

# Numerisk modellering av overløpet på Innerdalen vannkraftdam

## Bakgrunn

Det finnes i dag mange dataprogrammer som kan beregne hastighetsfelt i tre dimensjoner. Mange av programmene har også algoritmer for å kunne finne fri overflate. Ett av disse programmene, Flow-3D, er tidligere blitt brukt med gode resultater på overløp. En har klart å beregne vannlinjer og overløpskapasitet meget nøyaktig, sammenlignet med fysiske modellforsøk.

Flow-3D bygger på et ortogonalt grid, noe som kan være problematisk ved kompliserte geometrier av overløp og tunnellsystemer. Et alternativ er programmet STAR-CCM+, som kan bruke flere forskjellige typer grid, for eksempel ikke-ortogonale ustrukturerte grid. Det er ønskelig finne ut av hvor godt STAR-CCM+ programmet vil egne seg til å beregne kapasiteten på et flomløp i Norge. For å klare dette, må en ha data for å kunne sammenligne STAR-CCM+ sine resultater med målte verdier. Målinger fra felt finnes det lite av, så i stedet ønsker vi å bruke data fra et hydraulisk laboratorium. En del data er tilgjengelige fra overløpet på Innerdalen dammen. To diplomstudenter gjorde i 2007 et modellforsøk der overløpskapasiteten ble beregnet for denne dammen. Dataene fra modellstudien vil kunne brukes til å teste resultatene fra STAR-CCM+.

## Viktigste spørsmål i oppgaven

Opgaven skal besvare følgende spørsmål:

- Hvordan lage et grid for overløpet til Innerdalen dammen?
- Hvordan lager man input-data for en beregning for STAR-CCM+ for Innerdalen dammen?
- Hva blir hastighetsfeltet i overløpet for Innerdalen dammen?
- Hva blir beliggenheten av vannspeilet i overløpet?
- Hva blir overløpskapasiteten?
- Hvordan stemmer resultatene fra STAR-CCM+ med målinger fra laboratoriet?
- Hvordan virker usikkerhet i input-data på de endelige resultatene?
- Hvordan virker usikkerheter i STAR-CCM+ sine algoritmer inn på resultatene?

De to siste spørsmålene kan besvares i en parameterstudie.

Konklusjonen skal inneholde kandidatens mening om STAR-CCM+ sin egnethet for bruk til å beregne overløpskapasiteten for dammer i Norge. Den skal også peke på mulige usikkerheter i de numeriske algoritmene i modellen og effekter av usikre input-data. Oppgaven skal også gi anbefalinger når det gjelder å bruke numeriske modeller til beregninger av overløpskapasitet.

## Veiledning og rapportering

Prof. Nils Reidar Olsen vil være hovedveileder for oppgaven. I tillegg kan kandidaten få hjelp av Dr. Robert Feurich og Hanne Nøvik for bruk av STAR-CCM+. Kandidaten kan også motta hjelp fra Sven Enger, som arbeider for firmaet som leverer STAR-CCM+

En profesjonell strukturering av oppgaven er viktig. Oppgaven skal bl. a. inneholde innholdsliste, figurliste og referanseliste. Det er ønskelig at oppgaven inneholder strekfigurer av bl. a. grid, hastighetsvektorer og sammenligninger mellom målinger og beregninger, i tillegg til fargefigurer av vesentlige parametre.

I tillegg til papirkopier av oppgaven, skal det leveres en DVD med en PDF fil og en Word/Tekstbehandlingsfil av oppgaven, samt separate filer av oppgavens figurer og de viktigste input-filene for STAR-CCM+.

Anta at målgruppen for oppgaven er vassdragsingeniører med noe kjennskap til numerisk modellering, men uten detaljert kjennskap til STAR-CCM+.

Denne teksten skal inkluderes i oppgaven, og vil bli brukt under sensureringen.

## Forord

Denne rapporten er skrevet til Norges Teknisk Naturvitenskapelige Universitet for å oppfylle kravene til mastergrad innen vannkraft og vassdragsteknikk. Prosjektet er blitt gjennomført ved Fakultetet for ingeniørvitenskap og teknologi, Institutt for vann og miljøteknikk.

Hovedformålet med oppgaven var å undersøke om det numeriske dataprogrammet kalt STAR-CCM+ (fra CD-adapco), er egnet til å beregne kapasiteten til et flomløp. Metoden benyttet for å undersøke dette er å sammenlikne resultater fra fysiske modellforsøk med resultater fra de numeriske beregningene. I 2007 ble flomløpet i Innerdalen modellert, og det er data fra dette forsøket, resultatene fra STAR-CCM+ er sammenlignet med.

Jeg vil gjerne benytte muligheten til å takke Prof. Nils Reidar B. Olsen, som har vært min hovedveileder under denne oppgaven og som har lagt ting til rette for meg.

Videre vil jeg rette en takk til Morten Skoglund i TrønderEnergi AS, som har hjulpet til med å skaffe tilveie en god del dokumentasjon, som har vært nødvendig for å fullføre oppgaven.

Jeg vil også gjerne takke Hanne Nøvik, Kari Bråtveit, Dr. Robert Feurich og prof. Leif Lia for hjelp og støtte under masteroppgaven.

Til slutt vil jeg også takke Svein Enger fra STAR-CCM+ for hans hjelp, ved å framskaffe en kode for å registrere vannstand over tid.

Trondheim 16.juni 2011

---

Samuel Vingerhagen



## Sammendrag

Med bakgrunn i et fysisk modellforsøk utført av Røneid & Sæter (2007), for beregning av kapasiteten til flomoverløpet på Innerdalsdammen i Tynset kommune, har det blitt utført et simuleringsforsøk med det numeriske dataprogrammet STAR-CCM+. Hensikten med simuleringsforsøket var å avdekke hvor godt STAR-CCM+ egner seg til å beregne kapasiteten til flomoverløp.

Rapporten forklarer hvordan en simuleringsmodell settes opp. Det blir vist hvordan volumnett lages og hvilke muligheter som finnes for å forandre innstillinger. De forskjellige volumnett modellene blir også forklart. Det blir forklart hvordan man velger fysiske modeller og hvilke innstillingsmuligheter som finnes.

I metodekapittelet blir det forklart fremgangsmetodene som er brukt i oppgaven.

De neste kapitlene gir informasjon om hvordan de ulike delene i simuleringsmodellen er bygd opp og koblet sammen.

Videre blir feil, avvik og usikkerhet mellom simuleringsmodellen og modellforsøket beskrevet. Det er mange avvik, og stor usikkerhet knyttet til likheten i geometri mellom modellforsøket og simuleringsforsøket.

I sensitivitetsanalysen av STAR-CCM+ er parameterne som påvirker resultatene i programmet presentert. STAR-CCM+ gir ganske gode resultater ved bruk av lange tidskritt, sett i forhold til korte tidskritt. Valg av turbulensmodell har helt klart en stor innvirkning på resultatene i simuleringsmodellen. Nettene som STAR-CCM+ lager inneholder feil, spesielt de trimmede(ortogonale) nettene.

Resultatene og avvikene mellom modellforsøket og simuleringsforsøket er så presentert. Ved vannføringer som blir kontrollert av overløpsterskelen, er det nesten perfekt samsvar mellom modell og simuleringsforsøket. Ved vannføringer som ikke er kontrollert av overløpsterskelen, er resultatene fra STAR-CCM+ ustabile og har avvik opp mot 15 % målt mot modellforsøket. For det tilfellet som best beskriver virkeligheten i prototypen er avvikene mellom simuleringsmodellen og modellforsøket på ca. 5 %.

I diskusjonen blir det påpekt at de store avvikene kommer av luftinnsugning i avløpstunnelen i tilfeller der luftinnsugningen ikke bør oppstå, eller være mindre. For andre tilfeller hvor det ved luftinnsugning er godt samsvar mellom modell og simuleringsforsøk, kommer det ofte en simulering uten luftinnsugning, som har store avvik målt mot modellforsøket.

Resultatene har vært såpass gode at det er blitt avdekket feil i dokumentasjonen av modellforsøket. De simuleringene som har luft i avløpstunnelen i riktig høyde gir lave avvik målt mot modellforsøket. Nett, turbulensmodell, feil type innløpsløsning, geometriavvik eller gjerne alle disse faktorene i kombinasjon er sannsynlige årsaker til de store avvikene. Likevel, på tross av disse avvikene viser resultatene mine at STAR-CCM+ har evnen til å gi resultater som kan stemme overens med resultat fra et modellforsøk. Derfor kan STAR-CCM+ egne seg til å beregne kapasiteten i flomoverløp, og dambruddsbølgeberegninger bør også være et aktuelt bruksområde for programmet.



# Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag .....	III
Innholdsfortegnelse .....	V
Figurliste .....	IX
Tabelliste .....	XI
Formelliste.....	XI
1 Innledning.....	1
2 Hvordan lage et grid(net) for overløpet til Innerdalsdammen .....	3
2.1 Lage geometri.....	3
2.2 Lage overflatenett .....	3
2.3 Lage volumnett i STAR-CCM+ .....	3
3 Hvordan sette innstillinger for en beregning i STAR-CCM+ .....	9
4 Metode .....	11
5 Framstilling av geometri.....	13
5.1 Terreng .....	13
5.2 Sjakt .....	15
5.3 Samløp.....	15
5.4 Avløpstunnel.....	16
5.5 Omløpstunnel.....	17
5.6 Lufting sjakt .....	17
6 Sammenkobling av deler .....	19
6.1 Terreng og sjakt.....	19
6.2 Sjakt og samløp .....	21
6.3 Samløp og avløpstunnel .....	22
6.4 Samløp og omløpstunnel.....	23
6.5 Sjakt og lufting sjakt. ....	25
7 Avvik, feil og usikkerhet i og mellom geometrien til modellforsøk og simuleringsforsøk .....	27
7.1 Terreng .....	27
7.1.1 Kul over sjaktnedløp .....	27
7.1.2 Sjaktnedløp (overgang mellom samlekanal og sjakt).....	28
7.1.3 Resterende profiler i samlekanal.....	28
7.1.4 Overløpsterskel .....	28
7.1.5 Terreng på utsiden av overløpsterskelen.....	30

7.1.6	Vannstandsmålere.....	30
7.2	Sjakt.....	30
7.2.1	Diameter.....	30
7.2.2	Ruhet .....	32
7.2.3	Lengde av sjaktnedløpet.....	33
7.2.4	Avrunding av sjaktnedløp.....	33
7.2.5	Sjakt utløp.....	34
7.3	Samløp.....	36
7.4	Avløpstunnel.....	36
7.4.1	Diameter avløpstunnel .....	36
7.4.2	Lengde avløpstunnel .....	36
7.4.3	Bend, vinkler og lengder utløp .....	38
7.4.4	Friksjonsstige .....	39
7.4.5	Høyde differanse utløp.....	40
7.5	Lufting sjakt .....	40
8	Sensitivitetsanalyse STAR-CCM+ .....	41
8.1	Organisering av resultater .....	41
8.2	Tidssteg.....	43
8.3	Turbulensmodel .....	46
8.4	Nett.....	48
8.4.1	Nett terreng.....	48
8.4.2	Nett avløpstunnel.....	49
8.4.3	Nett sjakt .....	49
8.4.4	Nett lufting sjakt.....	50
8.4.5	Nett generelt .....	51
8.5	Kontaktflate mellom delene (Interface).....	51
9	Resultater .....	53
9.1	Sammenligning mellom modell og simuleringsforsøk .....	53
9.2	Nedre del av vannføringskurve .....	54
9.2.1	Sammenligning av modellforsøk ved vannstand i magasin lavere enn 2,1m .....	54
9.2.2	Simuleringer vannstand i magasin lavere enn 2.1m .....	55
9.2.3	Avvik mellom modellforsøk og simuleringsforsøk ved vannstand lavere enn 2.1m.....	56
9.3	Terreng .....	57
9.3.1	Overløpsterskel .....	57

9.3.2	Vannstandsmålere.....	57
9.4	Sjakt.....	57
9.4.1	Innløp sjakt.....	57
9.4.2	Sjakt diameter.....	57
9.4.3	Sensitivitetsanalyse ruhet sjakt.....	57
9.5	Avløpstunnel.....	58
9.5.1	Sensitivitetsanalyse høydedifferanse mellom samløp og utløp.....	58
9.5.2	Sensitivitetsanalyse helling og lengde avløpstunnel.....	59
9.6	Vannføringskurver.....	62
9.6.1	“Uten luft uten ruhet”.....	62
9.6.2	“Uten luft uten ruhet med Zalo”.....	66
9.6.3	“Med luft uten ruhet”.....	67
9.6.4	“Med luft uten ruhet med Zalo”.....	69
9.6.5	“Uten luft med ruhet”.....	70
9.6.6	“Med luft med ruhet”.....	71
9.7	Hastighetsfelt i overløpet.....	73
9.8	Beliggenhet av vannspeilet i overløpet.....	76
10	Diskusjon.....	77
10.1	Geometri.....	77
10.2	Forskjeller i innløpsforhold mellom simulerings forsøk og modellforsøk.....	78
10.3	Vannføringskurver.....	79
10.4	Overflatespenninger.....	79
10.5	STAR-CCM+.....	79
10.5.1	Tidssteg og konvergens.....	79
10.5.2	Turbulensmodel.....	80
10.5.3	Nett.....	80
11	Konklusjon.....	81
	Referanser.....	83



## Figurliste

Figur 1 Foto over flomløpet.....	1
Figur 2 Viser de ulike komponentene som er inkludert i simuleringsmodellen .....	2
Figur 3 Trekantet nett (STAR-CCM+, 2010) .....	4
Figur 4 Mangesidet nett (STAR-CCM+, 2010).....	4
Figur 5 Tynt nett (STAR-CCM+, 2010).....	5
Figur 6 Trimmet nett (STAR-CCM+, 2010).....	5
Figur 7 Prismelag nær vegg, ekstrudert og mangesidet nett (STAR-CCM+, 2010).....	6
Figur 8 Generalisert sylinder nett (STAR-CCM+, 2010) .....	7
Figur 9 Bygging av samlekanal terreng (Røneid & Sæter, 2007) Rød sirkel: kul over sjaktinnløp .....	13
Figur 10 Oversikt over terreng .....	14
Figur 11 Innløpsparti modell (Røneid & Sæter, 2007) .....	15
Figur 12 Avløpstunnel utløp (Røneid & Sæter, 2007) .....	16
Figur 13 Omløpstunnel (Røneid & Sæter, 2007)(nærmest kamerat).....	17
Figur 14 Sammenkobling sjakt og terreng. Rød sirkel: overgang mellom samlekanal og sjakt .....	20
Figur 15 sammenkobling sjakt og terreng 2. Rød sirkel: overgang mellom samlekanal og sjakt.....	20
Figur 16 Sammenkobling sjakt og samløp (rød sirkel) .....	21
Figur 17 Sammenkobling sjakt og samløp (Røneid & Sæter, 2007)(rød sirkel).....	22
Figur 18 Sammenkobling sjakt og samløp siste utgave (rød sirkel) .....	22
Figur 19 Sammenkobling samløp og avløpstunnel (Røneid & Sæter, 2007)(rød sirkel) .....	23
Figur 20 Sammenkobling samløp og avløpstunnel simuleringsmodell(rød sirkel) .....	23
Figur 21 Sammenkobling samløp og omløpstunnel (Røneid & Sæter, 2007)(rød sirkel).....	24
Figur 22 Sammenkobling samløp og omløpstunnel 2 (Røneid & Sæter, 2007)(rød sirkel).....	24
Figur 23 Sammenkobling samløp og omløpstunnel (rød sirkel).....	24
Figur 24 Sammenkobling sjakt og lufting sjakt (Røneid & Sæter, 2007)(rød sirkel) .....	25
Figur 25 Sammenkobling sjakt og lufting sjakt (rød sirkel) .....	25
Figur 26 Terreng under bygging (Røneid & Sæter, 2007) Rød sirkel: kul over sjakt .....	27
Figur 27 Overløpsterskel (rosa) .....	28
Figur 28 Profiler samlekanal (Røneid & Sæter, 2007) Rød sirkel: avvik profil 3 fra høyre .....	29
Figur 29 Ru sjakt 1 (Røneid & Sæter, 2007) .....	32
Figur 30 Ru sjakt 2 (Røneid & Sæter, 2007) .....	32
Figur 31 Kobling terreng og sjakt (Røneid & Sæter, 2007)(rød sirkel) .....	33
Figur 32 Overgang sjakt til samløp .....	34
Figur 33 Diameter rør samlekanal (Røneid & Sæter, 2007)(rød sirkel).....	35
Figur 34 Samløp og omløp, røde piler: grønne streker .....	36
Figur 35 Avløpstunnel (rød sirkel) .....	37
Figur 36 Avløpstunnel oversikt (Røneid & Sæter, 2007) Rød sirkel: start avløpstunnel .....	37
Figur 37 Utløp avløpstunnel .....	39
Figur 38 Utløp avløpstunnel (Røneid & Sæter, 2007) .....	39
Figur 39 Lufting sjakt .....	40
Figur 40 Kapasitetskurver simuleringer med ulikt tidssteg ("Uten luft uten ruhet").....	44
Figur 41 Luftinnsugning tidssteg 0.0075 og 0.001.....	44
Figur 42 Kapasitetskurver simuleringer med ulikt tidssteg ("Med luft uten ruhet") .....	45
Figur 43 Kapasitetskurver simuleringer med ulikt tidssteg ("Uten luft med ruhet").....	46

Figur 44 Sammenligning turbulensmodell "Uten luft uten ruhet" .....	47
Figur 45 Sammenligning mellom simulering 26 og 50 fra Excelfil F.01, og modellforsøk "Uten luft uten ruhet" .....	48
Figur 46 Sammenligning trimmet nett .....	49
Figur 47 Dårlige celler i sjakt. ....	50
Figur 48 Nytt nett med tykt prismelag .....	50
Figur 49 Trimmet nett lufting sjakt (overflaten ujevn pga. deformasjoner ved generering av nett) ...	51
Figur 50 Generalisert sylinder lufting sjakt .....	51
Figur 51 Sammenligning ekstrapolering (blå streker) avvik (rød strek) .....	54
Figur 52 Sammenligning modellforsøk.....	55
Figur 53 Sammenligning simuleringer fra frie forskjellige fysiske tilfeller.(F.01, F.03, F.05 og F.06)....	56
Figur 54 Høydedifferanse mellom samløp og utløp.....	59
Figur 55 Helling og lengde utløp.....	60
Figur 56 Luftoppsuging helling 7° .....	61
Figur 57 Utløp helling 4° .....	62
Figur 58 Utløp simulering 28 i Excelfil F.01 .....	64
Figur 59 Utløp simulering 48 i Excelfil F.01 .....	65
Figur 60 Sammenligning simulering F.01 og modellkurve "Uten luft uten ruhet" .....	66
Figur 61 Sammenligning kurve F.01 og F.02.....	67
Figur 62 Luftoppsugning i sjakt .....	68
Figur 63 Sammenligning kurve F.03 og modellkurve "Med luft uten ruhet" .....	69
Figur 64 Sammenligning kurve F.03 og F.04.....	70
Figur 65 Sammenligning kurve F.05 og modellkurve "Uten luft med ruhet" .....	71
Figur 66 Sammenligning kurve F.06 og modellkurve "Med luft med ruhet" .....	72
Figur 67 Hastighetsfelt oversikt.....	73
Figur 68 Hastighetsfelt over overløpstærskel X = -6m Rosa line er skille mellom vann og luft .....	74
Figur 69 Hastighetsfelt over terskel Y = 6.8m .....	74
Figur 70 Hastighetsfelt Y = 6.8m ved sjaktinnløp. Rosa linje er skille mellom luft og vann. Vann er til høyre for linjen .....	75
Figur 71 Turbulente strømningsforhold sjakt nedløp .....	75
Figur 72 Vannspeil Q lik 97m <sup>3</sup> /s simuleringsforsøk.....	76
Figur 73 Vannspeil Q lik 93m <sup>3</sup> /s modellforsøk (Røneid & Sæter, 2007) Svart sirkel: singularpunkt. ..	76

## Tabelliste

Tabell 1 Oversikt over ulike nett som er brukt, og på hvilke geometriske deler de er benyttet. ....	8
Tabell 2 Valg av fysiske modeller .....	10
Tabell 3 Organisering av simuleringer mot vannføringskurver fra Røneid & Sæter (2007).....	42
Tabell 4 Oversikt over utdrag fra Excelfiler .....	42
Tabell 5 Kjennetegn vannføringskurver .....	43
Tabell 6 Testserier helling og lengder avløpstunnel.....	59
Tabell 7 Avvik mellom simuleringene i Excelfil F.01 og vannføringskurven "Uten luft uten ruhet" fra Røneid & Sæter (2007) H høyere enn 1.9m 1 .....	63
Tabell 8 Avvik mellom simuleringene i Excelfil F.01 og vannføringskurven "Uten luft uten ruhet" fra Røneid & Sæter (2007) H høyere enn 1.9m 2 .....	63
Tabell 9 Avvik mellom simuleringene i Excelfil F.01 og vannføringskurven "Uten luft uten ruhet" fra Røneid & Sæter (2007) Vannstand H=4.3m 1 .....	64
Tabell 10 Avvik mellom simuleringene i Excelfil F.01 og vannføringskurven "Uten luft uten ruhet" fra Røneid & Sæter (2007) Vannstand H=4.3m 2 .....	64

## Formelliste

Formel 1 Utregning areal sjakt .....	30
Formel 2 Utregning diameter sirkel .....	30
Formel 3 Kapasitet lukket flomløp .....	53



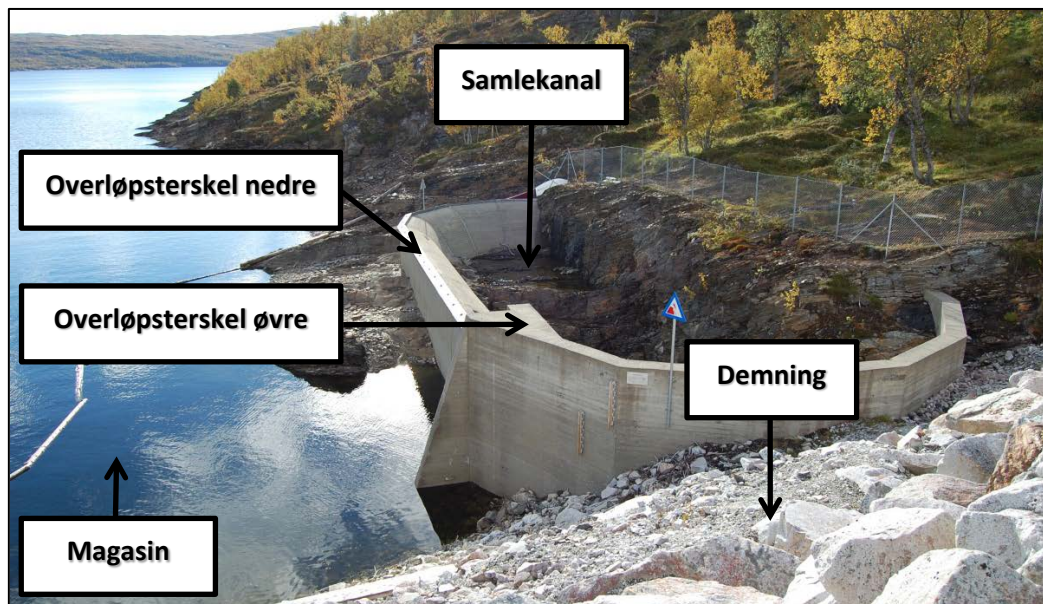
# 1 Innledning

I 2007 ble det utført et fysisk modellforsøk av flomløpet til Innerdalsdammen i Tynset kommune (Røneid & Sæter, 2007). Forsøket ble utført i vassdragslaboratoriet på instituttet for vann og miljøteknikk, NTNU. Hensikten med forsøket var å bestemme overløpskapasiteten til flomløpet.

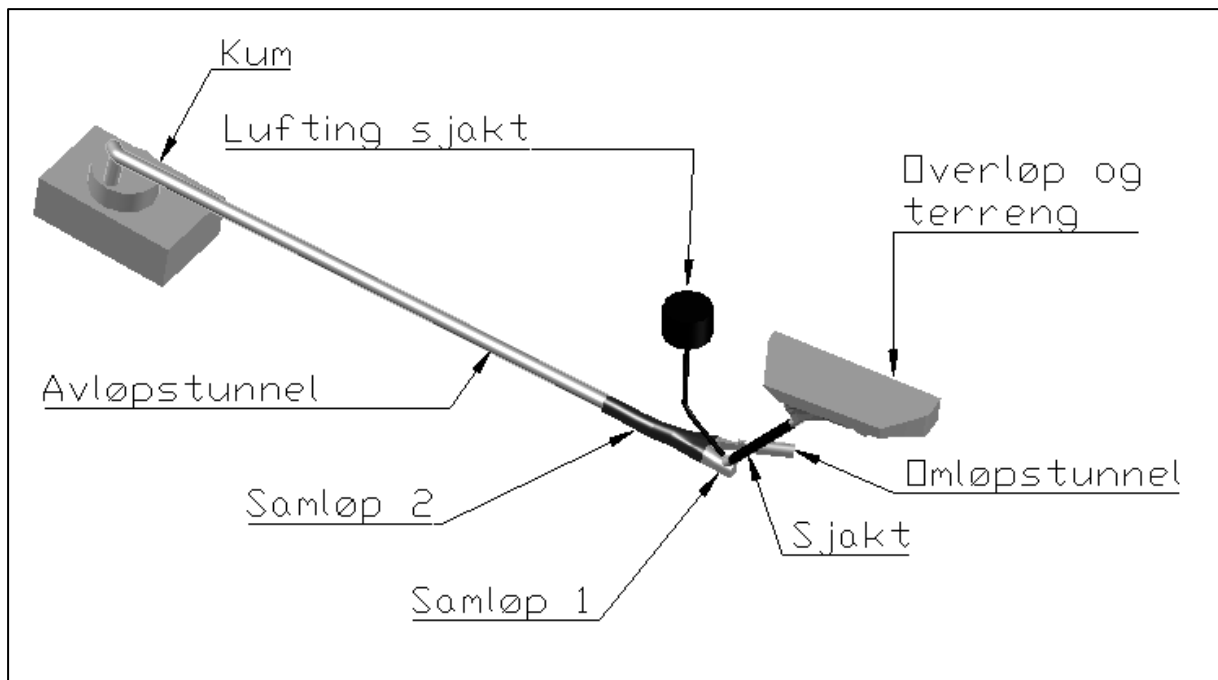
I de siste årene har enkelte firma, som jobber inn mot vannkraftbransjen begynt å bruke numeriske programmer. Beregninger utført i numeriske programmer for kapasiteten til flomløp blir ennå ikke godkjent av NVE fordi de mangler referanseprosjekter som viser at numeriske beregninger gir korrekte resultat. (Midttømme, 2011).

Ved instituttet for vann og miljøteknikk har det i flere år blitt brukt et dataprogram (Flow-3D) til å beregne kapasiteter på overløp, og fått gode resultater. I det siste året har de begynt å bruke et nytt program (STAR-CCM+), som i likhet med Flow-3D skal kunne beregne vannstrømninger i tre dimensjoner. Instituttet for vann og miljøteknikk ønsker nå å finne ut hvor godt STAR-CCM+ egner seg til å beregne kapasiteten på flomløp. Siden det finnes lite målinger fra felt, var det ønsket at det skulle gjøres en sammenligning mot data fra et forsøk fra et hydraulisk laboratorie. Det fysiske modellforsøket til Røneid & Sæter (2007) ble valgt som referanseprosjekt. Modellforsøket tar for seg flomløpet på Innerdalsdammen i Tynset kommune.

Flomløpet på Innerdalsdammen består av en demning, et magasin, en overløpsterskel, med en samlekanal på innsiden av overløpsterskelen, og et nedløp til en sjakt. Figur 1 viser plasseringen av de ulike konstruksjonselementene.



Figur 1 Foto over flomløpet



**Figur 2 Viser de ulike komponentene som er inkludert i simuleringmodellen**

I Figur 2 viser de ulike komponentene som er inkludert i simuleringmodellen. Flomløpet består av et overløp og en sjakt, som ender ut i et samløp. I samløpet er også omløpstunnelen koblet til. Fra samløpet går vannet ut gjennom avløpstunnelen og ender i elva på nedsiden av demningen. I simuleringforsøket og modellforsøket er avløpstunnelen lengre enn i virkeligheten, og ender i en kum, som vist i figuren.

Denne masteroppgaven tar for seg hvordan man lager en geometri, importer geometrien til STAR-CCM+, og hvordan det så lages et nett som det kan utføres analyse på. Videre er det kort fortalt hvordan det settes inn initiale betingelser i STAR-CCM+. Så følger et metode kapittel, før det blir forklart hvordan de ulike delene ble framstilt. Videre blir det vist og forklart hvordan de forskjellige delene er blitt plassert i forhold til hverandre. Før det så følger et kapittel som forklarer avvik, feil og usikkerhet vedrørende geometriske forskjeller mellom simuleringmodellen og modellforsøket.

Sensitivitetsanalyse av STAR-CCM+ følger så, før resultatene blir presentert og så diskutert, før konklusjonen følger til slutt.

## 2 Hvordan lage et grid(nett) for overløpet til Innerdalsdammen

I dette kapitlet er det kort beskrevet hvordan man lager en geometri og genererer et nett som det kan utføres beregninger på i STAR-CCM+. Kapitlet er i stor grad basert på prosjektoppgaven til Samuel Vingerhagen (2010).

### 2.1 Lage geometri

I oppgaven har programmet AutoCAD Civil 3D 2011 blitt brukt til å tegne geometrien av flomløpet, og nærliggende deler. Geometrien eksporteres så som en (\*.stl) fil som deretter importeres som et overflate nett i STAR-CCM+. Det er området vannet skal strømme i, som skal importeres til STAR-CCM+, ikke området rundt vannet. Når delen(delene) er importert til STAR-CCM+, brukes en funksjon kalt overflate reparer. Overflaterepareren finner feil og problematiske områder, og viser deg hvor disse er, slik at feilene kan fikses direkte i overflaterepareren. Det er mulighet for å la STAR-CCM+, automatisk reparere delene, men den automatiske funksjonen deformerer som regel delene mer enn ønsket. I overflaterepareren kan det også velges å markere enkelte linjer i geometrien som "Part Curve". En slik linje kan senere brukes til å definere betingelser for overflatenettet. En "part Curve" kan også velges slik at den ikke blir deformert når nettet lages.

### 2.2 Lage overflatenett

Når overflatene er reparert, splittes modellen opp. Det kan gjøres i vinkelendringer, sammensatte deler, og sammenhengende "Part Curve". Splittede deler kan så settes sammen igjen eller brukes som selvstendige flater. Etter splittingen flyttes delene over til regioner. Det er mulig å slå sammen to deler eller to(eller flere) regioner til en. For hver enkelt region finnes det et eget sett med nettingstillinger. Det er mulig å bruke et sett med nettingstillinger på flere regioner.

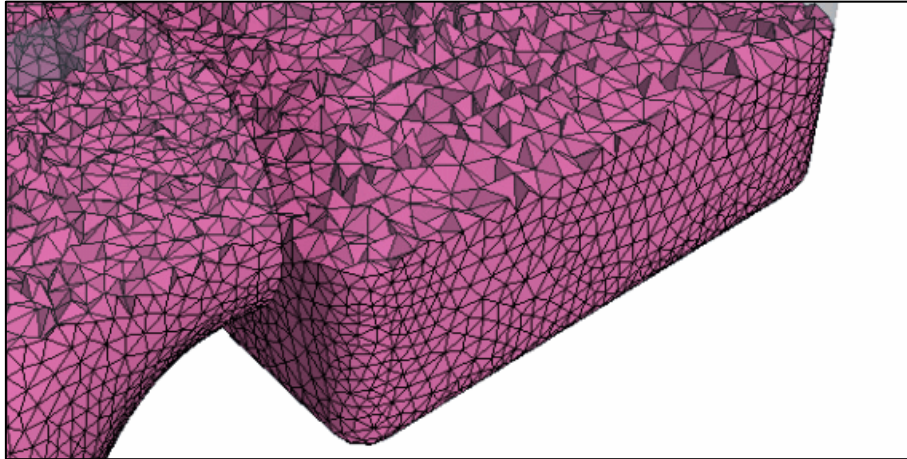
I et sett med nettingstillinger velges størrelse, form og hvor raskt overflate nettet skal vokse. Det velges også en ønsket kvalitet på nettet. Geometrien til delen vil bli deformert for å oppnå ønsket kvalitet på nettet, hvis kvalitetskravet er satt høyt. Det er også mulighet for å lage volumblokker som går over deler av en eller flere flater, og ha egne innstillinger i blokken. Deretter lages overflatenettet, som grunnlag for volumnettet.

### 2.3 Lage volumnett i STAR-CCM+

Når overflatenettet er laget, velges innstillinger for volumnettet i settet med nettingstillinger. I STAR-CCM+ finnes det totalt fire forskjellige volumnettmodeller å velge mellom:

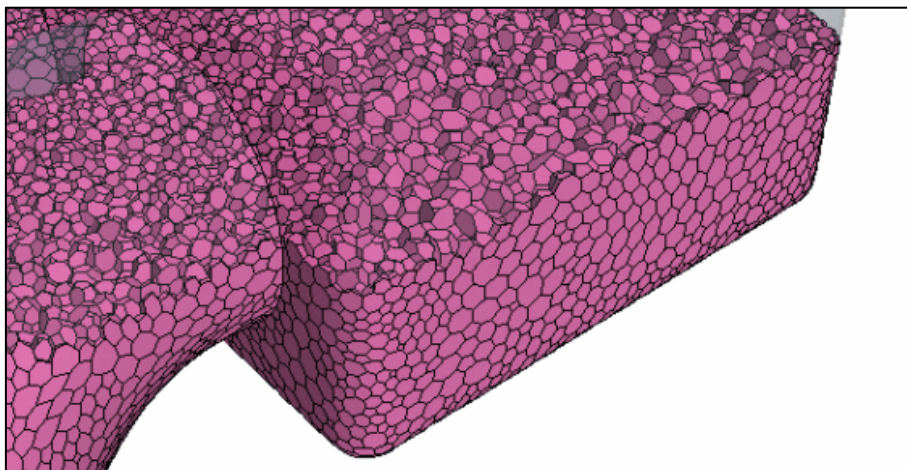
- ❖ Trekant nett (se Figur 3)
- ❖ Mangesidet nett (se Figur 4)
- ❖ Tynt nett(se Figur 5)
- ❖ Trimmet nett(se Figur 6)

I følge brukermanualen til STAR-CCM+ vil mangesidet og trimmet nett gi best nøyaktighet. Trekantet nett vil trenge 6-8 ganger flere celler for å gi samme nøyaktighet (STAR-CCM+, 2010). Trekantet nett blir fort dårlige ved kompleks geometri, eller dårlig overflatenett, mens trimmet nett vil løse problemer med kompleks geometri bedre (STAR-CCM+, 2010). Eksempel på trekantet nett er vist i Figur 3.



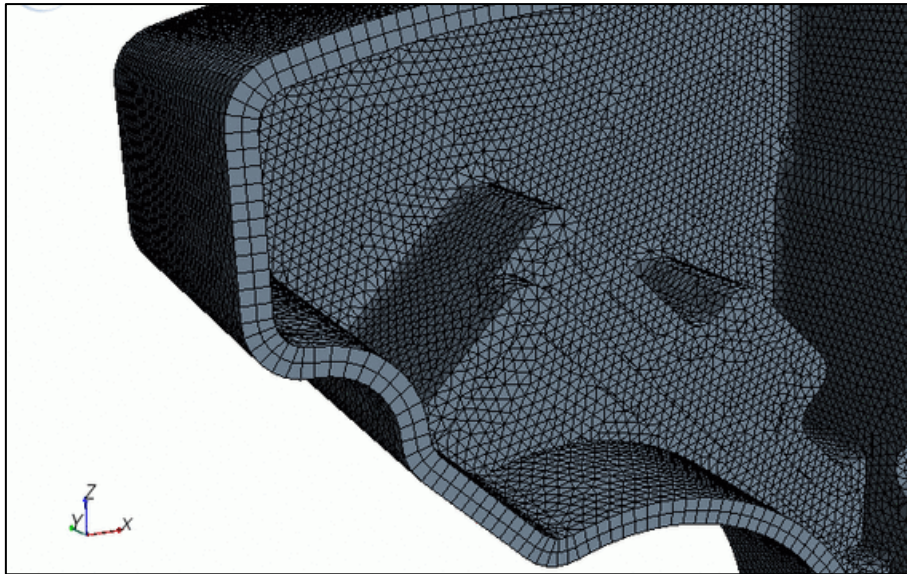
**Figur 3** Trekantet nett (STAR-CCM+, 2010)

Mangesidet nett er bygg opp fra trekantet nett ved å slå sammen trekantede celler, et eksempel på mangesidet nett er vist Figur 4.



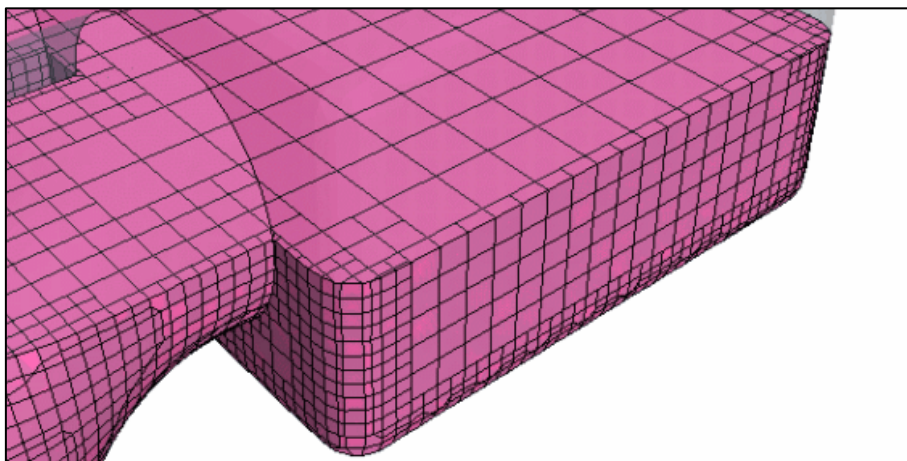
**Figur 4** Mangesidet nett (STAR-CCM+, 2010)

Tynt nett anbefales brukt til hovedsakelig tynne lag i følge brukermanualen til STAR-CCM+. Det består stort sett av prismeceller og et eksempel er vist i Figur 5, hvor også overflatenettet er vist.



Figur 5 Tynt nett (STAR-CCM+, 2010)

Trimmet nett er hovedsakelig laget av firkanter med minimal skjevhet. Dette gjør at alle celler som ligger langs kantene har en tendens til å bli dårlige siden de blir kuttet, men resten av cellene vil holde en meget høy kvalitet (STAR-CCM+, 2010). Et eksempel er vist i Figur 6.



Figur 6 Trimmet nett (STAR-CCM+, 2010)

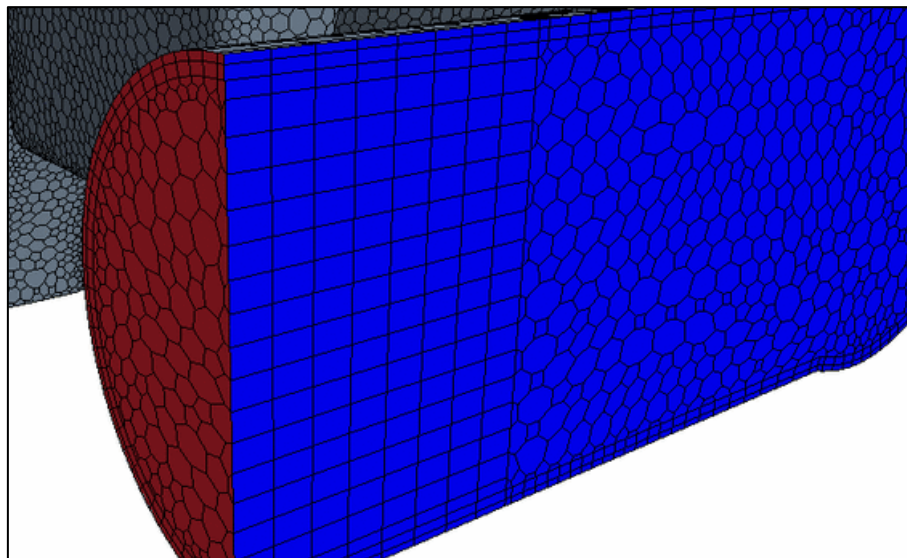
I tillegg til å sette innstillinger for volumnettet i settet med nettinnstillinger, kan det også sette egne innstillinger for regioner, på veggene som danner regionen eller ved hjelp av volumblokker.

I settet med nettinnstillinger kan det settes et startpunkt og et aksesystem som et trimmet nett skal følge, slik at volumnettet lages i lengderetningen til f.eks. et rør. Ellers finnes innstillinger for minimum og maksimum cellestørrelse, og hvor fort nettet skal vokse fra små til store celler. Hvis det er ønskelig å vise overflaten til vann, bør det velges et trimmet nett, og sørge for at det ikke er størrelsesendringer i høyderetningen mellom cellene som ligger i vannflaten, for at vannflaten skal bli tilnærmet korrekt.

Ut over de 4 grunnleggende nettene finnes det tre tilleggsfunksjoner:

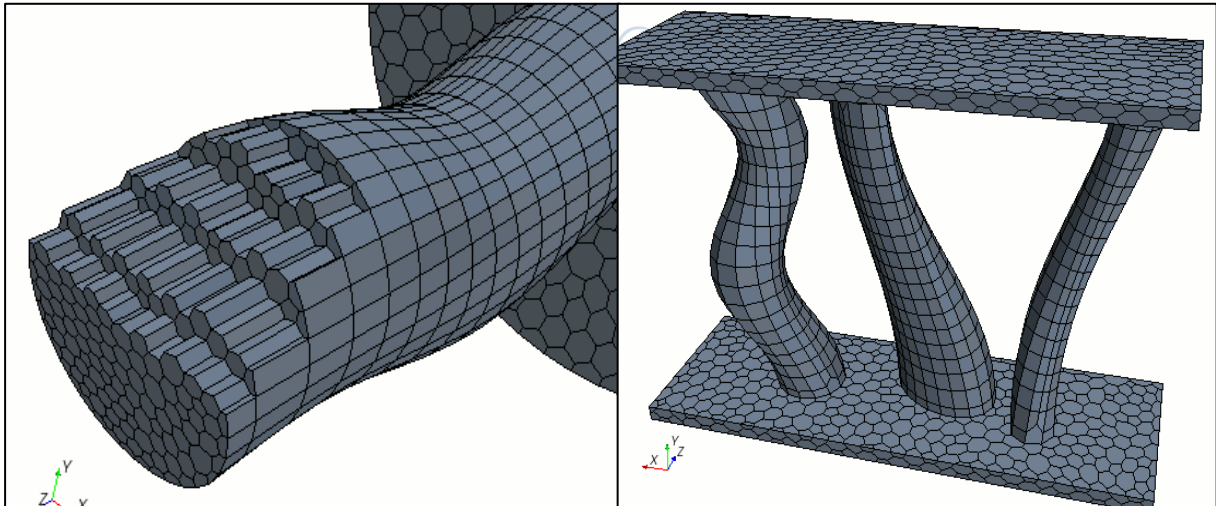
- ❖ Prismelag nær vegg
- ❖ Ekstruder
- ❖ Generalisert sylindere nett.

Prismelag nær vegg kan brukes sammen med alle nettmodellene bortsett fra tynt nett. Det ligner veldig på tynt nett ved at den legger et visst antall prismatiske celler nær veggen, før det begynner med de ordinære cellene. I Figur 7 er det et eksempel på et prismenett, sammen med et mangesidet og ekstrudert nett. Ekstrudert nett betyr at cellene dras ut fra i ytterkanten av geometrien, som vist i Figur 7. Lengden på disse cellene kan gradvis økes, slik at det brukes minst mulig celler der hvor det er forventet en strømning som går parallelt med cellene.



Figur 7 Prismelag nær vegg, ekstrudert og mangesidet nett (STAR-CCM+, 2010)

Generalisert sylinder fungerer litt på samme måte som ekstruderen, men kan brukes på former som ikke er helt rette og har litt varierende form. Se Figur 8 for et eksempel på denne funksjonen. Generalisert sylinder kan imidlertid kun benyttes sammen med mangesidet nett.



Figur 8 Generalisert sylinder nett (STAR-CCM+, 2010)

I tillegg til å velge nett, tilleggsfunksjoner og sette innstillinger i settet med nettinstillinger, og på regioner, flater og "Feature Curves" (inneholder part curve), må det lages interfacer (kontaktflater) mellom regionene for å koble de sammen, uten fysisk å gjøre de om til en del. Det finnes en god del forskjellige typer kontaktflater, men for flomløpet på Innerdalsdammen er det kun bruket en "på plass, intern kontaktflate".

Når kontaktflater mellom regionene er laget, kan det lages volumnettet.

I denne oppgaven er det benyttet trimmet og mangelkantet nett, hovedsakelig i kombinasjon med prismelag, og generalisert sylinder. Volumblokker er også aktivt blitt brukt. Lokale innstillinger på flatene i regionene er også brukt en god del. I de lokale innstillingene på flatene kan det velges å bruke f.eks. generalisert sylinder, eller ekstruder.

I Tabell 1 er det gitt en oversikt over hvilke volumnett som er brukt i simuleringene, og på hvilke geometriske deler de forskjellige nettene er brukt.

Tabell 1 Oversikt over ulike nett som er brukt, og på hvilke geometriske deler de er benyttet.

<b>Trimmet nett</b>	<b>Prismelag</b>	<b>Mangekantet nett i kombinasjon med generalisert sylinder</b>	<b>Extruder</b>	<b>“På plass, intern kontaktflate” mellom</b>
Alle deler	Alle deler	Lufting sjakt	Avløpstunnel (kun noen meget få simuleringer helt i starten)	Terreng og sjakt
		Avløpstunnel		Sjakt og samløp(1)
				Samløp(1) og samløp(2)
				Samløp(2) og avløpstunnel Samløp(2) og omløpstunnel

### 3 Hvordan sette innstillinger for en beregning i STAR-CCM+.

I dette kapittelet blir det kort fortalt hvor og hvordan innstillingene settes for å gjøre en beregning i STAR-CCM+.

Det første som gjøres er å velge hvilke fysiske modeller som skal benyttes. I mappen hvor settene med nettinger finnes, lages det en ny mappe med fysiske innstillinger, denne brukes av alle regionene. Når mappen med fysiske innstillinger lages, kommer det opp en fane, hvor det velges hvilke modeller som skal benyttes. Det er enkelt og logisk å velge modellene, men når det velges f.eks. K-Epsilon turbulensmodell, velger STAR-CCM+ automatisk noen innstillinger for vegglover som er definert som standardinnstillinger. Hvis det ikke ønskes slike auto valg, kan auto-valg skrues av. STAR-CCM+ setter visse begrensninger på hvilke modeller og funksjoner som kan velges sammen med andre modeller og funksjoner. Det er blant annet kun lov til å bruke "stasjonær" eller "Implisitt ikke stasjonær" modeller for tid, når det velges å bruke et annet materiale enn gass, i simuleringen.

Når de fysiske modellene er valgt, settes det inn verdier for de forskjellige egenskapene (viskositet, densitet osv.) til materialene som er valgt, med mindre man benytter seg av verdiene som programmet gir som startverdi. Den dynamiske viskositeten til vann er satt til  $0.0010 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ , når ikke standardverdien er benyttet i simuleringen.  $0.0010 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  svarer til en vanntemperatur på  $20^\circ$ . Densiteten til vann er satt til  $1000 \text{ kg/m}^3$  i alle simuleringene.

Videre settes det inn referanseverdier for parameterne: gravitasjon, høyde (over havet), densitet, trykk, minimum og maksimum temperatur, samt minimum tillatt veggavstand (som skal forhindre numeriske problemer under simuleringen). Det ligger verdier inne for alle disse parameterne og det eneste som er vurdert nødvendig å forandre på i denne oppgaven er retningen på gravitasjonen.

Videre velges initiale innstillinger for trykk, temperatur, turbulens, hastighet og fordelingen av materialene (f.eks. luft og vann). Når innstillingene settes, kan det benyttes såkalte "Field Function" (felt funksjon), hvis det ønskes verdier som ikke er konstante. I en felt funksjon kan det spesifiseres at det under en viss høyde kun skal være vann i modellen, eller at trykket skal variere med tiden, eller høyden.

Neste trinn i oppsettet av modellen i STAR-CCM+ gjøres i regionene. For en region finnes det noen fysiske innstillinger, men disse er ikke rørt i denne oppgaven. På flatene i regionene er det også en del fysiske innstillinger, her velges blant annet om en flate skal være en vegg, symmetriplan, innløp eller utløp (det finnes også flere valgmuligheter). Videre velges det innstillinger for veggen, innløpet eller utløpet, hvor man spesifiserer om det f.eks. skal være ruhet på veggen, om ruheten skal være konstant, eller om den skal variere (ved bruk av feltfunksjon). I denne oppgaven ble en utløpsfunksjon kalt "Pressure outlet" benyttet på alle flater som vann eller luft kunne komme inn i, eller ut av modellen. Trykket på flatene ble satt til atmosfæretrykk ( $0 \text{ Pa}$ ). Unntaket var vanninnløpet i delen terreng, hvor det ble spesifisert at det kun kunne komme vann inn og ut, og ikke luft og vann som i de andre. Videre ble det laget en feltfunksjon som endret trykket for vanninnløpet i delen terreng, slik at vannivået i modellen endret seg over tid. (Det var konstant trykk over en tidsperiode på f.eks. 17s, så endret trykket seg, for så å være stabilt i 17 nye sekunder). Det er mulig å spesifisere turbulent intensitet, og turbulent viskositets forhold for inn og utløp, i tillegg til trykk og hastigheter.

Siste steg før simuleringen kan starte, er å sette et tidsskritt for simuleringen med mindre man bruker stasjonær løsningsmodell, og slipper å sette tidsskritt. Stasjonær løsningsmodell har ikke fungert i kombinasjon med fri vannoverflate.

Det finnes veldig mange flere innstillingsmuligheter, og det er mulighet for å endre på mange parametere som finnes for de forskjellige modellene (som f.eks. turbulensmodeller eller væske andelsmodellen (Volume of Fluid)) som benyttes i simuleringene.

Tabell 2 viser de ulike fysiske modellene som er valgt i oppgaven, og rekkefølgen de velges i.

**Tabell 2 Valg av fysiske modeller**

<b>Valg nr</b>	<b>Valg 1</b>	<b>Valg 2</b>
<b>1</b>	3 dimensjonal	
<b>2</b>	Implisitt ikkestasjonær	
<b>3</b>	Eulerian multifase	
<b>4</b>	Væskeandel (VOF)	
<b>5</b>	Turbulent	
<b>6</b>	K-Epsilon (Med auto valgte undervalg)	K-Omega (Med auto valgte undervalg)
<b>7</b>	Med overflate spenning	Uten overflatespenning
<b>8</b>	Adskilt væske isotherm	

## 4 Metode

I denne oppgaven ble først konstruksjonsdelene tegnet i AutoCAD Civil 3D, og deretter importert til STAR-CCM+, hvor det ble satt opp nett og initiale innstillinger. Først ble det kun sammenlignet mot en av referansekurvene (Røneid & Sæter, 2007), da man var klar over at det sannsynligvis var mange geometriske forskjeller mellom simuleringsforsøket og modellforsøket. Meget dårlig dokumentasjon og tegningsgrunnlag var årsaken til avvikene. En utfyllende beskrivelse av feil, avvik, og usikkerhet mellom simuleringsforsøk og modellforsøk er gitt i kapittel 7. Hovedfeilene var at avløpstunnelen i modellforsøket, ikke var lik som i prototypen. I tillegg var det brukt en annen diameter på sjakten i modellforsøket, enn det dokumentasjonen tilsa. Feilene i avløpstunnelen og sjakten ble oppdaget fordi avviket mellom vannføringskurvene fra simuleringene og modellforsøket var store.

Etter mye prøving og ettersyn av bilder, ble simuleringsmodellen tilnærmet lik modellen i modellforsøket. Så det ble påbegynt testing mot flere varianter av modellforsøket. Det ble etter hvert klart at resultatene fra simuleringene ganske ofte fikk til dels store avvik målt mot modellforsøket. Derfor ble det påbegynt en omfattende testserie på avløpstunnelens geometri. Testingen av avløpstunnelens geometri ble ikke fullført, da det er så mye som kan endres, at det vil ta år å teste alt. I de siste testene ble 4 varianter av modellforsøket simulert med hjelp av like innstillinger. Ulike innstillinger ble brukt for å se om et sett innstillinger kunne gi lik differanse mot modellforsøkene.



## 5 Framstilling av geometri

I dette kapittelet er det gitt en enkel forklaring av hva de forskjellige delene i simuleringen heter, hvilken funksjon de har, hvor de er plassert og hvilket grunnlag de er tegnet ut i fra. Det har ofte vært avvik mellom grunnlaget og bildene som er tatt av modellen. Uten bruk av bildene ville det ikke vært mulig å få fornuftige resultater ut av simuleringsmodellen.

Alle delene er blitt tegnet i AutoCad Civil 3D 2011 (student versjon), for deretter å bli eksportert som en stereolithography fil (stl), inn i STAR-CCM+.

### 5.1 Terreng

Terreng er den delen som ligger høyest i modellen. Terrengdelen består av geometrien til vannmagasinet i Innerdalsvannet, demningen som demmer opp vannmagasinet og flomoverløpet (overløpsterskelen og samlekanalen).

I simuleringsmodellen er terrengdelen delt inn i hovedsakelig tre deler. Det er tverrsnittet på innsiden av overløpsterskelen (samlekanalen), overløpsterskelen og terreng på utsiden av overløpsterskelen.

Terreng på innsiden av overløpsterskelen (samlekanalen) er i simuleringsmodellen laget etter tverrsnittene vist i appendiks B.10 i Røneid & Sæter (2007). De nøyaktige koordinatene til tverrsnittene ble funnet i appendiks C.2 i Røneid & Sæter (2007). Ut fra de nøyaktige koordinatene ble det laget en overflate, i form av rette linjer/flater mellom tverrsnittene i simuleringsmodellen. Det ble i tillegg gjort noen tilpasninger for å få tverrsnittet til å stemme best mulig med et bilde av modellen, se Figur 9.

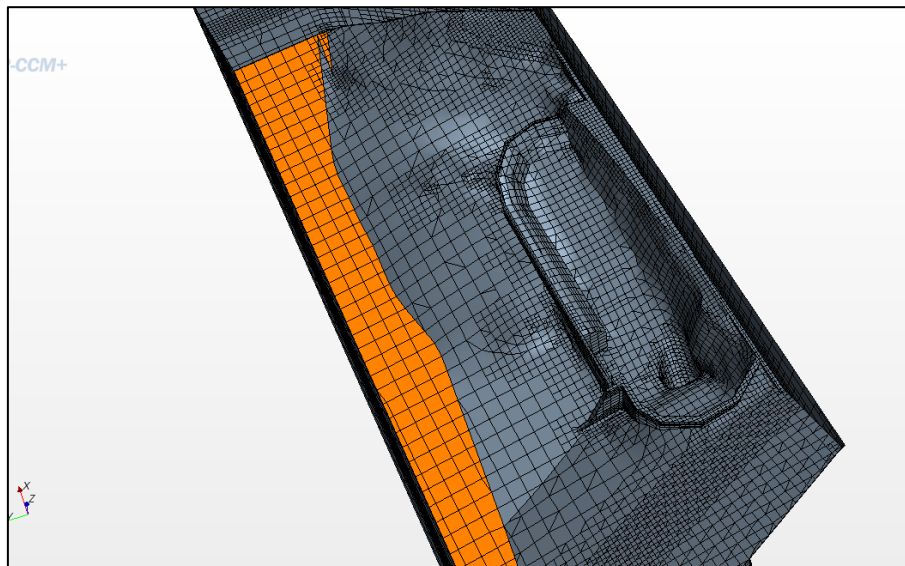


Figur 9 Bygging av samlekanal terreng (Røneid & Sæter, 2007) Rød sirkel: kul over sjaktinnløp

Overløpsterskelen i simuleringsmodellen er tegnet ut fra de to tegningene "B14-317-1A" (SØR - TRØNDELAG KRAFTSELSKAP, 1980) og "Påbygging av overløp" (Kraftverkene i Orkla, 1983). Tegningene er antatt å være de samme som ble brukt i oppgaven til Røneid & Sæter (2007).

Terrenget på utsiden av overløpsterskelen er laget fra en tegning fra Nidaros oppmåling (2006) hvor høydekurvene er konvertert til en overflate i AutoCAD Civil 3D.

I tillegg ble det bygd et innløpsparti i simuleringsmodellen (oransje område i Figur 10), som skulle sørge for at vannet ble jevnt fordelt inn mot overløpsterskelen. Innløpspartiet ble lagd for best mulig å etterligne innløpet i oppgaven til Røneid & Sæter (2007), hvor de brukte et 6" rør (Sannsynligvis 160mm rør med indre diameter 148mm, da 6" rør er en benevnelse som ikke er brukt på mange år (Hattling AS, 2011)). Røret i modellforsøket, ble perforert med 10mm hull og netting lagt rundt. Bilde av røret med netting er vist i Figur 11.



Figur 10 Oversikt over terreng



Figur 11 Innløpsparti modell (Røneid & Sæter, 2007)

De tre(fire) delene er så tilpasset slik at de best mulig passer sammen, sett i forhold til bilder av modellen som f.eks. Figur 9.

I appendiks [A.01.003] til [A.01.019] er det vist snitt av terrenget og en 3D-modell finnes i appendiks [E.02].

## 5.2 Sjakt

Sjakten er den delen som leder vannet fra samlekanalen i terrenget og ned til samløpet. Sjakten består av et sirkulært tverrsnitt. Sjakten er litt rundet i innløpet, som sitter i delen terreng i simuleringsforsøket. Mot slutten av sjakten er det to tverrsnittsutvidelser, en som kommer i delen sjakt i simuleringsmodellen og en som er i delen samløp i simuleringsmodellen.

Sjakten i simuleringsforsøket er satt sammen av et enkelt rør med ytre diameter 100mm og indre diameter 92mm (glatt sjakt). I tillegg er det modellert en sjakt som skal etterligne den ru sjakten i oppgaven til Røneid & Sæter (2007). Den ru sjakten har 3 mm mindre indre radius enn sjakten som er glatt.

I appendiks [A.02.002] og [A.02.003] er det vist snitt av sjakten og en 3D-modell finnes i appendiks [E.03]

## 5.3 Samløp

I samløpet kommer vannet fra sjakten inn i et tunnellopp, og ledes fram til et y-kryss hvor vannet fra sjakten kan møte vann som kommer fra omløpstunnelen. Vannet fra sjakten og omløpstunnelen blir så ledet videre til avløpstunnelen.

Samløpet i simuleringmodellen, er framstilt på bakgrunn av tegninger (B5.1-B5.3, B5.10-B5.11, B8.1-B8.21) og bilder fra masteroppgaven til Røneid & Sæter (2007). Det var noen problematiske områder ved tverrsnitt 2 og 3. De problematiske områdene er kommentert under punkt 7.3.

I appendiks [A.03.002] til [A.03.013] er det vist snitt av samløpet og en 3D-modell finnes i appendiks [E.04]. Tegningen i appendiks [A.03.013] viser hvordan sjakten og lufting sjakt kommer inn i samløpet i simuleringmodellen. Sjakten og lufting sjakt skulle egentlig være helt egne deler, men pga. problemer i overgangene mellom delene, ble det nødvendig å ta deler av sjakten og deler av lufting sjakt inn i delen samløp.

## 5.4 Avløpstunnel

Avløpstunnelen skal lede vannet som kommer fra samløpet ut til elven på nedsiden av demningen.

Avløpstunnelen er tegnet på bakgrunn av bildene i appendiks [B.02] og utregninger i appendiks [C.02]. I tillegg kommer data fra appendiks C.6.4 og C.7.2 i oppgaven til Røneid & Sæter (2007).

Avløpstunnelen består av et 160mm rør med en indre diameter på 148mm både i modellforsøket og simuleringforsøket. I enden av røret er det i simuleringforsøket laget en konstruksjon for å etterligne kummen avløpstunnelen i modellforsøket går ned i. Figur 12 viser bilde av utløpet og kummen fra modellforsøket.



Figur 12 Avløpstunnel utløp (Røneid & Sæter, 2007)

I appendiks [A.04] er det vist et bilde av 3D-modellen, samt snitt og mål på avløpstunnelen. Det finnes en 3D-modell i appendiks [E.05]

## 5.5 Omløpstunnel

Omløpstunnelen skal lede vann fra magasinet inn i samløpet, hvor det møter vann fra sjakten. Det har ikke vært kjørt vann gjennom omløpstunnelen i simuleringsforsøket, og delen er kun brukt i simuleringsforsøket, for å få best mulig geometrisk likhet med modellforsøket.

Omløpstunnelen i simuleringsmodellen ble framstilt på bakgrunn av tegning (B1.1-B1.7) fra masteroppgaven til Røneid & Sæter (2007) og tre tegninger fra Trønderenergi (SØR - TRØNDELAG KRAFTSELSKAP, 1979), (SØR - TRØNDELAG KRAFTSELSKAP, 1979) og (SØR - TRØNDELAG KRAFTSELSKAP, 1985). Bilde i Figur 13 ble også benyttet, samt noen flere bilder.

I appendiks [A.05] er det vist et 3D bilde, samt snitt og mål på omløpstunnelen. Det finnes en 3D-modell i appendiks [E.06]



Figur 13 Omløpstunnel (Røneid & Sæter, 2007)(nærmest kamerat)

## 5.6 Lufting sjakt

Lufting sjakt er navnet på en luftslange som er montert på sjakten noen få cm over taket i samløpet i modellforsøket. Lufting sjakt skal redusere vakuumsuget som oppstår i avløpstunnelen, når avløpstunnelen er helt fylt med vann.

Lufting til sjakten er i simuleringsforsøket, laget av en innløpsstuss som har 32mm indre diameter, en slange som har 40mm indre diameter og et stort sirkulært tverrsnitt på toppen. Geometrien er valgt for å etterligne singulærtapet inn i slangen. Avvik er kommentert i delkapittel 7.5.

I appendiks [A.06] er det vist 3D bilde og snitt av lufting sjakt. Det finnes en 3D-modell i appendiks [E.07].



## 6 Sammenkobling av deler

I denne delen er hensikten å forklare hvordan de forskjellige delene er koblet sammen i simuleringsforsøket. Det er også forsøkt vist hvordan sammenkoblingen og plasseringen av delene i simuleringsforsøket er i forhold til modellforsøket og grunnlag data.

Det er kun funnet noen svært få punkter i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) som beskriver hvordan de forskjellige delene er satt sammen innbyrdes. Punktene som er funnet er:

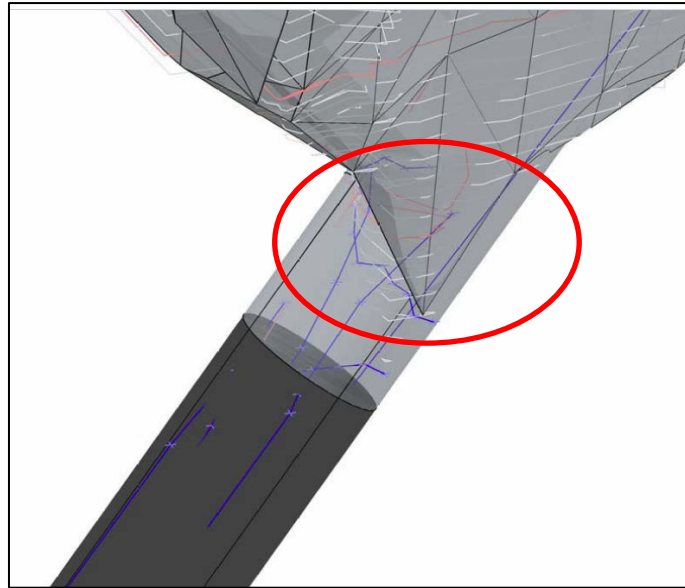
- ❖ Nedre overløpsterskel ligger på 813moh. (Innmålt høyde fra Nidaros Oppmåling AS (2006))
- ❖ Luketverrsnitt omløpstunnel ligger på 761,44 moh. (pkt.3.3.8 fra Røneid & Sæter (2007))
- ❖ Helling sjakt er 56° i forhold til horisontalplanet (pkt.3.2.4.1 fra Røneid & Sæter (2007))
- ❖ Helling omløpstunnel er 22,8 ‰ (pkt.3.2.6.2 fra Røneid & Sæter (2007))
- ❖ Helling tunnel etter samløpet er 1 ‰ (pkt.3.2.6.2 fra Røneid & Sæter (2007))
- ❖ Hvordan omløpstunnelen og samløpet er koblet sammen i bunnplaten og plassert i forhold til innmålte profiler fra Nidaros Oppmåling AS (2006) (Appendiks B.5.3 i Røneid & Sæter (2007))

Det ble ikke funnet mulig å koble delene sammen ut fra de overstående punktene, bortsett fra omløpstunnelen og samløpet, og det ble derfor bestemt å sette sammen delene i 3D-modellen fra Nidaros Oppmåling AS (2006), som var hovedgrunnlaget for oppgaven til Røneid & Sæter (2007). I 3D-modellen ble delene plassert slik at de passet best mulig med de oppmålte tverrsnittene. Hvis det på bilder fra oppgaven til Røneid & Sæter (2007) ble funnet ut at delene var plassert på en annen måte, ble de forsøkt flyttet til en plassering som var et kompromiss mellom bilde og 3-D modell, der størst vekt lagt på bildene.

### 6.1 Terreng og sjakt

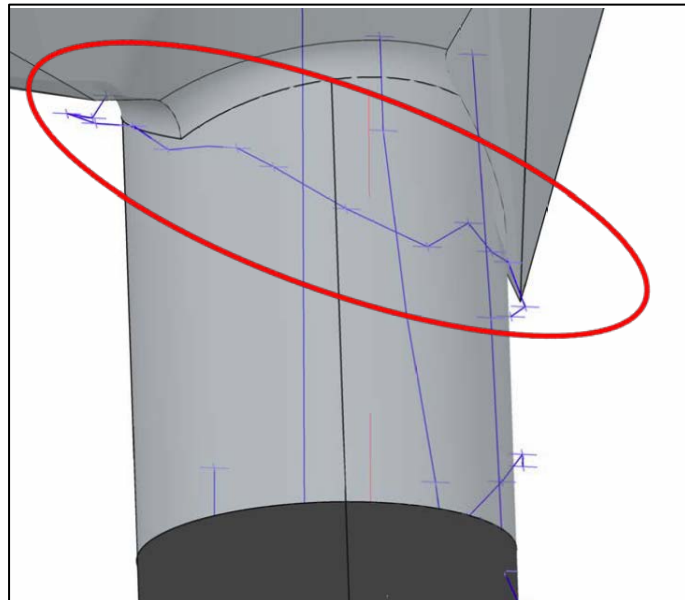
Koblingen mellom terreng og sjakt, er utført ved at samlekanalen i simuleringsforsøket blir koblet til sjakten. Sammenkoblingen skjer litt under samlekanalen, slik at deler av sjakten (innløp og første 5-10 cm) er innlemmet i samlekanalen.

I Figur 14 er det vist hvordan sjakten (mørk grå) og terrenget (lyst grå) i simuleringsforsøket passer med innmålingene av sjakten fra Nidaros Oppmåling AS (2006) (blå/lilla streker). Figuren viser at sjakten holder seg litt på innsiden av de blå strekene som går parallelt med sjakten. (Sjakten har på dette tidspunktet en for liten diameter). I bunnen av samlekanalen ved overgangen til sjakten (rød sirkel) vises det (litt utydelig) at de blå strekene ligger inne i sjakten. Hvis Figur 14 roteres ca. 90° mot venstre, blir tegningen som vist i Figur 15.



Figur 14 Sammenkobling sjakt og terreng. Rød sirkel: overgang mellom samlekanal og sjakt

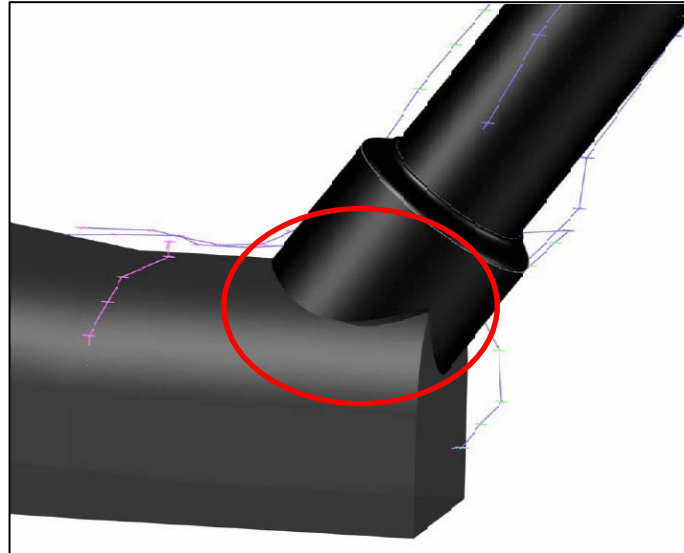
Tegningen i Figur 15 viser at sjakten stort sett ligger innenfor de blå strekene, som går i en horisontallignende høyde i overgangen mellom samløp og sjakt (innenfor den røde sirkelen). Det ble ikke prøvd å flytte sjakten for å få den til å passe bedre med de blå strekene som ligger inne i tverrsnittet i Figur 14, da det ut fra en visuell sammenligning mellom Figur 9 og Figur 10 ser ut til at sjakten i simuleringsforsøket er på tilnærmet rett plass i forhold til modellforsøket.



Figur 15 sammenkobling sjakt og terreng 2. Rød sirkel: overgang mellom samlekanal og sjakt

## 6.2 Sjakt og samløp

I koblingen mellom sjakt og samløp, kommer sjakten inn ovenfra og kobles sammen med taket i samløpet som vist i Figur 16.



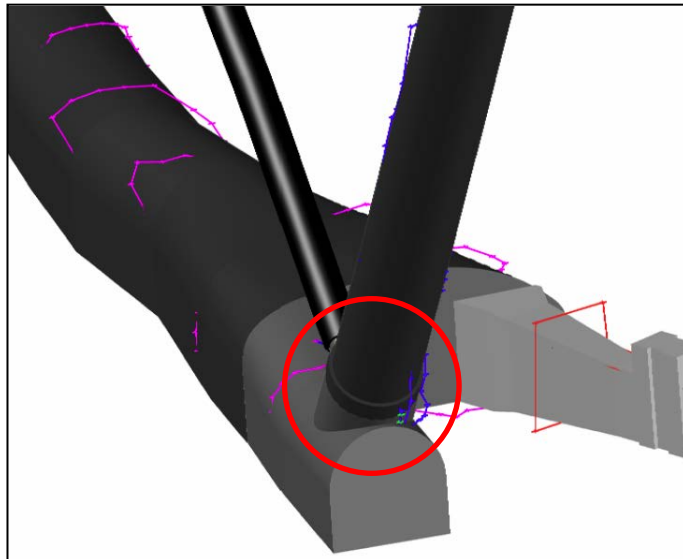
Figur 16 Sammenkobling sjakt og samløp (rød sirkel)

I Figur 16 (innenfor den røde sirkelen) vises det hvordan samløpet og sjakten blir koblet sammen i simuleringmodellen, etter å ha tilpasset sjakten etter de blå linjene (veldig svakt synlig), og plassert samløpet etter tegning (B5.10) og (B.5.11) i oppgaven til Røneid & Sæter (2007). De rosa linjene i tegningen er de oppmålte profilene fra Nidaros Oppmåling AS (2006), som Røneid & Sæter (2007) har brukt til å lage tverrsnittprofiler i samløpet. Ved å plassere samløpet slik som vist i Figur 16 er samløpet i simuleringmodellen på helt riktig plass, i forhold til profilene som Røneid & Sæter (2007).

Bildet i Figur 17 viser at sammenkoblingen mellom sjakt og samløp i modellforsøket (rød sirkel) ikke ble utført som i Figur 16. For å tilpasse koblingen i simuleringforsøket slik at den samsvarer med bildet i Figur 17, ble samløpet flyttet 4,5 cm. Retningen på forflyttingen er normalt på endeflaten som er nærmest kameraet i Figur 17. I Figur 18 er det vist hvordan koblingen i simuleringmodellen tilslutt så ut. I Figur 18 vises det også at siste del av sjakten i simuleringforsøket, nå er innlemmet i samløpet, slik som det er i modellforsøket (Figur 17).



Figur 17 Sammenkobling sjakt og samløp (Røneid & Sæter, 2007)(rød sirkel)

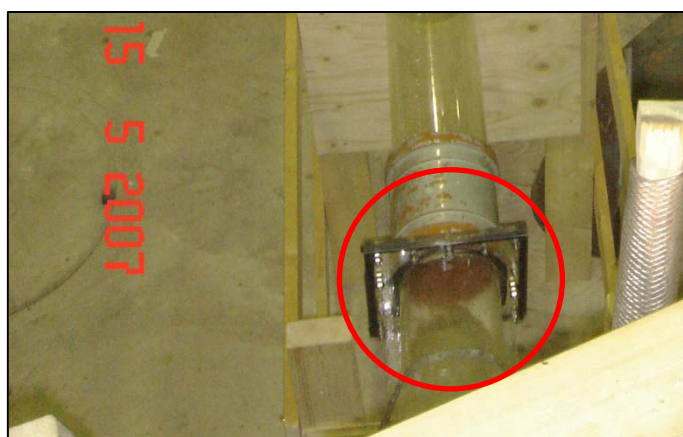


Figur 18 Sammenkobling sjakt og samløp siste utgave (rød sirkel)

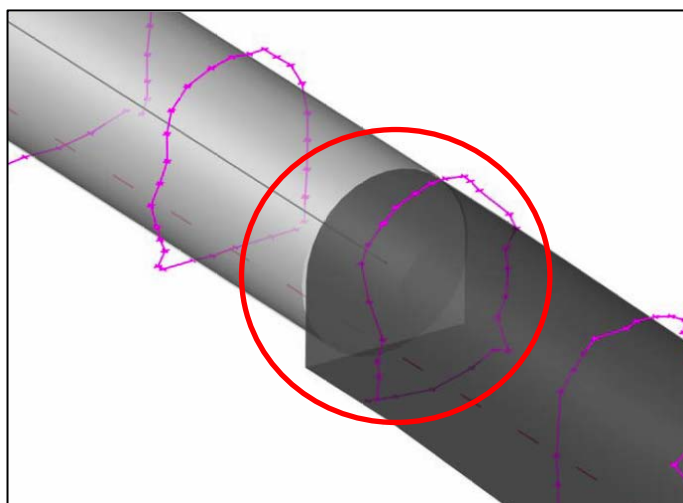
### 6.3 Samløp og avløpstunnel

Samløpet og avløpstunnelen blir i modellforsøket koblet sammen som vist i Figur 19.

Her finnes det ingen gode bilder som viser nøyaktig hvordan overgangen mellom samløp og avløpstunnelen ble bygd i modellforsøket. Det bildet som best viser hvordan sammenkoblingen ble bygd i modellforsøket, er vist i Figur 19 og området er markert med en rød sirkel. I Figur 20 er det vist hvordan sammenkoblingen mellom samløpet og avløpstunnelen ble laget simuleringsforsøket. Utførelsen er gjort slik at toppunktet til samløpet og toppunktet til avløpstunnelen ligger i samme punkt. Dermed ligger bunnen av avløpstunnelen litt lavere enn bunnen av samløpet.



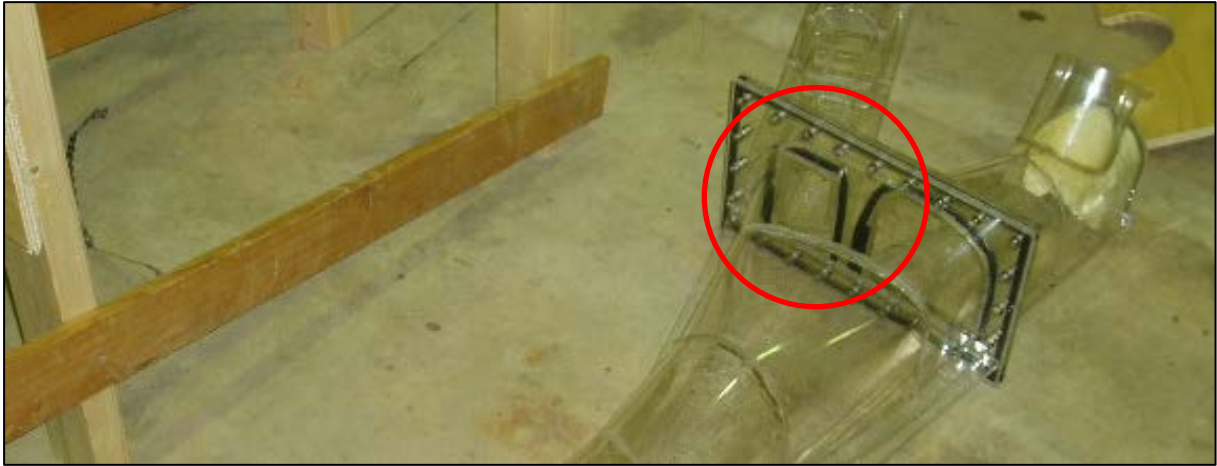
Figur 19 Sammenkobling samløp og avløpstunnel (Røneid & Sæter, 2007)(rød sirkel)



Figur 20 Sammenkobling samløp og avløpstunnel simuleringsmodell(rød sirkel)

#### 6.4 Samløp og omløpstunnel

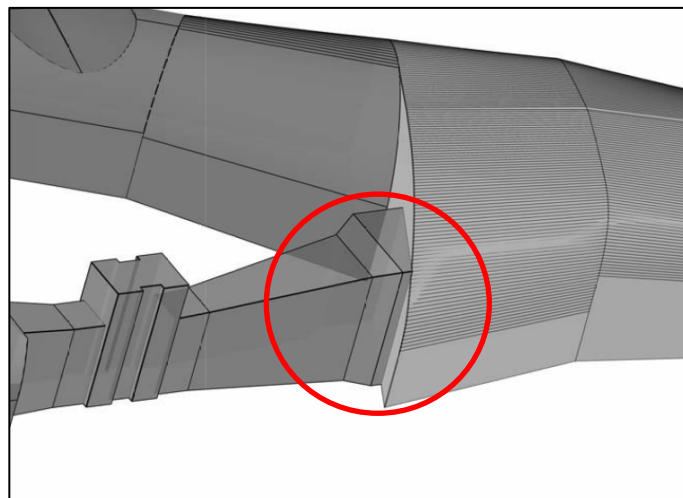
Sammenkoblingen mellom samløpet og omløpstunnelen ble i simuleringsforsøket gjort ut fra appendiks B5.10 og B5.11 i oppgaven til Røneid & Sæter (2007), samt bildene i Figur 21 og Figur 22. De aktuelle områdene er markert med en rød sirkel. I Figur 23 det vist et bilde av hvordan simuleringsgeometrien ble seende ut.



Figur 21 Sammenkobling samløp og omløpstunnel (Røneid & Sæter, 2007)(rød sirkel)



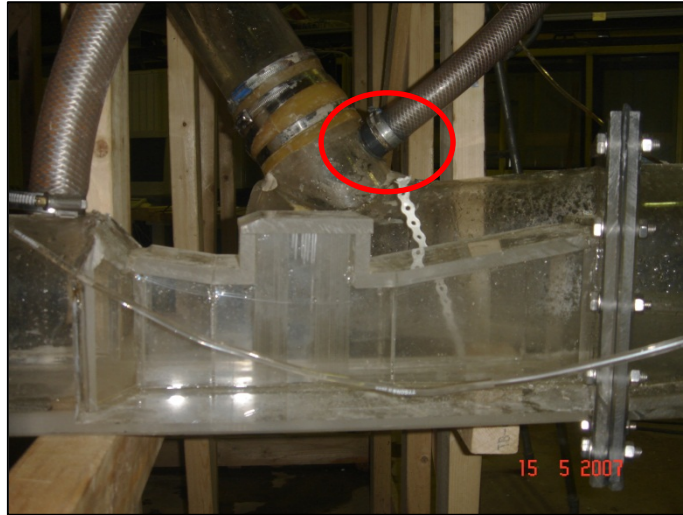
Figur 22 Sammenkobling samløp og omløpstunnel 2 (Røneid & Sæter, 2007)(rød sirkel)



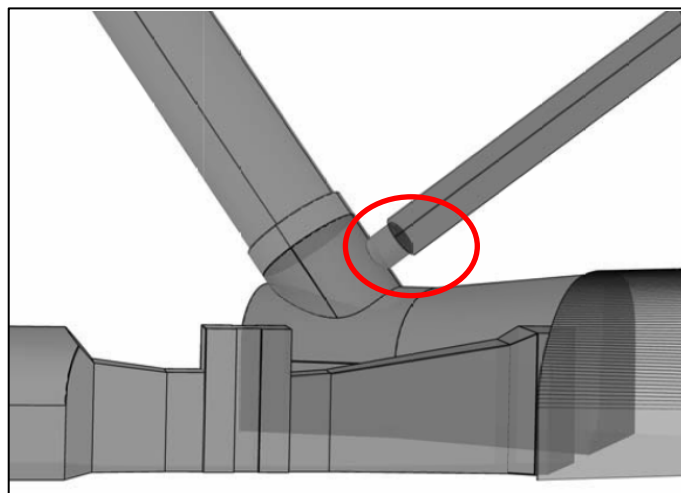
Figur 23 Sammenkobling samløp og omløpstunnel (rød sirkel)

## 6.5 Sjakt og lufting sjakt.

Sammenkoblingen mellom sjakt og lufting sjakt er utført ut fra bildene i appendiks [B.01]. Et bilde fra modellforsøket til Røneid & Sæter (2007) er vist i Figur 24 og det aktuelle området er markert med en rød sirkel. I Figur 25 er sammenkoblingen i simuleringsforsøket vist, også her er det aktuelle området markert med en rød sirkel.



Figur 24 Sammenkobling sjakt og lufting sjakt (Røneid & Sæter, 2007)(rød sirkel)



Figur 25 Sammenkobling sjakt og lufting sjakt (rød sirkel)



## 7 Avvik, feil og usikkerhet i og mellom geometrien til modellforsøk og simuleringsforsøk

I kapittel 7 er avvikene mellom simuleringsgeometrien og modellforsøksgeometrien beskrevet. Usikre punkter og antatte feil er kommentert.

### 7.1 Terreng

I dette kapitlet er avvikene som tilhører delen terreng kommentert.

#### 7.1.1 Kul over sjaktnedløp

I appendiks [A.01.007] og område (B-C, 5) vises det at det er et betydelig avvik mellom profilet fra oppgaven til Røneid & Sæter (2007) (grønn strek) og det som ble brukt i simuleringene (svart strek). Avviket kommer av kulen rett over sjakten i Figur 9 (rett til høyre for handen med kniven), og i Figur 26 (rød sirkel), som ikke ligger inne i profilene i oppgaven til Røneid & Sæter (2007), men som de helt klart har bygd. Det finnes bilder i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) som viser at kulen har vært til stede under alle forsøkene i oppgaven til Røneid & Sæter (2007), som er blitt sammenlignet mot resultatet i simuleringsoppgaven.



Figur 26 Terreng under bygging (Røneid & Sæter, 2007) Rød sirkel: kul over sjakt

I Figur 10 side 14 vises det hvordan geometrien ser ut i simuleringene etter at nettet er laget. Figur 10 viser at kulen sannsynligvis ikke er like stor (Figur 9) som i oppgaven til Røneid & Sæter (2007).

Det finnes imidlertid ingen mål, eller bilder som kan gi en mer sikker beskrivelse av kulen i modellforsøket, enn det som til nå er nevnt. De øvrige bildene som finnes er enten tatt på et tidligere tidspunkt i byggeprosessen, eller med vann i modellen slik at kulen ikke er godt synlig. Andre bilder av området hvor kulen skulle ha vært viser seg å være tatt etter at de har begynt å endre geometrien i samlekanalen (Det første som ble endret, var å fjerne kulen).

### 7.1.2 Sjaktnedløp (overgang mellom samlekanal og sjakt)

Det er antatt at usikkerheten rundt plasseringen av sjaktnedløpet i simuleringmodellen i forhold til modellforsøket er minst 10mm i alle retninger. Noe øvre mål på usikkerheten settes ikke.

I appendiks [A.01.006] og [A.01.007] område (C,4-5) i begge tegninger, vises det at sjaktnedløpet som ble brukt i simuleringene står forskjøvet ca. 2 til 5 mm mot venstre sett i forhold til profilen til Røneid & Sæter (2007). Profilene viser bare den oppmålte geometrien og ikke stedet hvor sjakten ble plassert i modellforsøket. Det er derfor meget vanskelig å gi noe mål på hvor stort avviket i plasseringen av sjaktnedløpet er mellom modellforsøket og simuleringforsøket i Y-retning sett i forhold til det lokale aksesystemet i appendiks [A.01.002]. Bilde i Figur 9 av modellen og oversikten over terrenget i simuleringmodellen i Figur 10, er den beste indikasjonen på at det er noe likhet.

