

Statens vegvesen, Utbygging

▶ **KDP E39 Flatøy - Eikefettunnelen**

Hydrologi/Hydraulikk

Kommunedelplan

Oppdragsnr.: **5195469** Dokumentnr.: **R012** Versjon: **E02** Dato: **2021-11-19**



Oppdragsgivar: Statens vegvesen, Utbygging
Oppdragsgivars kontaktperson: Gunn Cecilie Omre
Rådgivar Norconsult AS, Vestfjordgaten 4, NO-1338 Sandvika
Oppdragsleiar: Lars Roald Kringeland
Fagansvarleg: Lisa Ø. Jørandli / Anne Vea
Andre nøkkelpersonar: Carolina Uribe

E02	2021-11-19	For høyring/offentleg ettersyn	LiØJø/AnnVea	Uribe	LRK
D01	2020-11-01	For godkjenning hjå oppdragsgivar	LiØJø/AnnVea	Uribe	LRK
Versjon	Dato	Omtale	Utarbeidd	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidd av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandlar. Opphavsretten tilhøyrar Norconsult AS. Dokumentet må berre nyttast til det formål som går fram i oppdragsavtalen, og må ikkje kopierast eller gjerast tilgjengeleg på annan måte eller i større utstrekning enn formålet tilseier.

Samandrag

I samband med KDP for E39 Flatøy – Eikefettunnelen har det vore nødvendig med ulike hydrologiske og hydrauliske vurderingar i dei områda kor dei ulike alternative veglinjene kryssar bekker/elver eller vatn. Det er gjort utrekning av flaumtilsig (Q_{200} inkludert klimapåslag og sikkerheitsfaktor) for alle kryssingar. Vasslinjeutrekning er gjort for to av vatna, og dimensjon på ein ny kulvert er berekna med nomogram.

Grunna sparsamt hydrologisk grunnlag er det gjort flaumutrekningar ved hjelp av fem ulike metodikkar for dei aktuelle stadene (frekvensanalyse, nedbør-avlupsmodell, nasjonalt formelverk for små felt, regionale flaumformlar og rasjonale metode), før eit endeleg val av flaumstørrelsar er gjort. Det er lagt til 40 prosent på flaumverdiane for å ta høgde for framtidige endringar i klima (verdi for små nedbørfelt i Hordaland er lagt til grunn), og det er nytta sikkerheitsfaktor 1,2 på dimensjonerande vassføring, slik handbok N200 [5] tilrår. Spesifikk 200-årsflaum, inkludert klimapåslag og sikkerheitsfaktor, gir resultatet som er vist i tabell under.

Felt	$1,4 \times 1,2 \times Q_{200}$ (l/s/km ²)
Kryssing v/ Isdalsvatnet	6280
Kryssing v/ Langavatnet	6850
Kryssing v/ Haukåsvatnet	4370
Kryssing v/ Hjelmåsvatnet	4700
Kryssing v/ Stegafossen	11290
Kryssing v/ Nedgardselva og Liavatnet	3330
Kryssing v/ Kvernhusdalen	7730

Det er gjort hydrauliske berekningar for Haukåsvatnet og Hjelmåsvatnet for å sjå kva effekt bru og fylling har på vasstanden i vatna. Med ei 20 meter brei bru vil vasstanden ikkje bli påverka i Haukåsvatnet. For Hjelmåsvatnet vil alternativ M1, M2 og M3 med fylling i sørenden av vatnet føre med seg at vasstanden stig om lag 7 cm.

For Nedgardselva er det berekna at ein kulvert med breidde 10 meter kan ta unna flaumvassføringa når høgda på kulverten er 3,5-4,5 meter (avhengig av utforminga på innlaupet).

Innhald

1	Innleiing	5
2	Utrekning av flaumverdiar	7
2.1	Frekvensanalyse	7
2.1.1	Målestasjonar	7
2.1.2	Flaumsesong	9
2.1.3	Frekvensanalyse	9
2.2	Regional analyse	9
2.2.1	Enkel regresjon	9
2.2.2	Multipel regresjon	10
2.3	Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt	11
2.4	Nedbør-avlaupsmodell	13
2.5	Regionale flaumformlar	14
2.6	Rasjonale metode	14
2.7	Endeleg val av flaumstorleik	15
2.8	Klimaendringar	17
2.9	Sikkerheitsfaktor for usikkerheit ved hydrologiske utrekningar	17
2.10	Dimensjonerande flaum (200-årsflaum med klimapåslag og sikkerheitsfaktor)	17
3	Modellering	18
3.1	Terrengmodell	19
3.2	Hydraulisk modellering	19
3.2.1	Friksjonsforhold	19
3.2.2	Haukåsvatnet	19
3.2.3	Hjelmåsvatnet	22
3.2.4	Nedgardselva N og Liavatnet	25
4	Referansar	26
5	Vedlegg	27
5.1	Lavvannskart	28
5.2	Flaumfrekvenskurver	35
5.3	Nomogram til utrekning av kulvertkapasitet	42
5.4	Tverrsnitt nytta i dei hydrauliske modellane	42

1 Innleiing

Det er utført flaumutrekning for sju stader langs nye E39 mellom Flatøy og Eikefettunnelen, der E39 skal krysse over bekker/elver og vatn, for å vere sikker på at ny veg ikkje blir flaumutsett. Vasslinjeutrekning er utført for to av kryssingane. Endeleg veglinje er ikkje bestemt, og derfor er det utført vasslinjeutrekning for alternative veglinjer. Det skil ikkje mykje på plasseringa av dei ulike alternative veglinjene, så det har vore tilstrekkeleg å rekne flaumvassføringar for sju ulike stader kor nye E39 vil krysse vatn eller bekker/elver. Flaumutrekninga er utført for 200-årsflaum med klimapåslag og sikkerheitsfaktor i samsvar med NVE sin retningslinjer «Flaum- og skredfare i arealplanar» [1], TEK17 § 7.2 *Sikkerhet mot flom og stormflo* [2] og SVV si handbok N200 [5].

Ei oversikt over dei sju stadene det er gjort hydrologiske og hydrauliske vurderingar er vist i Figur 1-1 og Figur 1-2. Feltparametrane for nedbørsfeltene er vist i Tabell 1-1. Resultatet frå lågvassapplikasjonen er vedlagt. Alle høgder i denne rapporten er oppgitt i NN2000.



Figur 1-1 Kart som viser dei planlagde krysningane med nye E39 i dei ulike alternativa / områder kor det er gjort utrekningar av flaumvassføring og vasslinjeutrekningar.



Figur 1-2 Kart som viser dei planlagde kryssningane på nye E39 i dei ulike alternativa / områder kor det er utført utrekningar av flaumvassføring og vasslinjeutrekningar.

Flaumutrekninga er utført med tre ulike metodar for alle felta:

- Flaumfrekvensanalyse
- Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt (NIFS)
- Nedbør-avløpsmetoden

For seks av felta er det også sett på den rasjonale metoden, då feltareala til dei seks felta ligg innfor grensene til gyldigheitsområdet til denne metoden. For det sjuande feltet er det også sett på dei regionale flaumformlane.

2 Utrekning av flaumverdiar

2.1 Frekvensanalyse

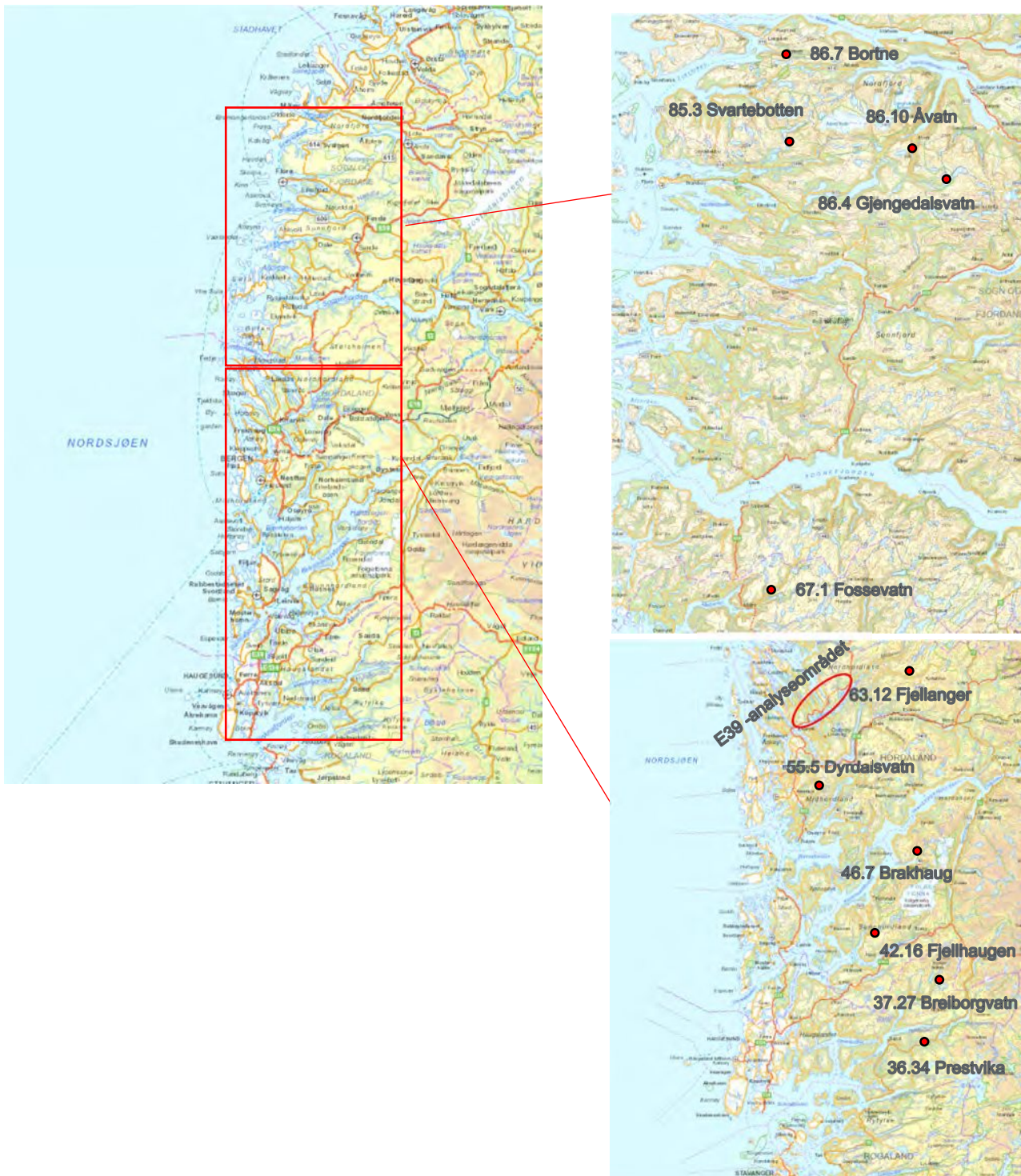
2.1.1 Målestasjonar

Målestasjonane som er nytta ligg maksimalt 50 km frå kysten, og mellom nord for Stavanger og sør for Nordfjord. Dei fleste stasjonane er også nytta som grunnlag for å utarbeide NIFS-formlane (kap. 2.3). Årsavlaupet for vassmerka som er presentert i Tabell 2-1 er henta frå Hydra-II databasen og representerer derfor midla årsavlaup for observasjonsperioden. Areal og sjøprosent ved Hjelmåsvatnet gjeld dagens situasjon. Alternativ M1, M2 og M3 har ein fylling i sørenden av vatnet. Viss fyllinga vert etablert, vil effektiv sjøprosent og feltareal bli påverka.

Det er gjort ein sjekk av observerte midla årsavlaup opp mot dei utrekna verdiane frå NEVINA. Jamt over er det slik at NEVINA estimerer for høge verdiar for årsavlaup, med nokre få unntak (Brakhaug, Fjellhaugen og Prestvika) der NEVINA estimerer for låge verdiar. For Fjellanger, som er den geografisk næraste målestasjonen til analyseområdet, treff NEVINA godt på årsavlaup.

Tabell 2-1 Felteigenskapar.

Målestasjon	Areal km ²	Eff. sjø (%)	Høgde min-med-max	Årsavlaup (l/s/km ²)
55.5 Dyrdalsvatn	3.31	3.98	436-581-802	124
63.12 Fjellanger	12.83	0.89	403-913-1205	96
46.7 Brakhaug	9.25	0.24	179-947-1280	122
42.16 Fjellhaugen	7.28	1.00	387-687-961	118
37.27 Breiborgvatn	12.43	2.81	663-972-1534	91
36.34 Prestvika	2.49	0.00	67-387-1103	69
85.3 Svartebotten	4.63	2.64	523-842-1201	148
86.7 Bortne	15.81	0.05	21-655-1090	93
86.10 Åvatn	162.13	1.47	27-697-1465	81
86.4 Gjengedalsvatn	55.74	6.15	483-867-1465	97
67.1 Fossevatn	63.71	3.27	357-687-988	104
Middel	31.8	2.05		104
Kryssing v/ Isdalsvatnet	1.6	2.7	32-110-227	70
Kryssing v/ Langavatnet	0.8	5.3	95-160-288	74.4
Kryssing v/ Haukåsvatnet	2.9	9.30	23-94-384	80
Kryssing v/ Hjelmåsvatnet	3.2	8.30	16-49-275	73
Kryssing v/ Stegafossen	2.4	0.20	84-693-807	148
Kryssing v/ Nedgardselva og Liavatnet	22	8.90	12-62-390	72
Kryssing v/ Kvernhusdalen	2.2	0.3	1-51-146	72



Figur 2-1 Målestasjonane som er nytta i frekvensanalysen. Lokalisering av nye E39 er markert med raud ellipse.

