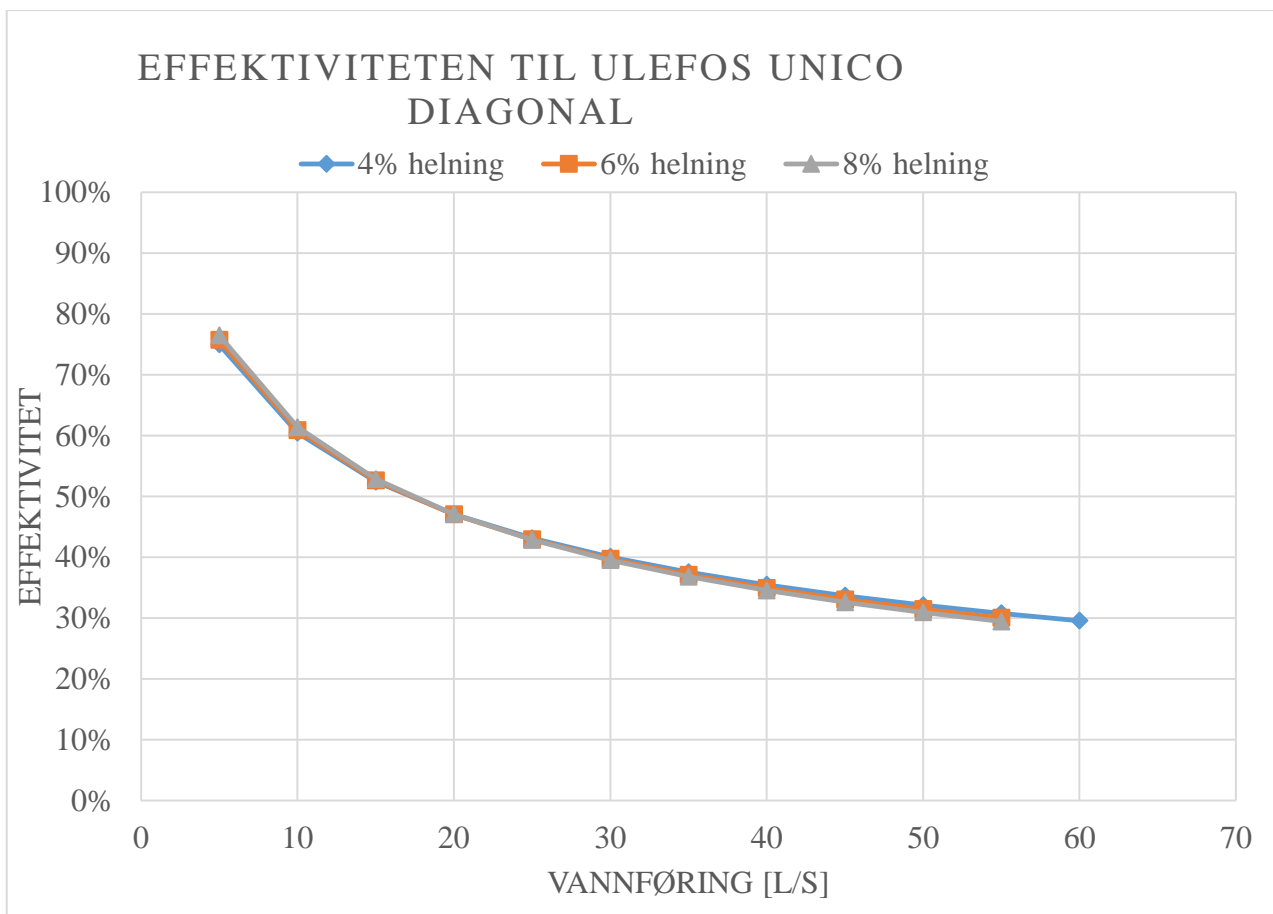


FIGUR 63: EFFEKTIVITETEN TIL ULEFOS NSR-1995 FOR FORSKJELLIGE TYPER HELNING

## Små firkanttrister



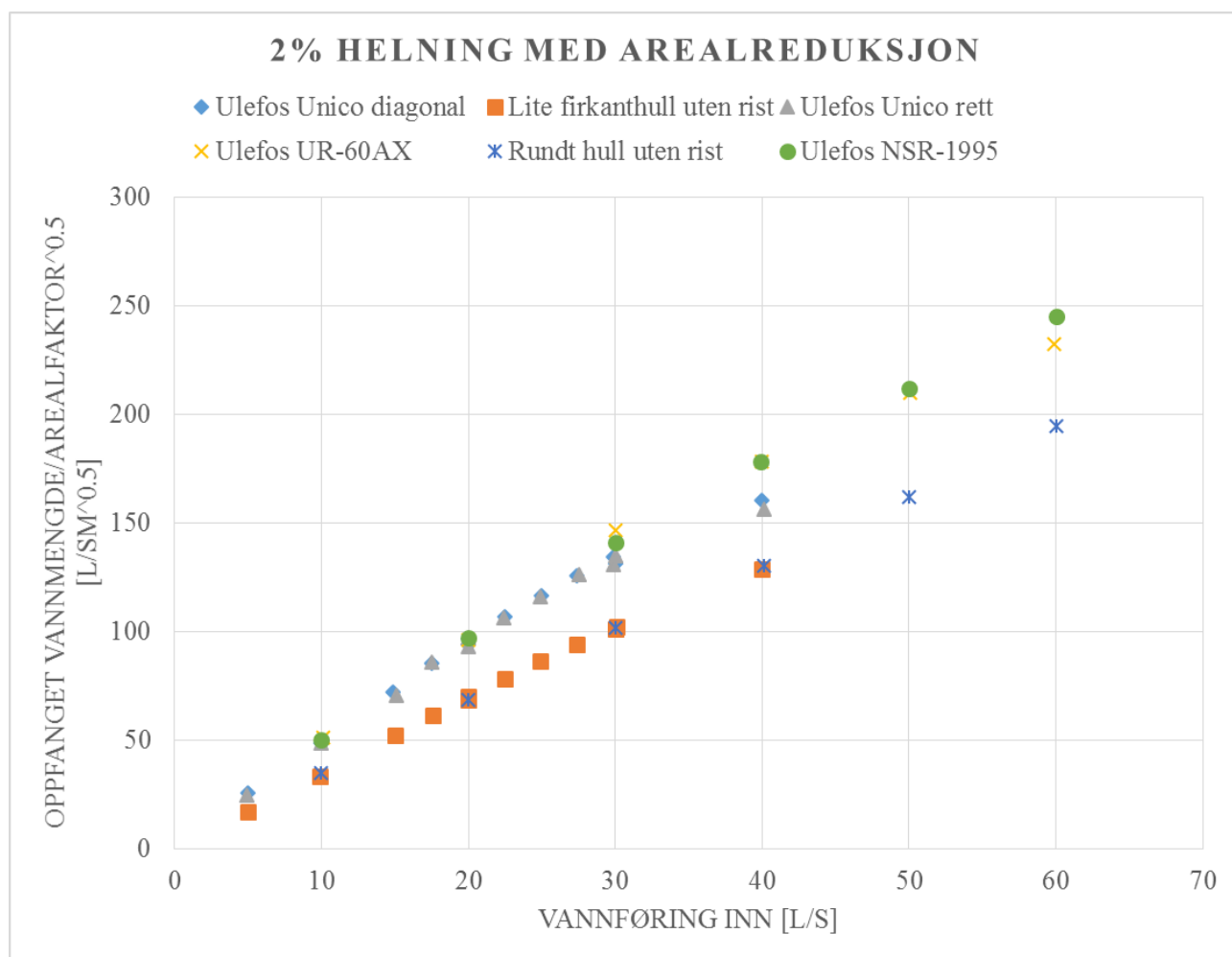
FIGUR 64: EFFEKTIVITETEN TIL ULEFOS UNICO RETT FOR FORSKJELLIGE TYPER HELNING



FIGUR 65: EFFEKTIVITETEN TIL ULEFOS UNICO DIAGONAL

Her ser man at effektiviteten til ristene synker ved økende vannføring og ved økende helning. Dette samsvarer med resultatene fra laborietestene. Ut ifra denne grafen kan man se hvor mange prosent av vannet som blir fanget opp ved forskjellige vannføringer. Dette er nyttig med tanke på prosjektering av overvannssystem.

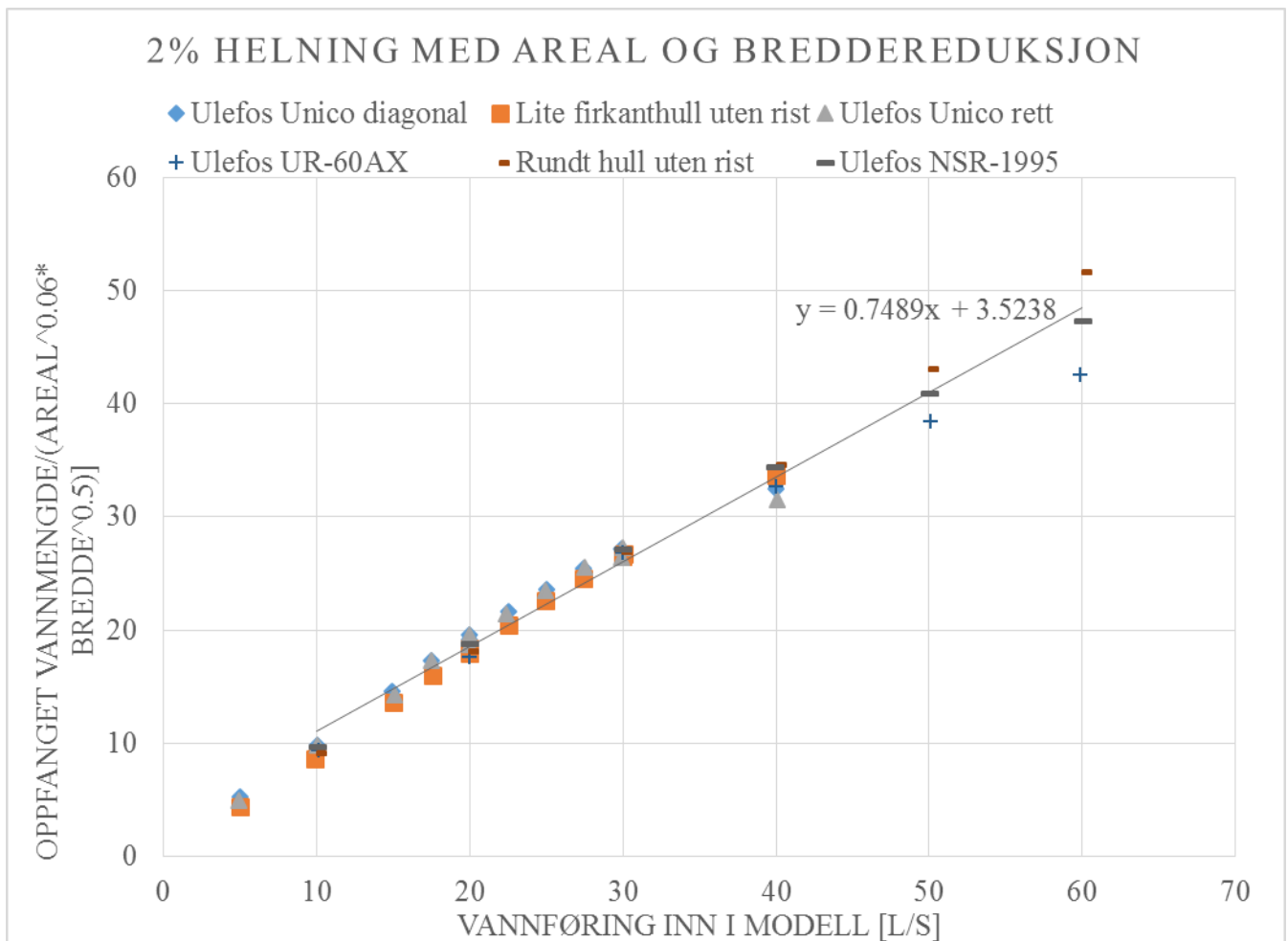
En teori før forsøkene ble utført, var at mengden vann i rista er en funksjon av gjennomstrømningsarealet. Derfor er det laget grafer med en reduksjonsfaktor for forskjellige gjennomstrømningsareal. Derfor ble det laget en egen kolonne i Excel-arket, hvor kapasiteten på ristinntaket ble delt på. Det viste seg at det passer bra hvis man deler kapasiteten til ristene på tredjeroten av gjennomstrømningsarealet. Under vises grafen hvor man sammenligner de to store runde ristene, og hvor det er delt på tredjeroten av gjennomstrømningsarealet.