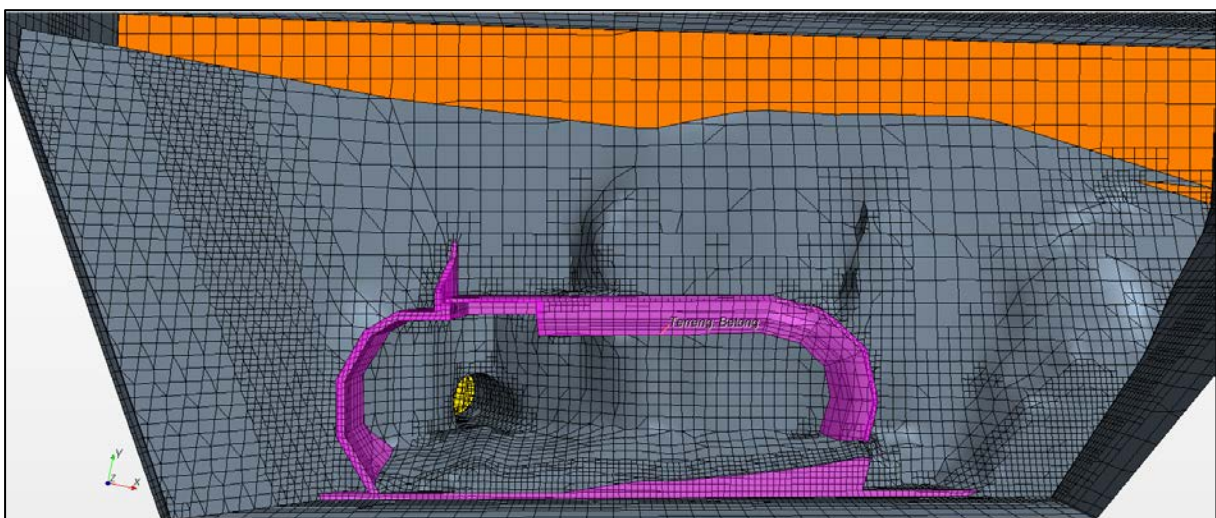
Hvis man ser på avviket i X-retning i forhold til det lokale aksesystemet i appendiks [A.01.002], finnes det heller ikke her noen koordinater som beskriver hvor sjakten i modellforsøket er blitt plassert. Det finnes grunnlagsdata i form av innmålinger og bilder, og det må derfor antas at de i modellforsøket har plassert sjakten så godt som mulig ut fra grunnlagsdataene.

### 7.1.3 Resterende profiler i samlekanal

De resterende profilene i samlekanalen, det hvite området i Figur 26 er dekket av appendiks [A.01.004] til [A.01.017] Bortsett fra ting kommenterte i delkapittel 7.1.1 og 7.1.2 finnes det ingen avvik som er av betydning mellom simuleringmodellen og grunnlagsprofilene i oppgaven til Røneid & Sæter (2007). Bilder av modellen til Røneid & Sæter (2007) er sammenlignet med profil. Der avvik er funnet er bildemateriale brukt som underlag for simuleringsgemetrien.

### 7.1.4 Overløpsterskel

I appendiks [A.01.003] til [A.01.019] vises overløpsterskelen i simuleringmodellen enten som en rett vegg, eller som et overløpsprofil likt det i appendiks [A.01.020]. I Figur 27 er overløpsterskelen vist i rosa (se bort fra det rosa området nederst i figuren).



Figur 27 Overløpsterskel (rosa)

I appendiks [A.01.003] til [A.01.019] vises det at det er et forholdsvis stort avvik mellom grunnlagsprofilene gitt i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) og simuleringsgeometrien. Dette avviket er valgt, fordi som vist ved profil nr 3 fra høyre i Figur 28, er det et stort avvik mellom grunnlagsprofilet og modellen som ble bygd.



Figur 28 Profiler samlekanal (Røneid & Sæter, 2007) Rød sirkel: avvik profil 3 fra høyre

Avviket som ble observert i Figur 28 kommer etter all sannsynlighet av at overløpsterskelen i modellforsøket er laget av to tegninger: (SØR - TRØNDELAG KRAFTSELSKAP, 1980), og (Kraftverkene i Orkla, 1983). De to tegningene stemmer meget bra med bildene som er tatt av den bygde modellen i modellforsøket.

De to tegningene (SØR - TRØNDELAG KRAFTSELSKAP, 1980), og (Kraftverkene i Orkla, 1983) er grunnlaget for simuleringsmodellen. Det er imidlertid ikke referert til tegningene (SØR - TRØNDELAG KRAFTSELSKAP, 1980) og (Kraftverkene i Orkla, 1983) i oppgaven til Røneid & Sæter (2007). Og om de faktisk er brukt til å bygge modellen i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) er ikke helt sikkert, men det er antatt. Det er antatt at samlekanalen i modellforsøket ble utformet slik at den passer med overløpsterskelen, og dermed avviker noe fra profilene som ble brukt til å utforme samlekanalen i modellforsøket.

Det er derfor antatt at overløpsterskelen og samlekanalens utforming inn mot overløpsterskelen er svært lik i modellen i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) og simuleringsmodellen.

Det er imidlertid et usikkerhetsmoment når det gjelder høyden til den høyeste delen av overløpsterskelen i modellforsøket. Om den høyeste delen av overløpsterskelen ble laget slik at den ligger på en høyde som tilsvarer 814.5moh i prototypen, som vist i tegningen fra SØR - TRØNDELAG KRAFTSELSKAP (1980), eller om den ble lagt på høyde tilsvarende 814.429moh, som dataene fra

Nidaros Oppmåling AS (2006) tilsier, er uklart. Begge høyder er derfor testet. Det er ikke antatt at den ble bygd tilsvarende 814moh, som kurven fra Røneid & Sæter (2007) viser i appendiks [A.01.003].

### 7.1.5 Terreng på utsiden av overløpsterskelen

Ved å ta en kjapp titt på bildene i Figur 9 side 13 og Figur 10 side 14 vises det at det er forskjell på terrenget på utsiden av samlekanalen i modellen til Røneid & Sæter (2007) og simuleringsmodellen. Området på utsiden av samlekanalen er i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) stort sett er bygd på frihånd ut fra bilder av området og 3D-modellen fra Nidaros Oppmåling AS (2006). Det er ikke gjort noe forsøk på å finne ut hvor stor forskjellen er mellom modellen til Røneid & Sæter (2007) og simuleringsmodellen.

### 7.1.6 Vannstandsmålere

Vannstandsmålere er forsøkt plassert på samme plass som beskrevet i punkt 3.4.5 i forsøket til Røneid & Sæter (2007). Hvis vi ser på punkt 3.4.1 i oppgaven til Røneid & Sæter (2007), er det oppgitt en annen avstand til overløpsterskelen enn i punkt 3.4.5 i forsøket til Røneid & Sæter (2007). Forskjellen er 10cm, mellom de to oppgitte plasseringene.

## 7.2 Sjakt

I kapittelet er det gitt en beskrivelse av feil, avvik og usikkerhet som omhandler delen sjakt i og sjaktnekløpet simuleringsforsøket.

### 7.2.1 Diameter

I tabell 13 side 47 i oppgaven til Røneid & Sæter (2007), står det beskrevet at arealet på sjakten som ble brukt var  $9.21\text{m}^2$  for 4" rør og  $7.96\text{m}^2$  for 4" rør med ruhet. En utregning i tabell 1 i appendiks [C.01.002] viser at dette tilsvarer en indre diameter på henholdsvis 85.6 og 79.6mm. På samme side (side 47) i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) står det at godset på 4" rør er ca. 4mm tykt. På side 43 i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) står det at røret i sjakten er 100mm og at det er gjort i stand for å sette inn et rør på 120 mm. Arealet på rørene skulle tilsvare henholdsvis  $9.21\text{m}^2$  og  $15.20\text{m}^2$  i prototypen for, 100mm og 120mm rør i modellforsøket.

I tabell 2 i appendiks [C.01.002] er arealet for 100mm og 120mm rør med godstykkelser på henholdsvis 4 og 5 mm beregnet til  $10.64\text{m}^2$  og  $15.21\text{m}^2$  i prototypen.

#### Formel 1 Utregning areal sjakt

$$= (4 / 2 * 25.4 - 8)^2 * PI() / (1000 * 1000) * 40 * 40$$

I Formel 1 er formelen som regner ut sjaktarealet til et 4" rør i appendiks C.6.3 i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) vist. I Formel 1 vises det at de sannsynligvis har trukket fra veggtykkelsen to ganger, når de trekker fra 8mm. De har også satt at  $1" = 25.4\text{mm}$  som tilsier at røret skal ha en ytre diameter på 101,6mm.

#### Formel 2 Utregning diameter sirkel

$$= PI() * (4 * 25.4 - 8)$$

I Formel 2 er formelen som regner ut indre omkrets til et 4" rør i appendiks C.6.3 i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) vist. Også her har de trukket fra 8mm, men nå har de trukket 8mm fra diameteren. Å trekke 8mm fra diameteren, svarer til å trekke 4mm fra radiusen.

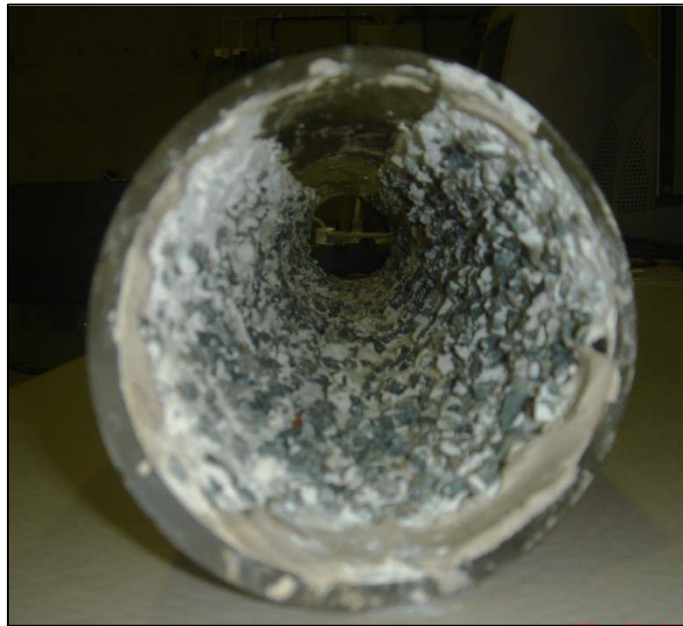
Med mindre de i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) har fått tak i et rør med en spesielt tykk vegg er det antatt at de har gjort en feil i beregningen i Formel 1. Det er dermed antatt at sjaktene de har brukt i modellforsøket har et areal tilsvarende henholdsvis  $10.64\text{m}^2$  for glatt sjakt, og  $9.29\text{m}^2$  for sjakt med ruhet, etter utregning i tabell 3 vist i appendiks [C.01.002]. Det er forutsatt 3 mm tykkelse på godset til ruhetsmaterialet, som er beskrevet i teksten i appendiks C.6.3 i oppgaven til Røneid & Sæter (2007)

Utrekningen av arealene på  $10.64\text{m}^2$  for glatt sjakt og  $9.29\text{m}^2$  for ru sjakt skjer ut fra forutsetningen om at ytre diameter er 100mm, og ikke 101.6mm. Det benyttes en diameter på 100mm, da det under en telefonsamtale med en person i Hattling AS (2011), (som leverer deler til vassdragslaboratoriet hvor modellforsøket ble gjennomført), kom fram at tommer ikke lengre er et benyttet mål på rør, og 100mm er en normal dimensjon.

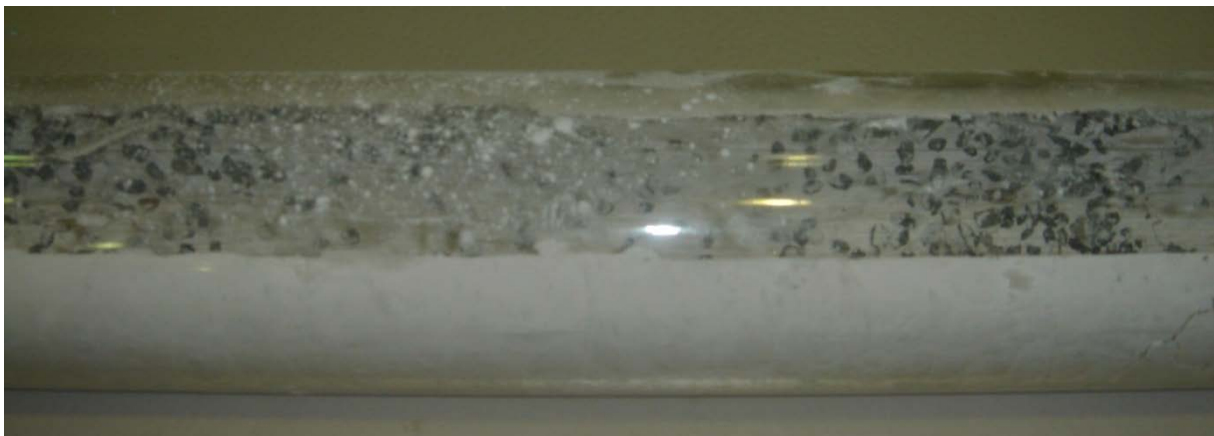
I simuleringsmodellene er det derfor brukt sjakter på henholdsvis  $10.64\text{m}^2$  for glatt sjakt, og  $9.29\text{m}^2$  for ru sjakt. Det er også benyttet en glatt sjakt på  $9.21\text{m}^2$  i noen simuleringer, (før den sannsynlige regnefeilen i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) ble funnet).

Det er ut fra overstående antatt at sjaktene som ble brukt i simuleringene har eksakt samme diameter som de som ble brukt i modellforsøket til Røneid & Sæter (2007).

## 7.2.2 Ruhet



Figur 29 Ru sjakt 1 (Røneid & Sæter, 2007)



Figur 30 Ru sjakt 2 (Røneid & Sæter, 2007)

I Figur 29 og Figur 30 er det vist to bilder av den ru sjakten i modellforsøket til Røneid & Sæter (2007). I punkt 7.2.1 er det alt beskrevet at tykkelsen på sparkellaget er ca. 3mm. I punkt 3.2.1.8 i oppgaven til Røneid & Sæter (2007), er det videre beskrevet at steinene som er brukt har en diameter på 4-6mm.

I Figur 30 er det ikke mulig å se steinene gjennom sparkellaget, så steinene ligger sannsynligvis litt ut fra rørveggen. I Figur 30 vises det at steinene ikke ligger tett i tett, og at det derfor i enkelte partier nesten ikke er ruhet, bare en reduksjon i arealet pga. sparkellaget.

Siden steinene sannsynligvis ligger litt fra rørvegg, og er 4-6mm i diameter, er det anslått at de vil stikke 2 til 5mm opp av sparkellaget. Noe som kan se ut til å stemme med bilde i Figur 29, hvor det ser ut til at alle steinene, stort sett virker tykkere enn sparkelaget. Når det deretter tas hensyn til at det er områder med lite steiner og at steinene ikke ligger tett i tett, anslås ruheten totalt sett til å være ca. 3mm, med variasjon i området 2-4mm.

I simuleringene er det brukt en ruhet på ca. 3mm og avviket i forhold til modellforsøket til Røneid & Sæter (2007) er antatt å være +/- 1mm.

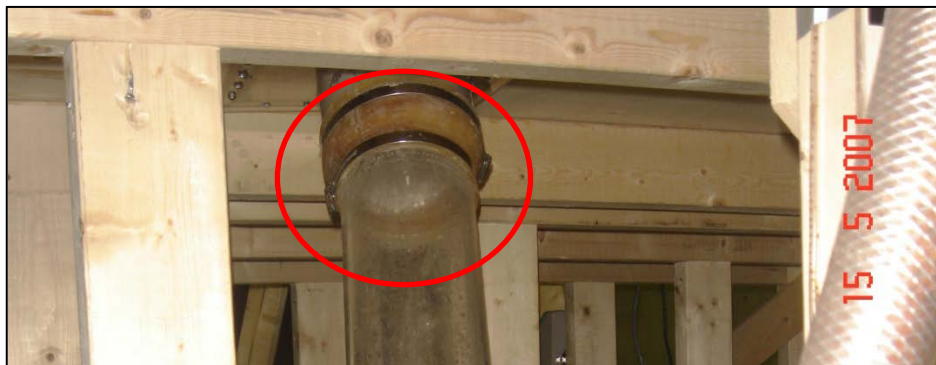
I Figur 14 side 20 og Figur 15 side 20 vises det at sjakten i simuleringsmodellen (mørk grå) starter et stykke på nedsiden av sjaktnedløpet i terrengdelen. Det vil si at starten av sjakten tilhører delen terreng, og dermed ikke har fått noe ruhet i simuleringsforsøket.

### 7.2.3 Lengde av sjaktnedløpet

I modellforsøket til Røneid & Sæter (2007) er det en kobling i området mellom sjakten og terrenget, hvor sjaktrøret er stukket inn i en stuss som kommer ned fra terrenget (se rød sirkel i Figur 31). Avhengig av hvor langt røret ble stukket inn i stussen, vil det være et uavklart avvik i lengden av sjakten benyttet i modellforsøket og sjakten i simuleringsforsøket.

Legendeavviket er anslått til å være alt fra at røret i modellforsøket er 5cm kortere til 10cm lengre enn i simuleringsmodellen.

I utløpet av sjakten er det tilsvarende lengdeavviket anslått til å være +/-3cm.



Figur 31 Kobling terreng og sjakt (Røneid & Sæter, 2007)(rød sirkel)

### 7.2.4 Avrunding av sjaktnedløp

Rundingsgraden rundt innløpet til sjakten er det ikke funnet noen beskrivelse på i oppgaven til Røneid & Sæter (2007). Bildet i Figur 9 side 13 viser at overgangen er meget brå og har liten avrundingsgrad.

I simuleringsforsøket er sjaktnedløpet avrundet ved hjelp av en kurvet overgang mellom sjakt og samlekanal. Avrundingen har en radius på 1cm i simuleringsforsøket som tilsvarer 0.4m i prototypen.. Når sjakten ble utvidet fra 9.21m<sup>2</sup> til 10.64m<sup>2</sup> ble avrundingen deformert ved at det ble

kappet bort ca. 4mm på avrundningen inn i sjakten. Når avrundningen ble kappet bort gir det en brå overgang og ligner på bildet i Figur 9.

Når det lages volumnett i simuleringsprogrammet blir overganger mer kantete. Når overgangen blir mer kantete innebærer at det noen steder blir en tilnærmet 90° overgang, noe som er hydraulisk ugunstig, mens det andre steder blir to 45° vinkler som kan virke hydraulisk gunstig.

Sannsynligvis er avrundningen inn i sjakt nedløpet veldig lik i modellen i forsøket til Røneid & Sæter (2007) og simuleringsmodellen, da simuleringenene i Excelfil F.06 har små avvik målt mot referansekurven "Med luft med ruhet".

### 7.2.5 Sjakt utløp

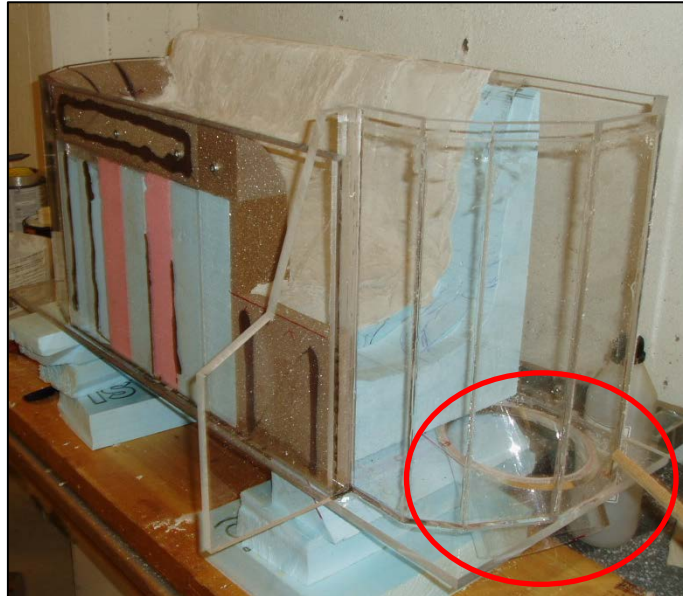


Figur 32 Overgang sjakt til samløp

Figur 32 viser hvordan overgangen fra sjakten til samløpet ble bygd i forsøket til Røneid & Sæter (2007). Det er ikke beskrevet i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) hvordan overgangen er utført eller hva som skjer bak gummien som skjuler skjøten mellom to rørdeler. Dimensjonen på den nederste delen som er koblet til samløpet ble først antatt å være 120mm, basert på beskrivelsen i pkt. 3.2.2 i oppgaven til Røneid & Sæter (2007). Det så imidlertid ikke ut til å stemme med bilder, og overgangen ble forsøkt modellert med en del forskjellige diametere. Til slutt ble Åne Sæter (2011) kontaktet pr telefon. Han var usikker på hvordan modellen i modellforsøket var bygd, men mente at det den nederste rørdelen enten hadde samme eller litt større diameter enn sjakten. Han var usikker på hvor langt ned, sjakten i så fall gikk. Han mente også at hvis det var en tverrsnittsendring i skjøten, så hadde de sannsynligvis glattet den ut med kitt.

Opplysningene fra Åne Sæter tok bort muligheten for at 120mm rør var brukt i modellforsøket. For å finne korrekt rør-diameter ble det satt mål på en del bilder fra modellforsøket (se appendiks [B.01.001] til [B.01.004]). Ut fra målene på bildene ble det fortatt utregninger av dimensjonen til den nederste delen. Beregningen er vist i appendiks [C.01.001]. Det ble forsøkt å ta hensyn til

perspektivet i bilde ved å forlenge rørdeler matematisk. Som kontroll ble diameteren til rørstussen ut fra samlekanalen ("Diameter rør samlekanal" i appendiks [C.01.001]) brukt. "Diameter rør samlekanal" er markert med en rød sirkel i Figur 33.



Figur 33 Diameter rør samlekanal (Røneid & Sæter, 2007)(rød sirkel)

I tabell 5 i appendiks [C.01.001] er resultatene fra utregningene i de 4 overstående tabellene i appendikset samlet. Ut fra resultatene ble det konkludert med at det var brukt et rør på 110mm.

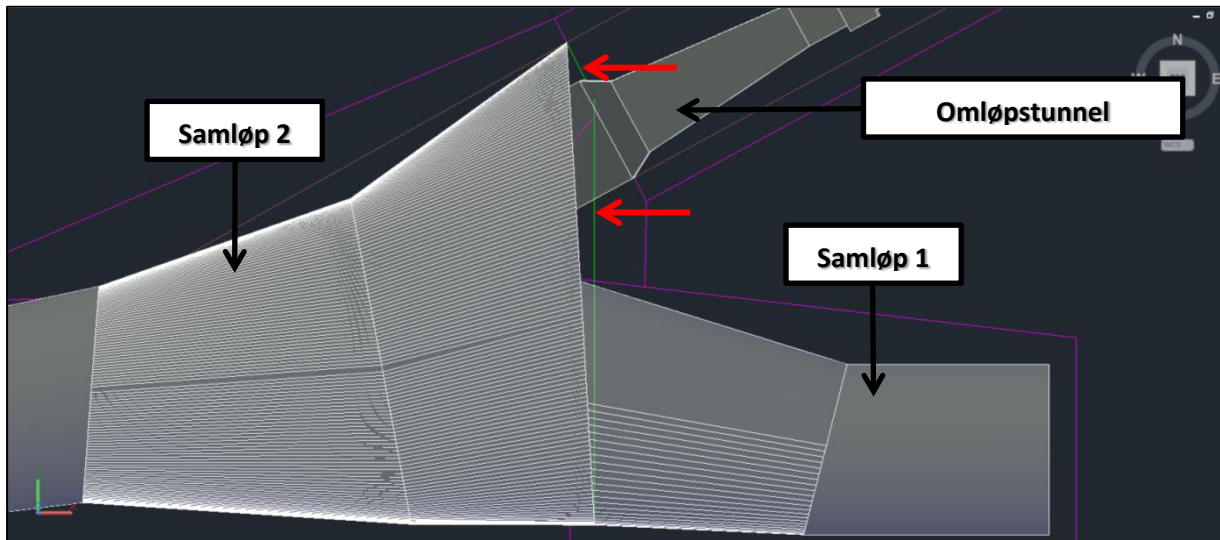
I de siste simuleringene har sjaktutløpet derfor et 110mm rør med godstykkelse på 5mm.

Når geometrien i modellforsøket og simuleringsforsøket sammenlignes knytter det seg en liten tvil til hva den indre diameteren på sjaktutløpet er, da godstykkelsen ble antatt å være 5mm, men det presiseres at 4mm er et like sannsynlig mål.

Plasseringen av skjøten mellom sjakten og rørstuss i modellforsøket er ikke dokumentert. På bildet i Figur 32 er det ikke mulig å anta innvendig geometri av skjøten.

Avviket mellom plasseringen av skjøten i modellforsøket og simuleringsforsøket antas således å være +/- 2-3cm i lengderetningen til sjakten.

## 7.3 Samløp



Figur 34 Samløp og omløp, røde piler: grønne streker

I Figur 34 er samløpet i simuleringsmodellen vist som den lyse grå delen, Omløpstunnelen (litt mørkere grå) kommer inn ovenfra i figuren. De grønne strekene, markert med røde piler markerer hvor tverrsnitt 2 i samløpet skulle vært ut fra tegningene til Røneid & Sæter (2007). Figuren viser at samløpet i simuleringsmodellen ikke stemmer helt med grunnlagsdataene fra tegningene i oppgaven til Røneid & Sæter (2007). Endringer i geometrien benyttet i simuleringsmodellen er basert på avvik funnet på bilder. Avvikene mellom bygd modell og simuleringsmodell ble imidlertid små.

## 7.4 Avløpstunnel

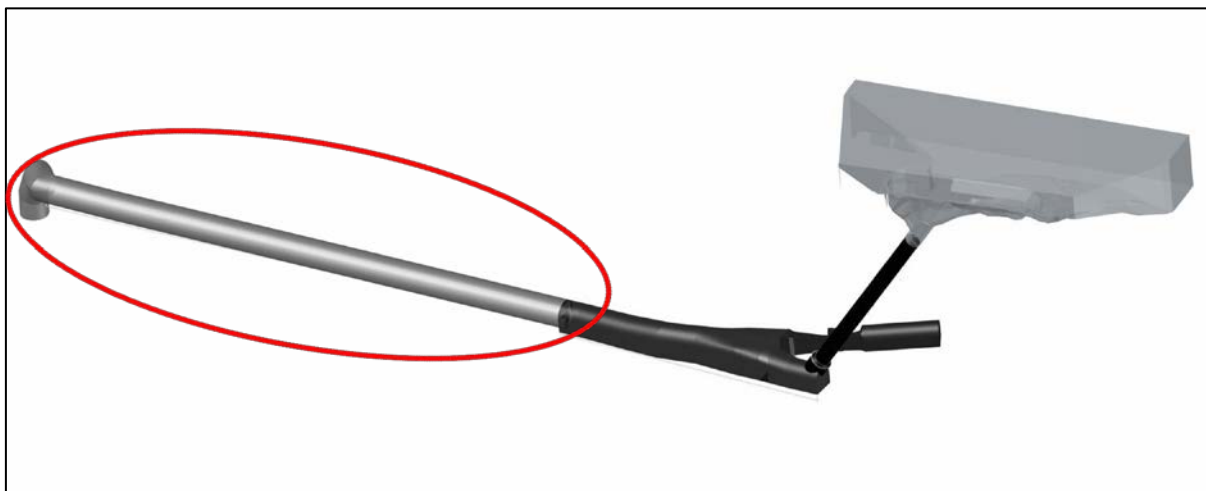
I dette kapittelet er feil, avvik og usikkerhet knyttet til modellering av avløpstunnelen forklart.

### 7.4.1 Diameter avløpstunnel

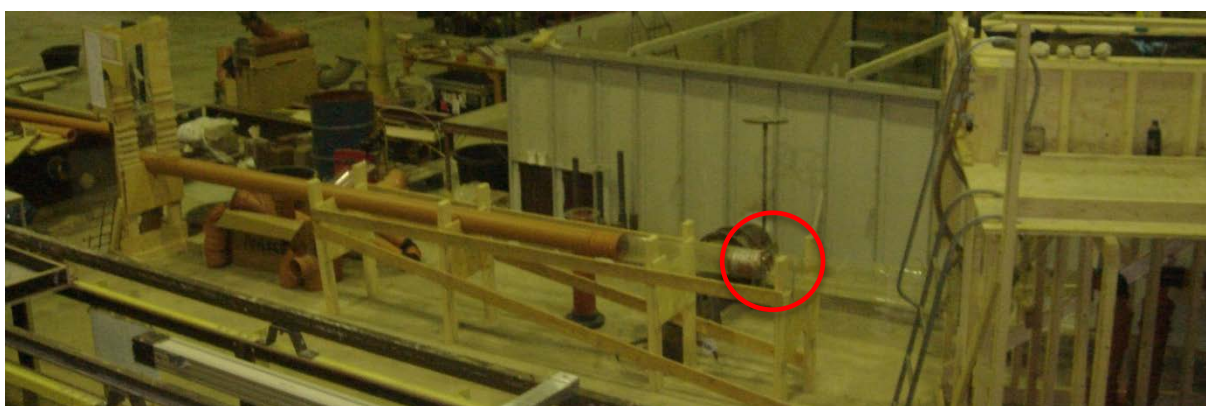
I oppgaven til Røneid & Sæter (2007) er tre ulike diametere på avløpstunnelen oppgitt: Den ene er i pkt. 3.2.1.10 i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) hvor det står at det er brukt et 6" rør. Neste diameter finnes i overskriften i tabell 2 i appendiks C.7.2 i oppgaven til Røneid & Sæter (2007), hvor de regner på friksjonen til avløpstunnelen, her er diameteren 142.7mm. Avløpstunnelen ble først modellert med diameteren på 142.7mm. Men etter at det i telefonsamtalen til Hattling AS (2011) kom fram at tommer ikke lengre er i bruk som mål på rør, ble det gjort litt flere undersøkelser og i appendiks C.6.4 i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) ble det funnet et mål på utvendig diameter lik 160mm og nettodiameter 148mm. 160mm avløpsrør er en dimensjon som finnes. Avløpstunnelen i simuleringsforsøket ble etter dette tegnet med indre diameter på 148mm i simuleringsmodellen.

### 7.4.2 Lengde avløpstunnel

Avløpstunnelen i simuleringsmodellen ble først tegnet slik at den samsvarte med de opptegnede profilene i 3D tegningen fra Nidaros Oppmåling AS (2006). I Figur 35 vises avløpstunnelen. Ut fra bilde i Figur 36 hvor avløpstunnelen starter inni den røde sirkelen vises det tydelig at tunnelen sannsynligvis er atskillig lengre enn det som er vist i Figur 35.



Figur 35 Avløpstunnel (rød sirkel)



Figur 36 Avløpstunnel oversikt (Røneid & Sæter, 2007) Rød sirkel: start avløpstunnel

I appendiks C.7.2 i tabell 6 i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) er lengden av avløpstunnelen satt lik 7.4m. I samme appendiks, men tabell 7 ble det funnet en lengde på 183m, som er beskrevet som lengde tunnel (prototype). 183m er en lengde som tilsvarer lengden fra overgangen mellom sjakt og samløp, og ut til enden av avløpstunnelen i 3D tegningen fra Nidaros Oppmåling AS (2006). I Figur 36 vises det at avløpstunnelen går ned i en kum ved utløpet, og avstanden fra det lange horisontale røret og ned i kummen er på litt over 1m etter utregninger i appendiks[C.02.003]. Det er usikkert om den ene meteren er tatt med i lengden på 7,4m eller ikke. I appendiks [B.02.002] og [B.02.003] er det forsøkt å sette mål på noen bilder av avløpstunnelen, for så å regne ut lengden ut fra kjente mål som "avstanden mellom kummer" som er funnet til å være 5,1m etter egen oppmåling. Og lengden på samløpet (Dellengde 2) som er 1,5m. Utregningene er vist i appendiks [C.02.001]. Resultatene på lengden, fra bunn sjakt, til avløpstunnelen svinger ned mot kummen i enden, ble funnet til å være alt fra 5.43m til 7.48m. Ut fra en visuell bedømmelse av bilde opp mot de sikre målene på 5,1m og 1,5m kan totallengden ikke være mindre enn 6.6m, og sannsynligvis rundt 6,9 til 7,2m fra starten av samløpet ved sjakten og ut til første bend i avløpstunnelen. 7,4m virket noe i overkant langt. Hvis det i tillegg regnes med lengden av "Bend 1" og litt av "Bend 2" på tegningen i appendiks [B.02.004], blir totallengden ca. 0,2m lengre, og totallengden blir 7,1 til 7,4m. Noe som stemmer ganske bra med

målet på 7,4m. Det er derfor antatt at den siste meteren av avløpsrøret kommer i tillegg til lengden på 7,4m.

Rørlengden som er brukt mest i simuleringene har derfor en lengde på ca. 7,3m, målt fra bunnen av sjakten og til og med "Bend 2".

Avviket på lengden av avløpstunnelen mellom simuleringsforsøket og modellforsøket vil derfor sannsynligvis være på rundt 0,1 til 0,2m ut fra de lengdene som er funnet i oppgaven til Røneid & Sæter (2007), men ut fra målene på bildene vil avviket kunne være mellom -0.5m som nedre verdi, og + 0,4m som øvre verdi.

### **7.4.3 Bend, vinkler og lengder utløp**

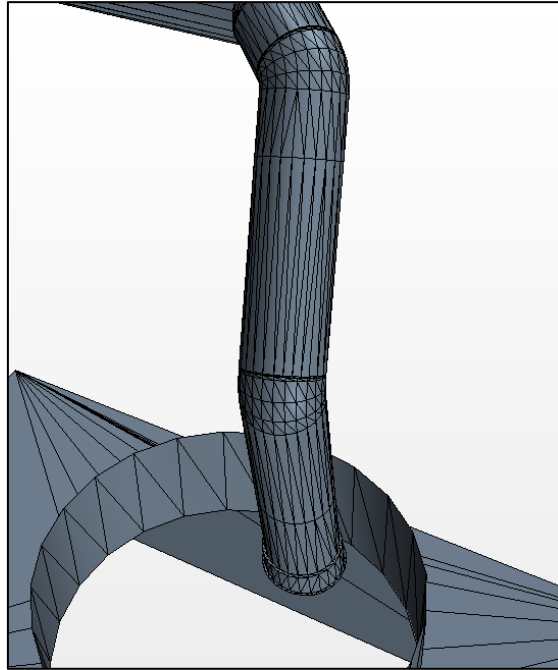
I appendiks [B.02.004] er det et bilde av utløpet til avløpstunnelen. I bildet vises det at utløpet består av tre bend og to rettstrekninger, hvor avslutningen ned i kummen har en liten utvidelse på slutten. Det er forsøkt å sette mål på bildet, og gjort noen utregninger i tabell 1 i appendiks [C.02.002] ved å anta at røret har en diameter på 160mm. Å sette mål på bildet i appendiks [B.02.004] er ikke ønskelig, da bildet lurer øyet, og det finnes ikke noen andre bilder å sammenligne utregningene med. At bildet ikke viser ting rett, oppdages ved at utregninger i pkt. 7.4.5, tilsier at man må øke lengden på "Lengde del 3" i appendiks [B.02.004] med nesten 50 % i forhold til utregningene i appendiks [C.02.002] for å tilfredsstille utregningene i pkt. 7.4.5. Den utregnede lengden på del "Lengde del 2" i appendiks [C.02.002] er blitt brukt i siste utgave av avløpstunnelen i simuleringsmodellen. Den ble brukt siden diameterendringen på røret var svært liten i det området lengden er målt, noe som tyder på at bildet er lite fordreid i det området.

Det er forsøkt å sette mål på hellingen til siste del av avløpstunnelen, sett i forhold til et horisontalplan med Z-aksen i lengde retningen til avløpsrøret. Målene på bildene finnes i appendiks [B.02.001] og [B.02.006] og en enkel utregning i tabell 2 i appendiks [C.02.002]. Hellingen ble funnet til å være mellom 6.8° til 12.1°, iterasjon antyder at denne vinkelen vil ligge et sted mellom 4° og 10°.

I simuleringsmodellen ble ca. 7° helling brukt som utgangspunkt, og som tidligere nevnt "lengde del 2". De andre delene og vinklene er prøvd plassert på rett plass ut fra visuelle betraktninger.

Vinklene på bendene er anslått til å være 45°. Noe man ser ut fra "Vinkel 4" i appendiks [B.02.001]

Avviket mellom modellen til Røneid & Sæter (2007) og simuleringsmodellen er antatt å være betydelig i alle vinkler. Avviket på lengdene vil også kunne være stort. Hvor store avvikene kan være, settes det ikke noe mål på da grunnlaget anses for dårlig. I Figur 37 og Figur 38 er det forsøkt å gjøre en sammenligning mellom modellen i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) og simuleringsmodellen. Bendene i Figur 38 gjør at rørdelen mellom de to bendene virker mye kortere enn det den er.



Figur 37 Utløp avløpstunnel



Figur 38 Utløp avløpstunnel (Røneid & Sæter, 2007)

#### 7.4.4 Friksjonsstige

I appendiks [B.02.001] er friksjonsstigen vist og det er forsøkt å sette mål på avstandene. I appendiks [C.02.004] og tabell 1 til tabell 3 er det utført skalering, samt sammenligning mot data fra tabell 15 i appendiks (C.7.2) i oppgaven til Røneid & Sæter (2007). Resultatet ble at friksjonsstigen etter all sannsynlighet er bygd som beskrevet i oppgaven Røneid & Sæter (2007).

I punkt 4.2.12.1 i oppgaven til Røneid & Sæter (2007), står det at friksjonstrinn 1, som hever utløpet med 11mm og gir modellen en tilleggsfriksjon på 11 til 63mm, gir en tilleggsfriksjon i prototypen på 0.44 til 2.52m. Dette er sannsynligvis feil da friksjonsstigen er plassert ved utløpet av avløpstunnelen i modellforsøket, og ikke ved det punktet som svarer til enden av utløpet i prototypen.

Avløpstunnelen i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) er noen meter lengre enn det den skulle vært ut fra skaleringsfaktoren på 1/40. Siden avløpstunnelen er lengre enn det den skulle vært ut fra skaleringsfaktoren, vil heving ved utløpet i modellen ha mindre å si enn i prototypen.

Under byggingen av simuleringsmodellen ble utløpet derfor hevet med 11mm der hvor friksjonsstigen er plassert (enden av rettstrekningen på avløpstunnelen), og ikke der man ut fra teksten i punkt 4.2.12.1 i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) skulle tro at hevingen skulle skje. Hevingen er derfor antatt å være lik den som ble gjort i modellforsøket til Røneid & Sæter (2007).

#### **7.4.5 Høyde differanse utløp.**

Hvor stor høydedifferansen mellom samløpet og ned til laveste del av utløpet er i oppgaven til Røneid & Sæter (2007) er ikke funnet noe mål på. Ut fra bilde i appendiks [B.02.005] og utregninger i appendiks [C.02.003] hvor det er forutsatt at trestolpene har en bredde på 98mm: er det blitt funnet at denne høydeforskjellen er ca. 106 – 108cm. Stigen som vises i appendiks [B.02.005] ble brukt som kontrollmål, og viser at det ikke er graverende feil med høydeestimatet. Betonggulvets tykkelse på 25cm som er lagt til i utregningene i appendiks [C.02.003] er målt i laboratoriet, vist i Figur 38.

Antatt avvik på høyden mellom samløp og utløp avløpstunnel, mellom simuleringsmodellen og modellen til Røneid & Sæter (2007) er minst +/- 10cm, da høydeforskjeller i gulvet kommer i tillegg til feil i skaleringen av høyden til stolpene i appendiks [B.02.005].

### **7.5 Lufting sjakt**

I punkt 3.6 i Røneid & Sæter (2007) er det beskrevet at det ble boret et hull i sjaktfoten som tilsvarer en diameter på 1,28m i prototypen, hvilket tilsvarer 32mm i modellen. Under en samtale med Audun Vårum (2011), som var med å bygge modellen til Røneid & Sæter (2007), kom det fram at den grå lille stussen i Figur 39 har en ytre diameter på 32 mm.

Det er derfor et avvik på ca. 3mm i radiusen mellom modellforsøket og simuleringsforsøket, avviket gjelder både den grå stussen, og gummislangen som er koblet til.



**Figur 39** Lufting sjakt

## 8 Sensitivitetsanalyse STAR-CCM+

I dette kapittelet er noen simuleringene utført i STAR-CCM+ sammenliknet. Endringer i input parametere som tidssteg, turbulensmodell, nett og kontaktflate mellom delene er undersøkt og vurdert.

### 8.1 Organisering av resultater

Seks av Røneid & Sæter (2007) sine fysiske modellforsøk er simulert. De seks modellforsøkene danner utgangspunkt for samtlige simuleringer. De seks modellforsøkene gir alle hver sin vannføringskurve og disse vannføringskurvene har fått et unikt navn for å skille de fra hverandre. De seks navnene er:

- “Uten luft uten ruhet”
- “Uten luft uten ruhet med Zalo”
- “Med luft uten ruhet”
- “Med luft uten ruhet med Zalo”
- “Uten luft med ruhet”
- “Med luft med ruhet”

Det er blitt utført mange simuleringer mot hver av de seks vannføringskurvene fra modellforsøket. Mot den ene vannføringskurven “Uten luft uten ruhet” er det blitt gjort 50 simuleringer. Nedenfor er det listet opp hvor mange simuleringer det utført mot hver vannføringskurve (Det er ikke resultater fra alle simuleringene).

- |                                   |                 |
|-----------------------------------|-----------------|
| • “Uten luft uten ruhet”          | 50 simuleringer |
| • “Uten luft uten ruhet med Zalo” | 5 simuleringer  |
| • “Med luft uten ruhet”           | 38 simuleringer |
| • “Med luft uten ruhet med Zalo”  | 5 simuleringer  |
| • “Uten luft med ruhet”           | 18 simuleringer |
| • “Med luft med ruhet”            | 18 simuleringer |

For å klare å skille simuleringene fra hverandre er alle simuleringene som er gjort mot vannføringskurven “Uten luft uten ruhet” samlet i en Excelfil kalt “F.01 Resultater uten luft uten ruhet”. I Tabell 3 er det vist en komplett oversikt over hvilke Excelfiler de ulike simuleringene er plassert i.

Tabell 3 Organisering av simuleringer mot vannføringskurver fra Røneid & Sæter (2007)

Vannføringskurver fra Røneid & Sæter (2007)	Excellfil (filnavn)	Antall simuleringer
“Uten luft uten ruhet”	F.01 Resultater uten luft uten ruhet	50
“Uten luft uten ruhet med Zalo”	F.02 Resultater uten luft uten ruhet Zalo	5
“Med luft uten ruhet”	F.03 Resultater med luft uten ruhet	38
“Med luft uten ruhet med Zalo”	F.04 Resultater med luft uten ruhet Zalo	5
“Uten luft med ruhet”	F.05 Resultater uten luft med ruhet	18
“Med luft med ruhet”	F.06 Resultater med luft med ruhet	18

I Excellfilene har så hver simulering fått et nummer, og resultatene fra simuleringen er plassert i et ark, med et navn som tilsvarer simuleringsnummeret. I Excellfil “F.01 Resultater uten luft uten ruhet” finnes det 50 ark som er nummerert fra 1 til 50.

I Excellfilene finnes det et ark som heter “Test oversikt”. Arket “Test oversikt” inneholder de aller fleste opplysningene om de forskjellige simuleringene som er organisert i den Excellfilen. Siden, arket “Test oversikt”, er kompleks er det laget et utdrag med de opplysningene som er relevante. I Tabell 4 er det vist i hvilket appendiks utdragene fra de forskjellige Excellfilene er plassert.

Tabell 4 Oversikt over utdrag fra Excellfiler

Excellfil (filnavn)	Utdrag (Appendiks)
<b>F.01 Resultater uten luft uten ruhet</b>	D.29
<b>F.02 Resultater uten luft uten ruhet Zalo</b>	
<b>F.03 Resultater med luft uten ruhet</b>	D.30
<b>F.04 Resultater med luft uten ruhet Zalo</b>	
<b>F.05 Resultater uten luft med ruhet</b>	D.31
<b>F.06 Resultater med luft med ruhet</b>	D.32

Excellfilene F.02 og F.04 er kun kommentert under punktene 9.6.2 og 9.6.4, og alt som er nødvendig å vite er kommentert i teksten der.

De første simuleringene som ble utført har så store geometriske feil at de ikke er tatt med i utdraget. Dette medfører at utdrag i appendiks [D.29] starter fra simulering nr 24 og utdraget i appendiks D.30 starter på simulering nr 15

Alle resultater er basert på en fil som er brukt i STAR-CCM+. Filnavnet starter med R etterfulgt av en tallkombinasjon. Fra Appendiks [D.29] og kolonnen “Fil” kan man se at simulering 24 fra Excellfil F.01 kommer fra STAR-CCM+ filen R.01.010. Alle R-filene er plassert i appendiks [F].

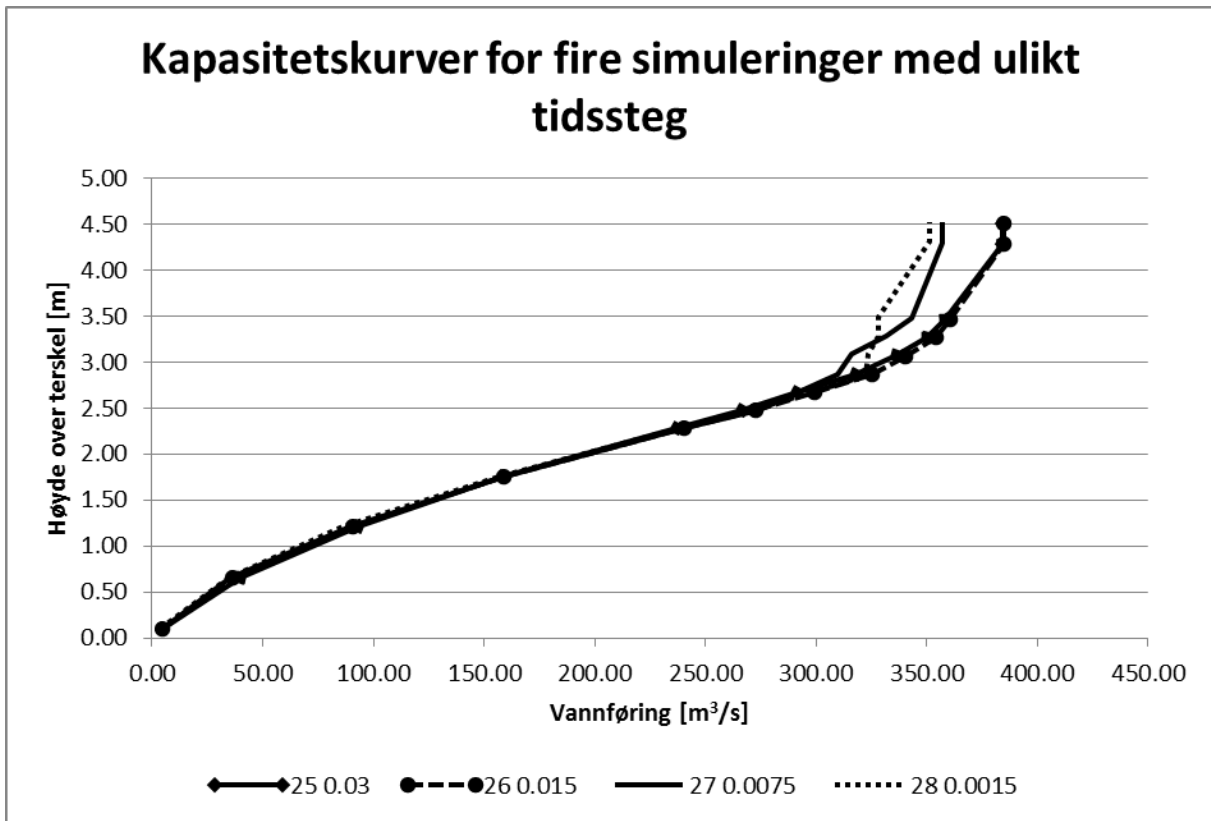
I Tabell 5 er det vist hva som er de fysiske forskjellene mellom de ulike forsøkene som har gitt seks forskjellige vannføringskurver i modellforsøket.

Tabell 5 Kjennetegn vannføringskurver

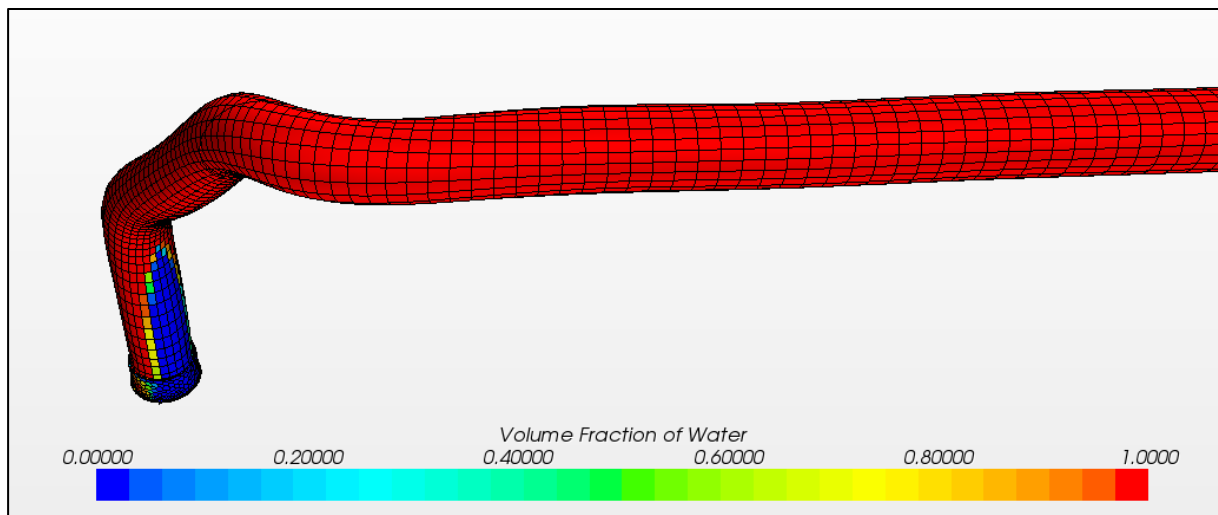
Vannføringskurve i modellforsøket	Excellfil (simuleringer)	Kjennetegn
“Uten luft uten ruhet”	F.01	Glatt sjakt, ingen tilføring av luft
“Uten luft uten ruhet med Zalo”	F.02	Lik F.01, men med Zalo tilsatt før overløpsterskelen
“Med luft uten ruhet”	F.03	Lik F.01, luft tilføres sjakten via en luftslange
“Med luft uten ruhet med Zalo”	F.04	Lik F.03, men med Zalo tilsatt før overløpsterskelen
“Uten luft med ruhet”	F.05	Lik F.01, men med ruhet i sjakten
“Med luft med ruhet”	F.06	Lik F.03, men med ruhet i sjakten

## 8.2 Tidssteg

I Figur 40 er fire simuleringer (25, 26, 27 og 28) av det fysiske modellforsøket “Uten luft uten ruhet” sammenlignet. Tallet bak simuleringsnummeret viser tidssteget i figuren. Figuren viser at tidsstegene 0.03s og 0.015s gir tilnærmet like kurver. Tidsstegene på 0.0075s og 0.0015s avviker relativt mye mot kurvene med tidssteg 0.03s og 0.015s. Avvikene er opp mot  $33\text{m}^3/\text{s}$  ved samme vannstand. Tidsstegene på 0.03s og 0.015s har en jevnere kurve enn simuleringene med tidsstegene 0.0075s og 0.0015s. I STAR-CCM+ filene kan man se at det i simuleringene med de to korteste tidsstegene har det blitt sugd inn luft, helt opp til siste bendet på utløpsrøret. Dette er vist i Figur 41. Denne luftinnsugningen gjør at man mister en vannsøyle på ca. 0.5m som kunne vært med på å lage vakuum i systemet.

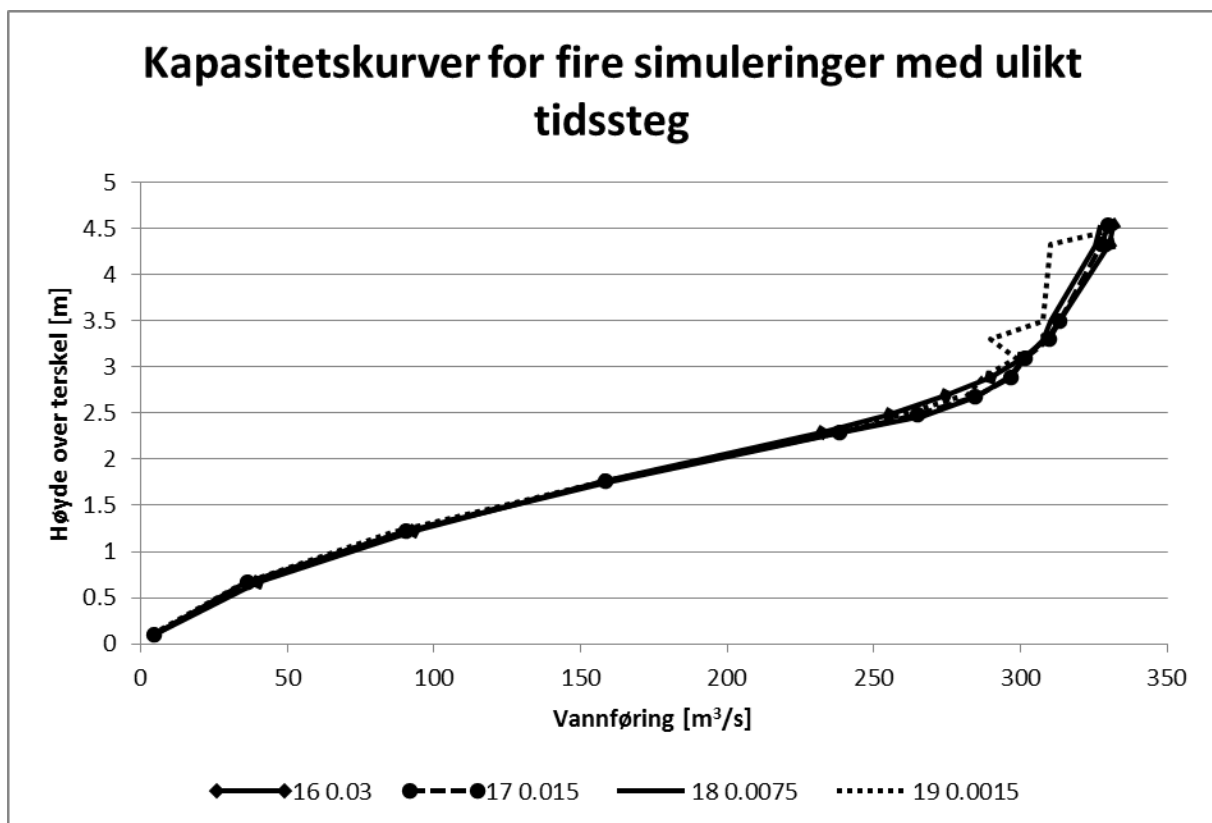


Figur 40 Kapabilitetskurver simuleringer med ulikt tidssteg ("Uten luft uten ruhet")



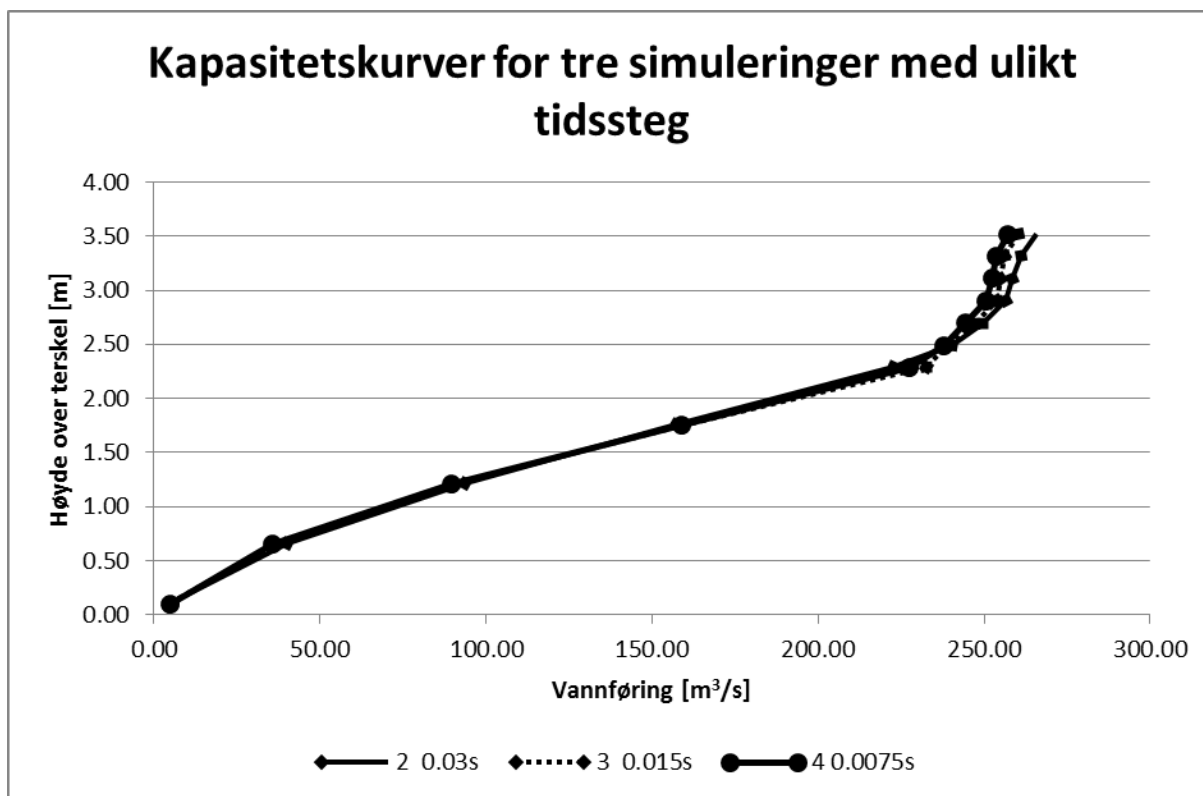
Figur 41 Luftinnsugning tidssteg 0.0075 og 0.001

I Figur 42 er fire simuleringer (16, 17, 18 og 19) fra det fysiske modellforsøket “Med luft uten ruhet” sammenlignet. Figuren viser at simuleringene gir relativt like kapasitetskurver opp til vannstanden i magasinet(H) er rundt 2.25m. Videre opp blir det noe avvik. Vi ser at alle kurvene er omtrent helt like ved H lik 4.5m, kun 4.3m<sup>3</sup>/s i skiller de fire simuleringene, hvor simulering 16 med tidssteg 0.03s gir høyest kapasitet, og simulering 18 gir lavest kapasitet. Vi ser at kurven med kortest tidssteg er ustabil i området fra H større enn 3m. Ustabiliteten kommer sannsynligvis av delvis friskeisstrømning i avløpstunnelen, noe som fører til at det oppstår vakuüm i korte perioder. Innløpsmengden varierer med opp mot +-10m<sup>3</sup>/s i løpet av 1s.



Figur 42 Kapasitetskurver simuleringer med ulikt tidssteg (“Med luft uten ruhet”)

I Figur 43 er simulering 2,3 og 4 fra det fysiske modellforsøket “Uten luft med ruhet” vist. I appendiks [D.07] er dataene til simuleringene sammenlignet. Kurven viser en differanse mellom simulering 2 med tidssteg på 0.03s og simulering 4 med tidssteg 0.075s på 8.6m<sup>3</sup>/s ved H lik 3.5m, hvor det korte tidssteget gir lavest vannføring. Simulering 3 med tidssteg 0.015s ligger midt i mellom. Ved høyde rundt 2.25m finner vi det største avviket mellom simuleringene, på 10m<sup>3</sup>/s hvor simulering 3 gir høyest verdi og simulering 2 lavest.



Figur 43 Kapabilitetskurver simuleringer med ulikt tidssteg ("Uten luft med ruhet")

I appendiks [D.08] er simuleringene 8, 9 og 10 med tidssteg 0.075, 0.003 og 0.001 fra Excelfilen F.05 sammenlignet. Avviket ved H lik 3.73m er kun 0.5m<sup>3</sup>/s mellom høyeste og laveste verdi. Ved H lik 2.25m finner vi det største avviket, hvor simulering med de lengste tidsskrittene gir 11 og 13m<sup>3</sup>/s høyere kapasitet enn simulering 9 og 10.

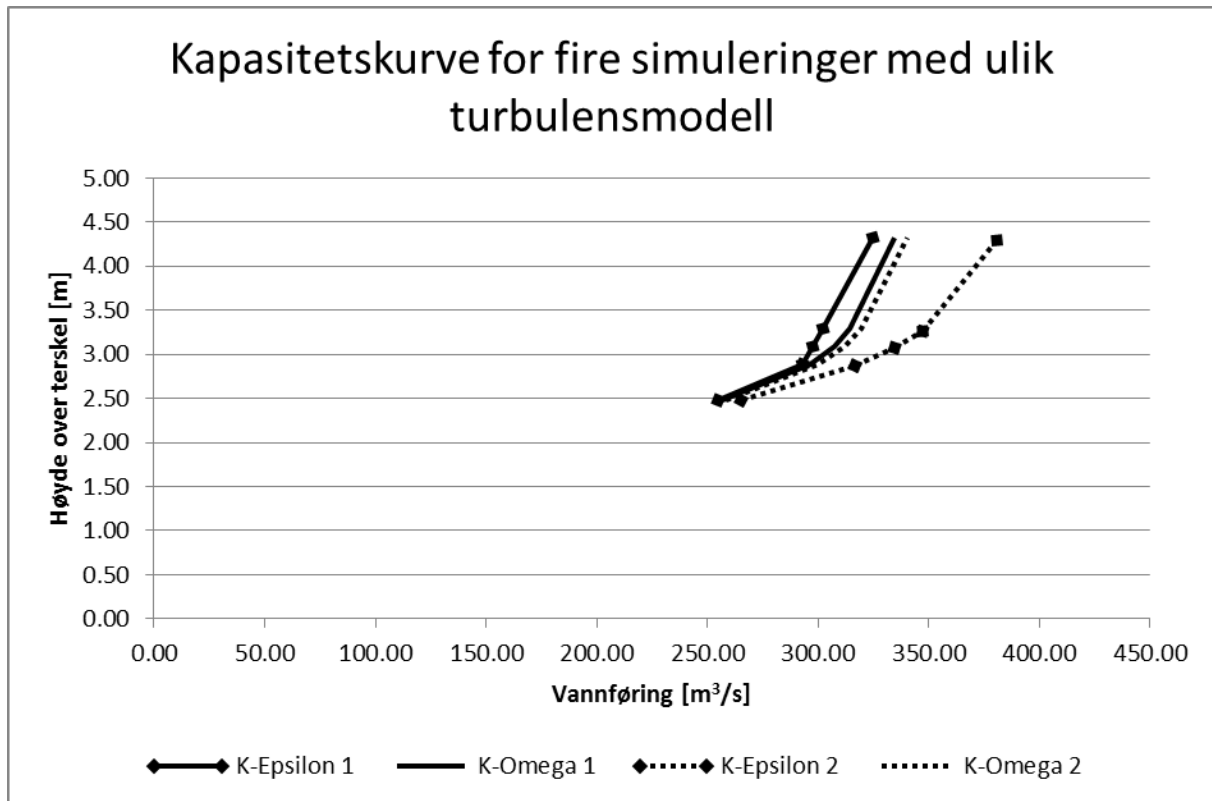
Fra simuleringene i Excelfilen F.06 det gjort to sammenligninger mellom tidsstegene, i appendiks [D.09] for simulering 2, 3 og 4 og i appendiks [D.10] vises resultatene for simulering 8, 9 og 10. I appendiks [D.09] ser man at avvikene er på maksimalt 5.4 m<sup>3</sup>/s mellom simuleringene. Videre registreres det et avvik ved H lik 0.66m hvor simuleringen med kortest tidsskritt gir lavest vannføring. Ellers ser vi at simuleringen med lengst tidsskritt stort sett gir høyest vannføring.

Ser vi på resultatene i appendiks [D.10] gir simuleringen med lengst tidsskritt, høyest vannføring i alle punkter bortsett fra ved 2.1m, hvor den gir lavest vannføring (7.4m<sup>3</sup>/s lavere enn høyeste)

### 8.3 Turbulensmodell

Tre ulike turbulensmodeller har vært benyttet. Det var virvel viskositets modellene K-Epsilon og K-Omega, samt Reynolds spennings transport modell. Sistnevnte modell krasjet i alle forsøkt, og det finnes derfor ingen simuleringer med Reynolds spennings transport modell. Hvis prismelaget var tykt gikk som regel simuleringen med reynolds spennings transport modell et stykke før den krasjet. Med modellene K-Epsilon og K-Omega var det lite problemer, og alle simuleringer som startet, ble fullført. Avvikene mellom K-Epsilon og K-Omega modellen er kommentert nedenfor.

I appendiks [D.15] er det gjort to sammenligninger fra Excel-filen F.01. Simuleringene i sammenligning 1 er kjørt med en ruhet på 2.7mm i sjakten, og er derfor ikke direkte sammenlignbar med sammenligning 2. I Figur 44 er de to sammenligningene vist.



Figur 44 Sammenligning turbulensmodell "Uten luft uten ruhet"

Vi ser at for K-Epsilon 1 og K-Omega 1 gir K-omega høyest vannføring i ved H lik 4.3m og differansen er rundt  $10-11\text{m}^3/\text{s}$ .

Ser vi på simuleringene K-Epsilon 2 og K-Omega 2, er det stor forskjell. K-Omega 2 gir  $41\text{m}^3/\text{s}$  mindre kapasitet enn K-Epsilon 2. For K-Omega 2 har det blitt sugd inn luft opp til siste bend i avløpstunnelen, for K-Epsilon 2 er tverrsnittet vannfylt helt ut til utløpet i kummen.

I appendiks [D.16] er det gjort to sammenligninger fra Excel-filen F.05. Forskjellen mellom sammenligning 1 og 2 er kortere tidssteg i sammenligning 2 ( $0.003\text{s}$  mot  $0.03\text{s}$ ), og et litt finere nett i avløpstunnelen. Vi ser her at K-Omega 1 gir en kapasitet som er  $40\text{m}^3/\text{s}$  høyere enn i K-Epsilon 1 simuleringen. I K-Omega 1 simuleringen, blir det ikke sugd inn luft opp til siste bend i utløpet slik som det blir for de tre andre simuleringene.

Avviket mellom K-omega 2 og K-Epsilon 2 i appendiks [D.16] er tilnærmet lik null ved H lik 1.9m og øker så gradvis opp til  $8.5\text{m}^3/\text{s}$  ved H lik 3.7m.

I simuleringene i Excel-filen F.06 finner vi avvik mellom K-Epsilon og K-Omega. Avviket er på ca.  $6\text{m}^3/\text{s}$  for tidssteg på  $0.03\text{s}$  og  $2.5\text{m}^3/\text{s}$  for tidssteg på  $0.003\text{s}$ . I begge tilfeller gir K-Omega høyest kapasitet.

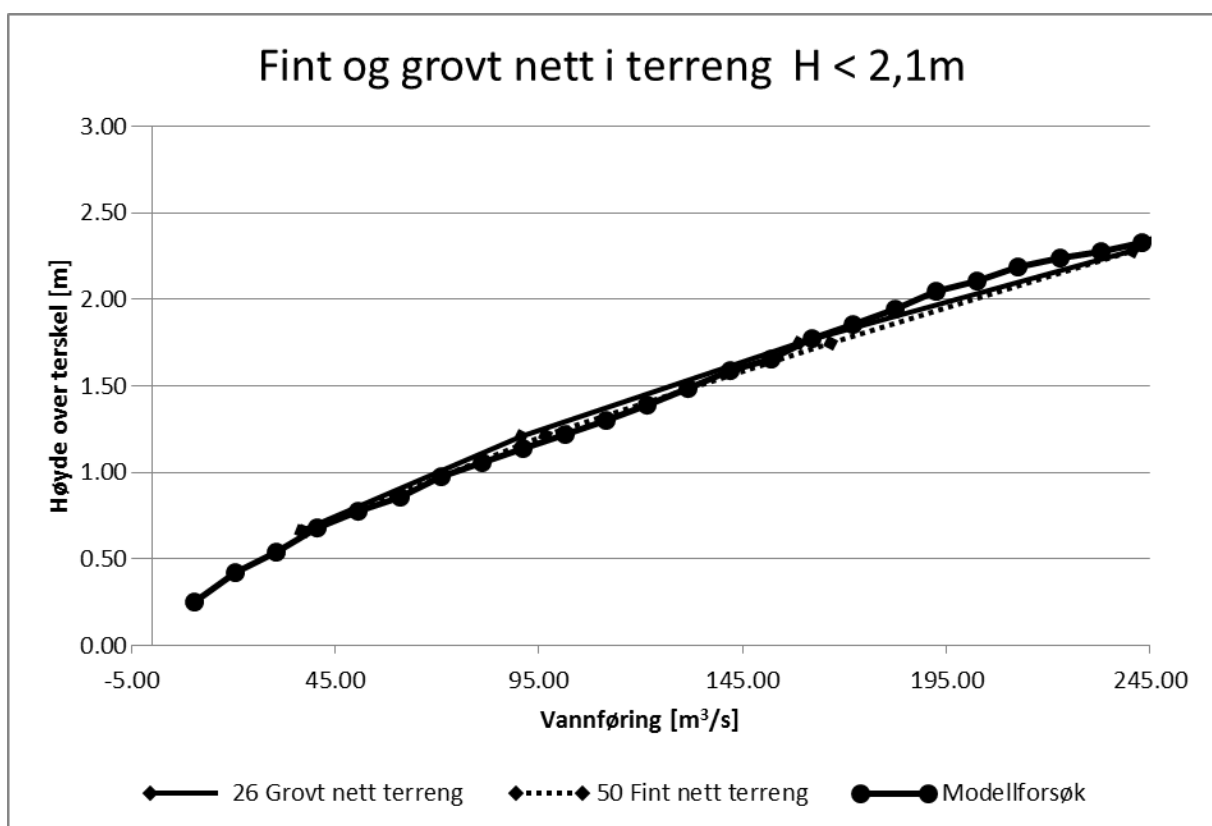
Det skjer ingen luftoppsugning, men ved tidssteg på 0.003s er det friskeisstrømning i avløpstunnelen selv ved høye vannføringer. Ved tidssteg på 0.03s er det en luft-vann blanding ved høye vannføringer.

## 8.4 Nett

I dette kapittelet er nettet på forskjellige deler i modellen blitt testet ut.

### 8.4.1 Nett terreng

I appendiks [D.05] er det gjort en sammenligning mellom simulering 26 og 50 fra Excelfil F.01. Simulering 50 har et finere nett rundt overløpsterskelen enn simulering 26. Økningen i antall celler er fra 84435 til 220926 for hele modellen. I Figur 45 er resultatet vist. Begge nettene er av typen trimmet nett.



Figur 45 Sammenligning mellom simulering 26 og 50 fra Excelfil F.01, og modellforsøk "Uten luft uten ruhet"

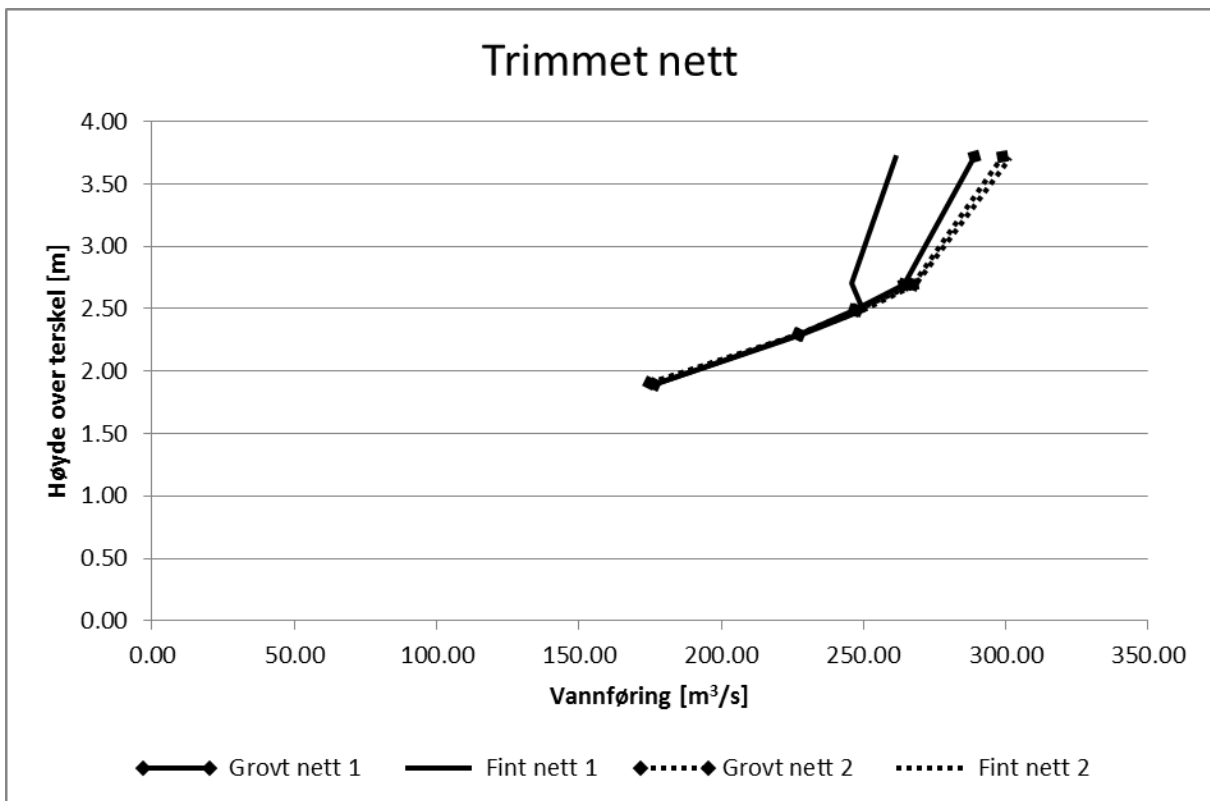
Figuren viser at simulering 50 er nesten helt lik kurven fra modellforsøket til Røneid & Sæter (2007) fram til vannstanden i magasinet er 1.7m. Videre ser vi at kurve 26 og 50 er stort sett like i bunnen og ved toppunktet. Når kurvene nærmer seg H=2 meter er det litt avvik mellom modell-kurven og de andre kurvene. Simuleringskurvene har ikke målinger i dette området rundt H lik 2m.

Avviket ved høyden H = 1.21m er redusert fra 10.13 % for simulering nr 26 til 3.81 % for simulering nr 50.

### 8.4.2 Nett avløpstunnel

I appendiks [D.17] er det gjort to sammenligninger av et fint og et grovt trimmet nett fra Excelfil F.05. Forfiningen av nettet har skjedd rundt den siste tverrsnittsutvidelsen i avløpstunnelen. I tillegg er prismelaget på innsiden i avløpstunnelen gjort tynnere. Forskjellen i antall celler er fra 123320 til 237444. I sammenligning 1 er det brukt K-Epsilon turbulensmodel, mens det er brukt K-Omega i sammenligning 2. I Figur 46 er sammenligningene vist.

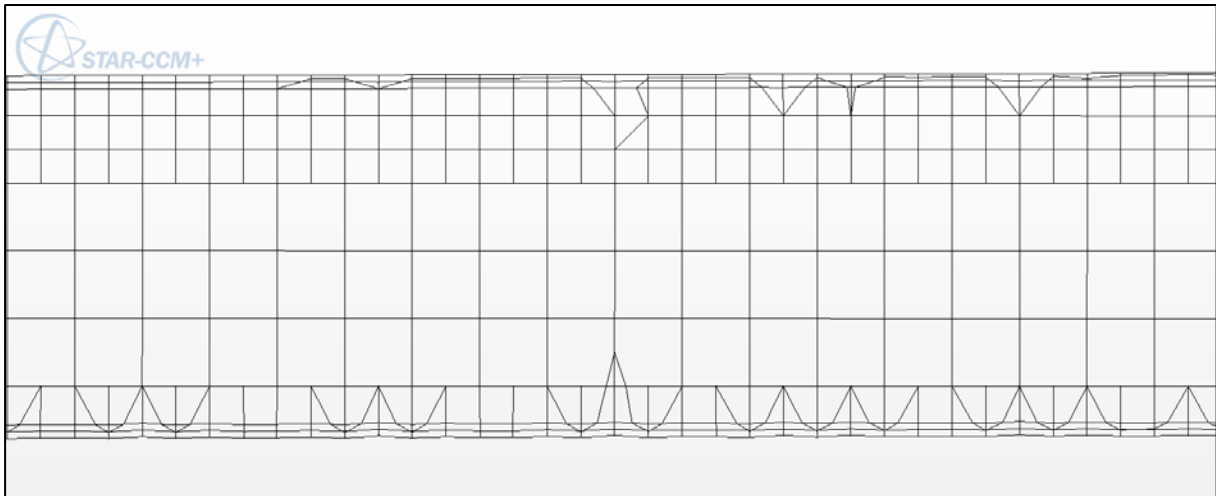
I sammenligning 2 er forskjellen mellom fint og grovt nett  $0\text{m}^3/\text{s}$  i ved H lik 1.9m og  $2.40\text{m}^3/\text{s}$  ved H lik 3.7m, hvor det fine nettet gir høyest kapasitet. I sammenligning 1 har det blitt sugd inn luft opp til det siste bended før utløpet i avløpstunnelen, i simuleringen med fint nett. Avviket mellom fint og grovt nett er omtrent null ved H lik 1.9m og  $27\text{m}^3/\text{s}$  ved H lik 3.7m, hvor det grove nett gir størst kapasitet.



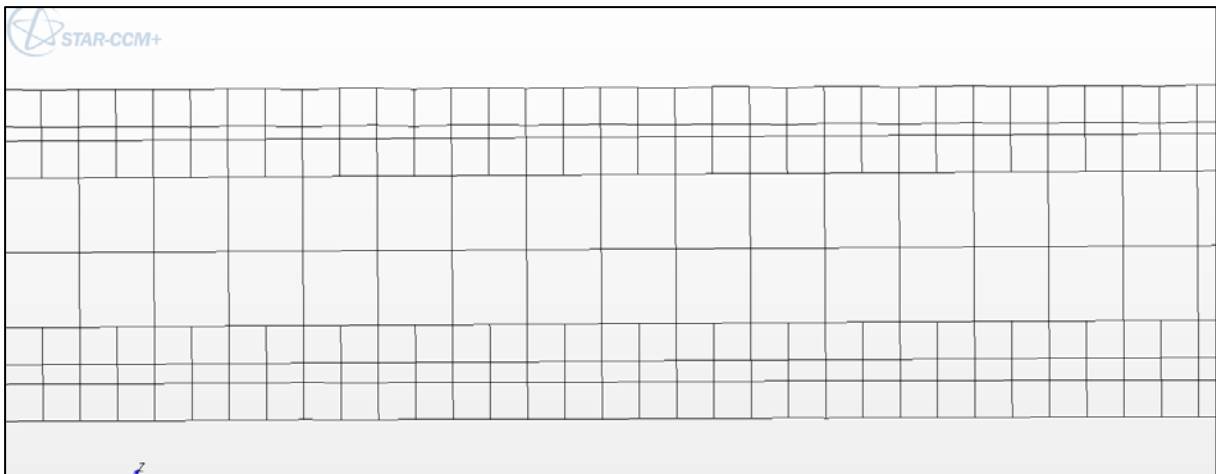
Figur 46 Sammenligning trimmet nett

### 8.4.3 Nett sjakt

I appendiks [D.18] er det gjort en sammenligning mellom simulering 10 og simulering 12 fra Excelfil F.03. Nettet i simulering 10 hadde en god del dårlige celler, blant annet skråceller og hadde to prismelag. I Figur 47 er gridet vist som et snitt gjennom senter av sjakten. I simulering 12 ble prismelaget gjort veldig tykt og de dårlige cellene ble slik forsøkt fjernet. Resultatet er vist i Figur 48. Resultatet ble 8208 færre celler i sjakten i simulering 12 og en økt kapasitet på  $5-7\text{m}^3/\text{s}$  ved H = 4.5m. Det var ingen forskjell på kurvene mellom H = 0 og H=1.75m. Kurvene er vist i appendiks [D.18].



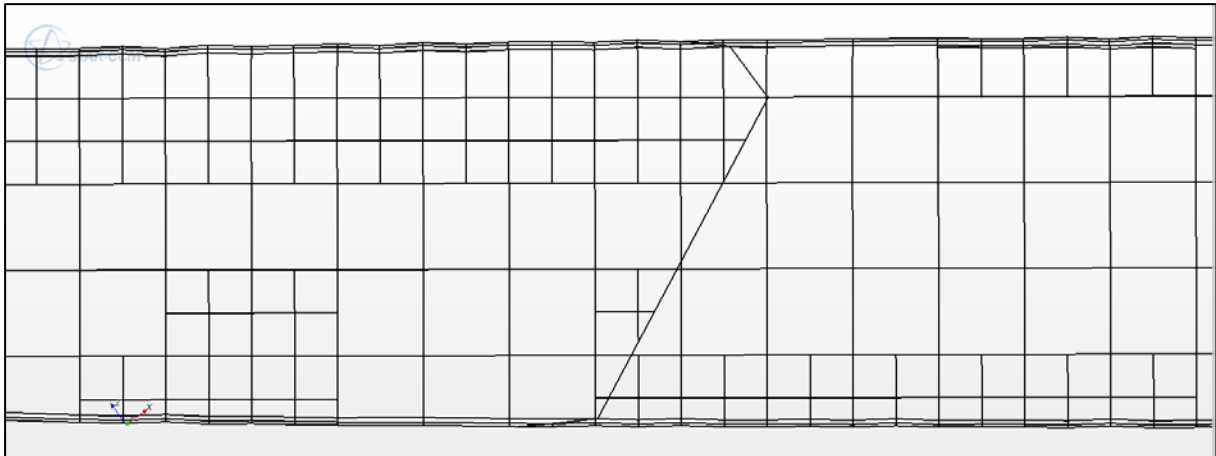
Figur 47 Dårlige celler i sjakt.



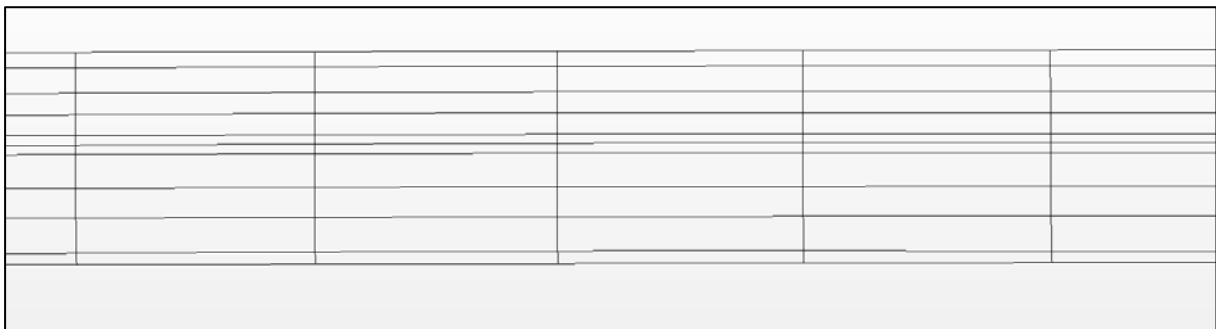
Figur 48 Nytt nett med tykt prismelag

#### 8.4.4 Nett lufting sjakt

I Figur 49 er nettet (trimmet) til delen "lufting sjakt" for simulering 13 fra Excelfil F.03 vist. I Figur 50 er nettet til delen "lufting sjakt" for simulering 14 i Excelfil F.03 vist. I simulering 14 er det brukt generalisert sylinder nett i delen lufting sjakt. Bruken av generalisert sylinder nett førte til 12908 færre celler, hvilket ikke førte til noen endring i kapasitetskurvene/resultatene, som vist i appendiks [D.18].



Figur 49 Trimmet nett lufting sjakt (overflaten ujevn pga. deformasjoner ved generering av nett)



Figur 50 Generalisert sylinder lufting sjakt

#### 8.4.5 Nett generelt

Som vist i punkt 8.4.3 og punkt 8.4.4 har nettgeneratoren “Trimmer” som lager ortogonalt nett eller 8 kantet nett (ikke benyttet), en tendens til å lage en del stygge celler, og linjer som skjærer tvers gjennom tverrsnitt. Det har vært vanskelig å fjerne disse uregelmessighetene, spesielt i avløpstunnelen. Generalisert sylinder lager stort sett fine nett, men glatter ut skarpe kanter, som skjedde i f.eks. simulering 13 fra Excelfil F.03.

Rene mangekantede nett ser ut til å lage færre dårlige celler enn trimmet nett. Mangekantet nett er imidlertid uregelmessig og viser en tendens til å ha lavere konvergens enn trimmet nett ved samme tidsskritt.

### 8.5 Kontaktflate mellom delene (Interface)

I sammenkoblingen mellom sjakten og samløpet, og sammenkoblingen mellom samløp og avløpstunnelen oppstod det problemer med kontaktflaten. I overgangen mellom sjakt og samløp oppsto problemene på utkast 1 av samløpet. Her er kontaktflaten i taket på samløpet og har samme krumming som taket i samløpet. Når den krumme kontaktflaten ble benyttet oppstod det lokale trykkpunkt midt inne i vannstrømmen. Når kontaktflaten ble flyttet opp i sjakten (flaten ble plan), over der luften kommer inn, forsvant de lokale trykkpunktene i vannstrømmen.

I overgangen mellom samløp og avløpstunnelen oppstod det problemer med kontaktflaten, når utkast 9 av avløpstunnelen ble satt inn. Det var tydelig at kontaktflaten kun dekket deler av den virkelige kontaktflaten mellom delene. Ved å øke tolleranse grensen på kontaktflaten ble resultatet akseptabelt.

## 9 Resultater

I dette kapittelet er resultatene fra simuleringene omtalt. I tillegg gis delinformasjon om de kommenterte simuleringene som kan være vanskelig å finne uten å gå inn å sjekke hver enkelt simuleringsfil. Det gis også gitt en forklaring på hvordan avvikene mellom simuleringene og modellforsøket er regnet ut.