2.1.2 Flaumsesong

På Vestlandet er det årsflaumar og haustflaumar som dominerer i dei kystnære områda. Dei 5 nedbørfelta som vert undersøkt her ligg alle tett ved kysten, og derfor er det berre inkludert målestasjonar nær kysten i analysen. Frå frekvensanalysen kjem det fram at årsflaum dominerer ved 8 av 11 målestasjonar. Vidare analysar er derfor gjort på årsflaum.

2.1.3 Frekvensanalyse

Dei meir detaljerte resultatane for årsflaumar er vist i Tabell 2-2. Utrekningane er føretatt med NVE si programvare for ekstremverdianalyse i Dagut i Hydra II. I tabellen er det vist resultat frå fordelingane EV1 (Gumbel) og GEV (General Extreme Value), samt ein visuell.

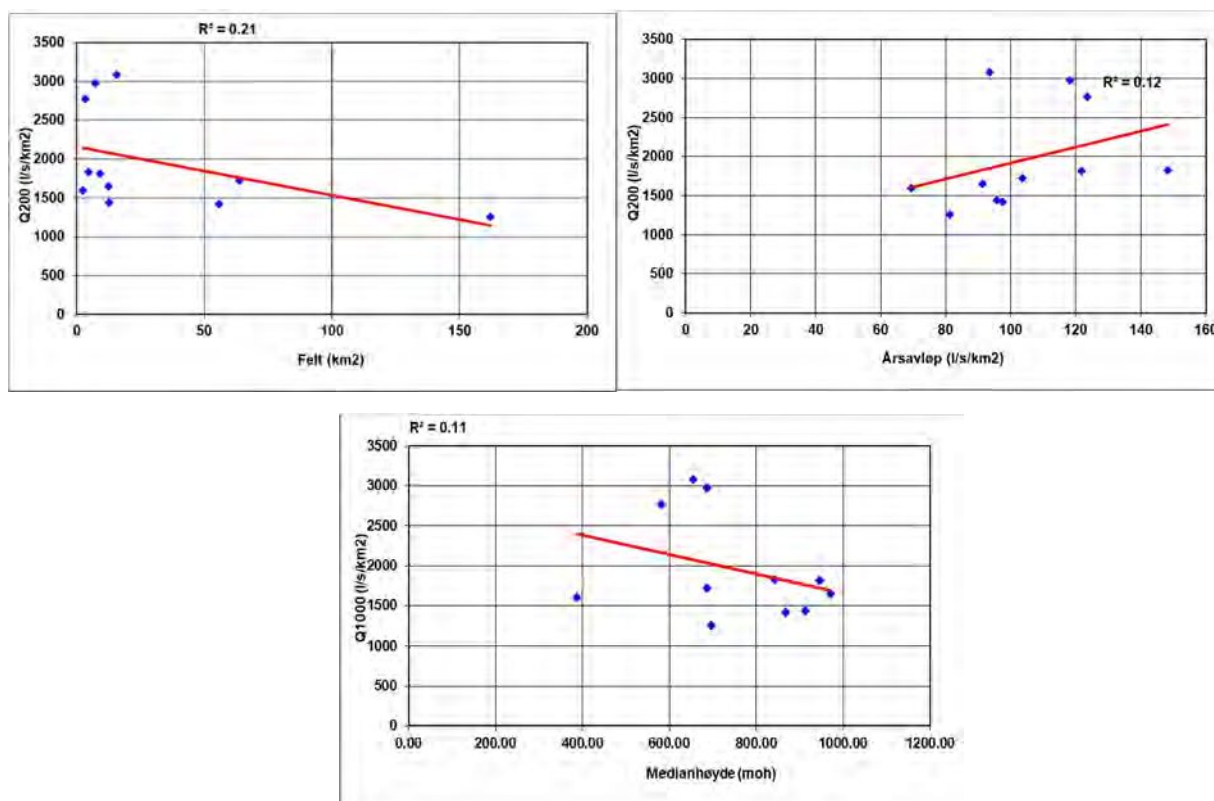
Tabell 2-2 Frekvensanalyse på middelflaum og 200-årsflaum døgnverdiar (l/s/km²).

Målestasjon	Ant. år	Q _M	Q ₂₀₀
55.5 Dyrdalsvatn	37	1246	2770
63.12 Fjellanger	21	805	1437
46.7 Brakhaug	33	986	1814
42.16 Fjellhaugen	20	1280	2977
37.27 Breiborgvatn	23	784	1648
36.34 Prestvika	30	680	1598
85.3 Svartebotten	35	997	1829
86.7 Bortne	16	1114	3081
86.10 Åvatn	44	615	1258
86.4 Gjengedalsvatn	37	702	1419
67.1 Fossevatn	48	840	1720
Middel	31	913	1959

2.2 Regional analyse

2.2.1 Enkel regresjon

Enkel regresjonsanalyse er utført for spesifikk 200-årsflaum og variablane feltareal, årsavlaup, medianhøgde, effektiv sjøprosent, snaufjellsprosent og skogsandel. Flaumverdiane hadde varierende korrelasjonar mot feltparametrene. Beste korrelasjon er mot feltareal (A) som gav R²-verdi 0,21. Årsavlaup (Q_N) gav ein korrelasjon med R²-verdi 0,12 (sjå Figur 2-2). Medianhøgde gav ein R²-verdi på 0,11, men her går flaumverdiane ned med aukande høgde over havet.

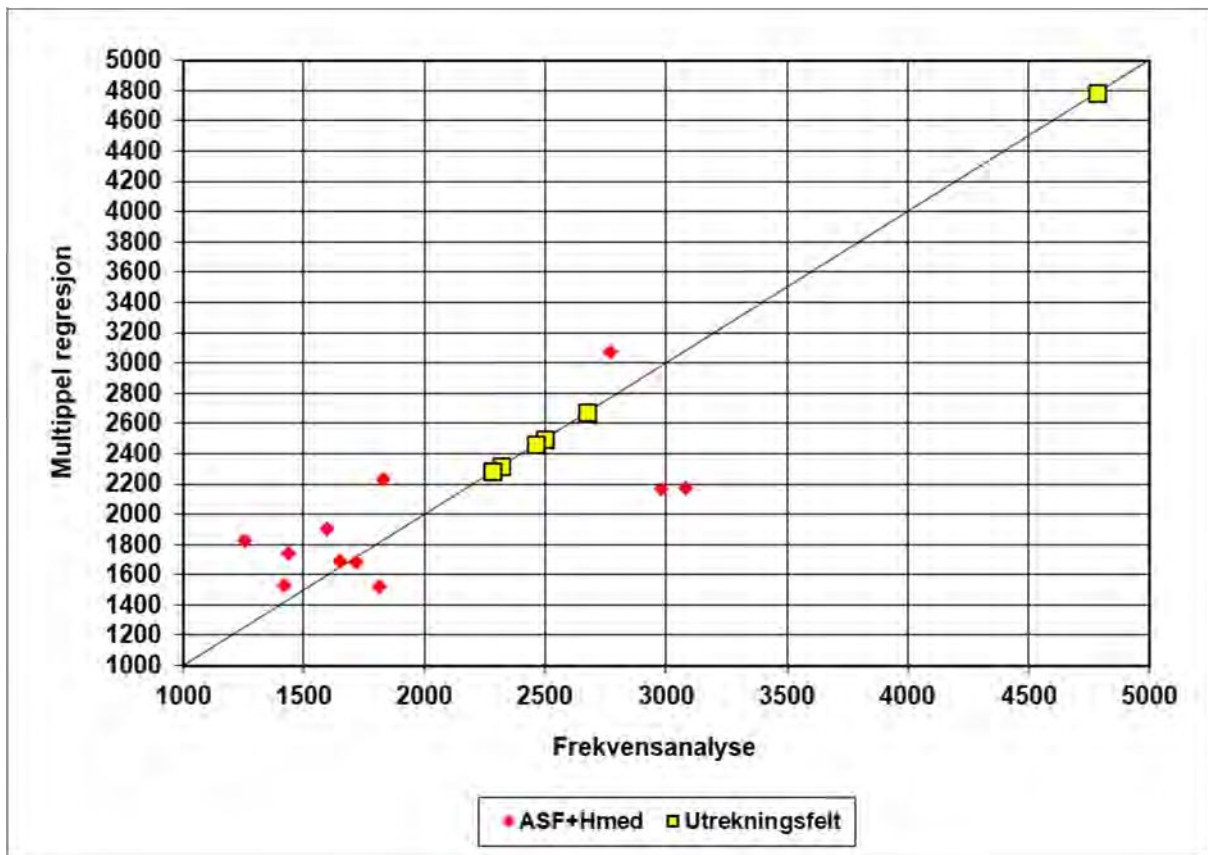


Figur 2-2 Plot som viser sammenhengen mellom 200-årsflaum (l/s/km²) og feltareal, årsavløp og medianhøyde

2.2.2 Multipel regresjon

Multipel regresjonsanalyse viste at kombinasjonar med parametrane effektiv sjøprosent, medianhøgde og snaujellprosent kan forklare noko av variasjonen i dei spesifikke 200-årsflaumane for felt i denne regionen. R^2 for dei antatt beste modellane er vist i Tabell 2-3, og spreingsdiagram for modellen med høgast R^2 er vist i Figur 2-3.

Denne analysen har diverre ikkje så gode R^2 -verdiar, men det er likevel ei styrke i denne analysen at ingen av felta som inngår skil seg særskilt ut, og at analysen inkluderer både små og store felt. Samtidig har flaumverdiane noko større spreiring i intervallet 1400 – 3000 l/s/km².



Figur 2-3 Spreiingsdiagram for regresjonsanalyse mot frekvensanalyse for antatt beste regresjonsmodell

Tabell 2-3 Utrekningar med regresjonsanalyse på feltparametre og Q_{200} (l/s/km²) (døgnmiddelferdier).

Parametrar i reg.modell	R ²	Signifikante parametrar på 5 % nivå	Signifikante parametrar på 10 % nivå	Q ₂₀₀ (l/s/km ²)
ASF, H _{med}	0,33	ASF, H _{med}	-	2280 - 4780
A _{se} , ASF, H _{med}	0,33	ASF, H _{med}	-	1600 - 4960

2.3 Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt

Med NVE sitt formelverk for små uregulerte felt (NIFS) kan kulminasjonsvassføring reknast ut. Formelverket består av to likningar; ei for å rekne middelflaum og ei for å beskrive vekstkurva Q_T/Q_M . Metoden er tilrådd for felt med areal 0,2 - 50 km². Metoden er nærare skildra i [1]. Parametrane areal, normalavrenning og effektiv sjøprosent inngår i formelverket og er presentert i Tabell 2-1 for kryssingane langs E39. Verdiane som kjem ut av NIFS er kulminasjonsverdiar. Det inneber at ein må rekne ut ein kulminasjonsfaktor å dele flaumverdiane på slik at dei skal kunne samanliknast med dei andre metodane. Under følger ei skildring av korleis kulminasjonsfaktoren er valt.

Kulminasjonsfaktor

For nokre av målestasjonane er observert forholdstal mellom momentanflaum og døgnmiddelflaum på årsflaumar og haustflaumar henta frå vedlegg 2A og 2B i [3]. Desse er summert opp i Tabell 2-4.

Tabell 2-4 Observerte kulminasjonsfaktorar, henta frå vedlegg 2A og 2B i [3].

Målestasjon	Observert Omom / Qdøgn, haustflaumar	Observert Omom / Qdøgn, årsflaumar
36.34 Prestvika		1,69
55.5 Dyrdalsvatn	1,85	1,88
86.4 Gjengedalsvatn	1,26	
86.7 Bortne	2,10	

Dei oppgitte kulminasjonsfaktorane i [3] er samanlikna med kulminasjonsfaktor frå formel for haust presentert i [3] (sjå Tabell 2-5). I Tabell 2-5 er også valt kulminasjonsfaktor for dei fem felta presentert. I hovudsak ligg dei observerte kulminasjonsfaktorane i Tabell 2-4 noko lågare enn verdien rekna med formel for haustflaumar, og vi antar at dei utrekna verdiane ikkje er estimert for høgt. Ser ein på felteigenskapane til felta det reknast på her opp mot felteigenskapane til felta med observerte verdiar, ser det ut til at verdiane rekna ut med formlane stemmer greitt i høve til dei observerte tala, og det er valt å nytta kulminasjonsfaktorane rekna ut med formlane, avrunda til næraste 10.

$$Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}} (\text{haust}) = 2,29 - 0,29 \cdot \log(A) - 0,270 \cdot ASE^{0,5}$$

Tabell 2-5 Kulminasjonsfaktor rekna med formelverk presentert i [3].