FIGUR 66: 2% HELNING MED AREALREDUKSJON

Som man ser av grafen vil kapasiteten når man tar hensyn til arealreduksjonsfaktoren være en del lavere for åpent hull, enn de to ristene. Dette skyldes sannsynligvis at for relativt små vannføringer vil bare en del av kapasiteten til hullet bli benyttet. Derfor vil kapasiteten se relativt lav ut.

Samtidig er det naturlig å tenke at slik modellen er bygget opp vil den oppfangede vannmengden avhenge av bredden på modellen. Derfor er det laget en graf for å prøve å sammenligne oppfanget vannmengde for de forskjellige ristene for å se om man kan lage en formel for å finne ut hvor mye vann som blir fanget opp.



FIGUR 67: 2% HELNING MED AREAL OG BREDDEREDUKSJON

Ut ifra grafen ser man at formelen for hvor mye vann som blir fanget opp ved et tverrsnitt på 1.6 m er gitt ved:

$$Q_{\text{oppfanget}} = A^{0.06} * B^{0.5} * (0.7489 * Q_{\text{inn}} + 3,5238) \quad \text{FORMEL 5-7}$$

Dette vil si at for ikke-gjentattede rister er de viktigste faktorene for hvor mye vann som blir fanget opp bredden på rista, samt hvor mye vann som blir tilført modellen, samt at gjennomstrømningsarealet har en mindre betydning

### 5.3 Fortauskantinntak

$$L_T = K_T Q^{0.42} S_L^{0.3} * \left( \frac{1}{n * S_x} \right)^{0.6} \quad \text{FORMEL 5-8}$$

$$E = 1 - \left( 1 - \left( \frac{L}{L_{100}} \right)^{1.8} \right) \quad \text{FORMEL 5-9}$$

Ved å lage et Excel-ark, hvor en legger inn formel 5-9, og varierer vannføringen og helningen får man tabell 8. Her er det brukt en ruhet på 0.013 og sideveis helning på 3%.

TABELL 8: NØDVENDIG LENGDE PÅ FORTAUSKANTINNTAK FOR Å FANGE OPP ALT VANNET AVHENGIG AV VANNFØRING OG HELNING. SIDEVEIS HELNING PÅ 3%

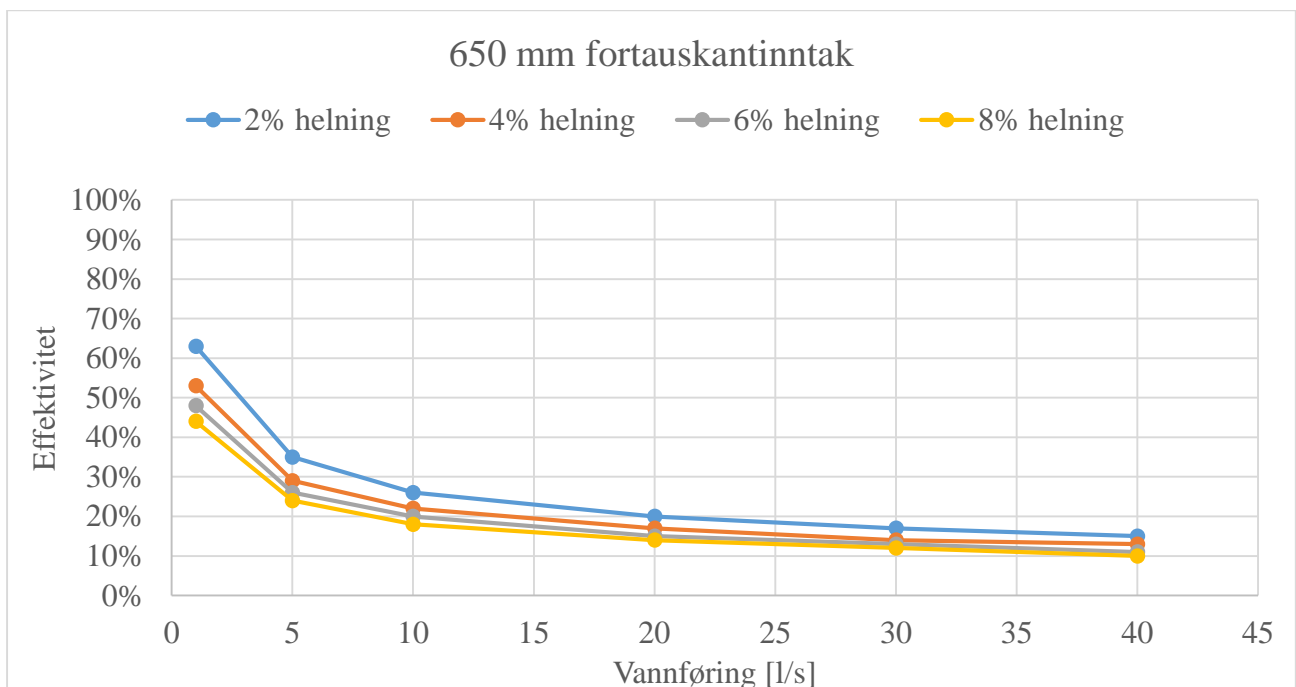
Vannføring [l/s]/ Helning [%]	2	4	6	8
5	3.04	3.74	4.23	4.61
10	4.07	5.01	5.66	6.17
20	5.44	6.7	7.57	8.25
30	6.45	7.95	8.97	9.78
40	7.28	8.96	10.12	11.03

Lengden på fortauskantåpningen for å oppnå 75% effektivitet vil ut ifra formel 5-10 være  $L=0.54L_{100}$  (Pazwash, 2011)

Som man ser av tabellen må man ha veldig lange fortauskantinntak for å fange opp alt vannet. Dette viser at fortauskantinntak ikke er ideelt på veier hvor man har stort lengdefall. Derfor kan det også være interessant å se på kortere fortauskantinntak, og den teoretiske effektiviteten på disse. I tabell 9 er effektiviteten til et fortauskantinntak med 650 mm lengde gitt.

TABELL 9: TEORETISK EFFEKTIVITET TIL ET 650 MM LANGT FORTAUSKANTINNTAK MED 3% SIDEHELNING

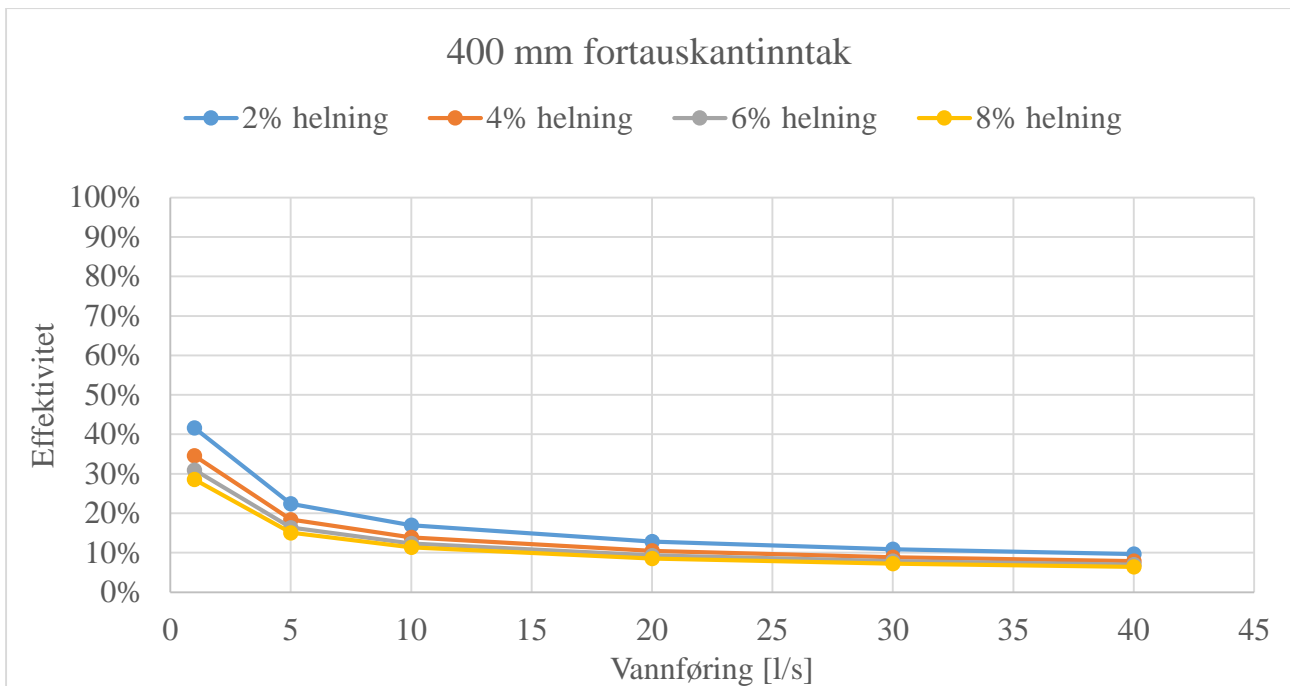
Vannføring [l/s]/ Helning [%]	2	4	6	8
1	0.63	0.53	0.48	0.44
5	0.35	0.29	0.26	0.24
10	0.26	0.22	0.20	0.18
20	0.20	0.17	0.15	0.14
30	0.17	0.14	0.13	0.12
40	0.15	0.13	0.11	0.10



FIGUR 68: EFFEKTIVITETEN TIL ET 650 MM LANGT FORTAUSKANTINNTAK

Det ble laget en tilsvarende graf for et 400 mm langt fortauskantinntak, siden dette også inngikk i oppgaven å teste. Den er vist i figuren under:





FIGUR 69: EFFEKTIVITETEN TIL ET 400 MM LANGT FORTAUSKANTINNTAK

Til sammenligning er det i USA et krav om at rister som brukes i gater skal ha en kapasitet på 75%. Dette viser at fortauskantinntak er lite egnet til å bruke i områder med helning.

## 6. Diskusjon

### 6.1 Diskusjon av metode

I denne rapporten er det blitt gjort forsøk på forskjellige gatenedløp. I dette delkapittelet vil oppbyggingen av disse forsøkene sammenlignes med oppbyggingen av forsøkene som tidligere er blitt utført i USA.

Hovedforskjellen i oppbyggingen av modellen er at mens de i USA brukte en 1:1 skala med full bredde, ble det i dette forsøket brukt en modell med mindre bredde. Grunnen til dette var at det var plassbesparende, og at det gjorde modellen enklere å bygge. Ved å bygge modellen på denne måten, fikk man med det området av veibanen hvor rista lå. Modellen ble bygd i skala 1:1, siden ristene som ble testet bare finnes i full størrelse. En annen forskjell på modellene er at mens det i USA er testet med sideveis helning er det ikke testet med sideveis helning i disse forsøkene. Siden det ikke er testet med sideveis helning og det er testet med et annet tverrsnitt blir det vanskelig å sammenligne effektiviteten til ristene i denne rapporten med ristene som er testet av FHWA.