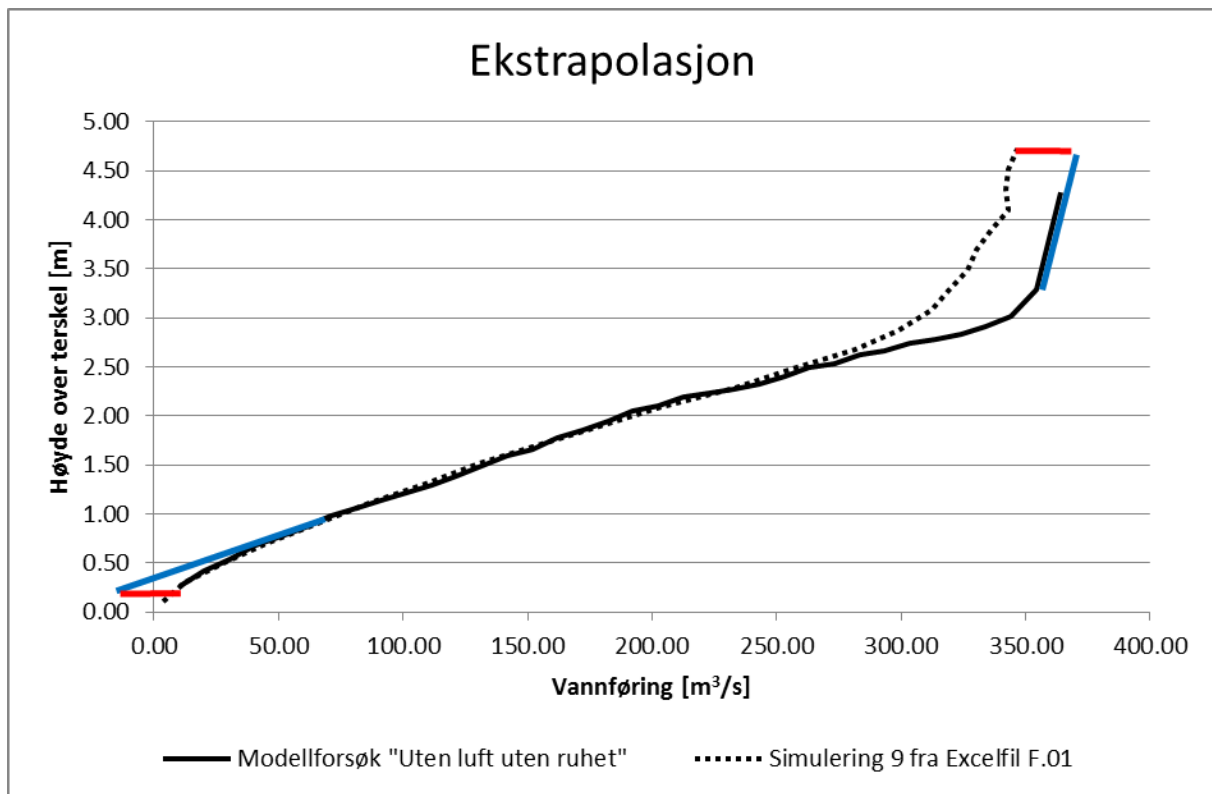
### 9.1 Sammenligning mellom modell og simuleringsforsøk

For å regne ut avviket mellom simuleringene og modellforsøket til Røneid & Sæter (2007), ble dataene fra modellforsøket brukt som referanseverdi. Mellom punktene på vannføringskurvene i modellforsøket ble det interpolert lineært. Videre ble vannstandshøyden(H) fra simuleringene, ble brukt som sammenlignings grunnlag. Vannføringen (Q) ble funnet for de tilnærmede punktene, og brukt til å regne avviket mot den simulerte verdien. Hvis de simulerte verdiene lå lavere enn laveste verdi i modellforsøket, ble verdiene ikke sammenlignet, fordi vannføringskurvene er parabelformet ved lave vannføringer, og en lineær ekstrapolasjon vil gi helt feil svar, som vist ved ekstrapolering fra H lik 0.75m til 0.2m i Figur 51. Hvis de simulerte verdiene lå høyere enn høyeste verdi i modellforsøket ble det gjort en ekstrapolering over høyeste verdi i modellforsøket. Ekstrapoleringen ble gjort, da vannføringskurven i dette området er antatt å følge en tilnærmet lineær ekstrapolering (et veldig kort stykke), siden Q for de høyeste verdiene (etter knekkpunktet mellom friskeisstrømning og rørstrømning) vil være avhengig av vannstanden i magasinet (H) (Toppen av overløpsterskelen ligger på H lik 0m), pluss høydedifferansen fra overløpsterskelen til utløpet (eller der det oppstår friskeisstrømning)(  $\Delta H$  ) etter funksjonen i Formel 3

**Formel 3 Kapasitet lukket flomløp**

$$Q = \sqrt{H + \Delta H}$$

Ved knekkpunktet i grafen (Se Figur 51) er allerede  $\Delta H$  ganske stor, og en liten endring i H vil gi nesten en lineær økning i Q da vi kun beveger oss langs et meget kort stykke av kurven. Se Figur 51 for ekstrapolering fra H = 4.25m til H lik 4.75m.



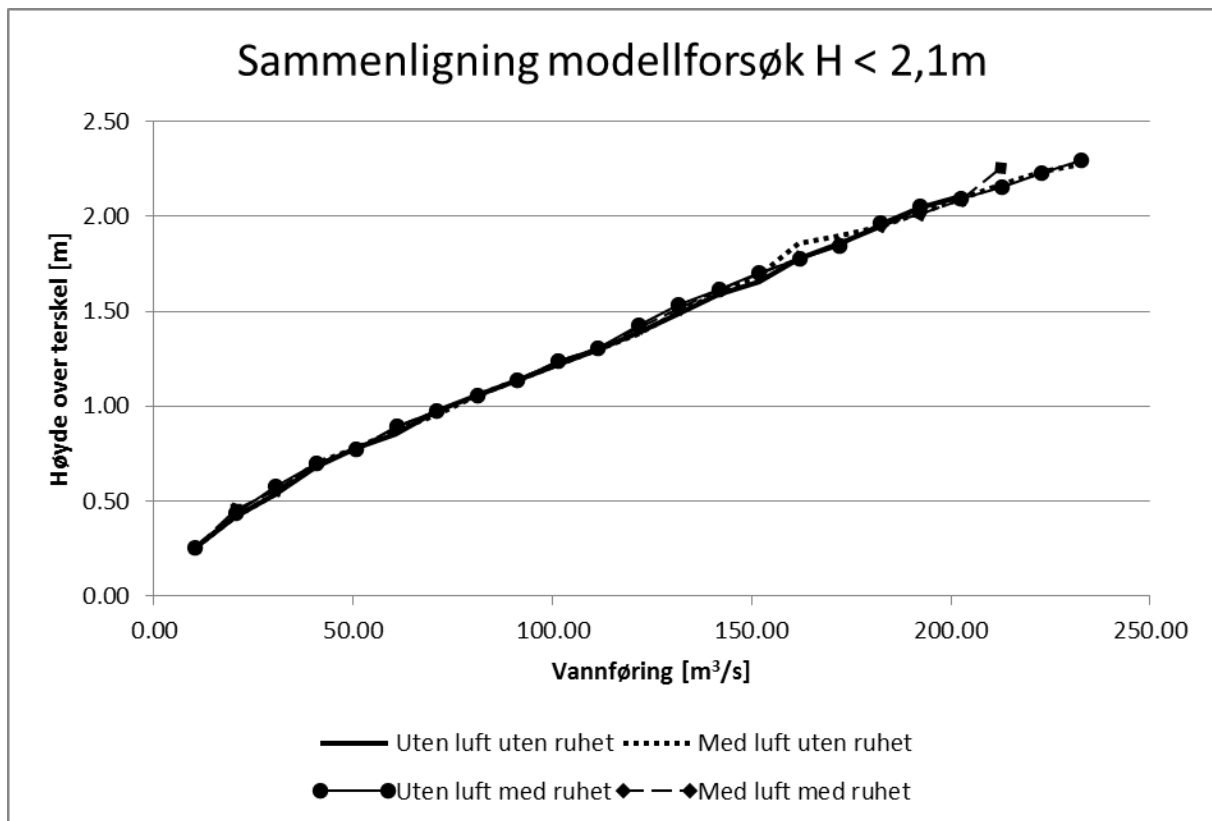
Figur 51 Sammenligning ekstrapolering (blå streker) avvik (rød strek)

## 9.2 Nedre del av vannføringskurve

I dette kapittelet er resultatene for nedre del av vannføringskurvene i modellforsøket og simuleringsforsøket presentert og kommentert.

### 9.2.1 Sammenligning av modellforsøk ved vannstand i magasin lavere enn 2,1m

I Figur 52 er fire kurver fra modellforsøket til Røneid & Sæter (2007) sammenlignet for vannstand i magasin (H) mindre enn 2,1m. Når høyden er mindre enn 2,1m er det overløpsterskelen som er kapasitetsbestemmende. På kurven "Med luft med ruhet" ser man så vidt at kurven begynner å avvike fra de andre kurvene i det høysete punktet (220m<sup>3</sup>/s), noe som tyder på at andre deler i systemet begynner å bestemme overløpskapasiteten. De tre andre kurvene viser fullstendig samsvar.

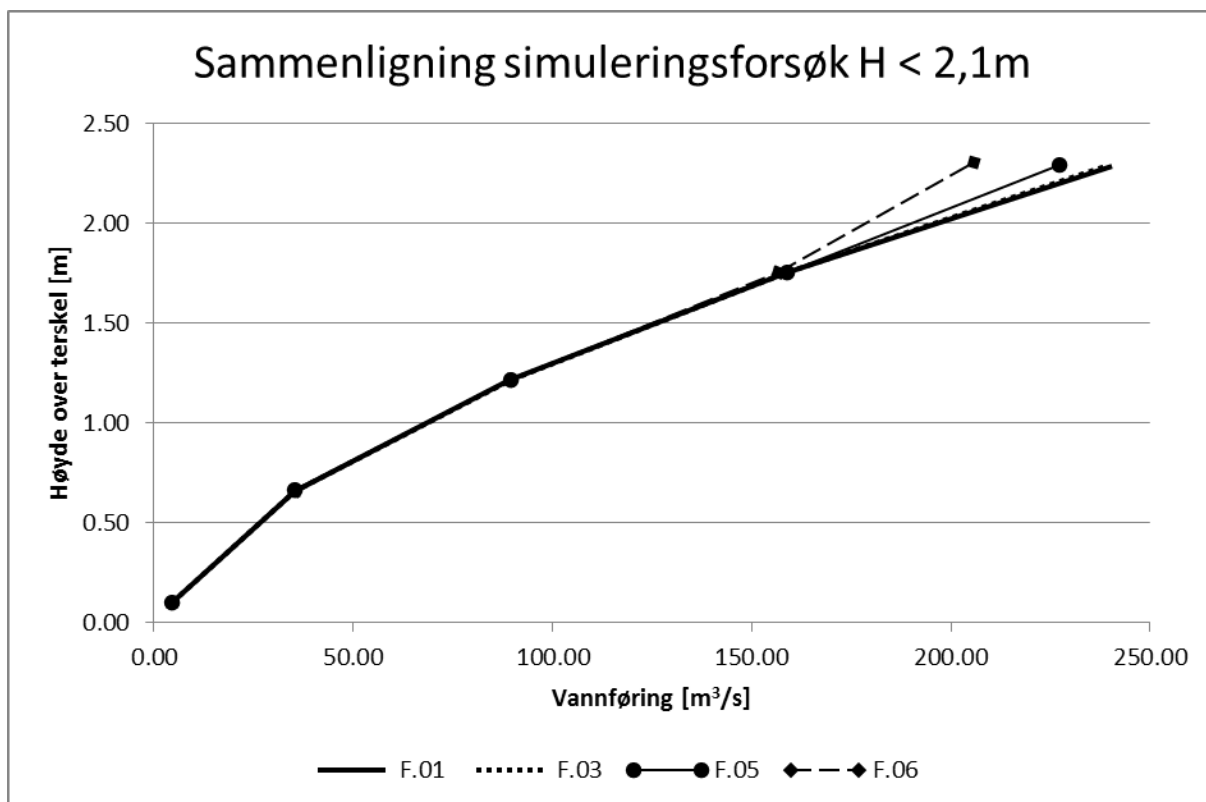


Figur 52 Sammenligning modellforsøk

I appendiks [D.01] (tabell 6) er de fire kurvene i Figur 52 sammenlignet. Sammenligningen skjedde ved at punktene til kurven "Uten luft uten ruhet" ble valgt som referanse. Så ble det regnet ut en midlet  $Q$ -verdier for de andre kurvene, ved hjelp av lineær interpolasjon. Deretter ble kurvene analysert mot gjennomsnittsverdien i hvert enkelt punkt. Kurvene skulle i teorien vært identiske, og avvikene sier noe om målenøyaktigheten i modellforsøket til Røneid & Sæter (2007). Avviket i  $Q$  mellom forsøkene var maksimalt  $-7.8$  til  $+3.2$   $m^3/s$  for forhold til gjennomsnittsverdien i et punkt. Avviket i prosent kunne variere mellom  $-6.4$  til  $+4.1$  i et punkt.

### 9.2.2 Simuleringer vannstand i magasin lavere enn 2.1m

I Figur 53 er fire simuleringer (simulering nr 27 i Excelfil F.01, nr 18 i Excelfil F.03, nr 4 i Excelfil F.05 og nr 4 i Excelfil F.06) sammenlignet. Alle fire kurvene var identiske, bortsett fra geometrien nedstrøms for sjaktinnløpet. Kurvene er tilnærmet identiske i de tre nederste punktene. I appendiks [D.02] (tabell 6) er kurvene sammenlignet, og maks avvik mot gjennomsnittsverdien til simuleringene i et punkt var  $0.06$   $m^3/s$  og høyeste prosentvise avvik var  $0.06$ . For punkt nr 4 (ved  $170m^3/s$ ) avviker simuleringen fra Excelfilen F.06 fra de andre. Maks avvik er  $1.88$   $m^3/s$  og som tilsvarer  $1.19$  %.



Figur 53 Sammenligning simuleringer fra frie forskjellige fysiske tilfeller.(F.01, F.03, F.05 og F.06)

### 9.2.3 Avvik mellom modellforsøk og simuleringsforsøk ved vannstand lavere enn 2.1m

I appendiks [D.03] er maksimalt avvik i prosent mellom simuleringene i Excelfilene (F.01, F.03, F.05 og F.06) og motsvarende referansekurvene fra modellforsøket til Røneid & Sæter (2007) vist. Avvikene er regnet slik at resultatene fra Excelfilen F.01 er sammenlignet mot tilsvarende kurve ("Uten luft uten ruhet") i modellforsøket til Røneid & Sæter (2007). Maksimalverdiene for de aller fleste simuleringene ligger i et punkt med overløpshøyde lik 1.21m. De simuleringene som ikke har maksimalverdien sin ved overløpshøyde lik 1.21m, har en annen utforming av delen terreng, og eller et annet nett i terreng delen, eller så inneholder de ikke et punkt ved høyden H=1.21m. Maksimalt avvik finner vi for simulering 28 fra Excelfil F.01 som har et avvik mot modellforsøkskurven "Uten luft uten ruhet" på 15 % ved H lik 1.21m. Simulering 28 fra Excelfil F.01 har et kort tidsskritt sett i forhold til de fleste andre simuleringene. Hvis vi ser i Excelfilene [F.OX], har som regel de korte tidsskrittene større avvik enn de lange ved H lik 1.21m.

## 9.3 Terreng

I dette kapittelet er resultater som spesifikt tilhører delen terreng kommentert.

### 9.3.1 Overløpsterskel

I appendiks [D.13] er to simuleringer fra Excelfil F.01 sammenlignet. Simulering 5 har en øvre overløpsterskel som står 1.5m over den nedre, mens den øvre står 1.43m over den nedre i simulering 6.

Sammenligningen viser at simulering 6 har 2-3m<sup>3</sup>/s større kapasitet i området mellom H lik 2 til 3m. Kurvene er like i topp og bunnpunktet.

### 9.3.2 Vannstandsmålere

I appendiks [D.14] er det gjort en sammenligning mellom vannstandsmålene brukt i simuleringprogrammet og vannstandsmålerne bruk i forsøket til Røneid & Sæter (2007). Både i simuleringforsøket og modellforsøket er det benyttet to vannstandsmålere, og det er avviket mellom målerne som er sammenlignet. Avviket mellom måler 1 og måler 2 i modellforsøket er sammenlignet med avviket mellom måler sør og måler nord i simuleringforsøket. Sammenligningen viser at det er ganske godt samsvar mellom simuleringene og modellforsøket opp til ca. 32 l/s i modellene. Derfra øker avviket mye i modellforsøkene, mens de flater ut og går litt ned i simuleringforsøkene.

## 9.4 Sjakt

I dette kapittelet er resultater som spesifikt tilhører delen sjakt kommentert.

### 9.4.1 Innløp sjakt

I simulering 4 fra Excelfil F.01 er det gjort et forsøk med en veldig god avrundning av nedløpet inn til sjakten, sett i forhold til hva som er brukt i de andre simuleringene. Resultatet er sammenlignet mot simulering 1 fra Excelfil F.01. Resultatet var at kapasiteten øker fra 274m<sup>3</sup>/s ved høyde 4.13m i simulering 1 til 285m<sup>3</sup>/s ved høyde 4.12m i simulering 4. Det er en god del geometrifeil i de to simuleringene, og de kan ikke sammenlignes mot kurvene i modellforsøket til Røneid & Sæter (2007).

### 9.4.2 Sjakt diameter

Alle utgavene av sjakten fram til og med utkast 5 av sjakten, baserer seg på at den glatte sjakten har et areal som tilsvarer 9.21m<sup>2</sup> i prototypen. Alle senere utgaver baserer seg på at den glatte sjakten har et areal på 10.6m<sup>2</sup>. I Excelfil F.01 ser vi at vannføringskapasiteten som er oppnådd med utkast 6 og senere utgaver av sjakten, også oppnås av sjakten med areal på 9.21m<sup>2</sup>, men da i kombinasjon med et utløp som skaper et veldig høyt vakuum i systemet (simulering 4 og 5), eller et godt rundet sjaktinnløp. (simulering 9 til 14).

Et tilsvarende resultat er det også å finne i simuleringene i Excelfilen F.03

### 9.4.3 Sensitivitetsanalyse ruhet sjakt

I appendiks [D.11] er resultatene for testen av sjaktruheten i Excelfilen F.05 vist. Tre simuleringer er sammenlignet (2, 3 og 4mm ruhet). Sammenligningen viser at simuleringen med ruhet 2mm gir høyest kapasitet, og avviket til de to andre kurvene er på ca. 11m<sup>3</sup>/s ved H lik 3.7m. Vi ser av resultatene at det er liten forskjell mellom simuleringen på 3 og 4mm. Nettet i sjakten var laget slik at det skulle takle en ruhet på opptil 3mm. Maksimal forskjell er 3m<sup>3</sup>/s mellom 3 og 4mm ruhet, ellers

er avviket tilnærmet lik null ved H lavere enn 1.9m og H større enn 3m, og vekslende mellom + og - ved H lik 2 til 3m.

I appendiks [D.12] er resultatene for testen av sjaktruheten i Excelfilen F.06 vist. Tre simuleringer er sammenlignet (2, 3 og 4mm ruhet). Vi ser at simuleringen med 2mm ruhet gir høyest kapasitet, opp mot 10 til 11 m<sup>3</sup>/s ved H større enn 2.7m. Vi ser her at 4mm gir litt lavere eller lik vannføring som 3mm.

I appendiks [D.11] og [D.12] er det ikke noe avvik mellom simuleringene før H er større enn 1.9m.

For simuleringene i Excelfilen F.05, er avløpstunnelen helt fylt med vann, bortsett fra ved utløpet, hvor det suges inn luft opp til siste bend på røret. Dette gjelder for alle 3 simuleringene.

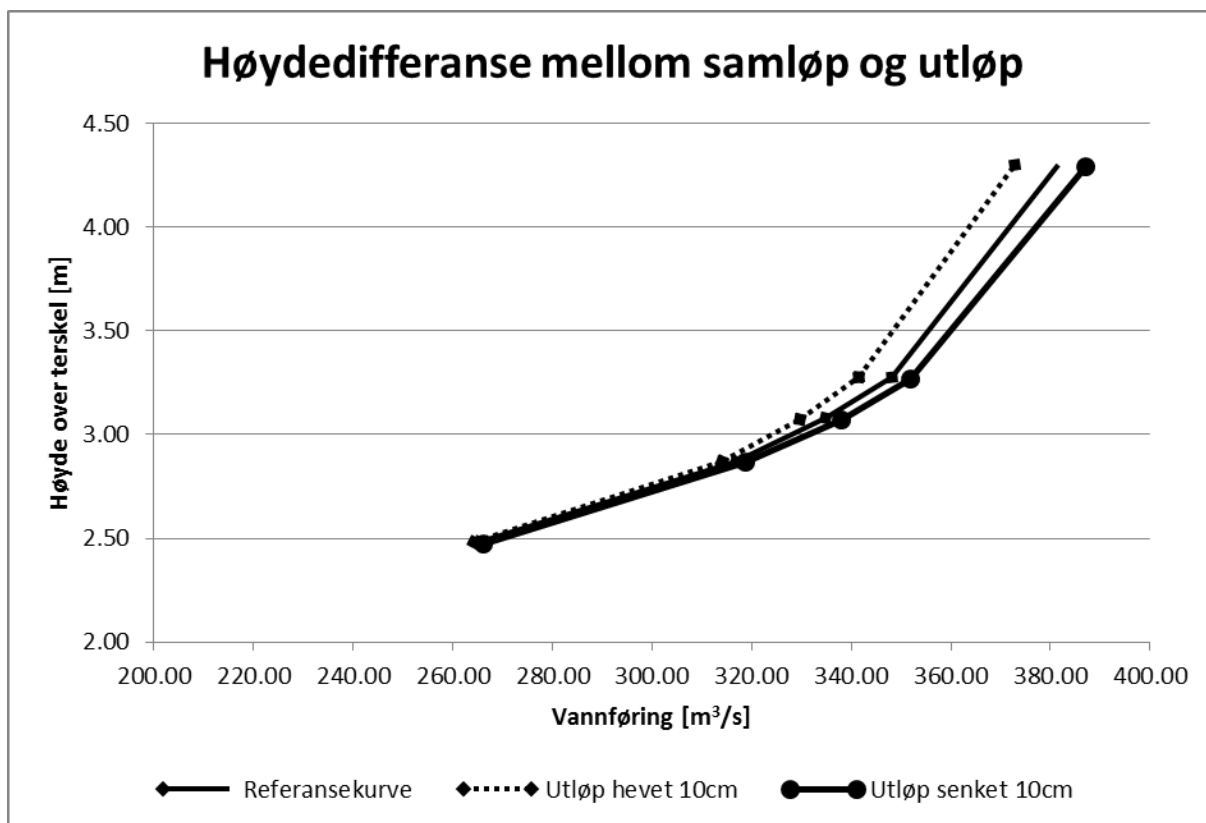
For simuleringene i Excelfilen F.06, er avløpstunnelen fylt med vann og en vann-luft blanding, som kan karakteriseres som friskeilsstrømning. Dette gjelder for alle 3 simuleringene

## **9.5 Avløpstunnel**

I dette kapitlet er resultater som spesifikt tilhører delen avløpstunnel kommentert.

### **9.5.1 Sensitivitetsanalyse høydifferanse mellom samløp og utløp**

I appendiks [D.06] er det gjort en sammenligning mellom 3 simuleringer i Excelfilen F.01. I den ene simuleringen ble utløpet hevet med 10cm, ved å kappe av de siste 10 cm på utløpsrøret. I den andre simuleringen ble utløpet forlenget med 10cm. Disse to tilfelle ble så sammenlignet mot referansekurven. I Figur 54 er sammenligningen mellom kurvene vist. Figuren viser at kurvene er ganske godt samlet ved H lik 2.5m, men avvikene øker ved stigende H. Ved H lik 4.3m er avviket mot referansekurven henholdsvis -8.6 m<sup>3</sup>/s og -2,2 % for senket utløp og +5,5 m<sup>3</sup>/s og +1,5 % for hevet utløp.



Figur 54 Høydedifferanse mellom samløp og utløp

## 9.5.2 Sensitivitetsanalyse helling og lengde avløpstunnel

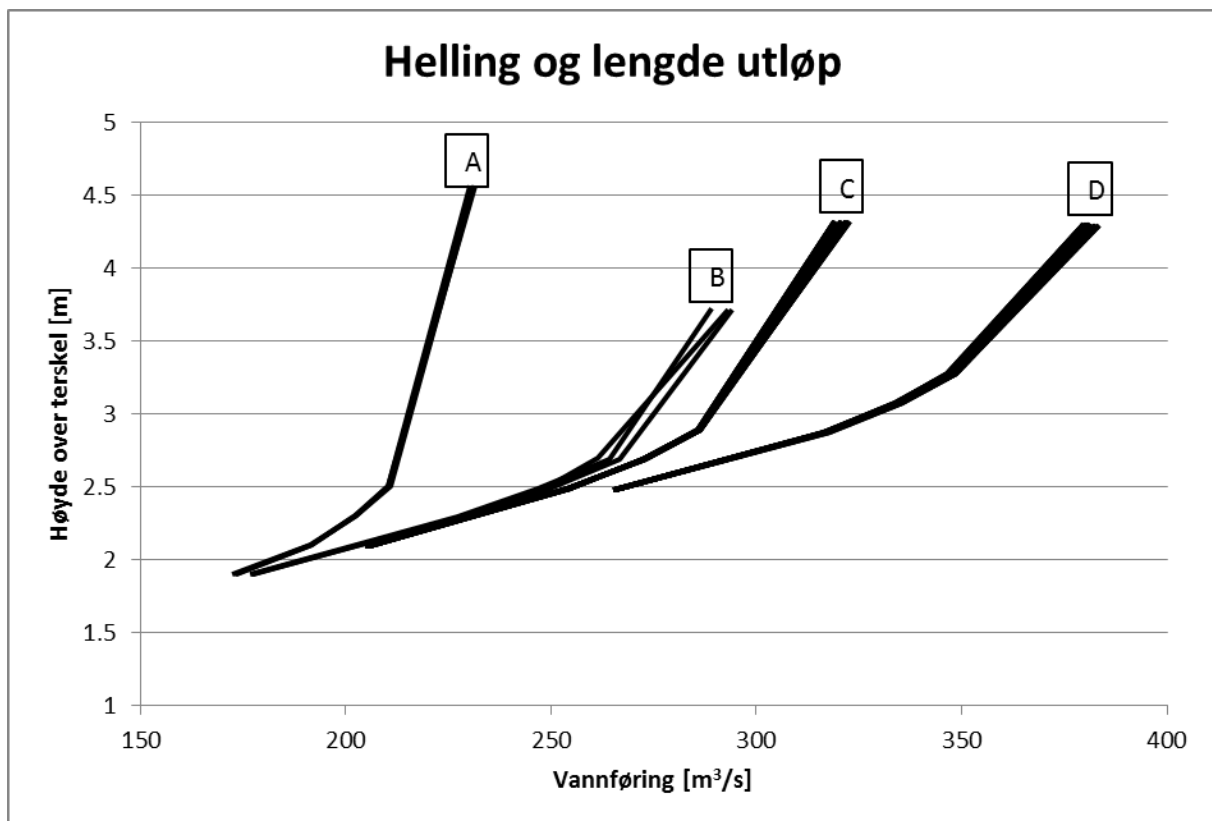
Tabell 6 Testserier helling og lengder avløpstunnel

Excellfil	Lengde langt rør avløpstunnel [m]	Vinkel avløpstunnel [grader]
F.01	4	7
F.01	4.6	4, 7 og 10
F.01	5	4, 7 og 10
F.01	5.6	4, 7 og 10
F.01	6	7
F.03	4	7
F.03	4.6	4, 7 og 10
F.03	5	4, 7 og 10
F.03	5.6	4, 7 og 10
F.03	6	7
F.05	5.6	4, 7 og 10
F.06	5.6	4, 7 og 10

I Tabell 6 er det vist hvilke tester som er utført i dette delkapittelet. Lengdene som er testet er fra 4 til 6 m på den lange rette strekningen av avløpstunnelen, hvor 5.6m er standardlengden. I tillegg ble det det første bendet etter den lange rette strekningen rotert. Rotasjonen skjedde i tre punkt, slik at

siste del av avløpstunnelen får en helling på ca. 4, 7 og 10° sett i forhold til normalen opp fra et flatt gulv. Standard helling er 7°

Resultatene er vist i Figur 55. Hvor simuleringene (3 stk) fra Excelfilen F.06 er marker med "A". Simuleringene (3 stk) fra Excelfilen F.05 er markert med "B". Simuleringene (11 stk) fra Excelfilen F.03 er markert med "C". Og Simuleringene (11 stk) fra Excelfilen F.01 er markert med "D". Maksimale vannføringsverdier for alle simuleringene er samlet i appendiks [D.04]



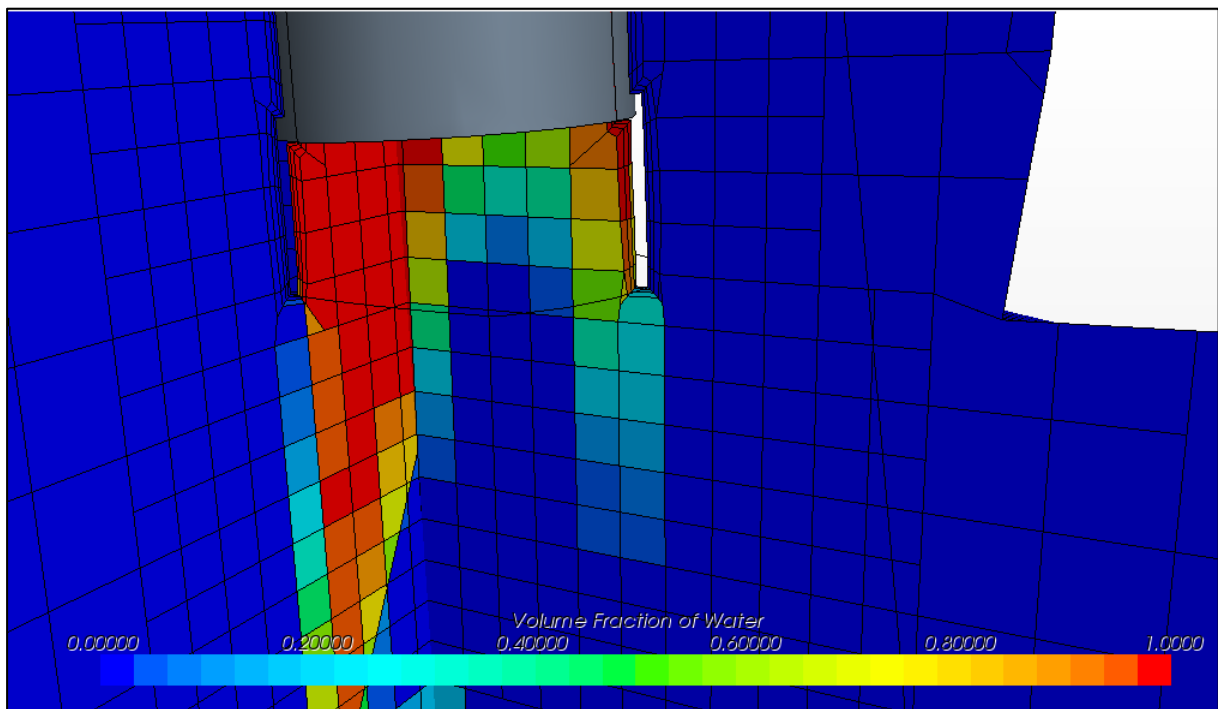
Figur 55 Helling og lengde utløp

Figur 55 viser at simuleringene markert "D" ligger tett. Ut fra appendiks [D.04] finner vi at avviket er mindre enn  $3.8\text{m}^3/\text{s}$  for alle kurvene. Å forandre lengden fra 6 til 4m ga en reduksjon i vannføringen på  $0.36\text{m}^3/\text{s}$  ved H lik 4.3m. Simuleringene med helling på 10° ga lavest vannføring, ved de tre lengdene man testet hellingen på. Hellingene på 4 og 7° vekslet på å gi høyest kapasitet på de forskjellige lengdene (ved H =4.3m).

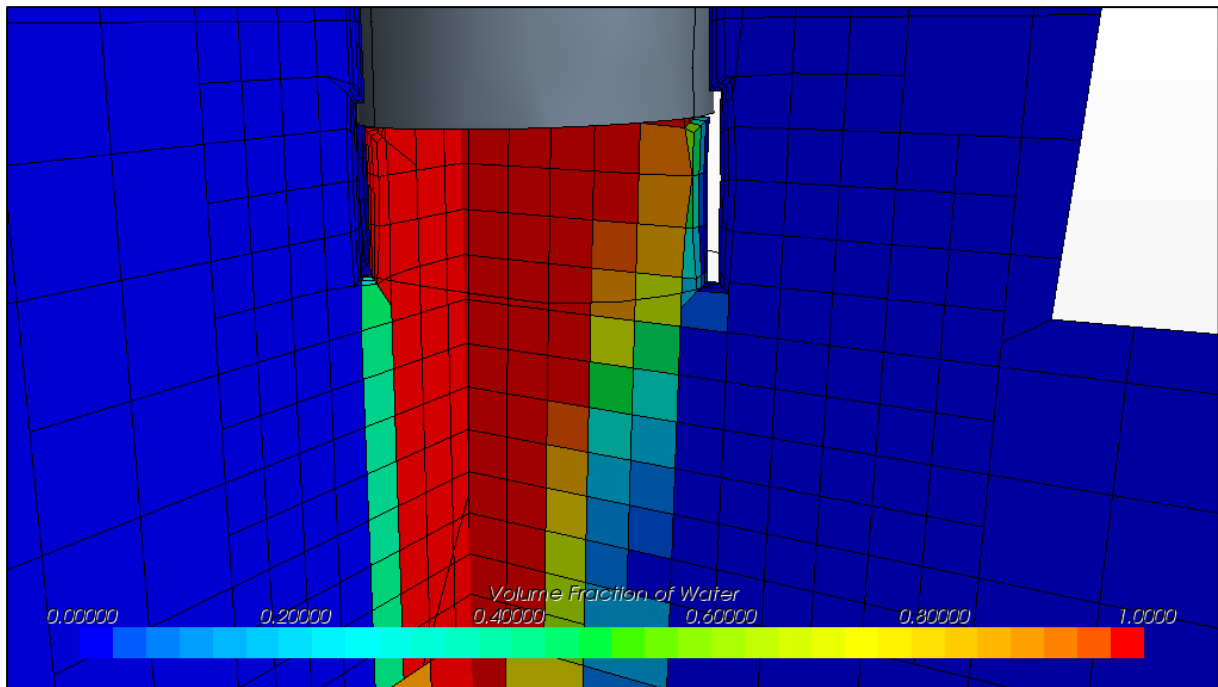
Ut fra simuleringene i Excelfil F.03, markert "C" viser Figur 55 at resultatene er ganske like som for simuleringene markert "D". I appendiks [D.04] finner vi at avviket er mindre enn  $3,9\text{m}^3/\text{s}$  for alle simuleringene ved H lik 4.3m. Lengdeforandring av avløpsrøret fra 6 til 4m på den rette strekningen gir en økning i kapasiteten på  $0,5\text{m}^3/\text{s}$  ved H lik 4.3m. Videre ser vi at simuleringene med helling på 10° gir lavest vannføring, og en hellingsgrad på 7°, gir høyest vannføring ved H lik 4.3m.

I simuleringene markert "B" i Figur 55, fra Excelfil F.05. Finner man litt avvik mellom simuleringene. Simuleringen med helling på 7° lavest resultat, ca. 4 og 5 m<sup>3</sup>/s lavere enn simuleringene med helling på 10° og 4° ved H lik 3.7m. I STAR-CCM+ filen finner vi, ved utløpet, at det blir sugd opp luft i nederste del av avløpstunnelen. Denne luftoppsugningen er vist i Figur 56. I Figur 56 er nederste del av det grå avløpstunnelen fjernet. Blå farge er luft og rød er vann. I Figur 57 er utløpet for simuleringen med helling på 4° vist. Her ser vi at det bare er litt luftoppsugning lang innerkanten i utløpsrøret. Simuleringen med helling på 10° er så i si identisk med den på 4°.

Simuleringene (merket "B") overestimerer imidlertid kapasiteten i forhold til vannføringskurven modellforsøket til Røneid & Sæter (2007). Ut fra Excelfil F.05 ser vi at simuleringen med helling på 7° (simulering 11) er nærmest vannføringskurven fra modellforsøket til Røneid & Sæter (2007), med en overestimering på ca. 10 % mens de to andre simuleringene overestimerer med ca. 11-12 % ved H lik 3.7m



Figur 56 Luftoppsugning helling 7°



Figur 57 Utløp helling 4°

Simuleringene markert "A" i Figur 55 er nesten helt identiske. Ut fra dataene i appendiks [D.04] ser vi at avviket er på  $1,2\text{m}^3/\text{s}$  mellom høyeste og laveste verdi ved H lik 4.6m.

## 9.6 Vannføringskurver

I dette kapitlet er simuleringene sammenlignet mot vannføringskurvene fra modellforsøket til Røneid & Sæter.

### 9.6.1 "Uten luft uten ruhet"

I Excelfilen F.01 ligger alle simuleringene som prøver å etterligne vannføringskurven "Uten luft uten ruhet" fra modellforsøket til Røneid & Sæter (2007). Simuleringene fra nr 1 til og med nr 23 inneholder mange feil i geometrien, i tillegg til at den dynamiske viskositeten er på vann satt til  $8.8871\text{E-}4\text{ Pa}\cdot\text{s}$  som tilsvarer en temperatur på  $25^\circ$  i vannet. Derfor er ikke simuleringen fra nr 1 til nr 23 kommentert noe mer ut over det som eventuelt er kommentert i andre punkt i oppgaven, hvor man ikke sammenligner mot vannføringskurvene i forsøket til Røneid & Sæter (2007).

Resten av simuleringene har en dynamisk viskositet på  $1.0\text{E-}3\text{ Pa}\cdot\text{s}$  tilsvarer en temperatur på  $20^\circ$  i vannet.

**Tabell 7 Avvik mellom simuleringene i Excelfil F.01 og vannføringskurven "Uten luft uten ruhet" fra Røneid & Sæter (2007) H høyere enn 1.9m 1**

Simulering nr	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
<b>H</b>	4.29	4.29	4.29	3.08	3.49	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30
<b>Avvik %</b>	7.0	5.3	5.7	-8.8	-7.9	4.6	4.6	4.2	4.7	5.0	4.4	5.0	5.2	4.5

**Tabell 8 Avvik mellom simuleringene i Excelfil F.01 og vannføringskurven "Uten luft uten ruhet" fra Røneid & Sæter (2007) H høyere enn 1.9m 2**

Simulering nr	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
<b>H</b>	3.30	3.09	3.09	3.08	4.30	4.30	4.30	4.30	3.09	4.30	3.09	2.48	2.28
<b>Avvik %</b>	-14.7	-11.4	-11.9	-4.8	6.2	4.2	4.3	6.8	-10.1	4.5	-10.3	4.4	3.4

I Tabell 7 og Tabell 8 er de maksimale avvikene i % for simulering 24 til 50 fra Excelfil F.01 vist, sett i forhold til referansekurven "Uten luft uten ruhet" fra modellforsøket til Røneid & Sæter (2007). Kun avvikene for overløpshøyde over 1.9m er vist. Forskjeller som ikke er kommentert, kan finnes i appendiks [D.29]. De aller fleste forskjellene er blitt analysert under punkt som f.eks. tidssteg og turbulensmodel.

Simulering 24 har utkast 7 som avløpstunnel, simulering 25 til 28 og 50 har utkast 8 som avløpstunnel, i kombinasjon med generalisert sylinder i avløpstunnelen. Resten av simuleringene har utkast 9 av avløpstunnelen i forskjellige kombinasjoner av trimmet nett.

Det er kun ekstremverdiene som blir kommentert, da tabellene kun er ment til å vise hvor resultatene fra Excelfilen F.01, ligger i forhold til referansekurven "Uten luft uten ruhet". Tabellen er ikke ment til å finne forskjeller mellom simuleringene. Samme type forutsetninger gjelder for Tabell 9 og Tabell 10.

Tabell 7 og Tabell 8 viser at resultatene stort sett har et avvik som er under 10 %. Simulering 38, 39 og 40 som har avvik over 10 % har en ruhet på 2.7mm i sjakten(skulle vært glatt), de andre simuleringene har glatt sjakt

I simulering 27, 28, 38-40, 46 og 48, som alle har negativt avvik, blir det sugd inn luft opp til siste bend i utløpet. I simulering nr 41 som også har negativt avvik, er utløpet hevet med 10cm i forhold til de andre simuleringene.

Tar vi bort simuleringene med ruhet i sjakten, og de som har fått luftinnsugning opp til siste bend. Sitter man igjen med et maksimalt avvik målt mot kurven fra Røneid & Sæter (2007) på +6.8 %.

**Tabell 9 Avvik mellom simuleringene i Excelfil F.01 og vannføringskurven "Uten luft uten ruhet" fra Røneid & Sæter (2007) Vannstand H=4.3m 1**

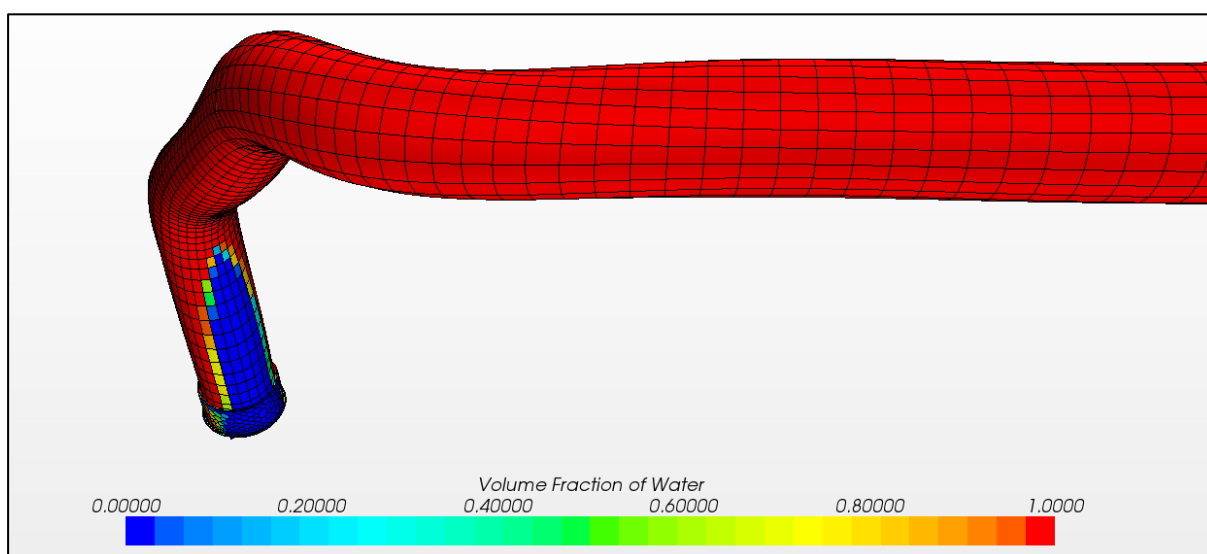
Simulering nr	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
H	4.29	4.29	4.29	4.30	4.31	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30
Avvik %	7.0	5.3	5.7	-2.1	-3.7	4.6	4.6	4.2	4.7	5.0	4.4	5.0	5.2	4.5

**Tabell 10 Avvik mellom simuleringene i Excelfil F.01 og vannføringskurven "Uten luft uten ruhet" fra Røneid & Sæter (2007) Vannstand H=4.3m 2**

Simulering nr	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
H	4.32	4.32	4.32	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.32	4.30	4.32	4.30	
Avvik %	-11.0	-8.2	-9.3	2.3	6.2	4.2	4.3	6.8	-6.8	4.5	-7.9	3.7	0.0

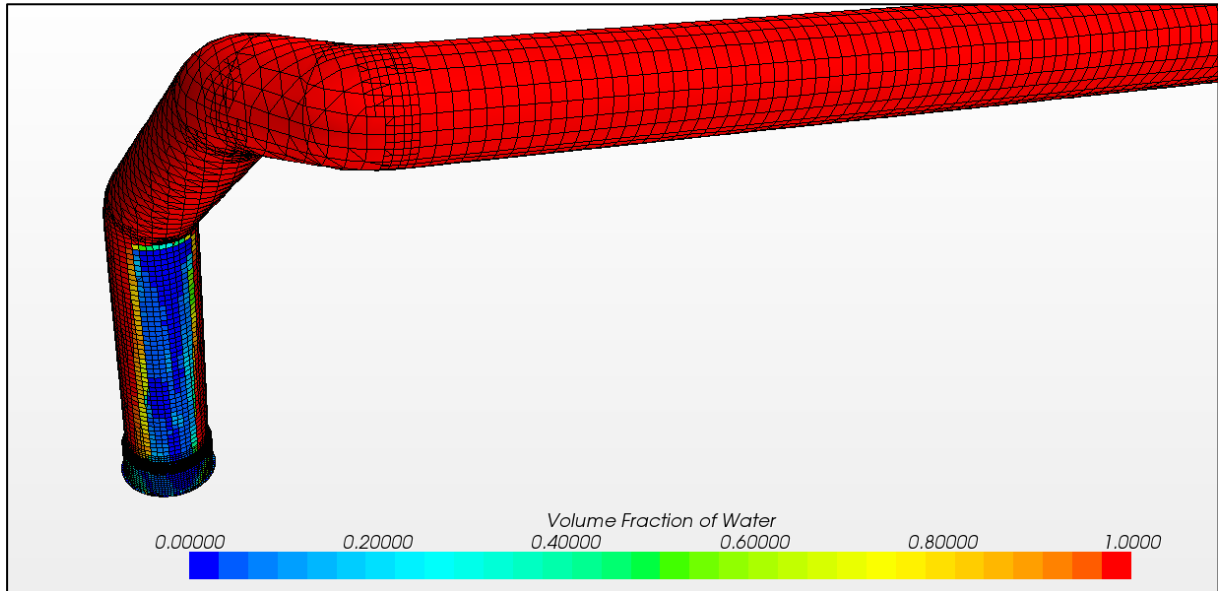
I Tabell 9 og Tabell 10 er avvikene mellom simuleringene i Excelfil F.01 og referansekurven "Uten luft uten ruhet" fra modellforsøket til Røneid & Sæter (2007), ved overløpshøyde lik 4.3m vist. Tabellene viser at det kun er simuleringene hvor det blir sugd inn luft (samme simuleringer som i Tabell 7 og Tabell 8) som har lavere kapasitet enn modellforsøket til Røneid & Sæter (2007). Alle andre gir en overkapasitet på rundt 4 til 7 %. Unntaket er simulering 41 hvor utløpet er hevet med 10cm, og avviket er 2.3 %. I de tilfellene det blir sugd inn luft opp til siste bend, er det simulering 27 og 28 som gir lavest avvik.

I simulering 28 er det brukt generalisert sylinder nett (Figur 58), i kombinasjon med en annen geometri på avløpstunnelen (utkast 8) enn i simulering 48 (utkast 9) (se Figur 59), hvor det er brukt trimmet nett i kombinasjon med 3 tynne prismelag langs veggene innvendig i røret. Tidsstegene er også forskjellige (0.0015s i 28 og 0.003s i 48). Figur 58 viser at røret er litt deformert pga. bruken av generalisert sylinder nett. Videre ser vi at det suges inn luft langs en kjeglelignende form opp til siste bend før utløpet.



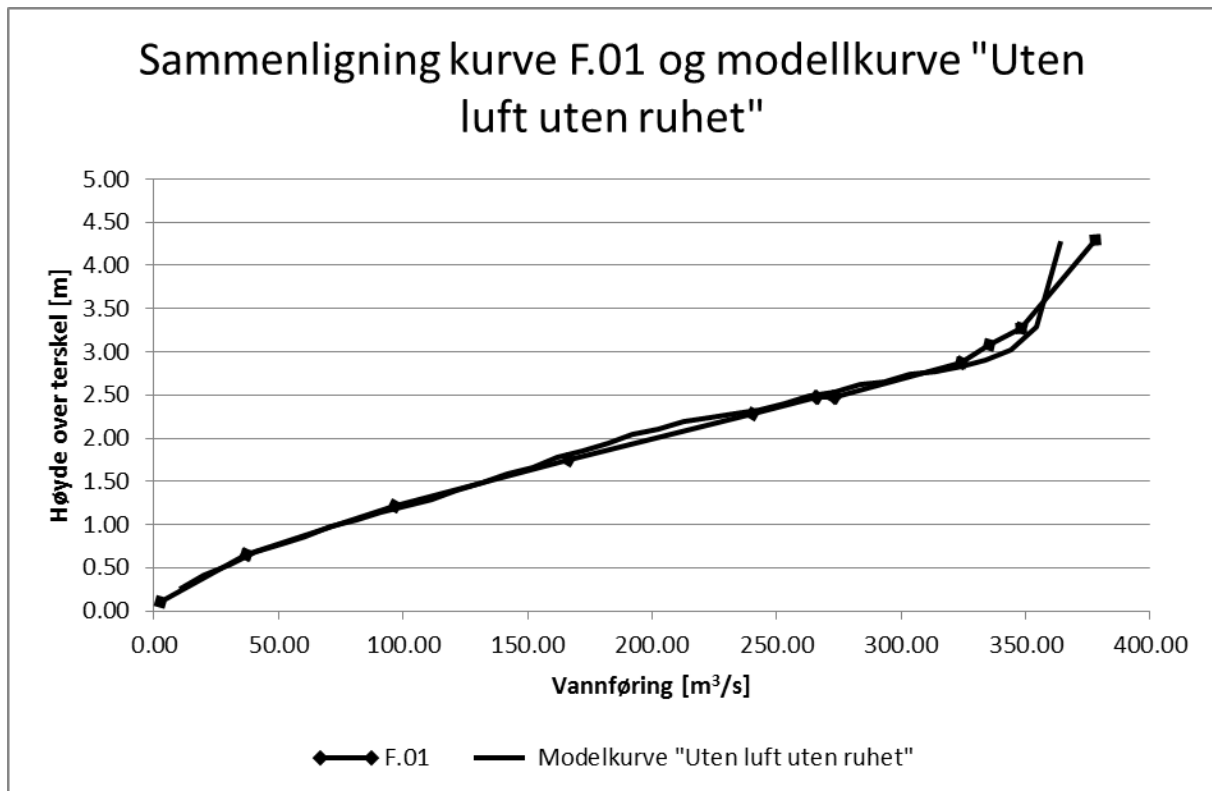
**Figur 58 Utløp simulering 28 i Excelfil F.01**

I Figur 59 ser vi at røret ikke er deformert, men nettet ser rotete ut i partiet hvor de tre bendene på avløpsrøret sitter. Videre ser vi at suges inn luft opp til siste bend. Vi ser at luftområdet er tilnærmet rektangulært.



**Figur 59 Utløp simulering 48 i Excelfil F.01**

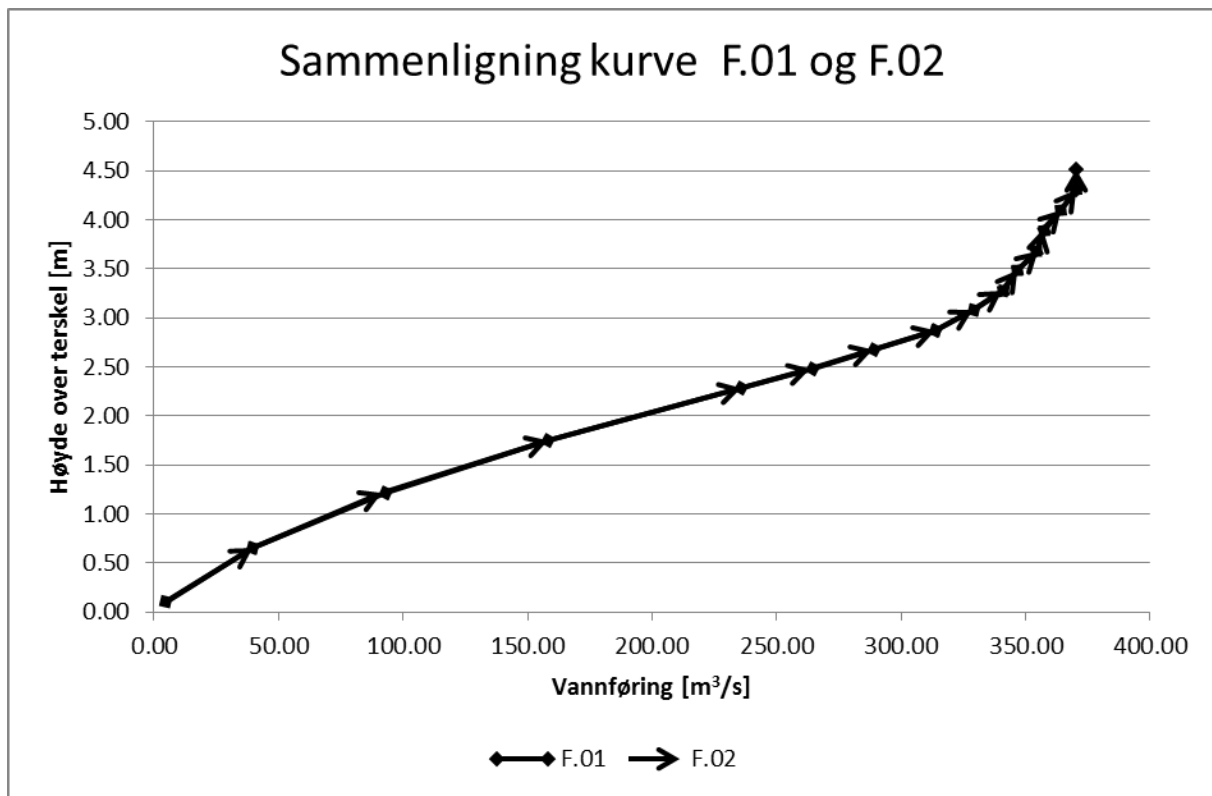
I Figur 60 er simulering 49 og 50 fra Excelfil F.01 kombinert til en kurve (kurve F.01), og sammenlignet mot vannføringskurven "Uten luft uten ruhet" fra modellforsøket til Røneid & Sæter (2007). Kurven F.01 er satt sammen av to simuleringer for å fjerne feilen som ligger i nettet i terrenget (vist i punkt 8.4.1 og 9.2.2), ved lave vannføringer. Skjøten er utført ved H=2.48m og i Figur 60 vises det to punkt som ligger tett inntil hverandre. Kurven F.01 har et maksimalt avvik fra kurven "Uten luft uten ruhet" på 5.2 %, ved H lik 0.66m. Vi ser at den har et avvik i området rundt H lik 2m og H større enn 2.8m. Punktene til kurvene, samt grafen i Figur 60 finnes i appendiks [D.19]



Figur 60 Sammenligning simulering F.01 og modellkurve "Uten luft uten ruhet"

### 9.6.2 "Uten luft uten ruhet med Zalo"

I appendiks [D.20] er simulering 5 i Excelfil F.02 (kurve F.02) sammenlignet mot simulering 15 i Excelfil F.01 (kurve F.01). I Figur 61 er sammenligningen vist. Og som vi ser, er det ingen forskjell mellom kurvene. Maks avvik er  $1.37\text{m}^3/\text{s}$  ved  $H=1.21\text{m}$ . Eneste forskjell mellom kurvene er at simuleringen i Excelfil F.02, ikke har overflatespenninger. Da et tilsvarende resultat ble funnet i punkt 9.6.4 ble det besluttet å ikke utføre flere analyser uten overflatespenning. Og avvikene mot kurven "Uten luft uten ruhet med Zalo" fra modellforsøket, er derfor ikke vist. Forklaring er gitt i punkt 10.4.



Figur 61 Sammenligning kurve F.01 og F.02

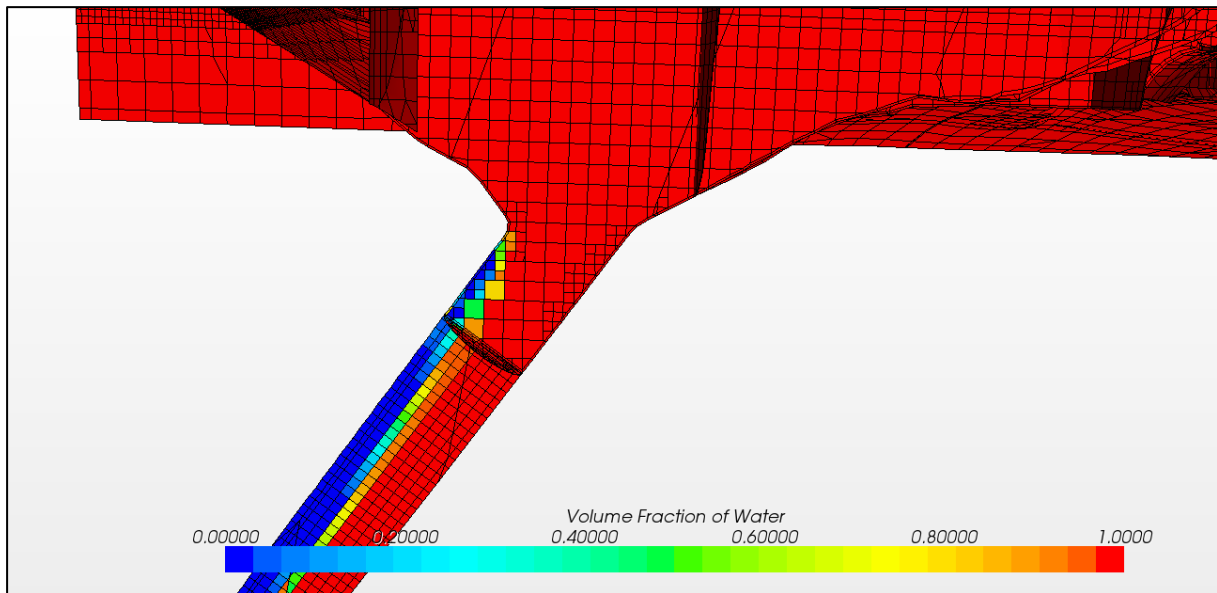
### 9.6.3 “Med luft uten ruhet”

I Excelfilen F.03 er alle simuleringene blitt sammenlignet mot referansekurven “Med luft uten ruhet” fra modellforsøket til Røneid & Sæter (2007). Simulering 1-14 inneholder de samme feilene som nevnt i starten av punkt 9.6.1 og er derfor ikke kommentert i dette kapitlet.

I appendiks [D.21] er avvikene til simuleringene 15 til 38 fra Excelfil F.03 mot referansekurven “Med luft uten ruhet”, vist for H større enn 1.9m. Det er gjort en inndeling i områdene H mellom 1.9 og 2.15m, H mellom 2.15 og 3.5m og H > 3.5m. Forskjellene mellom simuleringene, som ikke blir nevnt i teksten finnes i appendiks [D.30]

Simulering 15 har utkast 7 som avløpstunnel, simulering 16 til 19 har utkast 8 som avløpstunnel, i kombinasjon med generalisert sylinder i avløpstunnelen. Resten av simuleringene har utkast 9 av avløpstunnelen i forskjellige kombinasjoner av trimmet nett.

Vi ser bort fra simulering 29, 30 og 31, som har feil ruhet i sjakten, og simulering 38 som fikk luft sugd helt opp i sjakten (se Figur 62) i sammenligningen. (Ingen god forklaring er funnet på hvordan lufttoppsugningen oppstod)



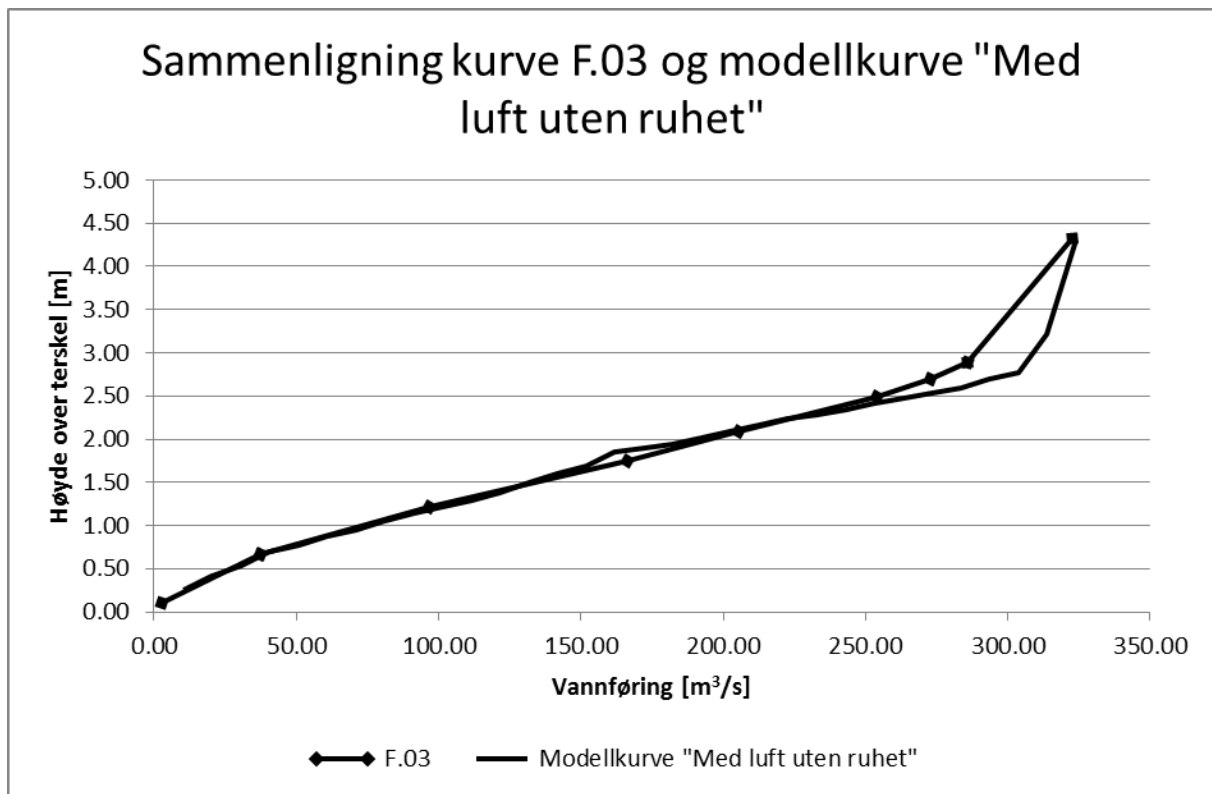
**Figur 62 Luftoppsugning i sjakt**

I området H lik 1.9 til 2.15m ligger avviket målt mot referansekurven fra modellforsøket fra 0.3 til 1.7 %.

I området H lik 2.15 til 3.5 meter ligger avviket jevnt på ca. -6 til -7 %, men simulering 17 og 18 har et avvik på -3 % I simulering 16, 17, 18 og 19 er det brukt generalisert sylinder i avløpstunnelen. Det eneste som skiller de fire, er tidssteget. I simulering 19 som har det korteste tidssteget, og som har oppnådd delvis konvergens, er vannføringskurven ustabil ved denne høyden. Ved å titte på innløpskurven og utløpskurven (finnes i STAR-CCM+ filen), ser man at innløpskurven varierer med +/- rundt  $20\text{m}^3/\text{s}$ . Utløpskurven varierer med +/-  $100\text{m}^3/\text{s}$ . og går i sykler på rundt 8 sekunder. Det er delvis frispeilsstrømning i avløpstunnelen, i motsetning til i simulering 18 hvor det er en jevn luft vann blanding i hele avløpstunnelen.

Ved  $H > 3.5\text{m}$  er igjen avvikene ganske like, og avvikene er små, og ligger i området rundt -1 % til +2 %. Avvikene er simulering 19 som har -4 %, men som har en veldig ustabil innløpsmengde (dermed usikker måling), og simulering 37 (-6.5 %). I simulering 37 er det blitt sugd inn luft opp til det siste bendet i avløpstunnelen, som resulterer i at vakuumsuget i avløpstunnelens horisontale rør, er rundt 2000Pa, mens det i de andre simuleringene ligger på rundt 6000 til 7000Pa

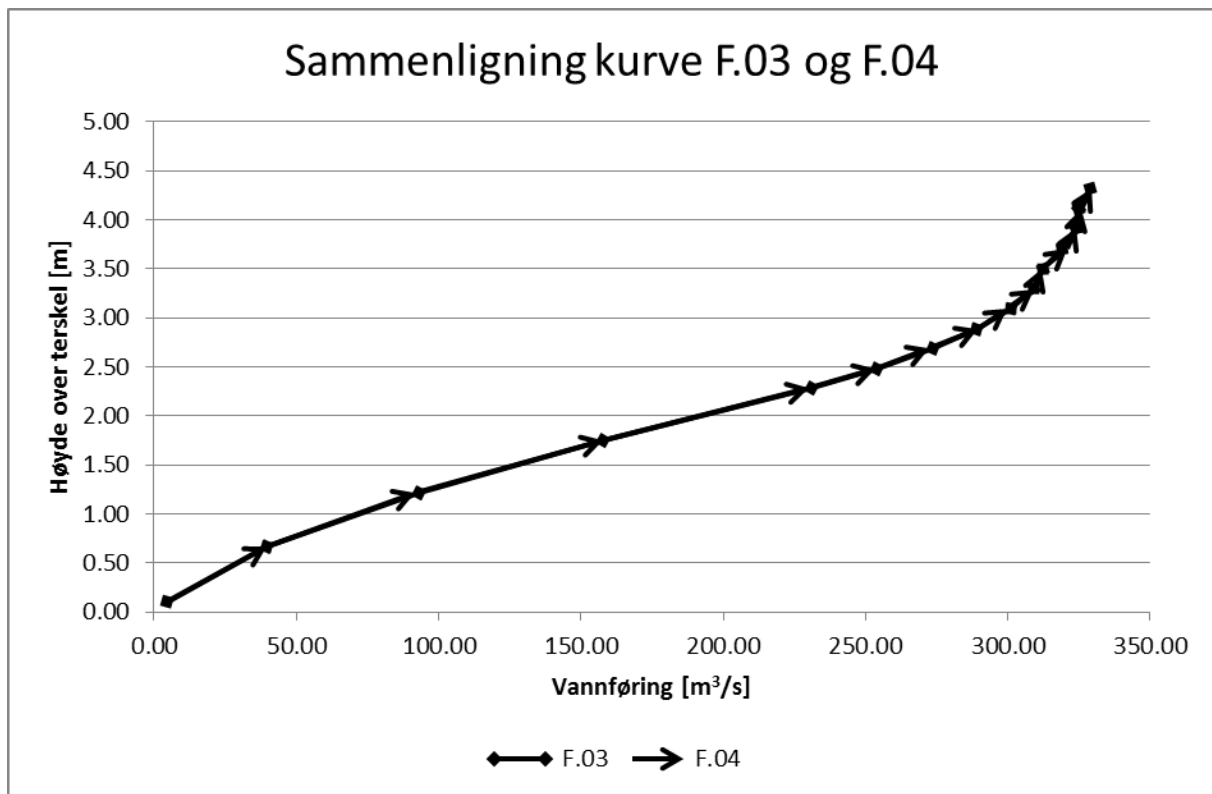
I appendiks [D.22] finnes punktene for Figur 63. Kurve F.03 er satt sammen av simulering 36 og simulering 39 (simulering 39 er simulering 50 i Excelfil F.01), med samme begrunnelse som for Kurve F.01 i Figur 60, Figuren viser at kurvene er veldig like, og treffer veldig bra på de lave vannføringene, har noe avvik ved H lik 2.75m, og treffer bra i toppunktet. Avviket er maksimalt på -7 % ved H lik 1.75m. Tidssteget som er brukt er langt, og konvergens er ikke oppnådd. De ble brukt en simulering med langt tidskritt i sammenligningen da det ikke eksisterer en simulering med utkast 9 (endelig utgave) av avløpstunnelen som har kort tidskritt og som har lite avvik ved  $H=4.3\text{m}$ .



Figur 63 Sammenligning kurve F.03 og modellkurve "Med luft uten ruhet"

#### 9.6.4 "Med luft uten ruhet med Zalo"

I appendiks [D.23] er simulering 5 fra Excelfil F.04 (kurve F.04), sammenlignet mot simulering 5 fra Excelfil F.03 (Kurve F.03). I Figur 64 er sammenligningen vist. Og som vi ser, er det ingen synlig forskjell mellom å ha overflatespenning (uten Zalo) (kurve F.03) og uten forflatespenning i kurve F.04. Det som er av avvik er litt vekslende og varierer mellom + og -, maks avvik er på  $1.86\text{m}^3/\text{s}$  ved H lik  $3.7\text{m}$ . Avvikene mot kurven "Med luft uten ruhet med Zalo" fra modellforsøket er ikke vist, da det virker irrelevant. Forklaring er gitt i punkt 10.4.



Figur 64 Sammenligning kurve F.03 og F.04

#### 9.6.5 “Uten luft med ruhet”

I appendiks [D.24] er maksimalt avvik i % for simuleringene i Excelfilen F.05 sammenlignet mot referansekurven “Uten luft med ruhet” i modellforsøket til Røneid & Sæter (2007). Oversikt over alle forskjeller mellom simuleringene finnes i appendiks [D.31].

Simulering 1 til 8 har en ruhet i samlekanalen i delen terreng på 1mm, det er ikke observert noen innvirkning på resultatene pga. ruhet i samlekanal. Simulering 11 til 18 er kjørt med siste utgave av avløpstunnelen (utkast 9), mens de andre er kjørt med nest siste utgave. Simulering 1 er ikke kjørt.

Simulering 11 til 18 har trimmet nett. Simulering 2 til 10 har manglekantet nett, med generalisert sylinder i avløpstunnelen.

Ser vi på overløpshøyde mellom 1.7 og 2.15m er vi at avvikene er små, høyeste avvik er 2.6 %, for simulering 6, som er kjørt med en ruhet på 2mm i sjakten.

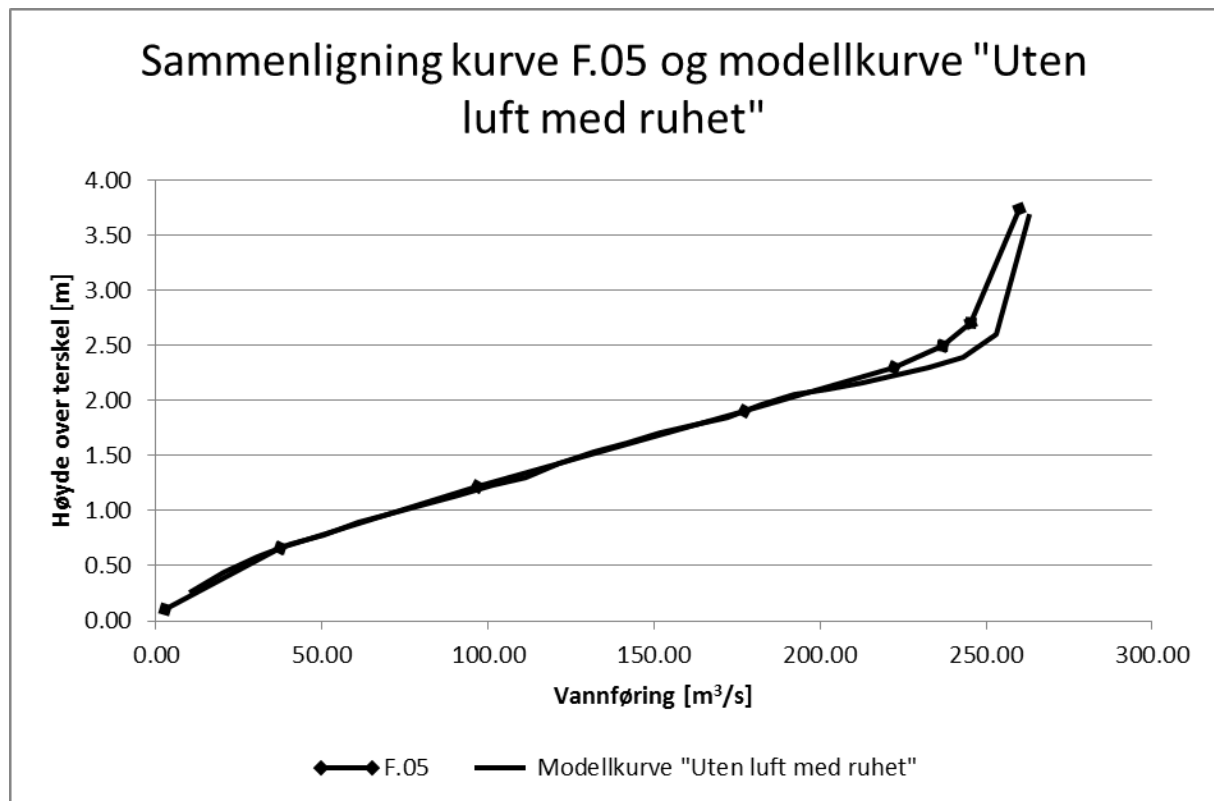
Ved overløpshøyde mellom 2.15 til 3.5m ser man at alle simuleringene gir en underkapasitet på ca. 3-5 %, bortsett fra simulering 6 med ruhet på 2mm, og simulering 11 til og med 15 som gir en overkapasitet på 3 til 6 %. Simulering 11 til 15 har trimmet nett og siste utgave av avløpstunnelen. Simulering 15 har et finere nett enn simulering 11 til 14, og er helt lik simulering 16, bortsett fra turbulensmodellen (omtalt i punkt 8.3).

Ved overløpshøyde over 3.5m ser man at simulering 11-15 gir en overkapasitet på 10 til 15 %, felles for disse er at det ikke blir sugd opp luft til det siste bendet, slik det blir for alle de andre

simuleringene. Man ser også at grovt tidssteg på simulering 2 (0.03s) gir høyere kapasitet enn de kortere tidsstegene i simulering 3 og 4.

Bortsett fra simulering 11 til 15 gir alle kurvene godt samsvar med kurven fra modellforsøket til Røneid & Sæter (2007).

I appendiks [D.25] finnes punktene til kurvene i Figur 65. Avvikene mellom Kurve F.05 (simulering 18 og 19 i Excelfil F.05) og modellforsøket til Røneid & Sæter (2007), finnes i Excelfil F.05. Vi ser at kurvene er veldig like, og fra Excelfil F.05 finner vi at maksimalt avvik er 4.5 % ved H lik 2.3m. Starten på kurve F.05 (simulering 19) er den samme som simulering 50 i Excelfil F.01.



Figur 65 Sammenligning kurve F.05 og modellkurve "Uten luft med ruhet"

### 9.6.6 "Med luft med ruhet"

Alle simuleringene i Excelfil F.06 er identiske med de i Excelfil F.05 bortsett fra et det blir tilsatt luft i sjaktfoten for simuleringene i Excelfil F.06. Hvis vi ser på STAR-CCM+ filene til simuleringene i Excelfil F.06. Vises det, at det ved lange tidsskritt oppstår det et sug på rundt 4000Pa i avløpstunnelen ved vannføringene rundt 230m³/s, mens ved korte tidsskritt på 0.001s er tilnærmet friskeilsstrømning i avløpstunnelen og vakuumsuget er mellom 0 og 1000Pa. I simuleringene med lange tidsskritt (lengre enn 0.0075s) er det ikke friskeilsstrømning, ved høye vannføringer.

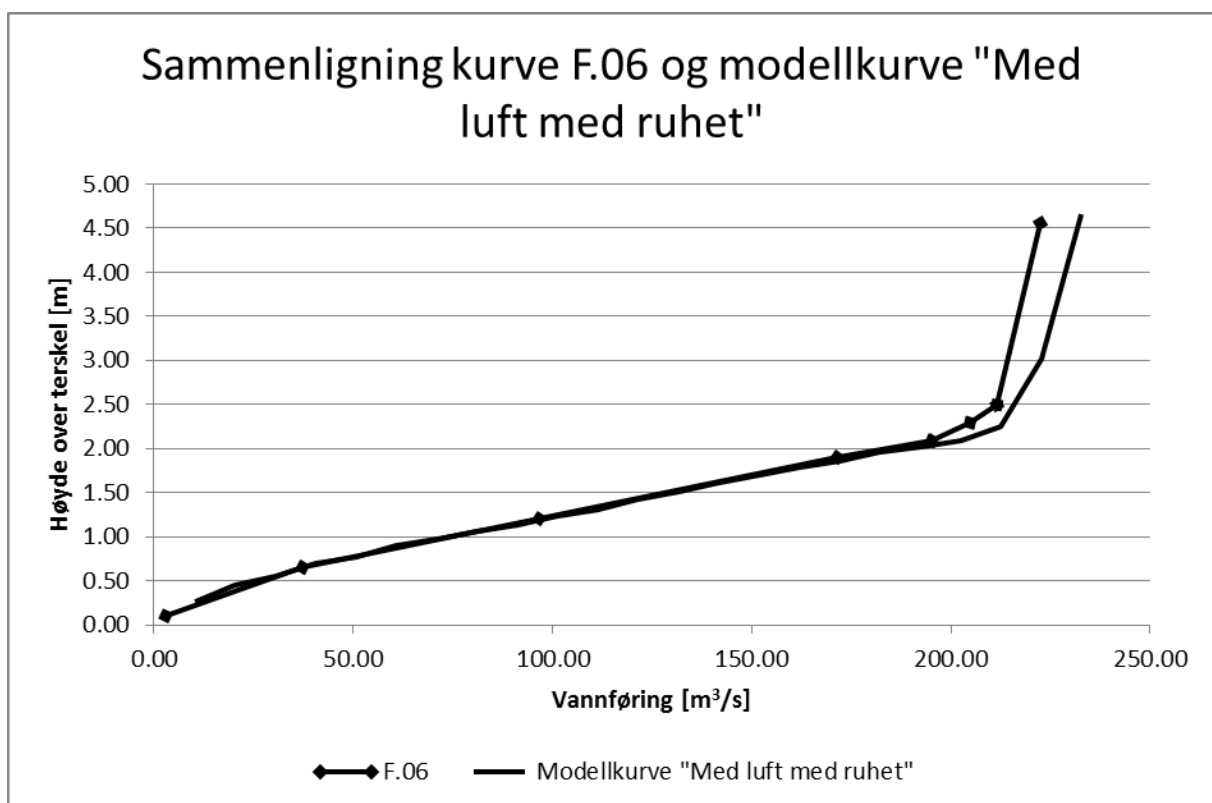
I appendiks [D.26] er maksimalt avvik i % målt mellom simuleringene i Excelfil F.06 og referansekurven "Med luft med ruhet" fra modellforsøket til Røneid & Sæter (2007), vist for høyder over 1.7m. Forskjellene mellom simuleringene finnes i appendiks [D.32].

Ved H lik 1.7 til 2 m ser man en liten tendens til at simuleringer med korte tidskritt gir lavere kapasitet enn de med lengre. F.eks. simulering 10 (0.001s) og simulering 8 (0.0075s) med henholdsvis -4.1 og -0.9 % avvik. Avviket for alle kurvene ligger mellom -4.1 til +0.3 %.

Ved H lik 2.2 til 2.4m finner man igjen tidskrittetsforskjellen, nå mellom simulering 8 og 9. Alle kurvene har stort sett negativt avvik på ca. -6 til -1 %

Ved H større enn 3.1m. Er det en del forskjell. Avviket varierer fra -4.2 til pluss 4.1 %. Lange tidskritt gir høyere kapasitet enn korte. Mellom simulering 15 med langt tidskritt og simulering 17 med kort tidskritt er det en forskjell på 6.2 %. Det er en liten forskjell i nettene mellom simulering 15 og 17, i tillegg til tidssteget. Appendix [26] viser også at det er forskjell i at K-Omega turbulensmodell i simulering 14, 15 og 17 gir høyere kapasitet en K-Epsilonmodellen. (simulering 16 som sammenlignes med 15, og 18 som sammenlignes med 17) avviket mellom turbulensmodellene er opp mot 2.7 % for lange tidskritt og 1.1 % for korte.

I Figur 66 er kurve F.06 vist sammen referansekurven "Med luft med ruhet" fra modellforsøket. Kurve F.06 består av simulering 18 og 19 fra Excelfil F.01, hvor simulering 19 er simulering 50 i Excelfil F.01. Avvikene mellom kurve F.06 og modellforsøket til Røneid & Sæter (2007), finnes i Excelfil F.06. Vi ser at kurvene er veldig like opp til H lik 2m, og fra Excelfil F.06 finner vi at avviket er størst med 4.25 % ved H lik 4.5m.

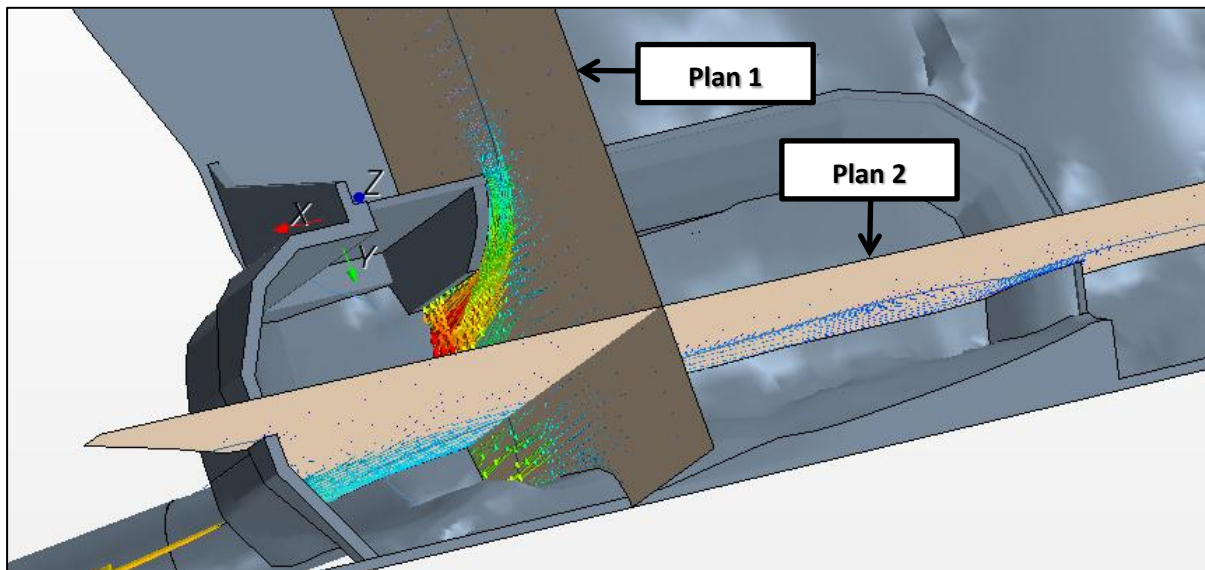


Figur 66 Sammenligning kurve F.06 og modellkurve "Med luft med ruhet"

## 9.7 Hastighetsfelt i overløpet.

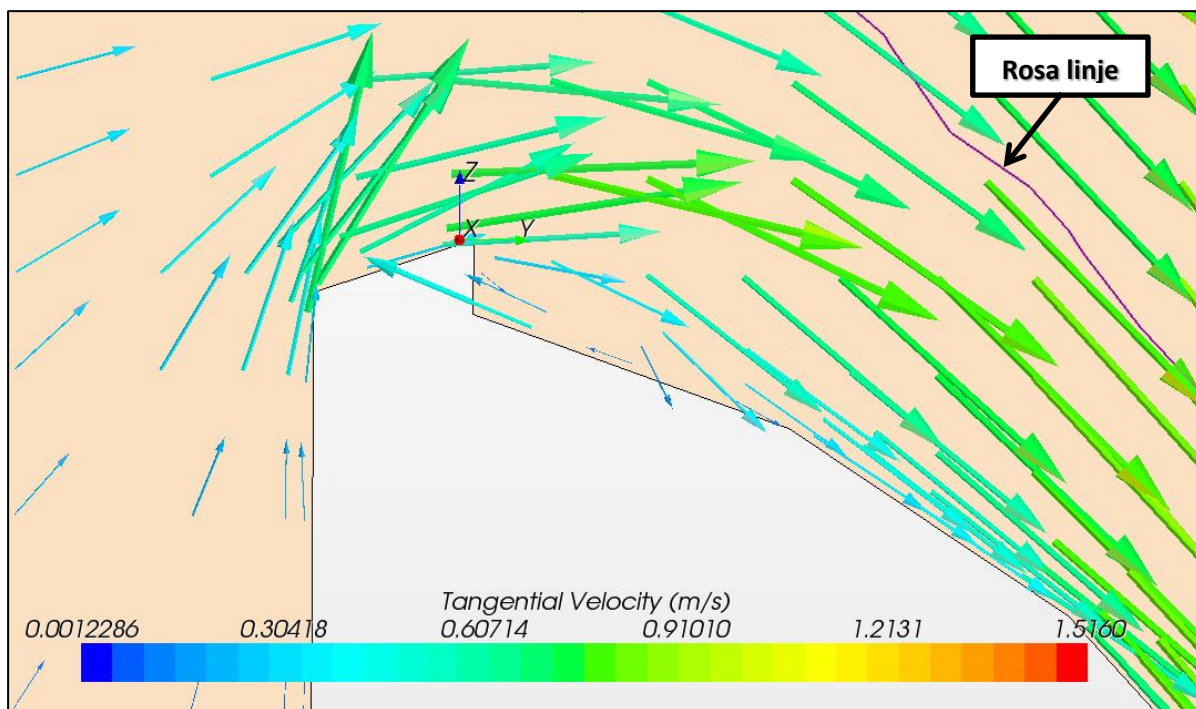
Hastighetsfeltet er hentet fra simulering 50 i Excelfil F.01 (STAR-CCM+ filnavnet er R1.037). Hastighetsfeltet vist ved en vannføring på  $Q=97\text{m}^3/\text{s}$  som er  $4\text{m}^3/\text{s}$  høyere enn den gamle  $Q_{\text{pmf}}$  for innerdalsdammen, som er  $93\text{m}^3/\text{s}$  Røneid & Sæter (2007). I Figur 67 er det vist hastighetsfelt i to plan (det er forskjellig skalering på vektorene i de to planene). De to planene er lokalisert som følgene, sett i forhold til prototype mål, og det lokale aksesystemet i appendiks [A.01.002]. Det lokale aksesystemet synlig i overgangen mellom øvre og nedre overløpstærskel.