Stad	$Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$ (formel for haust (frå [3]))	$Q_{\text{mom}}/Q_{\text{døgn}}$
Kryssing v/ Isdalsvatnet	1.79	1.70
Kryssing v/ Langavatnet	1.70	1.70
Kryssing v/ Haukåsvatnet	1.33	1.30
Kryssing v/ Hjelmåsvatnet	1.37	1.40
Kryssing v/ Stegafossen	2.06	2.10
Kryssing v/ Nedgardselva og Liavatnet	1.10	1.10
Kryssing v/ Kvernhusdalen	2.04	2.00

Nasjonalt formelverk gir Q_{200} -verdiar som vist i Tabell 2-6 (døgnmiddelverdiar).

Tabell 2-6 Resultat frå nasjonalt formelverk - døgnmiddelverdiar

Stad	Q_{200} (l/s/km ²) - døgnmiddel
Kryssing v/ Isdalsvatnet	1827
Kryssing v/ Langavatnet	1851
Kryssing v/ Haukåsvatnet	1888
Kryssing v/ Hjelmåsvatnet	1657
Kryssing v/ Stegafossen	3281
Kryssing v/ Nedgardselva og Liavatnet	1578
Kryssing v/ Kvernhusdalen	1937

2.4 Nedbør-avlaupsmodell

Den beste måten å bestemme modellparametrene til NVE sin flaummodell PQRUT er ved kalibrering mot observerte data med fin nok tidsoppløysing. Sidan slike data ikkje finst, er det tatt utgangspunkt i feltparametrene til det aktuelle feltet. Parametrene som inngår i PQRUT er deretter rekna med formelverket i NVE sine retningslinjer [1]:

$$K_1 = 0,0135 + 0,00268 * H_L - 0,01665 * \ln(A_{SE})$$

$$K_2 = 0,009 + 0,21 * K_1 - 0,00021 * H_L$$

$$T = -0,9 + 4,4 * K_1^{-0,6} + 0,28 * q_N$$

Det er ikkje rekna eigne IVF-kurvar, men i staden nytta medianverdiar av nedbørsintensiteten med 200-års returperiode for Vestlandet [3].

I simuleringa er bakken føreset å vere metta med vatn ved starten av simuleringa, og initialvassføringa er satt lik normalvassføringa gitt frå NVE sin lågvassapplikasjon. I Tabell 2-2 er parametrene som er nytta i utrekninga av Q_{200} gitt.

Tabell 2-7 Feltparameterverdiar ved utrekning av Q_{200} -forløp

Felt	Kryssing v/ Isdalsvatnet	Kryssing v/ Langavatnet	Kryssing v/ Haukåsvatnet	Kryssing v/ Hjelmåsvatnet	Kryssing v/ Stegafossen	Kryssing v/ Nedgardselva og Liavatnet	Kryssing v/ Kvernhusdalen
K ₁	0,1	0,1	0,12	0,09	0,54 ¹	0,02	0,07
K ₂	0,02	0,02	0,02	0,02	0,09	0,01	0,02
T	27,9	29,2	29,2	29,8	38,8	55,2	33,1
H _L (m/km)	39,4	43,25	53,09	42,74	150,63	16,58	13,19
A _{SE} (%)	2,7	5,3	9,3	8,3	0,2	8,9	0,3
Q _N (l/s km ²)	70	74,4	80	73	148	72	72
Modellert areal (km ²)	1,6	0,8	2,9	3,2	2,4	22,0	2,2
Initialvassføring (m ³ /s)	0,112	0,060	0,232	0,234	0,355	1,584	0,158

Resultatet frå PQRUT er vist i Tabell 2-8. For å finne døgnmiddelverdiene er det nytta kulminasjonsfaktorane vist i Tabell 2-5. Nedbør-avlaupsmodellen er ikkje gyldig for felt med effektiv sjøprosent > 7,7 prosent, og for Haukås-, Hjelmås- og Liavatnet må resultatane frå denne metoden derfor sjåast bort frå.

Tabell 2-8 Resultat frå nedbør-avlaupsmodellen – døgnmiddelverdiar.

Stad	Q ₂₀₀ (l/s/km ²) - døgnmiddel
Kryssing v/ Isdalsvatnet	990
Kryssing v/ Langavatnet	985
Kryssing v/ Haukåsvatnet	1371
Kryssing v/ Hjelmåsvatnet	1103
Kryssing v/ Stegafossen	1993
Kryssing v/ Nedgardselva N og Liavatnet	675
Kryssing v/ Kvernhusdalen	632

¹ Justert opp med 0,1 pga. mykje snaufjell i feltet (jf. Vedlegg 11 i [4]).

2.5 Regionale flaumformlar

NVE sine regionale flaumformlar [3] er tilrådd for felt med areal > 20 km², men ein bør vere forsiktig med å gi resultatata for stor verdi så lenge felta er < 100 km². Metoden er likevel nytta til å rekne Q₂₀₀ for eit av felta som vert undersøkt her. Feltet ligg i regionen K2 for årsflaumar. Resultata er vist i Tabell 2-9. Desse verdiane er ikkje vektlagt, men er brukt til å samanlikne resultatata frå dei andre metodane.

Tabell 2-9 Utrekning av Q₂₀₀ (l/s/km²) med regionale flaumformlar - døgnmiddelverdiar.

Felt	Areal km ²	ASE %	qN (l/s/km ²)	K2
Kryssing v/ Nedgardselva N	22,0	8,9	72,1	1012

2.6 Rasjonale metode

Den rasjonale metode vert nytta for å estimera flaumstorleiker for felt mindre enn 2-5 km² [5]. Seks av felta som er vurdert her er 0.8 - 3 km². Dette inneber at dei er innanfor det som er tilrådd for den rasjonale metode. Ein skal også vere forsiktig med å vektlegge resultatata frå denne metoden viss felta har ein høg effektiv sjøprosent, då det kan gjere at konsentrasjonstida blir urealistisk lang.

Kritisk varigheit (T_c) for felta er rekna som vist i tekstboksen under.

$$T_c = 0,6 \times L \times H^{-0,5} + 3000 \times A_{SE} \quad \text{kor } T_c = \text{kritisk varigheit (min), } L = \text{feltets lengde (m), } H = \text{feltets høgdeskilnad (m) og } A_{SE} = \text{effektivt innsjøareal (\%)}$$

Grunnlaget for dimensjonering er vidare rekna ved bruk av den rasjonale formel (sjå tekstboks under).

$$Q = C \times i \times A \quad \text{kor } Q = \text{vassføring (l/s), } C = \text{avrenningsfaktor (dimensjonslaus), } i = \text{nedbørintensitet (l/s/ha) og } A = \text{feltareal (ha)}$$

Nedbørintensiteten er rekna med IVF-kurva som består av medianverdien av ni stasjonar på Vestlandet med ein returperiode på 200 år [4]. Det er ikkje nytta arealreduksjonsfaktor då dei aktuelle felta er små. I Tabell 2-10 er medianverdi for nedbørmengda (mm) for ulike varigheiter oppgitt.

Tabell 2-10 Medianverdi for nedbørmengda (mm) med 200-års returperiode for Vestlandet basert på 9 stasjonar. Varigheit 1 min - 1 døgn

Varigheit (min)	1	2	3	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360
Nedbør (mm)	3	5,2	6,9	9,2	12	14,4	16,8	20,8	24,1	29,4	38,8	43,3	51	69,8

Regnvarigheita er sett lik konsentrasjonstida til feltet. Berekna kritisk varigheit for dei tre felta er oppgitt i Tabell 2-11 saman med den tilhøyrande intensiteten. Intensiteten er funne ved å interpolera IVF-kurva.

Tabell 2-11 Konsentrasjonstid for dei tre felta.

Stad	T _c (minuttar)	i (l/s km ²)
Kryssing v/ Isdalsvatnet	166	4955
Kryssing v/ Langavatnet	243	3951

Kryssing v/ Haukåsvatnet	386	3098
Kryssing v/ Hjelmåsvatnet	362	3221
Kryssing v/ Stegafossen	60	8228
Kryssing v/ Kvernhusdalen	162	5010

Det er stor uvisse knytt til estimering av C-faktoren. Nasjonal og internasjonal litteratur angir som regel ganske vide verdiområder for ulike arealtypar, med tilråding om å bruke dei høgare verdiane for bratte felt med lite lausmasser. Det vert også tilrådd å nytte det nedre sjiktet for regn med varigheit under 1 time og det øvre sjiktet om varigheita er meir enn 3 timer [4]. Tilrådde verdiar for bruk i Norge er vist i Tabell 2-12.

Tabell 2-12 Avrenningsfaktor C for ikkje fryst overflate [4].

Terrengtype	C-verdi
Betong, asfalt, bart fjell og liknande.	0,6-0,9
Grusveier	0,3-0,7
Dyrka mark og parkområde	0,2-0,4
Skogsområde	0,2-0,5

Felta til Isdalsvatnet, Langavatnet, Haukåsvatnet, Hjelmåsvatnet og Kvernhusdalen består i hovudsak av skog, med nokre innslag av dyrka mark og grusveigar, mens feltet til Stegafossen for det meste består av snaufjell. Basert på felteigenskapane og verdiane vist i Tabell 2-12 er verdien 0,3 valt for Langevatn og Kvernhusdalen, mens 0,4 er valt for kryssingane ved Isdalsvatnet, Hjelmåsvatnet og Haukåsvatnet. For Stegafossen er det valt ein verdi på 0,6. Verdiane er så oppskalert med 30 prosent då det vert rekna på returperiode 200 år [5], noko som gir C-verdiar på høvesvis 0,39, 0,52 og 0,78. Dette samsvarer nokolunde med [4] som oppgjer at C-verdien som regel bør ligge mellom 0,4 - 0,6, men at høgare verdiar kan vurderast for felt med eigenskapar lik Stegafossen sitt felt.

I Tabell 2-13 er døgnmiddelverdiane for Q_{200} for dei seks felta oppgitt.

Tabell 2-13 Resultat frå den rasjonale metoden - døgnmiddel

Stad	Q_{200} (l/s/km ²) - døgnmiddel
Kryssing v/ Isdalsvatnet	1516
Kryssing v/ Langavatnet	906
Kryssing v/ Haukåsvatnet	1239
Kryssing v/ Hjelmåsvatnet	1196
Kryssing v/ Stegafossen	3056
Kryssing v/ Kvernhusdalen	977

2.7 Endeleg val av flaumstorleik

Analysen over gir nokre indikasjonar på kva for ein verdi Q_{200} skal ha. Resultata frå dei ulike metodane er vist i Tabell 2-14.

Av målestasjonar er 42.16 Fjellhaugen og 86.7 Bortne mest representative for kryssinga ved Stegafossen. Felteigenskapane til dei to målestasjonane tyder på at Stegafossen har ein noko høgare Q_{200} -verdi enn kva som er målt ved dei to stasjonane.

For kryssingane ved Haukåsvatnet og Hjelmåsvatnet er det målestasjon 55.5 Dyrdalsvatn som ligg nærast nye E39 og som har eit samanliknbart areal med Haukåsvatnet og Hjelmåsvatnet. Den effektive sjøprosenten er ein god del lågare enn dei to felta, og ein kan forvente at flaumane ved Haukåsvatnet og Hjelmåsvatnet er mindre enn ved Dyrdalsvatn. Ein kan også sjå til målestasjon 67.1 Fossevatn. Denne ligg noko nord for dei to felta, og har ein sjøprosent som er ganske lik Dyrdalsvatn. Feltarealet til Fossevatn er derimot ein god del større enn for Haukåsvatnet og Hjelmåsvatnet, og ein kan forvente at flaumverdiane ved dei to kryssingane ligg mellom verdiane for Fossevatn og Dyrdalsvatn.

Når det gjeld kryssingane ved Nedgardselva, er det målestasjonane 67.1 Fossevatn, 86.4 Gjengedalsvatn og 86.10 Åvatn som er dei tre stasjonane som har dei mest samanliknbare feltparametrane. Alle har riktig nok ein god del større feltareal, men har også mindre effektiv sjøprosent og høgare årsmiddelavrenning. Fossevatn er den stasjonen av dei tre som har høgast Q_{200} -verdi og som geografisk ligg nærast nye E39, og flaumverdien ved Nedgardselva og Liavatnet er forventa å ligge omring verdien for denne målestasjonen.

Flaumverdiane for Kvernhusdalen, Isdalsvatnet og Langavatnet er forventa å ligge noko høgare enn flaumverdien ved Hjelmås-/Haukåsvatnet, men basert på årsmiddelavrenninga til dei tre felta er dei alle forventa å ligge noko lågare enn verdien ved 55.5 Dyrdalsvatn.

Med unntak av for Haukåsvatnet og Hjelmåsvatnet gir den regionale analysen noko høgare verdiar for kryssingane på nye E39 enn målestasjonane frå frekvensanalysen (sjå Tabell 2-14).

Nedbør-avlaup modellen gav verdiar i storleiksorden 660 – 2000 l/s/km², som er ein god del lågare enn verdiane rekna med den regionale analysen. Dette skyldast at dei fleste analysefelta har høg effektiv sjøprosent, noko som gjer at konsentrasjonstida blir veldig lang, som igjen gjer at flaumverdiane blir låge.