For å få en mest mulig fornuftig effektivitet, som kan overføres til virkeligheten er det valgt i denne oppgaven å definere effektiviteten til rista i forhold til effektiviteten til et åpent hull. Grunnen til dette er at det sier en del om den hydrauliske kapasiteten til rista i forhold til den maksimale kapasiteten for det samme tverrsnittet. I grafene i resultatkapittelet ser man at effektiviteten er gjennomgående høyere for firkantristene enn for de store runde ristene. Dette kan skyldes at ytterst på de runde ristene er det et tett område, noe som reduserer bredden på området vannet kan gå ned i. Noen av de små ristene har en effektivitet som overstiger 100 % for små vannføringer. Dette skyldes sannsynligvis feil i målingene, siden det er en relativt sett større usikkerhet for små enn store vannføringer. Siden dette gjelder alle små firkantristene kan det tyde på at det er feil i målinga av referanselista

Det er i tillegg til laboratorieforsøk gjort en del teoretiske beregninger. Her er «splash-over» hastigheten fra laboratorieforsøkene blitt brukt, sammen med de empiriske formlene utviklet av FHWA i HEC-22 (Federal Highway Administration, 2009). På den måten vil man i tillegg til å få de relative forskjellene mellom ristene også få effektivitetene for ristene ved forskjellige helninger. Dette finnes ikke i norsk litteratur i dag. En svakhet med dette er at «splash-over» hastigheten som er funnet er funnet ut ifra videofilming, og ikke ut ifra målinger hvor man har full kontroll på hvor mye vann som passerer over rista. Selv om det er en usikkerhet knyttet til «splash-over» hastigheten er ikke effektiviteten til risten sensitiv med tanke på en liten endring i «splash-over» hastighet.

Det er valgt å ikke teste fortauskantinntaket i laboratoriet. Dette skyldes at det finnes gode formler for beregning av kapasiteten fra tidligere forsøk. Samtidig vil det være vanskelig å få noe fornuftig ut av det. Siden modellen ikke er av en full vegbane vil man ikke få den virkelige effektiviteten til inntaket. Siden det bare er en type fortauskantinntak i oppgaven er det ikke noe å sammenligne det med.

## 1.2 Diskusjon av resultater

Resultatene fra forsøkene i denne rapporten varierer på noen områder fra det de fant i HEC-22. Mens «splash-over» hastigheten i HEC 22 var konstant uavhengig av helning, ble det i forsøkene her funnet ut at den øker med økende helning. Her er det relativ stor usikkerhet i målingene.

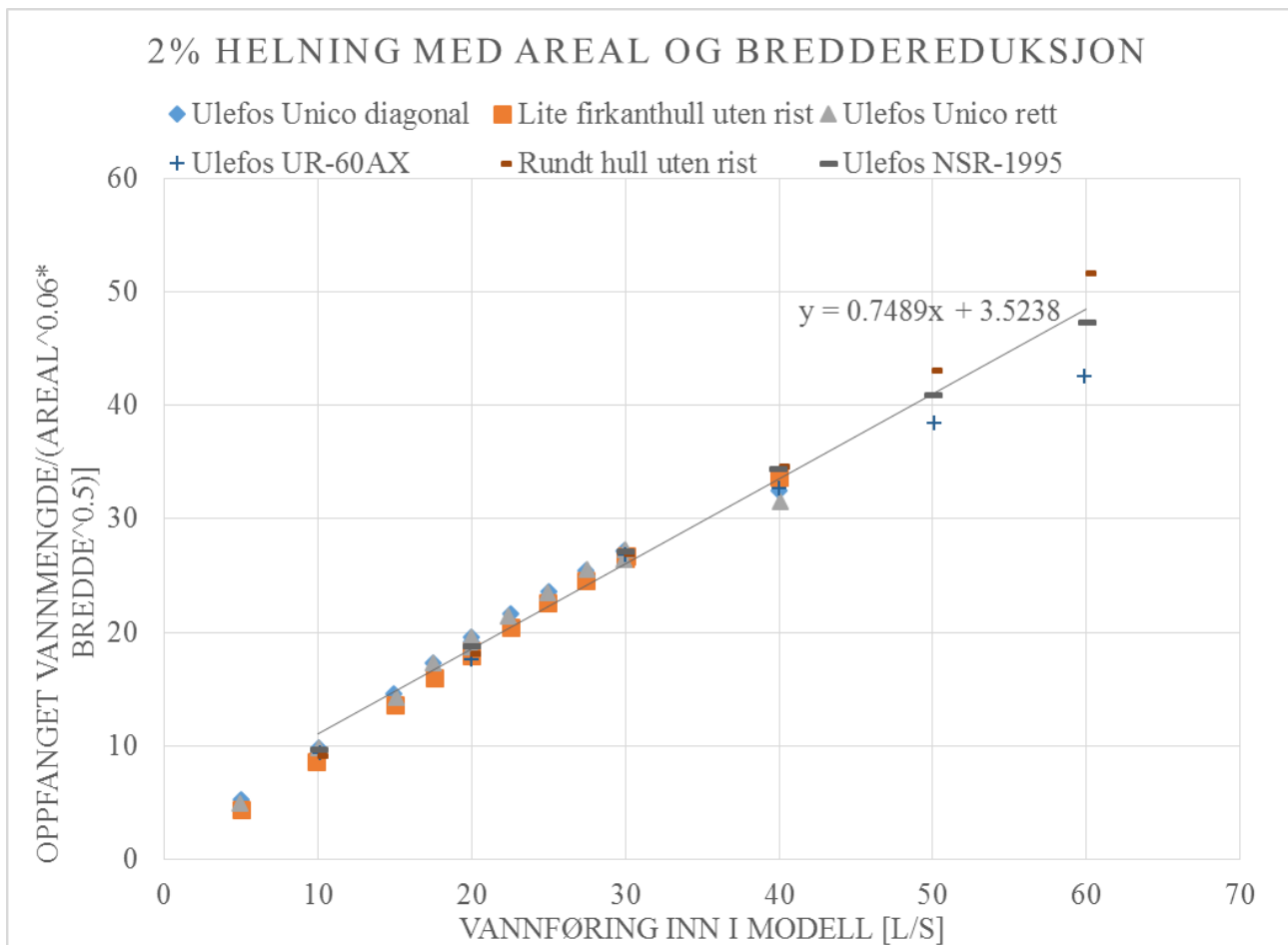
I HEC-22 ble det funnet ut at den oppfangede vannmengden først øker med økende helning, for deretter å synke. Denne rapportens forsøk derimot fant ut at med økende helning synker kapasiteten. Dette skyldes at det ble testet uten sideveis helning, og at derfor ikke spredningen av vannet ble tatt hensyn til. Siden det for konstant vannføring gir en større spredning av vannet med lav vannhastighet enn ved høy vannhastighet forklarer dette forskjellen. For de teoretiske beregningene var effektiviteten for forskjellig vannføring omtrent lik for de forskjellige helningene.

### Fortauskantinntak

De teoretiske beregningene viser at fortauskantinntak har en lav kapasitet for veger med helning. Derfor vil de være uegnet til å bruke i veger med stor helning. De kan derimot brukes enten i lavbrekk, hvor man kan ha en høy vanddybde, eller i kombinasjon med rister. I et kombinasjonsinntak vil fortauskantinntaket primært være for å unngå gjentetting.

### Ristinntak

For å finne ut hvordan de forskjellige parameterne påvirker kapasiteten til ristinntak ble det laget en graf som viser sammenhengen mellom vannføring inn i modellen og oppfanget vannmengde delt på en areal og breddefaktor. Ved å endre hvor mye arealet og bredden var opphøyd i ga det lineær sammenheng for alle ristene. Arealet ble opphøyd i 0.06 og bredden i 0.5. Dette viser at det er bredden og vannføringen som har klart mest å si, men at kapasiteten har en liten sammenheng med arealet også.



FIGUR 70: 2% HELNING MED AREAL- OG BREDDEREDUKSJON

## Store runde rister

Ser at for de store runde ristene ligger kapasiteten på Ulefos NSR-1995 jevnt over høyere enn for Ulefos UR-60AX. Dette skyldes som vist i figuren under at gjennomstrømningsarealet er størst. Forskjellen mellom ristene er størst for store vannføringer og store helninger. For gjentetting av ristene blir det enda mer tydelig at gjennomstrømningsarealet er en viktig faktor. Her faller kapasiteten nesten ikke noe når rista blir gjentettet med en rad, mens reduksjonen blir betydelig når to eller tre rader blir gjentettet. Dette er spesielt tydelig for Ulefos NSR-1995, hvor kapasiteten er omtrent like stor for en rad gjentetting og uten gjentetting, men med betydelig reduksjon av kapasiteten for to rader gjentetting.

Ut ifra analysekapittelet, hvor formlene fra HEC-22 brukes, ser man at forskjellen mellom effektiviteten på de to store ristinntakene er ganske liten. Dette skyldes delvis at «splash-over» hastigheten er satt litt lavt for Ulefos NSR-1995 siden det ikke ble oppnådd fullstendig oversvømmelse av rista for alle helningene. Hovedgrunnen til at de er like er allikevel at bredden er like stor, og at effektiviteten til rista i stor grad skyldes hvor stor andel av vannet som passerer rista.

I denne oppgaven er det brukt en «splash-over» hastighet på fra 0.78 m/s til 0.94 m/s for de runde ristene. Til sammenligning varierer «splash-over» hastigheten for noen kjente amerikanske firkantede rister med 0.6 m lengde fra 1.25 m/s til 2.40 m/s (Pazwash, 2011). Det er naturlig at «splash-over» hastigheten er lavere for runde en firkantede rister, siden gjennomstrømningsarealet naturlig blir mindre. Dett gjør at «splash-over» hastigheten som er brukt i denne rapporten virker fornuftige. Disse «splash-over» hastighetene tar ikke hensyn til gjentetting.

I Norge brukes det at vanlige ristinntak har en kapasitet på 15 l/s (Vegdirektoratet, 2014). Ut ifra figur 61 og 62 ser man at for 15 l/s har rista en effektivitet på mellom 80 % og 90 % avhengig av helning. I USA stilles det krav til en minimumseffektivitet på 75 %. Det vil for de runde store ristene tilsi en vannmengde på 20-30 l/s avhengig av helning og type rist.