- ❖ Plan 1:  $X = -6\text{m}$             Normal i X-retning
- ❖ Plan 2:  $Y = 6.8\text{m}$             Normal i Y-retning



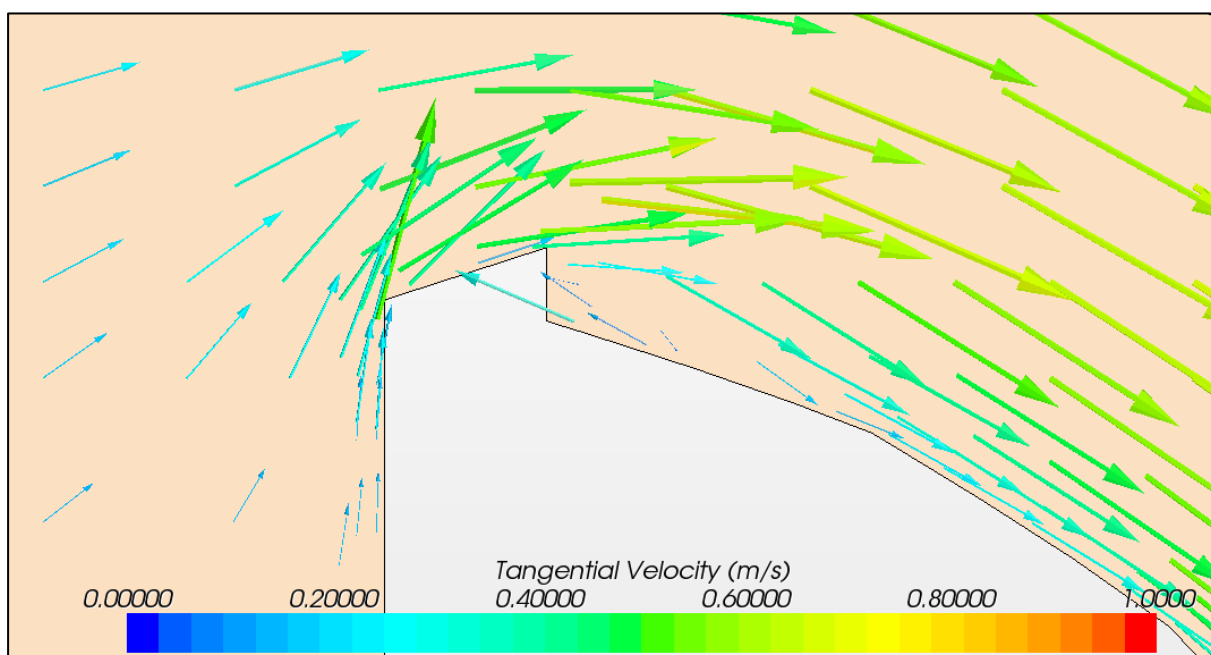
Figur 67 Hastighetsfelt oversikt

Figur 68 viser hastighetsfeltet over overløpstærskelen ved  $X = -6\text{m}$ . Hastighetsvektorer for både luft og vann er vist. Det er vann til venstre for den rosa linjen, og luft til høyre. Vi ser at det oppstår en liten sirkulasjonssone rett bak det høyeste punktet på overløpstærskelen. Hastighetsvektorene er vis tangensialt til planet i Figur 68, Figur 69 og Figur 70.



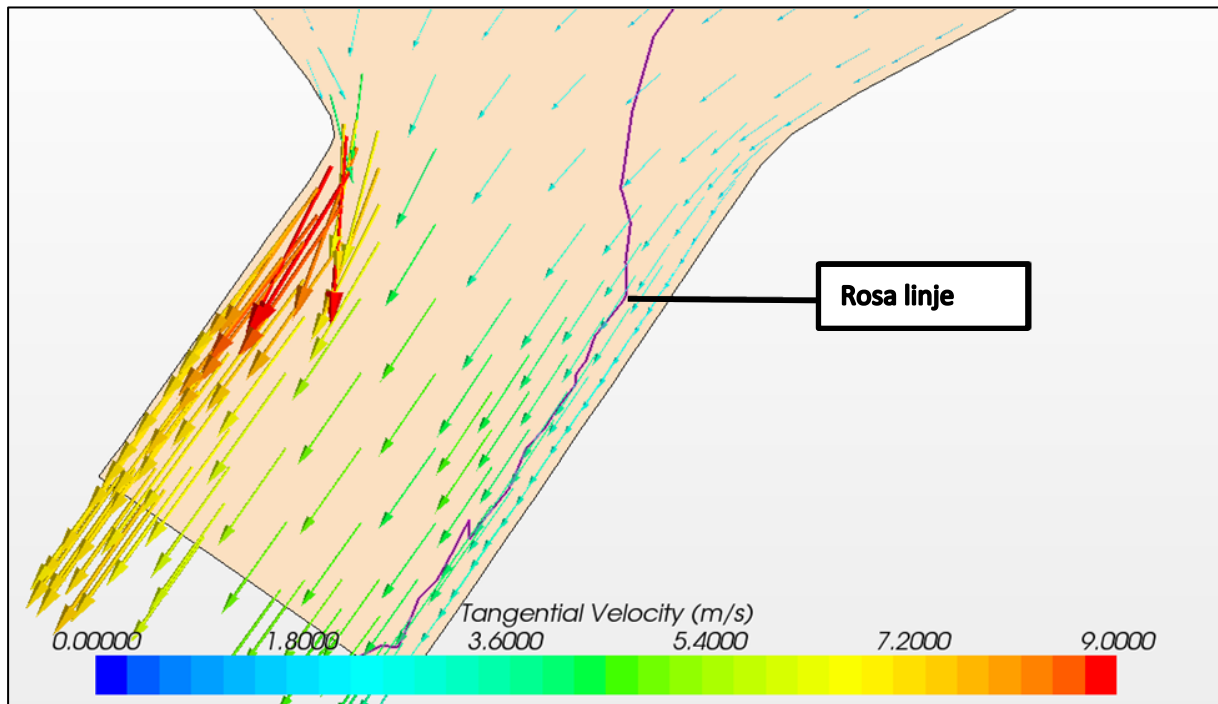
Figur 68 Hastighetsfelt over overløpsterskel  $X = -6\text{m}$  Rosa line er skille mellom vann og luft

Figur 69 viser hastighetsfeltet over overløpsterskelen i planet  $Y = 6.8\text{m}$ . Det oppstår også her en sirkulasjonszone bak terskelen. Hastighetsfeltet ser naturlig ut. Det er kun hastigheten til vann som vises i figuren.

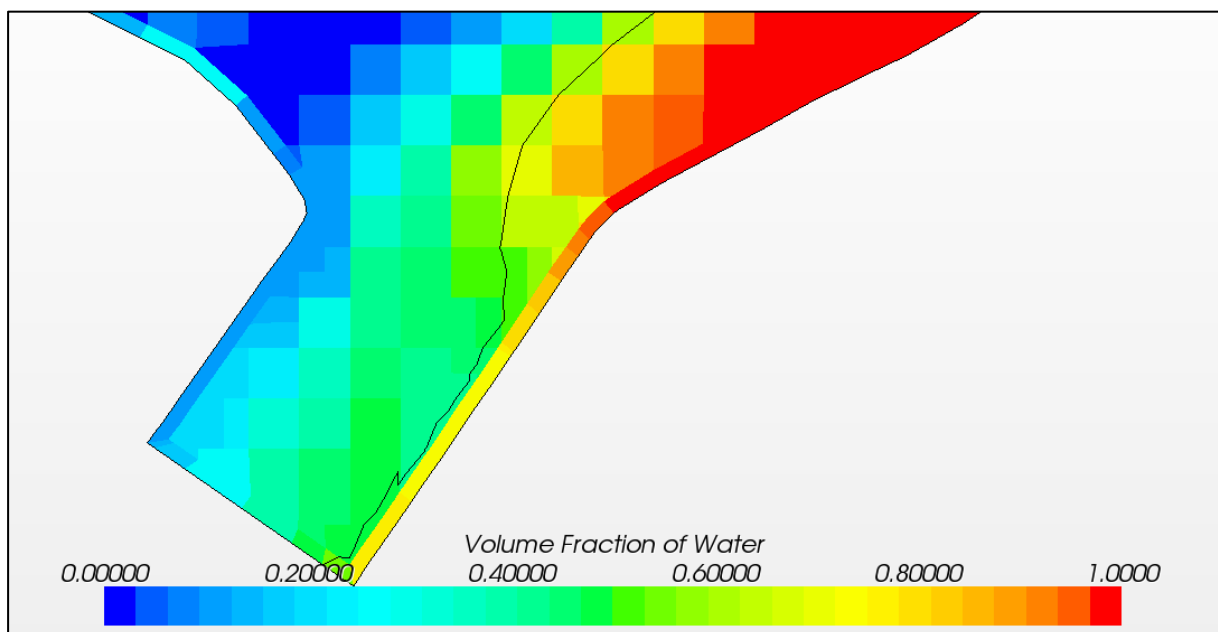


Figur 69 Hastighetsfelt over terskel  $Y = 6.8\text{m}$

I Figur 70 ser vi hvordan både luft og vann dras inn i sjakten. Luften som ligger til høyre for den rosa linjen, har betydelig større hastighet enn vannet. I Figur 71 ser vi at det er en luft-vannblanding som forsvinner ned i sjakten. Forholdene er så turbulente at STAR-CCM+ har problemer med å finne ut hvor vannoverflaten er.



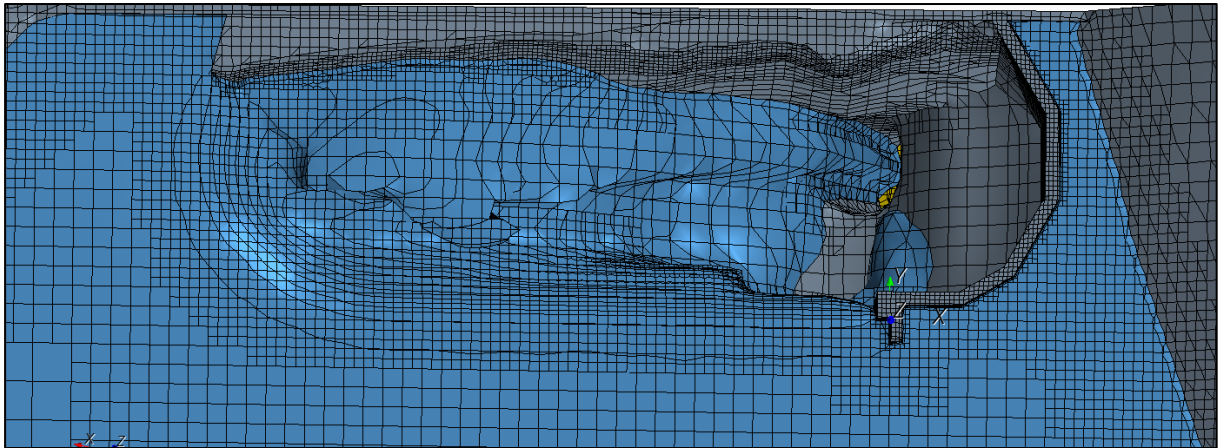
Figur 70 Hastighetsfelt Y = 6.8m ved sjaktinnløp. Rosa linje er skille mellom luft og vann. Vann er til høyre for linjen



Figur 71 Turbulente strømningsforhold sjakt nedløp

## 9.8 Beliggenhet av vannspeilet i overløpet

Beliggenheten til vannspeilet er hentet fra simulering 50 i Excelfil F.01 (STAR-CCM+ filnavnet er R1.037). Vannspeilet vist ved en vannføring på  $Q = 97 \text{ m}^3/\text{s}$  som er  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  høyere enn den gamle  $Q_{\text{pmf}}$  for innerdalsdammen, som er  $93 \text{ m}^3/\text{s}$  Røneid & Sæter (2007)



Figur 72 Vannspeil  $Q$  lik  $97 \text{ m}^3/\text{s}$  simuleringsforsøk



Figur 73 Vannspeil  $Q$  lik  $93 \text{ m}^3/\text{s}$  modellforsøk (Røneid & Sæter, 2007) Svart sirkel: singulærpunkt.

I Figur 72 er vannspeilet for simuleringen vist ved  $Q$  lik  $97 \text{ m}^3/\text{s}$  og i Figur 73 er vannspeilet fra modellforsøket vist for  $Q$  lik  $93 \text{ m}^3/\text{s}$ . Figurene viser at det ikke er noe overløp over den øver delen av overløpsterskelen til høyre i figurene, verken for simuleringsforsøket eller modellforsøket. Område som består av skum i modellforsøket er vist som vanntomt område i simuleringsforsøket. I simuleringsforsøket vises ikke vannet før det er mer enn 50 % vannvolum i en celle. Vi ser at simuleringen har litt problemer med å gjengi vannspeilet bak terskelen der cellene er store, samt at simuleringen ikke klare å gjenskape de små bølgene man får rundt singulærpunktene i modellforsøket.

## 10 Diskusjon

Både den fysiske modellen til Røneid & Sæter (2007) og de numeriske modellene i Star CCM + er laget for å opparbeide en kapasitetskurve for flomoverløpet på Innerdalen. I modellene er det henholdsvis målt og beregnet en sammenheng mellom vannstand i inntaksmagasinet og en vannføring ut av avløpsrøret. Modellutforming, innstillinger og parametere som påvirker de beregnede resultatene, samt sammenlikning av resultatene for de opparbeidede kapasitetskurver, er diskutert i dette kapitlet.

### 10.1 Geometri

I delen Terreng er det usikkerhet knyttet til overløpshøyden på øvre del av flomløpet, utformingen av overløpsterskelen, geometrien på utsiden av overløpsterskelen, samt terrenget på innsiden av terskelen. Fra resultatene fra STAR-CCM+ finner vi at høyden på øvre del av flomløpet ikke vil påvirke resultatene mye. Utformingen av overløpsterskelen vil ha innvirkning på kapasiteten til flomløpet, inntil det blir oppstuvning av vann i samlekanalen. Resultatene viser at det sannsynligvis er godt samsvar mellom modell og simuleringsforsøket. Utformingen av terrenget på utsiden av overløpet, påvirker sannsynligvis kapasiteten svært lite. En sammenlikning mellom vannstandsmåleren i modell og simuleringsforsøk tyder på at det er ganske godt samsvar mellom simulerings og modellforsøks modell. Utformingen av samlekanalen og plasseringen av sjakten på innsiden av overløpsterskelen påvirker sannsynlig kapasiteten til flomløpet. Hvor stor påvirkning endringer av disse punktene har på kapasiteten er uvisst, men plasseringen av sjaktnedløpet er ventet å ha størst innvirkning. Det er plasseringen av sjaktnedløpet det også er knyttet størst usikkerhet.

Delen Terreng er sannsynligvis ganske lik i simuleringsforsøket og modellforsøket, og det ventes ikke veldig store utslag som følge av de avvikene som måtte være mellom simuleringsforsøket og modellforsøket.

I sjakten var det knyttet usikkerhet til avrundingsgraden i nedløpet, diameteren til sjakten og ruhet. I punkt 9.4.1 er det vist at ved å øke rundingsgraden i innløpet kunne kapasiteten øke med  $11\text{m}^3/\text{s}$  når det var et lite vakuumsug i avløpstunnelen. Ved større vakuumsug er det ventet at kapasiteten vil øke mer. Avrundingsgraden som ble testet i simuleringsforsøket er nok en del større enn den maksimalt sannsynlige avrundingsgraden i modellforsøket.

Når vi sammenligner simuleringer med og uten ruhet i sjakten, finner vi at det er et ganske stort sprang, mellom vannføringene. Spranget mellom kurvene er nok noe større enn det vi vil finne ved å endre sjaktarealet for glatt sjakt fra  $10.6\text{m}^2$  til  $9.21\text{m}^2$ . Likevel virker det derfor usannsynlig at det ble brukt en glatt sjakt med areal på  $9.21\text{m}^2$  i modellforsøket.

Sammenlikningene mellom ulike ruheter i sjakten viser at ruheten har forholdsvis stor innvirkning på resultatene ( $+11\text{m}^3/\text{s}$  ved endring fra 3 til 2mm)

Av de forskjellige usikkerhetene for delen Sjakt, er det størst usikkerhet knyttet til ruheten til sjakten og avrundingsgraden i innløpet. Ruheten i sjakten har sannsynligvis størst innvirkning av de to. Det er ikke mulig å redusere rundingsgraden mye, så endret rundingsgrad kan stort sett bare gi høyere kapasitet i simuleringen. Ruheten kan derimot både økes og senkes, hvilket gir redusert eller økt kapasitet for flomløpet. Hvis sjaktarealet er feil vil det ha en stor innvirkning på resultatene.

I avløpstunnelen er det knyttet usikkerhet til høydedifferansen mellom innløp og utløp, samt helling og lengde på utløp. For simuleringene i Excelfilen F.06 vil ikke forholdene i avløpstunnelen påvirke kapasiteten, fordi det er friskeisstrømning i avløpstunnelen. De andre kurvene blir derimot sterkt påvirket av utformingen. Fra resultatene ser vi at det nesten er tilfeldig om det blir sugd inn luft opp til siste bend før utløpet. En luftoppsugning opp til bendet har skjedd for simuleringer i Excelfilene F.01, F.03 og F.05. Simuleringene i Excelfilen F.01 avviker lite fra referansekurven for de simuleringene der det ikke oppstår luftinnsugning. Simuleringene i Excelfilen F.05 har lite avvik, for de tilfellene det oppstår luftinnsugning. For simuleringene i Excelfilen F.03 er avviket minst hvis det ikke blir sugd inn luft. Dersom det ikke suges inn luft for simuleringene i Excelfilen F.05 blir avviket til referansekurven "Uten luft med ruhet" opp mot 15 % overkapasitet. For simuleringene i Excelfilen F.01 blir det en underkapasitet på opp mot 8 % ved luftinnsugning, mens det er overkapasitet på rundt 5 % ved luftinnsugning målt mot referansekurven "Uten luft uten ruhet". Siden referansekurvene fra modellforsøket er konservative (se punkt 10.3) og simuleringene i Excelfilen F.01 ser ut til å bli ustabile ved korte tidskritt, spekuleres det i om det av og til skjer en luftinnsugning i modellforsøket for en kortere periode. Det ville i så fall forklart overkapasiteten simuleringene i Excelfil F.01 får ved de høyeste vannføringene, hvor det ikke oppstår luftinnsugning.

Som vi ser påvirker utformingen av avløpstunnelen svarene svært mye. Det er spesielt høyden utløpet ligger på, og høyden siste bend ligger på (den høyden det suges opp luft til), som avgjør kapasiteten til simuleringene i Excelfilene F.01 og F.05. Lengden på avløpsrøret gir nesten ingen innvirkning på resultatene, men det er ventet at hvordan bendene er vrid og plassert vil ha innvirkning på det suges inn luft eller ikke.

Som diskutert over, ser vi at rundingsgraden til innløpet til sjakten, ruheten til sjakten og geometrien til avløpstunnelen har til dels stor innvirkning på resultatene. Hva som har størst innvirkning er det ikke godt å gi noe svar på, da det plutselig oppstår situasjoner med luftoppsugning i avløpstunnelen. Det er avvik mellom modellforsøk og simuleringsforsøket på alle punktene, men det er antatt at forskjellen er størst for geometrien til avløpstunnelen, som i simuleringsforsøket er tegnet opp fra et bilde av modellforsøket.

## **10.2 Forskjeller i innløpsforhold mellom simulerings forsøk og modellforsøk**

I modellforsøket, ble en konstant vannmengde ført inn i modellen, og så ble vannstanden i magasinet målt. For å spare simuleringstid ble det i simuleringsforsøket brukt konstant trykk i innløpet. Dette gjorde det mulig å endre vannstanden i hele magasinet i løpet av noen få sekunder, i stede for å vente til en økt vannføring gradvis hevet vannivået. Ulempen er at pulseringer registrert i modellforsøket til Røneid & Sæter (2007) pga. at sjakten "gisper" etter luft, ikke blir modellert, fordi innløpet i simuleringsforsøket holder et meget konstant vannivå. Hvis det skjer luftinnsugninger som antydnet i punkt 10.1 i avløpstunnelen i modellforsøket, vil det føre til at vannspeilet heves i modellforsøket. Denne hevingen vil ikke skje i simuleringsforsøket, der vil i stede innløpsmengden gå ned. Det er mulig hevingen av vannspeilet var så kjapp i modellforsøket og gav så mye ekstra trykkehøyde at luftinnsugningen forsvant før man så de store utslagene på vannstandsmålerne, dette fordi målerne satt plassert et lite stykke fra overløpsterskelen. I simuleringsmodellen endres som sagt ikke vannivået, men vannmengden inn i modellen. At vannivået ikke heves kan kanskje medføre en fullstendig luftinnsugning opp til det siste bendet. Denne luftinnsugningen klarer man ikke å

fjerne. At man ikke klarer å fjerne den kan skyldes feil i utforming av avløpstunnelen (punkt 10.1), feil i turbulensmodeller (punkt 10.5.2) eller feil i nettet (punkt 10.5.3).

### 10.3 Vannføringskurver

Vannføringskurvene fra simuleringene ser ut til å treffe ganske bra med kurvene fra modellforsøket. I oppgaveteksten til Røneid & Sæter (2007) står det at de konsekvent målte den største høyden ved en gitt vannføring. Målemetoden fører til at de simuleringene som er ustabile, som f.eks. simulering 19 i Figur 42, får en vannføringskurve som går gjennom de punktene som gir lavest kapasitet. Å tegne en vannføringskurve gjennom punktene med lavest kapasitet medfører at kapasiteten til kurver fra enkelte simuleringer blir redusert en hel del.

For alle kurvene utenom kurven "Med luft med rohet" kan kapasiteten økes ved å gjøre geometriendringer. Fordi systemene er under vakuum. I kurven "Med luft med rohet" er det friskepeilsstrømning i avløpstunnelen (ved korte tidsskritt). De elementene påvirker kapasiteten mest er, sjaktinnløpet, sjakten, utvidelsen i enden av sjakten, turbulensmodell, nettet og tidsstegene. Kurvene med korte tidssteg underestimerer kapasiteten med 1.5 til 4.5 %, mens vi egentlig burde hatt en liten overestimering, da vannføringskurvene fra modellforsøket er konservative. Av de elementene som er nevnt, antas det at det er avrundingsgraden eller ruheten i sjakten, i kombinasjon med turbulensmodeller, som er årsaken til avviket for kurven "Med luft med rohet".

Til På de andre kurvene er det knyttet så stor usikkerhet til geometrien og ved valg av parameter, at det er vanskelig å gi noen entydig konklusjon om hva som påvirker kapasiteten mest, simuleringmetoden eller geometrien.

### 10.4 Overflatespenninger

I modellforsøket til Røneid & Sæter (2007) ble det ved to av forsøkene, tilsatt Zalo oppstrøms overløpsterskelen. Tilsetningen av Zalo førte til at kapasiteten ble redusert med ca.  $20\text{m}^3/\text{s}$  sett i forhold til vannføringskurven "Uten luft uten rohet". I simuleringforsøket ble det forsøkt å kjøre uten overflatespenninger for noen simuleringer fra Excelfilene F.01 og F.03. Simuleringene uten overflatespenninger finnes i Excelfilene F.02 og F.04. I resultatene for vannføringskurver, er det ikke relevante avvik å spore på om det ble brukt overflatespenning eller ikke. Det ble derfor ikke utført flere forsøk uten overflatespenninger. Det spekuleres i om den tilsatte Zaloen i modellforsøket førte til dannelse av skum i og nedstrøms sjakten, noe som sannsynligvis vil føre til redusert kapasitet.

### 10.5 STAR-CCM+

I dette kapittelet er det diskutert parametere som påvirker beregningene i programmet STAR-CCM+

#### 10.5.1 Tidssteg og konvergens

Ut fra simuleringene som er gjort ser vi at bruken av korte tidsskritt generelt fører til en reduksjon i kapasitet. Årsaken til dette er at det oppnås en høyere konvergens innenfor hvert tidsskritt. Den høyere konvergens fører til at vannet i større grad blir tvunget til å følge cellene og falsk diffusjon forsvinner. Falsk diffusjon fører til at f.eks. vannet blir spredd utover et større område enn det som skjer i virkeligheten. Falsk diffusjon vises spesielt godt i avløpstunnelen hvor det for simuleringene i Excelfilen F.06 er friskepeilsstrømning i avløpstunnelen ved korte tidsskritt, mens det er en jevn blanding av luft og vann som fyller hele tverrsnittet ved lange tidsskritt.

Svein Enger (2010) sa i en samtale at det er konvergens i STAR-CCM+ hvis residualene for parameteren "Water" faller med en tierpotens innenfor et tidsskritt (f.eks. fra 10 i residual til 1 i residual i løpet av de indre iterasjonene i tidsskrittet). En slik konvergens på en tierpotens, er kun oppnådd i simuleringene med tidssteg på 0.001s. Selv ved tidsskritt på 0.001s er det for området rundt lufttilførselen til sjakten, fremdeles tydelig at tidsskrittene er for lange. Vann eller luft bør ikke passere gjennom mer enn en celle i løpet av et tidsskritt, noe som skjer i området rundt lufttilførselen. Når vi ser på hvor lite resultatene blir påvirket ved å endre tidssteget fra 0.03s til 0.001s, virker det lite sannsynlig at man vil se de store utslagene i resultatene ved å bruke enda kortere tidsskritt. Innvirkningen av tidsskrittene er overraskende liten, og en årsak kan være at vannet er i et lukket tverrsnitt mesteparten av tiden, og dermed er det ikke muligheten for falsk diffusjon uansett tidsskrittsslengde.

### **10.5.2 Turbulensmodel.**

Fra resultatene i punkt 8.3 ser vi at et bytte fra K-Epsilon til K-Omega turbulensmodel vil ha innvirkning på resultatene. I enkelte tilfeller ser vi at det blir sugd inn luft opp til siste bendet i avløpsrøret ved bruk av den ene turbulensmodellen, mens det i tvilling simuleringen som bruker den andre turbulensmodellen, er vannfylt tverrsnitt helt ut til utløpet. I de tilfellene hvor løsningene visuelt ser like ut, er det en tendens, at K-Omega turbulensmodel gir høyere kapasitet. Avviket mellom K-Epsilon og K-Omega kan være opp mot  $10\text{-}11\text{m}^3/\text{s}$  under stabile forhold i avløpstunnelen. Opp mot  $40\text{m}^3/\text{s}$  kan avviket være hvis det oppstår luftinnsugning i f.eks. K-Epsilon simuleringen og det ikke oppstår luftinnsugning i K-Omega modellen. Hvem av K-Epsilon eller K-Omega som gir riktigst svar er ikke godt å si, med så mange usikre parametere i modellen. Siden avviket er størst i de simuleringene hvor det ikke tilsettes luft i sjakta, kan det virke som om strømningsforholdene i samløpet, og avløpstunnelen påvirker resultatene i stor grad. Siden det i simuleringene til kurven "Med luft med ruhet" er lite avvik mellom turbulensmodellene, og det er friskeilsstrømning i avløpstunnelen, tilsier dette at kapasiteten ikke blir påvirket av geometrien til delene som kommer etter sjakten.

### **10.5.3 Nett**

Det er blitt observert at nett generatoren til STAR-CCM+ lett lager celler som ikke har noen god fasong. Det lages f.eks. plutselig en strek med trekantede celler midt inne i et tverrsnitt med firkantede celler. Slike streker finnes på de fleste bildene som er vist av avløpstunnelen hvor det er benyttet trimmet nett. Ved undersøkelse av løsningene i STAR-CCM+ er det helt tydelig at disse strekene påvirker resultatet (se f.eks. Figur 56). Brukes det generalisert sylinder, blir som regel nettene fine i rette runde deler, mens delene blir deformert ved brå bend. Bruken av prismelag langs veggene ser ut til å øke antallet med streker som skjærer gjennom volumnettet og lager trekantede celler av firkantede celler. Det blir således ofte en del stygge celler langs veggen, som vist i resultatene for nettet i sjakten.

## 11 Konklusjon

Ut fra resultatene for kapasitetskurvene ser vi at avviket mellom simuleringsforsøket og modellforsøket ikke er veldig stort (+/-10 %). Resultatene fra simuleringsmodellen er imidlertid svært ustabile. For alle fire simuleringstilfellene utenom en, er det nesten tilfeldig om det oppstår luftinnsugning i avløpstunnelen, eller om avløpstunnelen er vannfylt helt ut til utløpet. Endring av tidsskritt, turbulensmodel og ruhet i sjakt (ved en feiltakelse), har ført til avvik opp mot 15 % sett i forhold til en ellers lik modell. Når tidskrittene blir korte, blir vannføringskurvene ustabile og innløpsmengdene til simuleringsmodellene begynner å variere mye, noe som sannsynligvis er ganske korrekt, da det er skrevet om ustabile tilstander i modellforsøket til Røneid & Sæter (2007).

Ustabiliteten til simuleringsmodellen og det faktum at flere punkter i simuleringsmodellen kan ha avvik fra modellforsøket i punkter som i stor grad har innvirkning på resultatene (avløpstunnel, ruhet sjakt og rundingsgrad sjaktinnløp), har ført til en storstilt testing av geometrien (spesielt avløpstunnelen) for å finne rett geometri. Det kan imidlertid se ut til at valget av vanntilførselen i simuleringsmodellen kan være årsaken til en del av avvikene. Dette fordi innløpsløsningen i simuleringsforsøket hindrer vannstandsendringer i magasinet ved at vannstanden holdes på et konstant nivå, mens innløpsmengden varierer. I modellforsøket ble vannmengden holdt konstant, mens vannstanden varierte.

Trimmet nett (ortogonale celler) har vært mye brukt i simuleringene, og har nok ført til en ekstra ustabilitet, fordi trimmede nett konstant inneholder feil i form av en serie med trekantede celler midt inne i et ellers fint nett. Andre typer nett er blitt testet, spesielt generalisert sylindernet, som er bygd på mangekantet nett. Det er ikke blitt utført sammenligninger som tilsier at det er stor forskjell mellom nettene, bortsett fra at et svært dårlig trimmet nett som ble erstattet av et pent trimmet nett i sjakten. Som førte til en øking på  $7\text{m}^3/\text{s}$  som tilsvarer ca 2% ved vannstand i magasinet på 4.3m.

Turbulensmodellene har en viss innvirkning på resultatene, fordi det ofte ved bytte av turbulensmodel, plutselig har oppstått luftoppsugning i avløpstunnelen. Avvikene mellom turbulensmodellene ser ut til å være størst ved lange tidsskritt (dårlig konvergens) og mindre ved korte tidsskritt som gir bedre konvergens. Avvikene mellom K-Epsilon og K-Omega har vært på opp mot 4 % ved lange tidsskritt og 2-3 % ved korte (ved vannstander over 1.9m). K-Omega turbulensmodel gir høyest kapasitet.

STAR-CCM+ gir overraskende gode resultater ved bruk av veldig lange tidsskritt. Avviket i resultatene mellom lange tidsskritt og korte ligger i størrelsesorden 5 % .Korte tidsskritt gir som regel litt lavere kapasitet enn lange.

I oppgaven ble det først konkludert med at det måtte være en veldig alvorlig geometrifeil i simuleringsmodellen da avviket mot referansekurven var så stort at det kun var mulig å få riktige svar ved å introdusere geometrier som ikke kunne være mulige ut fra bilder. Feilen ble tilslutt antatt skyldes feil diameter på sjakten. Først etter at feil ble funnet og utbedret, var det mulig å vurdere kvaliteten til STAR-CCM+. De avsluttende simuleringene gir gode resultat hvilket viser at STAR-CCM+ har evnen til å etterligne virkeligheten på en meget god måte. Hvis det hadde vært eksakt lik geometri i modellforsøket og simuleringsforsøket, og blitt brukt en annen innløpsløsning i

simuleringsforsøket, kombinert med korte tidsskritt. Tror jeg at resultatene hadde hvert tilnærmet perfekte for de simuleringene som får tilsatt luft i sjaktfoten, og innenfor +- 5 % for de andre kurvene, men den fysiske modellen virker så ustabil at det er mulig avviket blir noe større.

Det utløpet som ble brukt i modellforsøket stemmer overhode ikke overens med i prototypen, unntatt ved bruk av ru sjakt og lufttilførsel hvor det er friskeilsstrømning i avløpstunnelen. Ved bruk av ru sjakt og lufting i sjaktfoten er resultatene veldig like. Med bruk av en annen ruhet i sjakten eller rundingsgrad i innløpet, ville resultatene hatt perfekt samsvar med modellforsøket.

Det konkluderes derfor med at STAR-CCM+ vil egne seg til å beregne flomløpskapasiteter, både for lukkede og åpne flomløp. Dambruddsølgeberegninger bør også kunne utføres med forholdsvis gode resultater. Det bør imidlertid brukes et annet tegneprogram enn AutoCAD Civil 3D 2011, da det er enveiskommunikasjon mellom STAR-CCM+ og AutoCAD. Dette med fører enormt mye ekstraarbeid. Endrer man på noe i AutoCAD, så må man rette opp en haug små feil som AutoCad introduserer i modellen.

## Referanser

- Enger, S. (2010, Desember 14). Star-CCM+. (S. Vingerhagen, Intervjuer)
- Hattling AS. (2011, April 4). Spørsmål om rørdimensjoner. (S. Vingerhagen, Intervjuer)
- Kraftverkene i Orkla. (1983, Juni 21). Innerdalsdammen, påbygging av overløp.
- Midttømme, G. H. (2011). Spørsmål om bruk av numerisk programvare. *Ansatt ved NVE*.
- Nidaros Oppmåling AS. (2006). *Litjoss-Overløp\_original.dwg*.
- Rønneid, Ø., & Sæter, Å. (2007). *Dam Innerdalen - Hydraulisk Analyse og Modellforsøk av Flomløp og Tappeløp*. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Fakultetet for ingeniørvitenskap og teknologi, Institutt for vann- og Miljøteknikk.
- STAR-CCM+. (2010). *User Guide, STAR-CCM+, Version 5.04.006*. CD-adapco.
- Sæter, Å. (2011, Februar 28). Spørsmål om laboratoriemodell. (S. Vingerhagen, Intervjuer)
- SØR - TRØNDELAG KRAFTSELSKAP. (1979, Juni 26). Litjossen Karftverk. *Anbudstegning. B14-190-2A. hemmeligstemplet*.
- SØR - TRØNDELAG KRAFTSELSKAP. (1979, Juni 26). Litjossen Kraftverk. *Anbudstegning. B14-177-1A. hemmeligstemplet*.
- SØR - TRØNDELAG KRAFTSELSKAP. (1980, Oktober 22). Plate oppdelt. *B14-223-1B, må ikke offentliggjøres*.
- SØR - TRØNDELAG KRAFTSELSKAP. (1985, Juni 26). Litjossen Kraftverk. *Anbudstegning. B14-250-1A. hemmeligstemplet*.
- Vingerhagen, S. (2010). *Uttesting av numerisk programvare STAR-CCM+*.
- Vårum, A. (2011, Mai 13). Lufting sjakt. (S. Vingerhagen, Intervjuer)



# Appendiks



# Appendiksliste

## A Oversikt over modell

### A.01 Beskrivelse Terreng

- A.01.001 Punkter plassering av terreng
- A.01.002 Lokalt koordinat system
- A.01.003 Tverrsnittprofil 3
- A.01.004 Tverrsnittprofil 2
- A.01.005 Tverrsnittprofil 1
- A.01.006 Tverrsnittprofil 0
- A.01.007 Tverrsnittprofil -1
- A.01.008 Tverrsnittprofil -2
- A.01.009 Tverrsnittprofil -3
- A.01.010 Tverrsnittprofil -4
- A.01.011 Tverrsnittprofil -5
- A.01.012 Tverrsnittprofil -6
- A.01.013 Tverrsnittprofil -7
- A.01.014 Tverrsnittprofil -8
- A.01.015 Tverrsnittprofil -9
- A.01.016 Tverrsnittprofil -10
- A.01.017 Tverrsnittprofil -11
- A.01.018 Tverrsnittprofil -12
- A.01.019 Tverrsnittprofil -13
- A.01.020 Overløpsprofil

### A.02 Beskrivelse sjakt

- A.02.001 Punkter plassering av sjakt
- A.02.002 Tverrsnitt sjakt uten ruhet
- A.02.003 Tverrsnitt sjakt med ruhet

### A.03 Beskrivelse Samløp 1 og 2

- A.03.001 Punkter plassering av samløp 1 og 2
- A.03.002 Lokalt aksesystem samløp 1 og 2
- A.03.003 Mål og vinkler samløp 1 og 2
- A.03.004 Plassering av tverrsnitt i samløp
- A.03.005 Tverrsnitt 1, Snitt A-A
- A.03.006 Tverrsnitt 2.1, Snitt B-B
- A.03.007 Tverrsnitt 2.2, Snitt B-B
- A.03.008 Tverrsnitt 3, Snitt C-C
- A.03.009 Tverrsnitt 4, Snitt D-D
- A.03.010 Tverrsnitt 5, Snitt E-E
- A.03.011 Tverrsnitt 6, Snitt F-F
- A.03.012 Tverrsnitt 7, Snitt G-G
- A.03.013 Snitt sjakt og lufting sjakt, Snitt H-H

### A.04 Beskrivelse Avløpstunnel

- A.04.001 Punkter plassering av avløpstunnel
- A.04.002 Lokalt aksesystem avløpstunnel
- A.04.003 Plassering av tverrsnitt i avløpstunnel
- A.04.004 Tverrsnitt A-A
- A.04.005 Tverrsnitt B-B
- A.04.006 Mål avløpstunnel del 8
- A.04.007 Mål 45g bend

### A.05 Beskrivelse Omløpstunnels

- A.05.001 Punkter plassering av omløpstunnel
- A.05.002 Plassering av tverrsnitt omløpstunnel
- A.05.003 Tverrsnitt A-A
- A.05.004 Tverrsnitt B-B
- A.05.005 Tverrsnitt C-C

### A.06 Beskrivelse Lufting sjakt

- A.06.001 Punkter plassering av lufting sjakt 1
- A.06.002 Punkter plassering av lufting sjakt 2
- A.06.003 Tverrsnitt lufting sjakt

## B Mål på bilder

### B.01 Diameter sjakt-samløp og lufting

- B.01.001 Sjakt dimensjon 1
- B.01.002 Sjakt dimensjon 2
- B.01.003 Sjakt dimensjon 3
- B.01.004 Sjakt dimensjon 4

### B.02 Avløpstunnel og friksjonsstige

- B.02.001 Avløpstunnel vinkler og friksjonsstige
- B.02.002 Avløpstunnel lengde 1
- B.02.003 Avløpstunnel lengde 2
- B.02.004 Avløpstunnel lengder utløp
- B.02.005 Avløpstunnel høyder
- B.02.006 Avløpstunnel vinkel 1

## C Regneark

### C.01 Diameter sjakt og lufting sjakt

- C.01.001 Dimensjoner sjakt og lufting sjakt
- C.01.002 Sjakt areal

### C.02 Avløpstunnel

- C.02.001 Lengde avløpsrør
- C.02.002 Utregning av lengder korte deler avløpsrør
- C.02.003 Utregning høyder samløp over bakken
- C.02.004 Kontroll av lister jigg

## D Resultater

- D.01 Avvik modellforsøk H mindre enn 2.1m
- D.02 Avvik simuleringsforsøk H mindre enn 2.1m
- D.03 Maksimalt avvik simuleringsforsøk H mindre enn 2.1m
- D.04 Helling og lengde utløp
- D.05 Avvik mellom simulering nr 26 og 50
- D.06 Høydedifferanse mellom samløp og utløp
- D.07 Tidssteg 3 (Uten luft med ruhet)
- D.08 Tidssteg 4 (Uten luft med ruhet)
- D.09 Tidssteg 5 (Med luft med ruhet)
- D.10 Tidssteg 6 (Med luft med ruhet)
- D.11 Ruhet sjakt 1
- D.12 Ruhet sjakt 2
- D.13 Overløpsterskel
- D.14 Vannstandsmålere
- D.15 Turbulensmodel
- D.16 Turbulensmodel 2
- D.17 Nett utløp
- D.18 Nett sammenligning
- D.19 Vannføringskurve Uten luft uten ruhet
- D.20 Vannføringskurve Uten luft uten ruhet med Zalo
- D.21 Avvik Med luft uten ruhet H større enn 1.9m
- D.22 Vannføringskurve Med luft uten ruhet
- D.23 Vannføringskurve Med luft uten ruhet med Zalo
- D.24 Avvik Uten luft med ruhet H større enn 1.7m
- D.25 Vannføringskurve Uten luft med ruhet
- D.26 Avvik Med luft med ruhet H større enn 1.7m
- D.27 Vannføringskurve Med luft med ruhet
- D.28 Forskjeller på delene
- D.29 Forskjeller simulering 24 til 50 i Excelfil F.01
- D.30 Forskjeller simulering 15 til 38 i Excelfil F.03
- D.31 Forskjeller simulering 1 til 18 Excelfil F.05
- D.32 Forskjeller simulering 1 til 18 Excelfil F.06

## E Filer (kun på DVD nr 1)

- E.01 Modell tegninger
- E.02 Modell terreng tegninger
- E.03 Modell sjakt tegninger
- E.04 Modell samløp 1 og 2 tegninger
- E.05 Modell avløpstunnel tegninger
- E.06 Modell omløpstunnel tegninger
- E.07 Modell lufting sjakt tegninger
- E.08 Mål på bilder
- E.09 LITJFOSS-OVERLIP

## F Resultatfiler (kun på DVD nr 1)

- ❖ F.R1 Filmappe med STAR-CCM+ filer (DVD nr 2)
  - ❖ F.R2 Filmappe med STAR-CCM+ filer (DVD nr 3)
  - ❖ F.R3 Filmappe med STAR-CCM+ filer (DVD nr 4)
  - ❖ F.R4 Filmappe med STAR-CCM+ filer (DVD nr 3)
  - ❖ F.R5 Filmappe med STAR-CCM+ filer (DVD nr 5)
  - ❖ F.R6 Filmappe med STAR-CCM+ filer (DVD nr 6)
- F.01 Resultater uten luft uten ruhet (Excel- fil)
  - F.02 Resultater uten luft uten ruhet Zalo (Excel- fil)
  - F.03 Resultater med luft uten ruhet (Excel- fil)
  - F.04 Resultater med luft uten ruhet Zalo (Excel- fil)
  - F.05 Resultater uten luft med ruhet (Excel- fil)
  - F.06 Resultater med luft med ruhet (Excel-fil)
  - F.07 Vannføringskurver fra masteroppgaven til Røneid & Sæter (2007)

## G Figurer i Masteroppgaven (kun på DVD nr1)

## H Grunnlagsdata. Masteroppgaven til Røneid & Sæter (2007) (kun på DVD nr 7)



1 2 3 4 5 6

A A

B B

C C

D D

Kum

Lufting sjakt

Overløp og  
terreng

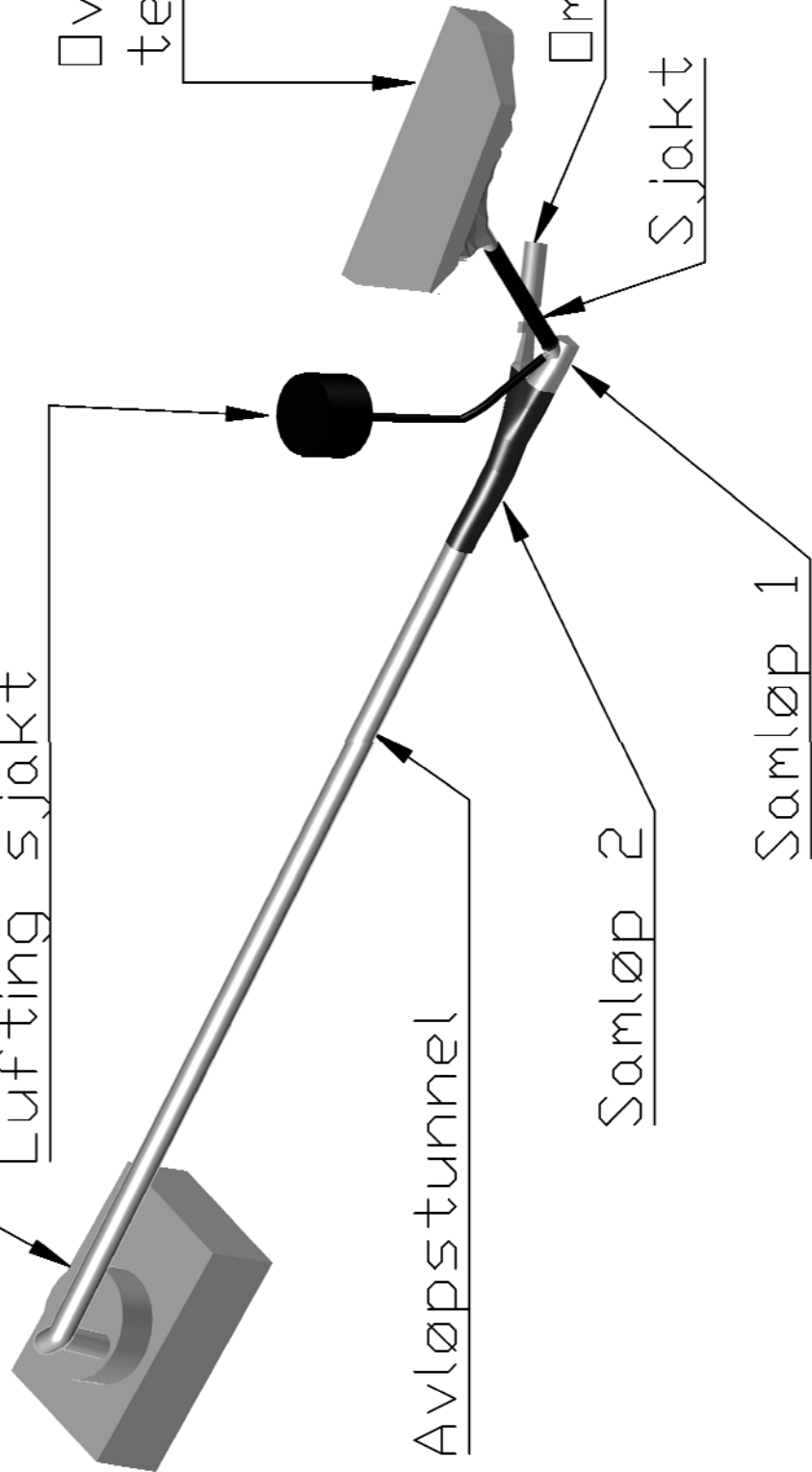
Avløpstunnel

Samløp 2

Samløp 1

Omløpstunnel

Sjakt



Det lokale aksystemet til Terrengnet [A.01.002] er brukt som referansesystem for å angi riktig plassering av de forskjellige delene i forhold til hverandre.

Tegnet av:  
Samuel Vingerhagen

Retthigheter:  
NTNU

Tegning nr.  
A

Filnavn:  
Modell tegninger.dwg

Dato:  
18.05.11

Skala:  
Ukjent

# Øversikt over modell

1 2 3 4 5 6

## A.01 Beskrivelse Terreng

Terreng passerer ut fra 3 punkter som vist i appendiks [A.01.001].

Sett i forhold til det lokale koordinatsystemet i [A.01.002] er disse punktene plassert som følger:

	X	Y	Z
Punkt 1	560.8489	-467.2837	175.0000
Punkt 2	560.8519	-467.2841	-125.0000
Punkt 3	563.3128	-377.7886	-125.0000

A

B

C

D

6

5

4

3

2

1

A

B

C

D

6

5

4

3

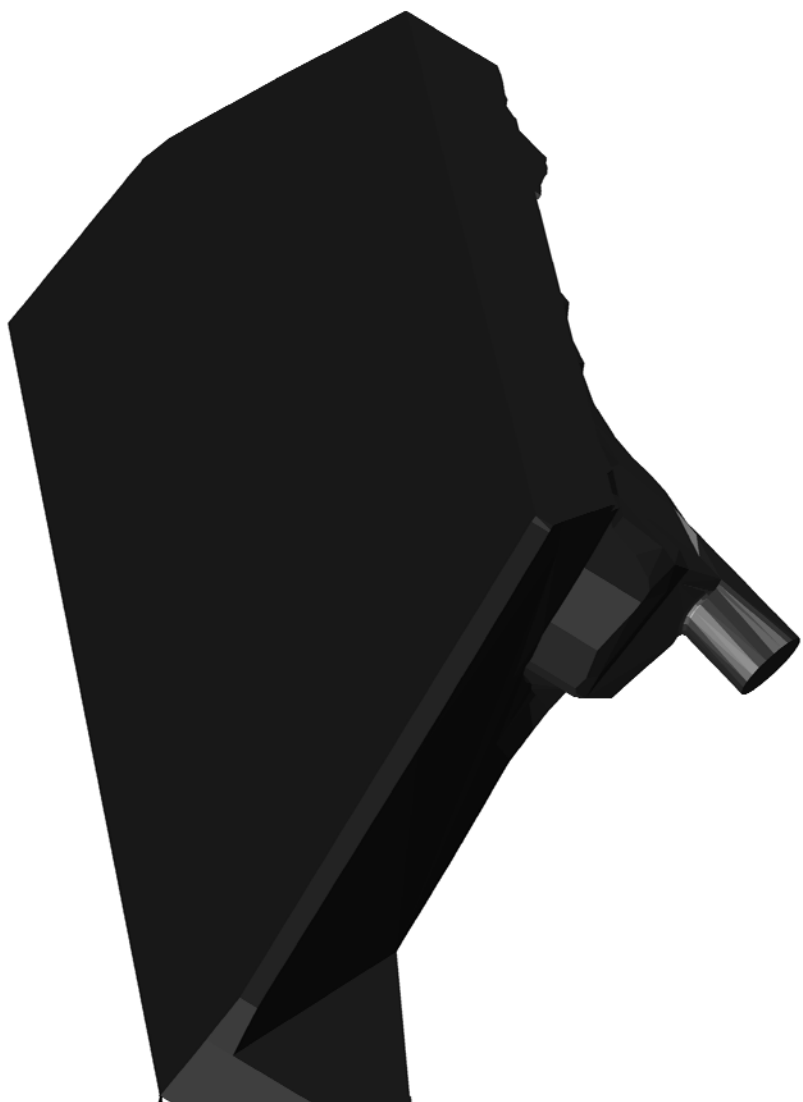
2

1

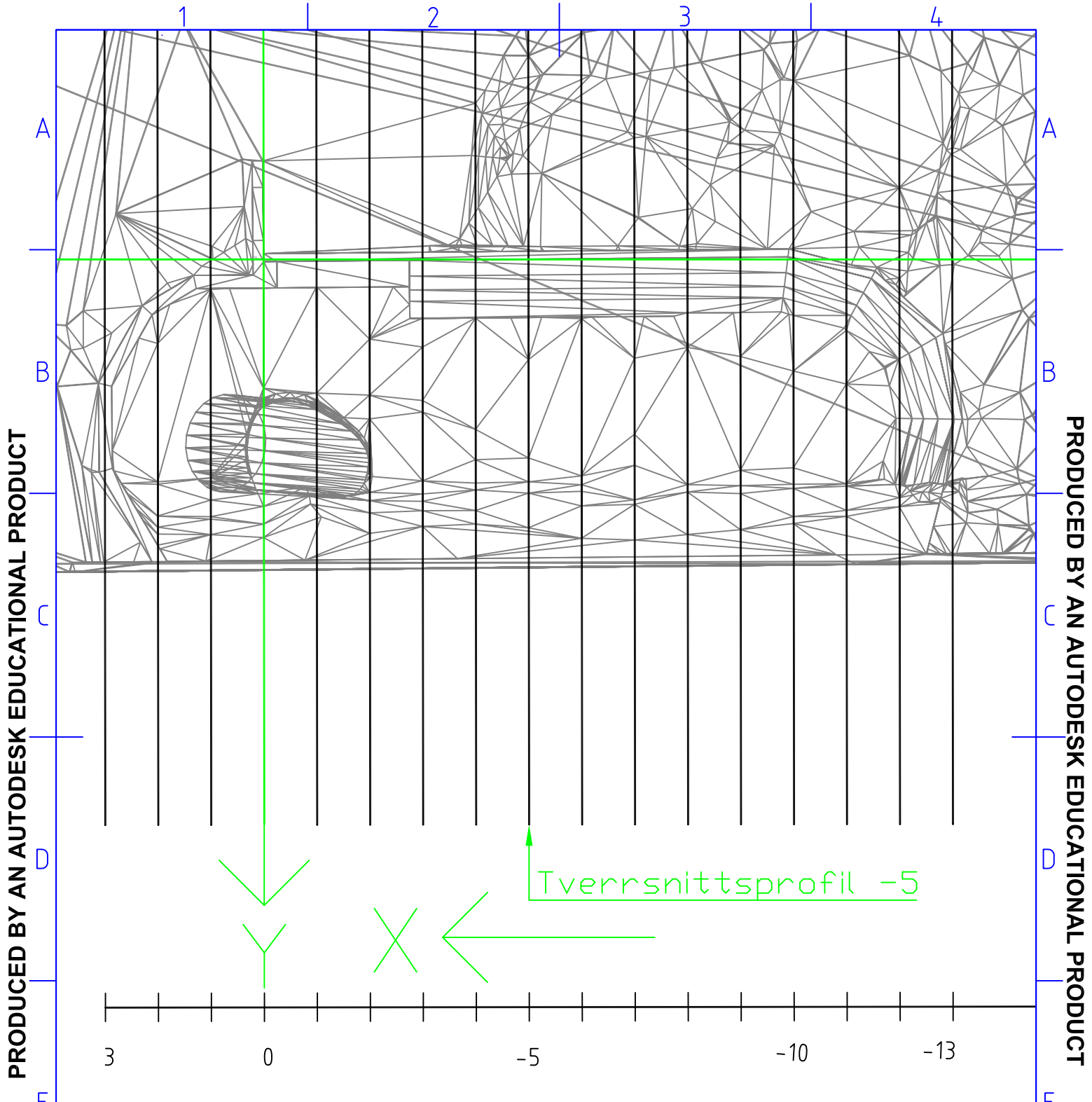
Punkt 1

Punkt 2

Punkt 3



Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell terreng tegninger.dwg	Dato: 12.05.11	Skala: Ukjent
Rettheter: NTNU	Tegning nr. A.01.001	Punkter plassering av terreng	



Tverrsnittsprofil -5

Det lokale aksesystemet er det samme som ble brukt i oppgaven til (Røneid&Sæter,2007) (B.3.1)  
 Det lokale aksesystemet er plassert i forhold til aksesystemet fra (Nidaros Oppmåling AS) på følgende måte:  
 Senterpunkt lokalt system svarer til  $X=2018.8053$ ,  $Y=102.9265$  og  $Z=813$  i aksesystemet fra (Nidaros Oppmåling AS)  
 X-aksen har vektorkomponenter lik  $X=-0.9818$ ,  $Y=-0.1900$ ,  $Z=0.0000$  i aksesystemet fra (Nidaros Oppmåling AS)  
 Y-aksen har vektorkomponenter lik  $X=0.1900$ ,  $Y=-0.9818$ ,  $Z=0.0000$  i aksesystemet fra (Nidaros Oppmåling AS)  
 Z-aksen har vektorkomponenter lik  $X=-0.0000$ ,  $Y=-0.0000$ ,  $Z=1.0000$  i aksesystemet fra (Nidaros Oppmåling AS)  
 Senteravstanden mellom tverrprofiler er 50mm, det er totalt 17 tverrprofiler fra 3 til -13

Tegnet av: Samuel Vingerhagen		Filnavn: Modell terreng tegninger		Dato: 18.05.2011		Skala: 1:5	
Rettigheter: NTNU		Tegning nr. A.01.002		<b>LOKALT KOORDINAT SYSTEM</b>			

A

B

C

D

6

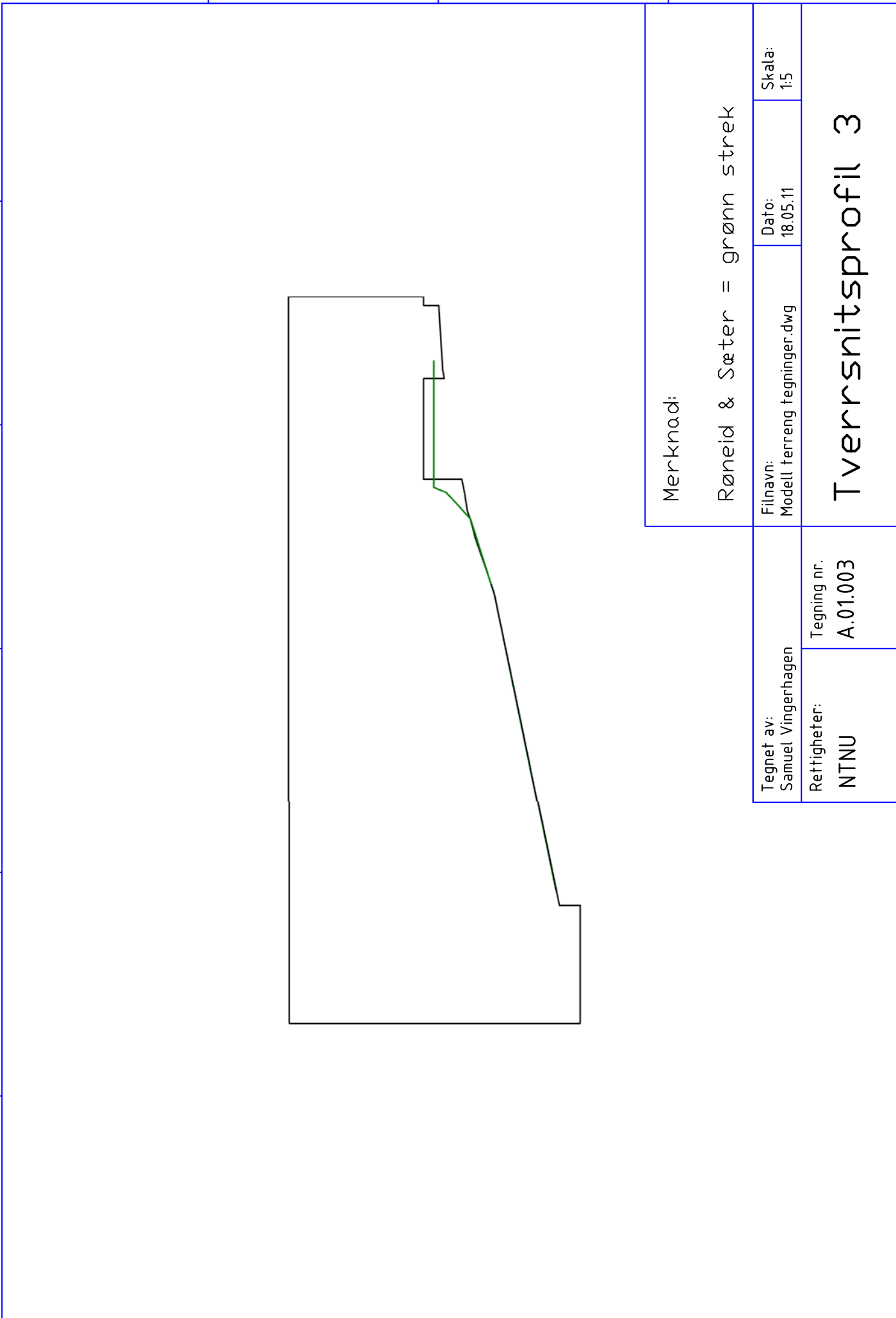
5

4

3

2

1



A

B

C

D

6

5

4

3

2

1

Merknad:

Røneid & Sæter = grønn strek

Tegnet av:  
Samuel Vingerhagen

Dato:  
18.05.11

Skala:  
1:5

Retthigheter:  
NTNU

Filnavn:  
Modell terreng tegninger.dwg

Tegning nr.  
A.01.003

Tverrsnittprofil 3

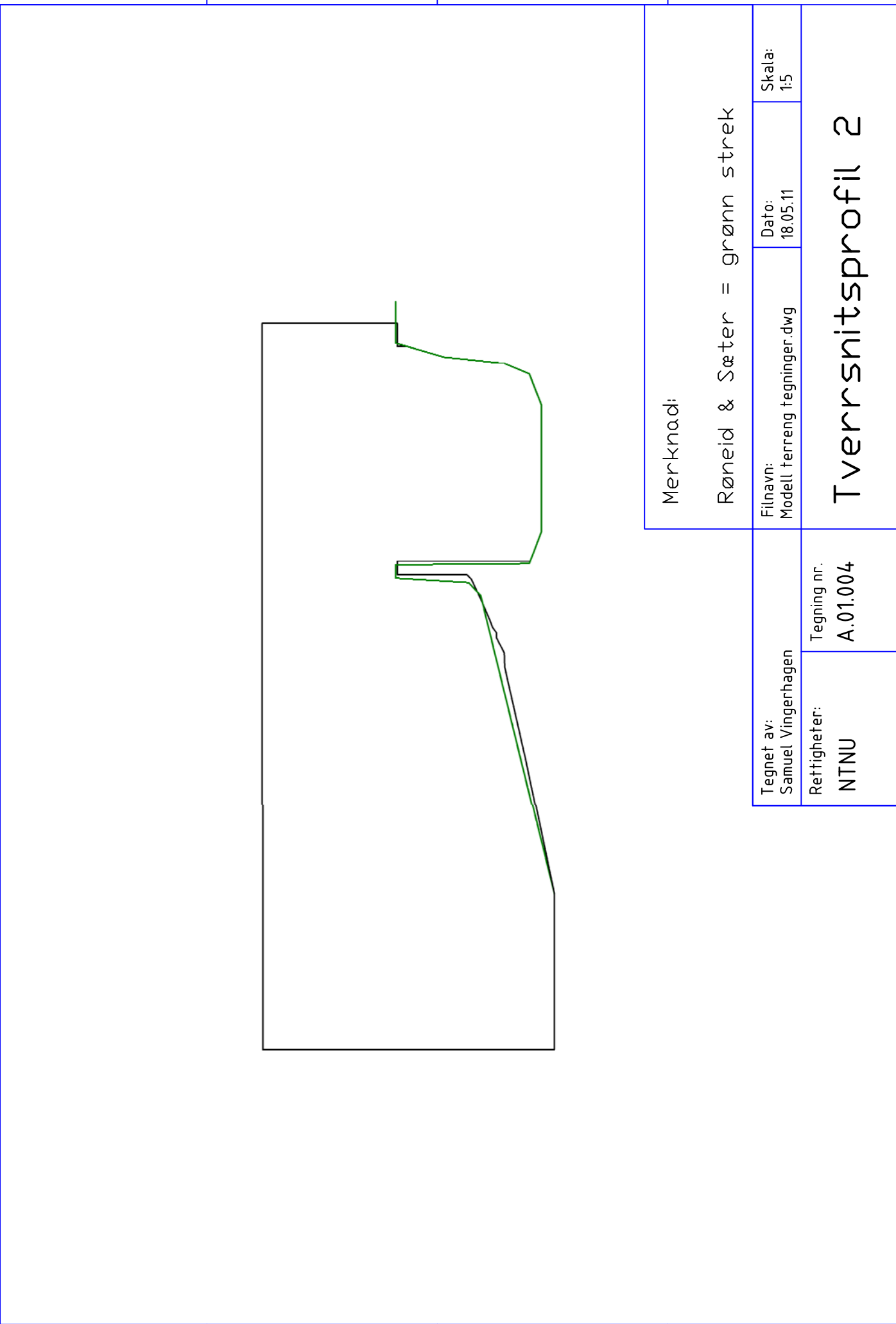
A

B

C

D

1 2 3 4 5 6



A

B

C

D

1 2 3 4 5 6

Merkknod:

Røneid & Sæter = grønn strek

Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Tegning nr. A.01.004
Retthigheter: NTNU	

Filnavn: Modell terreng tegninger.dwg	Dato: 18.05.11	Skala: 1:5
--	-------------------	---------------

# Tverrsnittprofil 2

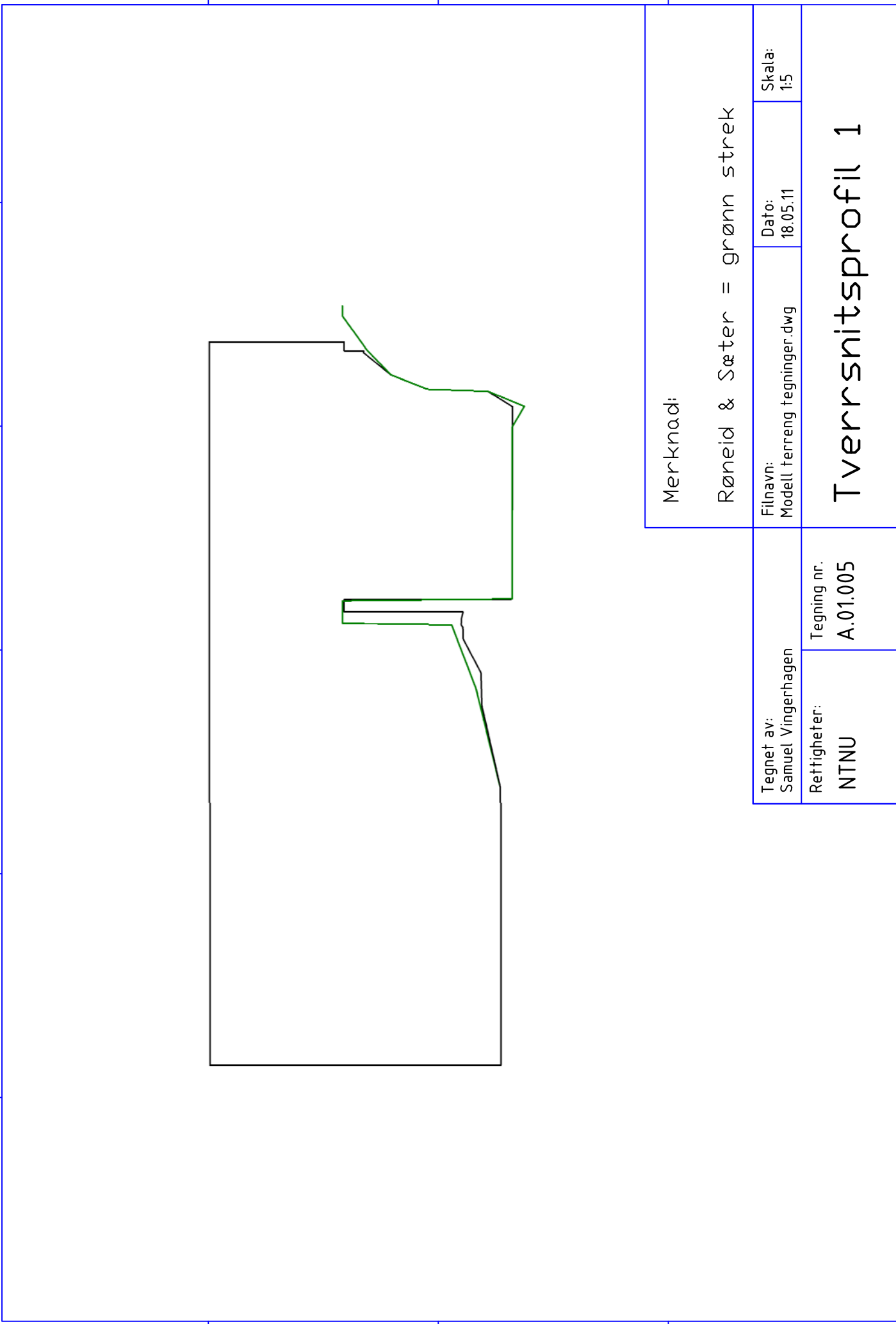
A

B

C

D

1 2 3 4 5 6



A

B

C

D

Merkknod:

Røneid & Sæter = grønn strek

Tegnet av:  
Samuel Vingerhagen

Tegning nr.  
A.01.005

Filnavn:  
Modell terreng tegninger.dwg

Dato:  
18.05.11

Skala:  
1:5

Retthigheter:  
NTNU

Tverrsnittprofil 1

1 2 3 4 5 6

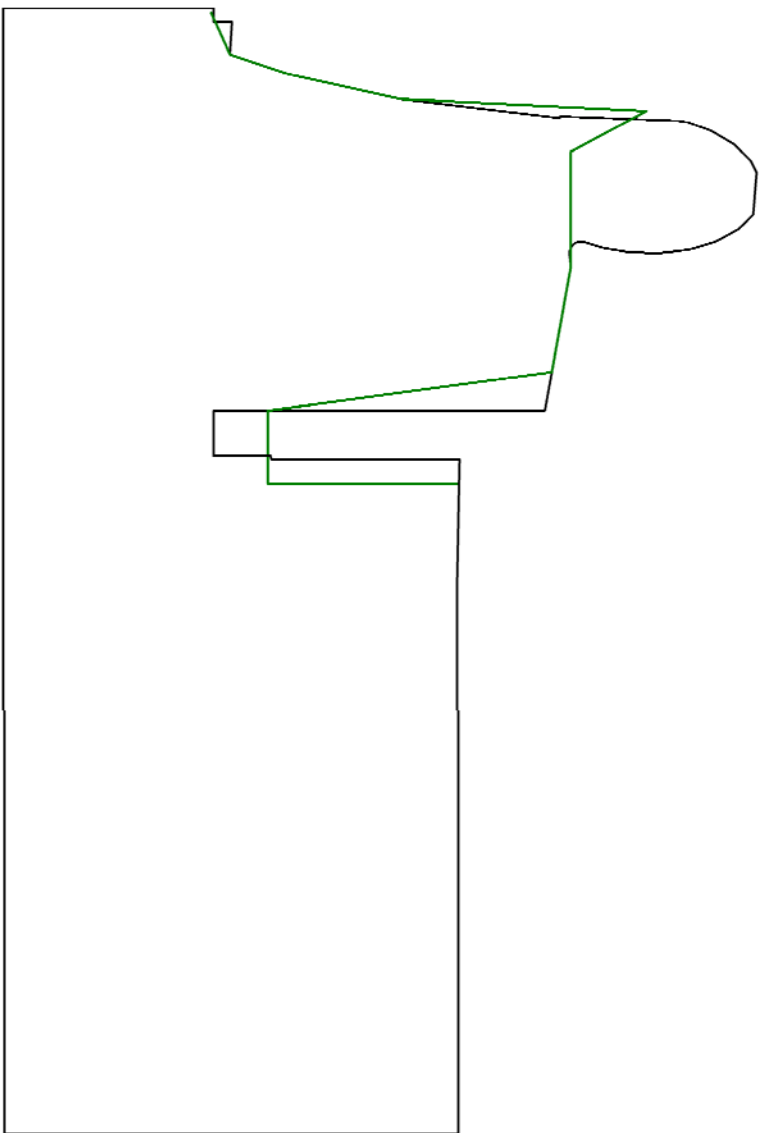
A

B

C

D

1 2 3 4 5 6



Merknad:

Røneid & Sæter = grønn strek

Tegnet av:  
Samuel Vingerhagen

Retthigheter:  
NTNU

Filnavn:  
Modell terreng tegninger.dwg

Dato:  
18.05.11

Skala:  
1:5

# Tverrsnittprofil 0

A

B

C

D

1 2 3 4 5 6

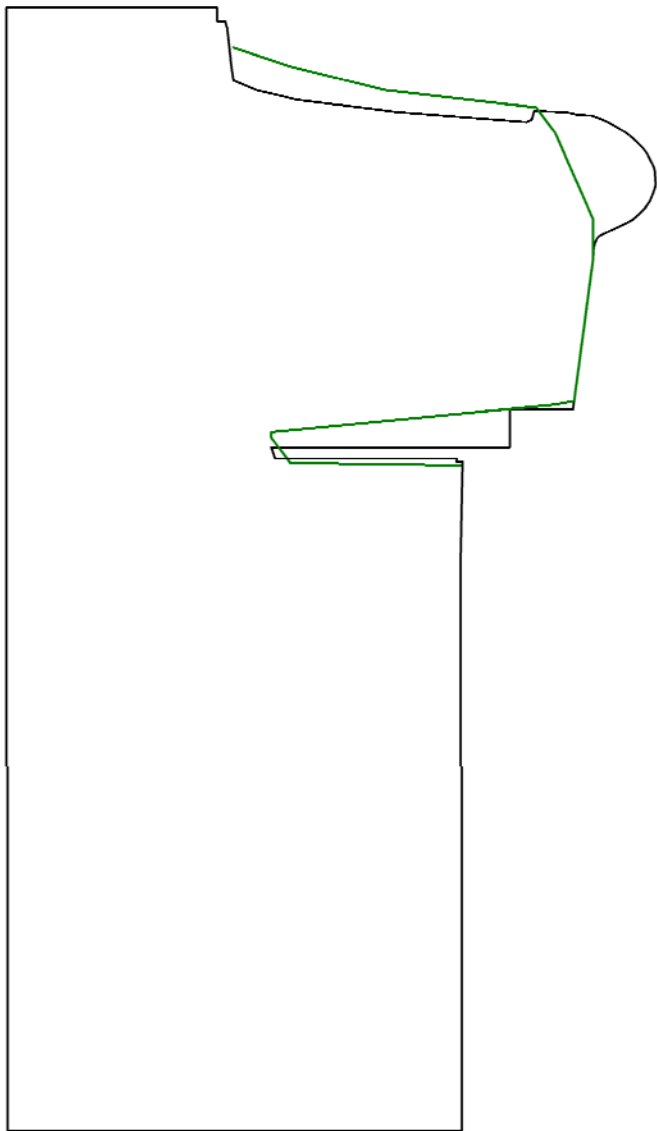
A

B

C

D

1 2 3 4 5 6



A

B

C

D

1 2 3 4 5 6

Merknad:

Røneid & Sæter = grønn strek

Tegnet av:  
Samuel Vingerhagen

Tegning nr.  
A.01.007

Filnavn:  
Modell terreng tegninger.dwg

Dato:  
18.05.11

Skala:  
1:5

# Tverrsnittprofil -1

A

B

C

D

6

5

4

3

2

1

A

B

C

D

6

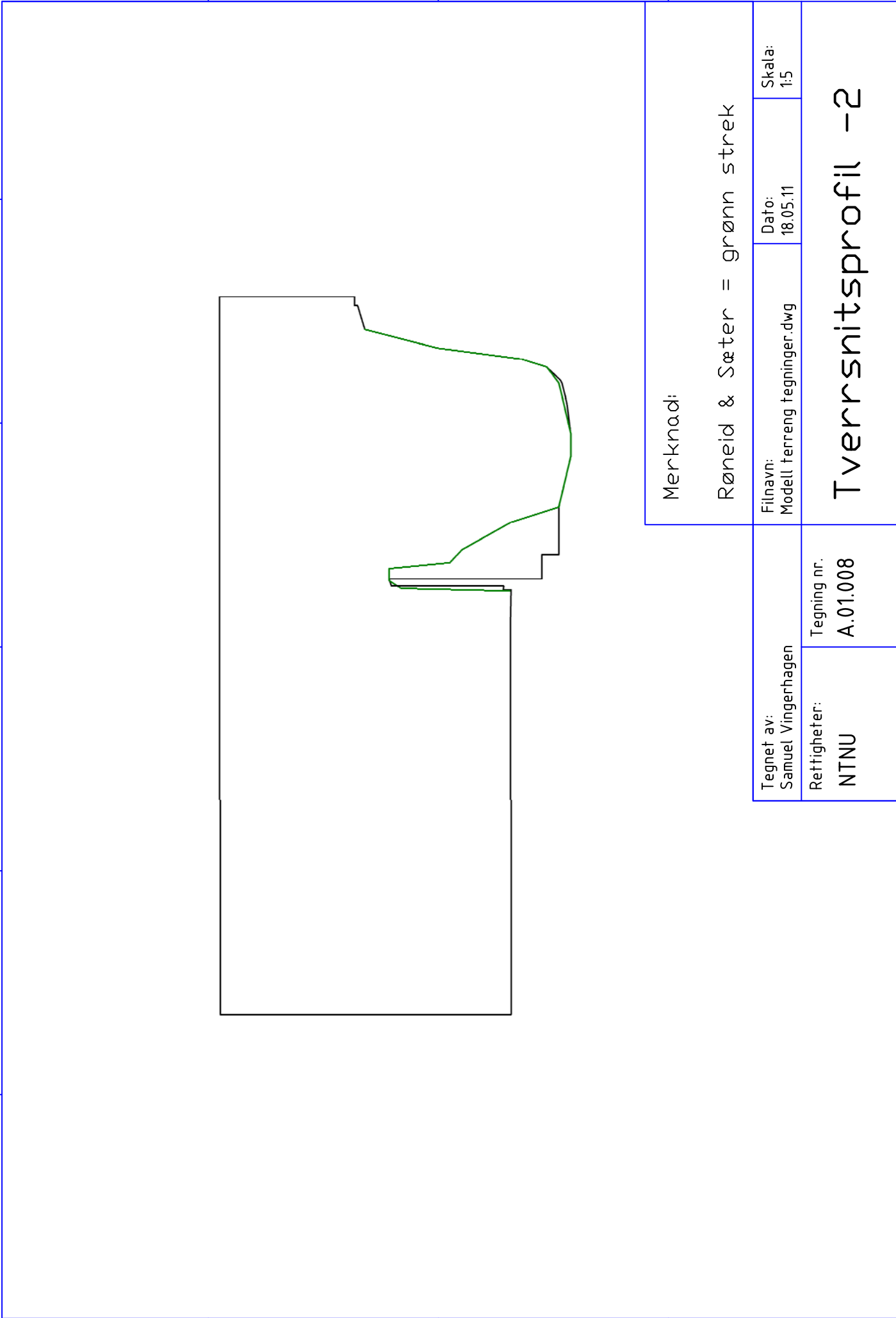
5

4

3

2

1



Merknad:

Røneid & Sæter = grønn strek

Tegnet av:  
Samuel Vingerhagen

Skala:  
1:5

Dato:  
18.05.11

Filnavn:  
Modell terreng tegninger.dwg

Tegning nr.  
A.01.008

Retthigheter:  
NTNU

Tverrsnittprofil -2

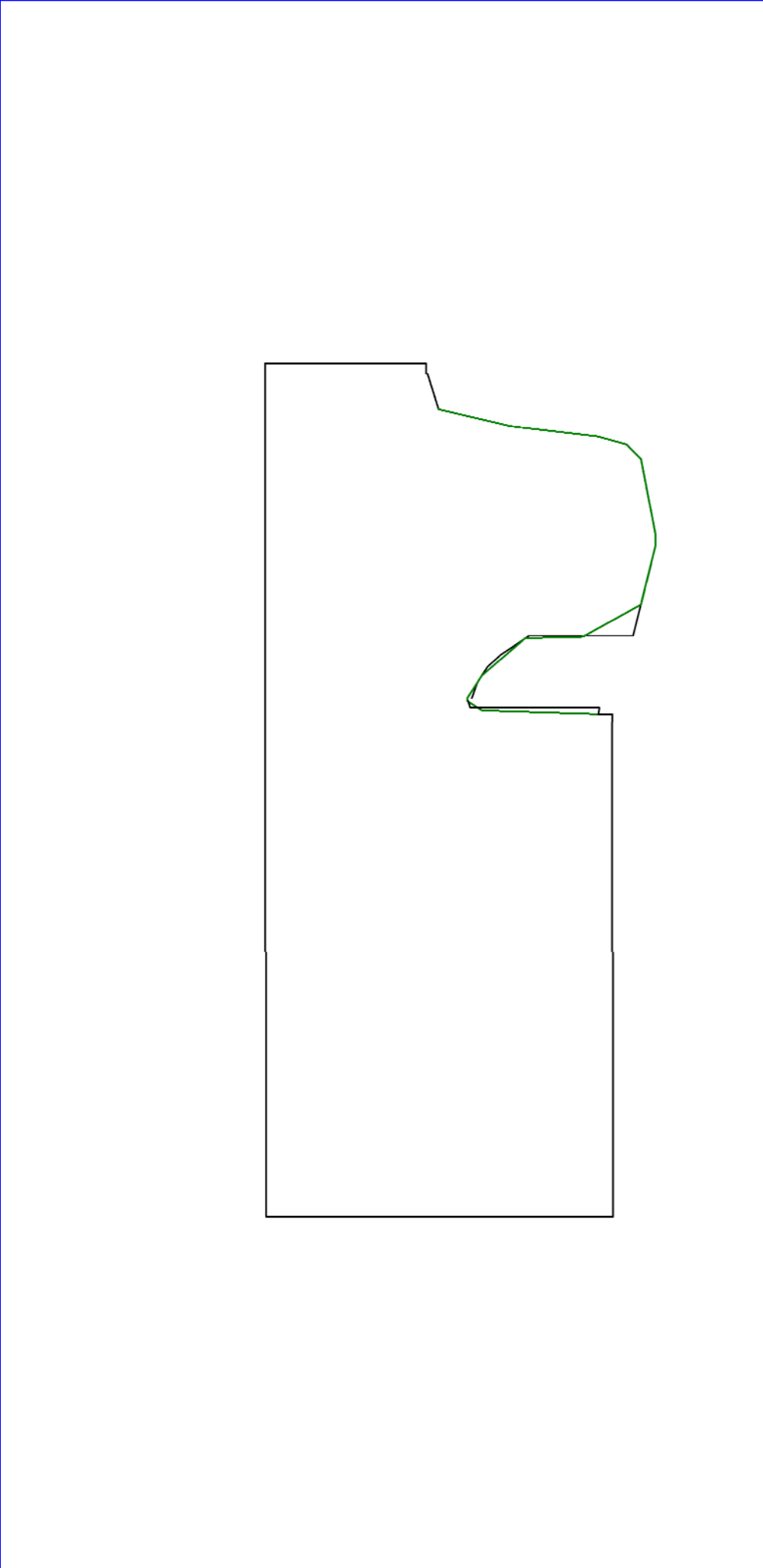
A

B

C

D

1 2 3 4 5 6



Merknad:

Røneid & Sæter = grønn strek

Tegnet av:  
Samuel Vingerhagen

Skala:  
1:5

Dato:  
18.05.11

Filnavn:  
Modell terreng tegninger.dwg

Tegning nr.  
A.01.009

Retthigheter:  
NTNU

# Tverrsnittprofil -3

1 2 3 4 5 6

A

B

C

D

A

B

C

D

6

5

4

3

2

1

A

B

C

D

6

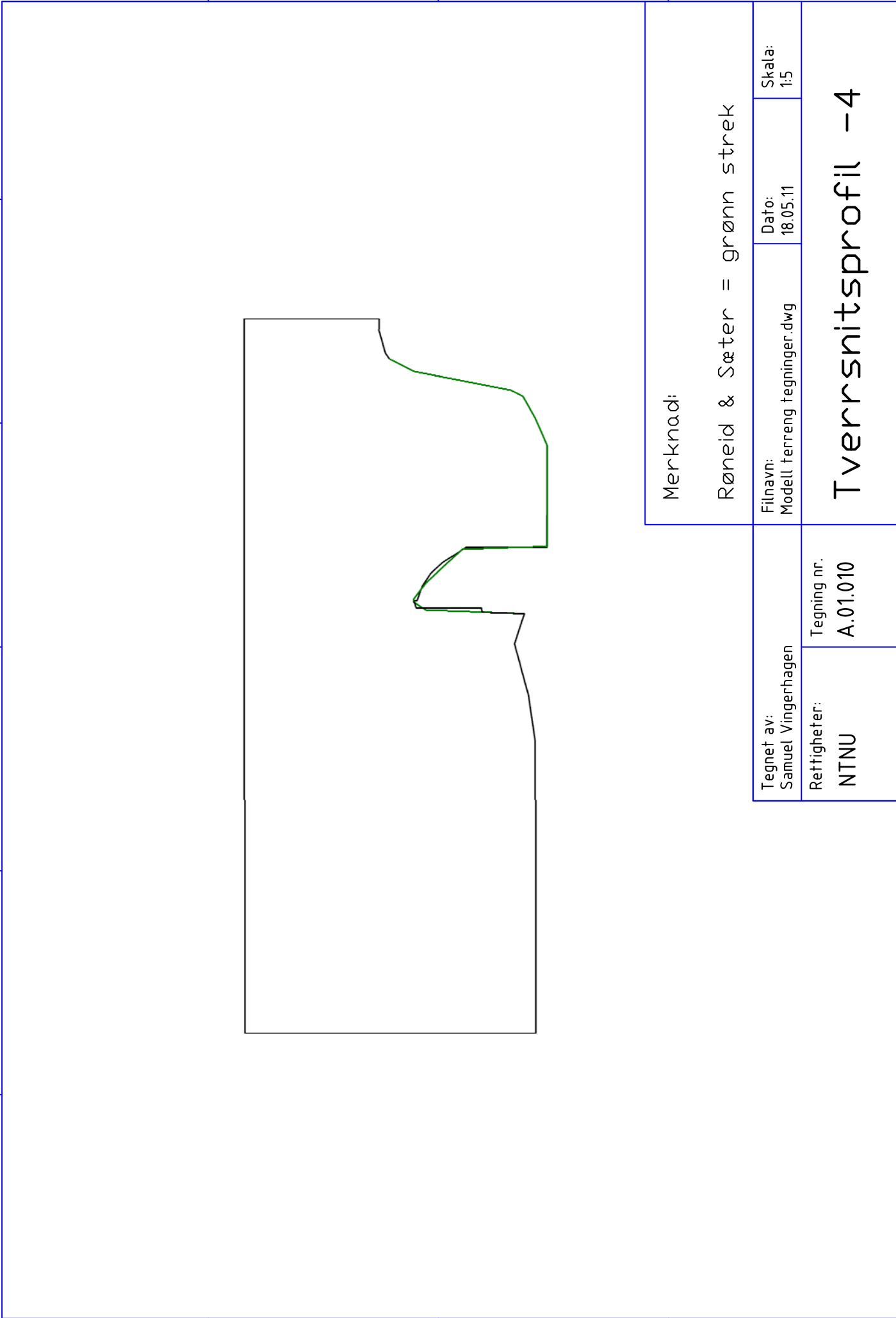
5

4

3

2

1



Merknad:

Røneid & Sæter = grønn strek

Tegnet av:  
Samuel Vingerhagen

Skala:  
1:5

Dato:  
18.05.11

Filnavn:  
Modell terreng tegninger.dwg

Tegning nr.  
A.01.010

Retthigheter:  
NTNU

Tverrsnittprofil -4

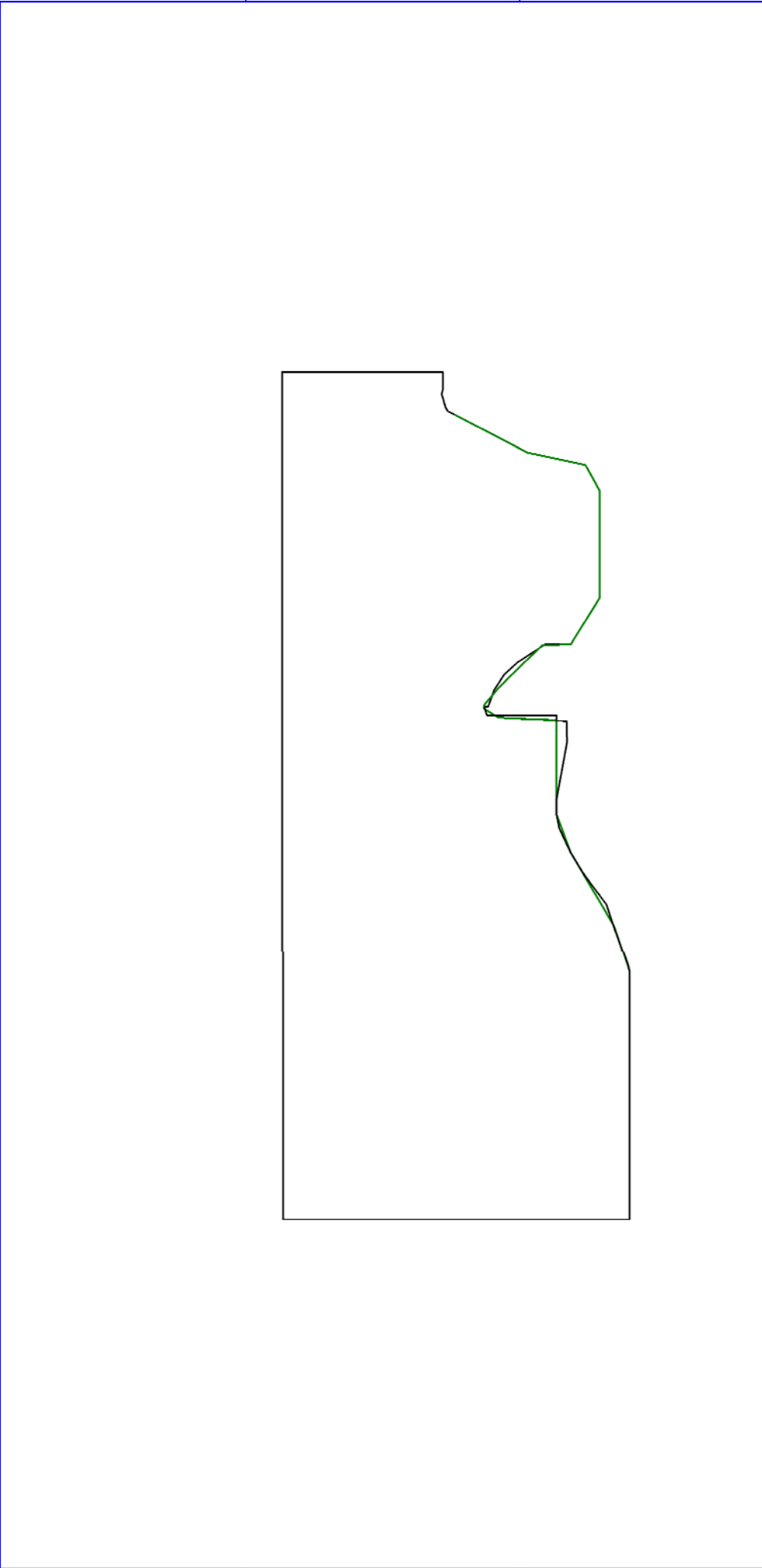
A

B

C

D

1 2 3 4 5 6



A

B

C

D

1 2 3 4 5 6

Merknad:

Røneid & Sæter = grønn strek

Tegnet av:  
Samuel Vingerhagen

Filnavn:  
Modell terreng tegninger.dwg

Dato:  
18.05.11

Skala:  
1:5

Tegning nr.  
A.01.011

Retthigheter:  
NTNU

# Tverrsnittprofil -5

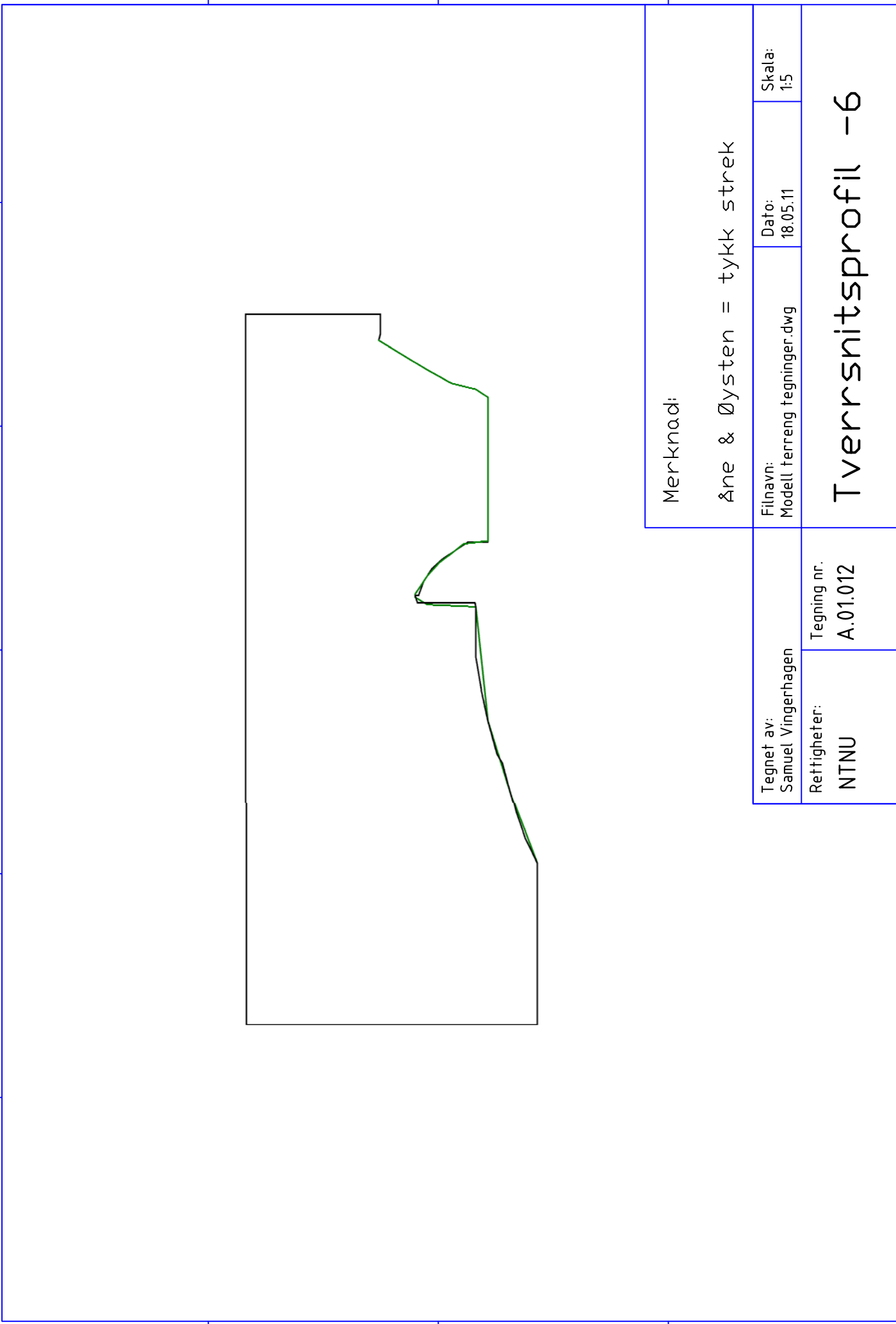
A

B

C

D

1 2 3 4 5 6



A

B

C

D

1 2 3 4 5 6

Merknad:

Åne & Øysten = tykk strek

Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Tegning nr. A.01.012
Retthigheter: NTNU	

Filnavn: Modell terreng tegninger.dwg	Dato: 18.05.11
--	-------------------

Skala: 1:5
---------------

# Tverrsnittprofil -6

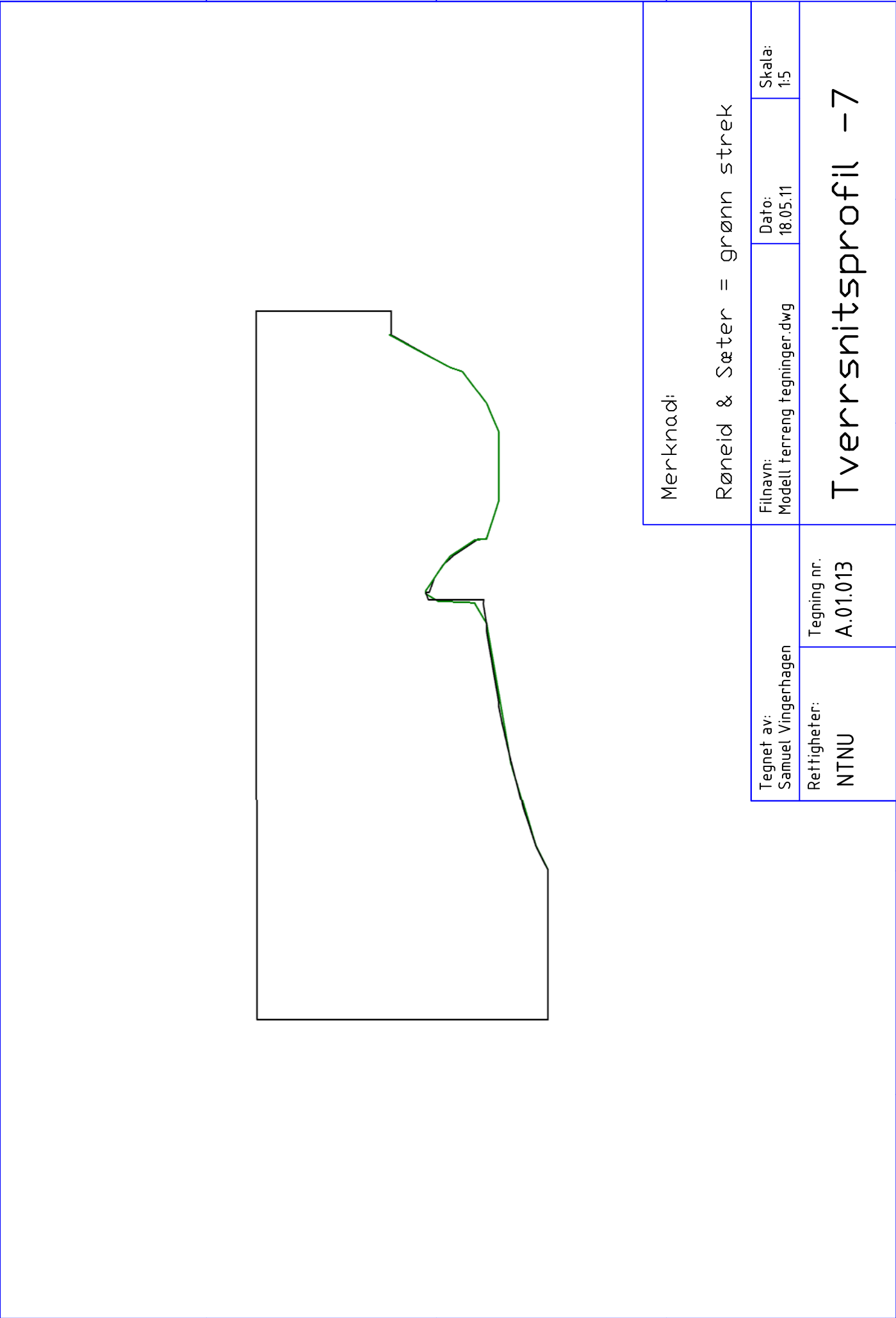
A

B

C

D

1 2 3 4 5 6



A

B

C

D

1 2 3 4 5 6

Merknad:

Røneid & Sæter = grønn strek

Tegnet av:  
Samuel Vingerhagen

Skala:  
1:5

Dato:  
18.05.11

Filnavn:  
Modell terreng tegninger.dwg

Retthigheter:  
NTNU

Tegning nr.  
A.01.013

Tverrsnittprofil -7

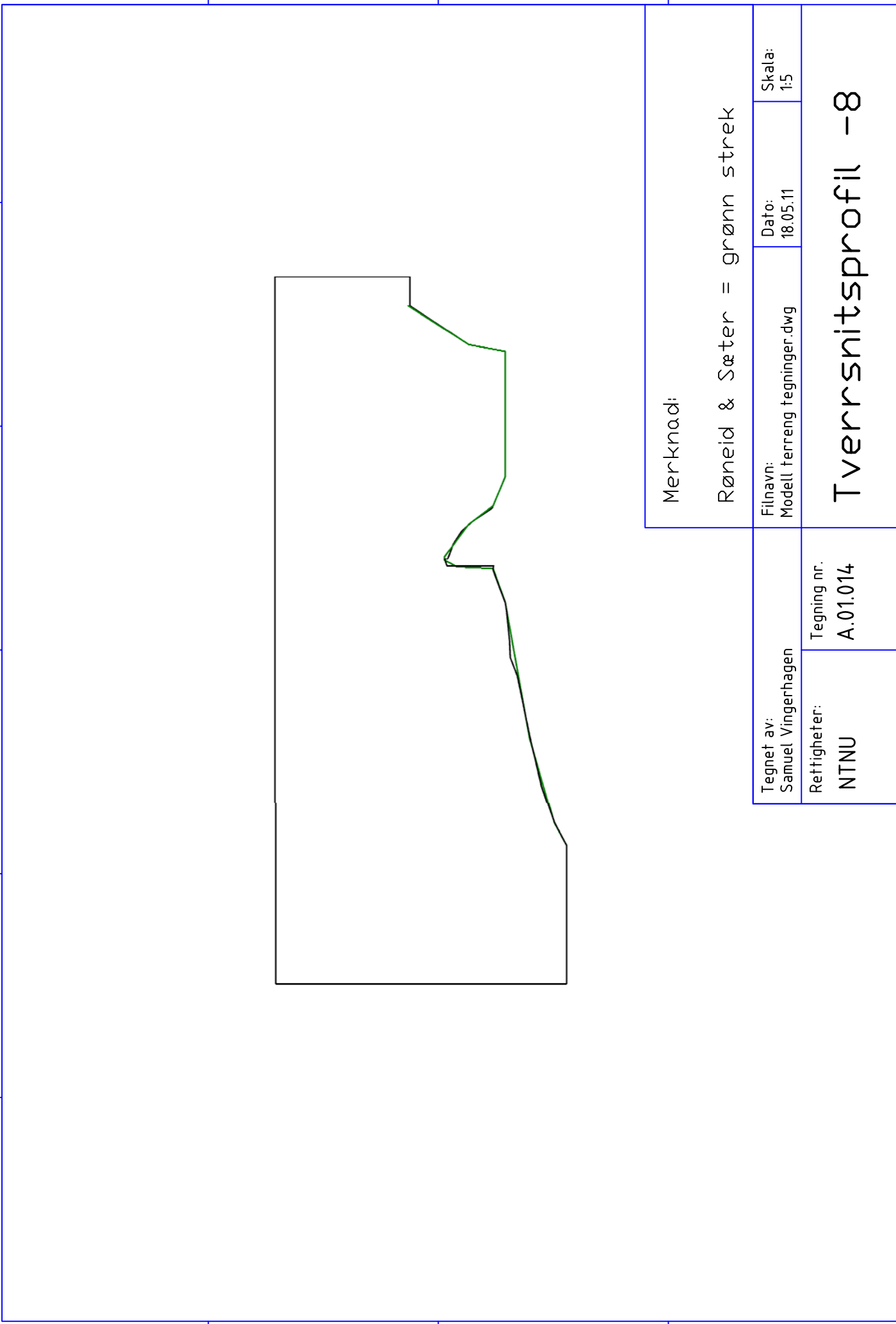
A

B

C

D

1 2 3 4 5 6



A

B

C

D

Merknad:

Røneid & Sæter = grønn strek

Tegnet av:  
Samuel Vingerhagen

Tegning nr.  
A.01.014

Dato:  
18.05.11

Skala:  
1:5

Filnavn:  
Modell terreng tegninger.dwg

Tverrsnittprofil -8

Retthigheter:  
NTNU

1 2 3 4 5 6

A

B

C

D

6

5

4

3

2

1

A

B

C

D

6

5

4

3

2

1



A

B

C

D

1 2 3 4 5 6



A

B

C

D

1 2 3 4 5 6

Merknad:

Røneid & Sæter = grønn strek

Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell terreng tegninger.dwg	Dato: 18.05.11	Skala: 1:5
Retthigheter: NTNU	Tverrsnittsprøfil -10		
Tegning nr. A.01.016			

A

B

C

D

6

5

4

3

2

1

A

B

C

D

6

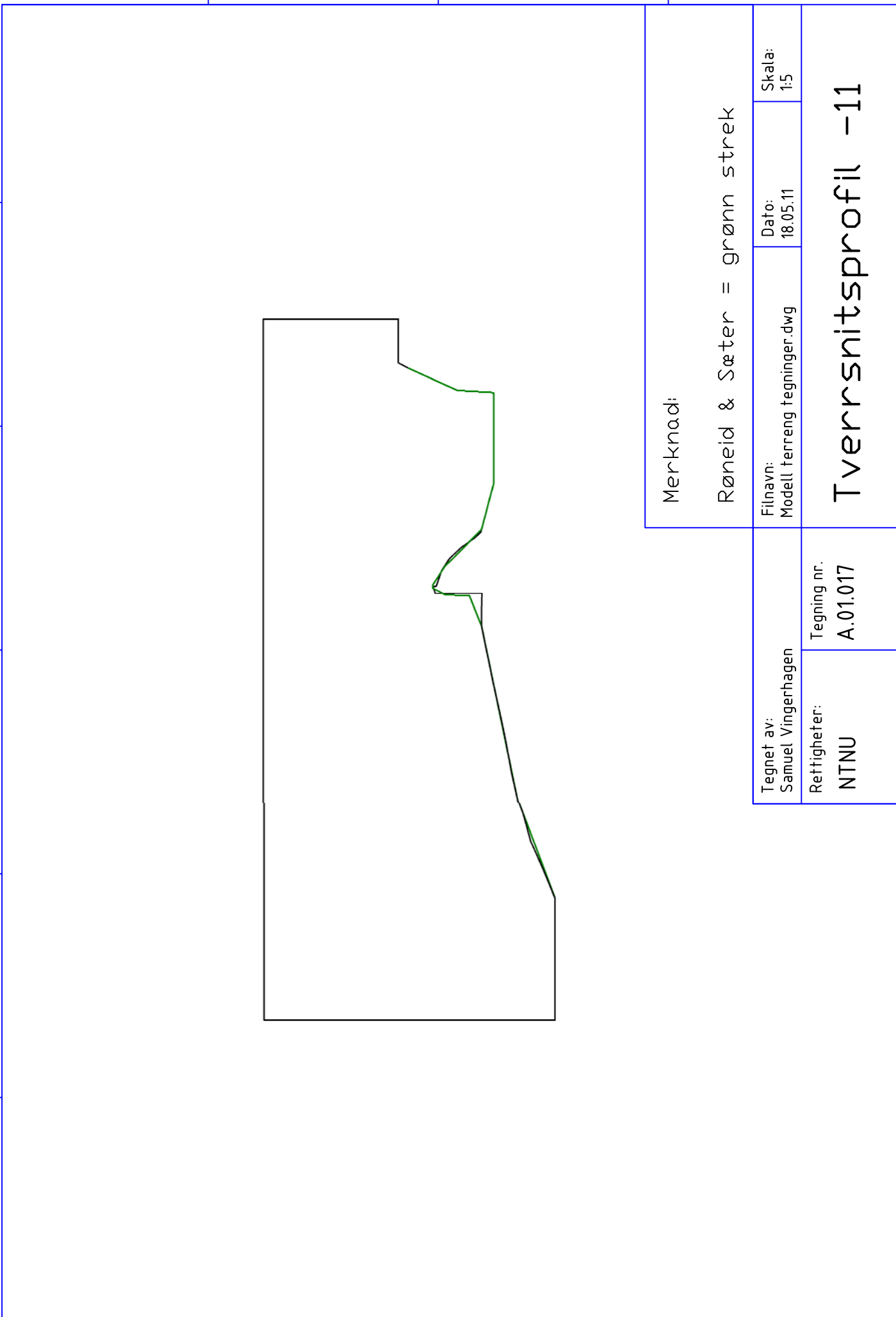
5

4

3

2

1



Merknad:

Røneid & Sæter = grønn strek

Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell terreng tegninger.dwg	Dato: 18.05.11	Skala: 1:5
Retthigheter: NTNU	Tegning nr. A.01.017		

# Tverrsnittprofil -11

A

B

C

D

A

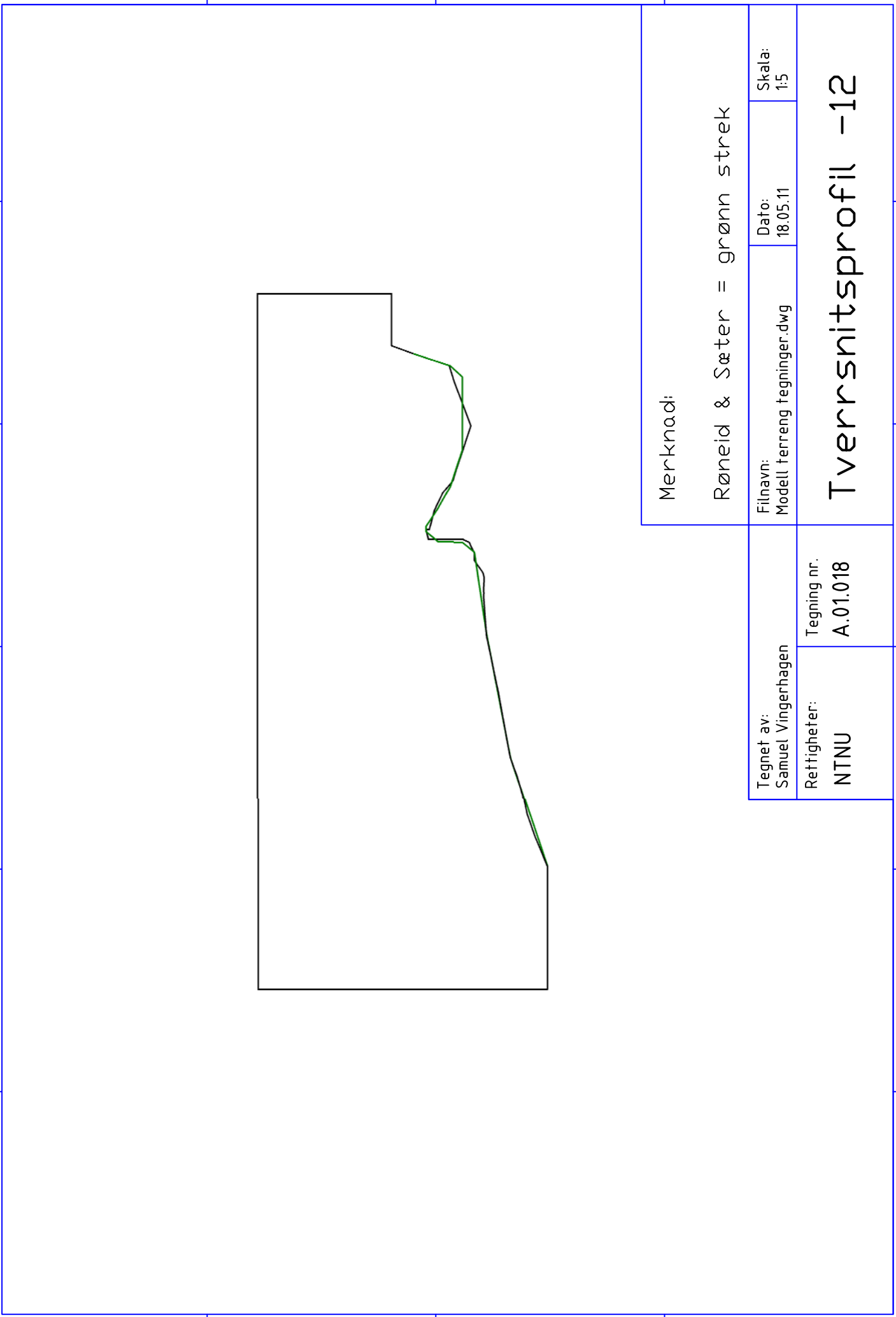
B

C

D

1 2 3 4 5 6

1 2 3 4 5 6



Merknad:

Røneid & Sæter = grønn strek

Tegnet av: Samuel Vingerhagen		Filnavn: Modell terreng tegninger.dwg		Dato: 18.05.11		Skala: 1:5	
Retthigheter: NTNU		Tegning nr. A.01.018		<b>Tverrsnittprofil -12</b>			

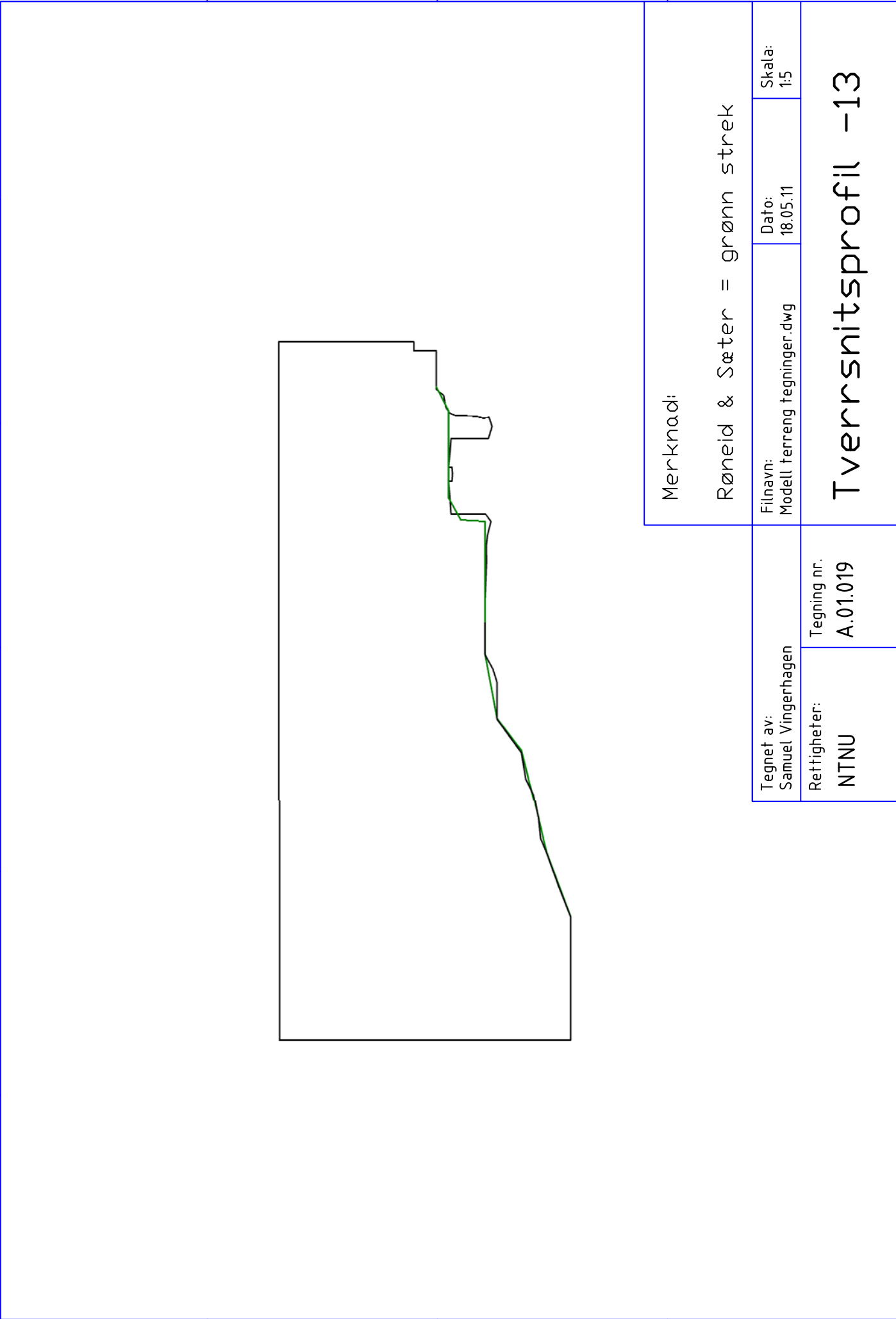
A

B

C

D

1 2 3 4 5 6



Merknad:

Røneid & Sæter = grønn strek

Tegnet av:  
Samuel Vingerhagen

Tegning nr.  
A.01.019

Filnavn:  
Modell terreng tegninger.dwg

Dato:  
18.05.11

Skala:  
1:5

Retthigheter:  
NTNU

Tverrsnittprofil -13

A

B

C

D

1

2

3

4

5

6

A

B

C

D

6

5

4

3

2

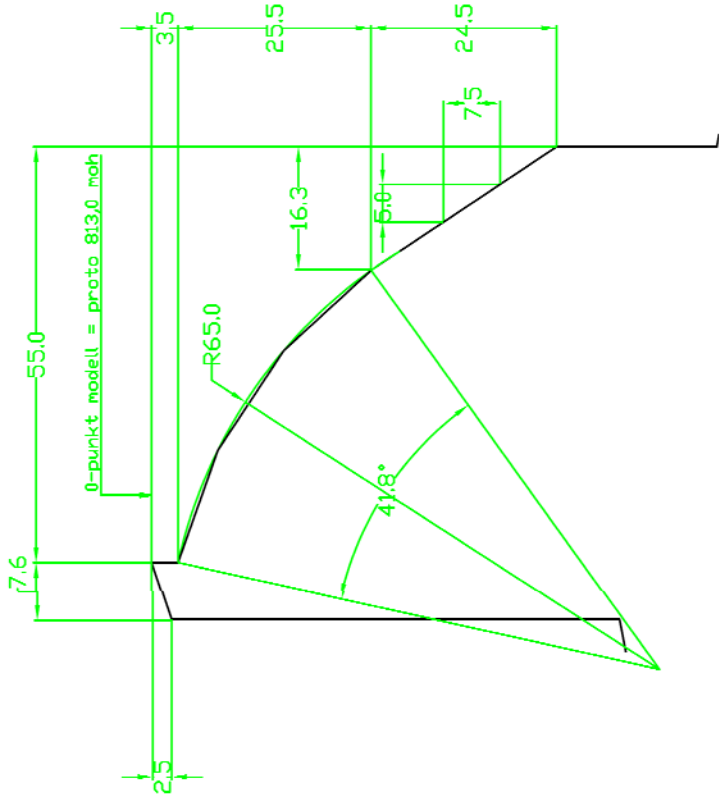
1

A

B

C

D



6

5

4

3

2

1

Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell terreng tegninger.dwg	Dato: 19.05.11	Skala: 1:1
Retthigheter: NTNU	Tegning nr. A.01.020		

# Overløpsprofil



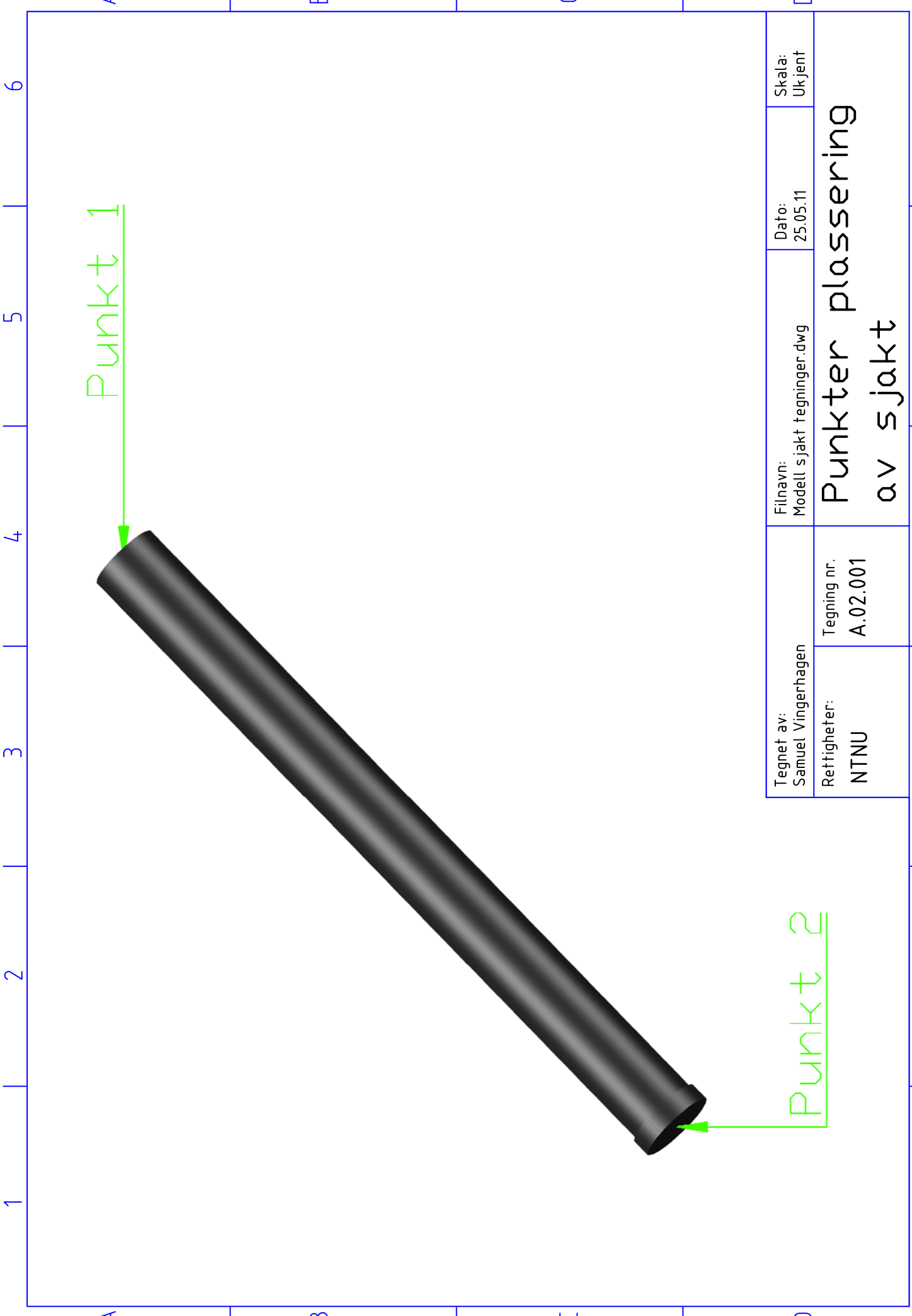
## A.02 Beskrivelse Sjakt

Sjakt passerer ut fra 2 punkter som vist i appendiks [A.02.001]. De to punktene er senterpunktene i endene av sjakten. Sjakten består av et tverrsnitt som er rotert rundt senterlinjen mellom de to punktene. Målene på sjakten uten ruhet finnes i appendiks [A.02.002], og målene for sjakten med ruhet finnes i appendiks [A.02.003]

Sett i forhold til det lokale koordinatsystemet i [A.01.002] er disse punktene plassert som følger:

	X	Y	Z
Punkt 1	35.6552	173.1887	-297.0495
Punkt 2	609.8608	114.2533	-1123.0899

3D-modeller av sjaktene finnes i appendiks [E.03]



Punkt 1

Punkt 2

Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell sjakt tegninger.dwg	Dato: 25.05.11	Skala: Ukjent
Rettheter: NTNU	Tegning nr. A.02.001	Punkter plassering av sjakt	

A

B

C

D

6

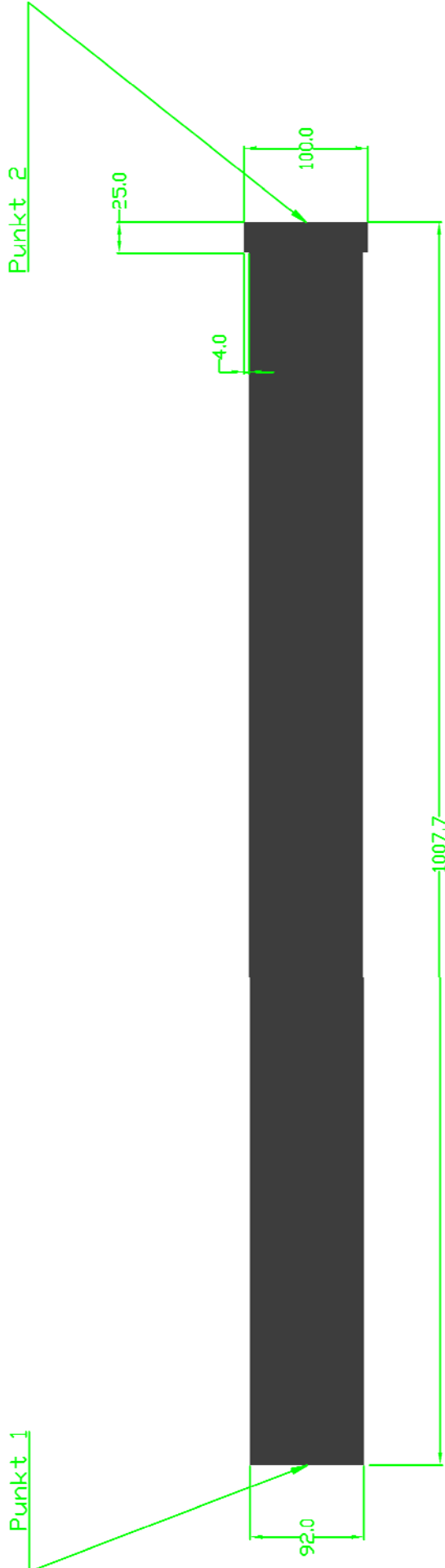
5

4

3

2

1



A

B

C

D

6

5

4

3

2

1

Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell terreng tegninger.dwg	Dato: 25.05.11	Skala: 1:5
Retthigheter: NTNU	Tegning nr. A.02.002	Tverrsnitt sjakt uten rur	

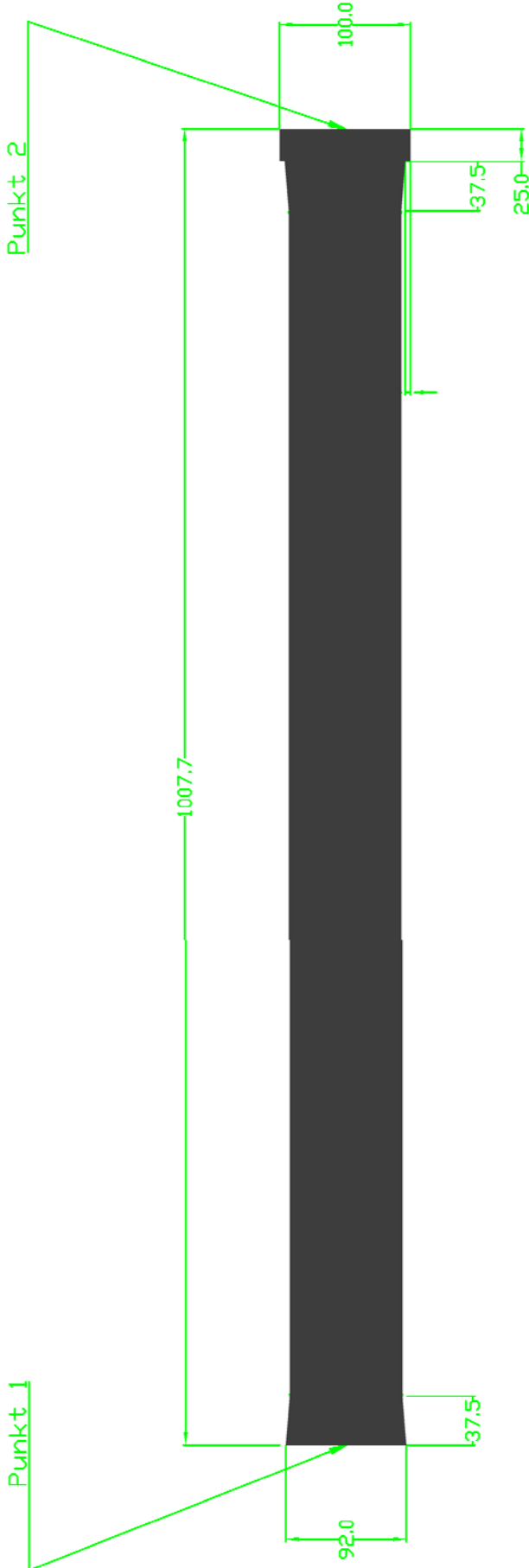
1 2 3 4 5 6

A A

B B

C C

D D



Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell sjakt tegninger.dwg	Dato: 25.05.11	Skala: 1:5
Retthheter: NTNU	Tegning nr. A.02.003	Tverrsnitt sjakt med røyr	

1 2 3 4 5 6

## A.03 Beskrivelse Samløp 1 og 2

Samløp 1 og 2 passerer ut fra 3 punkter som vist i appendiks [A.03.001].

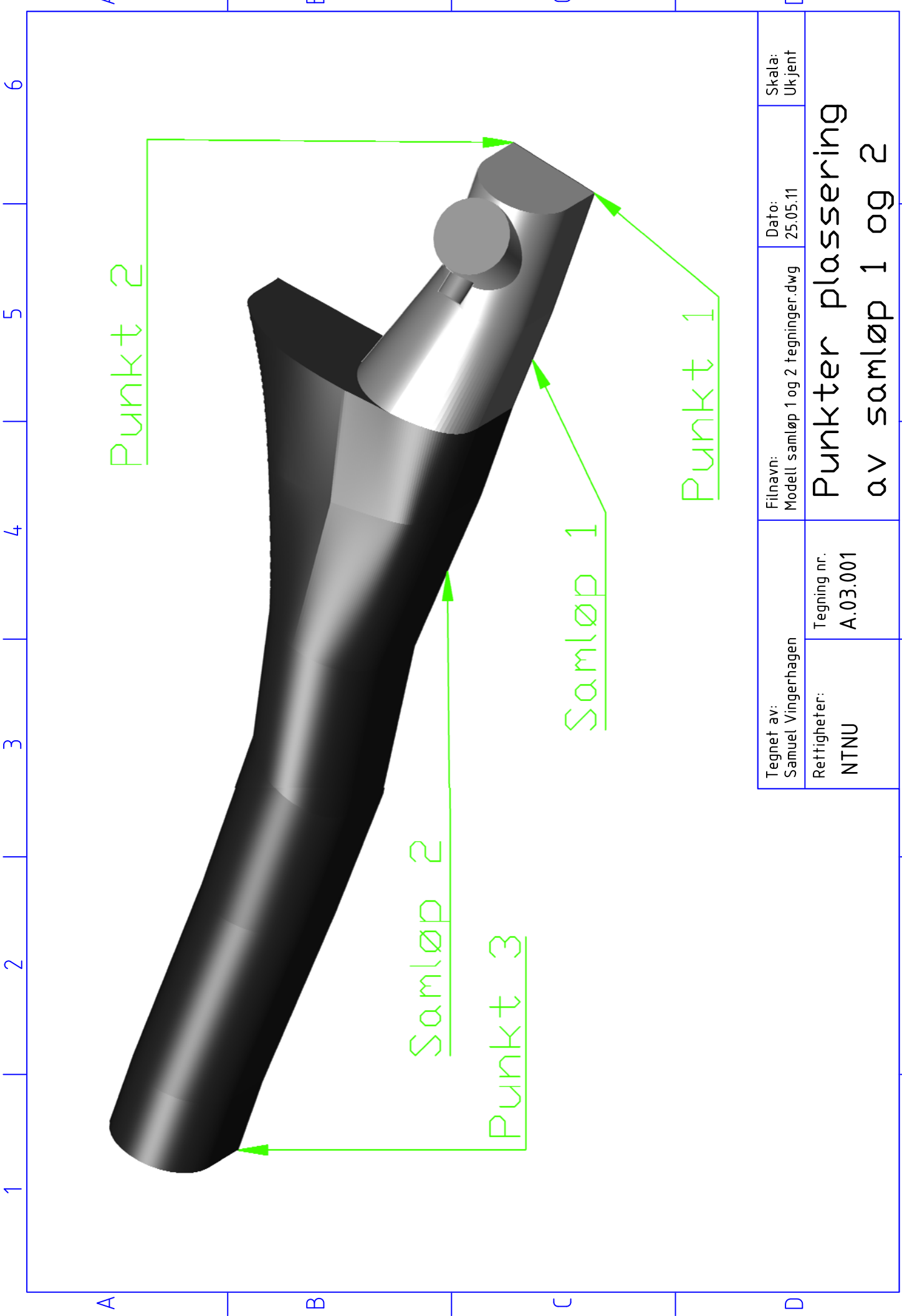
Sett i forhold til det lokale koordinatsystemet i [A.01.002] er disse punktene plassert som følger:

	X	Y	Z
Punkt 1	574.7863	187.3460	-1289.0166
Punkt 2	2057.4979	-65.1281	-1315.2633
Punkt 3	555.2593	61.9018	-1289.0979

Tverrsnittene i appendiks [A.03.005] til [A.03.012] plasseres på rett plass ved hjelp av tegningene i appendiks [A.03.003] og [A.03.004]. Der hvor det er vist at et tverrsnitt skal plasseres på to steder, skal det trekkes rette linjer i samme høyde mellom tverrsnittene. Disse rette linjene skal så forlenges eller kappes slik at den røde streken i appendiks [A.03.004] blir ytterkant. Tverrsnitt H-H i [A.03.004] er vist i appendiks [A.03.013]. I appendiks [A.03.013] vises det hvordan sjakten og luftingen til sjakten møtes i samløpet. Både sjakten og luftingen er sirkulære tverrsnitt som er rotert rundt normalene vist i [A.03.013]. Plassering av startpunkt normal, og retningen til normalene sett i forhold til det lokale aksesystemet i [A.03.003] er vist i tabellen nedenfor.

		X	Y	Z
Aksje sjakt	Startpunkt	42.998	66.7217	-166.7447
	Normal	0.5862	-0.0293	0.809618
Akse lufting sjakt	Startpunkt	132.6677	62.9210	-176.8862
	Normal	-0.8090	+0.0184	-0.5875

3D-modell av Samløp 1 og 2 finnes i appendiks [E.04]



Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell samløp 1 og 2 tegninger.dwg	Dato: 25.05.11	Skala: Ukjent
Retthheter: NTNU	Tegning nr. A.03.001	Punkter plassering av samløp 1 og 2	

1 2 3 4 5 6

A

B

C

D



A

B

C

D

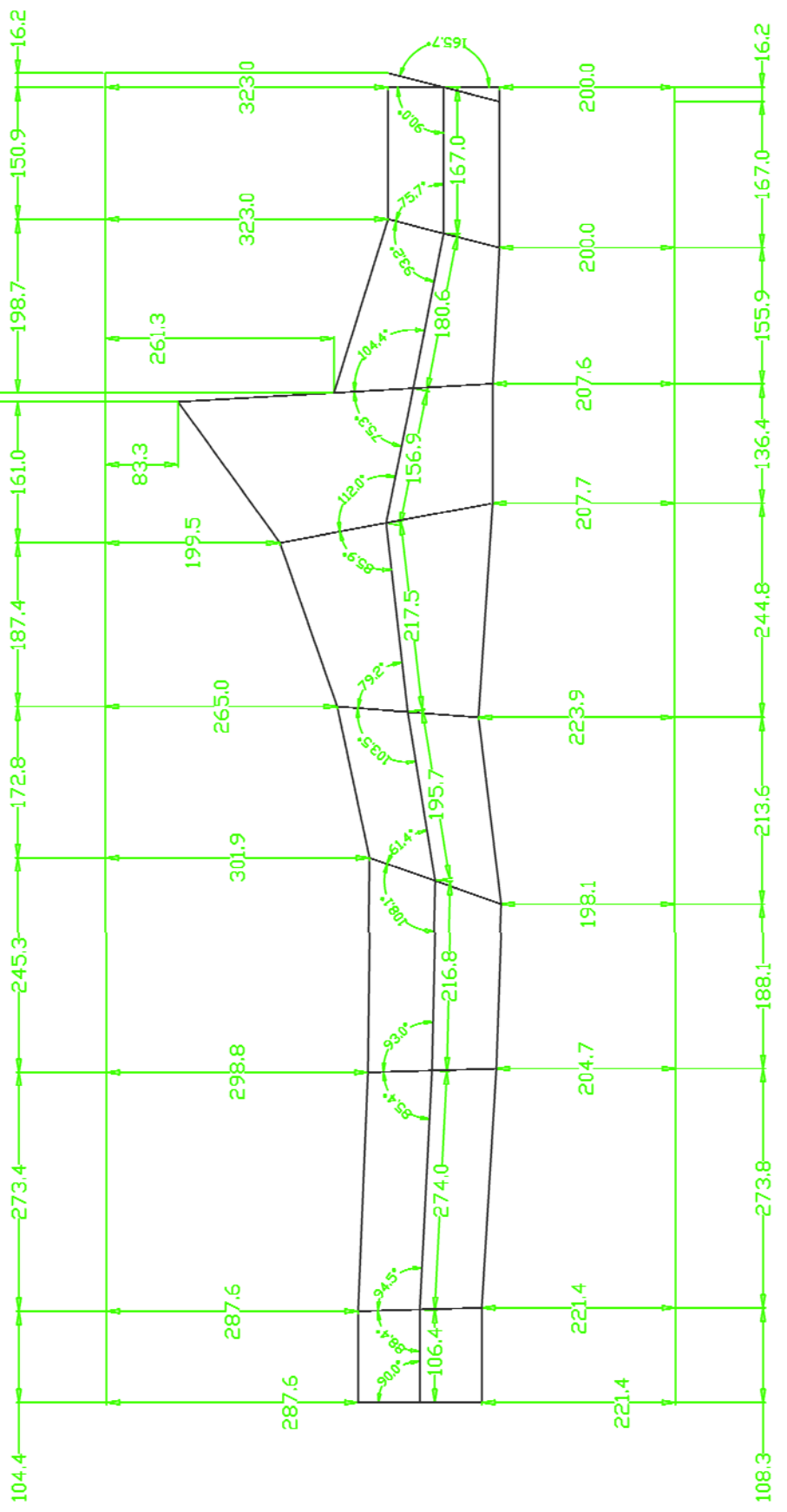


Y-aksen starter i punkt nr 1 i appendiks [A.03.001] og går gjennom punkt nr 2		Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell samløp 1 og 2 tegninger.dwg	Dato: 25.05.11	Skala: ukjent
X-aksen starter i punkt nr 1 og ligger i samme plan som dannes av Y-aksen og punkt nr 3. Med 90 graders vinkel i forhold til y-aksen		Rettinger: NTNU	Tegning nr. A.03.002		Lokalt aksesystem som 1 og 2
Z-aksen starter i punkt nr 1 og står normalt på X-Y-planet					

1 2 3 4 5 6

1 2 3 4 5 6

A A



Tegnet av: Samuel Vingerhagen		Filnavn: Modell samløp 1 og 2 tegninger.dwg	Dato: 26.05.11	Skala: 1:7.5
Retthigheter: NTNU		Tegning nr. A.03.003		Mål og vinkler samløp 1 og 2

1 2 3 4 5 6

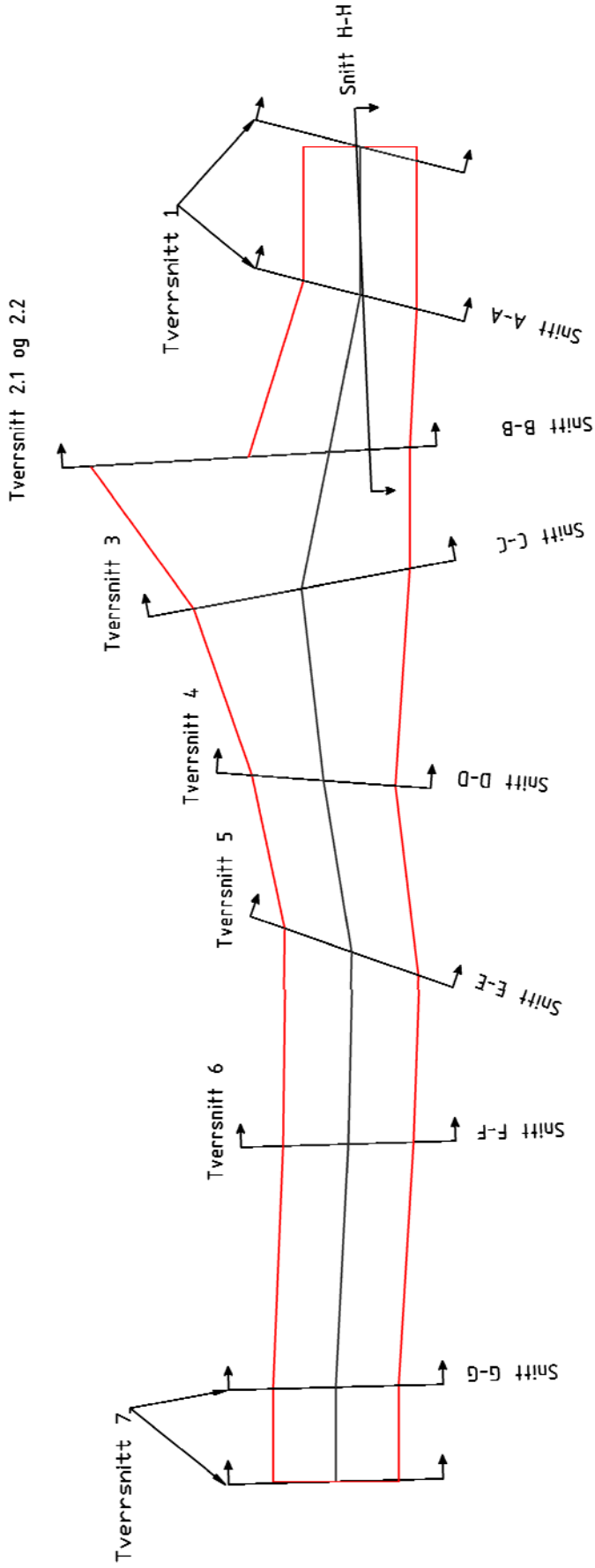
1 2 3 4 5 6

A A

B B

C C

D D



Tverrsnittene plasseres med bunnen normalt på denne tegningen  
 Bunnen på tverrsnittene skal passe akkurat innenfor den røde  
 ytterkanten som markerer bunnen til samløp 1 og 2.  
 Tverrsnittet lengst til venstre og høyre vil havne litt på utsiden av  
 den røde linjen. Snitt H-H står ikke normalt, men snitter langs  
 senterlinjen til sjakten og lufting til sjakt

Tegnet av:  
Samuel Vingerhagen

Retthigheter:  
NTNU

Tegning nr.  
A.03.004

Filnavn:  
Modell samløp 1 og 2 tegninger.dwg

Dato:  
26.05.11

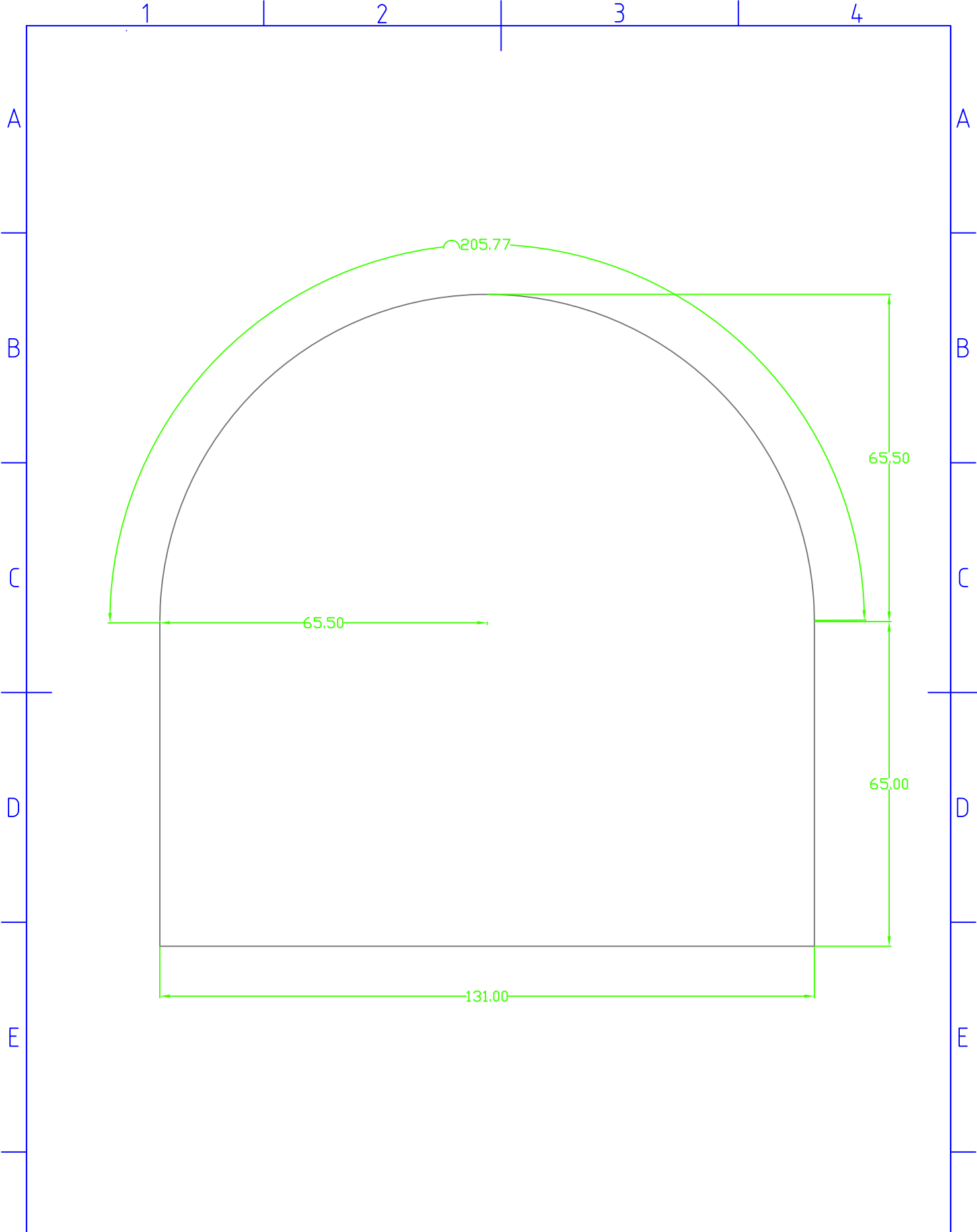
Skala:  
1:7.5

# Plassering av tverrsnitt i samløp

1 2 3 4 5 6

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



F	Areal: 152.54 cm <sup>2</sup>	Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell Samløp 1 og 2 tegninger.dwg	Dato: 26.05.2011	Skala: 1:1	F
	Omkrets: 466.8 mm	Rettigheter: NTNU	Tegning nr. A.03.005	Tverrsnitt 1 Snitt A-A		

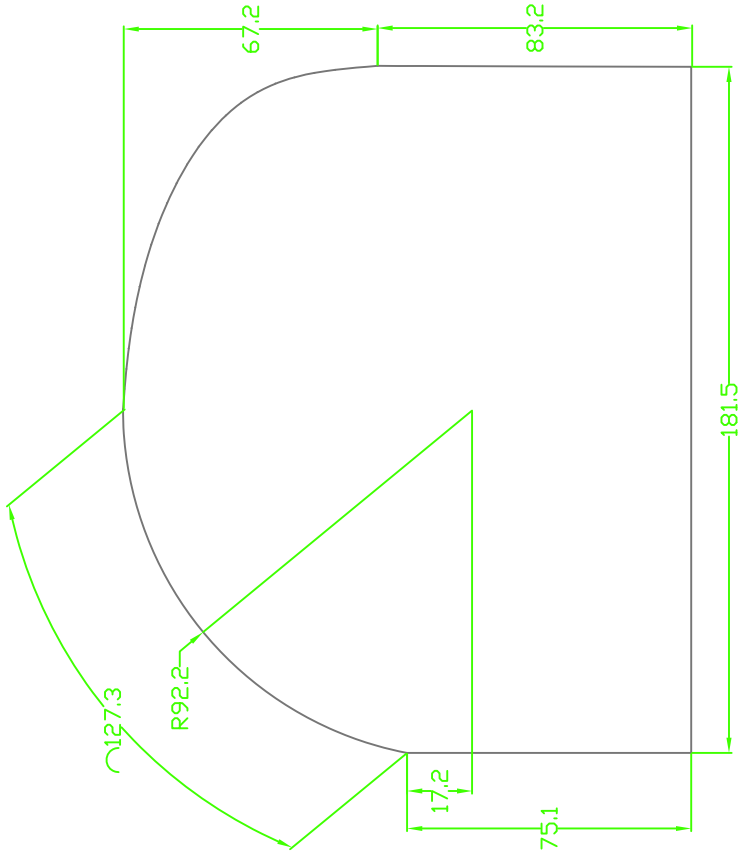
1 2 3 4 5 6

A

B

C

D



A

B

C

D

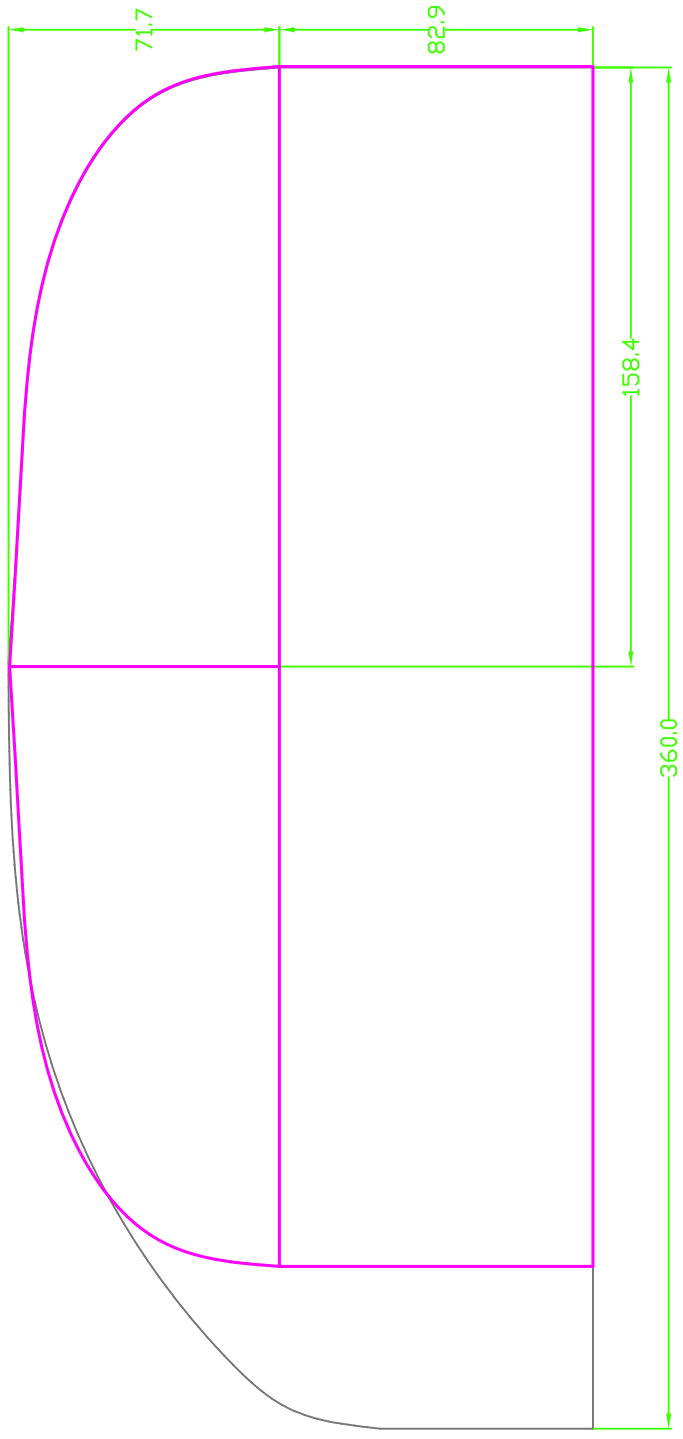
1 2 3 4 5 6

Areal: 244.27 cm <sup>2</sup>		Tegnet av: Samuel Vingerhagen		Filnavn: Modell samløp 1 og 2 tegninger.dwg		Dato: 26.05.11		Skala: 1:2	
Omkrets: 594.7 mm		Retthigheter: NTNU		Tegning nr. A.03.006		<b>Tverrsnitt 2.1</b> <b>Snitt B-B</b>			

1 2 3 4 5 6

A

A



71.7

82.9

158.4

360.0

Rosa figur er original tverrsnittet fra masteroppgaven til Røneid & Sæter

Det vises tydelig at modellene er like på høyre side fram til høysete punkt, men avviker på venstre side.

Areal:  
499,48 cm<sup>2</sup>

Omkrets:  
938,0 mm

Tegnet av:  
Samuel Vingerhagen

Retthigheter:  
NTNU

Tegning nr.  
A.03.007

Filnavn:  
Modell samløp 1 og 2 tegninger.dwg

Dato:  
26.05.11

Skala:  
1:2

# Tverrsnitt 2.2

## Snitt B-B

1 2 3 4 5 6

1 2 3 4 5 6

A

A

B

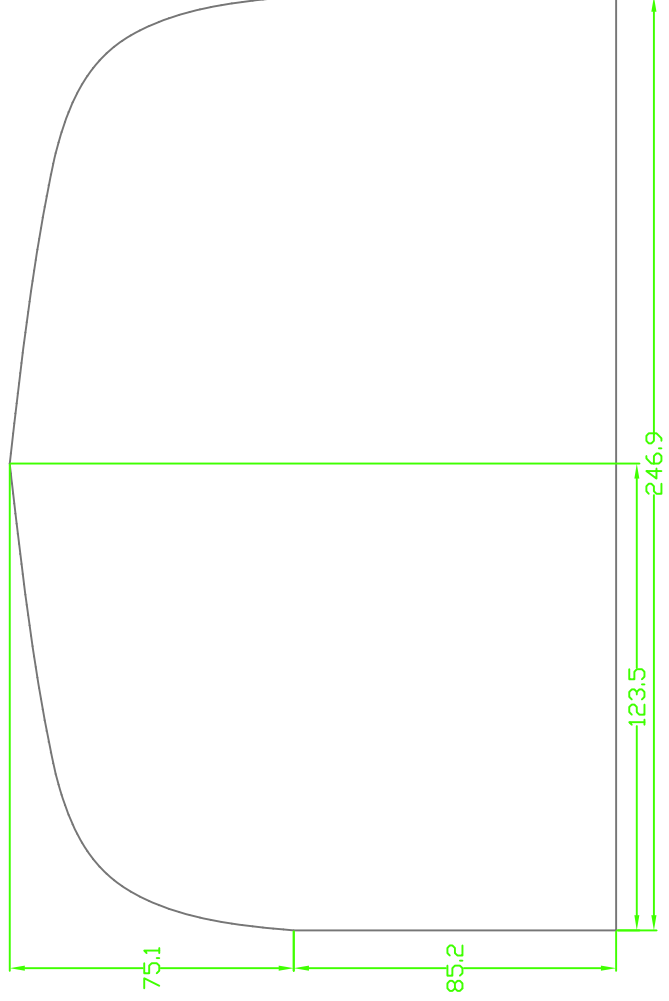
B

C

C

D

D

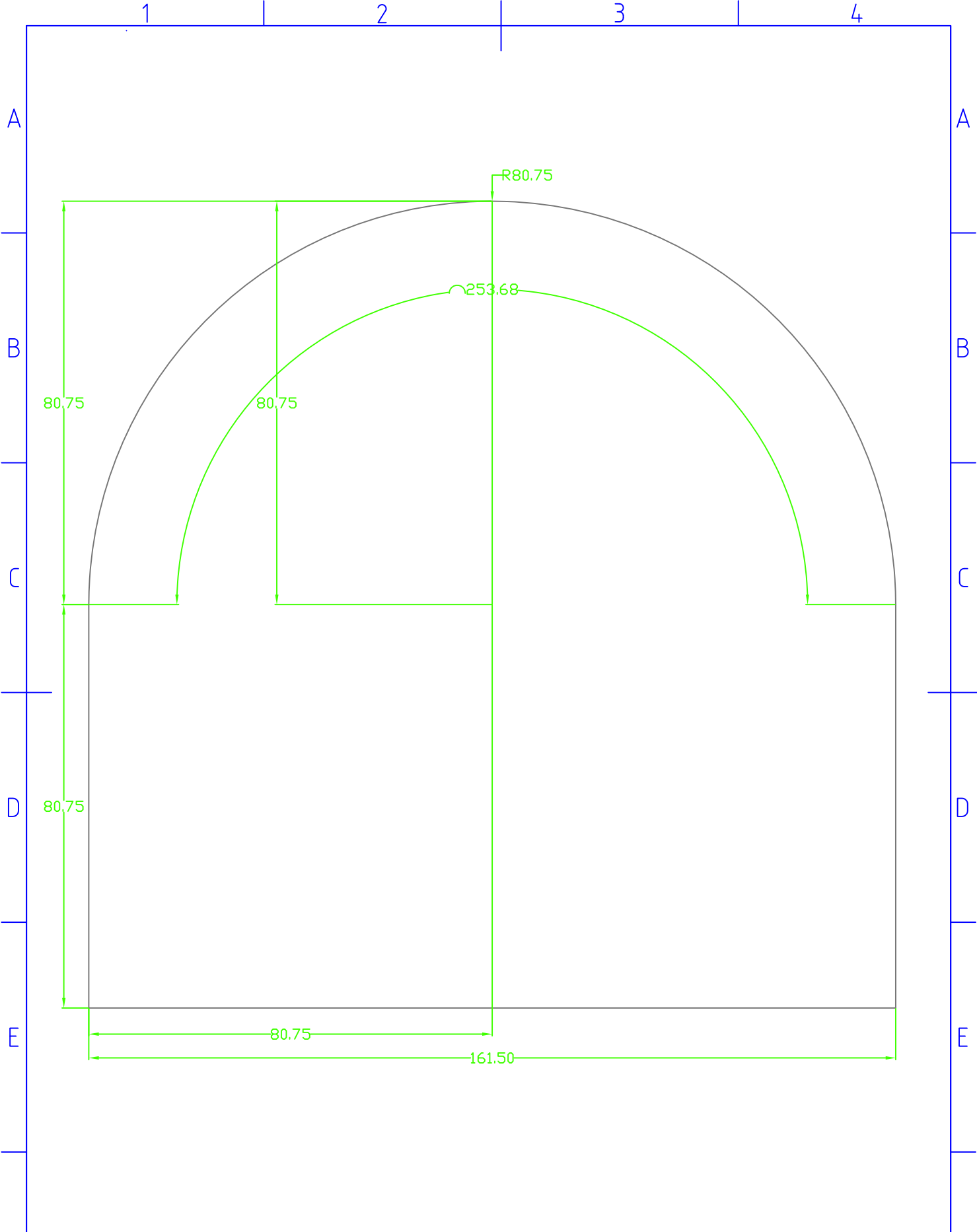


Areal: 365.83 cm2	Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell samløp 1 og 2 tegninger.dwg	Dato: 26.05.11	Skala: 1:2
Omkrets: 748.9 mm	Rettigheter: NTNU	Tegning nr. A.03.008	Tverrsnitt 3 Snitt C-C	

1 2 3 4 5 6

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

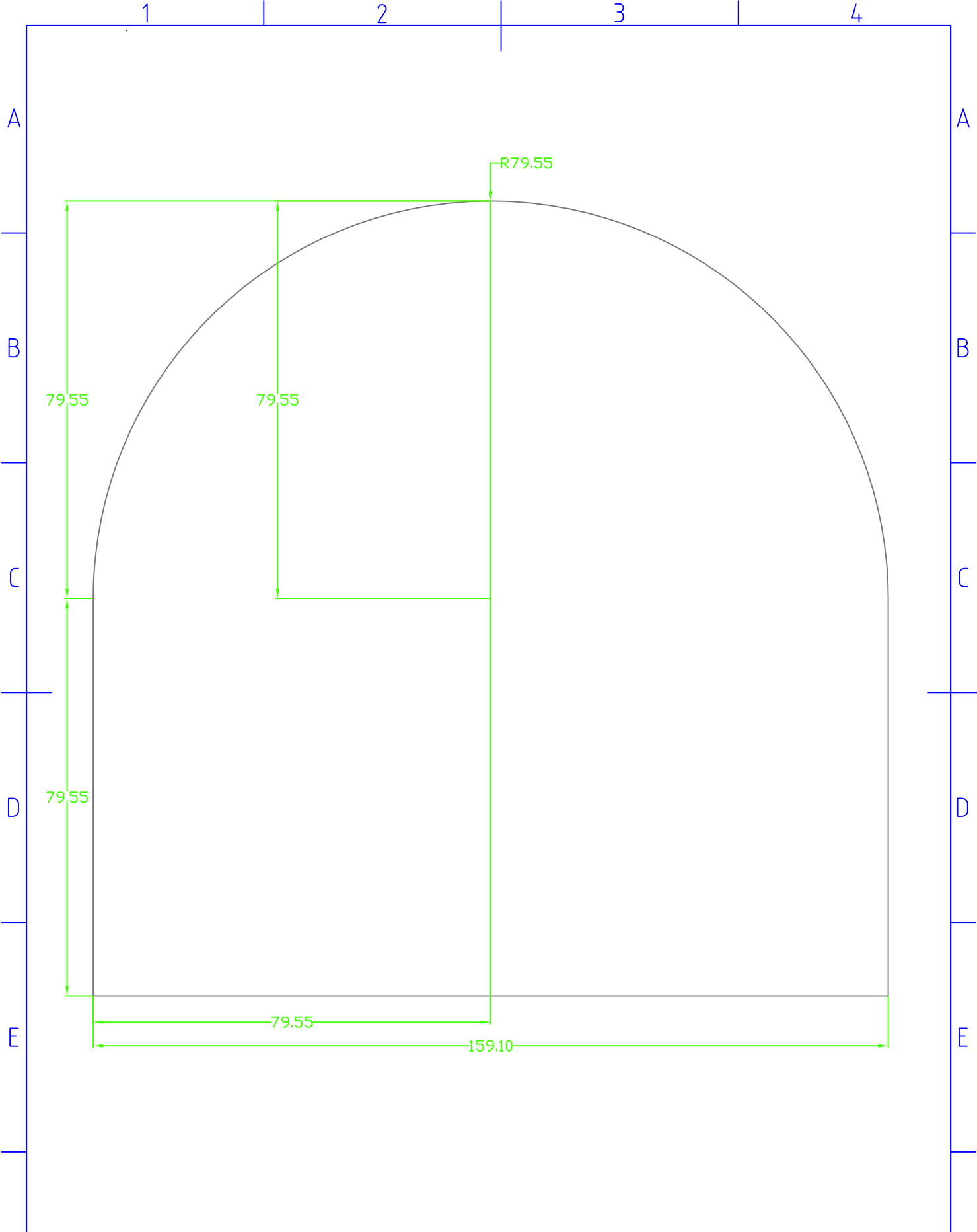
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



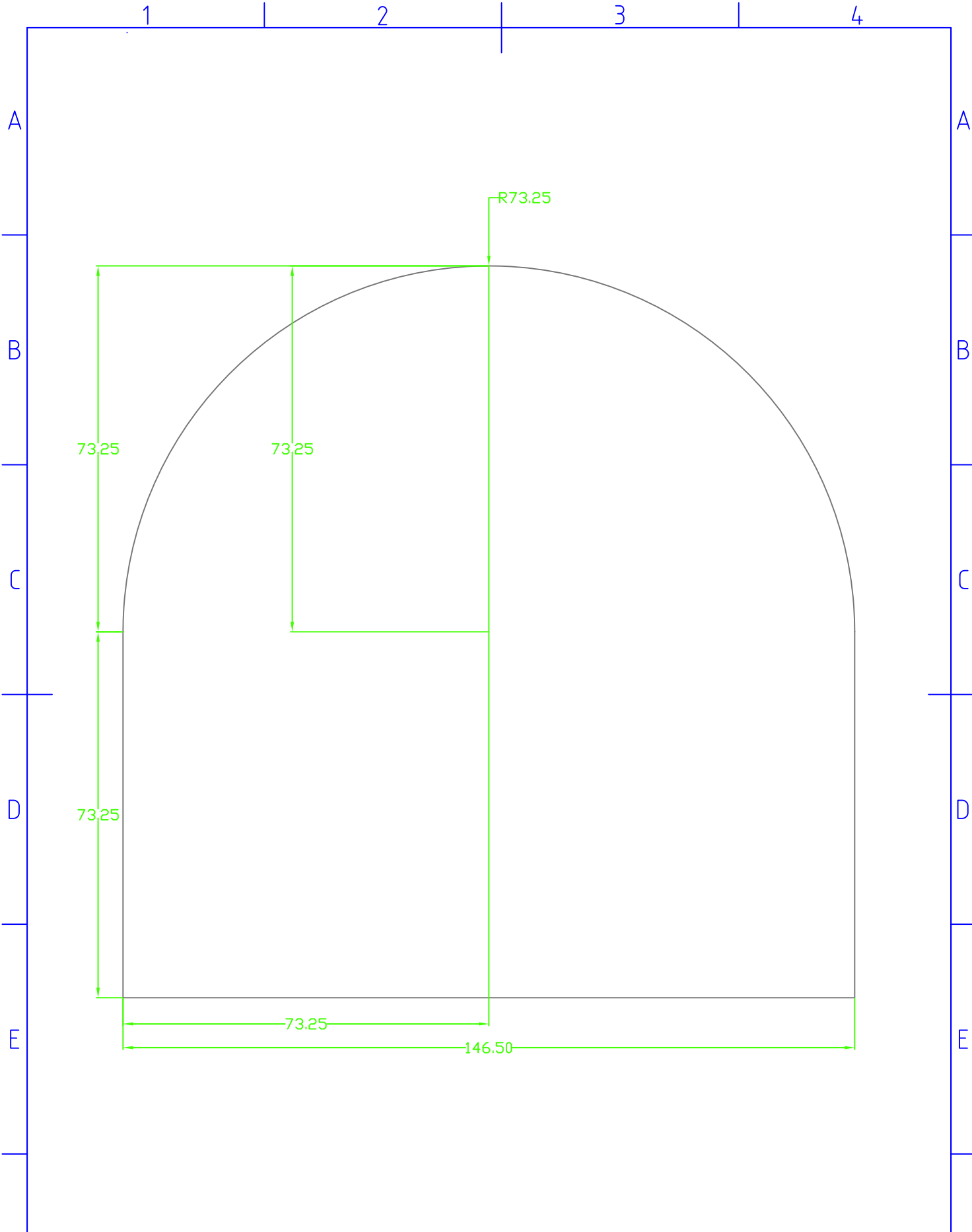
F	Areal: 232.84 cm <sup>2</sup>	Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell Samløp 1 og 2 tegninger.dwg	Dato: 26.05.2011	Skala: 1:1	F
	Omkrets: 576.68 mm	Rettigheter: NTNU	Tegning nr. A.03.009	Tverrsnitt 4 Snitt D-D		

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



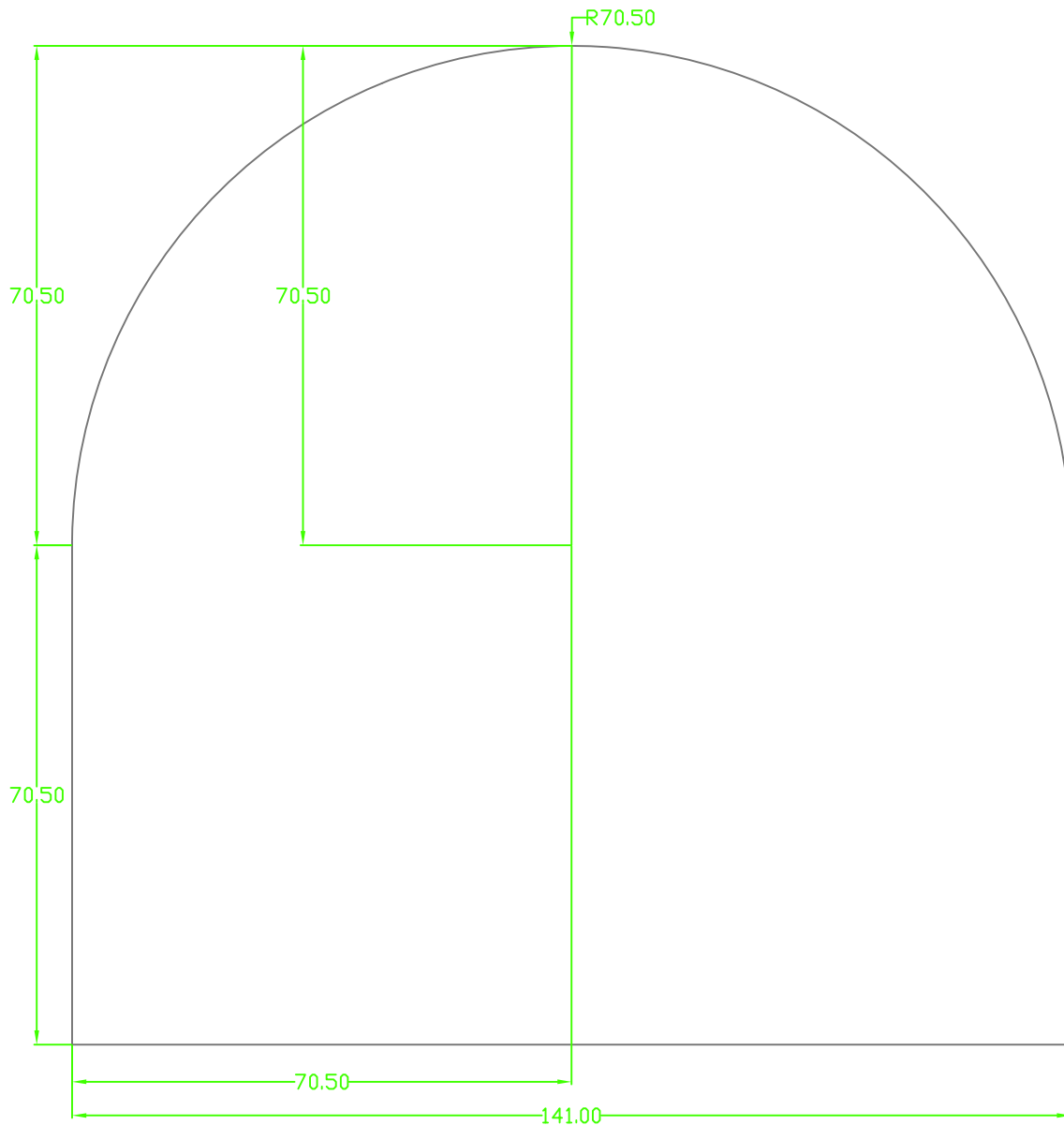
F	Areal: 225.97 cm <sup>2</sup>	Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell Samløp 1 og 2 tegninger.dwg	Dato: 26.05.2011	Skala: 1:1	F
	Omkrets: 568.11 mm	Rettigheter: NTNU	Tegning nr. A.03.010	Tverrsnitt 5 Snitt E-E		



F	Areal: 191.59 cm <sup>2</sup>	Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell Samløp 1 og 2 tegninger.dwg	Dato: 26.05.2011	Skala: 1:1	F
	Omkrets: 523.12 mm	Rettigheter: NTNU	Tegning nr. A.03.011	Tverrsnitt 6 Snitt F-F		

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



F	Areal: 177.48 cm <sup>2</sup>	Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell Samløp 1 og 2 tegninger.dwg	Dato: 26.05.2011	Skala: 1:1	F
	Omkrets: 503.48 mm	Rettigheter: NTNU	Tegning nr. A.03.012	Tverrsnitt 7 Snitt G-G		

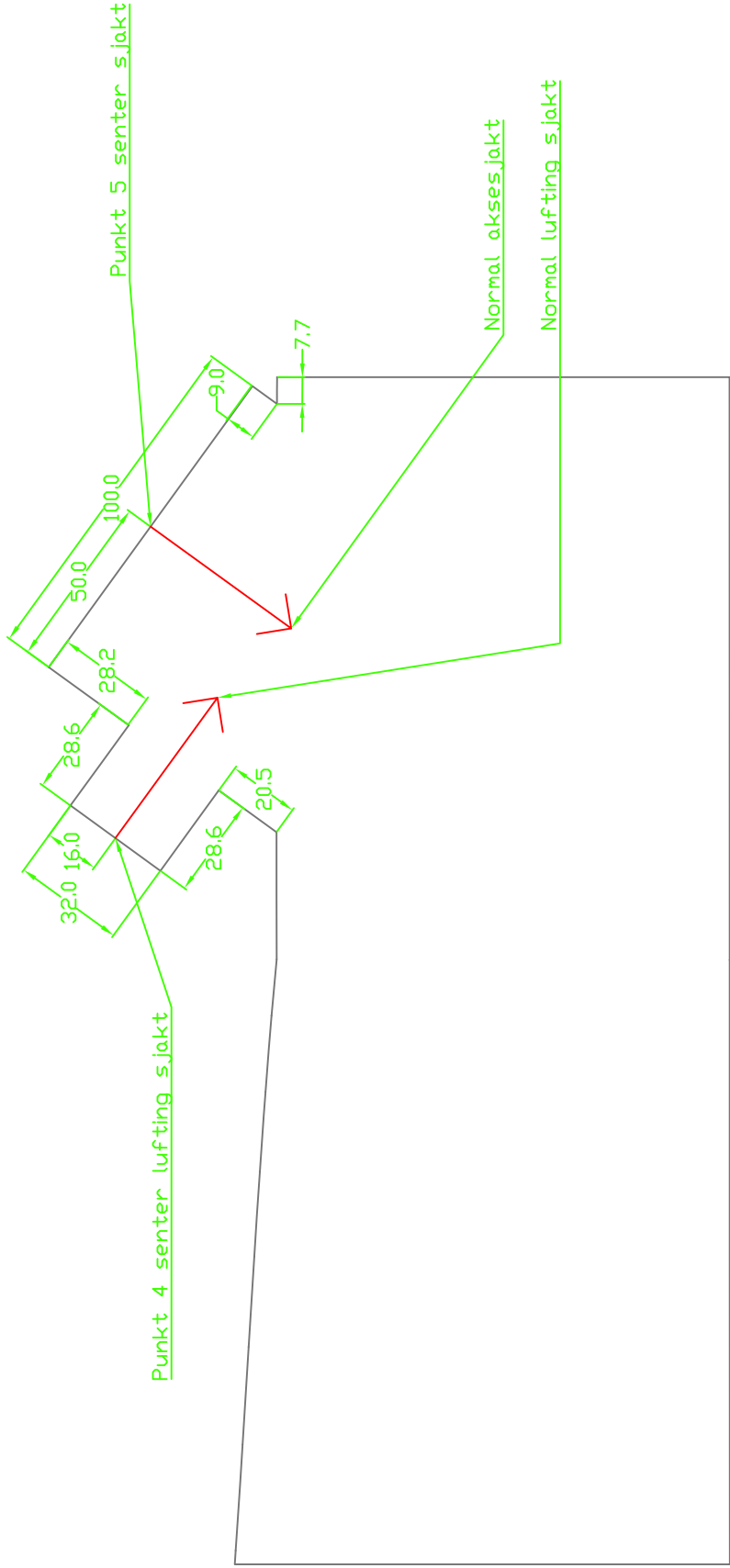
1 2 3 4 5 6

A A

B B

C C

D D



Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell samløp 1 og 2 tegninger.dwg	Dato: 27.05.11	Skala: 1:2
Retthheter: NTNU	Tegning nr. A.03.013	Snitt s.jakt og lufting s.jakt, snitt H-H	

1 2 3 4 5 6

## A.04 Beskrivelse Avløpstunnel

Avløpstunnel passerer ut fra 3 punkter som vist i appendiks [A.04.001].