For Nedgardselva gav dei regionale flaumformlane lågare verdiar enn dei andre metodane (med unntak av nedbør-avlaup). Desse resultatane er heller ikkje vektlagt, sida nedbørfeltareala til dei to kryssingane er i nedre sjiktet av området formlane er gyldig for. Den rasjonale metoden gav verdiar for Haukåsvatnet og Hjelmåsvatnet som er lågare enn verdiane rekna med den regionale analysen. Desse to felta har ein effektiv sjøprosent som er utanfor gyldigheitsområdet til formelen. For Stegafossen stemmer den rasjonale metoden godt med frekvensanalysen og NIFS.

Valt døgnerverdi ved 200-årsflaum for kryssingane ved nye E39 på strekninga Flatøy-Eikefet er vist i Tabell 2-14.

Tabell 2-14 Q_{200} (døgnerverdi) berekna med ulike metodar og valt verdi.

Metode	Kryssing v/ Isdalsvatnet	Kryssing v/ Langavatnet	Kryssing v/ Haukåsvatnet	Kryssing v/ Hjelmåsvatnet	Kryssing v/ Stegafossen	Kryssing v/ Nedgardselva og Liavatnet	Kryssing v/ Kvernhusdalen
Frekvensanalyse	< 2770	< 2770	1720 - 2770	1720 - 2770	Ca. 3000	1720	<2770
Regional analyse	2316	2499	2670	2280	4780	2460	2281
NIFS	1827	1851	1888	1657	3281	1578	1937
Nedbør-avlaup modell	990	985	1371	1103	1993	675	632
Regionale flaumformlar	-	-	-	-	-	1012	-
Rasjonale metode	1516	906	1239	1196	3056	-	977
Valt verdi	2200	2400	2000	2000	3200	1800	2300

2.8 Klimaendringar

I følge [3] er det tilrådd å ta omsyn til klimaframskrivingar ved utrekning av flaumstorleikar. Endringar i klima er omhandla i NVE sin rapport «Klimaendringar og framtidige flommer i Norge» utgitt i 2016 [7]. Generelt er det venta at flaumar forårsaka av regn kjem til å auke, mens snøsmelteflaumar i dei større vassdraga vil opptre sjeldnare. Ekstremnedbøren er venta å auke i heile landet. Ut i frå dette kan ein anta at storleikene på smelteflaumane i området ikkje vil auke, mens regnflaumane vil auke.

For Hordaland vert det det i [7] anbefalt å legge til eit klimapåslag for flaumutrekningar med gjentakingsintervall 200 år på minst 20 prosent for små felt. I rapporten «Klimaprofil Hordaland. Eit kunnskapsgrunnlag for klimatilpassing» [8] (2016, oppdatert 2017) er det anbefalt 20 eller 40 prosent, avhengig av plassering og flaumsesong. I SVV handbok N200 frå 2018 [5] er anbefalinga ei auke på 40 prosent for små felt i Hordaland. I vidare berekningar er det valt å bruke 40 prosent klimapåslag for utrekning av dimensjonerande Q_{200} .

2.9 Sikkerheitsfaktor for usikkerheit ved hydrologiske utrekningar

I Handbok N200 frå Statens vegvesen [5] skal ein ta høgde for usikkerheit i hydrologiske utrekningar ved å legge inn ein sikkerheitsfaktor på dimensjonerande vassføring. For sikkerheitsklasse V3/F3 er sikkerheitsfaktoren 1,2.

2.10 Dimensjonerande flaum (200-årsflaum med klimapåslag og sikkerheitsfaktor)

På bakgrunn av utrekningar og vurderingar i avsnitt 2.1 til 2.8 har vi kome fram til flaumstorleikar for dimensjonerande flaum (200-årsflaum inkludert klimapåslag og sikkerheitsfaktor) for dei sju felta. Kulminasjonsverdi for kvart felt er vist i Tabell 2-15.

Tabell 2-15 Q_{200} og Q_{200} med 40 prosent klimapåslag og 20 prosent sikkerheitsfaktor for dei sju kryssingane på nye E39 (kulminasjonsverdiar). Spesifikke verdiar er runda av til nærmaste ti.

Felt	Feltareal (km ²)	Q_{200} (l/s/km ²)	Q_{200} (m ³ /s)	1,4 x 1,2 x Q_{200} (l/s/km ²)	1,4 x 1,2 x Q_{200} (m ³ /s)
Kryssing v/ Isdalsvatnet	1.6	3740	6.0	6280	10.1
Kryssing v/ Langavatnet	0.8	4080	3.3	6850	5.5
Kryssing v/ Haukåsvatnet	2.9	2600	7.5	4370	12.7
Kryssing v/ Hjelmåsvatnet	3.2	2800	9.0	4700	15.1
Kryssing v/ Stegafossen	2.4	6720	16.1	11290	27.1
Kryssing v/ Nedgardselva og Liavatnet	22	1980	43.6	3330	73.2
Kryssing v/ Kvernhusdalen	2.2	4600	10.1	7730	17.0

3 Modellering

Av strekningane i Tabell 2-15 er det tre kryssingar som skal undersøkast nærare:

- Kryssing ved Haukåsvatnet
- Kryssing ved Hjelmåsvatnet
- Kryssing ved Nedgardselva og Liavatnet

For Haukåsvatnet er det utarbeidd ein hydrauliske modell med fylling i vatnet, med ei bru (lysopning) i fyllinga.

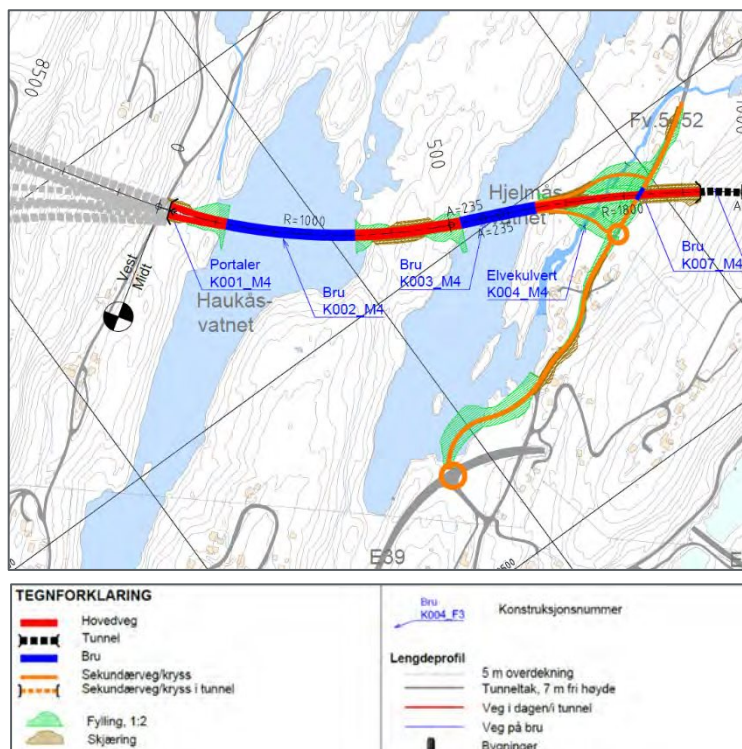
For Hjelmåsvatnet er det i alternativa M1, M2 og M3 planlagt fylling i sørenden av vatnet. Dei tre alternativa er så og seie like for Hjelmåsvatnet. Det er derfor utarbeidd éin hydraulisk modell for Hjelmåsvatnet for desse alternativa, sjå kapittel 3.2.

I alternativ M4 er det ikkje planlagt fylling i sjølve Hjelmåsvatnet (Figur 3-1). Vasslinjeutrekningar med hydraulisk modell er ikkje naudsynt. I M4 er det planlagt å legge utlaupet frå Hjelmåsvatnet i ny kulvert gjennom ei vegfylling. Det er nytta formel for kritisk djup [8] for å rekne ut den maksimale vasstanden som kan oppstå i Hjelmåsvatnet ved 200-årsflaum med klimapåslag og usikkerheitsfaktor.

Den eksisterande kulverten under fv. 5452 kjem til å vere oppstuvande og påverke vasstanden oppstraums ved flaum. Ut frå laserdata er det antatt at den eksisterande kulverten har breidde ein meter. For å rekne på auking i vasstand, er det gjort ei utrekning for det smalaste partiet ved utlaupet til Hjelmåsvatnet. Resultatet blir at vasstanden vil auke med ca. 0,8 meter oppstraums det smalaste partiet ved utlaupet av Hjelmåsvatnet, som følgje av det smale partiet ved kulvert under fv. 5452. Det betyr at ein vil få ei maksimal auke i vasstand på 0,8 meter i sjølve Hjelmåsvatnet.

Den nye kulverten gjennom fyllinga er ikkje dimensjonert i denne rapporten, men den må ha kapasitet til å ta unna flaumvassføringa på ca. 15 m³/s. Ein må fastsette høgda på kulverten i samanheng med vassnivået frå oppstuvinga nedstraums. Ved dimensjonering av den nye kulverten må ein gjere ei meir detaljert oppmåling av tverrsnittet ved den eksisterande kulverten.

For Nedgardselva/Liavatnet er det ikkje utarbeidd hydraulisk modell. Det er berre gjort ei utrekning av naudsynt dimensjon på kulverten ved 200-årsflaum.



Figur 3-1. Det er i alternativ M4 ikkje planlagt fylling i sørenden av Hjelmåsvatnet. Utløpet frå Hjelmåsvatnet skal gå i ny kulvert gjennom fylling nedstraums utløpet (grønt areal), og vidare gjennom eksisterande kulvert under fv. 5452.

3.1 Terrengmodell

Digital terrengmodell (DTM) nytta til utrekningane ved Hjelmåsvatnet og dei hydrauliske modellane er lasta ned frå Kartverkets side www.hoydedata.no. Terrengmodellane har oppløysing 0,25 m x 0,25 m. Følgande grunnlagsdata er nytta:

Tabell 3-1 Grunnlagsdata nytta til utarbeiding av DTM frå hoydedata.no.

Strekning	Grunnlag	Nøyaktigheit laserdata	Oppløysning
Hjelmåsvatnet, Nedgardselva og Liavatnet	Laserdata frå kartverket med punktettleik 5 pkt/m ² , skanna april / mai 2018	+/- 10 cm	0.25 x 0.25 m

I tillegg er vatna innmålt av Veseth AS i samband med dette oppdraget, slik at botnen til vatna er korrekt representert i dei hydrauliske modellane.

3.2 Hydraulisk modellering

Det er gjort 1-dimensjonal hydraulisk utrekning i HEC-RAS (versjon 5.0.7) for kryssing ved Haukåsvatnet og kryssing ved Hjelmåsvatnet.

For kryssinga over Nedgardselva N har det berre vore naudsynt med ei vurdering av kulvertdimensjon. Kulvertdimensjonen er utrekna ved å nytta nomogram.

I dei følgande kapitla er dei hydrauliske modellane utarbeidd for kvart område meir detaljert presentert saman med resultatane frå dei hydrauliske utrekningane.

3.2.1 Friksjonsforhold

Det er ikkje utført synfaring i området av hydrolog/hydraulikar, og friksjonsforholda er derfor vurdert ut frå kart (satellitt) og arealbruk (sjå vedlagt lågvasskart i vedlegg 5.1). Mannings M er satt til 33 for sjølve elvelaupet og til 20 for elvebreiddene.