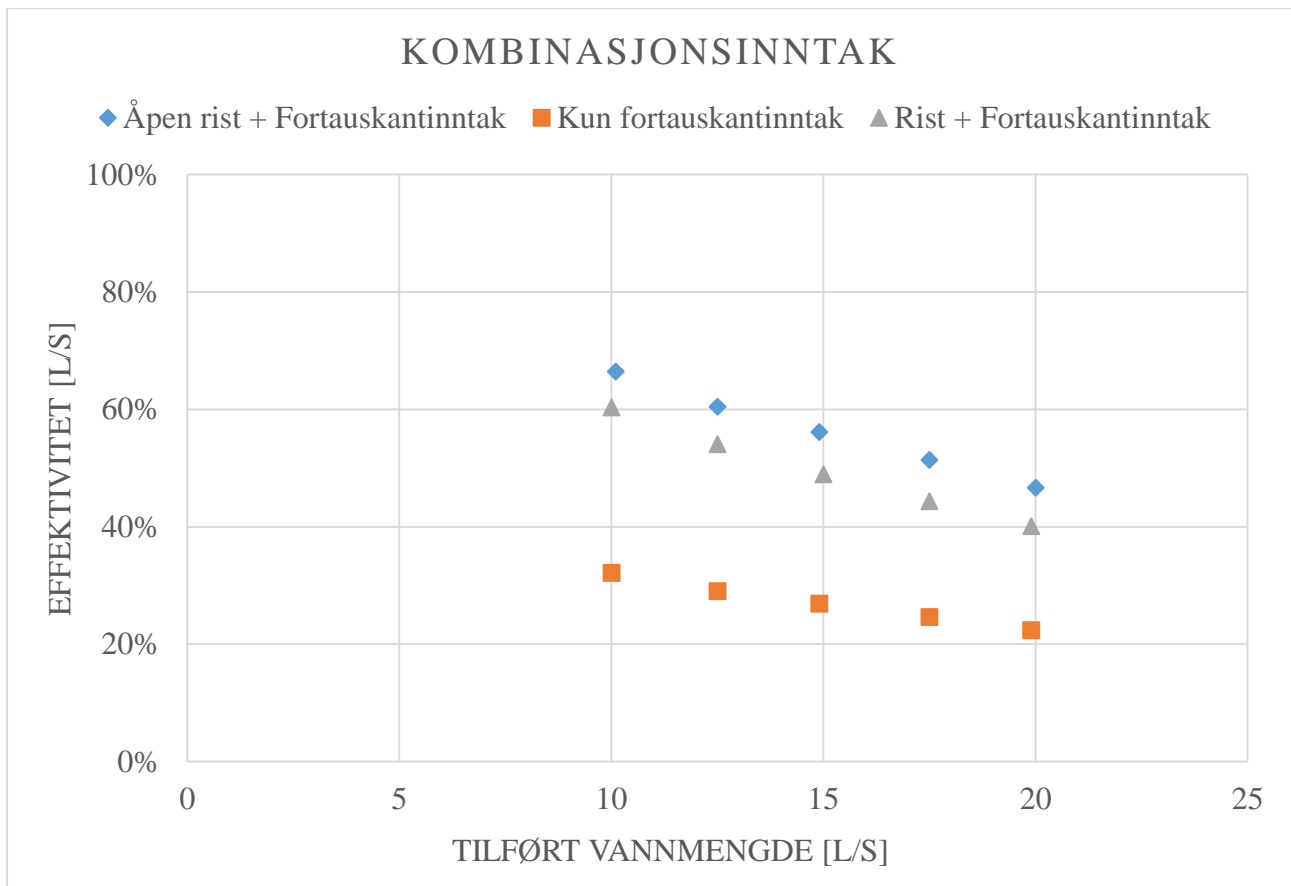
### **Små firkantrister**

Kapasiteten er omtrent like stor for både Ulefos Unico diagonal og Ulefos Unico rett for alle helningene og alle vannføringene. De små forskjellene som er det ikke noe trend på, og de skyldes nok usikkerhet i målingene. Ser at kapasiteten for lave vannmengder er rundt 100%, mens den synker for store vannmengder. Ulefos Unico rett, snudd 90 grader ligger jevnt mellom 90 og 100 prosent. Når denne sammenlignes med de to andre ristene er det viktig å være observant på at siden bredden er annerledes er det brukt et annet åpent hull som referansehull. Derfor blir det vanskelig å si om denne er bedre eller dårligere enn de andre ristene.

Kapasiteten på de små ristene reduseres betraktelig allerede ved en rad gjentetting. Dette kan tyde på at de er mer sårbare for gjentetting enn det de store runde ristene er.

I utregningene er det brukt en «splash-over» hastighet fra 0.75 m/s til 0.86 m/s. Til sammenligning oppgir Pazwash (Pazwash, 2011) «splash-over» hastigheten for noen kjente amerikanske rister med tilsvarende lengde til å være 0.65 m/s til 1.60 m/s. Ut ifra beregningene ser man at kapasiteten til rista er omtrent uavhengig av helning. Dette skyldes at når helninga øker synker spredningen på vannet, som øker effektiviteten, mens hastigheten øker, noe som reduserer kapasiteten. I USA settes det et krav til 75% effektivitet på overvannsledløp. For firkantristene vil det tilsvare en vannføring på omkring 5 l/s avhengig av helning.

## Kombinasjonsinntak



For kombinasjonsinntaket så man i forsøket at kapasiteten sank drastisk når rista ble gjentettet. Dette samsvarer med anbefalingene i USA, hvor de anbefaler å dimensjonere som for et ristinntak, og at fortauskantinntaket brukes for å hindre gjentetting. I HEC-22 oppgir de at man kan bruke samme formel som for ristinntak.

## 6.2 Diskusjon av parametere

### Vannføring

Økende vannføring øker kapasiteten på rista. Samtidig synker effektiviteten. Når vannføringen øker, øker både vannhastigheten, spredningen på vannet og vanddybden.

### Hastighet

Hastigheten er avhengig av vannføringen, helningen og ruheten. Forsøk i USA (Federal Highway Administration, 2009) har vist at når hastigheten øker synker effektiviteten til rista.

### Vanddybde

Kapasiteten øker med økende vanddybde. Vanddybden er avhengig av vannføring, helning, sideveis helning og vannhastighet.

### Helning

Stor helning gir stor vannhastighet. Samtidig øker «splash-over» hastigheten. Som vist for små rister er kapasiteten omtrent lik uavhengig av helning. I HEC-22 (Federal Highway Administration, 2009) kom de frem til at effektiviteten stiger med økende helning frem til «splash-over» hastigheten. De brukte en konstant «splash-over» hastighet

## Sideveis helning

Økende sideveis helning gjør at spredningen på vannet reduseres. Dermed vil en større del av vannet passere over rista, noe som igjen øker kapasiteten på rista

## Bredde på rista

Kapasiteten på rista er sterkt avhengig av bredden på rista. En stor bredde gjør at mye vann passerer over rista, og dermed øker kapasiteten.

## Ruhet

Stor ruhet gir lav vannhastighet. Dermed øker spredningen av vannet, og effektiviteten til rista synker.

## 6.3 Feilkilder

I ethvert laboratorieforsøk finnes det en del feilkilder, siden man aldri klarer å oppnå helt like forhold i modell og prototyp. Dette delkapittelet er delt inn i modellfeil, som tar for seg potensielle feil i utførelsen av modellen, og målefeil, som tar for seg unøyaktigheter i målingene.

### Modellfeil

#### Geometriske feil

I virkeligheten plasseres ristnedløp enten inntil fortauet, eller et stykke fra fortauskanten. Det mest vanlige er å plassere rista helt inntil fortauskanten, med sideveis helning for å lede vannet inn mot rista. I modellen er rista plassert i midten av kanalen. Dette gjør at modellen ikke oppnår geometrisk likedannethet



FIGUR 71: RIST I VIRKELIGHETEN

Allikevel er det naturlig å anta at vannets oppførsel i selve rista vil være ganske lik i modellen og i virkeligheten. Det som er forskjellig er hvor mye av vannet som passerer over selve rista, og hvor mye av vannet som passerer til side for rista. Derfor vil ikke effektiviteten som er funnet stemme helt med virkeligheten, men det vil være en systematisk feil, som omtrent er lik for alle ristene. Derfor vil ristenes kapasitet relativt til hverandre sannsynligvis være lik. Derfor er laboratorieforsøkene i hovedsak brukt til å sammenligne de forskjellige ristene mot hverandre. Det er også grunnen til at formlene utarbeidet i HEC-22 er såpass mye brukt i denne rapporten.



FIGUR 72: RIST I MODELL

Som mål på effektivitet til ristene er det valgt å sammenligne med et hull på samme størrelse. Grunnen til det er at dette viser på en god måte hvor mye den hydrauliske kapasiteten blir redusert på grunn av de forskjellige ristene. Et av hovedmålene med forsøkene var å nettopp å sammenligne de forskjellige typene. Dermed vil effektiviteten ikke bli sammenlignbar med effektiviteten funnet i andre forsøk, som for eksempel i HEC-22 (USA).

## **Strømningsforhold**

I modellen var det relativt kort fra vannet kom inn i modellen til det passerte rista. Dette gjorde at selv med både en terskel, samt netting beholdt fortsatt vannet noe av energien. Dette var allikevel et mye større problem før nettingen ble montert. I utregningen av vannhastighet er det antatt jevn strømning over hele tverrsnittet, og lik hastighet over hele tverrsnittet. Dette er en forenkling. I modellen er det brukt tre som overflatemateriale, noe som gir et Manningstall på omtrent 0.010 i stedet for 0.013 som det er for asfalt (Chow, 1959).

## **Målefeil**

Alle målingene er lest av manuelt, og notert på et ark for deretter ført inn i Excel. Det er derfor mulig med avlesningsfeil, selv om det mest sannsynlig ville blitt oppdaget, i hvert fall hvis det var store feil.

## **Dårlig nøyaktighet på utstyret**

- Høydemålingene har en nøyaktighet på 1 mm
- Vannføringsmåleren har en nøyaktighet på omtrent 1 l/s
- V-overløpet måles med en nøyaktighet på 0.01 mm + eventuelt menneskelige feil
- Kalibreringen av V-overløpet har en nøyaktighet på 1-2%

## 7. Konklusjon

I denne oppgaven er det sett på hvordan kapasiteten til rister påvirkes av forskjellige faktorer. Det er også sett en del på hva som finnes av eksisterende litteratur på område, både norsk og utenlandsk. I Norge er det svært manglende litteratur på området, og mye av dimensjoneringen skjer på bakgrunn av synsing. Derimot er det et mye større fokus på dimensjonering av overvannsledløp i andre land, som for eksempel USA. Der er det egne kapitler i lærebøkene om hvordan det beregnes.

Ut ifra resultatene i laboratorieforsøkene er det kommet frem til at blant de små firkantristene er det liten forskjell på Ulefos Unico rett og Ulefos Unico diagonal. For de store runde ristene er Ulefos NSR-1995 omtrent 5-10% bedre enn Ulefos NSR-1995.

Det er funnet ut at for gjentetting reduseres kapasiteten til ristene. Når en rad blir gjentettet gir det liten reduksjon i kapasiteten, mens to rader gjentetting gir en drastisk reduksjon. Dette viser at det er viktig å passe på at ristene ikke går tett. Generelt reduseres kapasiteten ved gjentetting mer på de små firkantristene, enn det gjør på de store runde ristene

I Håndbok N200 (Vegdirektoratet, 2014) oppgis det at normale ristinntak har en kapasitet på cirka 15 l/s. I denne oppgaven er det funnet ut at for 15 l/s har de store runde ristene en effektivitet på mellom 80 % og 90 %. De små firkantede ristene har en effektivitet på omtrent 50 % for 15 l/s. I USA er det krav til at overvannsledløpene skal ha en effektivitet på minimum 75 %. For de store runde ristene gir det en kapasitet på 20-30 l/s, mens det for de små firkantristene gir en kapasitet på omtrent 5 l/s

Resultatene i dette forsøket viser at for konstant vannføring øker kapasiteten på ristene med økende vannføring, mens effektiviteten synker. Samtidig viser de praktiske forsøkene at kapasiteten synker med økende helning, mens de teoretiske beregningene viser at det ikke er noe signifikant forskjell avhengig av helning. Det er utarbeidet diagram for anbefalt effektivitet av de fire ristinntakene og de to fortauskantinntakene. Disse står nærmere beskrevet i kapittel 5.2 Ristinntak, i tillegg til at de ligger vedlagt i vedlegg 19 og utover



## 8. Videre testing

Det bør utarbeides en håndbok for dimensjonering av ristnedløp i Norge for å øke det generelle kunnskapsnivået. Denne kan baseres på håndbøker fra andre land i kombinasjon med denne masteroppgaven, eventuelt i kombinasjon med flere forsøk.

I denne oppgaven er laboratorieforsøkene fokusert på å sammenligne de forskjellige ristene mot hverandre. Hvis man skal teste videre bør man teste med sidehelning, enten i fullskala, eller i en modell som er skalert i forhold til Froudetallet, for å kontrollere at formlene som er funnet fra HEC-22 gir riktig svar. Slik modellen har vært i dette forsøket har det måtte gjøres en del antakelser for å koble forsøkene til virkeligheten. Det hadde man unngått hvis hele modellen hadde vært i full skala.