Sett i forhold til det lokale koordinatsystemet i [A.01.002] er disse punktene plassert som følger:

	X	Y	Z
Punkt 1	8342.3356	-2329.5912	-2367.8048
Punkt 2	6825.8234	-2036.1746	-2367.8048
Punkt 3	8530.7648	-1355.7028	-2367.8048

I Appendiks [A.04.001] er det vist at Avløpstunnelen er bygd opp av mange deler. Del 1 til del 7 er plassert ut i fra det lokale koordinatsystemet vist i appendiks [A.04.002]. Delene har en diameter på 148mm og start og slutt punkt for de rette delene er vist i tabellen nedenfor.

		X	Y	Z
Del 1	Startpunkt	6596.3891	958.9786	-1119.4697
	Sluttpunkt	951.1376	1169.1681	-1022.2920
Del 3	Startpunkt	898.1907	1150.5066	-1014.7992
	Sluttpunkt	818.7675	1080.0716	-989.4292
Del 5	Startpunkt	790.2310	1042.2287	-958.4235
	Sluttpunkt	696.3026	767.0110	-594.1389
Del 7	Startpunkt	689.8713	752.5715	-539.7523
	Sluttpunkt	685.3930	816.9152	-4.5420

Mellom delene angitt i tabellen sitter del 2, 4 og 6 som er 45 graders bend som skal passe inn mellom de rette delene. Utformingen av bendene er vist i appendiks [A.04.007].

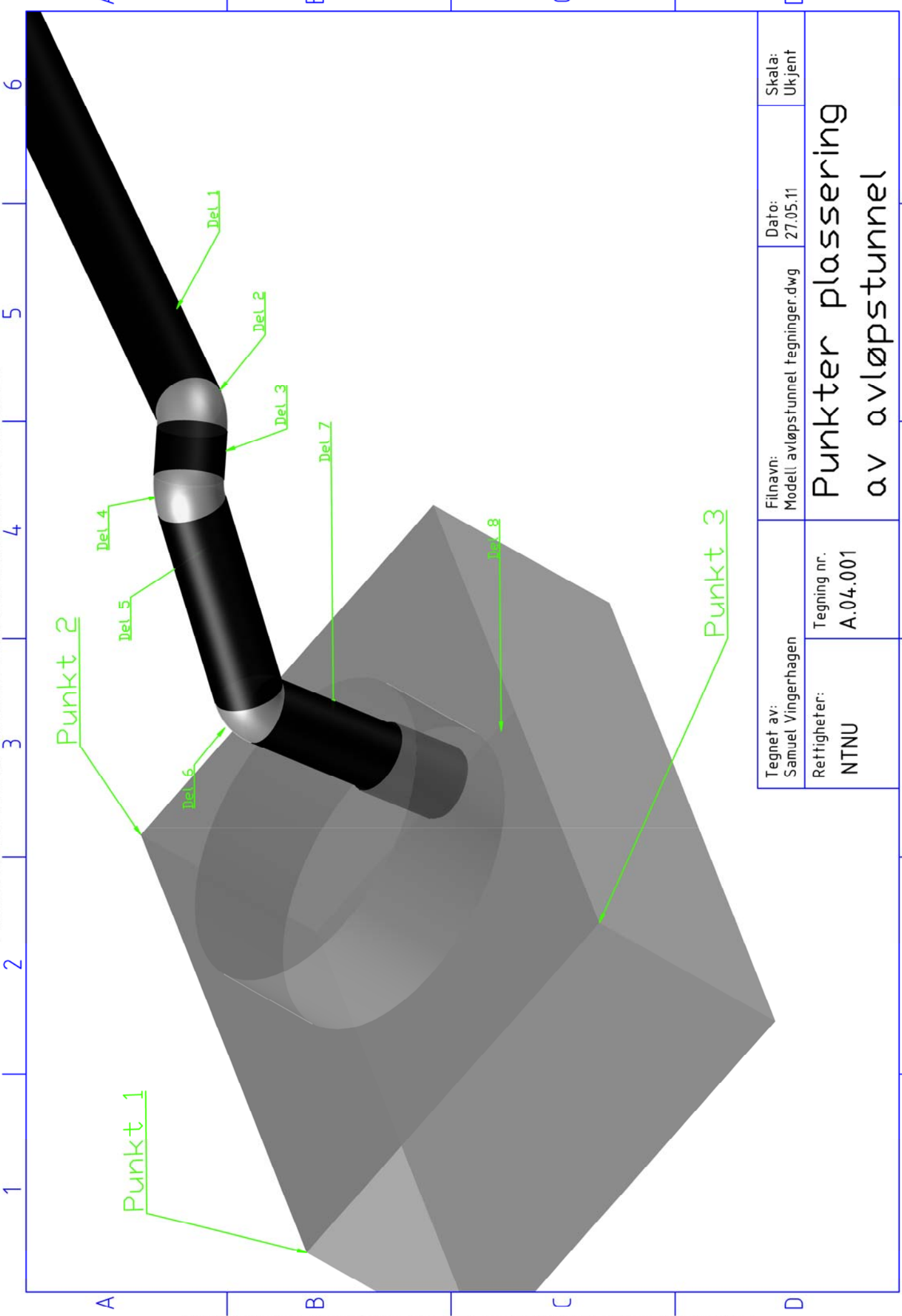
Del 7 har litt avvikende geometri mot enden og i appendiks [A.04.004] er utformingen vist. Del 7 er sirkulær hele veien.

Oppbyggingen av del 8 er vist i appendiks [A.04.003], [A.04.005] og [A.04.006]

Som kontroll for at avløpstunnelen plasseres på rett sted, skal startpunktet til del 1 være følgende sett i forhold til koordinatsystemet i appendiks [A.01.002]:

		X	Y	Z
Del 1	Startpunkt	2048.2186	-135.0343	-1248.3351

3D-modell av Avløpstunnel finnes i appendiks [E.05]



Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell avløpstunnel tegninger.dwg	Dato: 27.05.11	Skala: Ukjent
Rettinger: NTNU	Punkter plassering av avløpstunnel		
Tegning nr. A.04.001			

A

B

C

D

6

5

4

3

2

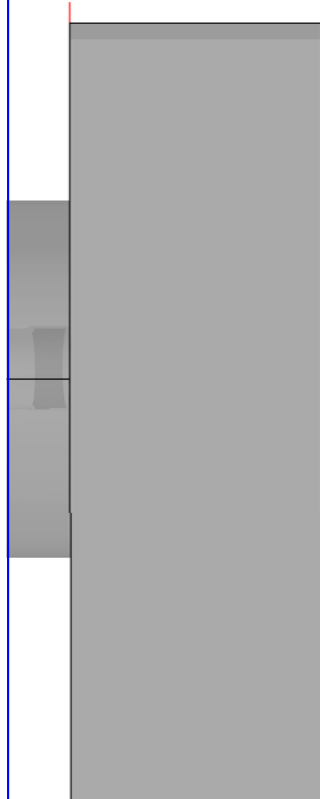
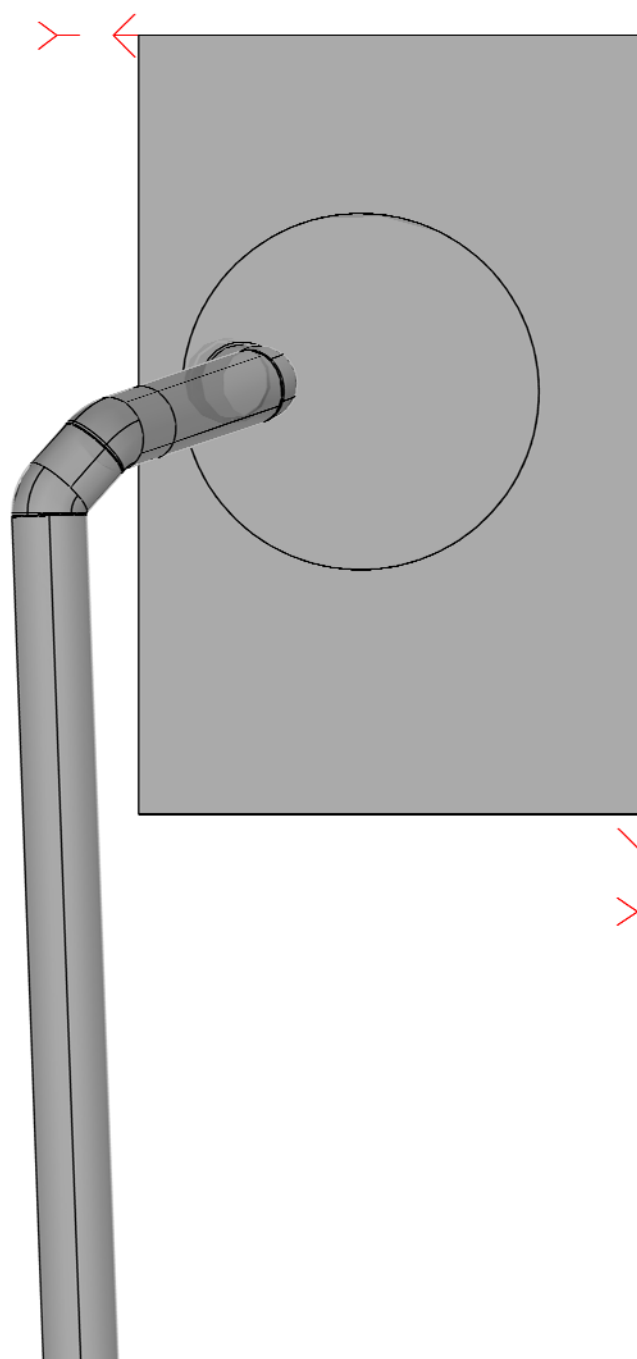
1

A

B

C

D



Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell avløpstunnel tegninger.dwg	Dato: 27.05.11	Skala: ukjent
Retthigheter: NTNU	Tegning nr. A.04.002	<h1>Lokal aksesystem</h1> <h2>løpsted</h2>	

6

5

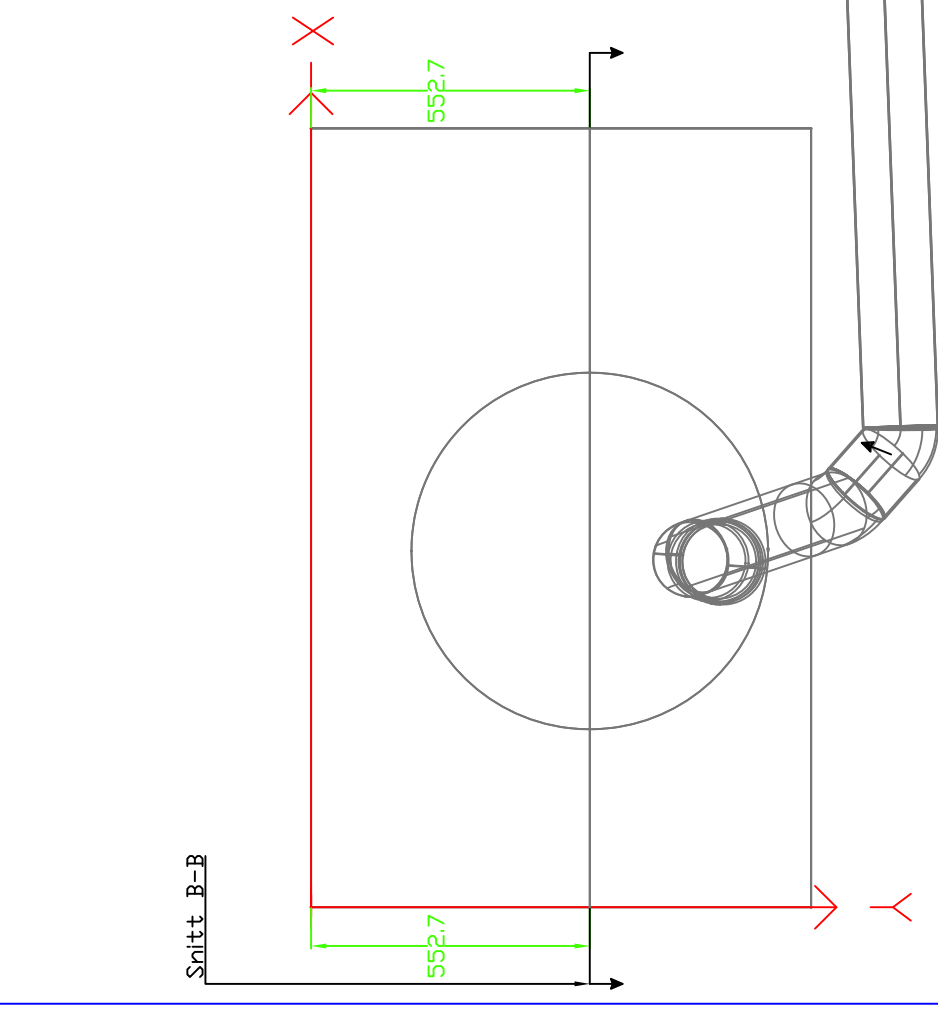
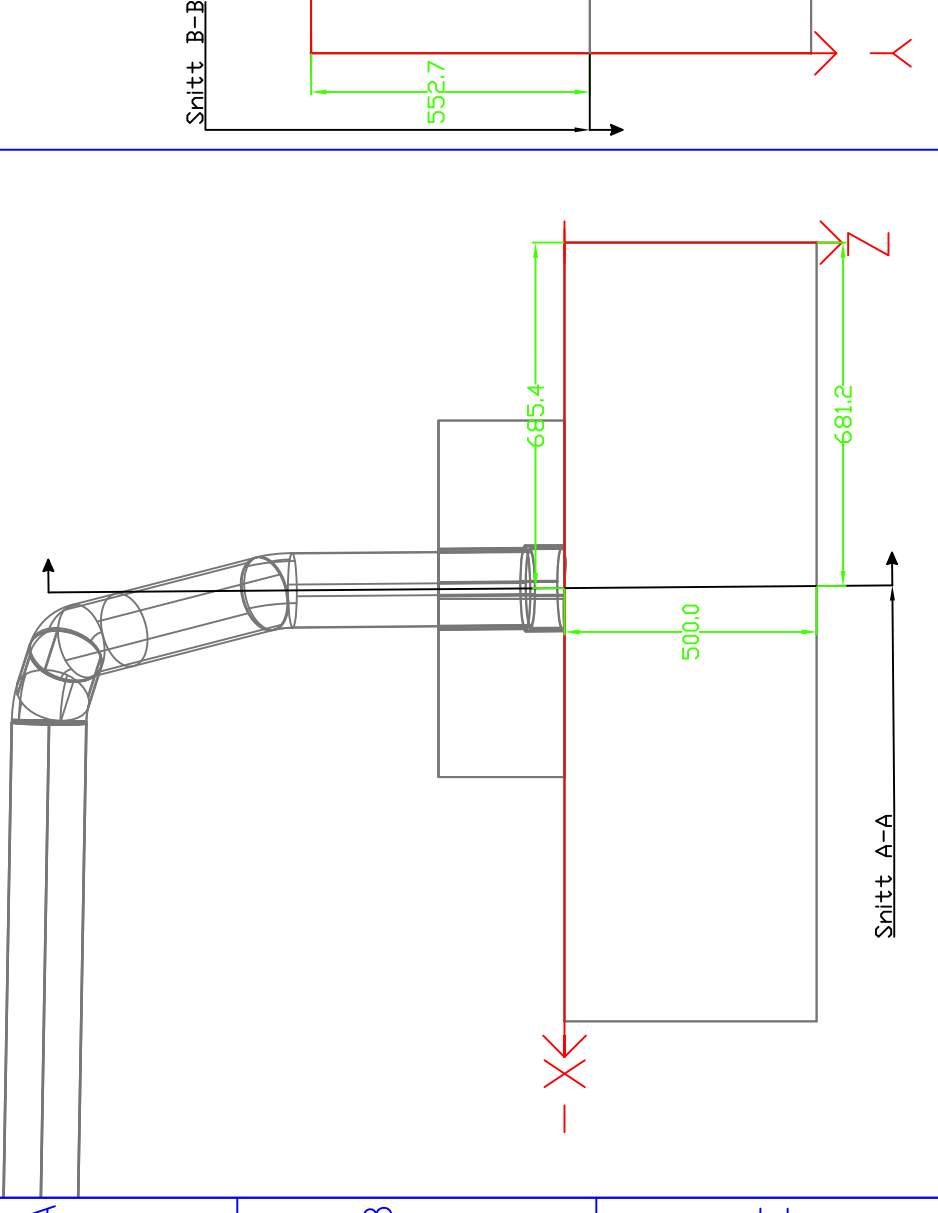
4

3

2

1

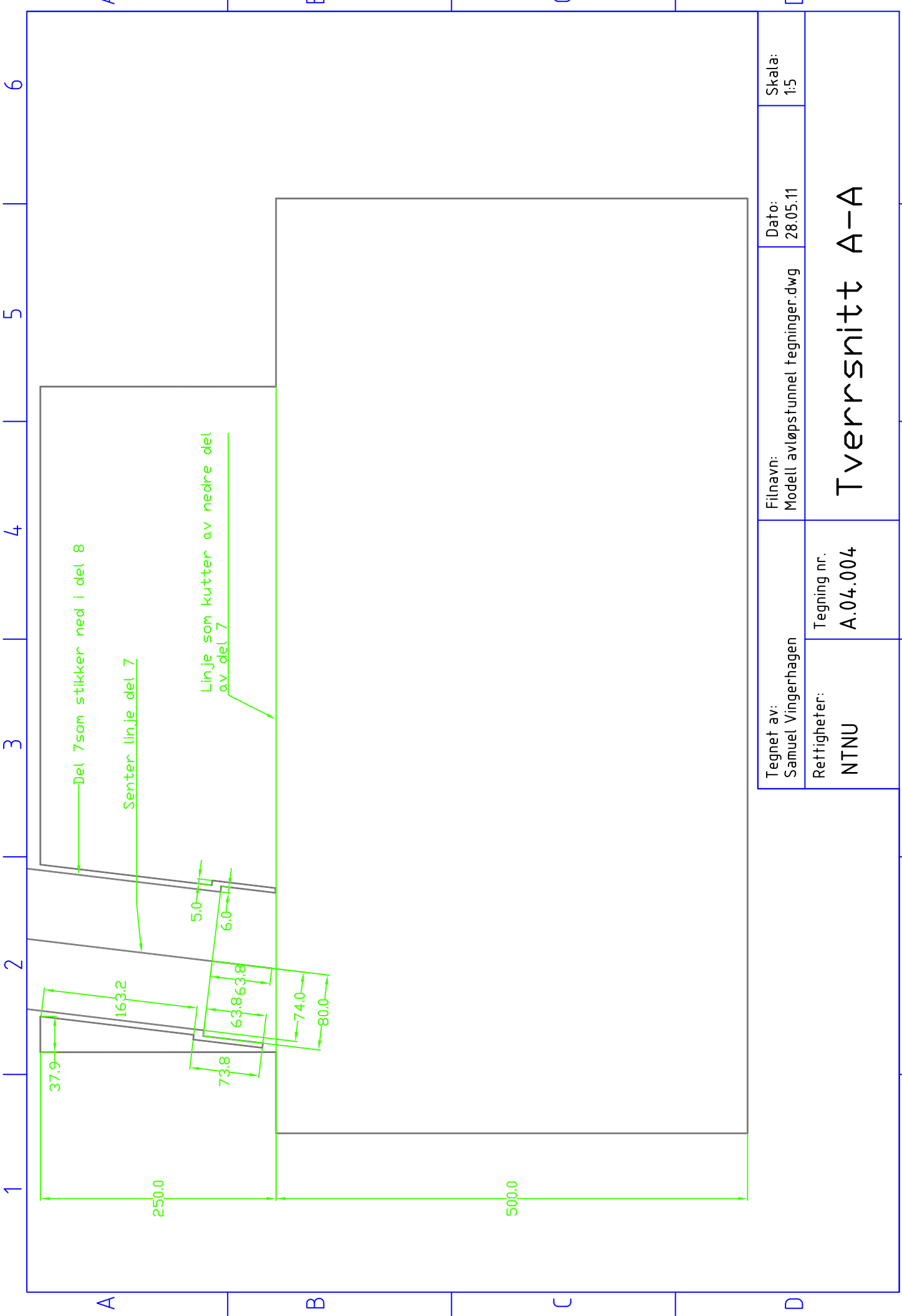
1 2 3 4 5 6



A B C D

Tegner av: Samuel Vingerhagen	Tegning nr. A.04.003	Filnavn: Modell avløpstunnel tegninger.dwg	Dato: 28.05.11	Skala: 1:15
Rettigheter: NTNU		Plassering av tverr- snitt i avløpstunnel		

1 2 3 4 5 6



Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Rettinger: NTNU	Tegning nr. A.04.004	Filnavn: Modell av løpstunnel tegninger.dwg	Dato: 28.05.11	Skala: 1:5
----------------------------------	--------------------	-------------------------	--	-------------------	---------------

# Tverrsnitt A-A

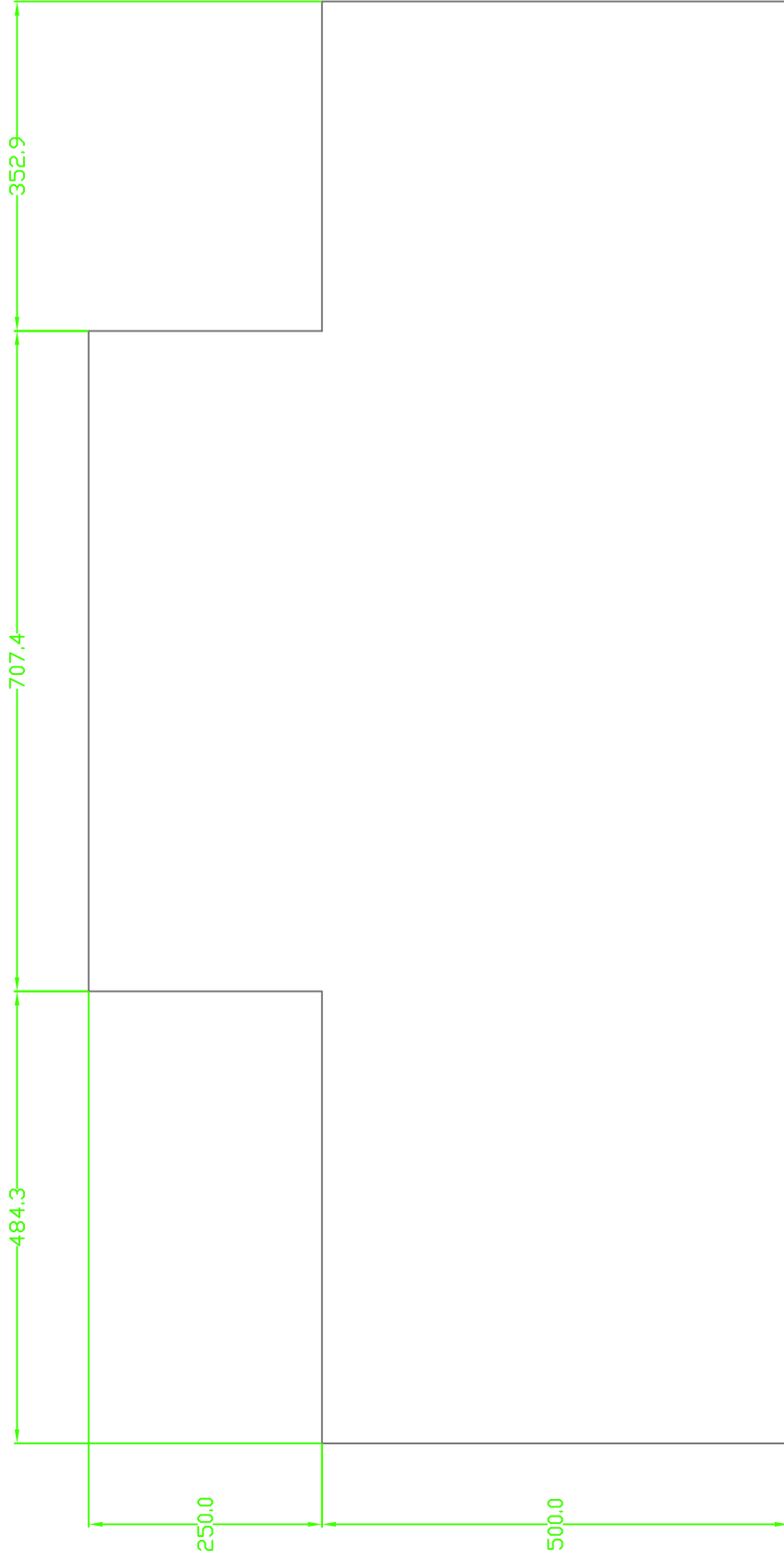
1 2 3 4 5 6

A A

B B

C C

D D



Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell avløpstunnel tegninger.dwg	Dato: 28.05.11	Skala: 1:7.5
Retthheter: NTNU	Tegning nr. A.04.005	<b>Tverrsnitt B-B</b>	

1 2 3 4 5 6

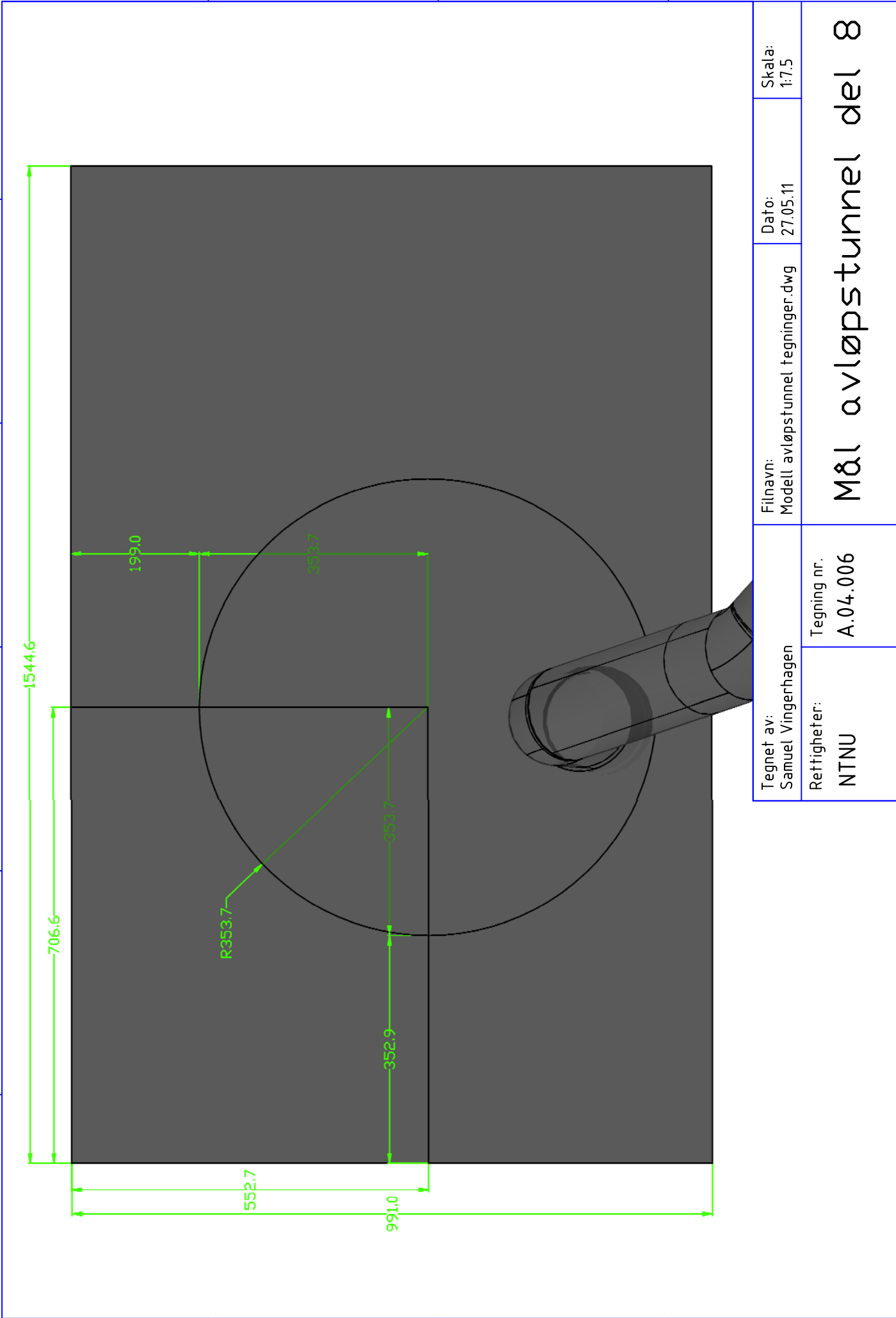
1 2 3 4 5 6

A A

B B

C C

D D



1 2 3 4 5 6

A

B

C

D

6

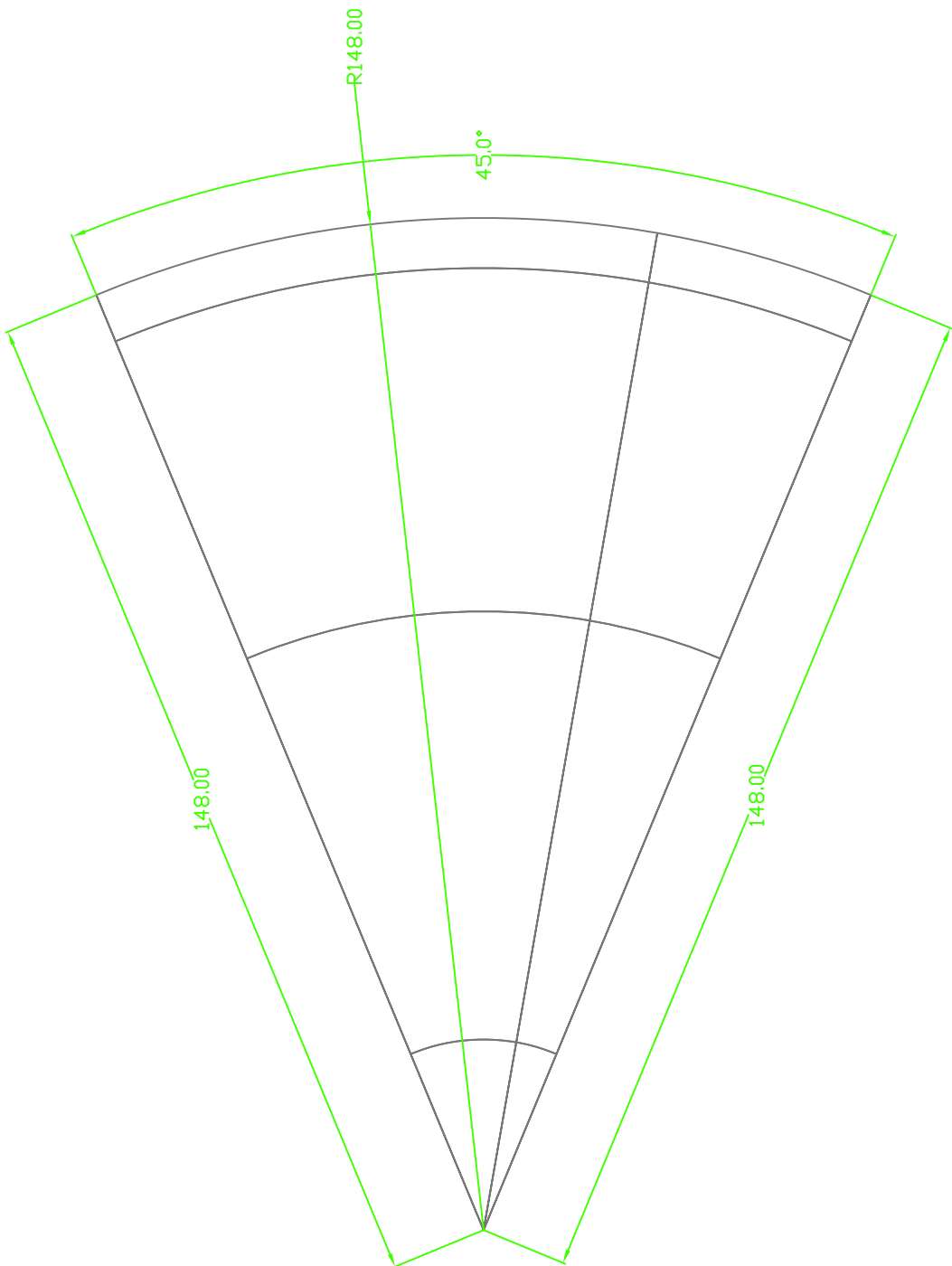
5

4

3

2

1



A

B

C

D

6

5

4

3

2

1

Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell avløpstunnel tegninger.dwg	Dato: 28.05.11	Skala: 1:1
----------------------------------	---	-------------------	---------------

Rettheter:  
NTNU

Tegning nr.  
A.04.007

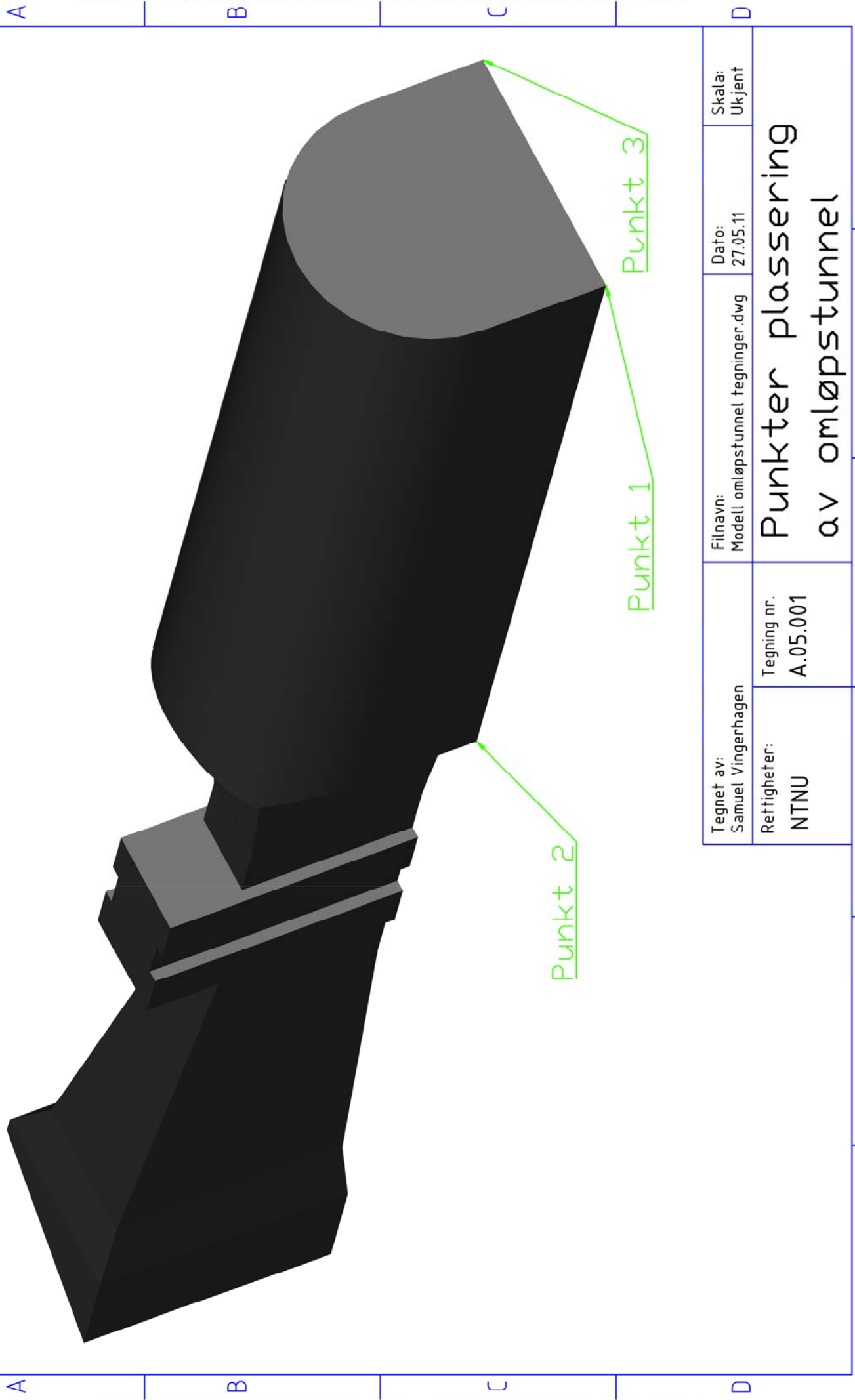
# Tverrsnitt 45g bend

## A.05 Beskrivelse Omløpstunnel

Avløpstunnel passerer ut fra 3 punkter som vist i appendiks [A.05.001].

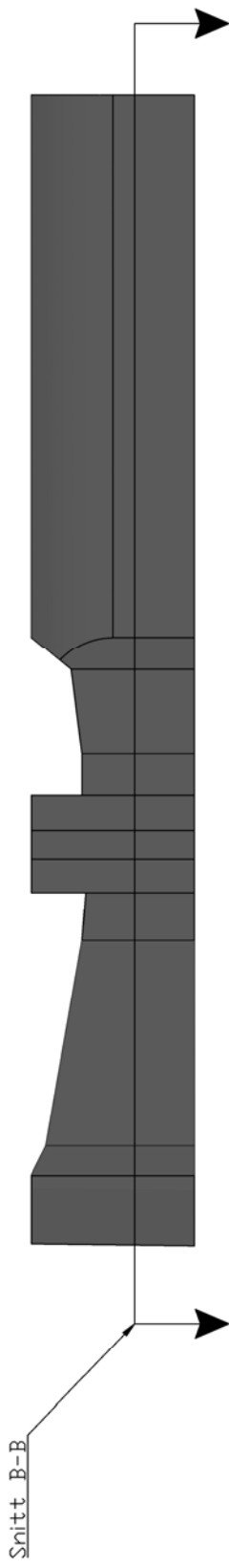
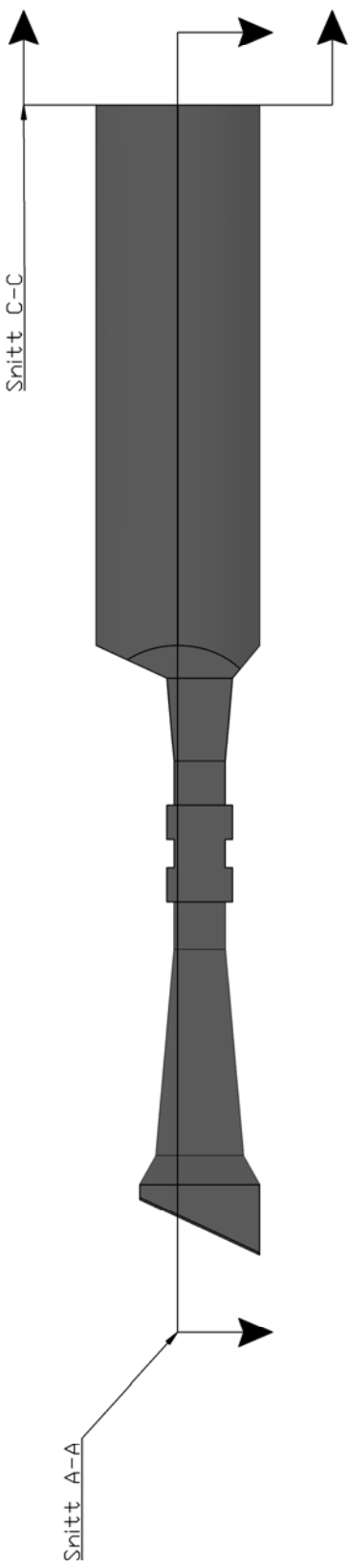
Sett i forhold til det lokale koordinatsystemet i [A.01.002] er disse punktene plassert som følger:

	X	Y	Z
Punkt 1	136.0079	-374.8839	-1273.7927
Punkt 2	488.9518	-248.6031	-1284.2228
Punkt 3	173.8791	-480.8132	-1274.7929



Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell omløpstunnel tegninger.dwg	Dato: 27.05.11	Skala: Ukjent
Rettigheter: NTNU	Tegning nr. A.05.001	Punkter plassering av omløpstunnel	

1 2 3 4 5 6



1 2 3 4 5 6

Tegnet av: Samuel Vingerhagen		Filnavn: Modell omløpstunnel tegninger.dwg	Dato: 28.05.11	Skala: 1:15
Rettheter: NTNU		Plassering av tverr- snitt omløpstunnel		
Tegning nr. A.05.002				

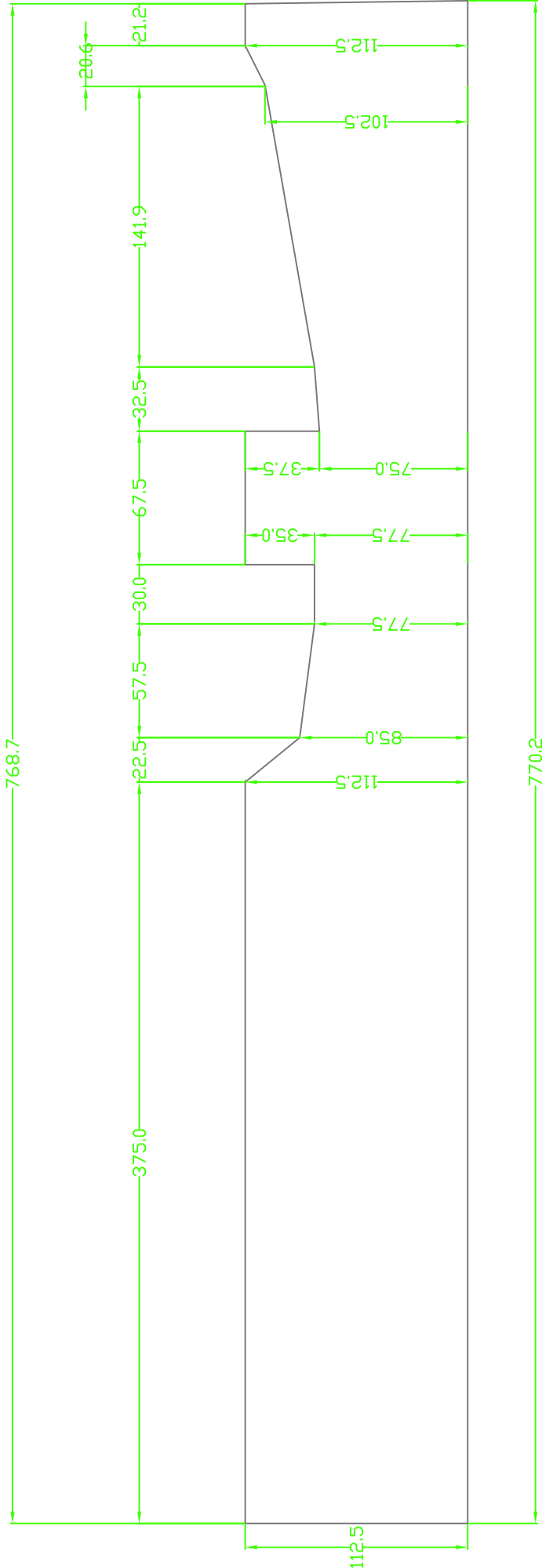
1 2 3 4 5 6

A A

B B

C C

D D



Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell omløpstunnel tegninger.dwg	Dato: 28.05.11	Skala: 1:3
Retthigheter: NTNU	Tverrsnitt A-A		
Tegning nr. A.05.003			

1 2 3 4 5 6

A

B

C

D

6

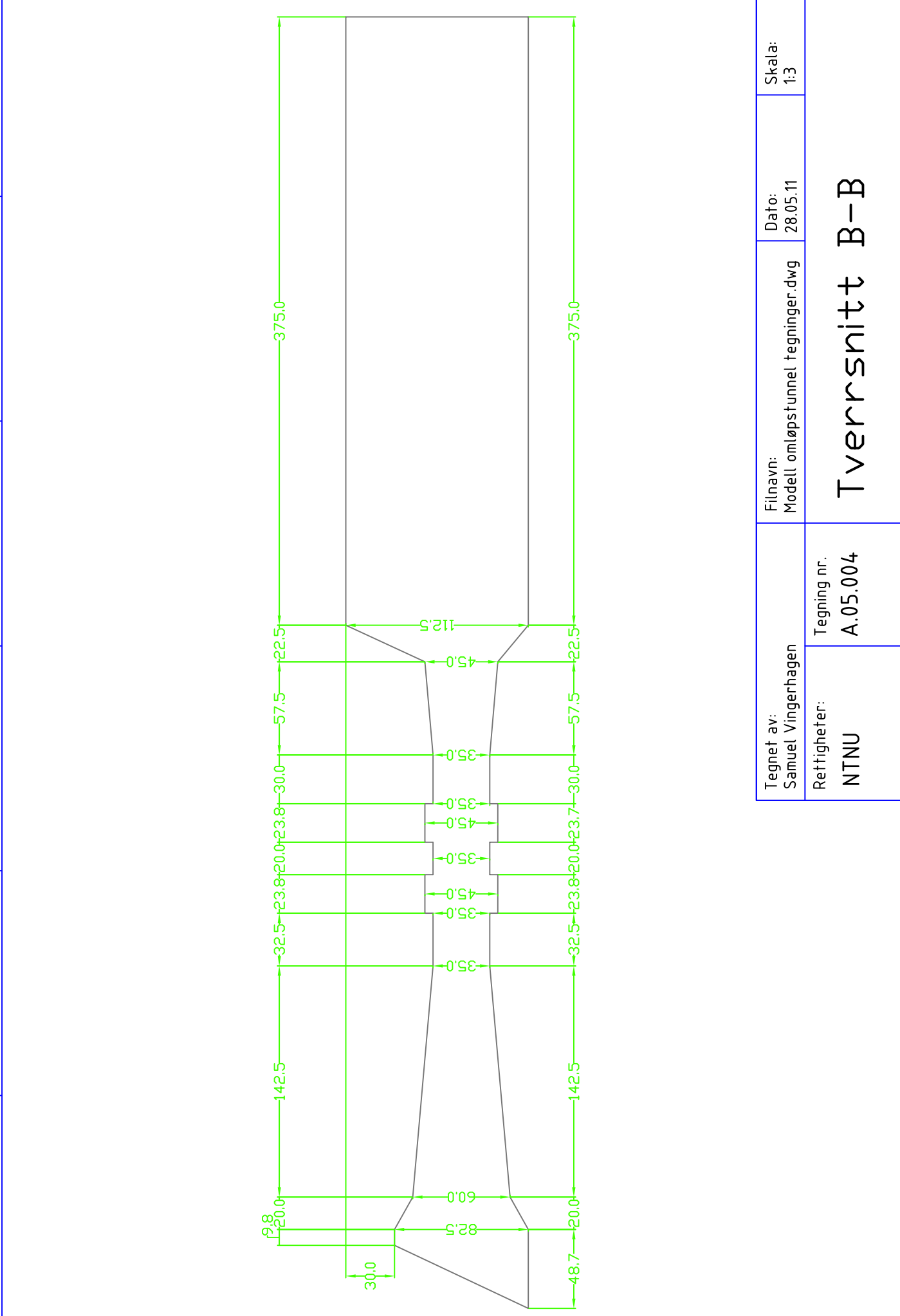
5

4

3

2

1



A

B

C

D

1

2

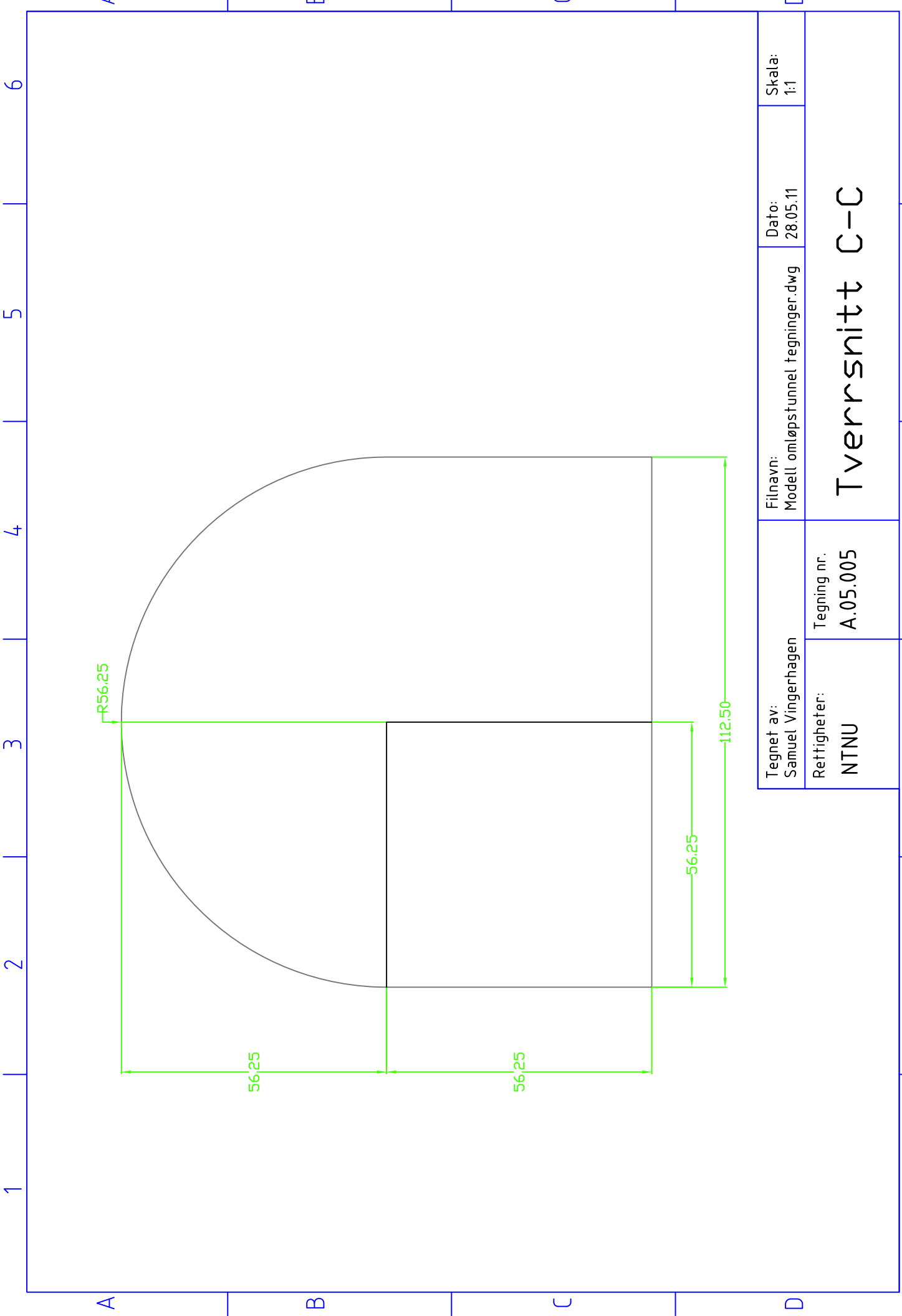
3

4

5

6

Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell omløpstunnel tegninger.dwg	Dato: 28.05.11	Skala: 1:3
Retthigheter: NTNU	Tverrsnitt B-B		
Tegning nr. A.05.004			



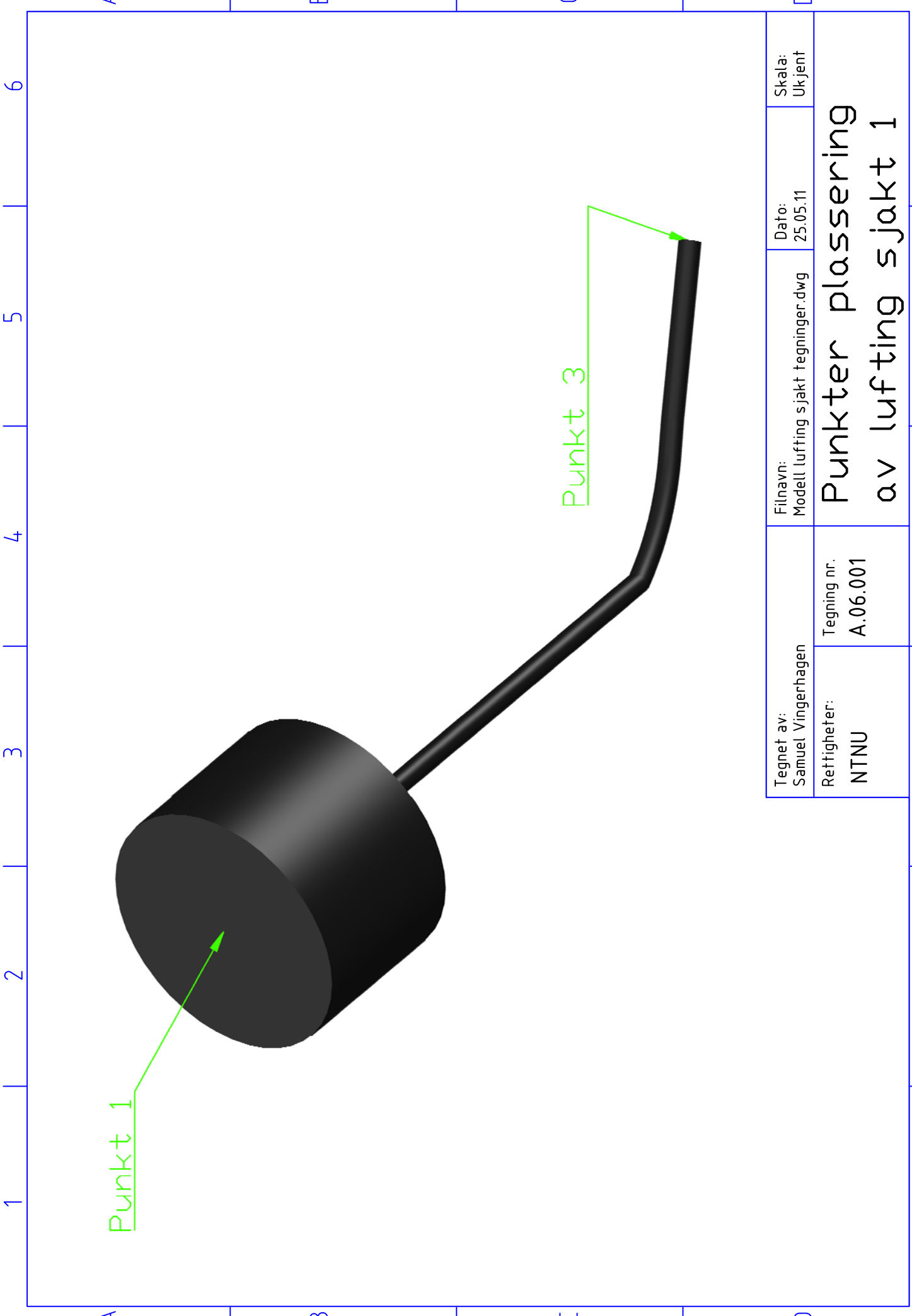
Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell omløpstunnel tegninger.dwg	Dato: 28.05.11	Skala: 1:1
Rettheter: NTNU	Tegning nr. A.05.005	<b>Tverrsnitt C-C</b>	

## A.06 Beskrivelse Lufting sjakt

Avløpstunnel passerer ut fra 3 punkter som vist i appendiks [A.06.001].

Sett i forhold til det lokale koordinatsystemet i [A.01.002] er disse punktene plassert som følger:

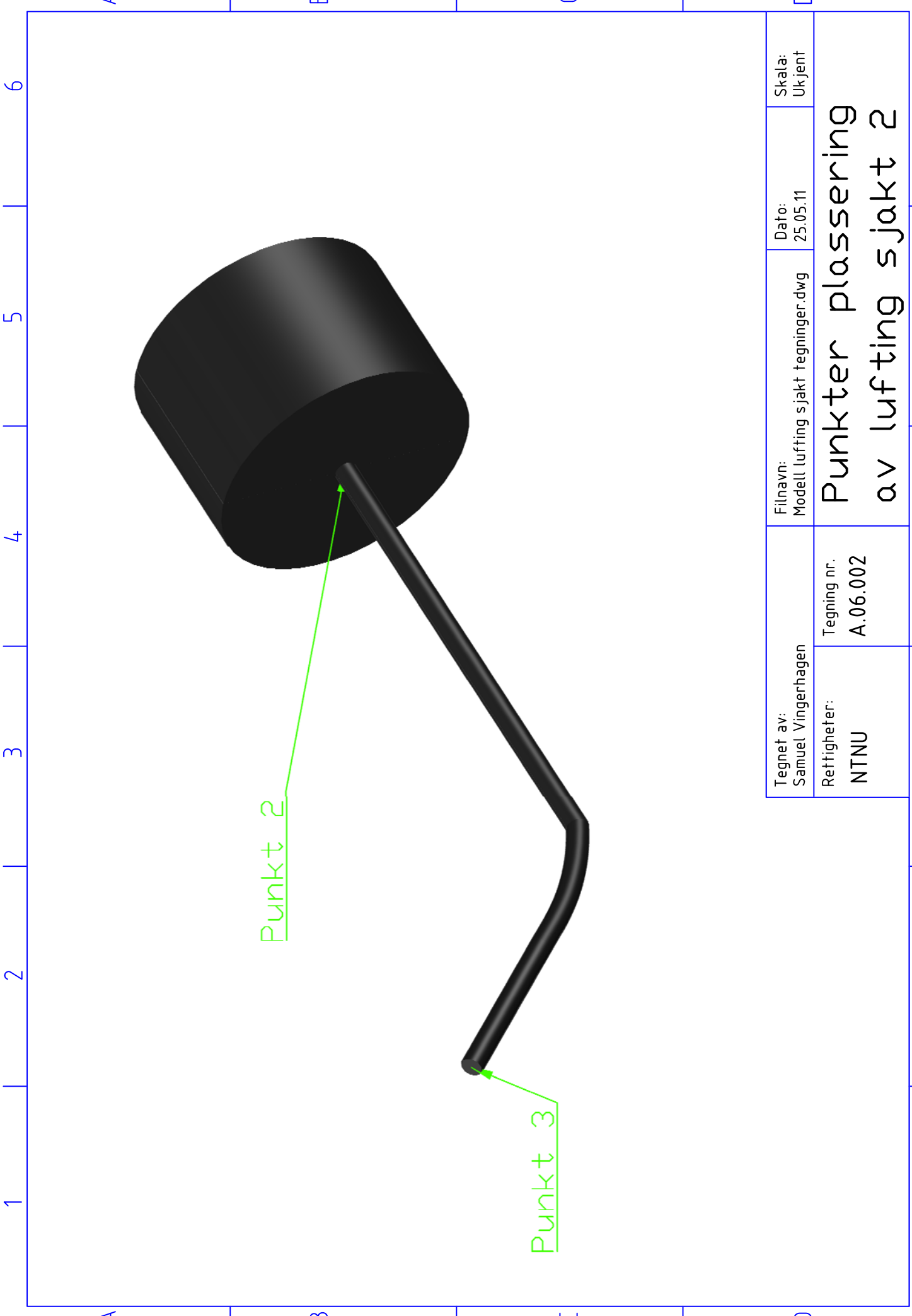
	X	Y	Z
Punkt 1	1317.3170	40.7327	549.4609
Punkt 2	1283.6023	42.5732	207.1822
Punkt 3	699.2227	104.2521	-1114.5191



Punkt 1

Punkt 3

Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell_lufting_sjakt_tegninger.dwg	Dato: 25.05.11	Skala: Ukjent
Retthigheter: NTNU	Punkter plassering av lufting sjakt 1		
Tegning nr. A.06.001			



Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell lufting sjakt tegninger.dwg	Dato: 25.05.11	Skala: Ukjent
Rettheter: NTNU	Tegning nr. A.06.002		Punkter plassering av lufting sjakt 2

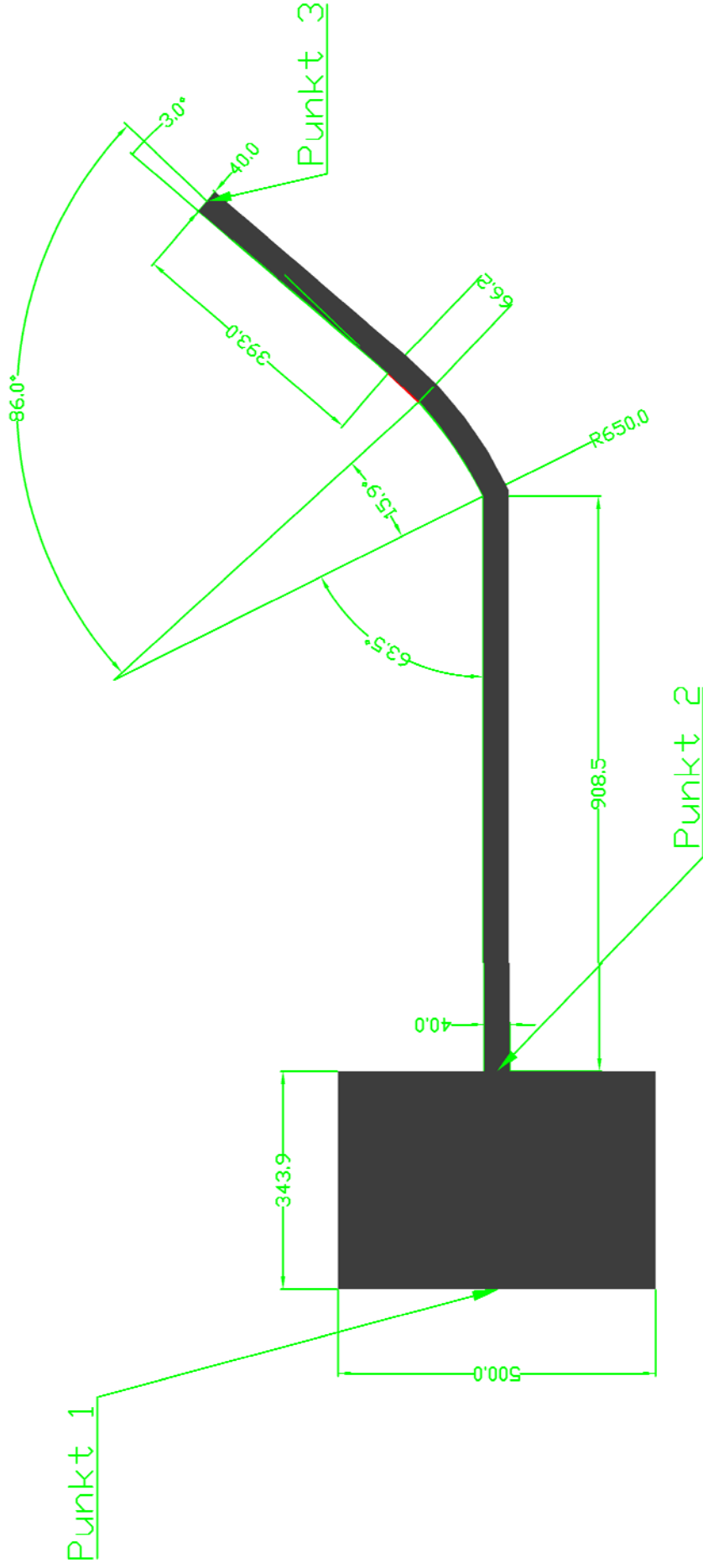
1 2 3 4 5 6

A A

B B

C C

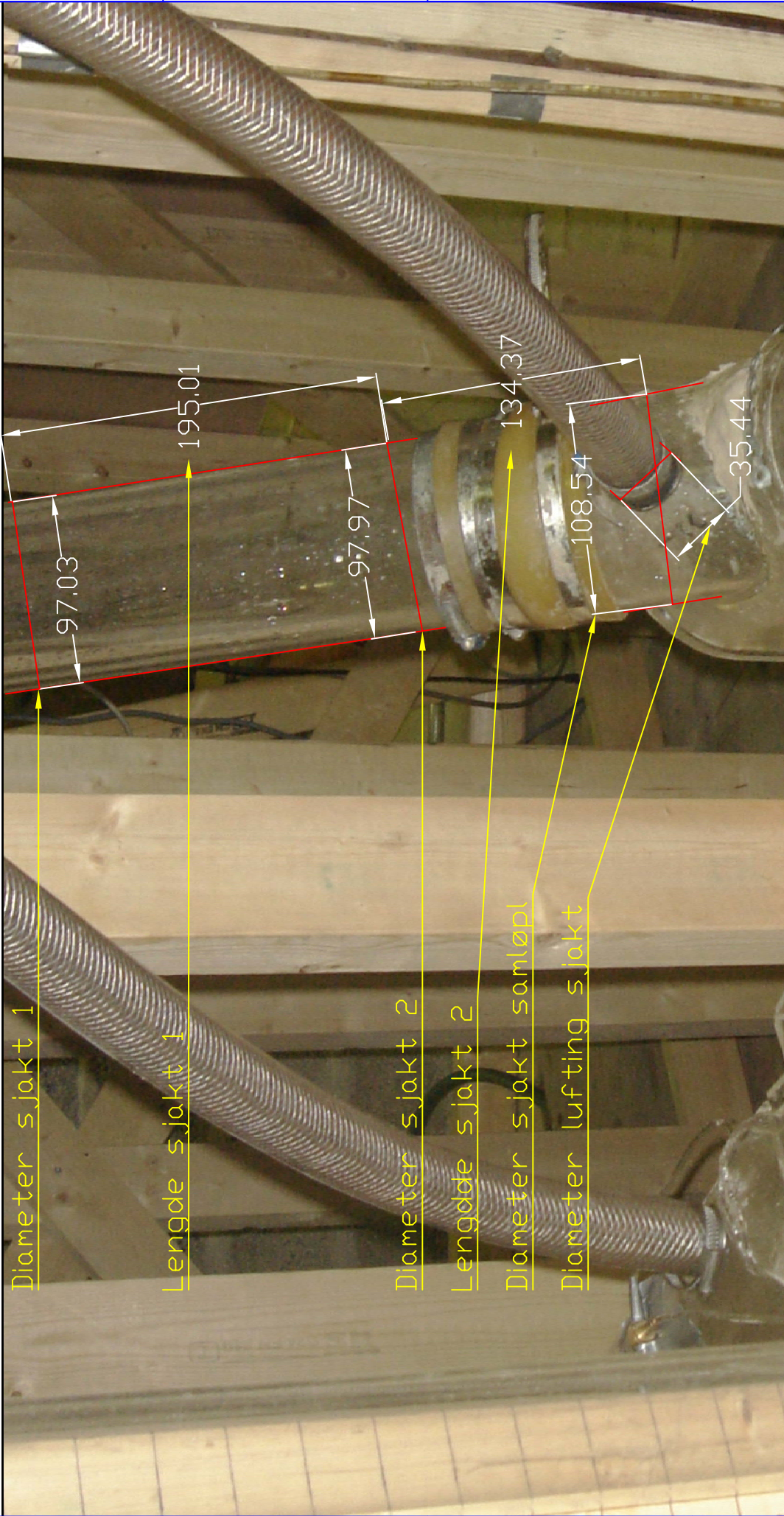
D D



Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Modell terreng tegninger.dwg	Dato: 25.05.11	Skala: 1:10
Rettheter: NTNU	Tegning nr. A.06.003	<b>Tverrsnitt lufting stakt</b>	

1 2 3 4 5 6





Tegnet av: SamuelVingerhagen	Filenavn: Mål på bilder.dwg	Dato: 12.05.11	Skala: Ukjent
Rettrigheter: NTNU	Tegning nr. B.01:001	Sjakt dimensjon 1	

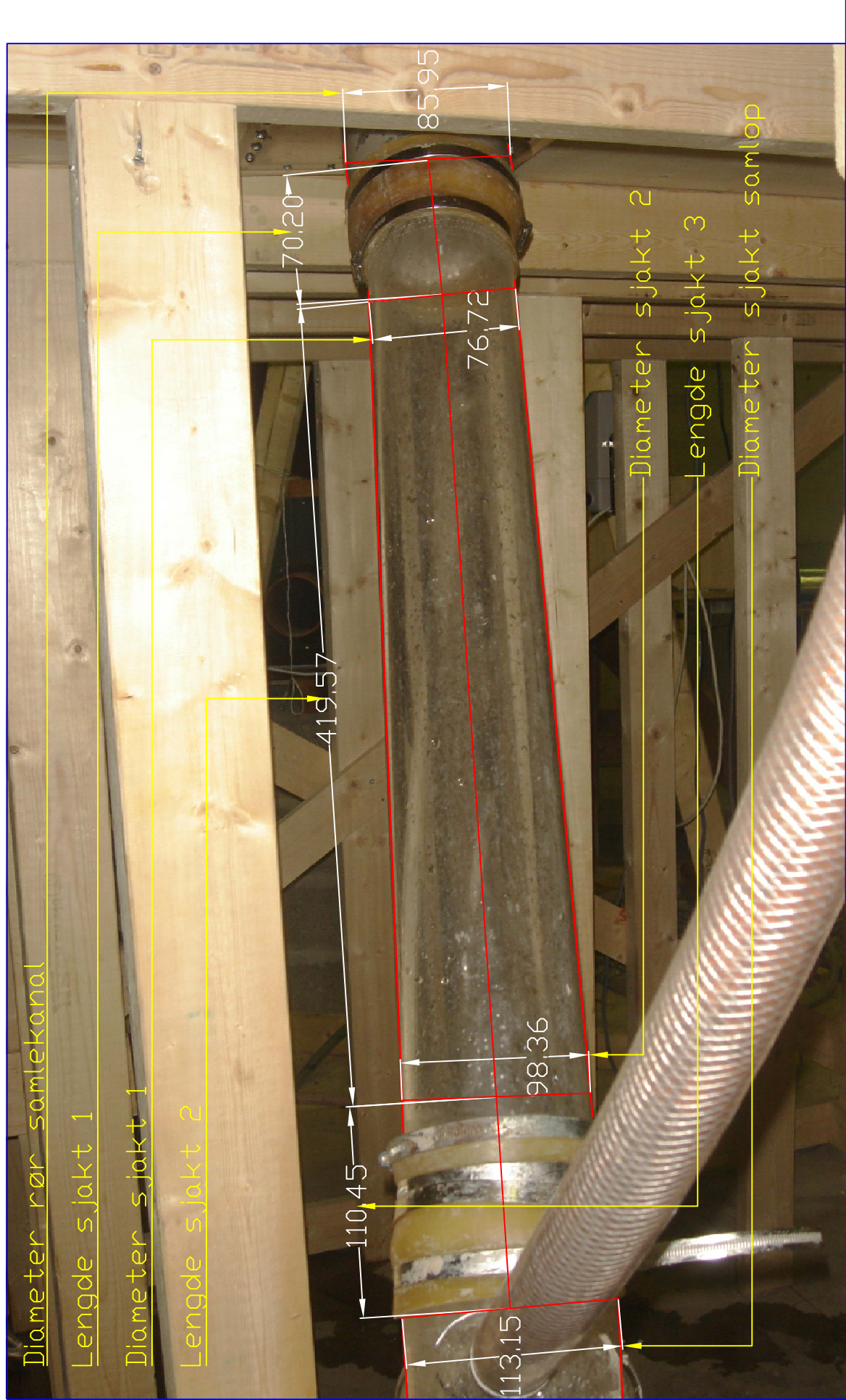
1 2 3 4 5 6

A A

B B

C C

D D



Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Rettrigheter: NTNU	Tegning nr. B.01:002	Skala: Ukjent
Filnavn: Mål på bilder.dwg		Dato: 12.05.11	
<h1>Sjakt dimensjon 2</h1>			

1 2 3 4 5 6

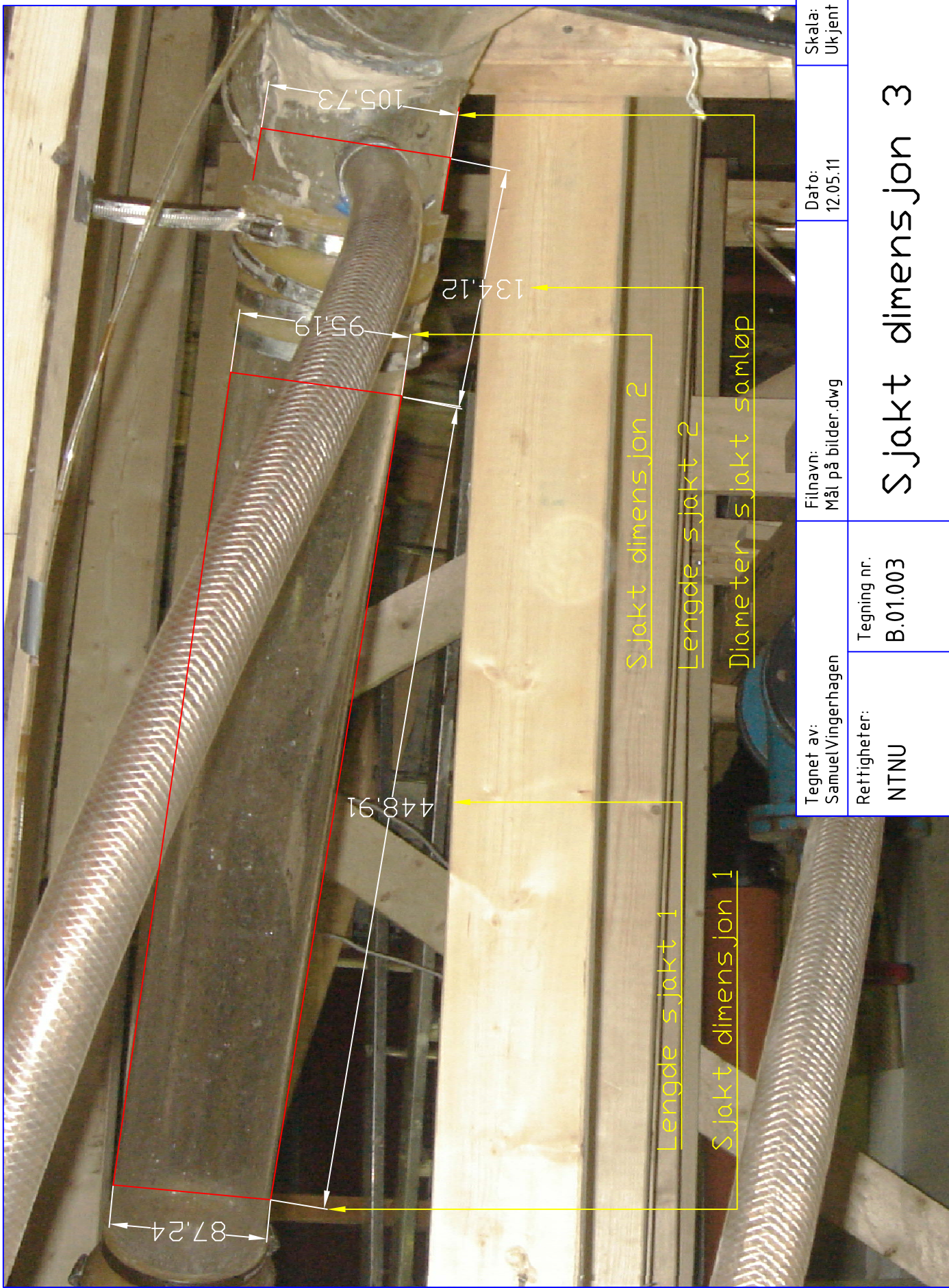
A

B

C

D

1 2 3 4 5 6



A

B

C

D

Skala:  
Ukjent

Dato:  
12.05.11

Filnavn:  
Mål på bilder.dwg

# Sjakt dimensjon 3

Tegnet av:  
Samuel Vingerhagen

Rettheter:  
NTNU

Tegning nr.  
B.01:003

1 2 3 4 5 6

A

B

C

D

1

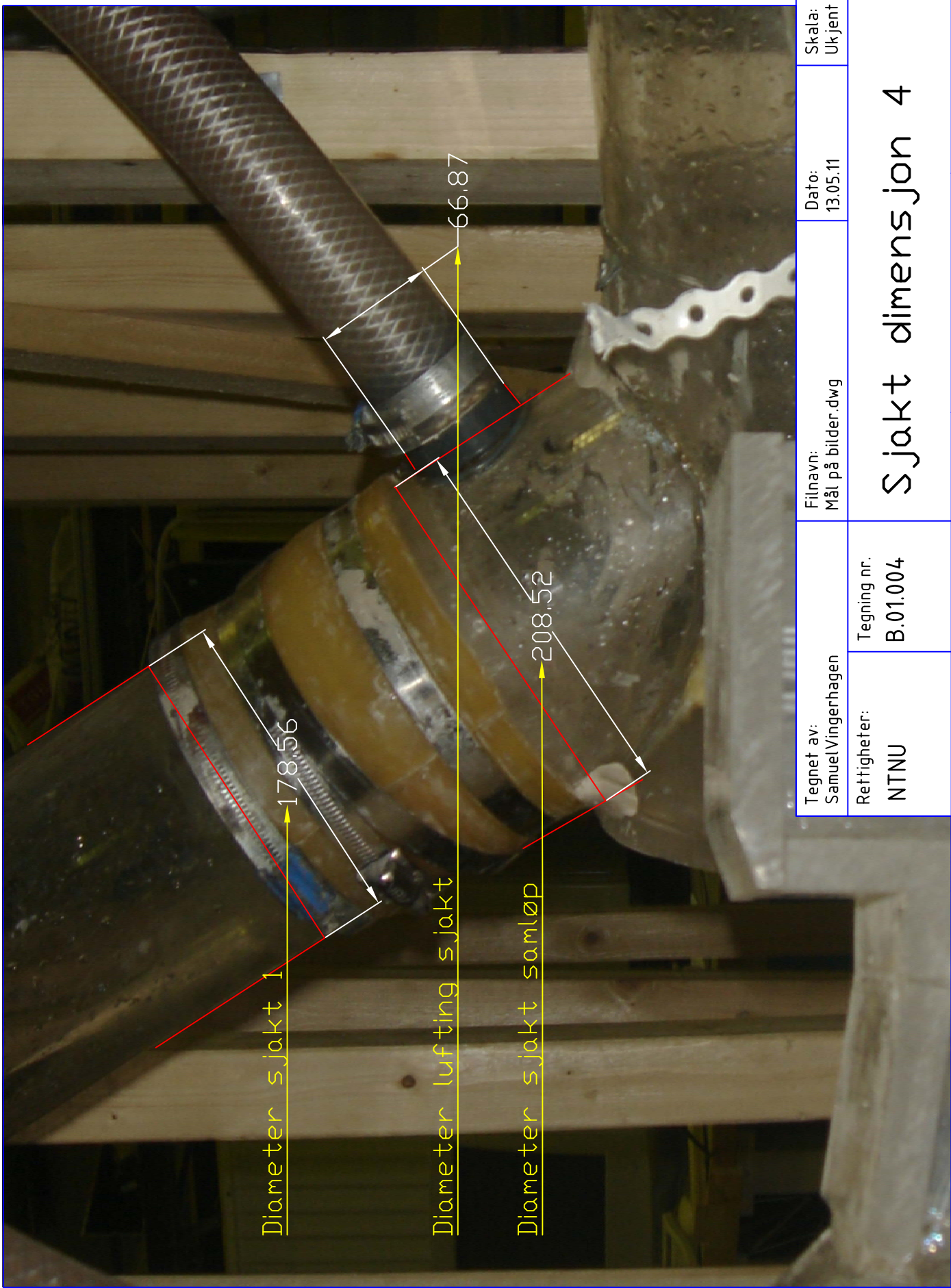
2

3

4

5

6



A

B

C

D

1

2

3

4

5

6

Skala:  
Ukjent

Dato:  
13.05.11

Filnavn:  
Mål på bilder.dwg

Tegnet av:  
SamuelVingerhagen

Tegning nr.  
B.01:004

Rettrigheter:  
NTNU

# Sjakt dimensjon 4

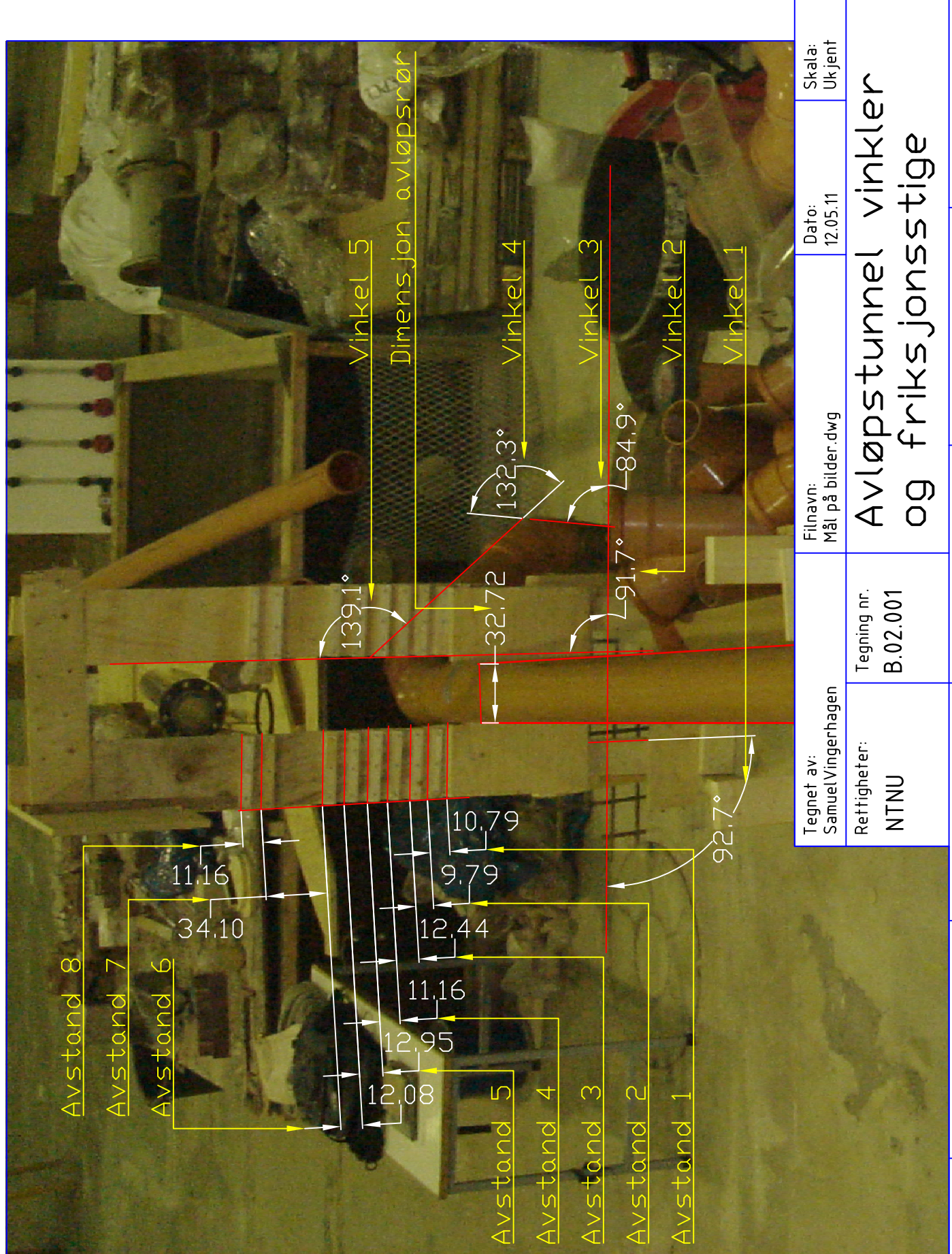
1 2 3 4 5 6

A

B

C

D



Avstand 8

Avstand 7

Avstand 6

Avstand 5

Avstand 4

Avstand 3

Avstand 2

Avstand 1

Vinkel 5

Vinkel 4

Vinkel 3

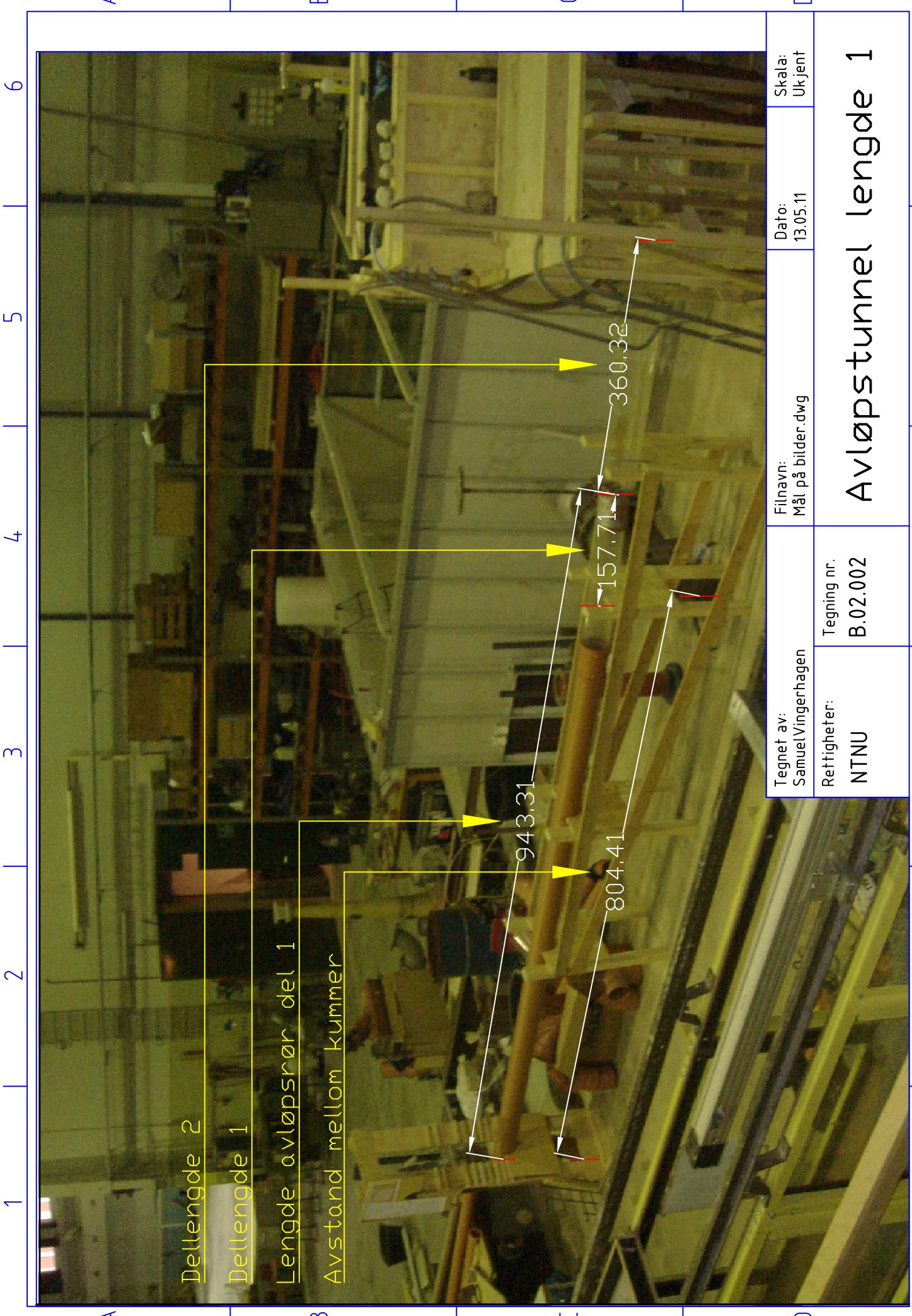
Vinkel 2

Vinkel 1

Dimensjon avløpsrør

Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Retthigheter: NTNU	Tegning nr. B.02.001	Skala: Ukjent
Filnavn: Mål på bilder.dwg		Dato: 12.05.11	
<h2>Avløpstunnel vinkler og friksjonsstige</h2>			