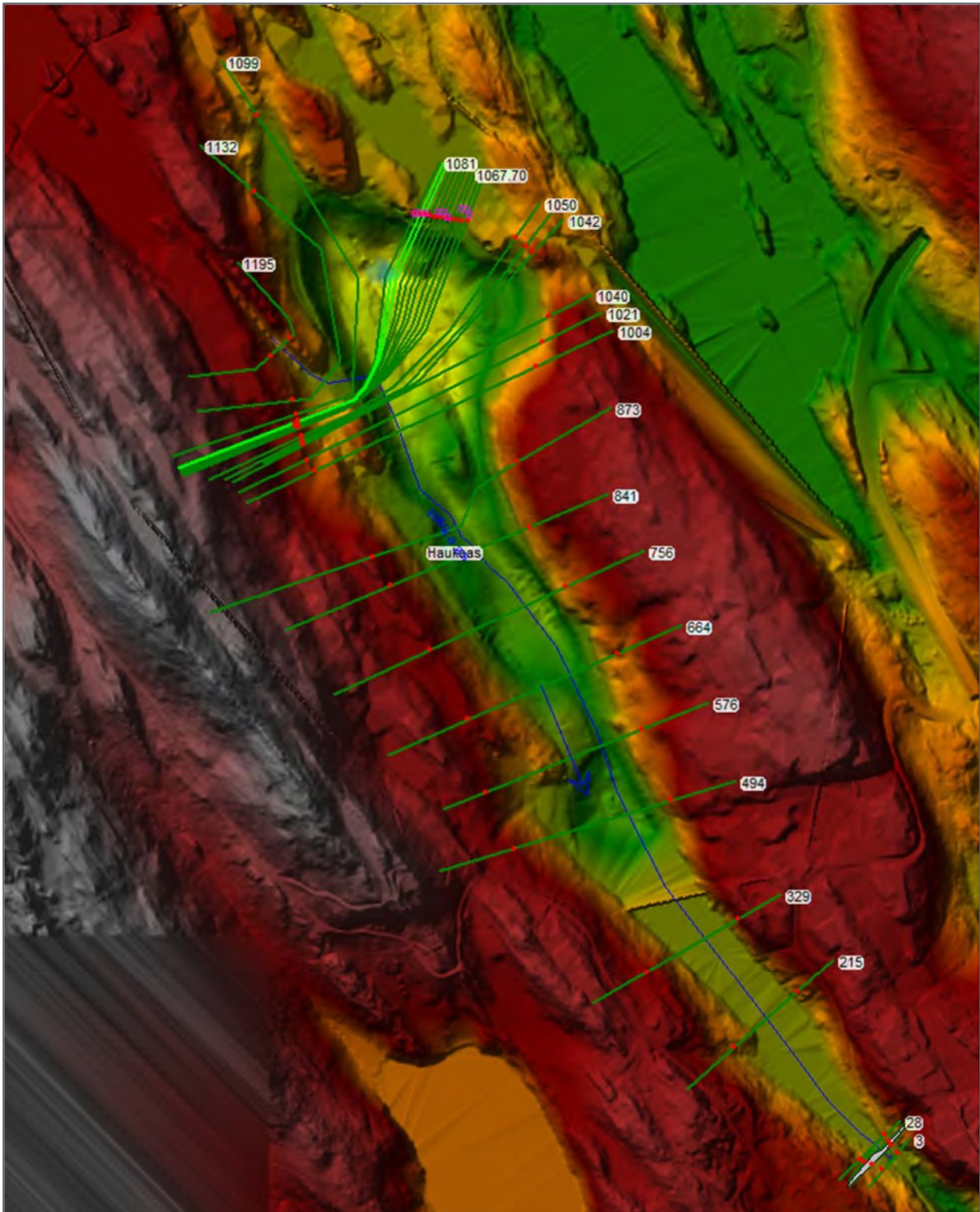
3.2.2 Haukåsvatnet

3.2.2.1 Tverrsnittdata

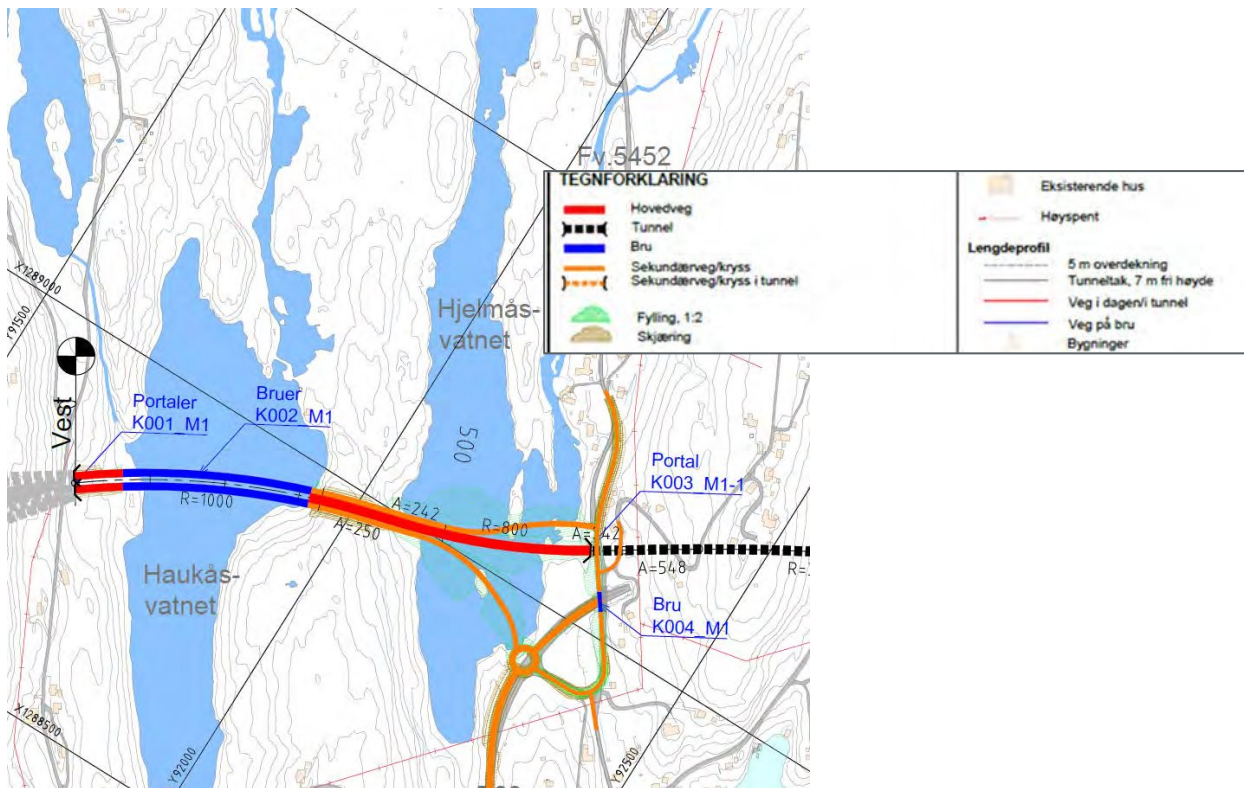
Det er nytta 33 tverrsnitt i denne modellen. I Figur 3-2 er plasseringa av dei ulike tverrsnitta vist.

Det er ikkje gjort nokre tilpassingar av tverrsnitta i denne modellen då alle tverrsnitta, med unntak av dei seks nedste, er tatt frå skanning av botn i vatnet. Dammen som ligg ved utlaupet til vatnet er i stor grad bestemmende for vasstanden i Haukåsvatnet, og det gir derfor ingen utslag om ein senkar dei få tverrsnitta som ikkje er tatt frå skanna botn. Nedstraums dammen er det berre nytta to tverrsnitt, og lågaste punkt på desse er òg innmålt i forbindelse med innmålingane av dammen.

For å undersøke kor mykje ein kan fylle ut i Haukåsvatnet utan at det får konsekvensar for områda rundt vatnet, er tverrsnitt 1045 delvis blokkert ved alternativ M4, mens tverrsnitt 1021 er delvis blokkert ved alternativ M2 og M3. I vedlegg 5.4 er dei blokkerte tverrsnitta som skal representere vegfyllingane vist saman med dei resterande, nytta, tverrsnitta.



Figur 3-2 HEC-RAS 1D modellen nytta for Haukåsvatnet.



Figur 3-3 Alternativ M1, M2 og M3 for Haukåsvatnet og Hjelmåsvatnet.

3.2.2.2 Grensesetnader

Øvre og nedre grensesetnaden som er nytta er hellinga på energilinja (S). Energilinja er vasstanden addert med hastigheitsenergien. Det er antatt at hellinga på energilinja er forholdsvis lik hellinga på vassflata, og denne hellinga er derfor målt opp på DTM ved øvste og nedste tverrsnitt i modellen. I og med at høgdeforskjellen i vasstand er forholdsvis liten i forhold til avstanden mellom desse punkta, er det antatt at hellinga på energilinja er lik hellinga på vasstanden. Vassføring ved 200-årsflaum med klimapåslag (dimensjonerande flaum) er lagt inn i det øvste tverrsnittet. Nedre grensesetnad er lagt direkte nedstrøms dammen som ligg ved utløpet til Haukåsvatnet. Dammen ved utløpet til Haukåsvatnet vil vere bestemmende for vasstanden i vatnet. Idet vasstanden i Haukåsvatnet når ca. kote 22, vil vatnet også begynne å renne ut i nordenden av vatnet (mot Hjelmåsvatnet).

Tabell 3-2 Grensesetnader.

Tverrprofil	Dimensjonerande flaum 1,2x1,4xQ ₂₀₀ (m ³ /s)	S
1195	12.67	0,14
3		0,044

Tabell 3-3 Data på dam ved utløpet til Haukåsvatnet

Damstad	Lengde damkrone (m)	Kotehøgde damkrone (moh.)
Haukåsvatnet	11	22,1 m

3.2.2.3 Resultat

Utrekna 200-års flaumvasstand (inkludert 40 prosent klimapåslag og sikkerhetsfaktor 1,2) i Haukåsvatnet og nedstraums dammen ved Haukåsvatnet er vist i Tabell 3-4.

Etter at flaumvasstanden er utrekna er det gjort ulike køyringar der det er tatt utgangspunkt i alternativa M1, M2 og M3. Dei tre alternativa er like for Haukåsvatnet, mens i alternativ M4 ligg kryssinga lengre nord (sjå Figur 3-1 og Figur 3-3). Målet med dei ulike køyringane har vore å bestemme den minste lysopninga som brua som skal kryssa Haukåsvatnet må ha, det vil sei kor mykje ein kan fylle ut i vatnet før den auka vasstanden gir konsekvensar som rårar areala rundt. Det som først blir råka, er vegen som ligg nedstraums dammen ved utlaupet til Haukåsvatnet. Lågaste punkt på vegen ligg på ca. kote 21,3.

Utrekningane viser at med ei breidde på brua over Haukåsvatnet på 20 meter vil det ikkje bli ei auke i vasstanden for alternativ M1, M2 eller M3 (sjå Tabell 3-5).

Tabell 3-4 200-års flaumvasstand (dagens terreng / ingen fylling)

Tverrprofil	Vasstand (moh.)
1195	28,31
1132 – 215	22,74
28	22,68
14	20,91
3	20,52

Tabell 3-5 200-års flaumvasstand (etter fylling er bygd).

Tverrprofil	Vasstand (moh.) Alternativ M2 og M3	Vasstand (moh.) Alternativ M4
1195	28,31	28,31
1132 – 215	22,74	22,74
28	22,68	22,68
14	20,91	20,91
3	20,52	20,52

3.2.3 Hjelmåsvatnet

3.2.3.1 Tverrsnittdata

Det er nytta 22 tverrsnitt i denne modellen. I Figur 3-4 er plasseringa av dei ulike tverrsnitta vist.

Det er ikkje gjort nokre tilpassingar av tverrsnitta i denne modellen då dei fleste tverrsnitta er tatt frå skanning av botn i vatnet. Det tronge tverrsnittet ved utlaupet til vatnet er i stor grad bestemmande for vasstanden og det gir derfor ingen utslag om ein senkar dei få tverrsnitta som ikkje er tatt frå skanna botn.

3.2.3.2 Grensesetnader

Øvre og nedre grensesetnaden som er nytta er hellinga på energilinja (S). Energilinja er vasstanden addert med hastigheitsenergien. Det er antatt at hellinga på energilinja er forholdsvis lik hellinga på vassflata, og denne hellinga er derfor målt opp på DTM ved øvste og nedste tverrsnitt i modellen. I og med at høgdeforskjellen i vasstand er forholdsvis liten i forhold til avstanden mellom desse punkta, er det antatt at hellinga på energilinja er lik hellinga på vasstanden. Vassføring ved 200-årsflaum med klimapåslag og sikkerheitsfaktor (dimensjonerande flaum) er lagt inn i det øvste tverrsnittet. Nedre grensesetnad er lagt i det trongaste partiet ved utløpet til Hjelmåsvatnet. Dette tverrsnittet vil vere bestemmende for vasstanden i vatnet.

For alternativ M1, M2 og M3 vert 0.04 km² av arealet til Hjelmåsvatnet erstatta av vegfylling. Samstundes vert feltarealet 0.2 km² mindre. Det gir små utslag i utrekna flaumverdi. Det er valt å nytte flaumverdi frå kapittel 2 for alle alternativ ved Hjelmåsvatnet.

Tabell 3-6 Grensesetnader.

Tverrprofil	Dimensjonerande flaum Q ₂₀₀ + 40 % klimafaktor og 20 % sikkerheitsfaktor (m ³ /s)	S
1657	15.05	0,08
12		0,015

3.2.3.3 Resultat

Utrekna 200-års flaumvasstand i Hjelmåsvatnet (inkludert 40 prosent klimapåslag og sikkerheitsfaktor 1,2) er vist i Tabell 3-7.

Etter at flaumvasstanden er utrekna, er det gjort køyringar av hydraulisk modell med utgangspunkt i alternativa M1, M2 og M3. Dei to alternativ er like for Hjelmåsvatnet (Figur 3-3). Målet med køyringane har vore å bestemme kor mykje vegfyllinga bidreg til å auka flaumvasstanden i Hjelmåsvatnet.

For alternativ M1, M2 og M3 viser utrekningane at med vegfyllinga i sørenden av Hjelmåsvatnet vil vasstanden i vatnet stige med om lag 6-7 cm (sjå Tabell 3-8).

Tabell 3-7 200-års flaumvasstand (dagens terreng / ingen fylling)

Tverrprofil	Vasstand (moh.)
1657	15,53
1596 - 272	14,82
97	14,79
12	14,49

Tabell 3-8 200-års flaumvasstand (etter fylling er bygd).

Tverrprofil	Vasstand (moh.). Alternativ M2 og M3
1657	15,53
1596 - 409	14,89
360	14,88
272	14,86
127	14,79
12	14,49

3.2.4 Nedgardselva N og Liavatnet

I alternativ M4 skal vegen krysse Liavatnet. Det ser ut til at vatnet ikkje skal snevrast inn, og det er forutsett at brua vert lagt såpass høgt at den ikkje vert påverka av flaumvatnet.