Det savnes studier på hva som skaper problemer på rister i virkeligheten. Her kan man analysere forskjellige oversvømmelser og skader, og se hva de skyldes. Om det er rista som ikke har tilstrekkelig kapasitet, om den har gått tett, om utførelsen er for dårlig, om det skyldes dårlig vedlikehold, eller om den er feil plassert.

## 9. Referanser

- Arberle, J., 2015. *Physical hydraulic modelling*. Trondheim: NTNU.
- BASAL, 2015. *BASAL*. [Internett]  
Available at: <http://www.basal.no/produkt/47/sandfang>  
[Funnen 04 05 2015].
- Brown, S. et al., 2009. *Urban drainage Design Manual Hydraulic Engineering Circular 22, Third edition*, Colorado: Ayres Associates Inc.
- Chow, V. T., 1959. *Open-channel hydraulics*. 1 red. New York: McGraw-Hill.
- Federal Highway Administration, 2009. *Hydraulic Engineering Circular No. 22, Third Edition*, Fort Collins, Colorado: US Department of Transportation.
- Highways Agency, 2001. *Design manual for Roads and Bridges, Volume 3*, London: HMSO.
- Main Roads, 2014. *Hjemmeside for Main Roads*. [Internett]  
Available at:  
[https://www.mainroads.wa.gov.au/BuildingRoads/StandardsTechnical/RoadandTrafficEngineering/DrainageWaterways/Pages/Piped\\_Systems.aspx](https://www.mainroads.wa.gov.au/BuildingRoads/StandardsTechnical/RoadandTrafficEngineering/DrainageWaterways/Pages/Piped_Systems.aspx)  
[Funnen 11 12 2014].
- Mays, L. W., 1999. *Hydraulic design handbook*. 1 red. Tempe, Arizona: McGraw-Hill.
- Mosevoll, G. & Lindholm, O., 1986. *SANDFANG I AVLØPSLEDNINGER FRA GATER OG VEIER Forprosjekt*, Trondheim: Program for VAR-teknikk c/o Institutt for vassbygging.
- Pazwash, H., 2011. *Urban Storm Water Management*. s.l.:CRC press.
- Schall, J. D. R. E. V. M. J. L., 2001. *Introduction to Highway hydraulics*, Fort Collins, Colorado 80525: Ayres Associates In.
- Skjæveland Cementstøperi, 2014. *Hjemmeside for Skjæveland*. [Internett]  
Available at: <http://www.skjæveland.no/skjæveland/hovedmeny/teknisk-info/overvannshaandtering/vaare-slisserenner/slisserenner-gammel-type>  
[Funnen 12 12 2014].
- Thorolfsson, S. T., 2011. Sandfang må vedlikeholdes. *Norsk Vann bulletin*, 2011(4), pp. 38-39.
- Thorolfsson, S. T., 2014. *Overvannshåndtering* [Intervju] (November 2014).
- US FOUNDRY, 2014. *Homepage for US FOUNDRY*. [Internett]  
Available at: [www.usfoundry.com/usfoundry-products/catalog/curbandgutter/productdetails/5101/6156](http://www.usfoundry.com/usfoundry-products/catalog/curbandgutter/productdetails/5101/6156)  
[Funnen 07 12 2014].
- Vegdirektoratet, 2013. *Premisser for geomterisk utforming av veier*, s.l.: Statens vegvesen.
- Vegdirektoratet, 2014. *Vegbygging Håndbok N200*, s.l.: Statens Vegvesen.

# Vedlegg

- Vedlegg 1: 2015.02.17: Test av Ulefos Unico rett og diagonal
- Vedlegg 2: 18.02.2015: Test av Ulefos Unico diagonal
- Vedlegg 3: 20.02.2015: Test av Ulefos Unico skrå og uten rist
- Vedlegg 4: 2015.02.24: Test av åpent hull
- Vedlegg 5: 25.02.2015: Test av Ulefos Unico rett
- Vedlegg 6: 03.06.2015 Test av åpent hull
- Vedlegg 7: 20.03.2015: Test av Ulefos Unico diagonal
- Vedlegg 8: 23.03.2015: Test av Ulefos Unico rett
- Vedlegg 9: 25.03.2015 Test av Ulefos UR-60AX
- Vedlegg 10: 26.03.2015 Test av Ulefos UR-60AX
- Vedlegg 11: 10.04.2015: Test av stort rundt åpent hull
- Vedlegg 12: 13.04.2015 Test av stort rundt åpent hull
- Vedlegg 13: 22.04.2015: Test av Ulefos NSR-1995
- Vedlegg 14: 23.04.2015 Ulefos NSR-1995 med gjentetting og Ulefos UR-60AX med gjentetting
- Vedlegg 15: 24.04.2015: Ulefos UR-60AX. To rader gjentettet
- Vedlegg 16: 27.04.2015 Ulefos UR 60-AX Tre rader gjentettet + Ulefos Unico rett med gjentetting
- Vedlegg 17: 28.04.2015 Test av Ulefos Unico rett, snudd 90 grader, gjentetting av Ulefos Unico diagonal og gjentetting av Ulefos Unico rett.
- Vedlegg 18: 13.05.2015: Test av kombinasjonsinntak
- Vedlegg 19: Effektiviteten til store runde rister
- Vedlegg 20: Små firkantede rister
- Vedlegg 21: Fortauskantinntak

Vedlegg 1: 2015.02.17: Test av Ulefos Unico rett og diagonal

Beskrivelse:	Første test med liten rist. Formålet var å finne ut om den testprotokollen jeg hadde planlagt fungerte, og eventuelt gjøre endringer. Testet både rist med skrå hull og uten rist.				
Vannmengde inn	Høyde oppstrøms kum	Helning	Høyde over V-overløp	Justert høyde	Oppfanget vannmengde
Liten rist med skrå hull					
0	569	0	-7.93	-7.93	
5.2	553	0	94.74	86.81	3.241733032
10	547	0	111.99	111.99	6.127748995
20	536	0	132.86	132.86	9.393738712
29.9	530	0	146.75	146.75	12.04475944
Uten rist					
4.9	553	0			
5.2	553	0	25.55	98.43	4.437839267
10	546	0	43.36	116.24	6.725767635
20.3	537	0	63.39	136.27	10.00814285
29.9	530	0	77.44	150.32	12.79071357
Bredde	1.6				

Vedlegg 2: 18.02.2015: Test av Ulefos Unico diagonal

Vannmengde inn l/s	Høyde oppstrøms kum (mm)	Helning	Høyde over V-overløp (mm)	Oppfanget vannmengde
5	553	0	96.85	4.26188688
10.1	547	0	115.8	6.662301065
14.9	542	0	126.75	8.35069796
20	537	0	136.36	10.02467582
30	531	0	150.63	12.85676027
40	527	0	159.22	14.76885766
5	563	2	68.76	1.810058144
10	557	2	88.63	3.414323986
14.9	552	2	103.79	5.066891862
20	549	2	115.66	6.642182831
30	544	2	132.1	9.259976826
40	538	2	143.1	11.30972227
4.9	564	4	60.27	1.301984561
10.2	558	4	84.65	3.04382908
15	555	4	101.4	4.780218444
20.1	551	4	113.36	6.316877412
30	546	4	128.43	8.630164267
40.1	540	4	137.11	10.16308793
4.9	563	4	62.17	1.4070354
9.9	558	4	83.53	2.944144078
5	565	6	59.3	1.25022906
9.9	559	6	82.53	2.856817309
14.9	556	6	97.18	4.298283856
20.1	553	6	111.97	6.125013515
29.9	548	6	127.12	8.411773426
40	542	6	134.65	9.713343564

Vedlegg 3: 20.02.2015: Test av Ulefos Unico skrå og uten rist

Vannmengde inn l/s	Høyde oppstrøms kum (mm)	Helning	Høyde over V-overløp (mm)
Ulefos Unico diagonal			
5	565	8	57.42
10	560	8	80.27
15	557	8	97.06
20.1	556	8	110.49
30	549	8	126.42
39.9	544	8	133.52
Uten rist			
5	553	0	96.45
10.1	546	0	115.16
14.9	541	0	126.45
19.9	536	0	136.45
29.9	531	0	150.58
40	526	0	160.82

Vedlegg 4: 2015.02.24: Test av åpent hull

Vannmengde inn l/s	Høyde oppstrøms kum (mm)	Helning	Høyde over V-overløp (mm)	Oppfanget vannmengde
5	562	2	65.88	1.626435451
9.9	556	2	86.21	3.186008782
15	552	2	103.29	5.006088804
20	549	2	115.33	6.594905637
30	544	2	134.76	9.733193593
40	538	2	148.4	12.38618631
5	563	4	60.9	1.336275751
10	558	4	83.01	2.89853728
15	554	4	99.71	4.583525443
20	550	4	111.9	6.115445105
30	545	4	131.73	9.195272105
40	539	4	145.66	11.82234476
4.9	563	6	57.44	1.154486699
9.9	559	6	80.46	2.681037733
15	556	6	97.35	4.31710633
20	553	6	111.84	6.107250754
30.1	547	6	129.94	8.886075766
39.9	541	6	143	11.2899742
5	564	8	57.1	1.137478316
10	560	8	79.89	2.633806764
15.1	558	8	95.82	4.149476144
19.9	555	8	109.94	5.851162874
30.1	549	8	129.05	8.734697679
39.9	543	8	142.76	11.24266329

Vedlegg 5: 25.02.2015: Test av Ulefos Unico rett

Vannmengde inn l/s	Høyde oppstrøms (mm)	kum	Helning	Høyde over V-overløp (mm)
5		554	0	96.56
10		547	0	114.97
15.1		541	0	127.04
19.9		536	0	135.38
30		530	0	148.82
40		525	0	157.33
4.9		563	2	67.48
10		557	2	88.46
15.1		552	2	102.87
20		549	2	114.69
29.9		544	2	131.55
40.1		537	2	141.32
5		563	4	61.7
10		558	4	83.34
15.2		553	4	100.52
20		550	4	111.96
30		545	4	128
40.1		539	4	136.56
5		563	6	59.09
9.9		559	6	80.8
15.1		556	6	98.17
20		553	6	111.81
29.9		548	6	126.19
39.9		541	6	132.95
5		564	8	56.96
9.9		560	8	78.68
15.1		557	8	96.29
19.9		555	8	110
29.9		549	8	124.17
40.1		543	8	130.74



Vedlegg 6: 03.06.2015 Test av åpent hull

Vannmengde inn l/s	Høyde oppstrøms (mm)	kum	Helning	Høyde over V-overløp (mm)
Åpent hull				
17.5		552	4	108.45
20		550	4	114.16
22.6		549	4	118.85
25		548	4	123.35
27.5		547	4	127.55
30		545	4	131.59
32.6		543	4	135.58
34.9		542	4	138.68
17.5		555	6	106.9
19.9		553	6	112.94
22.4		551	6	117.91
25		550	6	122.27
27.6		548	6	126.3
30.1		547	6	130.41
32.5		545	6	133.53
34.9		544	6	136.75
17.5		557	8	104.49
20		555	8	111.35
22.5		553	8	117.33
25		552	8	121.87
27.6		550	8	125.69
30		549	8	128.49
32.5		548	8	132.24
35		546	8	135.3