1 2 3 4 5 6



Dellengde 2

Dellengde 1

Lengde avløpsrør del 1

Avstand mellom kummer

943.31

804.41

157.71

360.32

Tegnet av: SamuelVingerhagen	Dato: 13.05.11	Skala: Ukjent
Rettrigheter: NTNU	Filenavn: Mål på bilder.dwg	
Tegning nr. B.02.002	Avløpstunnel lengde 1	

A

B

C

D

1

2

3

4

5

6

A

B

C

D

1

2

3

4

5

6



Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Rettrigheter: NTNU	Filenavn: Mål på bilder.dwg	Dato: 13.05.11	Skala: Ukjent
Tegning nr. B.02.003		Avstunnet lengde 2		

A

B

C

D

6

5

4

3

2

1

2

3

4

5

6

A

B

C

D

1

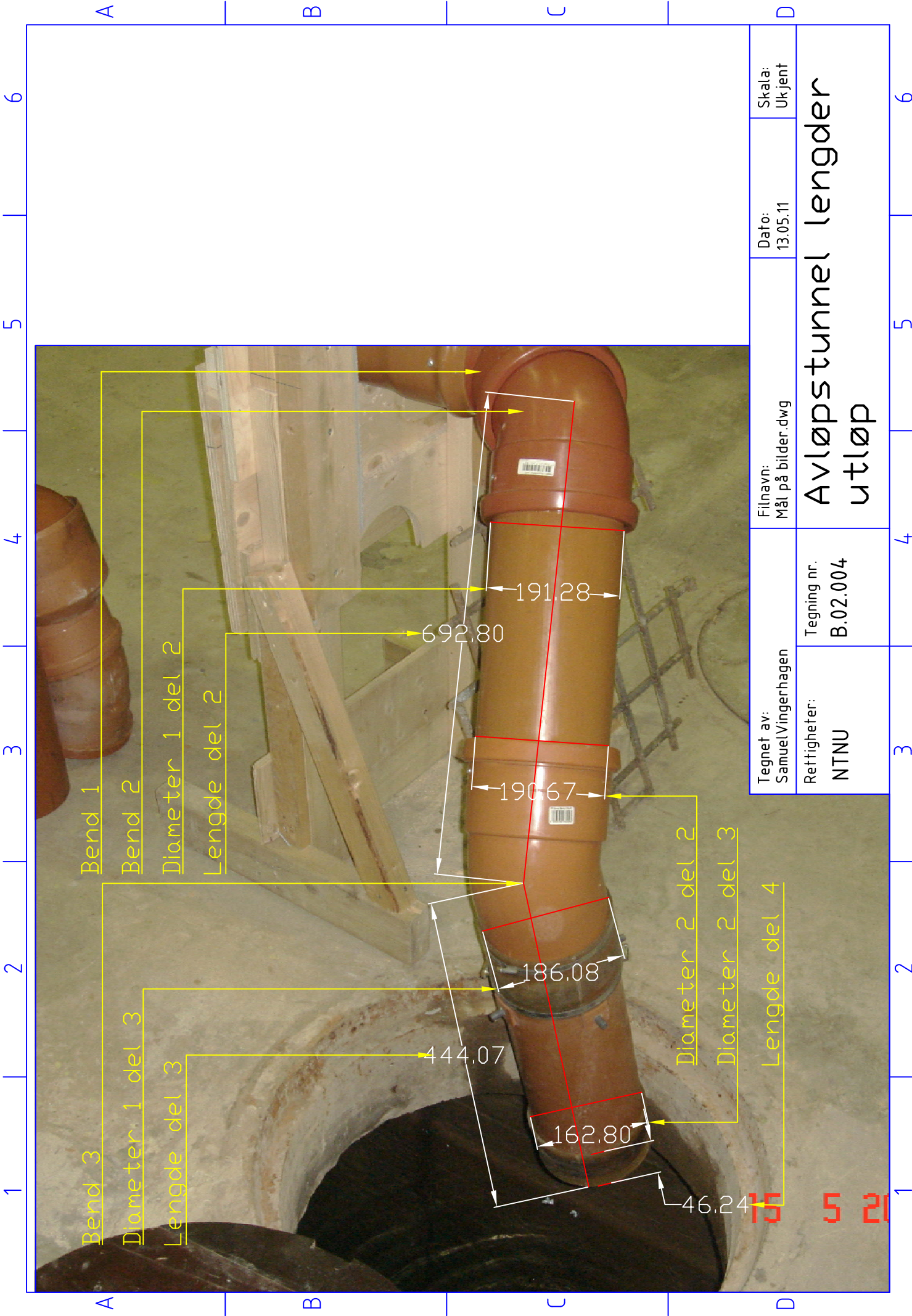
2

3

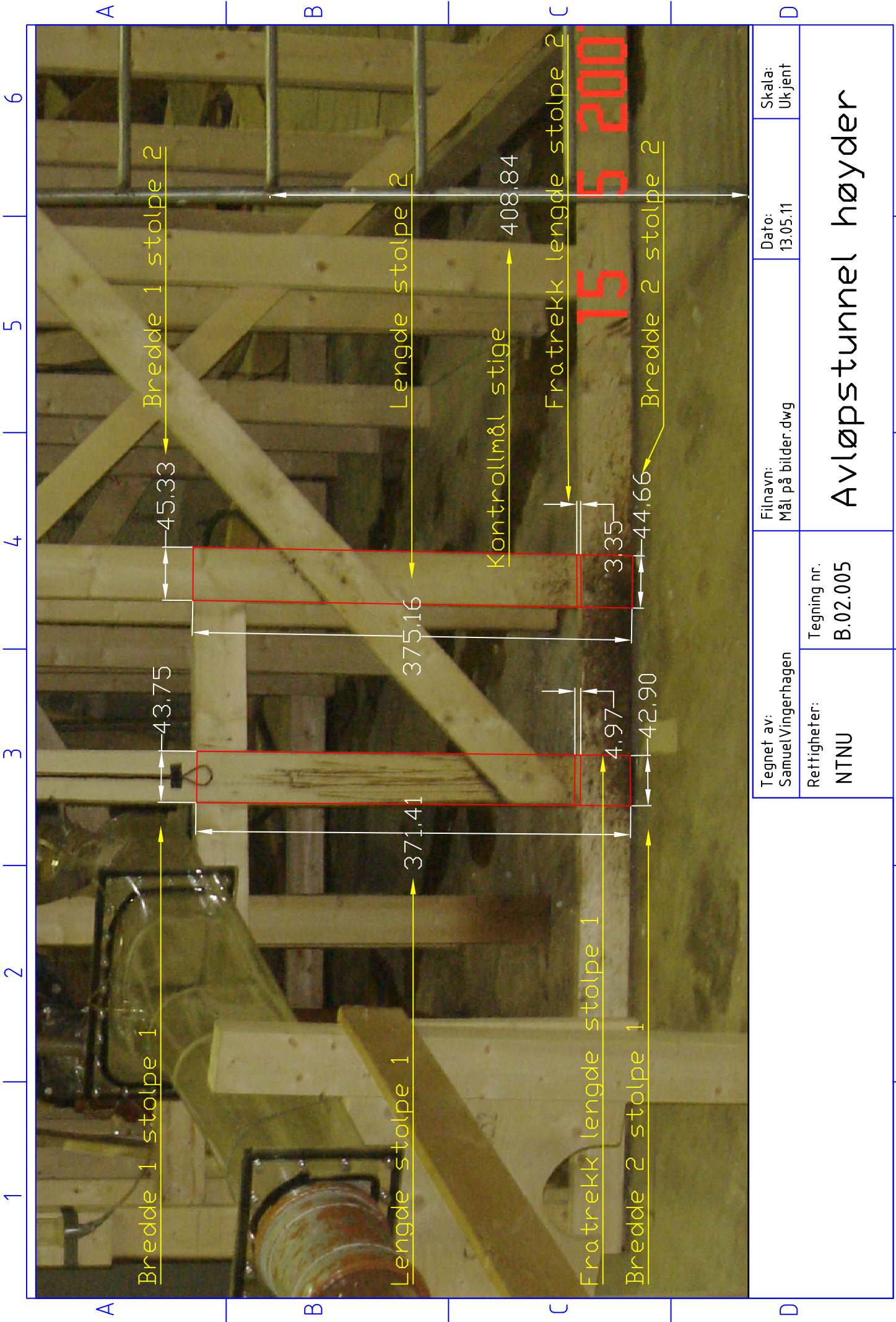
4

5

6



Tegnet av: Samuel Vingerhagen	Filnavn: Mål på bilder.dwg	Dato: 13.05.11	Skala: Ukjent
Retthigheter: NTNU	Tegning nr. B.02.004	Avløpstunnel lengder tøtting	



Tegnet av: SamuelVingerhagen	Filenavn: Mål på bilder.dwg	Dato: 13.05.11	Skala: Ukjent
Retthigheter: NTNU	Tegning nr. B.02.005	<h1>Avløstunnel høyder</h1>	

A

B

C

D

6

5

4

3

2

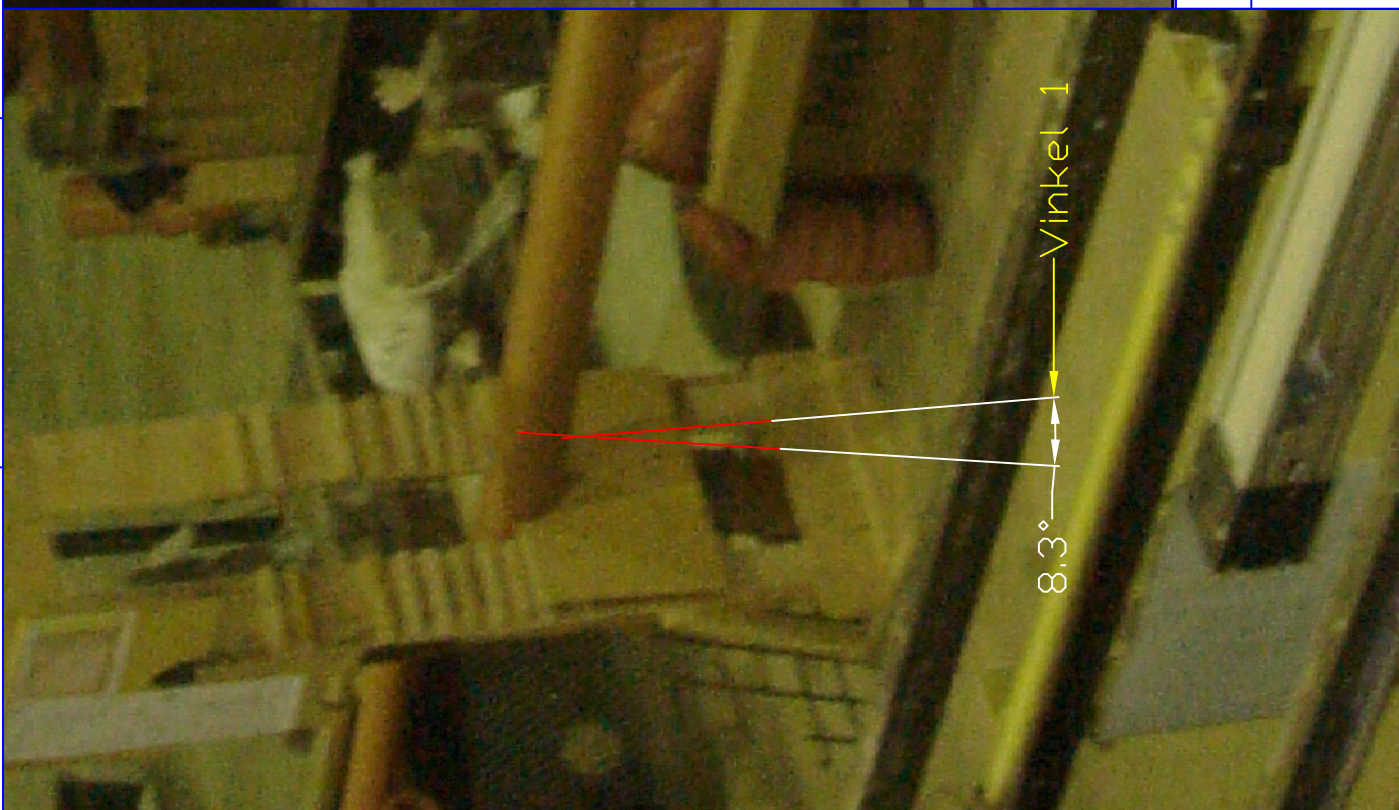
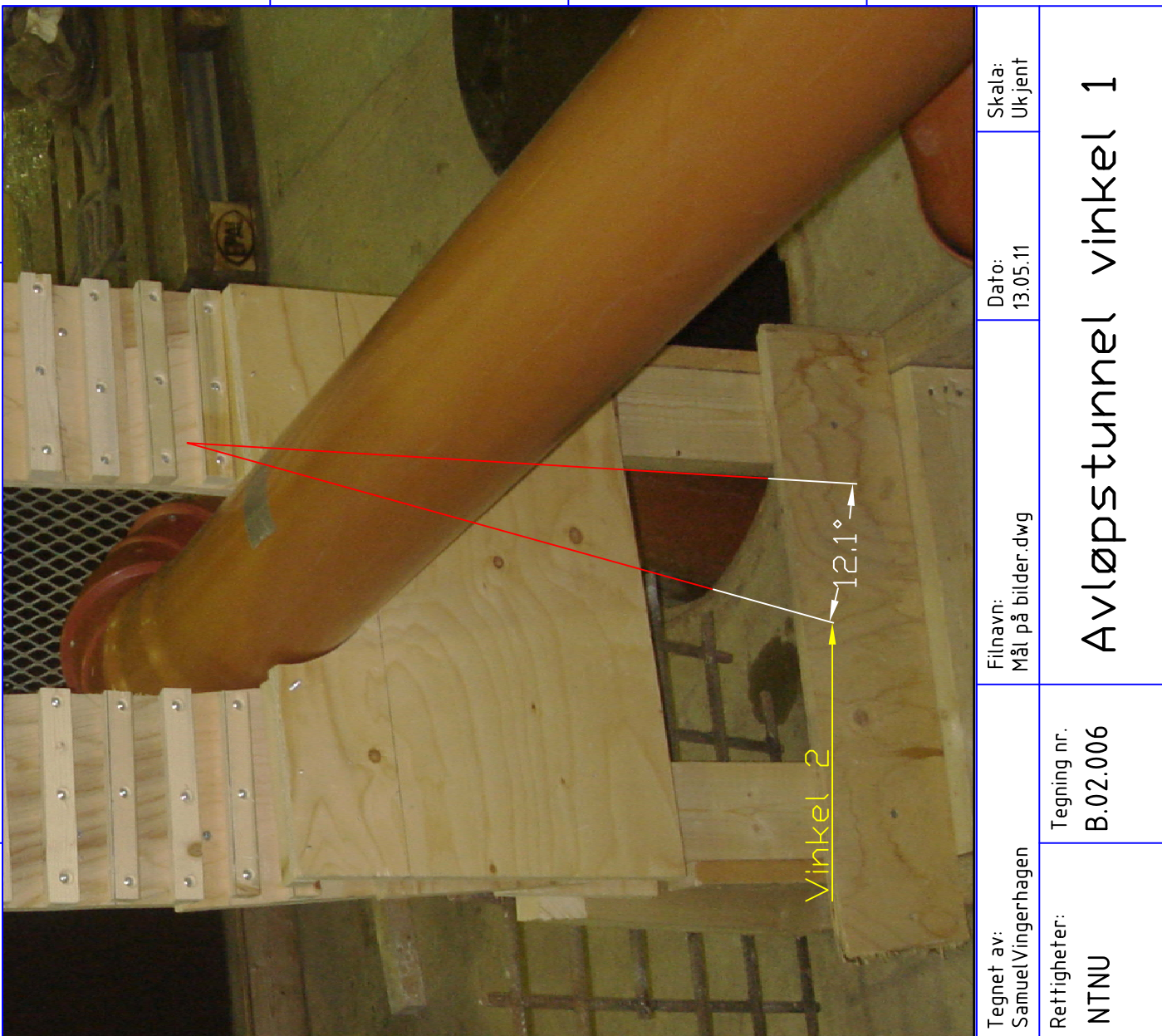
1

A

B

C

D



Tegnet av: SamuelVingerhagen	Tegning nr. B.02.006	Filnavn: Mål på bilder.dwg	Dato: 13.05.11	Skala: Ukjent
Rettrigheter: NTNU	Avløpstunnel vinkel 1			

6

5

4

3

2

1







Dimensjoner sjakt og lufting sjakt

<b>Tabell 4</b>		Sjakt dimensjon 4 [B.01.004]	
Diameter	Antatt virkelig diameter [mm]	Utregnet virkelig diameter 1 [mm]	Utregnet virkelig diameter 2 [mm]
Diameter sjakt 1	178.56	100.00	94.20
Diameter lufting sjakt	66.87	37.45	35.28
Diameter sjakt samløp	208.52	116.78	110.00
I Utregningen av "Utregnet virkelig diameter 1" er "Diameter sjakt 1" brukt som referanse. (Vil sannsynligvis overestimere)			
I Utregningen av "Utregnet virkelig diameter 2" er "Diameter sjakt samløp" brukt som referanse (Vil sannsynligvis overestimere "Diameter lufting sjakt" og underestimere "Diameter sjakt 1"			
<b>Tabell 5</b>			
Oppsummering av utregnede verdier			
	Utregnet virkelig diameter på "Diameter sjakt samløp" [mm]	Utregnet diameter på "Diameter lufting sjakt" [mm]	Utregnet diameter på "Diameter samlekanal" [mm]
Tabell 1	110.07	35.94	
Tabell 2	108.75		117.58
Tabell 3	108.41		
Tabell 4 verdi 1	116.78	37.45	
Tabell 4 verdi 2		35.28	

Sjakt areal

<b>Tabell 1</b>		
Data fra Røneid & Sæter		
	Areal [m2]	Svarer til indre diameter modell [m]
Rør 4"	9.21	0.085610076
Rør 4" med ruhet	7.96	0.079588735
<b>Tabell 2</b>		
Utregning areal prototype		
Diameter rør [mm]	Godstykkelse [mm]	Tilsvarende areal prototype [m2]
100	4	10.63617609
120	5	15.20530844
<b>Tabell 3</b>		
Diameter rør [mm]	Godstykkelse [mm]	Tilsvarende areal prototype [m2]
100	7	9.294087706

Lengde avløpsrør

Avløpstunnel lengde 1 [B.02.002]				
	Virkelig lengde [m]	Lengde tegning [ ]	Utregnet lengde [m]	
Avstand mellom kummer	5.1	804	5.10	"Avstand mellom kummer"
Lengde avløpsrør del 1		943	5.98	brukt som referanse
Dellengde 2 (kontroll)	1.5	360.0	2.28	
<b>Lengde fra sjakt til utløp (lengde avløpsrør del 1 (utregnet verdi)+ dellengde 2 (1,5m))</b>				
			7.48	
Dellengde 2	1.5	360.0	1.50	"Dellengde 2" brukt som referansefaktor (sikker underestimasjon av de andre lengdene)
Dellengde 1		158	0.66	
Lengde avløpsrør del 1		943	3.93	
Avstand mellom kummer (kontroll)	5.1	804	3.35	
<b>Lengde fra sjakt til utløp (lengde avløpsrør del 1 (utregnet verdi)+ dellengde 2 (1,5m))</b>				
			5.43	
Avløpstunnel lengde 2 [B.02.003]				
	Virkelig lengde [m]	Lengde tegning [ ]	Utregnet lengde [m]	
Avstand mellom kummer	5.1	722	5.10	"Avstand mellom kummer"
Lengde avløpsrør del 1		713	5.04	brukt som referanse
<b>Lengde fra sjakt til utløp (lengde avløpsrør del 1 (utregnet verdi)+ dellengde 2 (1,5m))</b>				
			6.54	



Utrekning høyder samløp over bakken

B.02.005 Avløpstunnel høyder			
	Anntatt virkelig mål [mm]	Lengde bilde [ ]	Utreignet lengde [mm]
Bredde 1 stolpe1	98	43.8	99.02
Bredde 2 stolpe 1	98	42.9	96.98
			Begge breddene brukt til skallering
Lengde stolpe1		371.4	839.61
Fratrekk lengde stolpe 1		5	11.30
Utreignet lengde stolpe 1		366.4	828.31
			Bredden på stolpen er funnet fra visuelt utseende og skallering i forhold til 160mm avløpsrør
Bredde 1 stolpe2	98	45.3	98.65
Bredde 2 stolpe 2	98	44.7	97.35
			Begge breddene brukt til skallering
Lengde stolpe2		375.2	817.10
Fratrekk lengde stolpe 2		3.4	7.40
Utreignet lengde stolpe 2		371.8	809.70
			Bredden på stolpen er funnet fra visuelt utseende og skallering i forhold til 160mm avløpsrør
Kontroll			
	Målt lengde [mm]	Lengde bilde [ ]	Utreignet lengde [mm]
Kontrollmål stige	800	408.84	924.25
			Skallert fra stolpe 1
			890.36
			Skallert fra stolpe 2
Ser at målet på stigen stemmer sånn passelig med lengden som er målt i laboratoriet, det var ventet at den utregnede verdien skulle bli noe høyere enn den verdien som ble målt i labben, da stigen befinner seg nærmere kameraet enn stolpene			
Utreignet høydeforskjell fra bunn samløp til utløp avløpstunnel			
	[mm]		[mm]
Utreignet lengde stolpe 1	828.31	Utreignet lengde stolpe 2	809.70
Målt tykkelse betong	250	Målt tykkelse betong	250
Utreignet høydeforskjell	1 078.31		1 059.70







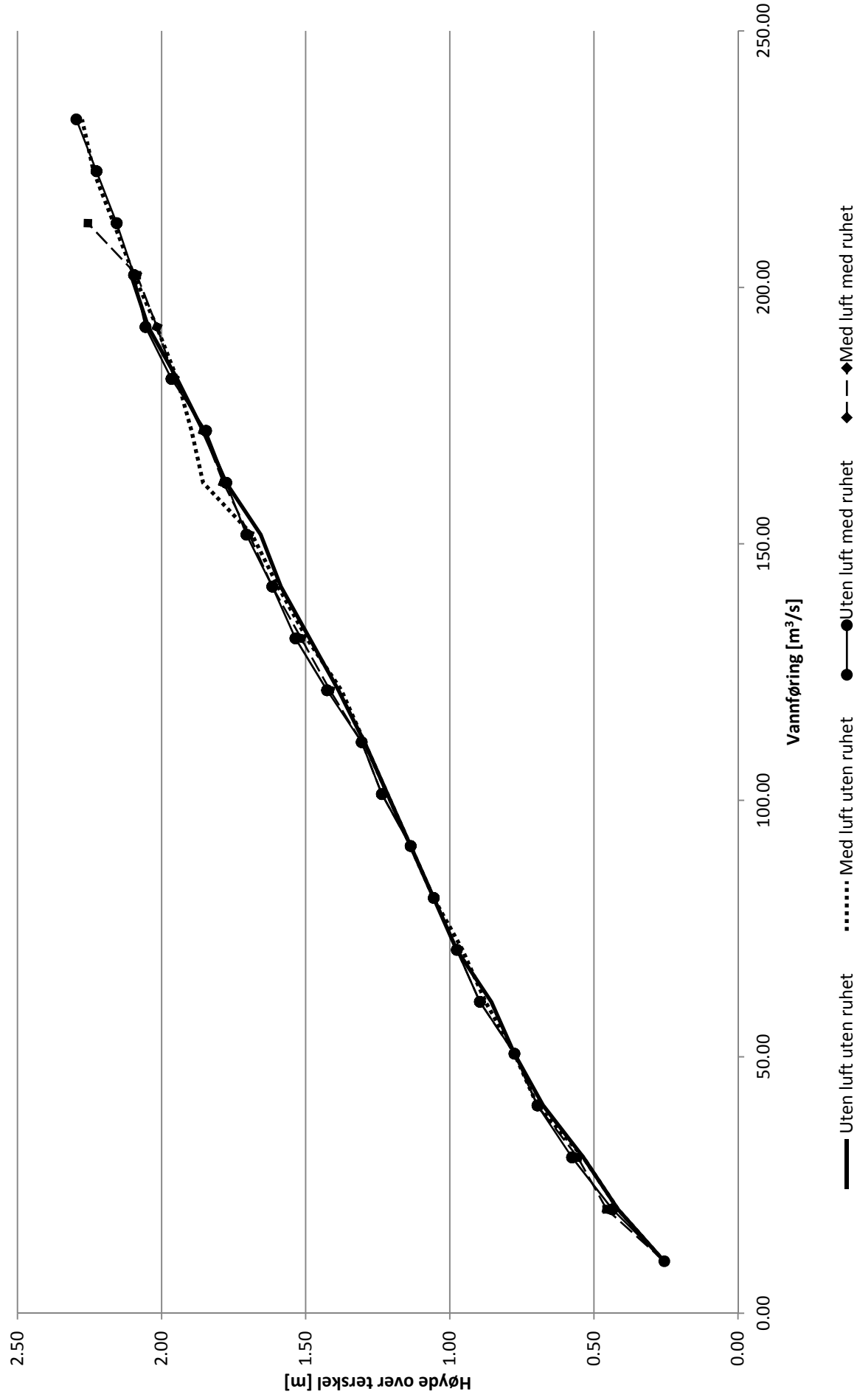
Kurve nr:	1.00		2.00		1 sammenlignet mot 2									
	H	Q	H	Q	Index	Q1	Q2	H1	H2	Utregnet Q	Awik Q [m3/s]	Awik Q %		
<b>Tabell 2</b>	0.26	10.12	0.26	10.12	1.00	10.12	20.24	0.26	0.42	10.12	0.00	0.00		
	0.42	20.24	0.42	20.24	2.00	20.24	30.36	0.42	0.54	20.24	0.00	0.00		
	0.54	30.36	0.54	30.36	3.00	30.36	40.48	0.54	0.70	30.36	0.00	0.00		
	0.68	40.48	0.70	40.48	4.00	30.36	40.48	0.54	0.70	39.21	1.26	3.12		
	0.78	50.60	0.78	50.60	5.00	50.60	60.72	0.78	0.88	50.60	0.00	0.00		
	0.86	60.72	0.88	60.72	6.00	50.60	60.72	0.78	0.88	58.69	2.02	3.33		
	0.98	70.84	0.96	70.84	7.00	70.84	80.95	0.96	1.06	72.86	-2.02	-2.86		
	1.06	80.95	1.06	80.95	8.00	80.95	91.07	1.06	1.14	80.95	0.00	0.00		
	1.14	91.07	1.14	91.07	9.00	91.07	101.19	1.14	1.22	91.07	0.00	0.00		
	1.22	101.19	1.22	101.19	10.00	101.19	111.31	1.22	1.30	101.19	0.00	0.00		
	1.30	111.31	1.30	111.31	11.00	111.31	121.43	1.30	1.38	111.31	0.00	0.00		
	1.39	121.43	1.38	121.43	12.00	121.43	131.55	1.38	1.50	122.27	-0.84	-0.69		
	1.49	131.55	1.50	131.55	13.00	121.43	131.55	1.38	1.50	130.71	0.84	0.64		
	1.59	141.67	1.60	141.67	14.00	131.55	141.67	1.50	1.60	140.66	1.01	0.71		
	1.66	151.79	1.69	151.79	15.00	141.67	151.79	1.60	1.69	148.42	3.37	2.22		
	1.78	161.91	1.86	161.91	16.00	151.79	161.91	1.69	1.86	157.15	4.76	2.94		
	1.86	172.03	1.90	172.03	17.00	161.91	172.03	1.86	1.90	161.91	10.12	5.88		
	1.95	182.15	1.95	182.15	18.00	182.15	192.27	1.95	2.02	182.15	0.00	0.00		
	2.05	192.27	2.02	192.27	19.00	192.27	202.39	2.02	2.10	196.06	-3.79	-1.97		
	2.11	202.39	2.10	202.39	20.00	202.39	212.51	2.10	2.17	203.83	-1.45	-0.71		
			2.17	212.51	21.00									
			2.24	222.62	22.00									
			2.28	232.74	23.00									
Min											-3.79	-2.86		
Maks											10.12	5.88		
Gjennomsnitt											0.76	0.63		







# Sammenligning modellforsøk H < 2,1m





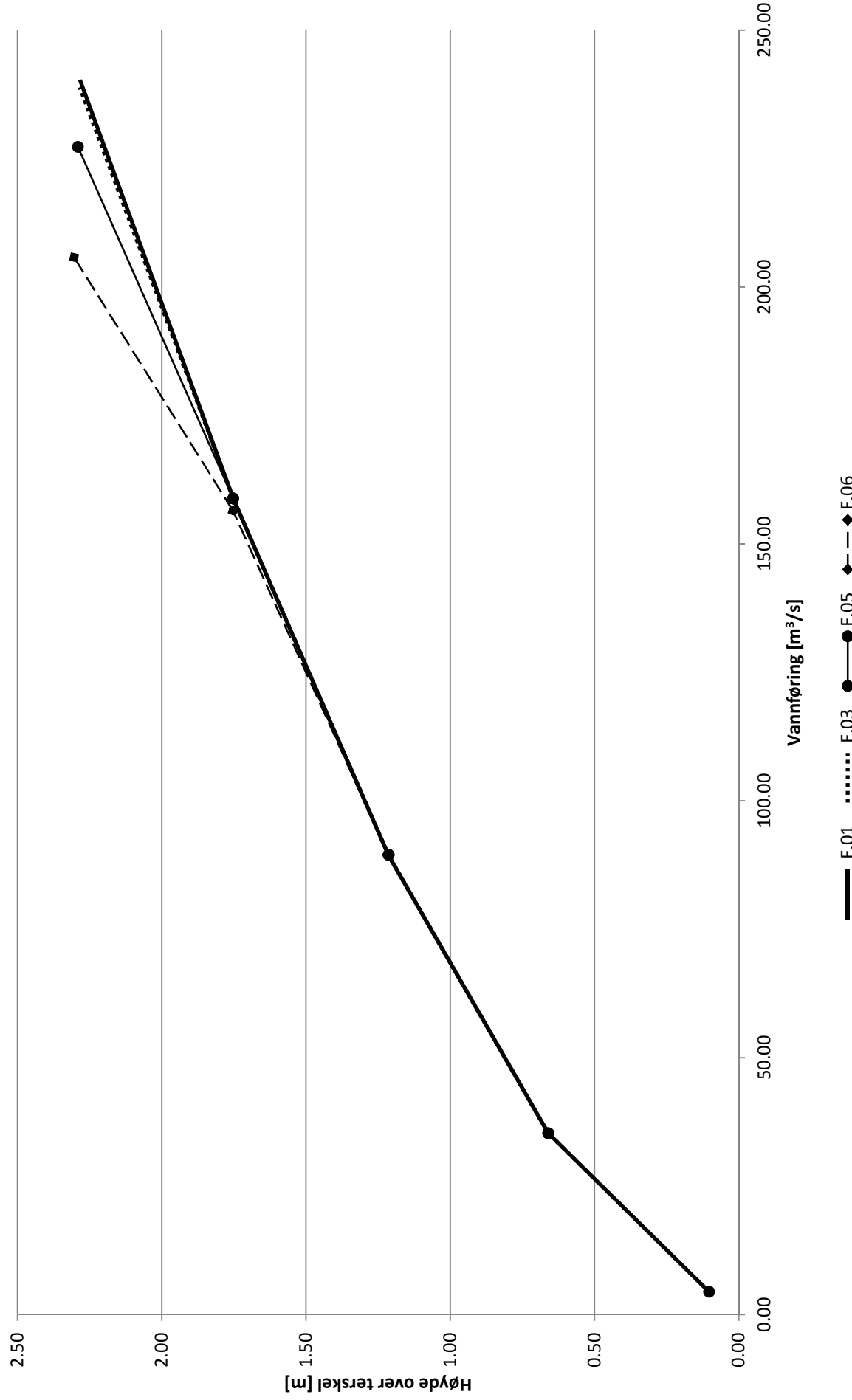


Kurve nr:	1.00		3.00				1 sammenlignet mot 3						
	H	Q	H	Q	Index	Q1	Q2	H1	H2	Utregnet Q	Avvik Q	Avvik Q [m3/s]	Avvik Q %
<b>Tabell 3</b>	0.10	4.45	0.102978179	4.440652623	1.00	4.44	35.30	0.10	0.66	4.44		0.01	0.27
	0.66	35.29	0.660171106	35.29854699	2.00	4.44	35.30	0.10	0.66	35.30		-0.01	-0.02
	1.21	89.38	1.213977104	89.46876713	3.00	89.47	158.82	1.21	1.75	89.48		-0.10	-0.11
	1.75	158.86	1.752420201	158.8203758	4.00	158.82	227.27	1.75	2.29	158.82		0.04	0.03
	2.28	240.31	2.290619139	227.2694529	5.00								
	0.00	0.00			6.00								
	0.00	0.00			7.00								
	0.00	0.00			8.00								
	0.00	0.00			9.00								
	0.00	0.00			10.00								
	0.00	0.00			11.00								
	0.00	0.00			12.00								
	0.00	0.00			13.00								
	0.00	0.00			14.00								
	0.00	0.00			15.00								
	0.00	0.00			16.00								
	0.00	0.00			17.00								
	0.00	0.00			18.00								
	0.00	0.00			19.00								
	0.00	0.00			20.00								
					21.00								
					22.00								
					23.00								
Min												-0.10	-0.11
Maks												0.04	0.27
Gjennomsnitt												-0.01	0.04

Kurve nr:	1.00		4.00				1 sammenlignet mot 4						Avvik Q %
	H	Q	H	Q	Index	Q1	Q2	H1	H2	Utregnet Q	Avvik Q [m3/s]		
<b>Tabell 4</b>	0.10	4.45	0.103018072	4.441026606	1.00	4.44	35.30	0.10	0.66	4.44	0.01	0.31	
	0.66	35.29	0.66017673	35.29506389	2.00	4.44	35.30	0.10	0.66	35.29	0.00	-0.01	
	1.21	89.38	1.213994768	89.40077493	3.00	89.40	156.47	1.21	1.75	89.40	-0.03	-0.03	
	1.75	158.86	1.753419998	156.4695057	4.00	89.40	156.47	1.21	1.75	156.35	2.52	1.58	
	2.28	240.31	2.304152066	205.7523122	5.00								
	0.00	0.00			6.00								
	0.00	0.00			7.00								
	0.00	0.00			8.00								
	0.00	0.00			9.00								
	0.00	0.00			10.00								
	0.00	0.00			11.00								
	0.00	0.00			12.00								
	0.00	0.00			13.00								
	0.00	0.00			14.00								
	0.00	0.00			15.00								
	0.00	0.00			16.00								
	0.00	0.00			17.00								
	0.00	0.00			18.00								
	0.00	0.00			19.00								
	0.00	0.00			20.00								
					21.00								
Min											-0.03	-0.03	
Maks											2.52	1.58	
Gjennomsnitt											0.63	0.46	



# Sammenligning simuleringsforsøk H < 2,1m



Maksimalt avvik mellom simuleringkurve og modellforsøkskurve vannstand i magasin lavere enn 2.1 m

F.03 mot Uten luft uten ruhet

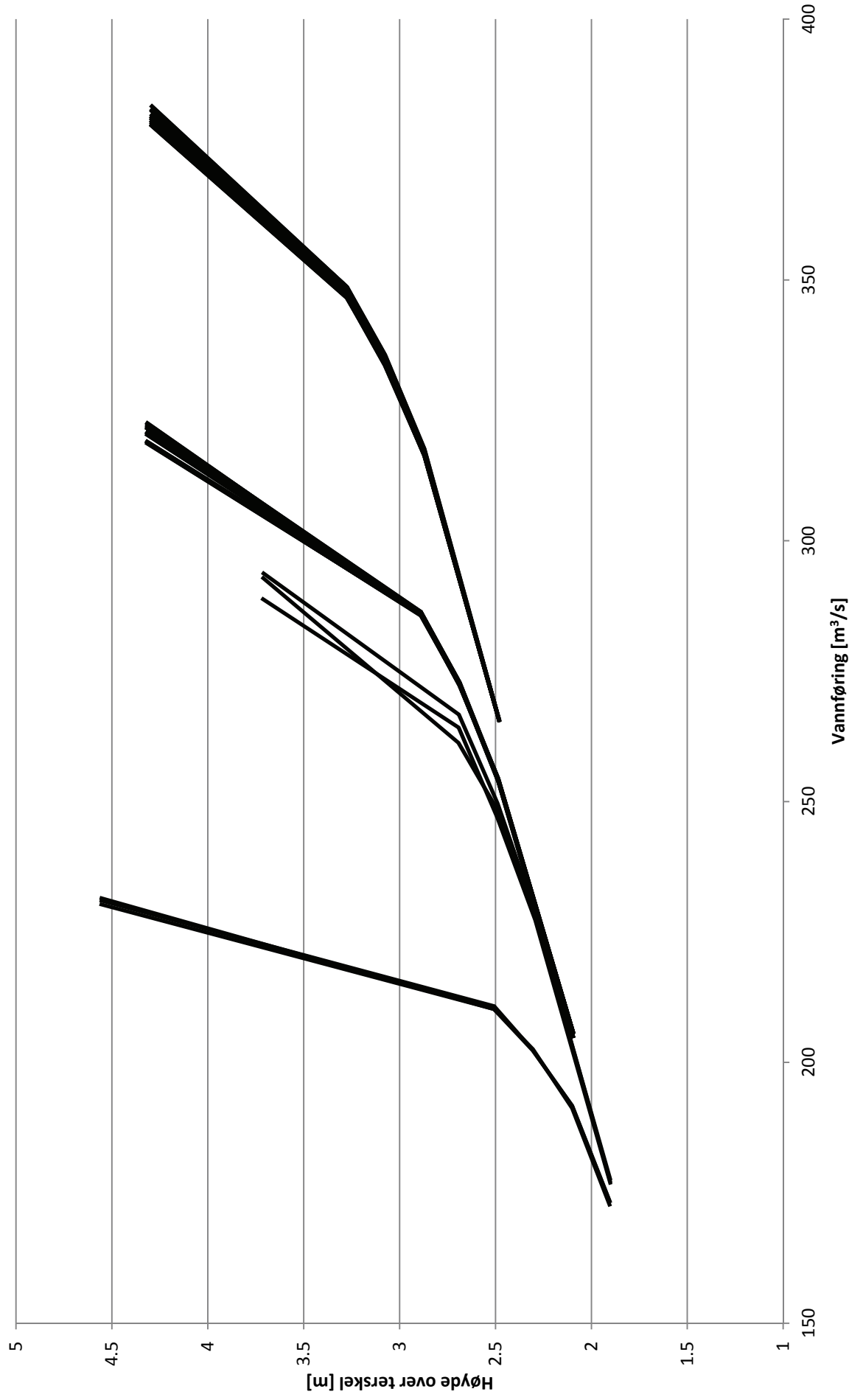
F.06 mot Med luft med ruhet

F.05 mot Uten luft med ruhet

F.01 mot Uten luft uten ruhet				F.03 mot Uten luft uten ruhet				F.05 mot Uten luft med ruhet				F.06 mot Med luft med ruhet			
Simulering nr	H [m]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Avvik %	Simulering nr	H [m]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Avvik %	Simulering nr	H [m]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Avvik %	Simulering nr	H [m]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Avvik %
1.00	0.31	12.25	-7.44	1.0	1.21	93.27	-5.6	1	1.21	93.3	0.0	1	1.21	93.3	-5.6
2.00	0.61	37.05	4.04	2.0	1.21	93.27	-5.6	2	0.66	39.92866	6.7	2	1.21	93.3	-5.6
3.00			0.00	3.0	1.21	90.60	-8.4	3	1.21	90.6982	-8.3	3	1.21	90.6	-8.4
4.00	1.31	108.90	-3.41	4.0	1.21	89.40	-9.7	4	1.21	89.46877	-9.6	4	1.21	89.4	-9.7
5.00	0.31	12.27	-7.23	5.0	1.21	90.53	-8.5	5	1.21	90.67879	-8.3	5	1.21	90.5	-8.5
6.00	0.30	12.36	-6.43	6.0	1.21	90.60	-8.4	6	1.21	90.71417	-8.3	6	1.21	90.6	-8.4
7.00			0.00	7.0	1.21	90.58	-8.4	7	1.21	90.71645	-8.3	7	1.21	90.6	-8.4
8.00			0.00	8.0	2.10	190.69	-6.2	8	1.90	180.8626	2.5	8	2.10	190.7	-6.2
9.00	0.31	12.26	-7.38	9.0	1.90	171.80	-2.8	9	1.90	179.1283	1.4	9	1.90	171.8	-2.8
10.00	1.21	92.66	-8.01	10.0	1.90	169.77	-4.1	10	1.90	177.473	0.5	10	1.90	169.8	-4.1
11.00	1.21	93.05	-7.60	11.0	1.90	173.02	-2.0	11	1.90	176.5899	0.0	11	1.90	173.0	-2.0
12.00	0.30	12.37	-6.41	12.0	1.90	172.38	-2.4	12	1.90	176.8654	0.2	12	1.90	172.4	-2.4
13.00	0.51	29.39	5.31	13.0	1.90	173.10	-2.0	13	1.90	177.3789	0.5	13	1.90	173.1	-2.0
14.00	1.31	105.41	-6.66	14.0	1.90	170.18	-3.7	14	1.90	174.8674	-1.0	14	1.90	170.2	-3.7
15.00	1.21	92.96	-7.73	15.0	1.90	170.07	-3.7	15	1.90	175.005	-0.9	15	1.90	170.1	-3.7
16.00			0.00	16.0	1.90	173.70	-1.7	16	1.90	176.7088	0.1	16	1.90	173.7	-1.7
17.00	1.21	87.59	-13.30	17.0	1.90	172.75	-2.3	17	1.90	177.8109	0.6	17	1.90	172.7	-2.3
18.00	1.21	93.01	-7.68	18.0	1.90	171.34	-3.1	18	1.90	177.2713	0.3	18	1.90	172.7	-2.3
19.00	1.21	93.29	-7.38	19.0	1.21	96.68	-2.0								
20.00	1.21	92.60	-8.08	20.0			0.0								
21.00	1.21	93.12	-7.52	21.0	2.09	205.50	1.7								
22.00	1.21	92.63	-8.05	22.0	2.09	205.41	1.7								
23.00	1.21	92.66	-8.01	23.0	2.09	205.51	1.7								
24.00	1.21	92.97	-7.71	24.0	2.09	204.76	1.3								
25.00	1.21	93.06	-7.61	25.0	2.09	204.65	1.3								
26.00	1.21	90.64	-10.13	26.0	2.09	204.73	1.3								
27.00	1.21	89.38	-11.47	27.0	2.09	205.50	1.7								
28.00	1.22	85.99	-14.93	28.0	2.09	204.71	1.3								
29.00			0.00	29.0	2.10	199.42	-1.5								
30.00			0.00	30.0	2.10	197.91	-2.3								
31.00			0.00	31.0	2.10	196.07	-3.3								
32.00			0.00	32.0	2.09	205.46	1.7								
33.00			0.00	33.0	2.09	205.46	1.7								
34.00			0.00	34.0	2.09	203.07	0.5								
35.00			0.00	35.0	2.09	202.84	0.3								
36.00			0.00	36.0	2.09	205.47	1.7								
37.00			0.00	37.0	2.09	205.71	1.7								
38.00			0.00	38.0			0.0								
39.00			0.00												
40.00			0.00												
41.00			0.00												
42.00			0.00												
43.00			0.00												
44.00			0.00												
45.00			0.00												
46.00			0.00												
47.00			0.00												
48.00			0.00												
49.00			0.00												
50.00	0.66	37.31	-5.20												
Maks	5.31			1.74				6.72				5.31		6.72	-1.66
Min	-14.93			-9.67				-9.60				-14.93		-9.67	-9.67

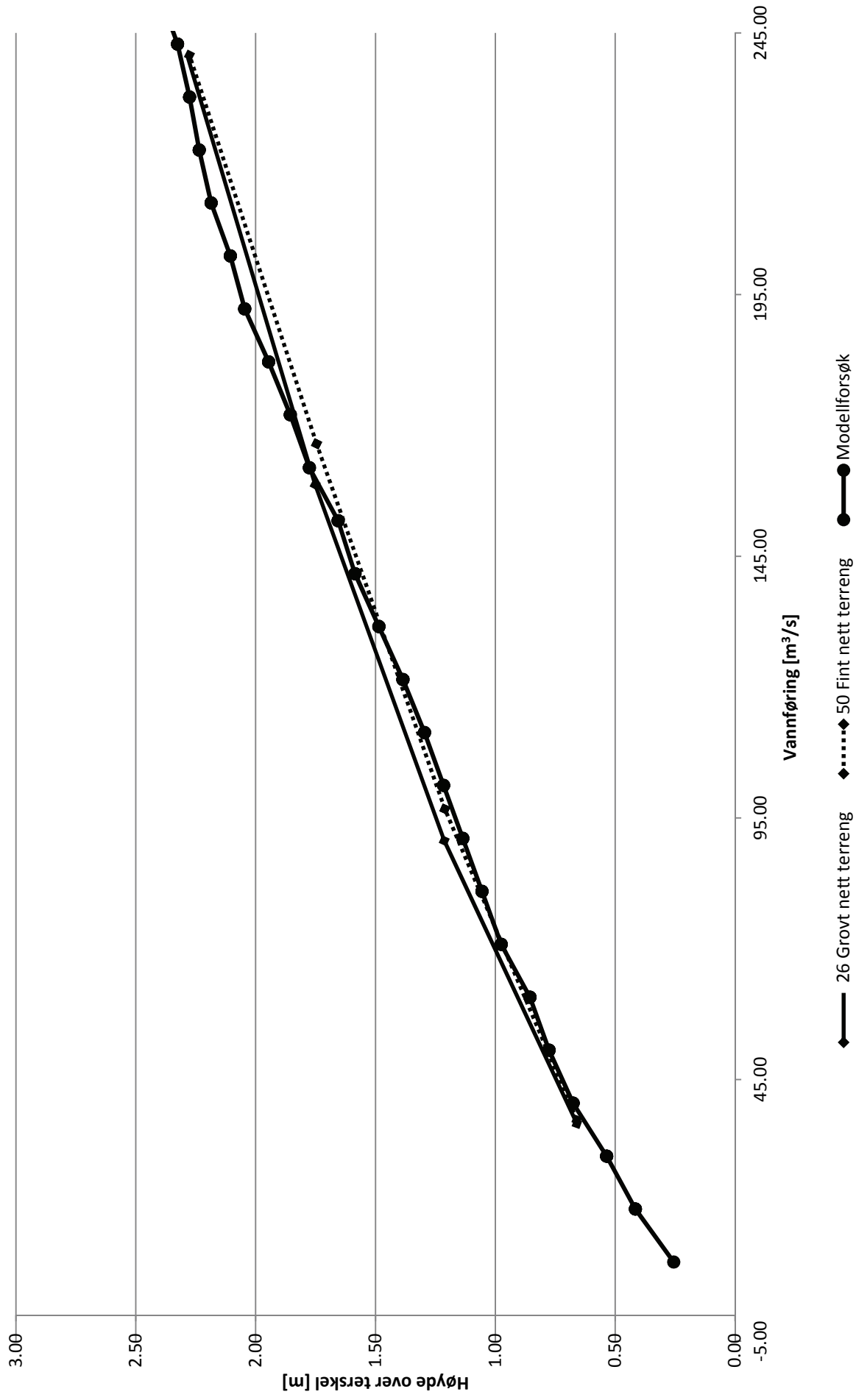
Helling og lengde utløp																			
simulering	Excelfil F.01				Excelfil F.03				Excelfil F.05				Excelfil F.06						
	H [m]	Q[m3]	Lengde	Helling	simulering	H [m]	Q[m3]	Lengde	Helling	simulering	H [m]	Q[m3]	Lengde	Helling	simulering	H [m]	Q[m3]	Lengde	Helling
29.00	4.30	381.43	5.60	7.00	20.00	4.32	321.94	5.60	7.00	11.00	3.72	288.99	5.60	7.00	11.00	4.56	230.37	5.60	7.00
30.00	4.30	381.37	5.60	4.00	21.00	4.32	320.50	5.60	4.00	12.00	3.72	293.96	5.60	4.00	12.00	4.56	231.56	5.60	4.00
31.00	4.30	379.79	5.60	10.00	22.00	4.32	318.86	5.60	10.00	13.00	3.72	293.07	5.60	10.00	13.00	4.56	231.10	5.60	10.00
32.00	4.30	381.82	5.00	7.00	23.00	4.32	322.75	5.00	7.00										
33.00	4.30	382.60	5.00	4.00	24.00	4.32	320.89	5.00	4.00										
34.00	4.30	380.62	5.00	10.00	25.00	4.32	319.15	5.00	10.00										
35.00	4.30	382.80	4.60	7.00	26.00	4.32	322.46	4.60	7.00										
36.00	4.30	383.52	4.60	4.00	27.00	4.32	320.90	4.60	4.00										
37.00	4.30	381.05	4.60	10.00	28.00	4.32	319.19	4.60	10.00										
43.00	4.30	379.90	6.00	7.00	32.00	4.32	321.70	6.00	7.00										
44.00	4.30	380.26	4.00	7.00	33.00	4.32	322.19	4.00	7.00										
Min		379.79					318.86					288.99					230.37		
Maks		383.52					322.75					293.96					231.56		
		-3.72					-3.89					-4.97					-1.20		

# Helling og lengde utløp



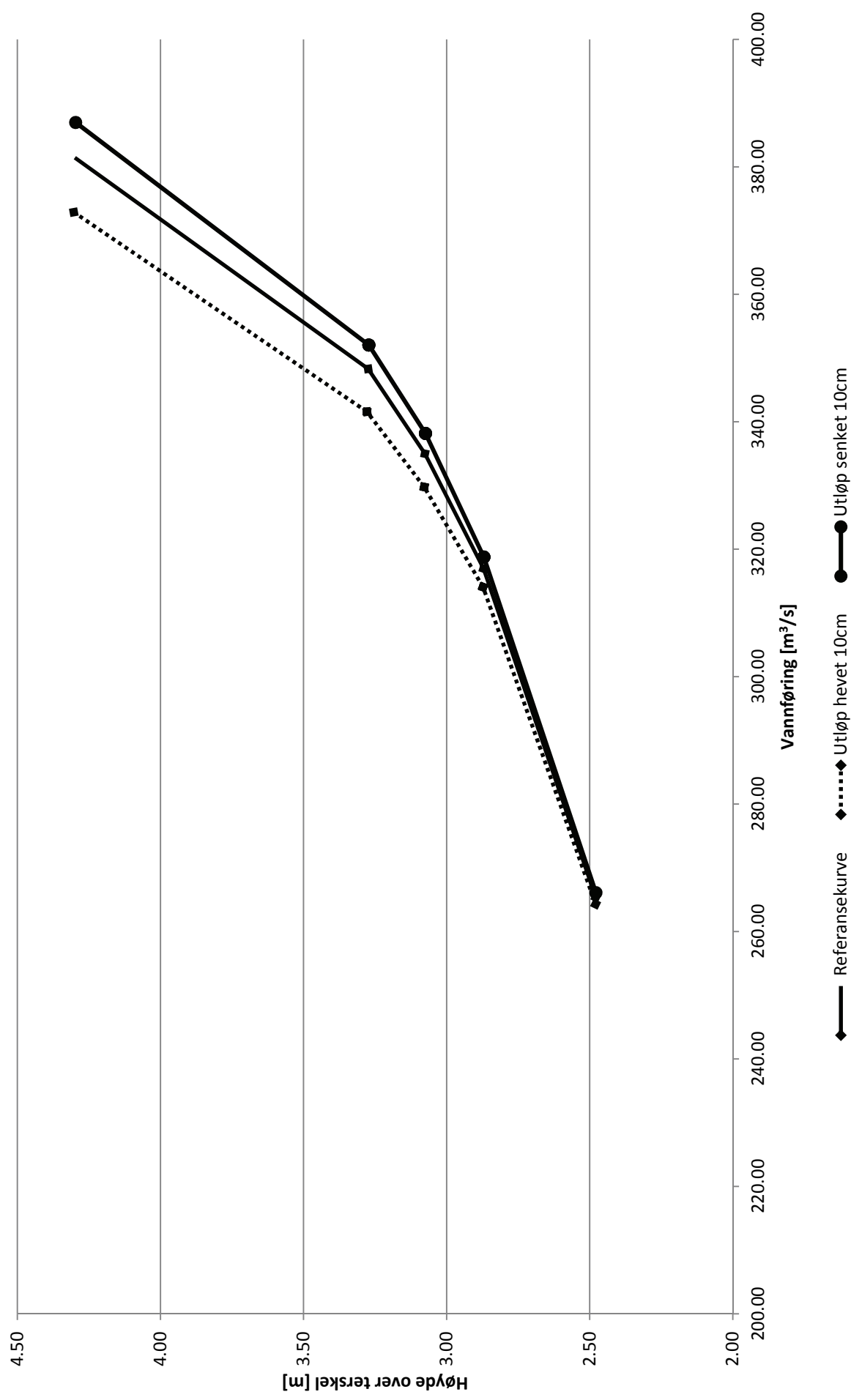
<b>Tabell 1</b>						
Sammenligning:	Fint og grovt nett i terreng H < 2,1m					
Kurve nr	1.00		2.00		3.00	
Simulering nr:	26.00		50.00		"Uten luft uten ruhet"	
STAR-CCM+ Fil	R1.012		R1.037		Åne og Øystein	
Antall celler:	84435.00		220926.00			
Overskrift:	26 Grovt nett terreng		50 Fint nett terreng		Modellforsøk	
Excel fil	F.01		F.01			
Avvik i forhold til modell (Røneid & Sæter 2007)						
H proto [m]	Avvik [m3]	Avvik [%]	Avvik [m3]	Avvik [%]		
0.10						
0.66	-2.76	-7.01	-2.05	-5.20		
1.21	-10.21	-10.13	-3.83	-3.81		
1.75	-1.22	-0.77	7.09	4.45		
2.28	6.14	2.62	7.86	3.38		
	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H modell	Q modell
					0.26	10.12
	0.66	36.57	0.66	37.31	0.42	20.24
	1.21	90.64	1.21	96.68	0.54	30.36
	1.75	158.66	1.75	166.48	0.68	40.48
	2.28	240.31	2.28	240.76	0.78	50.60
					0.86	60.72
					0.98	70.84
					1.06	80.95
					1.14	91.07
					1.22	101.19
					1.30	111.31
					1.39	121.43
					1.49	131.55
					1.59	141.67
					1.66	151.79
					1.78	161.91
					1.86	172.03
					1.95	182.15
					2.05	192.27
					2.11	202.39
					2.19	212.51
					2.24	222.62
					2.28	232.74
					2.33	242.86
					2.41	252.98
					2.49	263.10

# Fint og grovt nett i terreng H < 2,1m



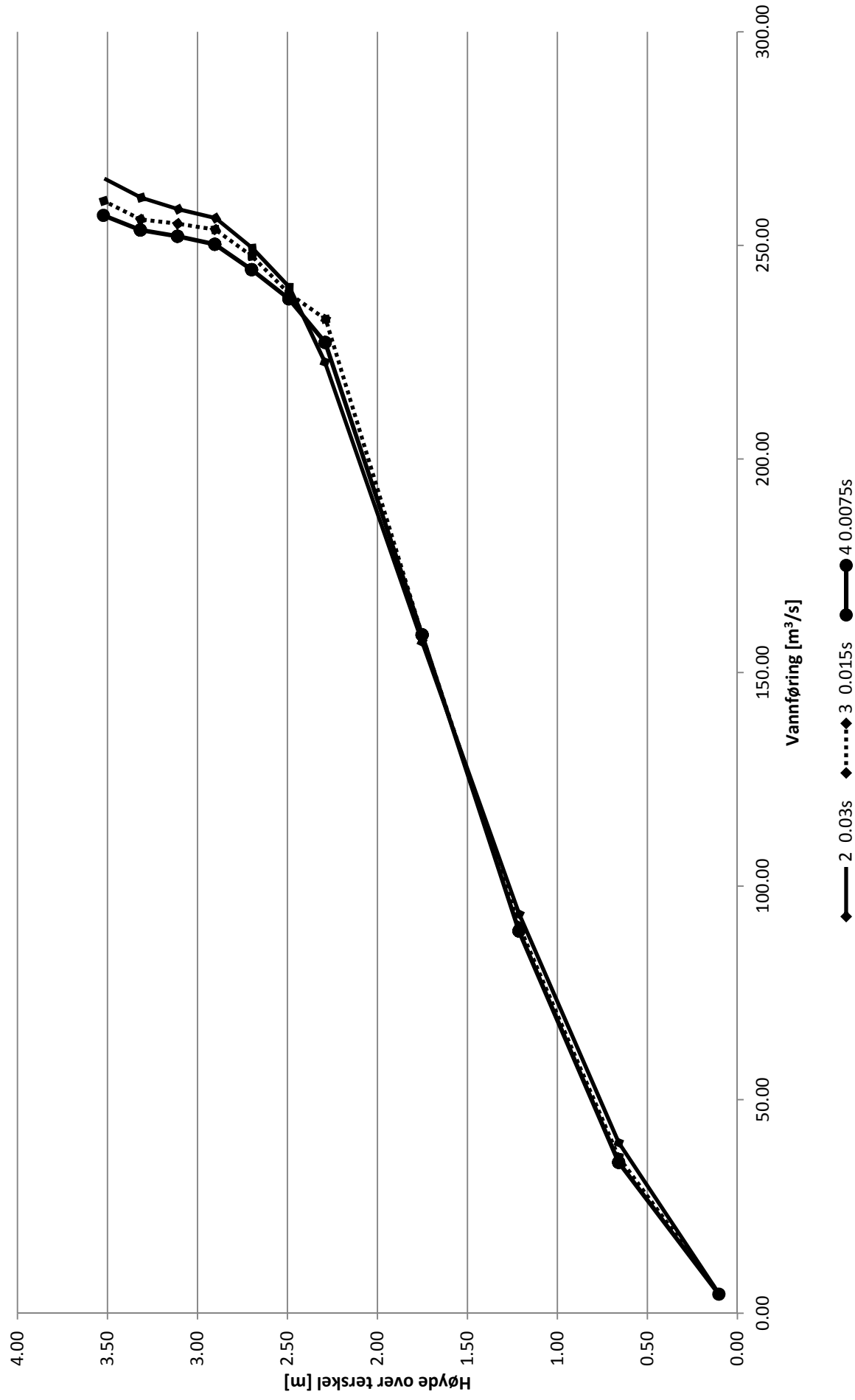


# Høydedifferanse mellom samløp og utløp



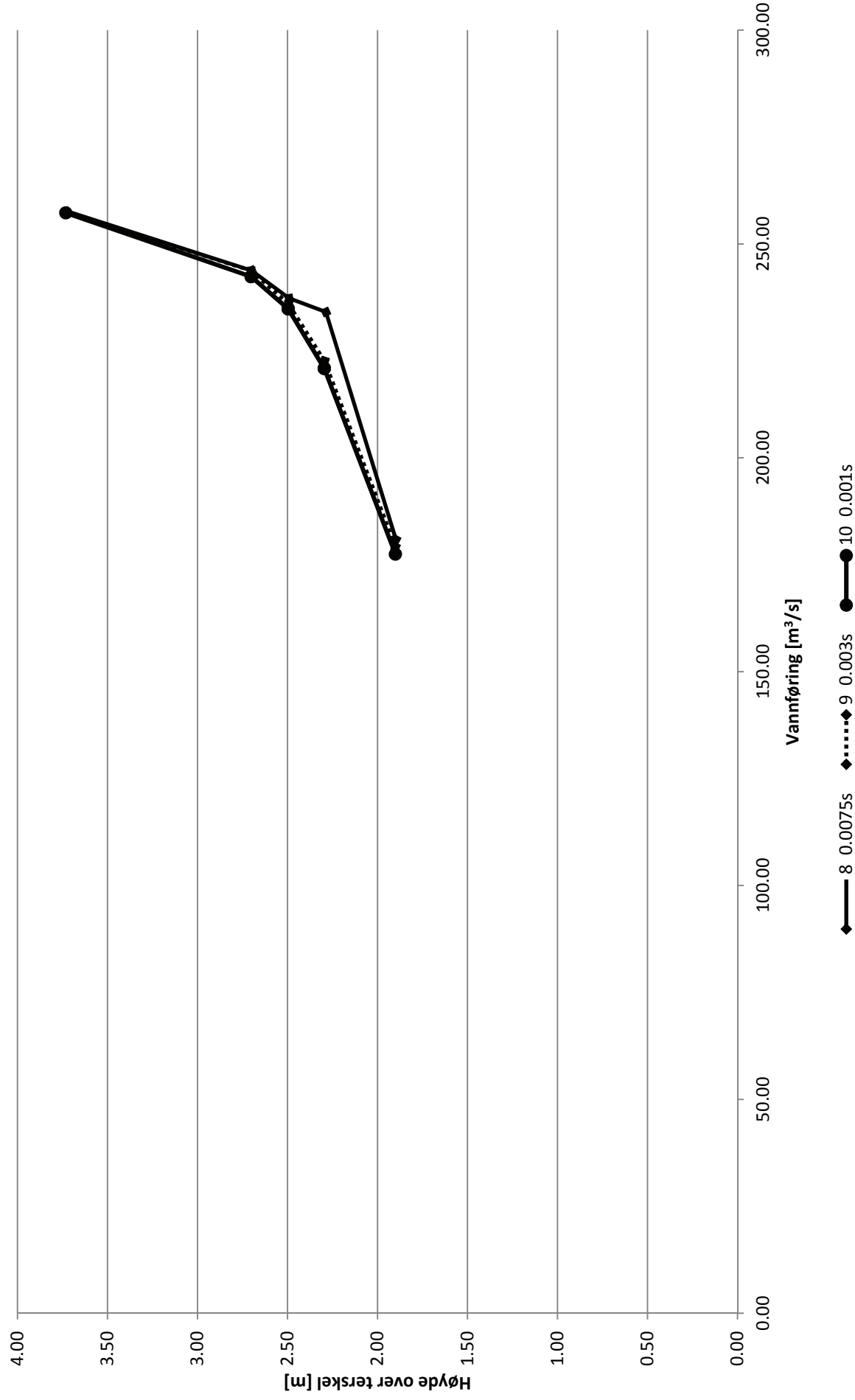


# Kapasitetskurver for tre simuleringer med ulikt tidssteg



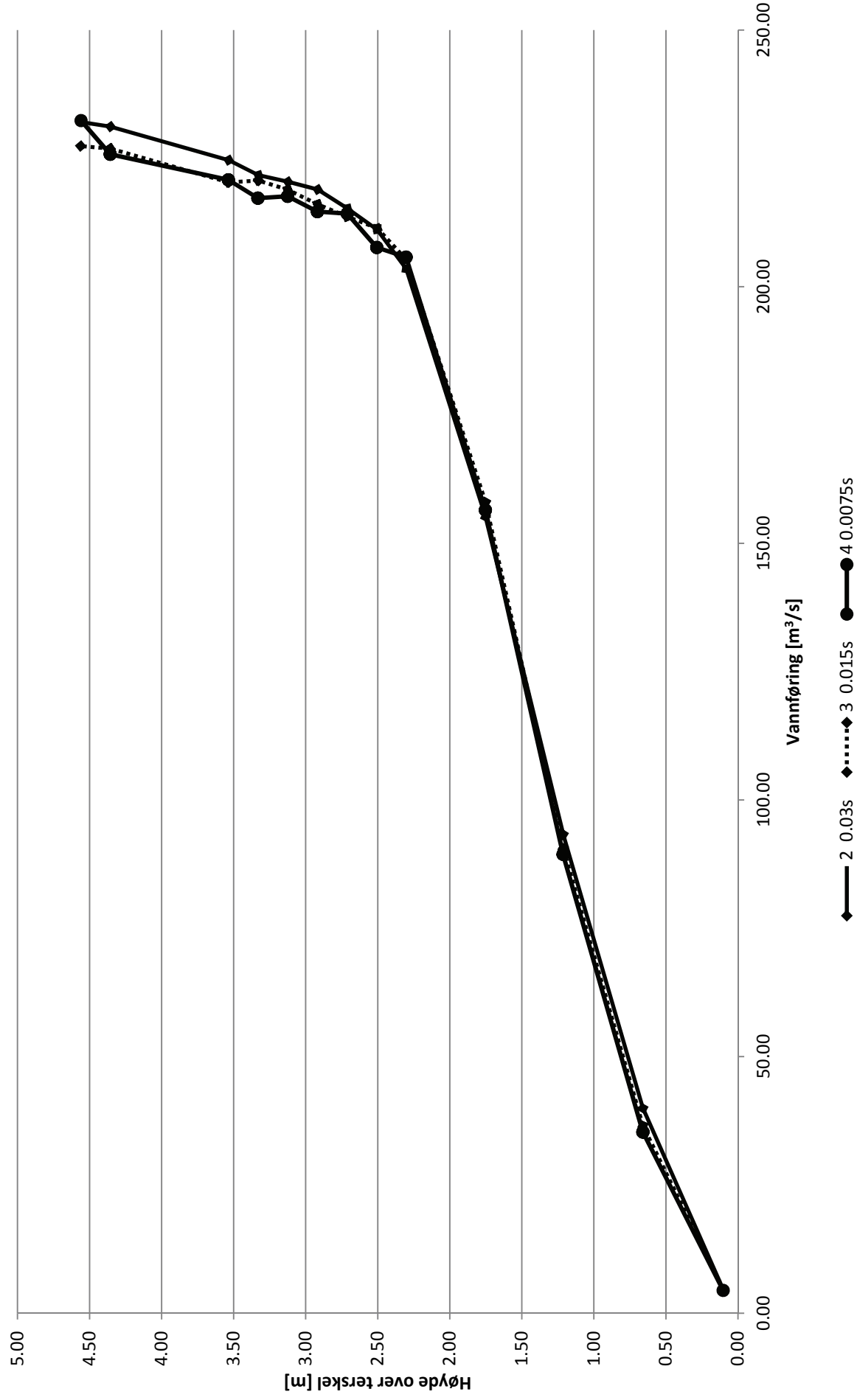


# Kapasitetskurver for tre simuleringer med ulikt tidssteg



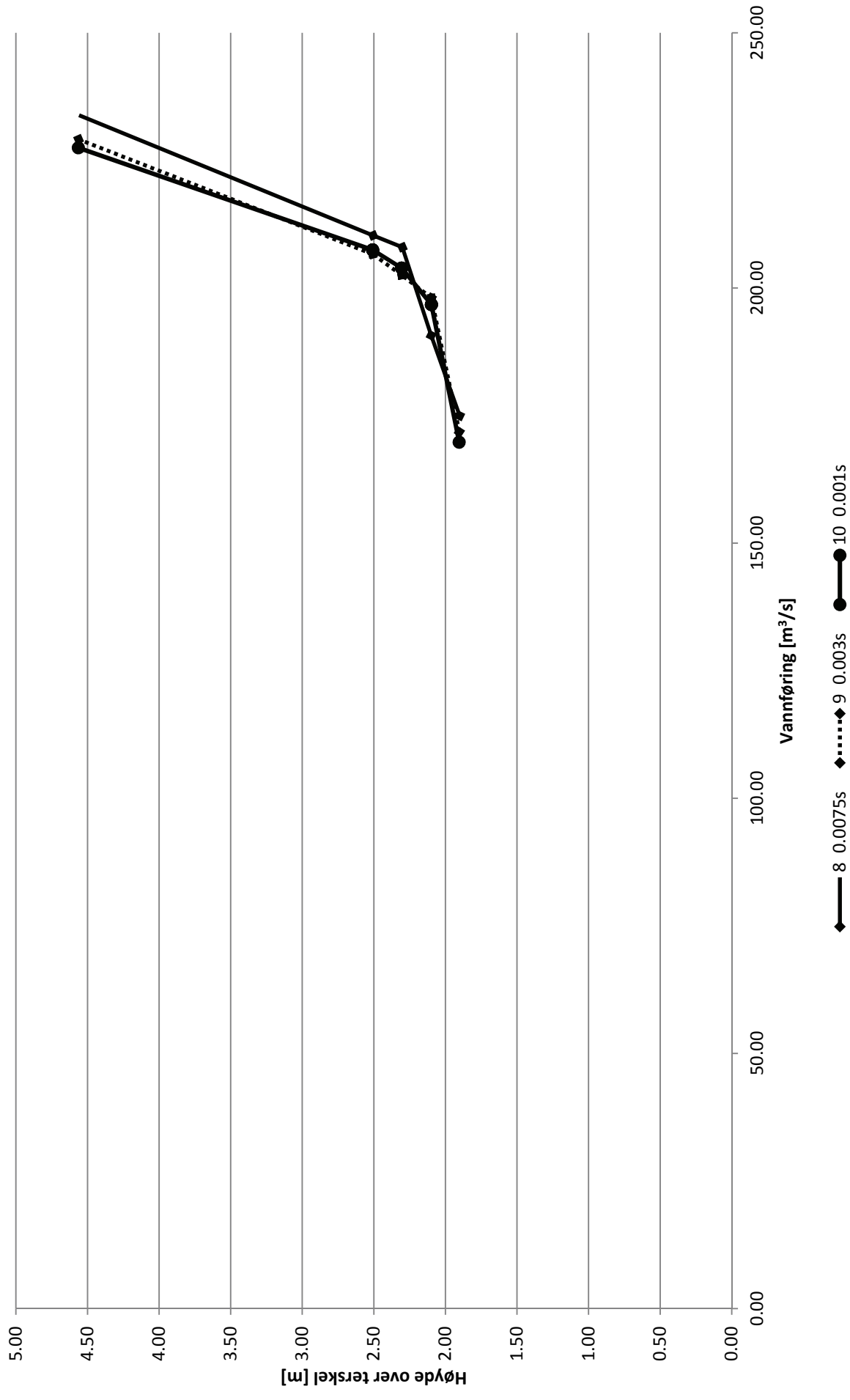


# Kapasitetskurver for tre simuleringer med ulikt tidssteg



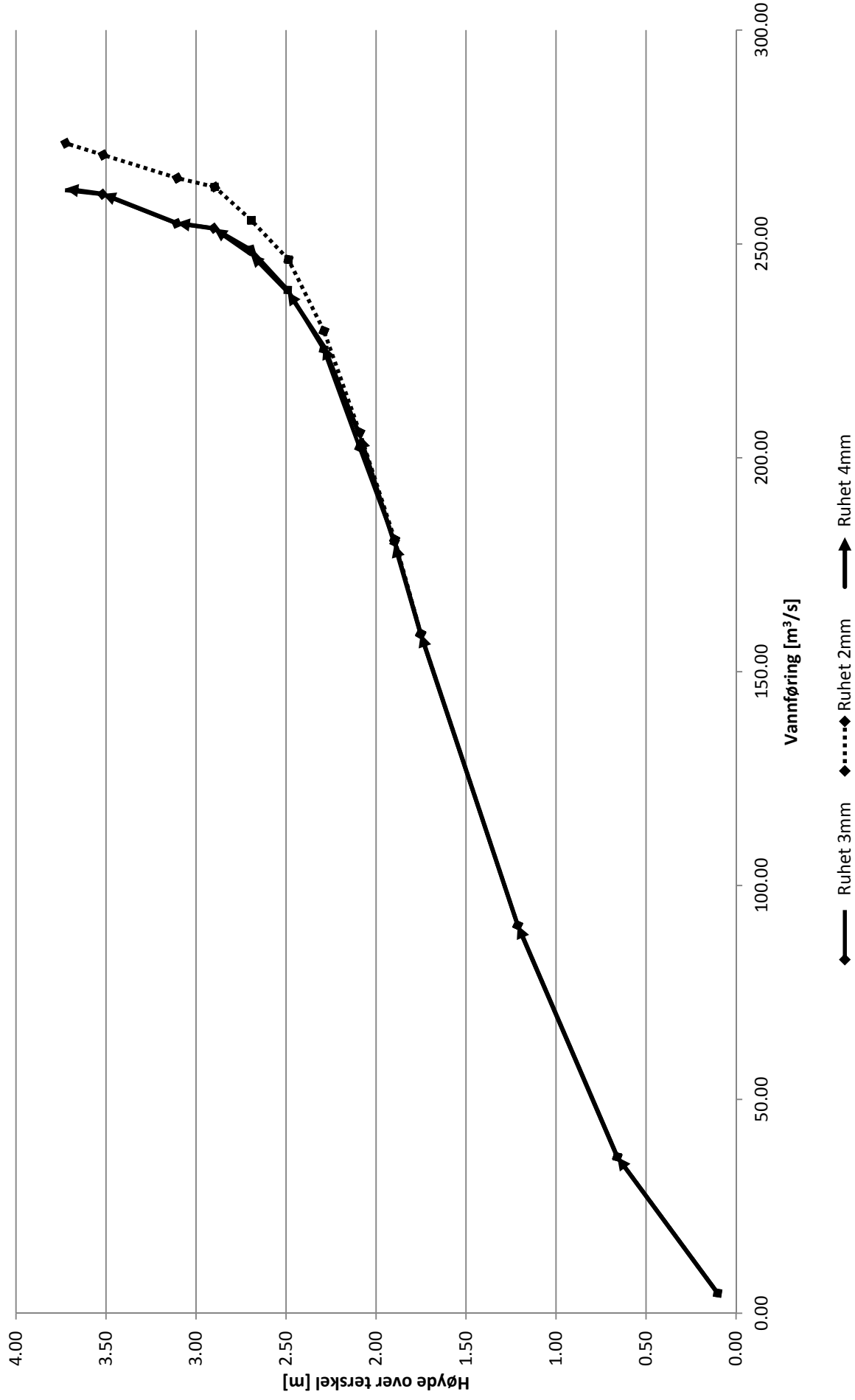
<b>Tabell 1</b>										
Sammenligning	Kapasitetskurver simuleringer med ulikt tidssteg ("Med luft med ruhet") 2									
Kurve nr	1.00	2.00	3.00							
Simulering nr	8.00	9.00	10.00							
STAR-CCM+ Fil	R6.008	R6.009	R6.010							
Excelfil	F.06	F.06	F.06							
Overskrift	8 0.0075s	9 0.003s	10 0.001s							
Simulering nr										
									9.00	10.00
									Awik Q	Awik Q
H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	Awik Q
1.90	174.94	1.90	171.80	1.90	169.77					-3.14
2.10	190.69	2.10	198.05	2.10	196.74					7.36
2.30	207.98	2.31	202.52	2.31	203.88					-5.46
2.51	210.29	2.51	206.63	2.51	207.45					-3.66
4.56	233.84	4.56	229.12	4.56	227.46					-4.72
										-6.38

# Kapasitetskurver for tre simuleringer med ulikt tidssteg



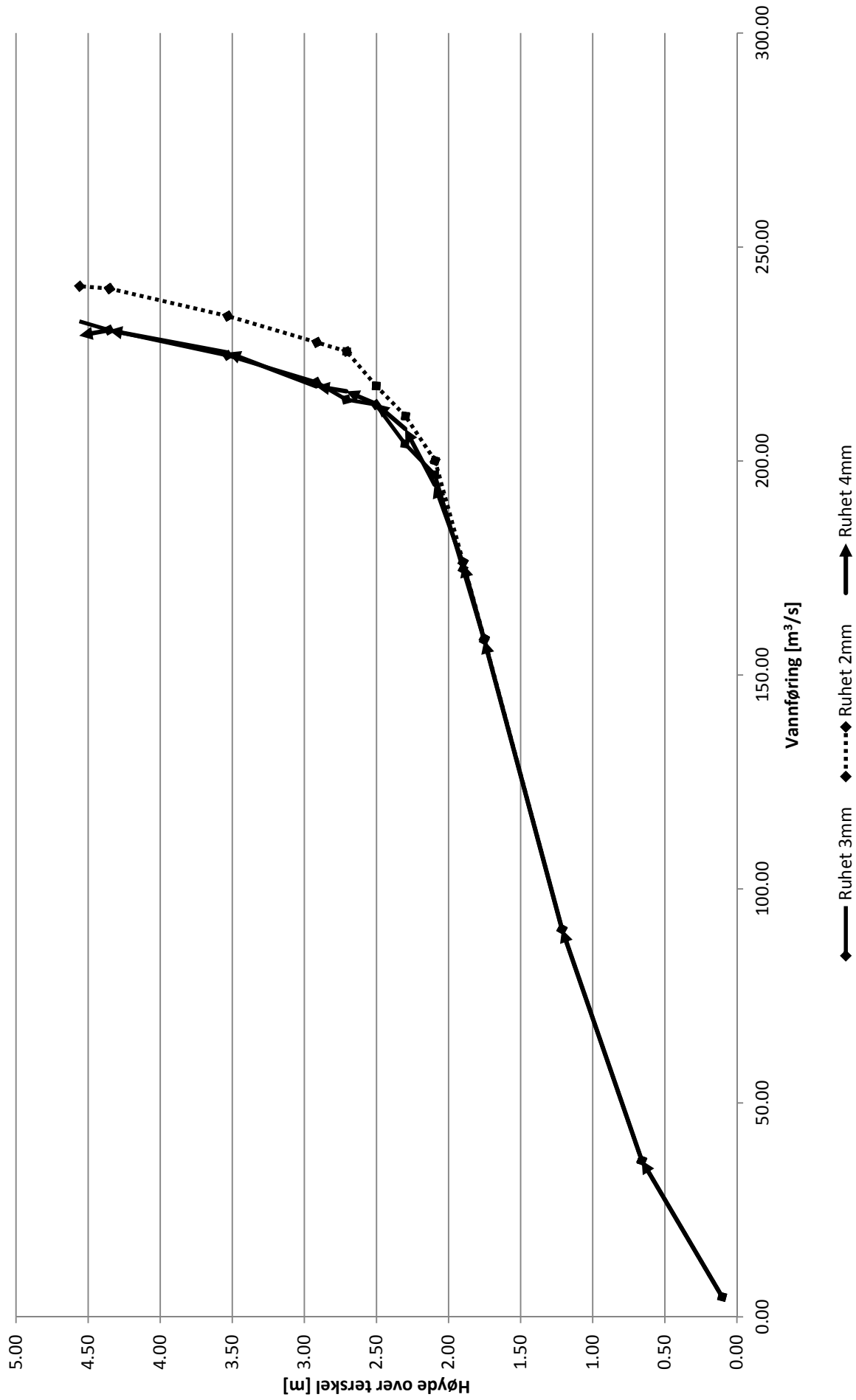
<b>Tabell 1</b>										
Sammenligning:	Ruhet sjakt "Uten luft med ruhet"									
Kurve nr	1.00	2.00	3.00							
Simulering nr:	5.00	6.00	7.00							
STAR-CCM+ fil	R5.005	R5.006	R5.007							
Excel fil	F.05	F.05	F.05							
Overskrift:	Ruhet 3mm	Ruhet 2mm	Ruhet 4mm							
Simulering nr										
	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	Avvik Q	Avvik Q
	0.10	4.71	0.10	4.68	0.10	4.67			-0.03	-0.05
	0.66	36.55	0.66	36.56	0.66	36.54			0.01	-0.02
	1.21	90.68	1.21	90.71	1.21	90.72			0.04	0.04
	1.75	158.69	1.75	158.90	1.75	158.85			0.20	0.16
	1.90	180.30	1.90	180.90	1.90	179.83			0.60	-0.48
	2.09	202.43	2.09	205.95	2.09	205.22			3.52	2.80
	2.29	225.37	2.29	229.63	2.29	226.14			4.26	0.77
	2.49	239.22	2.49	246.32	2.49	238.80			7.09	-0.42
	2.70	248.66	2.69	255.53	2.70	247.64			6.87	-1.02
	2.90	253.65	2.90	263.31	2.90	253.61			9.66	-0.04
	3.11	254.78	3.10	265.38	3.11	254.88			10.60	0.10
	3.52	261.61	3.52	270.79	3.52	261.69			9.18	0.08
	3.73	262.55	3.72	273.54	3.73	262.88			10.99	0.33

# Ruhet sjakt "Uten luft med ruhet"



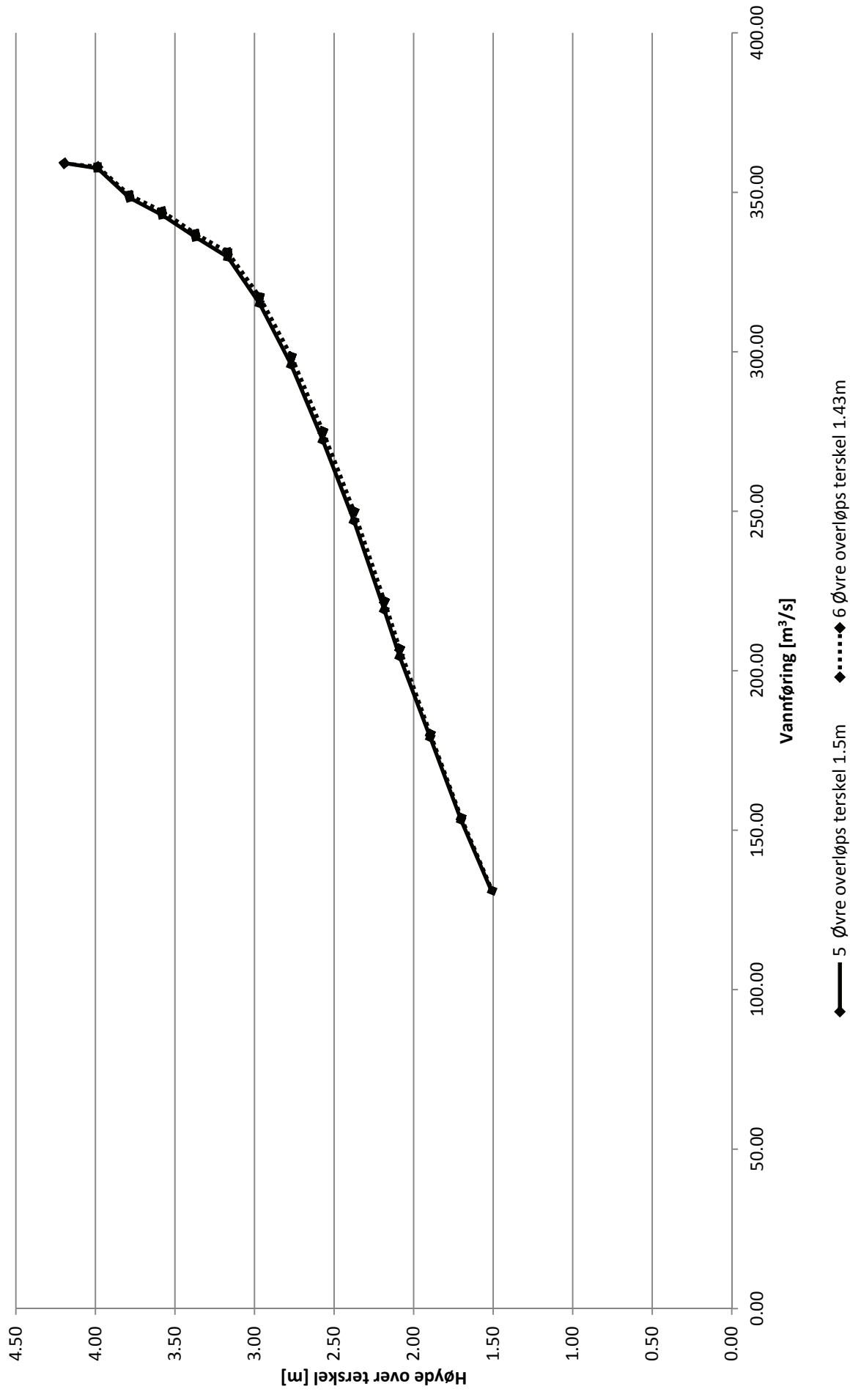
<b>Tabell 1</b>															
Sammenligning: Ruhet sjakt "Med luft med ruhet"															
Kurve nr	1.00	5.00	R6.005	F.06	Ruhet 3mm	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	Avvik Q	Avvik Q
Simulering nr:	2.00	6.00	R6.006	F.06	Ruhet 2mm										
Excelfil															
Overskrift:					Ruhet 4mm										
Simulering nr														6.00	7.00
														Avvik Q	Avvik Q
	0.10	0.66	1.21	1.75	1.90	2.10	4.70	0.10	4.66	0.10	4.66	0.10	4.67	-0.04	-0.03
	0.66	36.56	90.53	158.11	174.73	196.80	36.56	0.66	36.54	0.66	36.54	0.66	36.55	-0.02	-0.01
	1.21	90.53	158.11	174.73	196.80	204.01	90.53	1.21	90.60	1.21	90.60	1.21	90.58	0.07	0.05
	1.75	158.11	174.73	196.80	204.01	213.15	158.11	1.75	158.51	1.75	158.51	1.75	158.10	0.40	-0.02
	1.90	174.73	196.80	204.01	213.15	214.35	174.73	1.90	176.40	1.90	176.40	1.90	175.92	1.68	1.19
	2.10	196.80	204.01	213.15	214.35	218.41	196.80	2.09	200.07	2.10	200.07	2.10	194.45	3.28	-2.35
	2.30	204.01	213.15	214.35	218.41	224.66	204.01	2.30	210.45	2.30	210.45	2.30	207.51	6.44	3.50
	2.50	213.15	214.35	218.41	224.66	230.60	213.15	2.50	217.52	2.50	217.52	2.50	213.34	4.37	0.18
	2.71	214.35	218.41	224.66	230.60	232.63	214.35	2.71	225.59	2.71	225.59	2.71	216.29	11.24	1.95
	2.92	218.41	224.66	230.60	232.63		218.41	2.91	227.71	2.92	227.71	2.92	217.43	9.29	-0.99
	3.53	224.66	230.60	232.63			224.66	3.53	233.86	3.53	233.86	3.53	225.33	9.21	0.68
	4.36	230.60	232.63				230.60	4.35	240.29	4.36	240.29	4.36	230.54	9.69	-0.06
	4.56	232.63					232.63	4.56	240.83	4.56	240.83	4.56	229.27	8.20	-3.36