I alternativ M3 skal vegen krysse over Nedgardselva. Det er derfor undersøkt kva slags dimensjonar ein eventuell kulvert må ha for å ta unna ein 200-årsflaum i Nedgardselva inkludert eit klimapåslag på 40 prosent og sikkerhetsfaktor 1,2. Kulverten over Nedgardselva må ha kapasitet til å ta unna 73,2 m³/s.

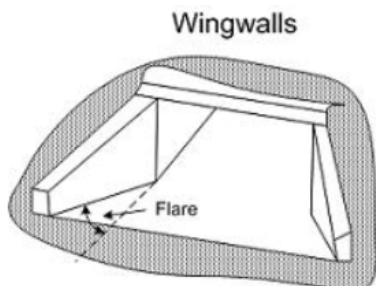
3.2.4.1 Metode for utrekning av kulvertdimensjon

For å rekne ut kulvertdimensjonen som krevst for å ta unna flaumvassføringa i Nedgardselva, er det forutsett at kulverten vert etablert med minimum fall på 0,4 – 0,6 prosent, slik et ein får ein innlaupskontrollert kulvert. Dette bør ikkje vere noko problem i Nedgardselva, etter som den ser ut til å ha greitt fall. Kulvertdimensjonen vert bestemt ved å nytta nomogram for rektangulær kulvert av betong med innlaupskontroll.

Ved dimensjonering av kulvert må ein ta omsyn til gjentetting gjennom kulvert. I [5] er det oppgitt at ein skal anta gjentetting i 1/3 av innlaupets høgde. Dette kravet tar omsyn til retningslinjer for vedlikehald. Ved dimensjonering ut frå nomogram sett ein vasstanden ved innlaupet lik 0,7 x D, kor D er høgda på kulverten (HW/D = 0,7). Dette gir ein lysopning større enn det HW/D=1 vil gi, og tek omsyn til den forventa reduserte kapasiteten til kulverten. Verdiane for minimum diameter er lest ut frå nomogram (Chart 8A for rektangulærkulvert) frå rapporten *Hydraulic design of highway culverts* [6].

I nomogrammet for rektangulær kulvert må det veljast vinkel på sidevegg i høve til retninga på vasstraumen [8]. For kryssinga over Nedgardselva er det rekna to alternativ:

1. 0° vinkel på sideveggane (Figur 3-6).
2. 30° til 75° vinkel på sideveggane



Figur 3-6: Innlaupstypen med 0° vinkel på sideveggar for rektangulærkulvert [6].

3.2.4.2 Resultat kulvertdimensjon

Det er fokusert på å ikkje redusere breidda på dagens elvelaup. Dette fører til at kulverten må vere ca. 10 meter brei. Kulverten skal kunne ta unna ein flaum på 73,2 m³/s (1,2 x 1,4 x Q₂₀₀) når kulverten er gjentetta med 1/3 av innlaupets høgde. Med 0° vinkel på sideveggane må kulverten ha høgde 4-4,5 meter. Med god utforming av innlaupet (30° til 75° vinkel) kan ein redusere høgda til 3,5-4 meter. Viss kulverten skal vere smalare må høgda aukast. Kulverten har lysopning > 2,5 meter og er å rekne for ei bru, i samsvar med definisjon i [5].

4 Referansar

1. NVE (2011). *Flaum- og skredfare i arealplanar*. Rapport 2-2011.
2. Direktoratet for byggkvalitet (2017). *Byggteknisk forskrift. Kapittel 7 Sikkerhet mot naturpåkjenninger*. <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/7/7-2/>
3. NVE (2011). *Retningslinjer for flomberegninger*. Rapport 4-2011.
4. NVE (2015). *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt*. Rapport 7-2015.
5. Statens vegvesen (2014, 2018). *Håndbok N200*. http://www.vegvesen.no/attachment/188382/binary/980128?fast_title=H%C3%A5ndbok+N200+Vegbygging+%2821+MB%29.pdf
6. Federal Highway Administration 2012. *Hydraulic Design of Highway Culverts*.
7. NVE (2016). *Klimaendringer og framtidige flommer i Norge*. Rapport 81-2016.
8. Norsk Klimaservicesenter (2016, 2017). *Klimaprofil Hordaland. Eit kunnskapsgrunnlag for klimatilpassing*.
9. NVE (2010). *Vassdragshåndboka*.
10. US Army Corps of Engineers (2010). *HEC-RAS. River analysis System. Hydraulic Reference Manual*. Version 4.1 Januar 2010.

5 Vedlegg

5.1 Lavvannskart

5.2 Flaumfrekvenskurver

5.3 Nomogram til utrekning av kulvertkapasitet

5.4 Tverrsnitt nytta i dei hydrauliske modellane

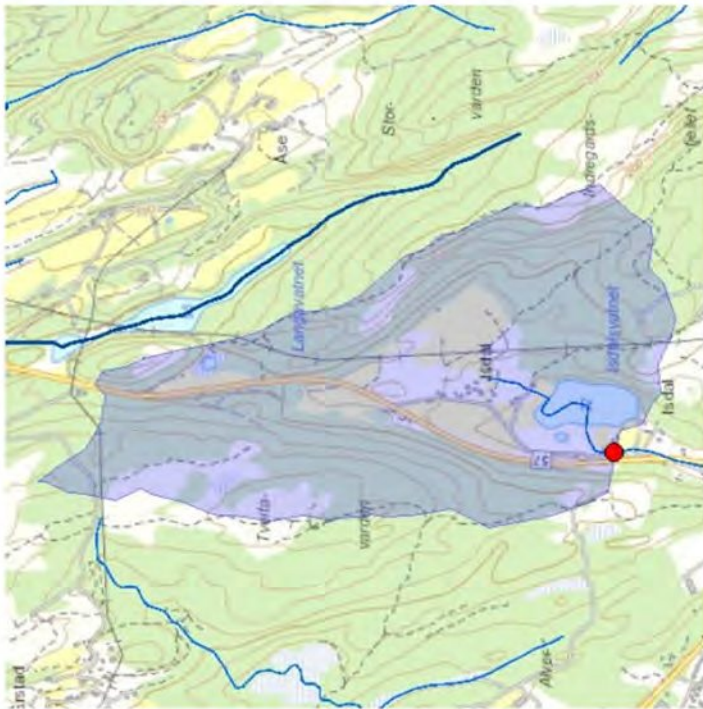
5.1 Lavvannskart

Kryssing v/ Isdalsvatnet

Lavvannskart	
Vassdragsnr.:	065.10
Kommune:	Lundås
Fylke:	Hordaland
Vassdrag:	KYSTFELT
Vannføringsindeks, se merknader	
Middelvannføring (61-90)	70,0 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	7,3 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	7,4 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	5,2 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	13,7 l/(s*km ²)
Base flow	25,2 l/(s*km ²)
BFI	0,4
Klima	
Klimaregion	Vest
Årsnedbør	2172 mm
Sommernedbør	816 mm
Vinternedbør	1356 mm
Årstemperatur	6,6 °C
Sommertemperatur	11,2 °C
Vintertemperatur	3,2 °C
Temperatur Juli	12,8 °C
Temperatur August	13,0 °C
Feltparametere	
Areal (A)	1,6 km ²
Effektiv sjo (S _{eff})	2,7 %
Elvelengde (E _L)	0,7 km
Elvegradient (E _G)	31,7 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	19,1 m/km
Feltlengde (F _L)	2,0 km
H _{min}	32 moh.
H ₁₀	48 moh.
H ₂₀	69 moh.
H ₃₀	82 moh.
H ₄₀	97 moh.
H ₅₀	110 moh.
H ₆₀	124 moh.
H ₇₀	143 moh.
H ₈₀	163 moh.
H ₉₀	176 moh.
H _{max}	227 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	11,4 %
Myr	0,6 %
Sjø	3,1 %
Skog	60,5 %
Snaufjell	1,2 %
Urban	0,0 %

1) Verdien er ekkert

Det er generelt stor usikkerhet i beregninger av lavvannsindeks. Resultatene bør verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner. I nedbørfelt med høy breprosent eller stor innsjøprosent vil tørrværsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.



Kartbakgrunn: Statens Kartverk
 Kartdatum: EUREF89 WGS84
 Prosjeksjon: UTM 33N



Nedbørfeltgrenser, feltparametere og vannføringsindeks er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Kryssing v/ Langvatnet

Lavvannskart

Vassdragsnr.: 065.21Z
 Kommune: Lindås
 Fylke: Hordaland
 Vassdrag: Fiksetelva

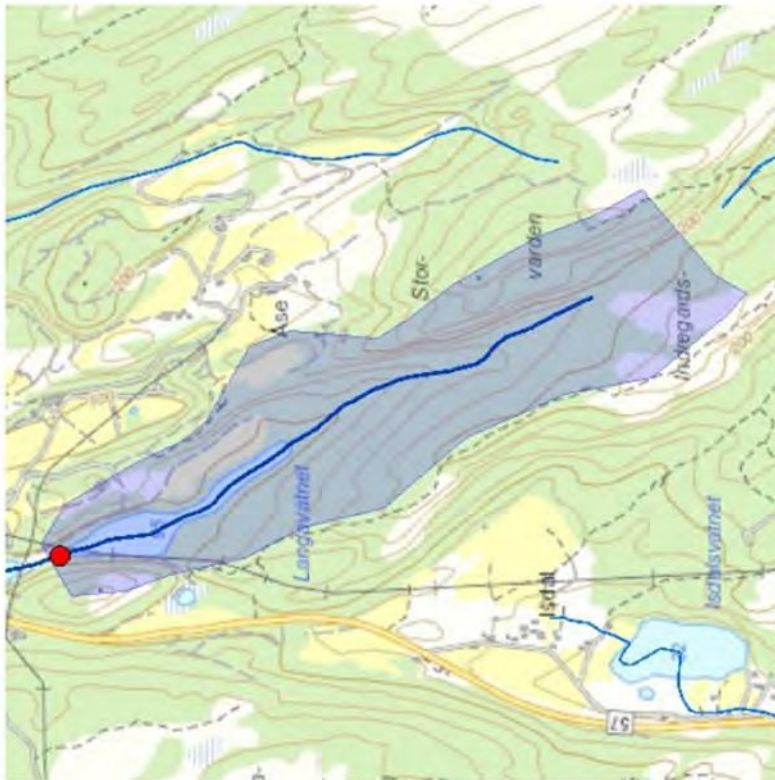
Vannføringsindeks, se merknader

Middelevannføring (61-90)	74,4 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	7,2 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	7,3 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	5,5 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	13,3 l/(s*km ²)
Base flow	22,3 l/(s*km ²)
BFI	0,3

Klima	
Klinaregion	Vest
Årsnedbør	2184 mm
Sommernedbør	820 mm
Vinternedbør	1364 mm
Årstemperatur	6,4 °C
Sommertemperatur	11,1 °C
Vintertemperatur	3,1 °C
Temperatur Juli	12,6 °C
Temperatur August	12,8 °C

Felparametere	
Areal (A)	0,8 km ²
Effektivt sjø (S _{eff})	5,3 %
Elvelengde (E _L)	1,6 km
Elvegradient (E _G)	54,3 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	61,3 m/km
Felllengde(F _L)	2,0 km
H _{min}	95 moh.
H ₁₀	98 moh.
H ₂₀	110 moh.
H ₃₀	125 moh.
H ₄₀	144 moh.
H ₅₀	160 moh.
H ₆₀	179 moh.
H ₇₀	193 moh.
H ₈₀	210 moh.
H ₉₀	237 moh.
H _{max}	288 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	4,7 %
Myr	0,0 %
Sjø	5,0 %
Skog	80,2 %
Snaufell	7,4 %
Urban	0,0 %

1) Verdien er edlert



Norges vassdrags- og energidirektorat



Kartbakgrunn: Statens Kartverk
 Kartdatum: EUREF89 WGS84
 Prosjeksjon: UTM 33N

Nedbørfeltgrenser, feltparametere og vannføringsindekser er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Det er generelt stor usikkerhet i beregninger av lavvannsindeksler. Resultatene bør verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner. I nedbørfelt med høy breprosent eller stor innsjøprosent vil tørrværsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.