Vedlegg 7: 20.03.2015: Test av Ulefos Unico diagonal

Vannmengde inn l/s	Høyde oppstrøms (mm)	kum	Helning	Høyde over (mm)	V-overløp	Oppfanget vannmengde
Skrårist						
17.4		551	4		109.05	5.73346322
20		549	4		113.89	6.39097087
22.5		548	4		117.85	6.96108317
25		547	4		121.49	7.51111111
27.6		546	4		124.99	8.06382373
29.9		545	4		127.83	8.52972104
32.5		543	4		130.85	9.04247201
35		541	4		133.25	9.46282699
17.4		554	6		106.45	5.39780287
20.1		552	6		112.85	6.24606881
22.5		550	6		117.02	6.83916514
25.1		549	6		120.33	7.33310068
27.4		547	6		123.55	7.83357003
30		546	6		126.01	8.22934718
32.5		545	6		128.06	8.5681409
35.1		543	6		130.21	8.93230827
17.69		556	8		104.54	5.15892359
20		554	8		111.05	5.99997254
22.5		553	8		116.26	6.72866106
25.1		550	8		119.83	7.25716093
27.5		549	8		122.31	7.63849452
30		548	8		124.17	7.93221649
32.6		547	8		126.45	8.30137323
35.1		545	8		128.16	8.5848775

Vedlegg 8: 23.03.2015: Test av Ulefos Unico rett

Vannmengde inn l/s	Høyde oppstrøms kum (mm)	Helning	Høyde over V-overløp (mm)	Oppfanget vannmengde
Rett rist				
17.4	551	4	109.27	5.76242404
20	550	4	114.13	6.42469328
22.6	549	4	118.88	7.11417996
25	547	4	122.47	7.6634998
27.6	546	4	126.08	8.24078068
29.9	545	4	128.83	8.69751873
32.5	543	4	131.14	9.09265691
35	541	4	133.12	9.43976381
17.5	553	6	107.52	5.53446946
20	552	6	113.61	6.35176257
22.4	550	6	118.13	7.002504
25	548	6	121.64	7.53431692
27.5	548	6	123.92	7.89235057
29.9	547	6	125.98	8.22445002
32.6	545	6	128.69	8.67390893
35.1	543	6	130.28	8.94431798
17.5	555	8	104.63	5.17003424
20	554	8	112.53	6.2018842
22.6	553	8	116.98	6.83332219
25	551	8	120.74	7.39572552
27.6	549	8	123.18	7.77505295
30	548	8	124.56	7.99464815
32.6	547	8	126.28	8.27350034
35	546	8	128.11	8.57650675

Vedlegg 9: 25.03.2015 Test av Ulefos UR-60AX

Vannmengde inn l/s	Høyde oppstrøms kum (mm)	Helning	Høyde over V-overløp (mm)	Oppfanget vannmengde
Stor rist, runde hull				
10	546	0	122.8	7.715228141
19.9	537	0	148.8	12.46981998
30.1	530	0	167.82	16.84465605
40.1	526	0	180.37	20.17268091
49.9	526	0		0
60	523	0	200.78	26.37266271
50.1	526	0	190.52	23.13152619

Vedlegg 10: 26.03.2015 Test av Ulefos UR-60AX

Vannmengde inn l/s	Høyde oppstrøms kum (mm)	Helning	Høyde over V-overløp (mm)	Oppfanget vannmengde
Stor rist, runde hull				
10.1	557	2	103.34	5.012149296
20	549	2	133.11	9.43799112
30	543	2	157.57	14.38920147
40	537	2	170.39	17.49698071
50.1	530	2	181.79	20.57206225
59.9	526	2	189.41	22.79607704
10.1	558	4	100.93	4.725018779
20	550	4	132	9.242462216
30	545	4	152.74	13.31173984
40	539	4	165.89	16.36452386
50	533	4	176.21	19.02958134
60	529	4	185.08	21.51550692
9.9	560	6	96.92	4.269591935
20	553	6	132.06	9.252968594
30.1	547	6	152.08	13.16840319
40.1	541	6	163.34	15.74288177
50	535	6	173.01	18.17736262
60	530	6	182.45	20.75929139
10	560	8	94.64	4.022904147
20	555	8	129.01	8.727930792
30	548	8	148.3	12.36533063
40.1	542	8	161.29	15.25356864
49.9	537	8		0

Vedlegg 11: 10.04.2015: Test av stort rundt åpent hull

Vannmengde inn l/s	Høyde oppstrøms kum (mm)	Helning	Høyde over V-overløp (mm)	Oppfanget vannmengde
Stort åpent hull				
10	540	0	124.44	7.975407123
20	531	0	154.58	13.71627277
30	527	0	174.66	18.61386224
40.1	523	0	191.21	23.34153213
49.9	522	0	204.1	27.476434
60	518	0	216.28	31.76097003
10	551	2	106.15	5.359852669
20	545	2	139.29	10.57189161
30	540	2	163.17	15.70195179
40.1	534	2	180.22	20.13076686
50	528	2	196.73	25.06278541
60	524	2	211.68	30.09902467
10	555	4	104.07	5.101134119
20.1	548	4	138.27	10.37941228
30	543	4	160.82	15.14268891
40	537	4	178.26	19.58788796
50.1	531	4	194.42	24.33353489
60	528	4	208.64	29.02998363
10	557	6	101.6	4.803824421
20.1	551	6	138.94	10.50560559
30	545	6	160.26	15.01121004
40	539	6	177.05	19.25717972
50	534	6	192.15	23.62946168
60	530	6	206.64	28.33928173

Vedlegg 12: 13.04.2015 Test av stort rundt åpent hull:

Vannmengde inn l/s	Høyde oppstrøms kum (mm)	Helning	Høyde over V-overløp (mm)	Oppfanget vannmengde
Stort åpent hull				
10.1	560	8	99.49	4.558284555
20.1	555	8	137.67	10.26717907
30.1	548	8	160.01	14.95273611
40	542	8	177.26	19.31433315
50	530	8	193.05	23.90712601
60	529	8	211.7	30.10613473

Vedlegg 13: 22.04.2015: Test av Ulefos NSR-1995

Vannmengde inn l/s	Høyde oppstrøms (mm)	kum	Helning	Høyde over (mm)	V-overløp	Oppfanget vannmengde
Stor rist med mange små hull						
10.1		547	0		124.49	7.98342084
20.1		538	0		152.01	13.1532554
30		532	0		170.16	17.437995
40		528	0		185.28	21.5736789
50.1		527	0		194.93	24.4934275
60		523	0		204.39	27.5741393
10		556	2		104.26	5.12444879
20		548	2		135.97	9.95315116
30		543	2		157.78	14.4371921
39.9		536	2		173.24	18.2378355
50		529	2		185.68	21.6903058
60		525	2		196.88	25.1105866
10		557	4		102.08	4.8607637
19.9		550	4		133.21	9.45572703
30		545	4		154.35	13.6653085
39.9		538	4		168.91	17.1195073
50		533	4		181.86	20.5918717
60		528	4		193.26	23.9721946
10.1		559	6		99.13	4.51716153
20		552	6		134.21	9.63418644
30.1		547	6		153.42	13.4603949
40		540	6		166.75	16.5774399
49.9		535	6		179.54	19.9414121
60.1		529	6		191.43	23.4087301
10.1		560	8		97.08	4.28723486
19.9		555	8		132.51	9.33199486
30		547	8		152.66	13.2943161
40		542	8		167.98	16.8848341
50.1		536	8			



Vedlegg 14: 23.04.2015 Ulefos NSR-1995 med gjentetting og Ulefos UR-60AX med gjentetting

Vannmengde inn l/s	Høyde oppstrøms kum (mm)	Helning	Høyde over V-overløp (mm)	Oppfanget vannmengde
Ulefos NSR-1995: En rad gjentettet				
10.1	556	2	103.67	5.052258952
20	549	2	136.15	9.986124356
30	543	2	158.59	14.62319777
40.1	538	2	172.5	18.04370027
49.9	530	2	182.88	20.88182195
60.3	526	2	191.05	23.29273366
9.9	557	4	100.87	4.717999688
19.9	550	4	132.63	9.353136658
30	545	4	153.5	13.4779489
40	539	4	167.2	16.68950817
50	533	4	175.9	18.94599657
59.9	527	4	183.33	21.0105152
Ulefos NSR-1995. To rader gjentettet				
10.1	556	2	103.27	5.003665838
20	549	2	133.83	9.566135996
30	542	2	150.46	12.82051584
39.9	536	2	157.2	14.30487971
50	530	2	163.08	15.68030886
59.8		2	168.21	16.94269071
9.9	558	4	99.85	4.599631386
20.1	550	4	130.88	9.047655826
29.9	545	4	144.22	11.53231732
40.1	538	4	152.87	13.34008263
50.1				
Testing etter lunsj	Ulefos UR-60AX. En rad gjentettet			
10	556	2	103.55	5.037651427
20	548	2	133.82	9.564349102
30.2	543	2	154.83	13.77179788
39.9	536	2	166.39	16.48811129
50.1	530	2	173.65	18.34593392
60.4	524	2	182.89	20.88467665
10	556	4	100.74	4.70281313
20.1	550	4	131.96	9.235461942
30	545	4	149.7	12.65923193
40	538	4	160.36	15.03463797
50.1	533	4	169.99	17.3944736

Vedlegg 15: 24.04.2015: Ulefos UR-60AX. To rader gjentettet

Vannmengde inn l/s	Høyde oppstrøms kum (mm)	Helning	Høyde over V-overløp (mm)	Oppfanget vannmengde
Stor rist med runde hull. To rader gjentetting				
10.1	556	2	103.84	5.072996404
20	549	2	133.46	9.500154256
29.9	544	2	146.1	11.9118275
39.9	537	2	154.22	13.63655294
50	530	2	162.88	15.63227755
58.7		2	168.86	17.10684097
10	557	4	100.42	4.665555912
20	550	4	127.13	8.413427821
30.1	545	4	140.8	10.86074189
40.1	539	4	150.47	12.82264616
49.9	533	4	157.92	14.46923913
58.8		4	163.09	15.68271274

Vedlegg 16: 27.04.2015 Ulefos UR 60-AX Tre rader gjentettet + Ulefos Unico rett med gjentetting

Vannmengde inn l/s	Høyde oppstrøms kum (mm)	Helning	Høyde over V-overløp (mm)	Oppfanget vannmengde
Ulefos UR-60AX. Tre rader gjentettet				
10	557	2	102.35	4.892969102
20	549	2	119.7	7.237494252
29.9	543	2	126.34	8.283331404
39.9	538	2	133.59	9.523305808
50	531	2	138.88	10.49426738
10.1	558	4	99.11	4.514883476
19.9	551	4	112.92	6.255759289
30	546	4	121.61	7.529672323
39.9	539	4	128.13	8.579854463
49.9	533	4	133.37	9.484146061
Ulefos Unico rett. En rad gjentetting				
10	556	2	91.31	3.67831326
14.9	552	2	103.63	5.047386958
20	549	2	113.88	6.389568082
25	546	2	121.53	7.517295121
30	543	2	127.01	8.393587958
35.1	540	2	130.41	8.96664742
10	558	4	85.95	3.162041448
15	554	4	99.98	4.614617267
20	551	4	108.96	5.721640833
24.9	549	4	115.4	6.604917203
30	546	4	120.04	7.288997859
35	543	4	124.35	7.960994609

Vedlegg 17: 28.04.2015 Test av Ulefos Unico rett, snudd 90 grader, gjentetting av Ulefos Unico diagonal og gjentetting av Ulefos Unico rett.