# Ruhet sjakt "Med luft med ruhet"



<b>Tabell 1</b>						
Sammenligning:		Overløpstærskel				
Kurve nr	1.00				2.00	
Simulering nr:	5.00				6.00	
STAR-CCM+ fil	R1.000.5				R1.000.6	
Excel fil	F.01				F.01	
Overskrift:	5 Øvre overløps terskel 1.5m				6 Øvre overløps terskel 1.43m	
Simulering nr						6.00
	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	Avvik Q	
	4.20	359.15	4.20	359.01		-0.14
	3.99	357.51	3.99	358.04		0.53
	3.79	348.30	3.79	349.12		0.82
	3.58	342.88	3.58	344.08		1.20
	3.37	335.99	3.37	337.05		1.06
	3.17	329.67	3.17	331.28		1.61
	2.97	315.11	2.97	317.26		2.15
	2.77	295.88	2.77	298.50		2.62
	2.57	272.25	2.57	275.06		2.81
	2.38	246.96	2.37	249.97		3.01
	2.18	219.07	2.18	221.85		2.78
	2.09	204.43	2.09	206.91		2.49
	1.90	179.05	1.90	180.21		1.15
	1.70	153.15	1.70	153.94		0.79
	1.51	130.46	1.51	131.10		0.63
	1.41	120.05	1.41	120.18		0.13

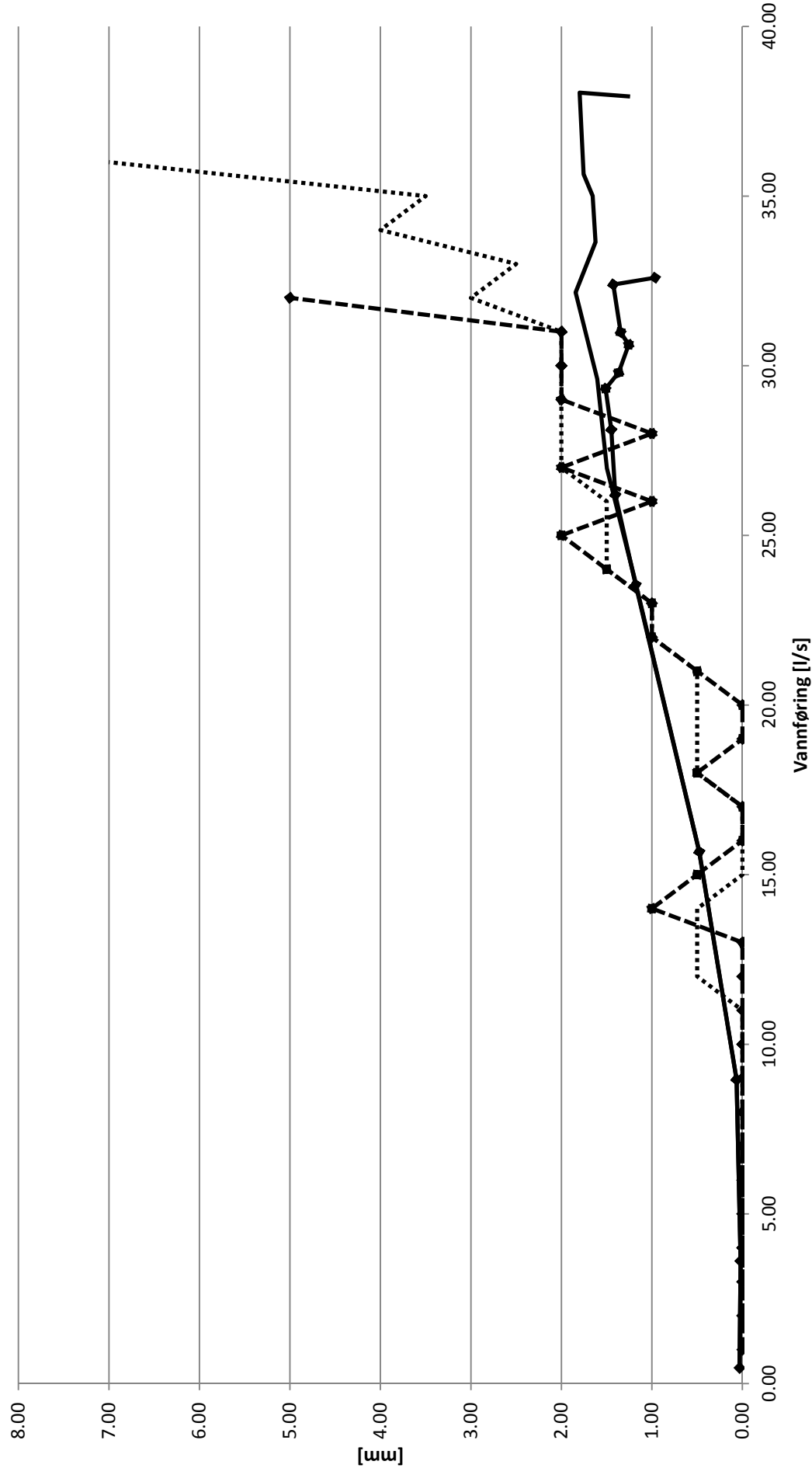
# Overløpsterskel



<b>Tabell 1</b>									
Sammenligning:	Vannstandsmålere, sammenligning mellom simuleringsforsøk og modellforsøk								
Kurve nr	1.00		2.00		3.00		4.00		
Simulering nr:	25.00				17.00				
STAR-CCM+ fil	R1.011				R3.012				
Excel fil	F.01				F.03				
Overskrift:	F.01, avvik mellom måler sør og måler nord		Modelforsøk "Uten luft uten ruhet", avvik mellom måler 1 og måler 2		F.03, avvik mellom måler sør og måler nord		Modelforsøk "Med luft uten ruhet", avvik mellom måler 1		
F.01, avvik mellom måler sør og måler nord					Modelforsøk "Uten luft uten ruhet", avvik mellom måler 1 og måler 2				
Innlop (kg/s)	Nord	Sør	Avvik [mm]		Q [l/s]	h,1 [mm]	h,2 [mm]	[mm]	
0.46	0.00	0.00	0.03		1.00	329.00	329.00	0.00	
3.61	0.02	0.02	0.02		2.00	333.00	333.00	0.00	
8.96	0.03	0.03	0.06		3.00	336.00	336.00	0.00	
15.68	0.04	0.04	0.48		4.00	339.50	339.50	0.00	
23.75	0.06	0.06	1.19		5.00	342.00	342.00	0.00	
26.98	0.06	0.06	1.50		6.00	344.00	344.00	0.00	
29.61	0.07	0.07	1.60		7.00	347.00	347.00	0.00	
32.16	0.07	0.07	1.84		8.00	349.00	349.00	0.00	
33.65	0.08	0.08	1.62		9.00	351.00	351.00	0.00	
35.00	0.08	0.08	1.65		10.00	353.00	353.00	0.00	
35.65	0.09	0.09	1.76		11.00	355.00	355.00	0.00	
38.05	0.11	0.11	1.80		12.00	357.00	357.50	0.50	
37.94	0.11	0.11	1.24		13.00	359.50	360.00	0.50	
					14.00	362.00	362.50	0.50	
					15.00	364.00	364.00	0.00	
					16.00	367.00	367.00	0.00	
					17.00	369.00	369.00	0.00	
					18.00	371.00	371.50	0.50	
					19.00	373.50	374.00	0.50	
					20.00	375.00	375.50	0.50	
					21.00	377.00	377.50	0.50	
					22.00	378.00	379.00	1.00	
					23.00	379.00	380.00	1.00	
					24.00	380.00	381.50	1.50	
					25.00	382.00	383.50	1.50	
					26.00	384.00	385.50	1.50	
					27.00	385.00	387.00	2.00	
					28.00	387.00	389.00	2.00	
					29.00	388.00	390.00	2.00	
					30.00	390.00	392.00	2.00	
					31.00	391.00	393.00	2.00	
					32.00	392.00	395.00	3.00	
					33.00	394.00	396.50	2.50	
					34.00	396.00	400.00	4.00	
					35.00	403.00	406.50	3.50	
					36.00	426.00	433.00	7.00	

F.03, avvik mellom måler sør og måler nord				Modelforsøk "Med luft uten ruhet", avvik mellom måler 1 og måler 2			
Innlop (kg/s)	Nord	Sør	Avvik [mm]	Q [l/s]	h,1 [mm]	h,2 [mm]	Avvik [mm]
0.46	0.00	0.00	0.03	1.00	329.00	329.00	0.00
3.61	0.02	0.02	0.02	2.00	333.00	333.00	0.00
8.96	0.03	0.03	0.07	3.00	336.00	336.00	0.00
15.68	0.04	0.04	0.48	4.00	340.00	340.00	0.00
23.55	0.06	0.06	1.18	5.00	342.00	342.00	0.00
26.20	0.06	0.06	1.41	6.00	344.50	344.50	0.00
28.11	0.07	0.07	1.45	7.00	346.50	346.50	0.00
29.32	0.07	0.07	1.51	8.00	349.00	349.00	0.00
29.79	0.08	0.08	1.37	9.00	351.00	351.00	0.00
30.62	0.08	0.08	1.26	10.00	353.00	353.00	0.00
30.99	0.09	0.09	1.35	11.00	355.00	355.00	0.00
32.39	0.11	0.11	1.43	12.00	357.00	357.00	0.00
32.59	0.11	0.11	0.97	13.00	360.00	360.00	0.00
				14.00	362.00	363.00	1.00
				15.00	364.50	365.00	0.50
				16.00	369.00	369.00	0.00
				17.00	370.00	370.00	0.00
				18.00	371.00	371.50	0.50
				19.00	373.00	373.00	0.00
				20.00	375.00	375.00	0.00
				21.00	376.50	377.00	0.50
				22.00	378.00	379.00	1.00
				23.00	379.00	380.00	1.00
				24.00	380.50	382.00	1.50
				25.00	382.00	384.00	2.00
				26.00	384.00	385.00	1.00
				27.00	385.00	387.00	2.00
				28.00	387.00	388.00	1.00
				29.00	389.00	391.00	2.00
				30.00	391.00	393.00	2.00
				31.00	402.00	404.00	2.00
				32.00	428.00	433.00	5.00

# Vannstandsmålere, sammenligning mellom simuleringforsøk og modellforsøk

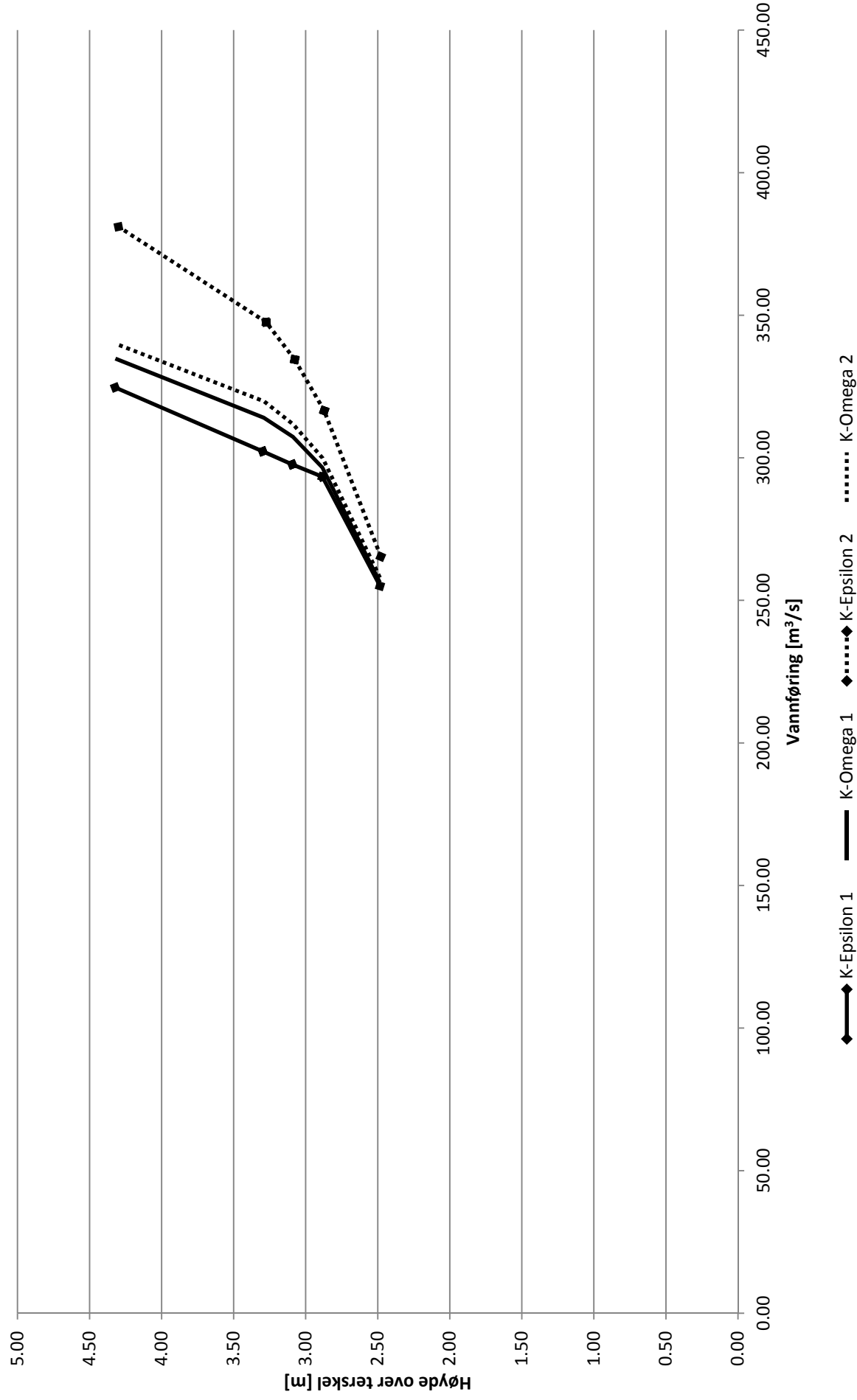


F.01, avvik mellom måler sør og måler nord
  Modelforsøk "Uten luft uten ruhet", avvik mellom måler 1 og måler 2  
 F.03, avvik mellom måler sør og måler nord
  Modelforsøk "Med luft uten ruhet", avvik mellom måler 1 og måler 2



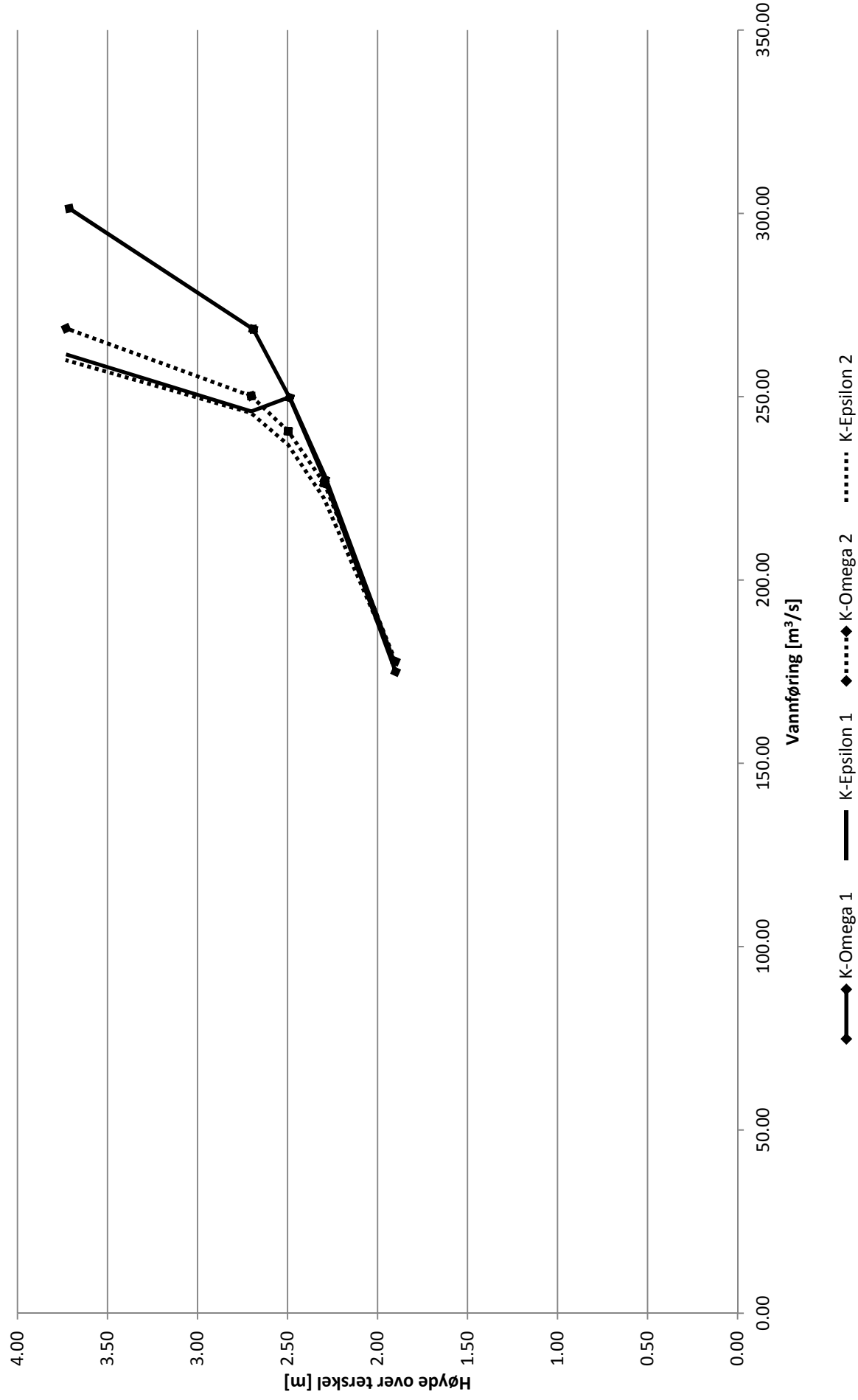
<b>Tabell 1</b>											
Sammenligning: Turbulensmodell "Uten luft Uten ruhet"											
Kurve nr	1.00		2.00		3.00		4.00				
Simulering nr:	38.00		39.00		47.00		46.00				
Excel fil	F.01		F.01		F.01		F.01				
Overskrift:	K-Epsilon 1		K-Omega 1		K-Epsilon 2		K-Omega 2				
K-Epsilon 1	K-Omega 1		K-Epsilon 2		K-Omega 2						
H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	Avvik Q	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	Avvik Q		
2.49	255.02	2.49	256.34	-1.32	2.48	265.34	2.48	257.99	7.34		
2.88	293.34	2.88	296.60	-3.25	2.87	316.47	2.88	299.86	16.61		
3.09	297.64	3.09	307.37	-9.73	3.08	334.44	3.09	311.73	22.71		
3.30	302.25	3.29	314.07	-11.83	3.27	347.56	3.29	319.76	27.79		
4.32	324.65	4.32	334.81	-10.15	4.30	381.02	4.32	340.06	40.96		
4.32	324.65	4.32	334.81	-10.15	4.30	381.02	4.32	340.06	40.96		

# Kapasitetskurve for fire simuleringer med ulik turbulensmodell



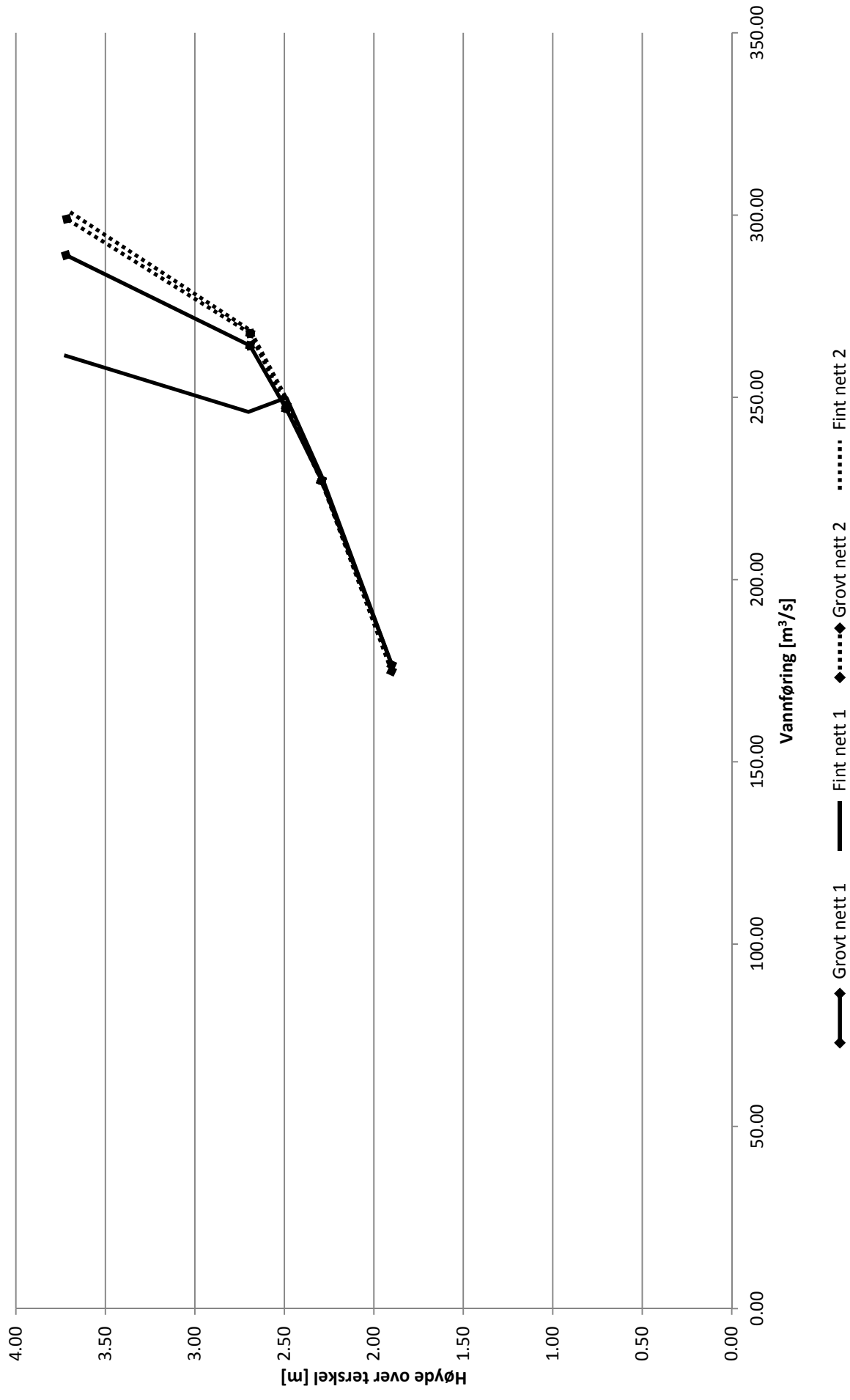
<b>Tabell 1</b>										
Sammenligning: Turbulensmodell "Uten luft med ruhet"										
Kurve nr										
1.00	2.00		3.00		4.00		18.00		F.05	
Simulering nr:										
15.00	16.00		17.00		18.00		19.00		F.05	
Excel fil										
F.05	F.05		F.05		F.05		F.05		F.05	
Overskrift:										
K-Omega 1	K-Epsilon 1		K-Omega 2		K-Epsilon 2		K-Omega 2		K-Epsilon 2	
K-Omega 1										
K-Epsilon 1										
K-Omega 2										
K-Epsilon 2										
H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	Avvik Q	H proto [m]	Q proto [m3/s]	Avvik Q	H proto [m]	Q proto [m3/s]	Avvik Q
1.90	175.00	1.90	176.71	-1.70	1.90	177.81	1.90	1.90	177.27	0.54
2.29	227.35	2.29	228.46	-1.10	2.30	226.32	2.30	2.30	222.33	3.99
2.49	249.72	2.49	249.90	-0.18	2.50	240.57	2.50	2.50	236.91	3.66
2.69	268.40	2.70	246.00	22.40	2.70	250.16	2.70	2.70	245.57	4.59
3.71	301.34	3.73	261.54	39.80	3.73	268.64	3.73	3.73	260.01	8.63

# Kapasitetskurve for fire simuleringer med ulik turbulensmodell



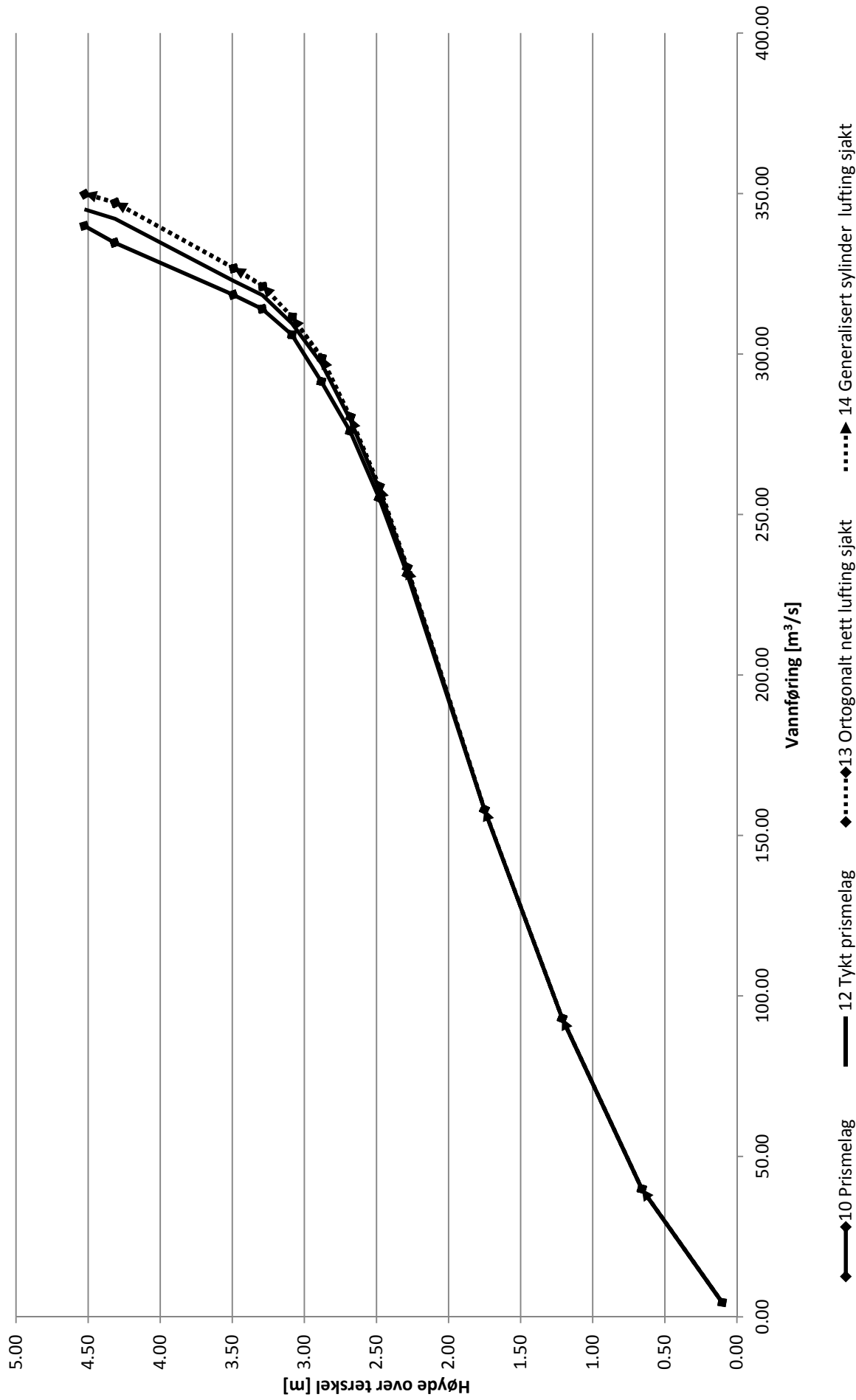
<b>Tabell 1</b>										
Sammenligning: Trimmet nett simuleringsskurve F.05										
Kurve nr	1.00	2.00	3.00	4.00						
Simulering nr:	11.00	16.00	14.00	15.00						
STAR-CCM+ Fil	R5.011	R5.016	R5.014	R5.015						
Excel fil	F.05	F.05	F.05	F.05						
Overskrift:	Grovt nett 1	Fint nett 1	Grovt nett 2	Fint nett 2						
Turbulensmodell	K-Epsilon	K-Epsilon	K-Omega	K-Omega						
Grovt nett 1	Fint nett 1									
H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	Avvik Q
1.90	176.59	1.90	176.71	-0.12	1.90	174.87	1.90	175.00	-0.14	
2.29	227.26	2.29	228.46	-1.20	2.29	227.07	2.29	227.35	-0.28	
2.49	246.84	2.49	249.90	-3.06	2.49	247.61	2.49	249.72	-2.11	
2.69	264.18	2.70	246.00	18.18	2.69	267.53	2.69	268.40	-0.87	
3.72	288.99	3.73	261.54	27.46	3.72	298.92	3.71	301.34	-2.41	

# Trimmet nett



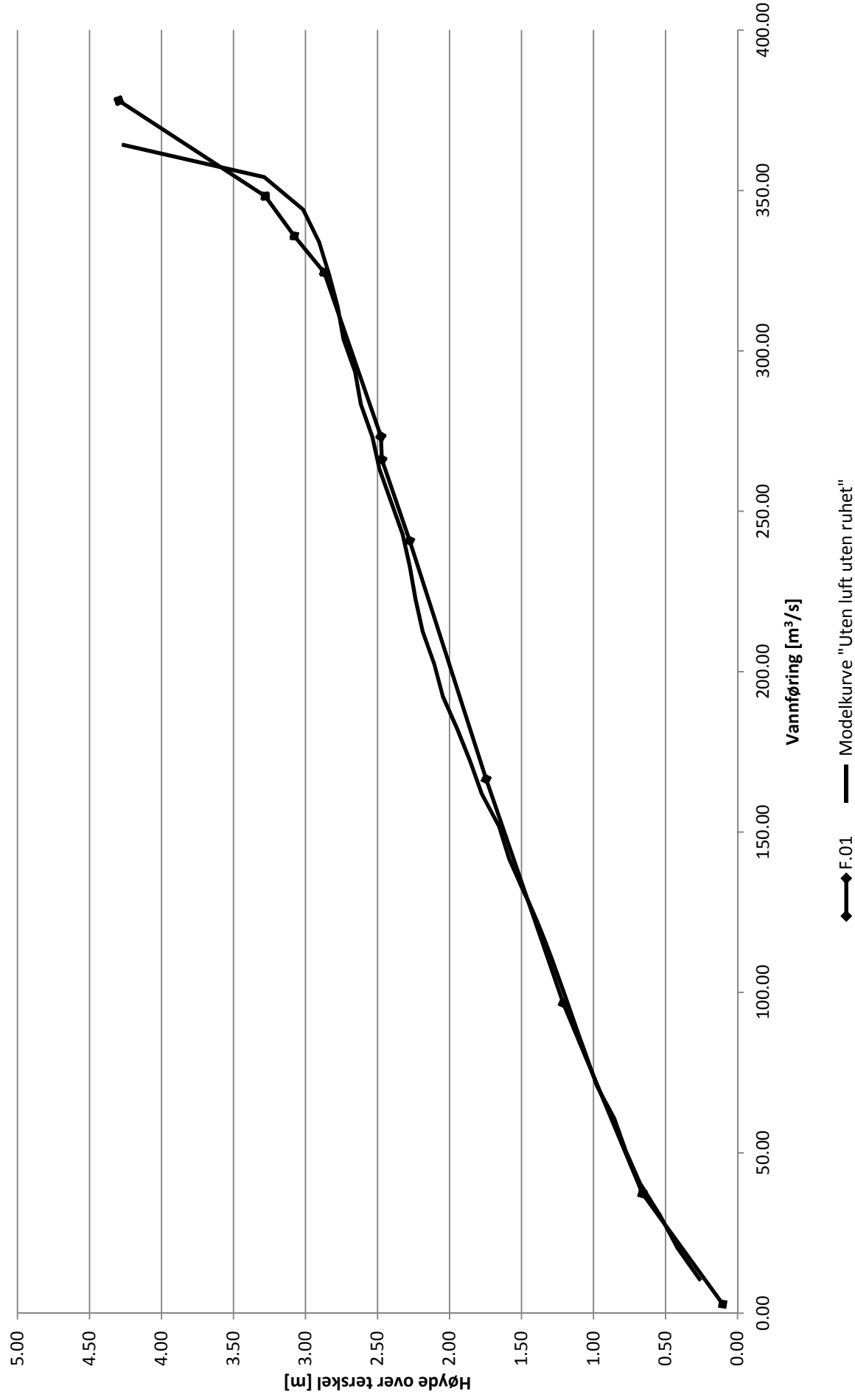
<b>Tabell 1</b>												
Nett sammenligninger												
Sammenligning:												
Kurve nr	1.00	2.00	3.00	4.00								
Simulering nr:	10.00	12.00	13.00	14.00								
STAR-CCM+ Fil	R3.006	R3.008	R3.009	R3.010								
Excel fil	F.03	F.03	F.03	F.03								
Overskrift:	10 Prismelag	12 Tykt prismelag	13 Ortogonal nett lufting sjakt	14 Generalisert sylinder lufting sjakt								
Sammenligning trimmet nett sjakt												
Sammenligning trimmet nett og generalisert sylinder												
H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	Avvik Q	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	Avvik Q	Avvik Q
0.10	4.54	0.10	4.46	0.08	0.10	4.49	0.10	4.51	0.10	4.51	-0.02	-0.02
0.66	39.83	0.66	39.87	-0.03	0.66	39.86	0.66	39.87	0.66	39.87	-0.01	-0.01
1.21	92.95	1.21	93.07	-0.12	1.21	93.05	1.21	93.10	1.21	93.10	-0.05	-0.05
1.75	158.05	1.75	157.99	0.06	1.75	158.08	1.75	158.23	1.75	158.23	-0.15	-0.15
2.29	231.48	2.29	233.08	-1.59	2.29	233.51	2.29	233.52	2.29	233.52	0.00	0.00
2.48	255.15	2.48	257.83	-2.68	2.48	258.72	2.48	258.76	2.48	258.76	-0.04	-0.04
2.68	275.94	2.68	279.48	-3.54	2.68	280.39	2.68	280.20	2.68	280.20	0.19	0.19
2.88	291.43	2.88	296.95	-5.52	2.88	298.70	2.88	299.06	2.88	299.06	-0.36	-0.36
3.09	306.01	3.09	309.48	-3.47	3.08	311.55	3.08	311.46	3.08	311.46	0.10	0.10
3.29	314.04	3.29	318.35	-4.31	3.29	321.01	3.29	321.35	3.29	321.35	-0.34	-0.34
3.49	318.47	3.49	322.82	-4.35	3.49	326.66	3.49	326.87	3.49	326.87	-0.21	-0.21
4.32	334.67	4.31	342.13	-7.46	4.31	347.09	4.31	347.23	4.31	347.23	-0.14	-0.14
4.53	339.93	4.53	345.08	-5.15	4.52	349.77	4.52	350.04	4.52	350.04	-0.27	-0.27

# Nett sammenligninger



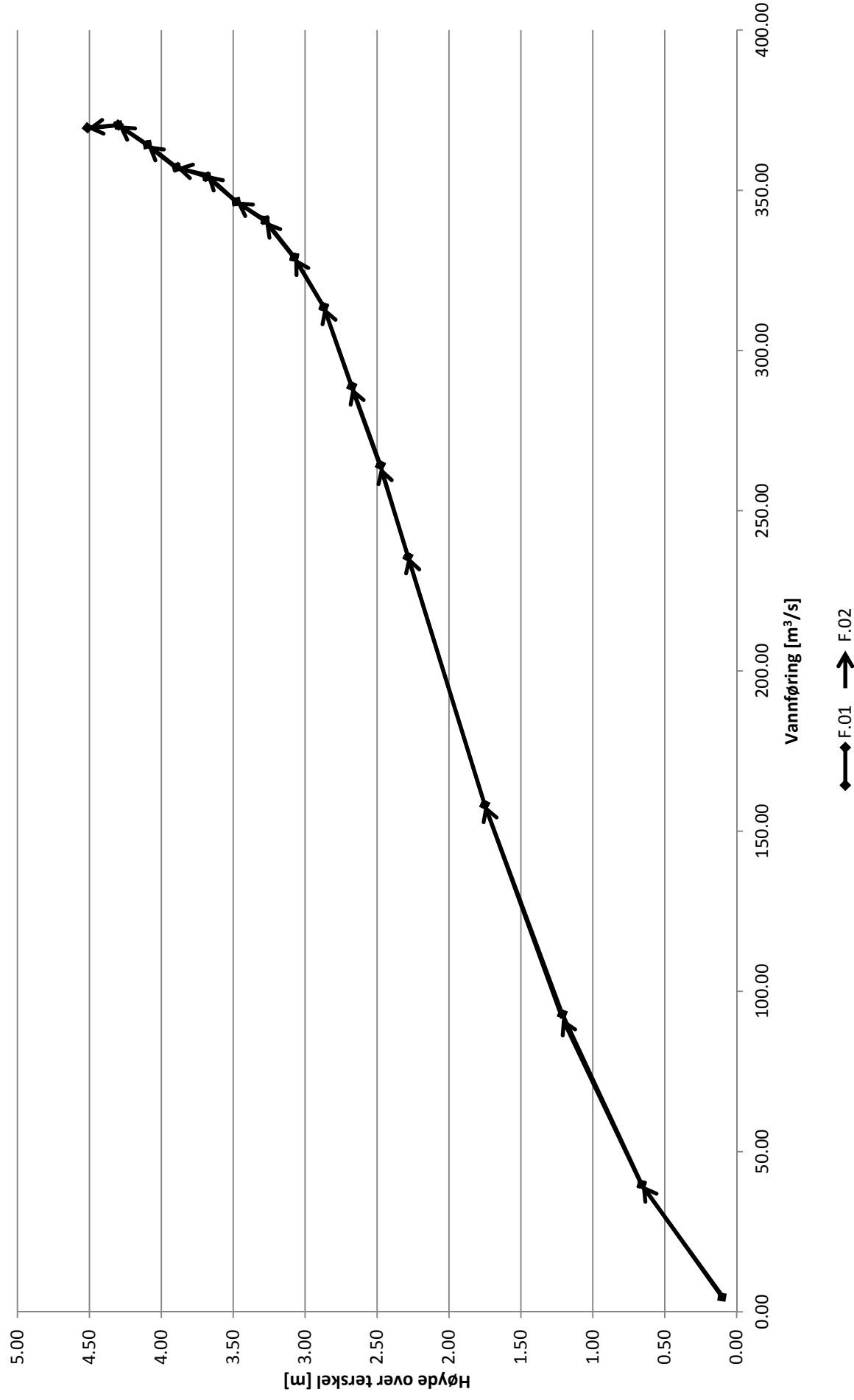
<b>Tabell 1</b>				
Sammenligning:	Sammenligning kurve F.01 og modellkurve "Uten luft uten ruhet"			
Kurve nr	1.00		2.00	
Simulering nr:	49 og 50		(Røneid & Sæter, 2007)	
STAR-CCM+ fil	R1.036 og R1.037		"Uten luft uten ruhet"	
Excel fil	F.01			
Overskrift:	F.01		Modelkurve "Uten luft uten ruhet"	
	H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]
	0.10	2.82	0.26	10.12
	0.66	37.31	0.42	20.24
	1.21	96.68	0.54	30.36
	1.75	166.48	0.68	40.48
	2.28	240.76	0.78	50.60
	2.47	266.12	0.86	60.72
	2.48	273.34	0.98	70.84
	2.87	324.37	1.06	80.95
	3.08	335.79	1.14	91.07
	3.28	348.21	1.22	101.19
	4.30	377.97	1.30	111.31
	4.30	378.10	1.39	121.43
			1.49	131.55
			1.59	141.67
			1.66	151.79
			1.78	161.91
			1.86	172.03
			1.95	182.15
			2.05	192.27
			2.11	202.39
			2.19	212.51
			2.24	222.62
			2.28	232.74
			2.33	242.86
			2.41	252.98
			2.49	263.10
			2.54	273.22
			2.62	283.34
			2.66	293.46
			2.74	303.58
			2.78	313.70
			2.84	323.82
			2.91	333.94
			3.02	344.06
			3.29	354.18
			4.28	364.29

Sammenligning kurve F.01 og modellkurve "Uten luft uten ruhet"



<b>Tabell 1</b>		Sammenligning simulering F.01 og F.02		
Sammenligning:	1.00	2.00		
Kurve nr	15.00	5.00		
Simulering nr:	R1.001	R2.002		
STAR-CCM+ fil	F.01	F.02		
Excel fil	F.01	F.02		
Overskrift:				
	F.01	F.02		
H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	Awik Q
0.10	4.58	0.10	5.11	-0.52
0.66	39.74	0.66	39.54	0.20
1.21	92.96	1.21	91.59	1.37
1.75	158.24	1.75	158.13	0.11
2.29	235.62	2.29	235.74	-0.12
2.48	264.21	2.48	263.59	0.61
2.68	288.87	2.68	288.43	0.44
2.87	313.57	2.87	313.49	0.09
3.08	329.13	3.08	328.83	0.30
3.28	340.69	3.28	340.34	0.35
3.48	346.40	3.48	346.48	-0.08
3.68	354.22	3.69	354.81	-0.59
3.89	357.16	3.90	356.98	0.18
4.10	364.27	4.10	364.04	0.23
4.30	370.36	4.30	370.31	0.05
4.51	369.49	4.52	369.25	0.24

Sammenligning kurve F.01 og F.02

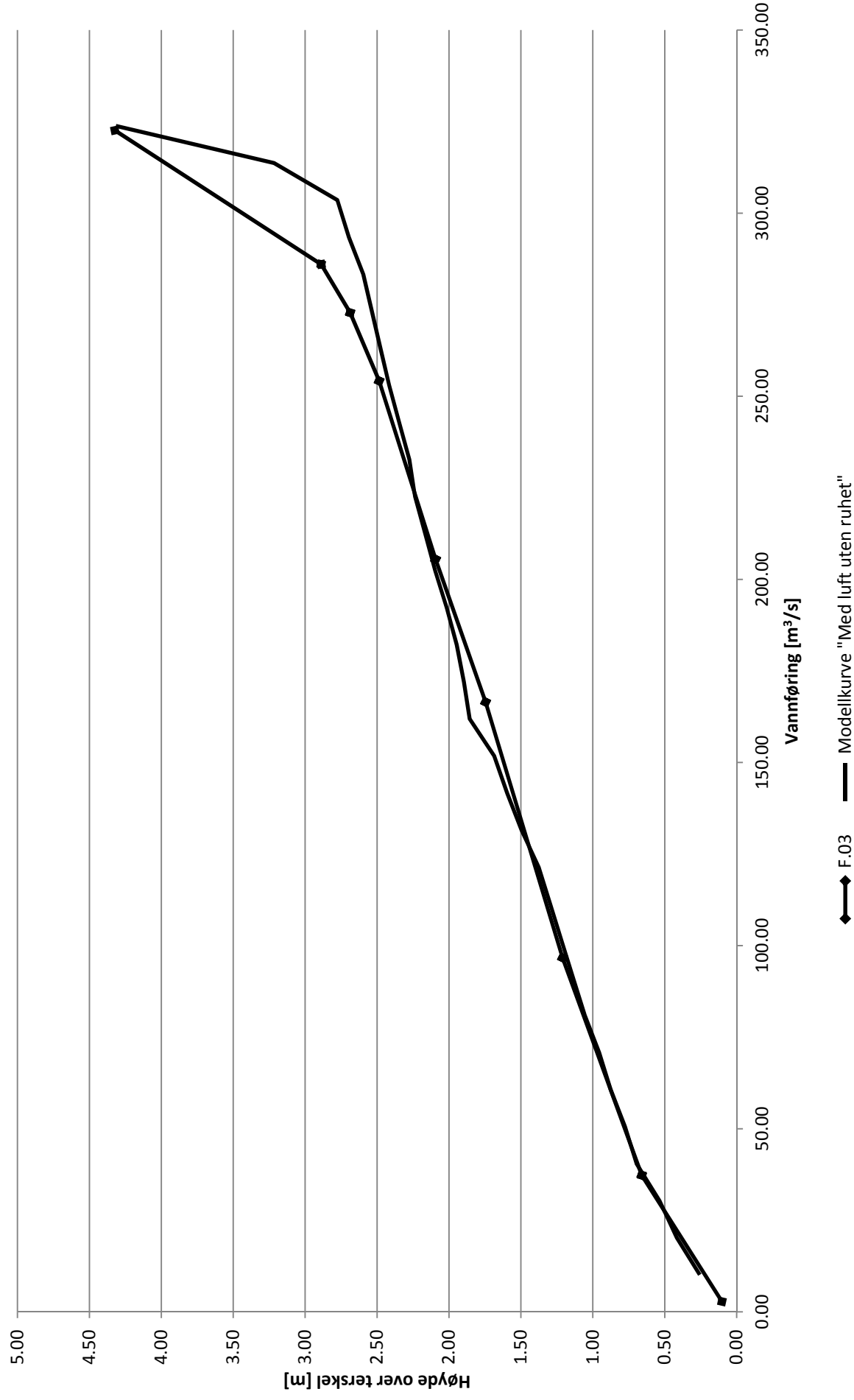






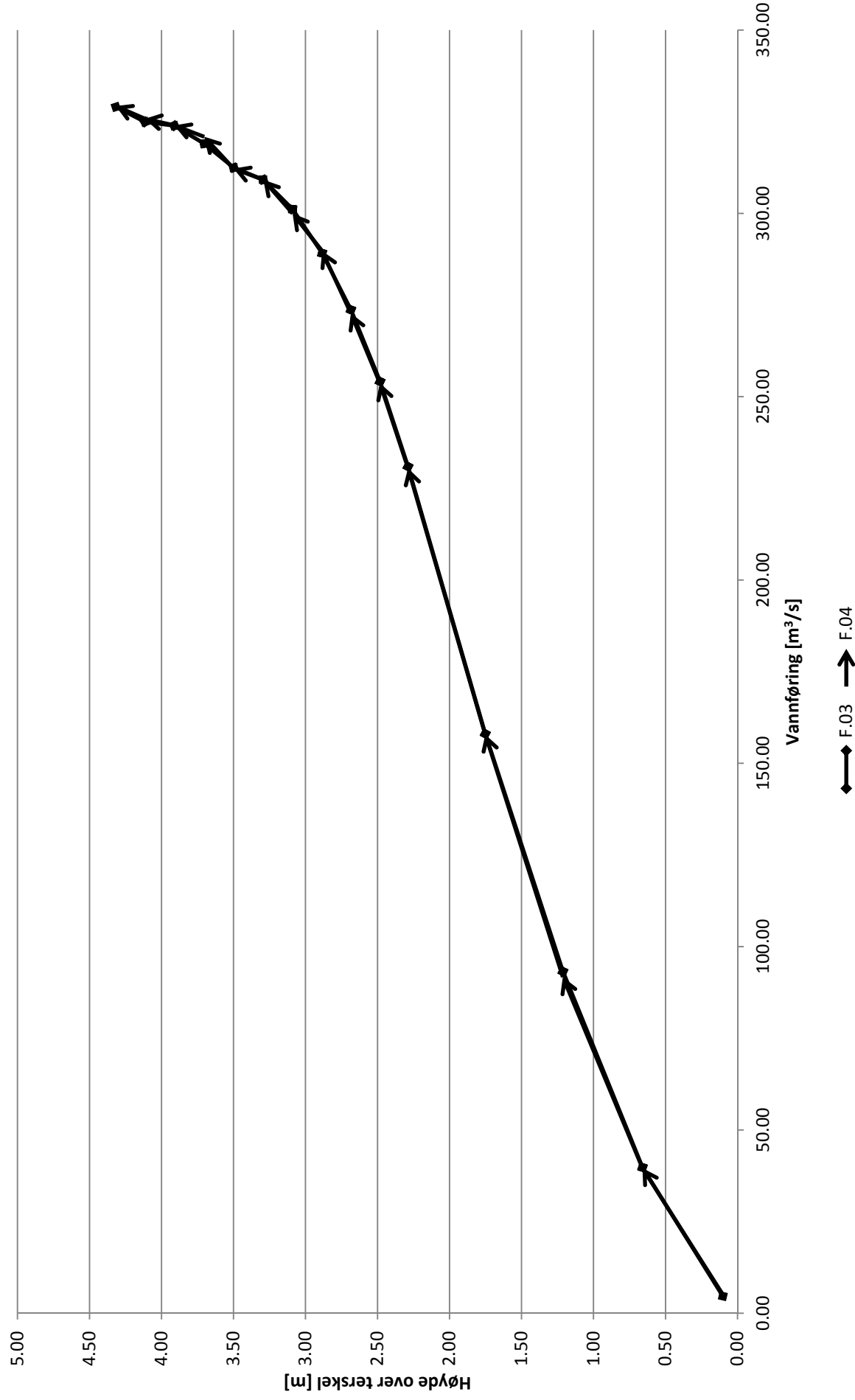
<b>Tabell 1</b>				
Sammenligning:	Sammenligning kurve F.03 og modellkurve "Med luft uten ruhet"			
Kurve nr	1.00		2.00	
Simulering nr:	36 og 39		(Røneid & Sæter, 2007)	
STAR-CCM+ fil	R3.032			
Excelfil	F.03			
Overskrift:	F.03		Modellkurve "Med luft uten ruhet"	
F.03		Modellkurve "Med luft uten ruhet"		
H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	
0.10	2.82	0.26	10.12	
0.66	37.31	0.42	20.24	
1.21	96.68	0.54	30.36	
1.75	166.48	0.70	40.48	
2.09	205.47	0.78	50.60	
2.49	254.20	0.88	60.72	
2.69	272.81	0.96	70.84	
2.89	286.02	1.06	80.95	
4.32	322.60	1.14	91.07	
		1.22	101.19	
		1.30	111.31	
		1.38	121.43	
		1.50	131.55	
		1.60	141.67	
		1.69	151.79	
		1.86	161.91	
		1.90	172.03	
		1.95	182.15	
		2.02	192.27	
		2.10	202.39	
		2.17	212.51	
		2.24	222.62	
		2.28	232.74	
		2.35	242.86	
		2.42	252.98	
		2.48	263.10	
		2.54	273.22	
		2.60	283.34	
		2.70	293.46	
		2.78	303.58	
		3.22	313.70	
		4.32	323.82	

Sammenligning kurve F.03 og modellkurve "Med luft uten ruhet"



<b>Tabell 1</b>				
Sammenligning:		Sammenligning kurve F.03 og F.04		
Kurve nr	1.00			2.00
Simulering nr:	5.00			5.00
STAR-CCM+ fil	R3.001			R4.003
Excel fil	F.03			F.04
Overskrift:	F.03			F.04
	F.03		F.04	
H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	Avvik Q
0.10	4.63	0.10	5.13	-0.50
0.66	39.76	0.66	39.57	0.19
1.21	93.19	1.21	91.66	1.53
1.75	158.02	1.75	157.80	0.22
2.29	230.92	2.29	230.43	0.49
2.48	254.14	2.48	253.65	0.48
2.68	273.70	2.69	272.69	1.01
2.88	289.12	2.88	289.71	-0.59
3.09	301.11	3.09	299.93	1.18
3.30	309.18	3.29	309.14	0.04
3.50	312.45	3.50	312.22	0.23
3.70	319.01	3.70	320.87	-1.86
3.91	323.92	3.91	323.99	-0.07
4.12	324.94	4.12	325.80	-0.86
4.32	329.02	4.32	329.27	-0.25

Sammenligning kurve F.03 og F.04

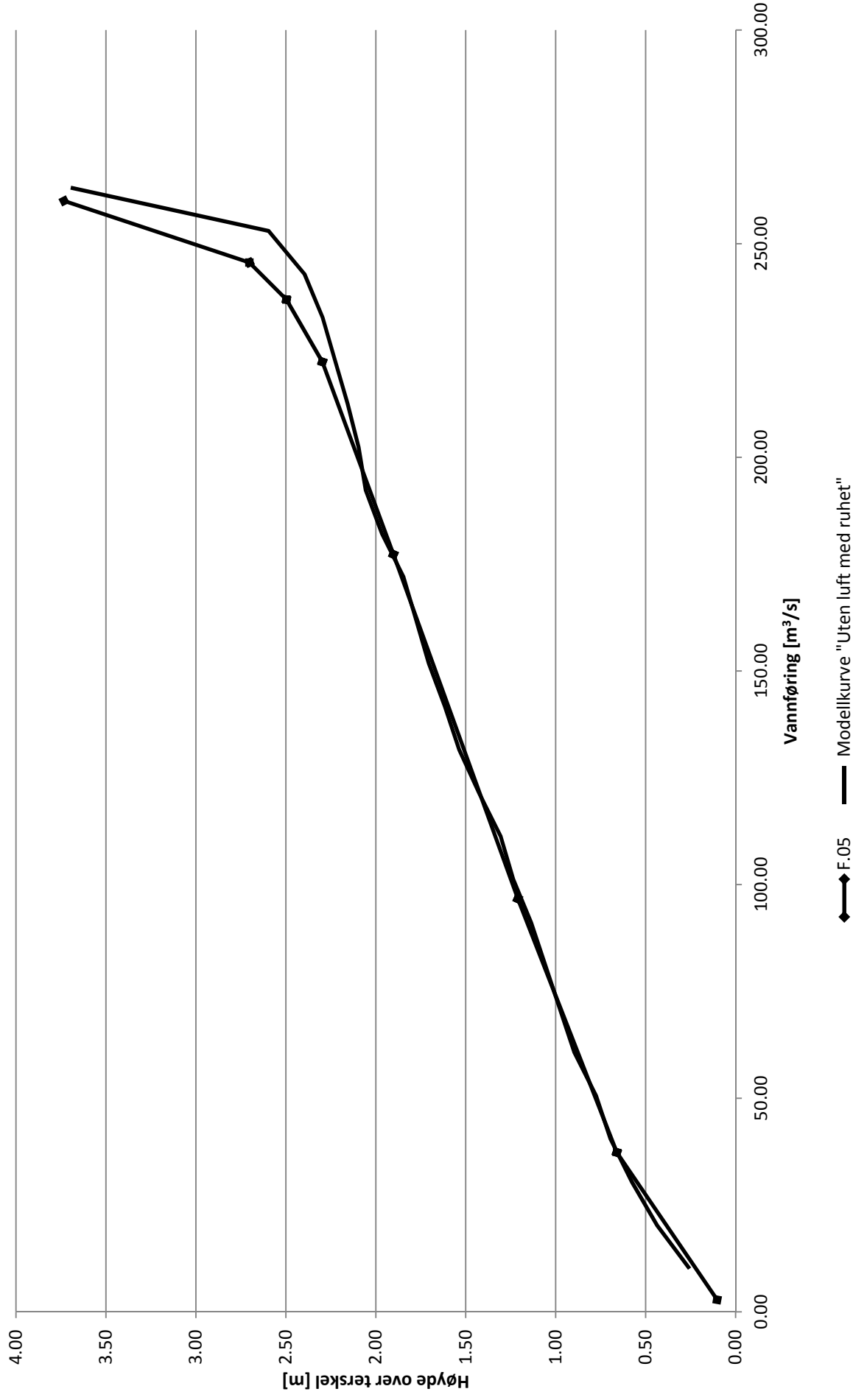


		Avvik Uten luft med ruhet H større enn 1.7m																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H = 1.7 til 2.15m																			
Simulering nr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H [m]		1.75	1.75	1.75	1.75	1.90	1.90	2.09	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
Avvik %		0.0	-0.8	0.2	0.2	2.3	2.6	2.0	2.5	1.4	0.5	0.0	0.2	0.5	-1.0	-0.9	0.1	0.6	0.3
H = 2.15 til 3.5m																			
Simulering nr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H [m]		2.29	2.49	2.49	2.49	2.49	3.10	2.49	2.49	2.49	2.50	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.70	2.50	2.30
Avvik %		0.0	-4.1	-3.6	-4.1	-3.4	3.0	-3.6	-4.2	-4.8	-5.3	4.1	5.1	2.9	5.4	5.7	-3.1	-3.0	-4.5
H > 3.5m																			
Simulering nr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H [m]		3.52	3.52	3.52	3.52	3.73	3.72	3.73	3.73	3.73	3.73	3.72	3.72	3.72	3.72	3.71	3.73	3.73	3.73
Avvik %		0.0	1.6	-0.4	-1.7	-0.3	3.9	-0.2	-2.2	-2.2	-2.3	9.7	11.6	11.3	13.5	14.5	-0.7	2.0	-1.3



<b>Tabell 1</b>				
Sammenligning:	Sammenligning kurve F.05 og modellkurve "Uten luft med ruhet"			
Kurve nr	1.00		2.00	
Simulering nr:	18 og 19		(Røneid & Sæter, 2007)	
STAR-CCM+ fil	R5.018			
Excel fil	F.05			
Overskrift:	F.05		Modellkurve "Uten luft med ruhet"	
F.05		Modellkurve "Uten luft med ruhet"		
H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	
0.10	2.82	0.26	10.12	
0.66	37.31	0.44	20.24	
1.21	96.68	0.58	30.36	
1.90	177.27	0.70	40.48	
2.30	222.33	0.78	50.60	
2.50	236.91	0.90	60.72	
2.70	245.57	0.98	70.84	
3.73	260.01	1.06	80.95	
		1.14	91.07	
		1.24	101.19	
		1.31	111.31	
		1.43	121.43	
		1.54	131.55	
		1.62	141.67	
		1.71	151.79	
		1.78	161.91	
		1.85	172.03	
		1.97	182.15	
		2.06	192.27	
		2.10	202.39	
		2.16	212.51	
		2.23	222.62	
		2.30	232.74	
		2.40	242.86	
		2.60	252.98	
		3.70	263.10	

Sammenligning kurve F.05 og modellkurve "Uten luft med ruhet"

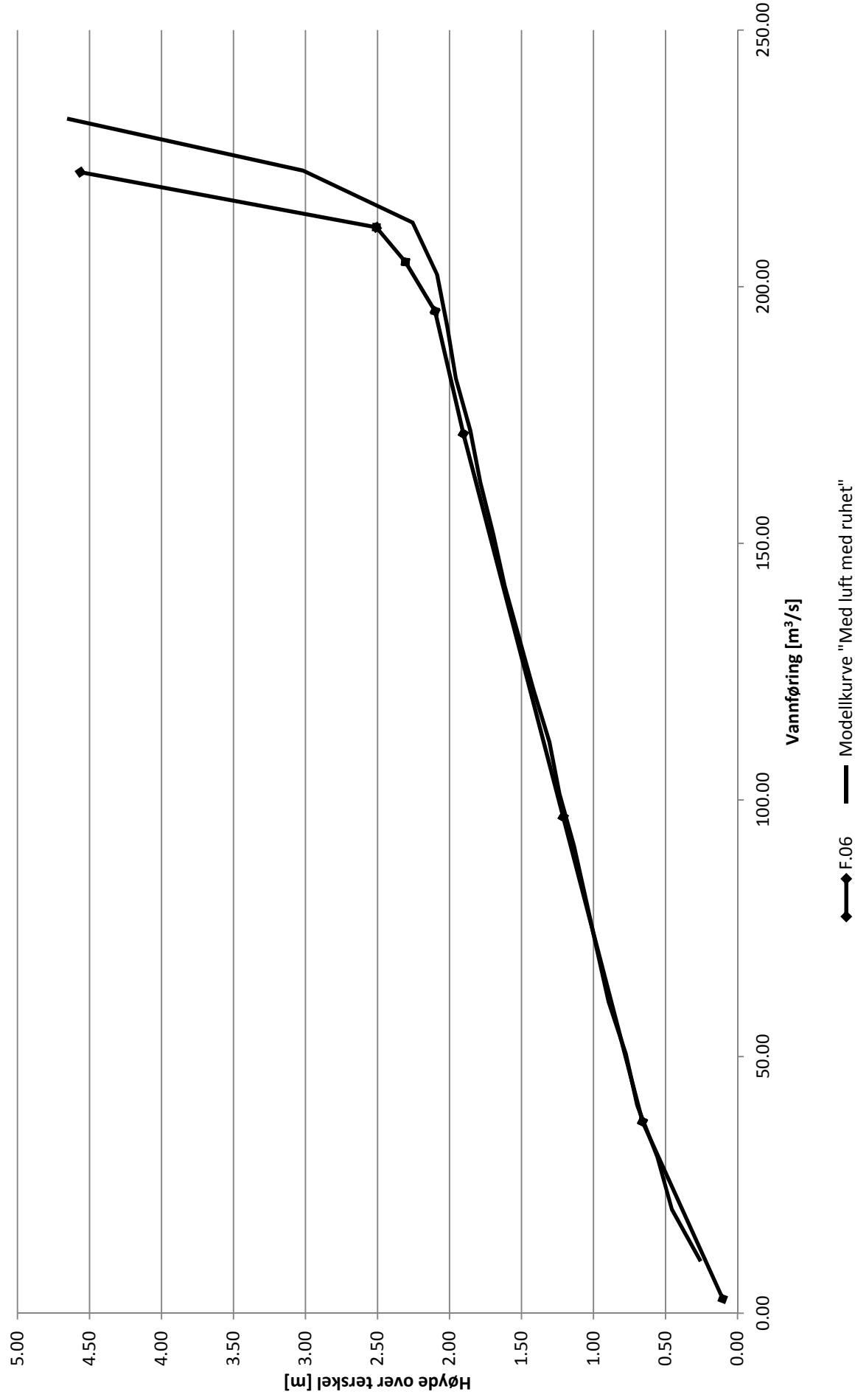


Avvik Med luft med ruhet H større enn 1.7m																		
H = 1.7 til 2m																		
Simulering nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H [m]	1.75	1.75	1.75	1.75	1.90	1.75	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
Avvik %	-1.8	-1.9	-0.1	-1.1	-1.0	0.3	-0.3	-0.9	-2.8	-4.1	-2.0	-2.4	-2.0	-3.7	-3.7	-1.7	-2.3	-3.1
H = 2.2 til 2.4m																		
Simulering nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H [m]	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.30	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.31	2.30	2.31	2.31
Avvik %	-4.7	-4.5	-3.7	-3.5	-4.3	-1.2	-2.6	-2.4	-5.0	-4.4	-5.1	-5.0	-5.1	-4.7	-4.5	-4.3	-5.7	-3.9
H > 3.1m																		
Simulering nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H [m]	3.33	3.12	3.54	3.33	3.53	4.35	4.56	4.56	4.56	4.56	4.56	4.56	4.56	4.57	4.57	4.56	4.56	4.56
Avvik %	-1.0	-1.3	-2.4	-3.3	-0.5	4.1	-1.2	0.7	-1.3	-2.0	-0.8	-0.3	-0.5	2.1	3.1	0.4	-3.1	-4.2



<b>Tabell 1</b>				
Sammenligning:	Sammenligning kurve F.06 og modellkurve "Med luft med ruhet"			
Kurve nr	1.00		2.00	
Simulering nr:	18 og 19		(Røneid & Sæter, 2007)	
STAR-CCM+ fil	R6.018			
Excel fil	F.06			
Overskrift:	F.06		Modellkurve "Med luft med ruhet"	
F.06		Modellkurve "Med luft med ruhet"		
H proto [m]	Q proto [m3/s]	H proto [m]	Q proto [m3/s]	
0.10	2.82	0.26	10.12	
0.66	37.31	0.46	20.24	
1.21	96.68	0.56	30.36	
1.90	171.34	0.70	40.48	
2.10	195.22	0.78	50.60	
2.31	204.81	0.90	60.72	
2.51	211.58	0.98	70.84	
4.56	222.31	1.06	80.95	
		1.14	91.07	
		1.24	101.19	
		1.31	111.31	
		1.42	121.43	
		1.52	131.55	
		1.62	141.67	
		1.70	151.79	
		1.79	161.91	
		1.86	172.03	
		1.96	182.15	
		2.02	192.27	
		2.09	202.39	
		2.26	212.51	
		3.02	222.62	
		4.66	232.74	

Sammenligning kurve F.06 og modellkurve "Med luft med ruhet"





	Terreng	sjakt	omløp	samløp	Avløpstunnel	Lufting sjakt
1 utkast	Original fra Autocad	Original fra Autocad	Original fra Autocad	Original fra Autocad	Original fra autocad 143mm	Original fra Autocad
2 utkast	Rundet kanten til sjakten mer enn utkast 1	Lik 1 (bare finere nett)		Lik 1, men overgang til sjakt er flyttet opp i sjakta	Lik 1, men forlenget utløpet med 1.15m nedover, høydeforskjell til samløpet er 1.45cm	Lik 1, men flyttet litt langs lengdeaksen til sjakt
3 utkast	Senket overløpskanten til 814.4307m i forhold til 1 utkast	Lik 1, Sjakt flyttet framover slik at den det passer bedre med bilde, og samløp omløp utløp flyttet bakerover med 4,5cm.		sjakt 50 mm ved utløp	Andre utkast fra Autocad med forlenget avløpsrør og endret nedløp. Utløp ligger nå 1.11m under høyde ved samløp	Lik 2 men to tverrsnittsendringer for å etterligne virkeligheten
4 utkast	Kombinasjon av 2 og 3 utkast	Lik 3, men nedre rør flyttet 3 cm høyere opp, indire rørplassert nærmere øvre del av ytre rør		sjakt 55mm ved utløp	Lik 3, men utløp hevet 5cm til 1.06 under høyde ved samløp	
5 utkast	Lik utkast 3, men med sjakt på 10,6 m2	Lik 4, men jevn overgang til nedre rør som har 50mm indire radius		sjakt 46mm ved utløp	Ny utgave. Utløp hevet 5cm til 1.015 under høyde ved samløp	
6 utkast		lik 5 men med sjakt på 10,6m2			Lik 5. men ny dimmensjon på røret 148mm	
7 utkast		lik 6 med utlopsrør på 55mm indreradius			Lik 6 men med bøyde bend og 160mm rør siste 10 cm	
8 utkast		sjakt 10,6m2 hele veienen til samløp			Lik 7 men med utløp i kum	
9 utkast		sjakt 10,6m2 bråovergang til nedre del som er 50mm			Ganske lik 8. men er omtegnet etter bilder og har endret helling	
10 utkast		Ru Sjakt 10.6m2 brå overgang til nedre del som er 50mm				

Nr	Avløpstunnel	Tidssteg	Turbulensmodel	Antall celler	kommentar	Fil	Delta t per trykksteg	Nett terreng
24	7 utkast	0.03	K-Epsilon	78929		R1.010	17	Trimmet med 1 prismelag
25	8 utkast	0.03	K-Epsilon	84435		R1.011	17	Lik 24
26	8 utkast	0.015	K-Epsilon	84435		R1.012	17	Lik 24
27	8 utkast	0.0075	K-Epsilon	84435		R1.013	17	Lik 24
28	8 utkast	0.0015	K-Epsilon	84435		R1.014	17	Lik 24
29	9 utkast	0.03	K-Epsilon	120880		R1.015	20	Lik over, men tynnere prismelag
30	9 utkast	0.03	K-Epsilon	123412		R1.016	20	Lik 29
31	9 utkast	0.03	K-Epsilon	120432		R1.017	20	Lik 29
32	9 utkast	0.03	K-Epsilon	118747		R1.018	20	Lik 29
33	9 utkast	0.03	K-Epsilon	116832		R1.019	20	Lik 29
34	9 utkast	0.03	K-Epsilon	117507		R1.020	20	Lik 29
35	9 utkast	0.03	K-Epsilon	118199		R1.021	20	Lik 29
36	9 utkast	0.03	K-Epsilon	115442		R1.022	20	Lik 29
37	9 utkast	0.03	K-Epsilon	114841		R1.023	20	Lik 29
38	9 utkast	0.03	K-Epsilon	117202		R1.025	20	Lik 29
39	9 utkast	0.03	K-Omega	117202		R1.026	20	Lik 29
40	9 utkast	0.03	K-Omega	130783		R1.027	20	Lik 29
41	9 utkast	0.03	K-Epsilon	121339	Utløpt hevet 10cm	R1.028	20	Lik 29
42	9 utkast	0.03	K-Epsilon	122100	Utløp senket 10cm	R1.029	20	Lik 29
43	9 utkast	0.03	K-Epsilon	125640		R1.030	20	Lik 29
44	9 utkast	0.03	K-Epsilon	113471		R1.031	20	Lik 29
45	9 utkast	0.03	K-Omega	120880		R1.032	20	Lik 29
46	9 utkast	0.03	K-Omega	232260		R1.033	20	Lik 29
47	9 utkast	0.03	K-Epsilon	232260		R1.034	20	Lik 29
48	9 utkast	0.003	K-Omega	246097		R1.035	20	Lik 29
49	9 utkast	0.003	K-Epsilon	246097		R1.036	20	Lik 29
50	8 utkast	0.015	K-Epsilon	220926		R1.037	17	Lik 24 men veldig forfinet nett

Nr	Nett sjakt	Nett samløp	Nett avløpstunnel	Helling utløp	Ruhet sjakt	Lengde langt rør avløpstunnel
24	Trimmet med 1 prismelag	Trimmet med prismelag	Generalisert sylinder helt til siste utvidelse	ca. 6-8	0	5.4
25	Lik 24	Lik 24	Lik 24	Lik 24	0	Lik 24
26	Lik 24	Lik 24	Lik 24	Lik 24	0	Lik 24
27	Lik 24	Lik 24	Lik 24	Lik 24	0	Lik 24
28	Lik 24	Lik 24	Lik 24	Lik 24	0	Lik 24
29	Lik over, men jevnere trimmet nett	Lik over	Trimmet nett med 3 prismelag	7	0	5.6
30	Lik 29	Lik 29	Lik 29	4	0	5.6
31	Lik 29	Lik 29	Lik 29	10	0	5.6
32	Lik 29	Lik 29	Lik 29	7	0	5
33	Lik 29	Lik 29	Lik 29	4	0	5
34	Lik 29	Lik 29	Lik 29	10	0	5
35	Lik 29	Lik 29	Lik 29	7	0	4.6
36	Lik 29	Lik 29	Lik 29	4	0	4.6
37	Lik 29	Lik 29	Lik 29	10	0	4.6
38	Lik 29	Lik 29	Lik 29 men mer ujevn cellestørrelse	7	2.7	5.6
39	Lik 29	Lik 29	Lik 40	7	2.7	5.6
40	Lik 29	Lik 29	Lik 41 men mer jevnhet i celle størrelsen	7	2.7	5.6
41	Lik 29	Lik 29	Lik 29	7	0	5.6
42	Lik 29	Lik 29	Lik 29	7	0	5.6
43	Lik 29	Lik 29	Lik 29	7	0	6
44	Lik 29	Lik 29	Lik 29	7	0	4
45	Lik 29	Lik 29	Lik 29	7	0	5.6
46	Lik 29	Lik 29	Lik 29, men med tynnere prismenett og en veldig forfining rundt siste utvidelse i avløpstunnelen	7	0	5.6
47	Lik 29	Lik 29	Lik 46	7	0	5.6
48	Lik 29	Lik 29	Lik 46, men mer uniform celle størrelse i siste del av avløpstunnelen	7	0	5.6
49	Lik 29	Lik 29	Lik 48	7	0	5.6
50	Lik 24	Lik 24	Lik 24	Lik 24	0	Lik 24

Forskjeller simulering 15 til 38 i Excellfil F.03

Nr	Avløpstunnel	Tidssteg	Turbulensmodel	Antall celler	Fil	Delta t per trykksteg	Nett terreng	Nett sjakt
15	7 utkast	0.03	K-Epsilon	85279	R3.011	17	Trimmet med 1 prismelag	Trimmet med 1 prismelag
16	8 utkast	0.03	K-Epsilon	90783	R3.012	17	Lik 15	Lik 15
17	8 utkast	0.015	K-Epsilon	90783	R3.013	17	Lik 15	Lik 15
18	8 utkast	0.0075	K-Epsilon	90783	R3.014	17	Lik 15	Lik 15
19	8 utkast	0.0015	K-Epsilon	90783	R3.015	17	Lik 15	Lik 15
20	9 utkast	0.03	K-Epsilon	129586	R3.016	20	Lik over, men tynnere prismelag	Lik over, men jevnere trimmet nett
21	9 utkast	0.03	K-Epsilon		R3.017	20	Lik 20	Lik 20
22	9 utkast	0.03	K-Epsilon	129178	R3.018	20	Lik 20	Lik 20
23	9 utkast	0.03	K-Epsilon	126940	R3.019	20	Lik 20	Lik 20
24	9 utkast	0.03	K-Epsilon	124714	R3.020	20	Lik 20	Lik 20
25	9 utkast	0.03	K-Epsilon	126862	R3.021	20	Lik 20	Lik 20
26	9 utkast	0.03	K-Epsilon	126637	R3.022	20	Lik 20	Lik 20
27	9 utkast	0.03	K-Epsilon	122998	R3.023	20	Lik 20	Lik 20
28	9 utkast	0.03	K-Epsilon	124698	R3.024	20	Lik 20	Lik 20
29	9 utkast	0.03	K-Epsilon	125715	R3.025	20	Lik 20	Lik 20
30	9 utkast	0.03	K-Omega	125715	R3.026	20	Lik 20	Lik 20
31	9 utkast	0.03	K-Omega	206408	R3.027	20	Lik 20	Lik 20
32	9 utkast	0.03	K-Epsilon	119920	R3.028	20	Lik 20	Lik 20
33	9 utkast	0.03	K-Epsilon	131859	R3.029	20	Lik 20	Lik 20
34	9 utkast	0.03	K-Omega	129586	R3.030	20	Lik 20	Lik 20
35	9 utkast	0.03	K-Omega	238064	R3.031	20	Lik 20	Lik 20
36	9 utkast	0.03	K-Epsilon	238064	R3.032	20	Lik 20	Lik 20
37	9 utkast	0.003	K-Omega	252502	R3.033	20	Lik 20	Lik 20
38	9 utkast	0.003	K-Epsilon	252502	R3.034	20	Lik 20	Lik 20

Nr	Nett samløp	Nett avløpstunnel	Helling utløp	Ruhet sjakt	Lengde langt rør avløpstunnel
15	Trimmet med 1 prismelag	Generalisert sylinder helt til siste utvidelse	ca. 6-8	0	5.4
16	Lik 15	Lik 15	Lik 15	0	Lik 15
17	Lik 15	Lik 15	Lik 15	0	Lik 15
18	Lik 15	Lik 15	Lik 15	0	Lik 15
19	Lik 15	Lik 15	Lik 15	0	Lik 15
20	Lik over men med to prismelag	Trimmet nett med 3 prismelag	7	0	5.6
21	Lik 20	Lik 20	4	0	5.6
22	Lik 20	Lik 20	10	0	5.6
23	Lik 20	Lik 20	7	0	5
24	Lik 20	Lik 20	4	0	5
25	Lik 20	Lik 20	10	0	5
26	Lik 20	Lik 20	7	0	4.6
27	Lik 20	Lik 20	4	0	4.6
28	Lik 20	Lik 20	10	0	4.6
29	Tre prismelag samløp 1	Lik 20 men mer ujevn cellestørrelse (større celler)	7	2.7	5.6
30	Lik 29	Lik 29	7	2.7	5.6
31	Meget fint nett samløp 1	Lik 29	7	2.7	5.6
32	Lik 20	Lik 20	7	0	6
33	Lik 20	Lik 20	7	0	4
34	Lik 20	Lik 20	7	0	5.6
35	Lik 20	Lik 20, men med tynnere prismenett og en veldig forfining rundt siste utvidelse i avløpstunnelen	7	0	5.6
36	Lik 20	Lik 35	7	0	5.6
37	Lik over, men litt finere ved ut og innløp del 2	Lik 35, men mer uniform cellestørrelse i siste del av avløpstunnelen	7	0	5.6
38	Lik 37	Lik 37	7	0	5.6

Nr	Avløpstunnet	Tidssteg	Turbulensmodel	Antall celler	Fil	Delta t per trykksteg	Nett terreng	Nett sjakt
1	7 utkast	0.03	K-Epsilon	79049	R5.001	17	Trimmet med 1 prismelag	Trimmet med 1 prismelag
2	8 utkast	0.03	K-Epsilon	84553	R5.002	17	Lik 1	Lik 1
3	8 utkast	0.015	K-Epsilon	84553	R5.003	17	Lik 1	Lik 1
4	8 utkast	0.0075	K-Epsilon	84553	R5.004	17	Lik 1	Lik 1
5	8 utkast	0.015	K-Epsilon	84553	R5.005	17	Lik 1	Lik 1
6	8 utkast	0.015	K-Epsilon	84553	R5.006	17	Lik 1	Lik 1
7	8 utkast	0.015	K-Epsilon	84553	R5.007	17	Lik 1	Lik 1
8	8 utkast	0.0075	K-Epsilon	90090	R5.008	20	Lik 1	Lik 1
9	8 utkast	0.003	K-Epsilon	90090	R5.009	20	Lik 1	Lik 1
10	8 utkast	0.001	K-Epsilon	90090	R5.010	20	Lik 1	Lik 1
11	9 utkast	0.03	K-Epsilon	123320	R5.011	20	Lik 1, men tynnere prismelag	Lik over, men jevnere trimmet nett
12	9 utkast	0.03	K-Epsilon	125318	R5.012	20	Lik 11	Lik 11
13	9 utkast	0.03	K-Epsilon	122658	R5.013	20	Lik 11	Lik 11
14	9 utkast	0.03	K-Omega	123320	R5.014	20	Lik 11	Lik 11
15	9 utkast	0.03	K-Omega	237444	R5.015	20	Lik 11	Lik 11
16	9 utkast	0.03	K-Epsilon	237444	R5.016	20	Lik 11	Lik 11
17	9 utkast	0.003	K-Omega	252239	R5.017	20	Lik 11	Lik 11
18	9 utkast	0.003	K-Epsilon	252239	R5.018	20	Lik 11	Lik 11

Nr	Nett samløp	Nett avløpstunnel	Ruhet samlekanal	Helling utløp	Ruhet sjakt	Lengde utløp (m)
1	Trimmet med 1 prismelag	Generalisert sylinder helt til siste utvidelse	1mm	ca. 6-8	4mm	5.4
2	Lik 1	Lik 1	1mm	Lik 1	4mm	Lik 1
3	Lik 1	Lik 1	1mm	Lik 1	4mm	Lik 1
4	Lik 1	Lik 1	1mm	Lik 1	4mm	Lik 1
5	Lik 1	Lik 1	1mm	Lik 1	3mm	Lik 1
6	Lik 1	Lik 1	1mm	Lik 1	2mm	Lik 1
7	Lik 1	Lik 1	1mm	Lik 1	4mm	Lik 1
8	Lik 1	Lik 1, men med mangekantet nett etter rettstrekning avløpsrør	0mm	Lik 1	3mm	Lik 1
9	Lik 1	Lik 8	0mm	Lik 1	3mm	Lik 1
10	Lik 1	Lik 8	0mm	Lik 1	3mm	Lik 1
11	Lik over men med to prismelag	Trimmet nett med 3 prismelag	0mm	7	2.7mm	5.6
12	Lik 11	Lik 11	0mm	4	2.7mm	5.6
13	Lik 11	Lik 11	0mm	10	2.7mm	5.6
14	Lik 11	Lik 11	0mm	7	2.7mm	5.6
15	Lik 11	Lik 11, men med tynnere prisenett og en veldig forfining rundt siste utvidelse i avløpstunnelen	0mm	7	2.7mm	5.6
16	Lik 11	Lik 15	0mm	7	2.7mm	5.6
17	Lik over, men litt finere ved ut og innløp del 2	Lik 15, men mer uniform cellestørrelse i siste del av avløpstunnelen	0mm	7	2.7mm	5.6
18	Lik 17	Lik 17	0mm	7	2.7mm	5.6

Nr	Avløpstunnel	Tidssteg	Turbulensmodel	Antall celler	Fil	Delta t per trykksteg	Nett terreng	Nett sjakt
1	7 utkast	0.03	K-Epsilon	85399	R6.001	17	Trimmet med 1 prismelag	Trimmet med 1 prismelag
2	8 utkast	0.03	K-Epsilon	90903	R6.002	17	Lik 1	Lik 1
3	8 utkast	0.015	K-Epsilon	90903	R6.003	17	Lik 1	Lik 1
4	8 utkast	0.0075	K-Epsilon	90903	R6.004	17	Lik 1	Lik 1
5	8 utkast	0.015	K-Epsilon	90903	R6.005	17	Lik 1	Lik 1
6	8 utkast	0.015	K-Epsilon	90903	R6.006	17	Lik 1	Lik 1
7	8 utkast	0.015	K-Epsilon	90903	R6.007	17	Lik 1	Lik 1
8	8 utkast	0.0075	K-Epsilon	96440	R6.008	20	Lik 1	Lik 1
9	8 utkast	0.003	K-Epsilon	96440	R6.009	20	Lik 1	Lik 1
10	8 utkast	0.001	K-Epsilon	96440	R6.010	20	Lik 1	Lik 1
11	9 utkast	0.03	K-Epsilon	128198	R6.011	20	Lik 1, men tynnere prismelag	Lik over, men jevnere trimmet nett
12	9 utkast	0.03	K-Epsilon	130196	R6.012	20	Lik 11	Lik 11
13	9 utkast	0.03	K-Epsilon	127536	R6.013	20	Lik 11	Lik 11
14	9 utkast	0.03	K-Omega	128198	R6.014	20	Lik 11	Lik 11
15	9 utkast	0.03	K-Omega	242322	R6.015	20	Lik 11	Lik 11
16	9 utkast	0.03	K-Epsilon	242322	R6.016	20	Lik 11	Lik 11
17	9 utkast	0.003	K-Omega	257117	R6.017	20	Lik 11	Lik 11
18	9 utkast	0.003	K-Epsilon	257117	R6.018	20	Lik 11	Lik 11

Nr	Nett samløp	Nett avløpstunnel	Ruhet samlekanal	Helling utløp	Ruhet sjakt	Lengde utløp (m)
1	Trimmet med 1 prismelag	Generalisert sylinder helt til siste utvidelse	1mm	ca. 6-8	4mm	5.4
2	Lik 1	Lik 1	1mm	Lik 1	4mm	Lik 1
3	Lik 1	Lik 1	1mm	Lik 1	4mm	Lik 1
4	Lik 1	Lik 1	1mm	Lik 1	4mm	Lik 1
5	Lik 1	Lik 1	1mm	Lik 1	3mm	Lik 1
6	Lik 1	Lik 1	1mm	Lik 1	2mm	Lik 1
7	Lik 1	Lik 1	1mm	Lik 1	4mm	Lik 1
8	Lik 1	Lik 1, men med mangelkantet nett etter rettstrekning avløpsrør	0mm	Lik 1	3mm	Lik 1
9	Lik 1	Lik 8	0mm	Lik 1	3mm	Lik 1
10	Lik 1	Lik 8	0mm	Lik 1	3mm	Lik 1
11	Lik over men med to prismelag	Trimmet nett med 3 prismelag	0mm	7	2.7mm	5.6
12	Lik 11	Lik 11	0mm	4	2.7mm	5.6
13	Lik 11	Lik 11	0mm	10	2.7mm	5.6
14	Lik 11	Lik 11	0mm	7	2.7mm	5.6
15	Lik 11	Lik 11, men med tynnere prismenett og en veldig forfining rundt siste utvidelse i avløpstunnelen	0mm	7	2.7mm	5.6
16	Lik 11	Lik 15	0mm	7	2.7mm	5.6
17	Lik over, men litt finere ved ut og innløp del 2	Lik 15, men mer uniform cellestørrelse i siste del av avløpstunnelen	0mm	7	2.7mm	5.6
18	Lik 17	Lik 17	0mm	7	2.7mm	5.6