Kryssing v/ Haukåsvatnet

Lavvannskart

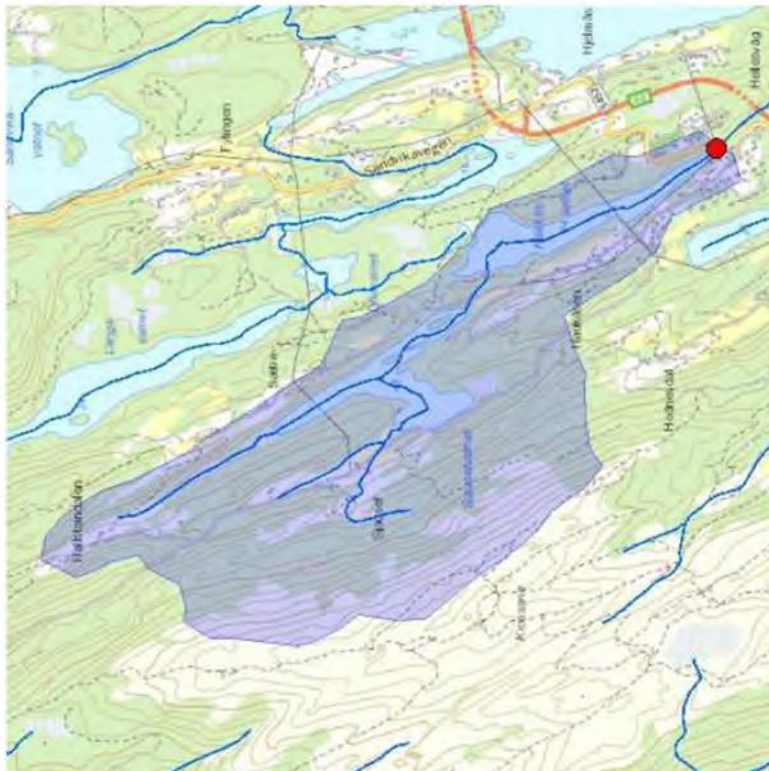
Vassdragsnr.: 064.72
 Kommune: Lindås
 Fylke: Hordaland
 Vassdrag: KYSTIFELT

Feltparametere	
Areal (A)	2.9 km ²
Effektiv sjo (S _{eff})	9.3 %
Elvelengde (E _L)	3.3 km
Elvegradient (E _G)	15.1 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	11.6 m/km
Feltlengde(F _L)	3.6 km
H _{min}	23 moh.
H ₁₀	43 moh.
H ₂₀	48 moh.
H ₃₀	59 moh.
H ₄₀	77 moh.
H ₅₀	94 moh.
H ₆₀	112 moh.
H ₇₀	152 moh.
H ₈₀	210 moh.
H ₉₀	291 moh.
H _{max}	384 moh.
Bre	0.0 %
Dyrket mark	2.0 %
Myr	0.7 %
Sjo	9.9 %
Skog	63.8 %
Snaufjell	13.3 %
Urban	0.0 %

Vannføringsindeks, se merknader	
Middelvannføring (61-90)	79,9 l/(s*km ²)
Almunnelig lavvannføring	7,6 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	7,6 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	4,9 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	15,8 l/(s*km ²)
Base flow	27,2 l/(s*km ²)
BFI	0,3

Klima	
Klimaregion	Vest
Årsnedbør	2204 mm
Sommernedbør	826 mm
Vinternedbør	1377 mm
Årstemperatur	7,1 °C
Sommertemperatur	12,0 °C
Vintertemperatur	3,6 °C
Temperatur Juli	13,6 °C
Temperatur August	13,7 °C

1) Verdien er edlert



Norges
vassdrags- og
energidirektorat



Kartbakgrunn: Statens Kartverk
 Kartdatum: EUREF89 WGS84
 Prosjeksjon: UTM 33N

Nedbørfeltgrenser, feltparametere og vannføringsindekser er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Det er generelt stor usikkerhet i beregninger av lavvannsindeks. Resultatene bør verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner.

I nedbørfelt med høy breprosent eller stor innsjøprosent vil tørrværsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.

Kryssing v/ Hjelmasvatnet

Lavvannskart

Vassdragsnr.: 064.72
 Kommune: Lindås
 Fylke: Hordaland
 Vassdrag: KYSTFELT

Vannføringsindeks, se merknader

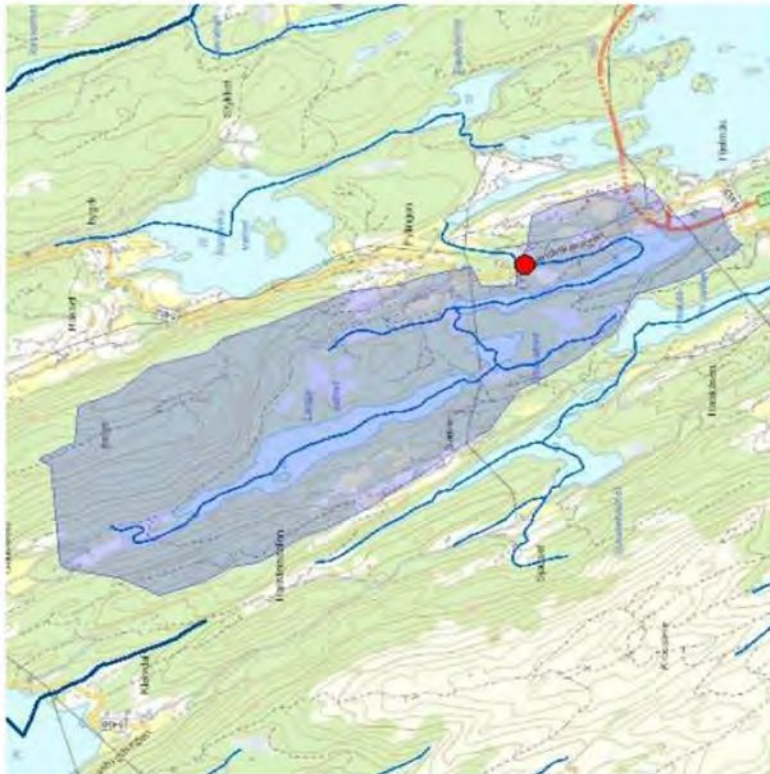
Middelvannføring (61-90)	73,1 l/(s*km ²)
Almunnelig lavvannføring	7,5 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	7,6 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	4,7 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	15,0 l/(s*km ²)
Base flow	29,3 l/(s*km ²)
BFI	0,4

Klima

Klimaregion	Vest
Årsnedbør	2193 mm
Sommernedbør	826 mm
Vinternedbør	1368 mm
Årstemperatur	7,0 °C
Sommertemperatur	11,9 °C
Vintertemperatur	3,5 °C
Temperatur Juli	13,6 °C
Temperatur August	13,7 °C

Feltparametere	
Areal (A)	3,2 km ²
Effektiv sjo (S _{eff})	8,3 %
Elvelengde (E _L)	4,6 km
Elvegradient (E _G)	4,8 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	2,3 m/km
Feltlengde(F _L)	2,9 km
H _{min}	16 moh.
H ₁₀	21 moh.
H ₂₀	24 moh.
H ₃₀	31 moh.
H ₄₀	39 moh.
H ₅₀	49 moh.
H ₆₀	61 moh.
H ₇₀	83 moh.
H ₈₀	126 moh.
H ₉₀	174 moh.
H _{max}	275 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	3,5 %
Myr	4,0 %
Sjo	12,0 %
Skog	76,2 %
Snaufjell	0,0 %
Urban	0,0 %

1) Verdien er editert



Norges
 vassdrags- og
 energidirektorat



Kartbakgrunn: Statens Kartverk
 Kartdatum: EUREF89 WGS84
 Prosjeksjon: UTM 33N

Nedbørfeltgrenser, feltparametere og vannføringsindekser er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Det er generelt stor usikkerhet i beregninger av lavvannindekser. Resultatene bør verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner.

I nedbørfelt med høy breprosent eller stor innsjøprosent vil tørrværsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.

Kryssing v/ Stegafossen

Lavvannskart

Vassdragsnr.: 065.6
 Kommune: Lindås
 Fylke: Hordaland
 Vassdrag: KYSTFELT

Vannføringsindeks, se merknader

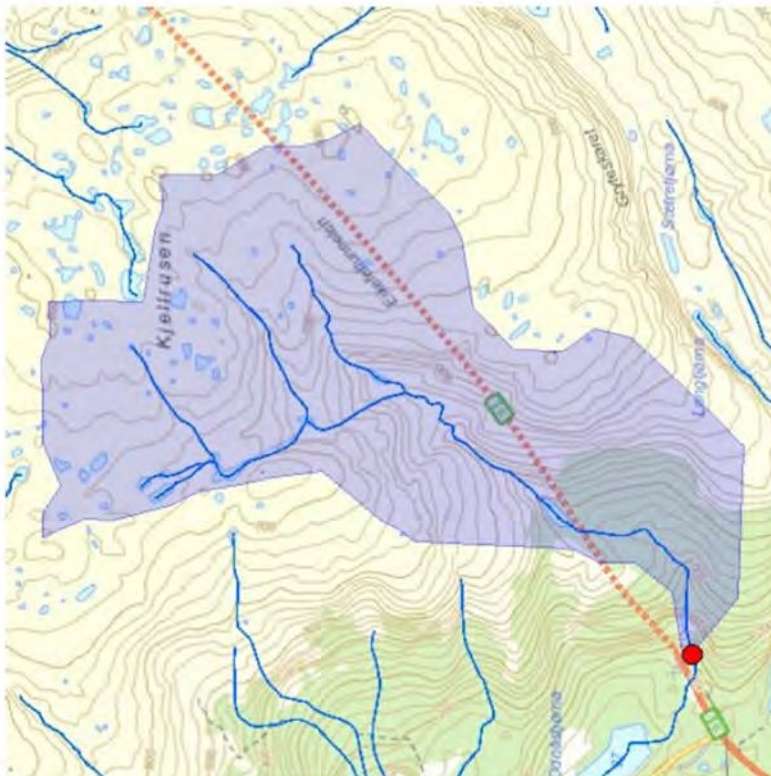
Middelvannføring (61-90)	148.1 l/(s*km ²)
Alminstelig lavvannføring	5.6 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	5.6 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	15.8 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	5.3 l/(s*km ²)
Base flow	57.7 l/(s*km ²)
BFI	0,4

Klima	
Klimaregion	Vest
Årsnedbør	2509 mm
Sommernedbør	903 mm
Vinternedbør	1606 mm
Årstemperatur	4,1 °C
Sommertemperatur	8,2 °C
Vintertemperatur	1,2 °C
Temperatur Juli	9,9 °C
Temperatur August	10,1 °C

Feltparametere	
Areal (A)	2,4 km ²
Effektiv sjø (S _{eff})	0,2 %
Elvelengde (E _L)	3,0 km
Elvegradient (E _G)	234,8 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	200,5 m/km
Feltlengde (F _L)	2,6 km
H _{min}	84 moh.
H ₁₀	416 moh.
H ₂₀	529 moh.
H ₃₀	593 moh.
H ₄₀	655 moh.
H ₅₀	693 moh.
H ₆₀	723 moh.
H ₇₀	745 moh.
H ₈₀	763 moh.
H ₉₀	781 moh.
H _{max}	807 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	0,0 %
Myr	0,0 %
Sjø	1,7 %
Skog	11,8 %
Snaufell	84,8 %
Urban	0,0 %

1) Verdien er edlert

Det er generelt stor usikkerhet i beregninger av lavvannsindekser. Resultatene bør verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner. I nedbørfelt med høy breprosent eller stor innsjøprosent vil tørrværsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.



Norges vassdrags- og energidirektorat



Kartbakgrunn: Statens Kartverk
 Kartdatum: EUREF89 WGS84
 Prosjeksjon: UTM 33N

Nedbørfeltgrenser, feltparametere og vannføringsindekser er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Kryssing v/ Nedgardselva og Liavatnet

Lavvannskart

Vassdragsnr.: 064.7A
 Kommune: Lindås
 Fylke: Hordaland
 Vassdrag: Eikangervassdraget

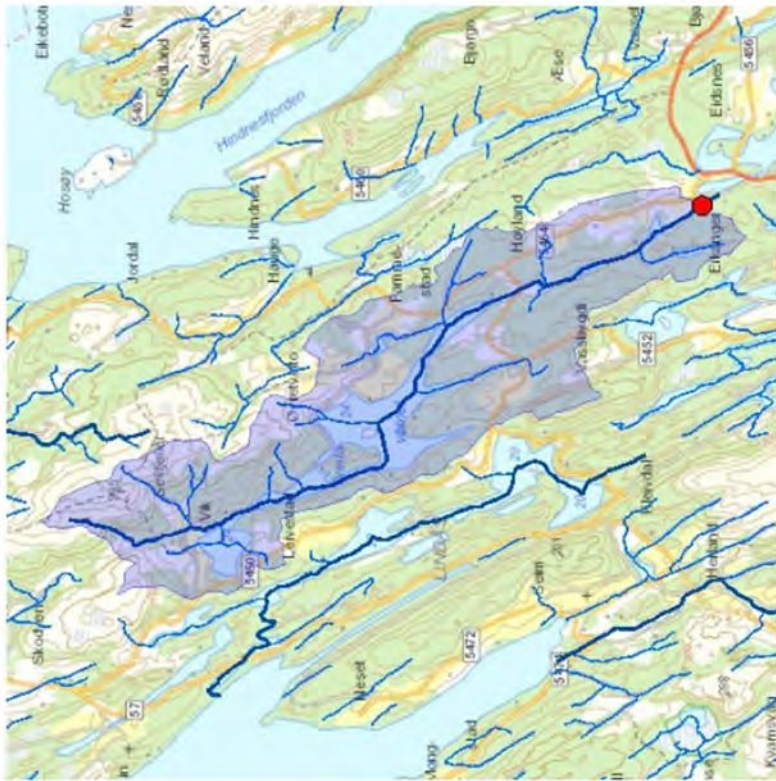
Feltparametere	
Areal (A)	22,0 km ²
Effektiv sjo (S _{eff})	8,9 %
Elvelengde (E _L)	12,3 km
Elvegradient (E _G)	22,7 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	3,6 m/km
Feltlengde(F _L)	11,1 km
H _{min}	12 moh.
H ₁₀	24 moh.
H ₂₀	34 moh.
H ₃₀	43 moh.
H ₄₀	53 moh.
H ₅₀	62 moh.
H ₆₀	76 moh.
H ₇₀	92 moh.
H ₈₀	120 moh.
H ₉₀	214 moh.
H _{max}	390 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	6,6 %
Myr	2,2 %
Sjo	11,9 %
Skog	58,3 %
Snaufell	6,1 %
Urban	0,0 %

Vannføringsindeks, se merknader	
Middelvannføring (61-90)	72,1 l/(s*km ²)
Alminnelig lavvannføring	7,4 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	7,5 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	5,1 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	14,2 l/(s*km ²)
Base flow	27,4 l/(s*km ²)
BFI	0,4

Klima	
Klimaregion	Vest
Årsnedbør	2162 mm
Sommernedbør	819 mm
Vinternedbør	1343 mm
Årstemperatur	6,8 °C
Sommertemperatur	11,5 °C
Vintertemperatur	3,4 °C
Temperatur Juli	13,2 °C
Temperatur August	13,3 °C

1) Verdien er edlert

Det er generelt stor usikkerhet i beregninger av lavvannindekser. Resultatene bør verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner. I nedbørfelt med høy breprosent eller stor innsjøprosent vil tørrværsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.