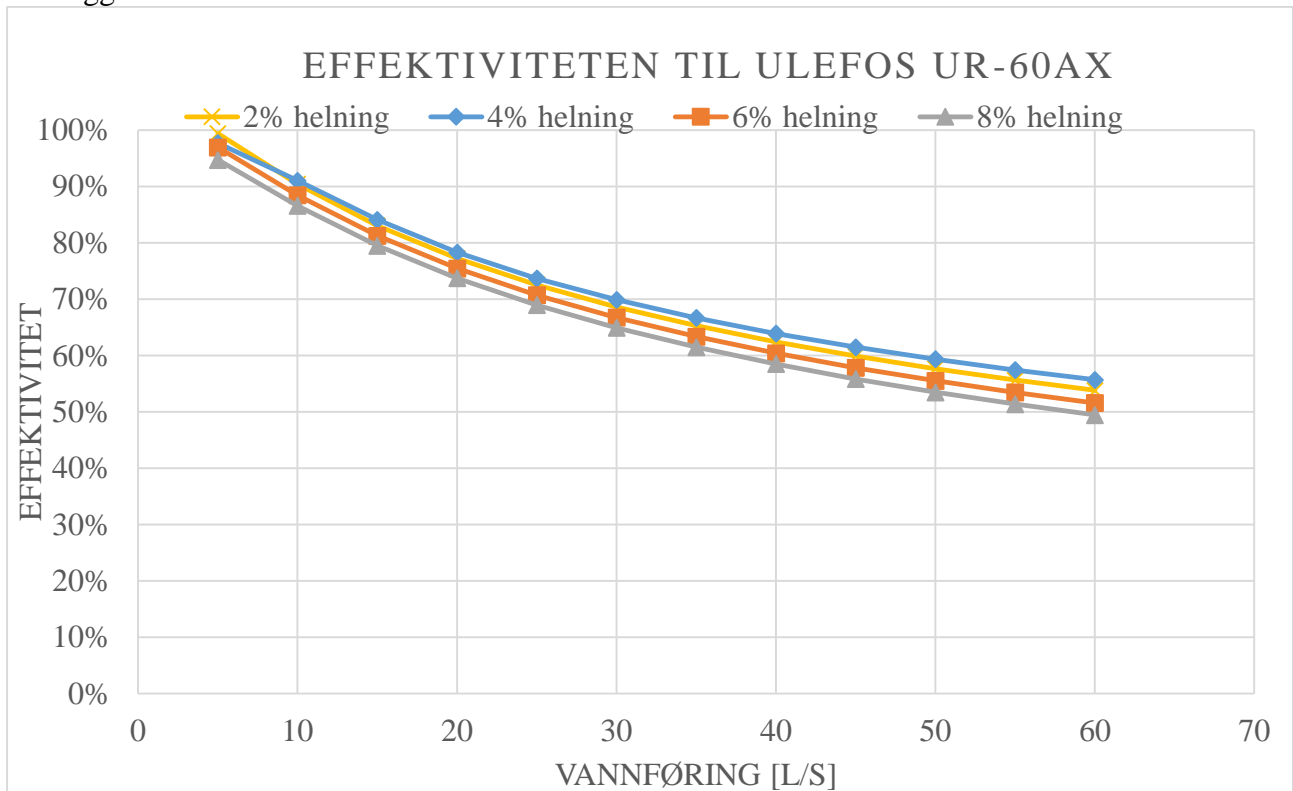
Vannmengde inn l/s	Høyde oppstrøms kum (mm)	Helning	Høyde over V-overløp (mm)	Oppfanget vannmengde
Test av Ulefos Unico rett, snudd 90 grader:				
Åpent hull:				
9.9	557	2	86.72	3.233337422
15	553	2	100.67	4.694647918
20	549	2	111.98	6.126381163
25	546	2	121.71	7.54516101
30	544	2	130.42	8.968366452
35	540	2	137.48	10.23179109
10	558	4	81.46	2.765119279
20	550	4	108.78	5.698039978
25	548	4	118.07	6.993615697
30	545	4	126.63	8.330947027
35.1	543	4	134.13	9.619835979
Ulefos Unico rett snudd 90 grader				
10	557	2	87.03	3.262310655
20	550	2	110.72	5.955497526
25	547	2	119.51	7.208808218
30	544	2	127.81	8.526385079
34.9	541	2	134.16	9.625215899
10.1	558	4	81.36	2.756640964
15	554	4	95.9	4.158142549
19.9	552	4	105.3	5.253198163
24.9	549	4	114.06	6.414846577
30.1	546	4	121.73	7.548261039
35	543	4	129.12	8.746547303
Gjentetting av Ulefos Unico diagonal				
1 Gjentetting				
10.1	557	2	91.54	3.701520219
15.1	552	2	105.11	5.229533459
20	550	2	114.55	6.483963921
24.9	547	2	121.21	7.467908426
30.1	544	2	126.08	8.240780683
35	540	2	128.96	8.719476608
10	558	4	85.66	3.135436653
15.1	554	4	101.16	4.751983319
20	551	4	109.9	5.845842184
25	549	4	114.17	6.430324037
30	546	4	118.59	7.070872861
35	542	4	120.93	7.424855192
2 Gjentettinger				
10	557	2	91.35	3.682342963

15	553	2	102.07	4.859573361
19.9	550	2	110.21	5.887153529
25	546	2	112.07	6.138698245
30	543	2		
10	558	4	85.66	3.135436653
15.1	554	4	97.64	4.349329221
20.1	551	4	104.73	5.182396229
24.9	549	4	112.06	6.137328947
30.1	545	4	117.61	6.925696897
30.1	544	2	119.45	7.199763669
Ulefos Unico rett				
2 rader gjentetting				
10.1	557	2	86.64	3.225885622
15	553	2	98.92	4.4932763
20.1	549	2	101.8	4.827500204
25	547	2	103.9	5.080327675
30.1	544	2	109.86	5.840524398
10	558	4	81.92	2.80432094
15.1	555	4	92.15	3.763493798
20	551	4	96.8	4.256388382
25.1	548	4	102.68	4.932504678
30	546	4	106.69	5.42827878

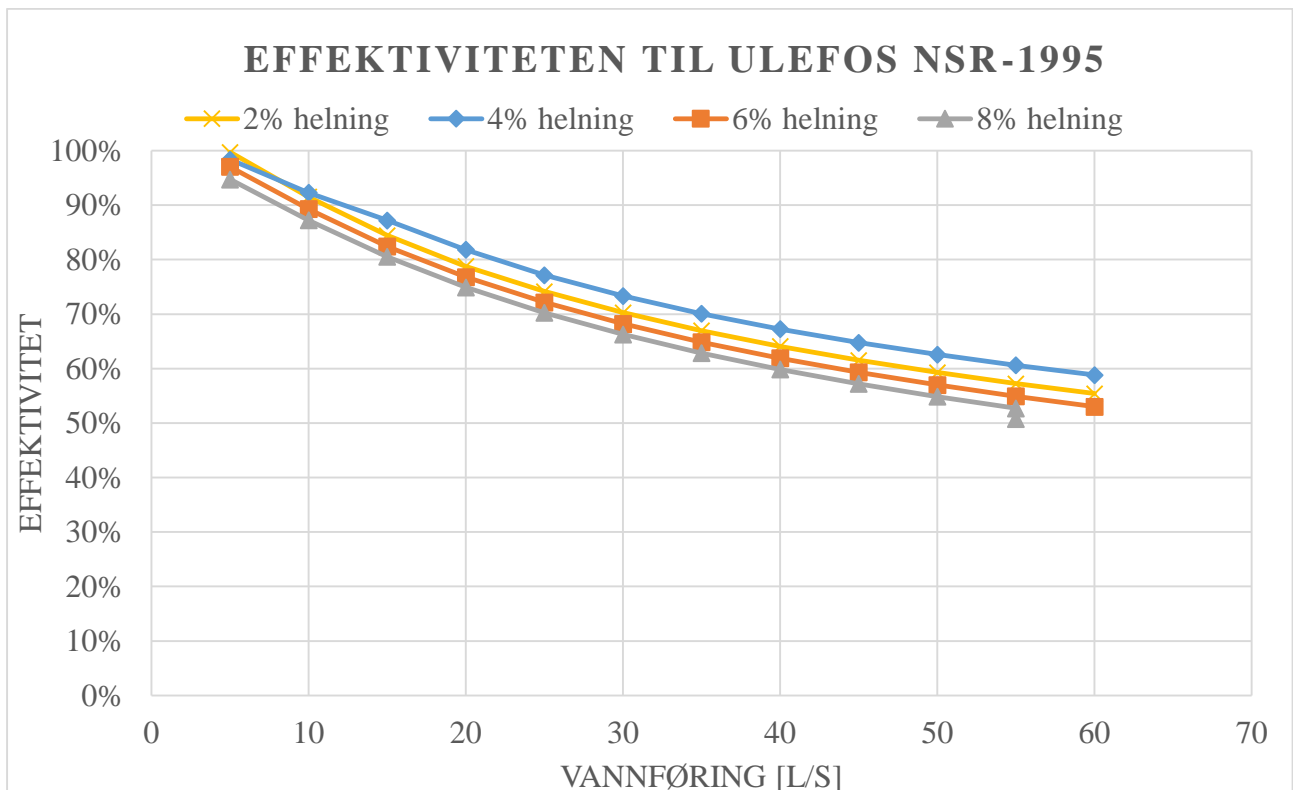
Vedlegg 18: 13.05.2015: Test av kombinasjonsinntak

Vannmengde inn l/s	Høyde oppstrøms kum (mm)	Sideveis helning	Høyde over V-overløp (mm)	Oppfanget vannmengde
Test av kombinasjonsinntak med forskjellige rister				
Åpent hull				
10.1	548	3	116.12	6.708422759
12.5	545	3	121.78	7.556014455
14.9	542	3	126.84	8.36552958
17.5	539	3	130.53	8.987288865
20	536	3	132.45	9.321434718
Gjentettet hull				
10	547	3	86.51	3.213798442
12.5	544	3	90.8	3.627166378
14.9	541	3	94.46	4.003803076
17.5	539	3	97.26	4.307135344
19.9	536	3	98.51	4.446862013
Rist				
10	546	3	111.3	6.033797998
12.5	543	3	116.47	6.759087123
15	541	3	120.37	7.339196355
17.5	538	3	123.1	7.762435206
19.9	535	3	124.48	7.981817707

Vedlegg 19: Effektiviteten til store runde rister

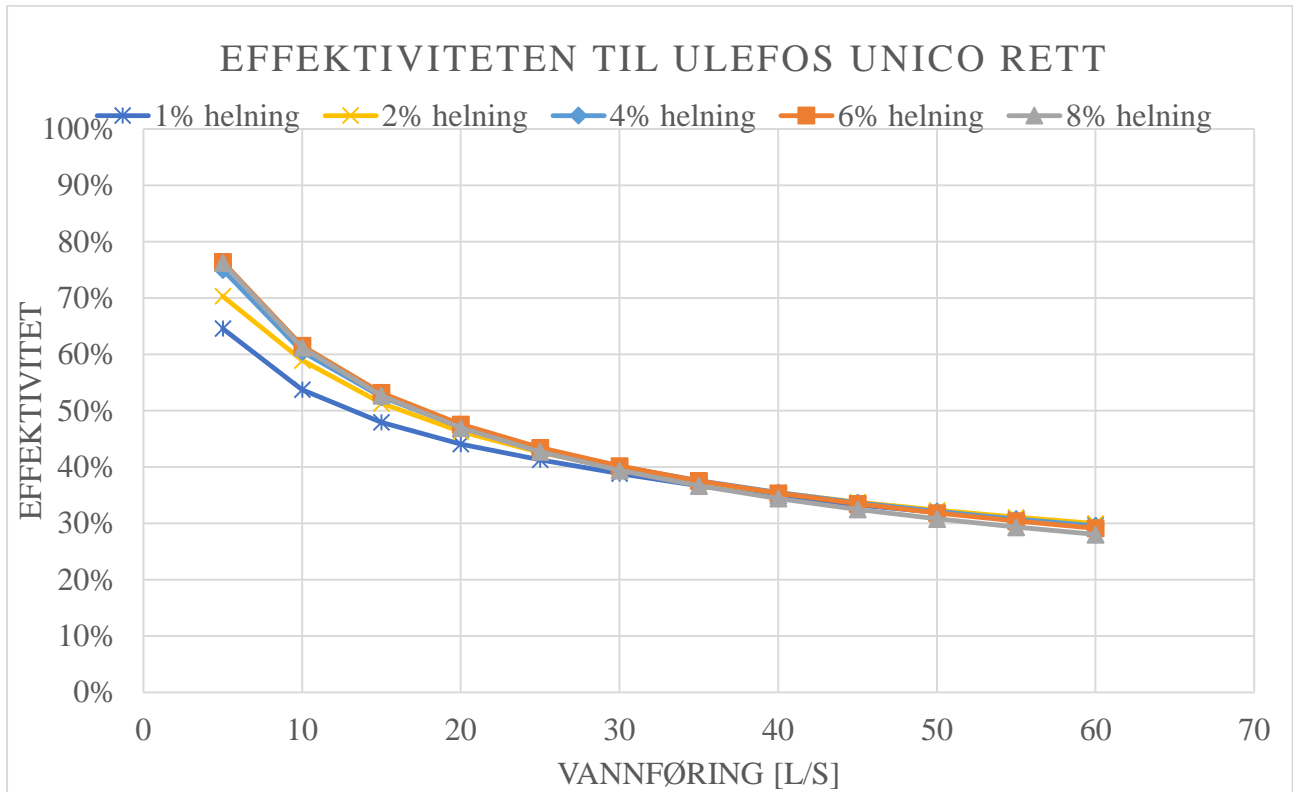


EFFEKTIVITETEN TIL UR-60AX FOR FORSKJELLIGE TYPER HELNING

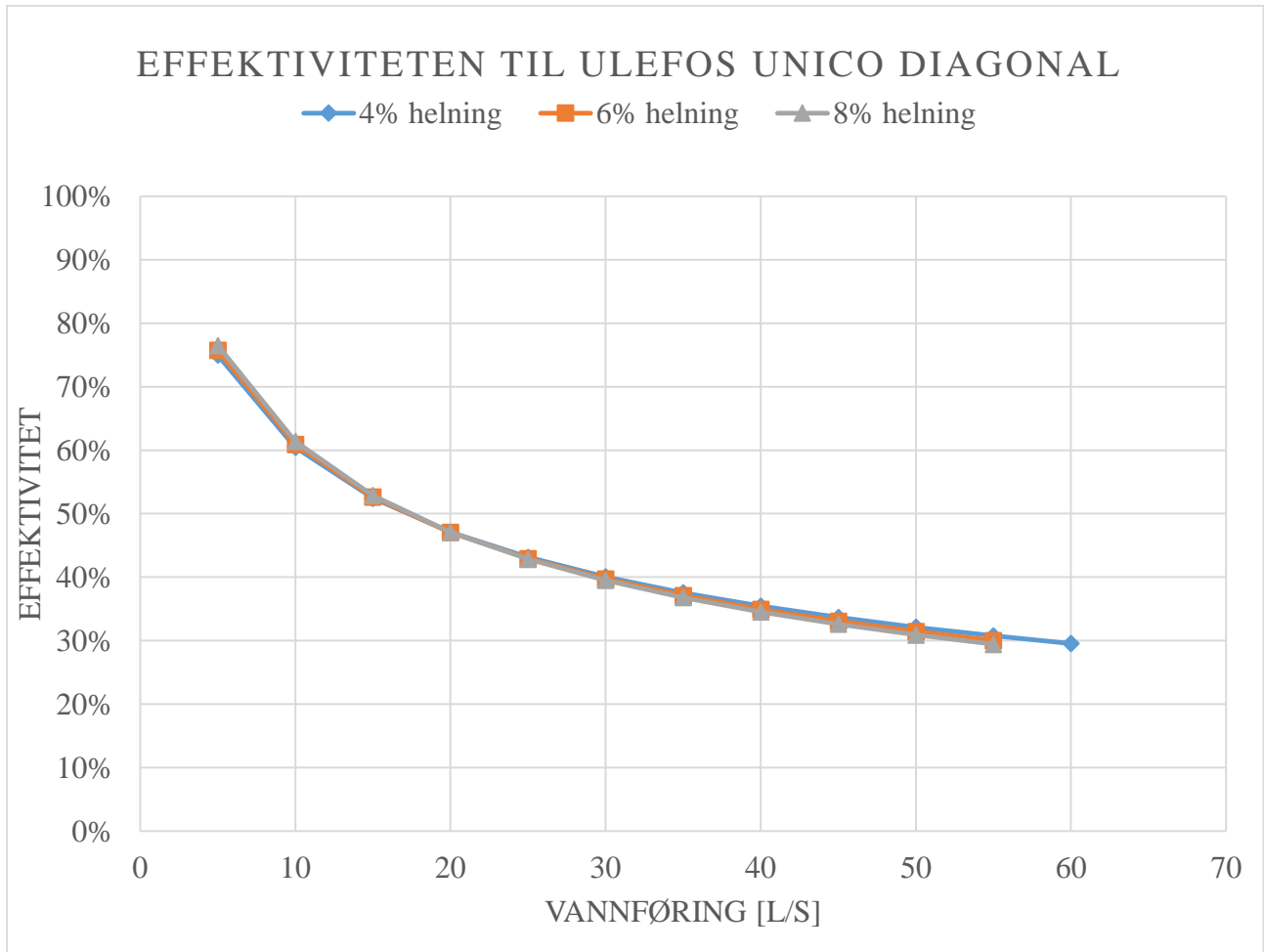


EFFEKTIVITETEN TIL ULEFOS NSR-1995 FOR FORSKJELLIGE TYPER HELNING

Vedlegg 20: Små firkantede rister



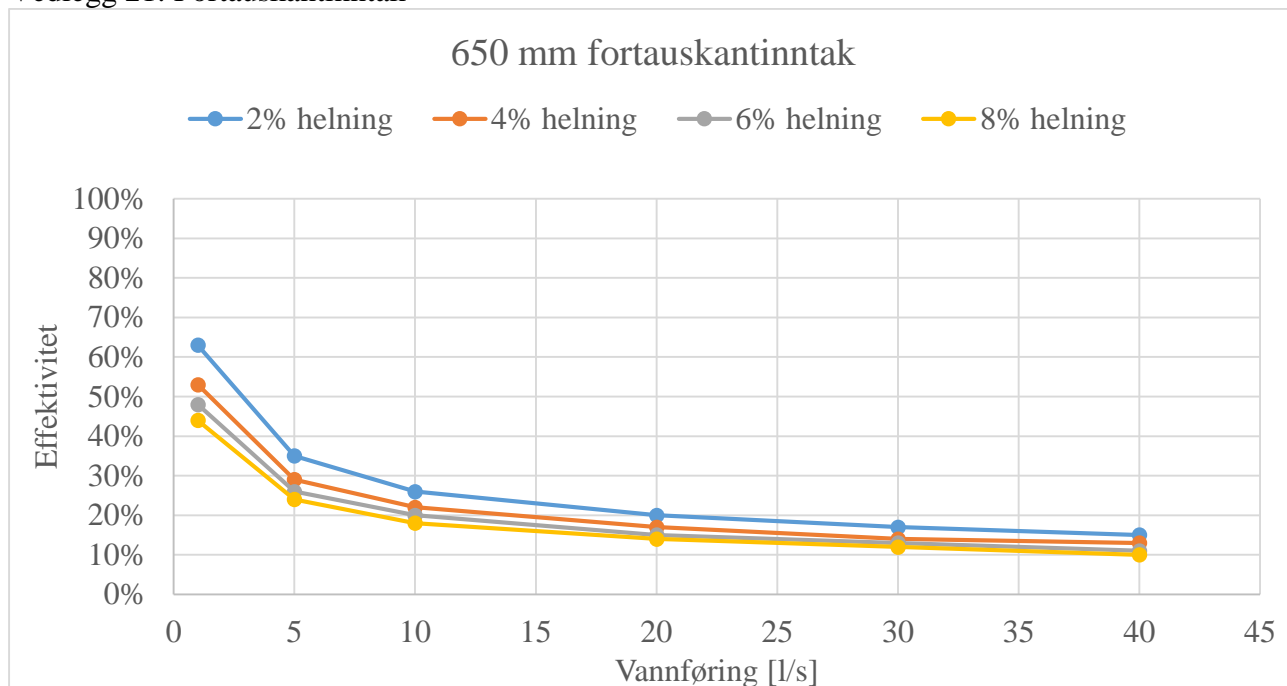
EFFEKTIVITETEN TIL ULEFOS UNICO RETT FOR FORSKJELLIGE TYPER HELNING



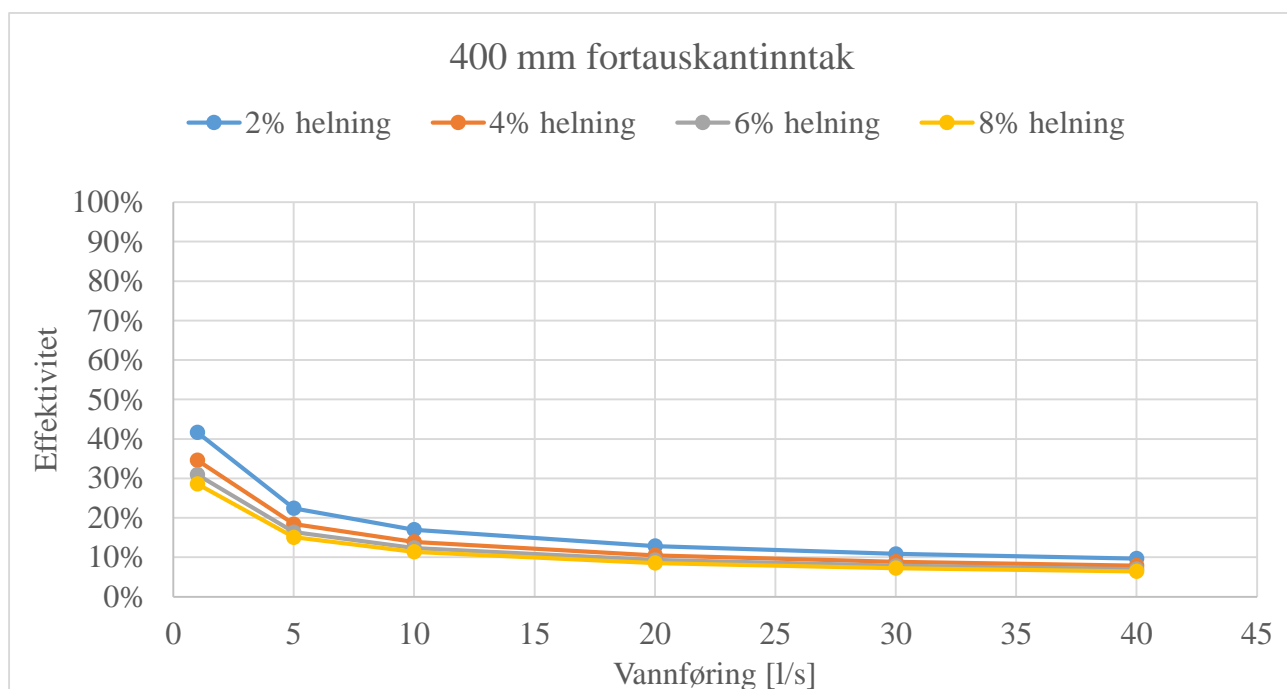
EFFEKTIVITETEN TIL ULEFOS UNICO DIAGONAL



## Vedlegg 21: Fortauskantinntak



EFFEKTIVITETEN TIL ET 650 MM LANGT FORTAUSKANTINNTAK



Effektiviteten til et 400 mm langt fortauskantinntak