Kartbakgrunn: Statens Kartverk
 Kartdatum: EUREF89 WGS84
 Prosjeksjon: UTM 33N

Norges vassdrags- og energidirektorat



Nedbørfeltgrenser, feltparametere og vannføringsindekser er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

Kryssing v/ Kvernhusdalen

Lavvannskart

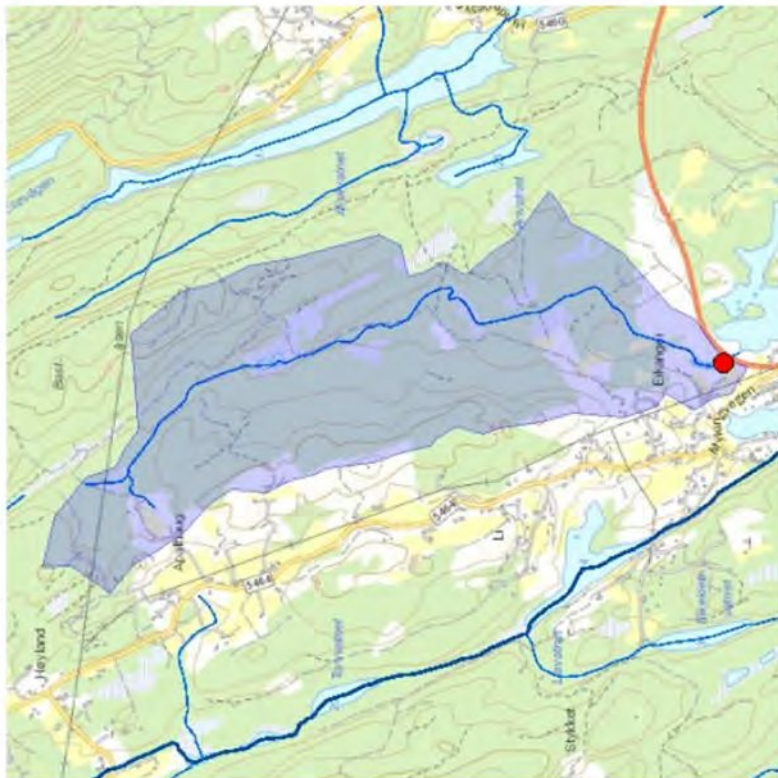
Vassdragsnr.: 064.71
 Kommune: Lindås
 Fylke: Hordaland
 Vassdrag: KYSTIFELT

Feltparametere	
Areal (A)	2,2 km ²
Effektiv sjo (S _{eff})	0,3 %
Elvelengde (E _L)	3,5 km
Elvegradient (E _G)	21,3 m/km
Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	17,0 m/km
Feltlengde (F _L)	3,0 km
H _{min}	1 moh.
H ₁₀	25 moh.
H ₂₀	33 moh.
H ₃₀	37 moh.
H ₄₀	42 moh.
H ₅₀	51 moh.
H ₆₀	61 moh.
H ₇₀	71 moh.
H ₈₀	80 moh.
H ₉₀	95 moh.
H _{max}	146 moh.
Bre	0,0 %
Dyrket mark	1,9 %
Myr	5,4 %
Sjø	0,4 %
Skog	81,7 %
Snaufjell	0,0 %
Urban	0,0 %

Vannføringsindeks, se merknader	
Middelvannføring (61-90)	72,0 l/(s*km ²)
Åmnnelig lavvannføring	7,5 l/(s*km ²)
5-persentil (hele året)	7,6 l/(s*km ²)
5-persentil (1/5-30/9)	4,7 l/(s*km ²)
5-persentil (1/10-30/4)	14,8 l/(s*km ²)
Base flow	24,5 l/(s*km ²)
BFI	0,3

Klima	
Klimaregion	Vest
Årsnedbør	2231 mm
Sommernedbør	840 mm
Vinternedbør	1391 mm
Årstemperatur	7,0 °C
Sommertemperatur	12,0 °C
Vintertemperatur	3,5 °C
Temperatur Juli	13,6 °C
Temperatur August	13,7 °C

1) Verdien er edlert



Norges vassdrags- og energidirektorat



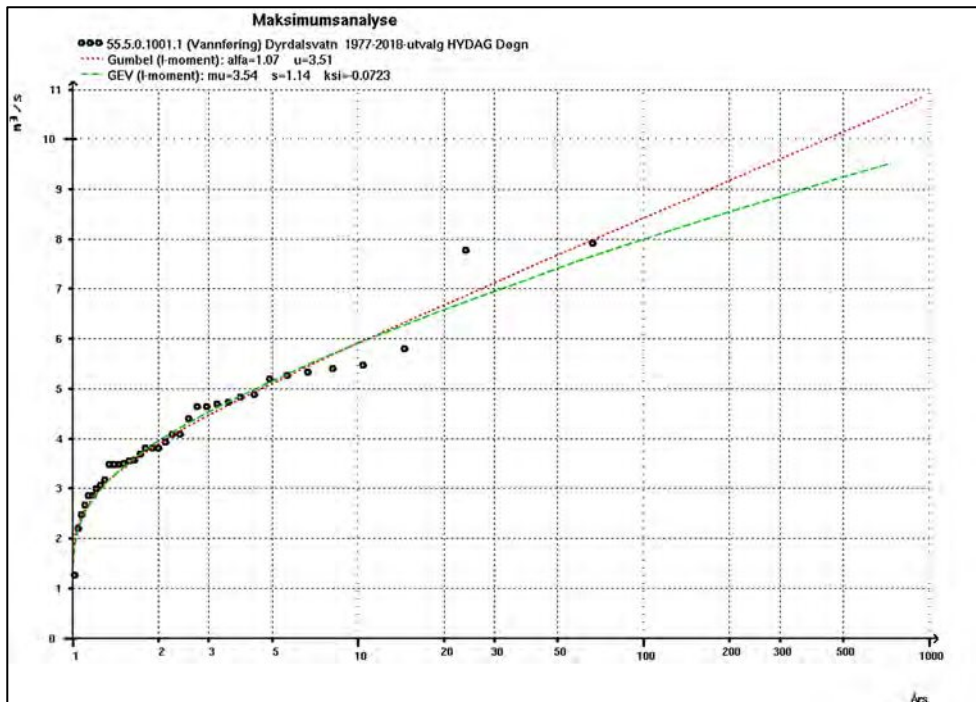
Kartbakgrunn: Statens Kartverk
 Kartdatum: EUREF89 WGS84
 Prosjeksjon: UTM 33N

Nedbørfeltgrenser, feltparametere og vannføringsindekser er automatisk generert og kan inneholde feil. Resultatene må kvalitetssikres.

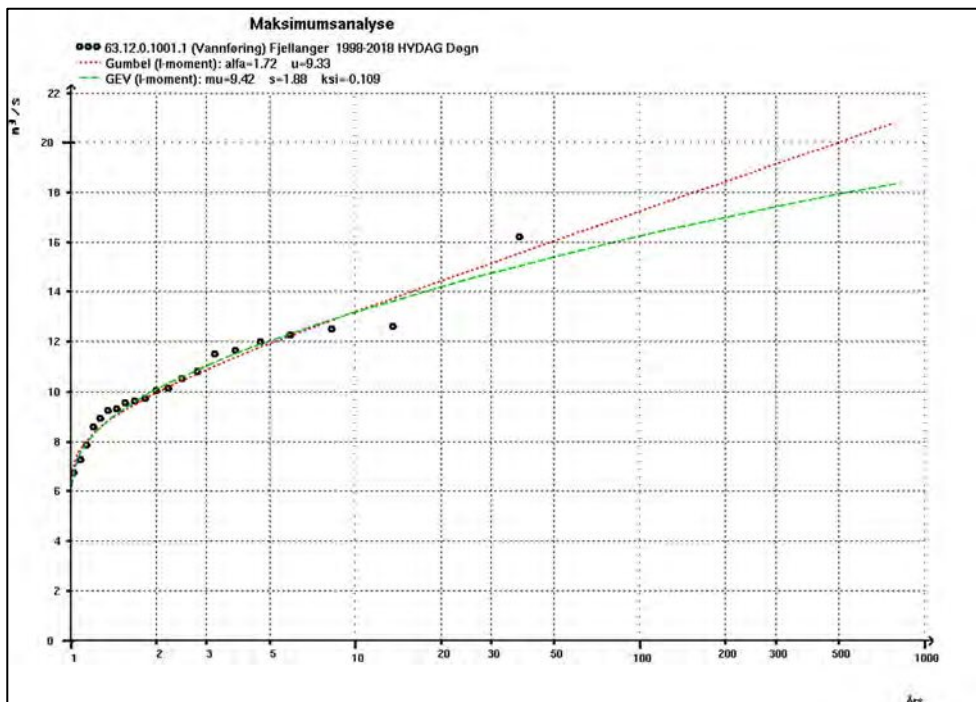
Det er generelt stor usikkerhet i beregninger av lavvannsindeks. Resultatene bør verifiseres mot egne observasjoner eller sammenlignbare målestasjoner. I nedbørfelt med høy breprosent eller stor innsjøprosent vil tørrværsavrenning (baseflow) ha store bidrag fra disse lagringsmagasinene.

5.2 Flaumfrekvenskurver

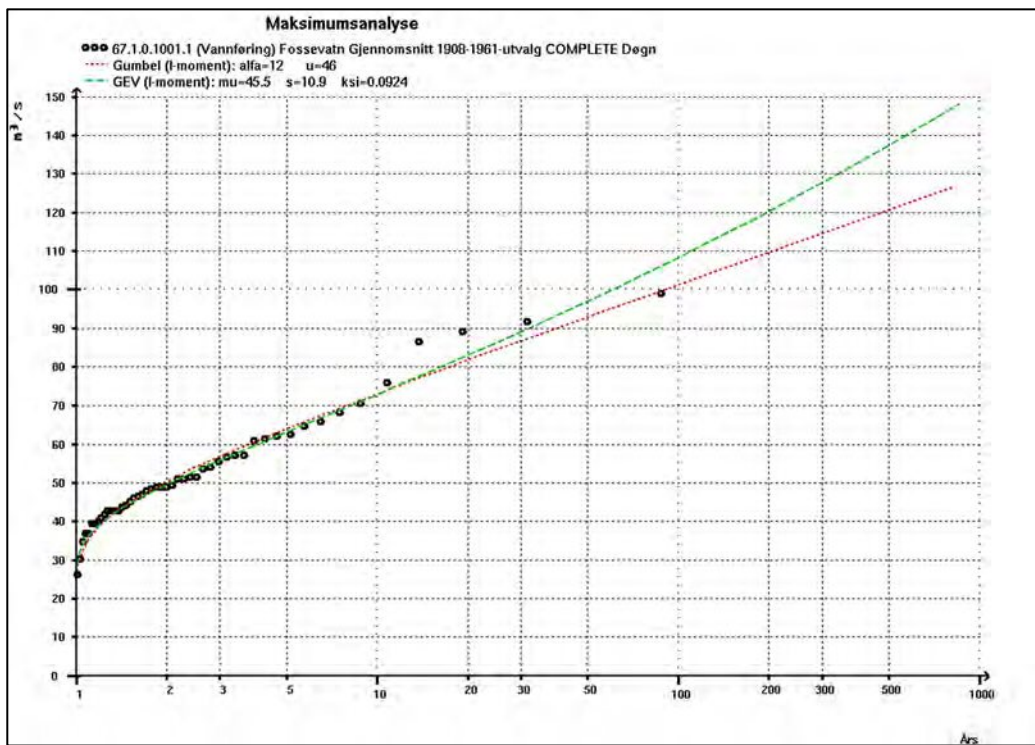
55.5 Dyrdalsvatn



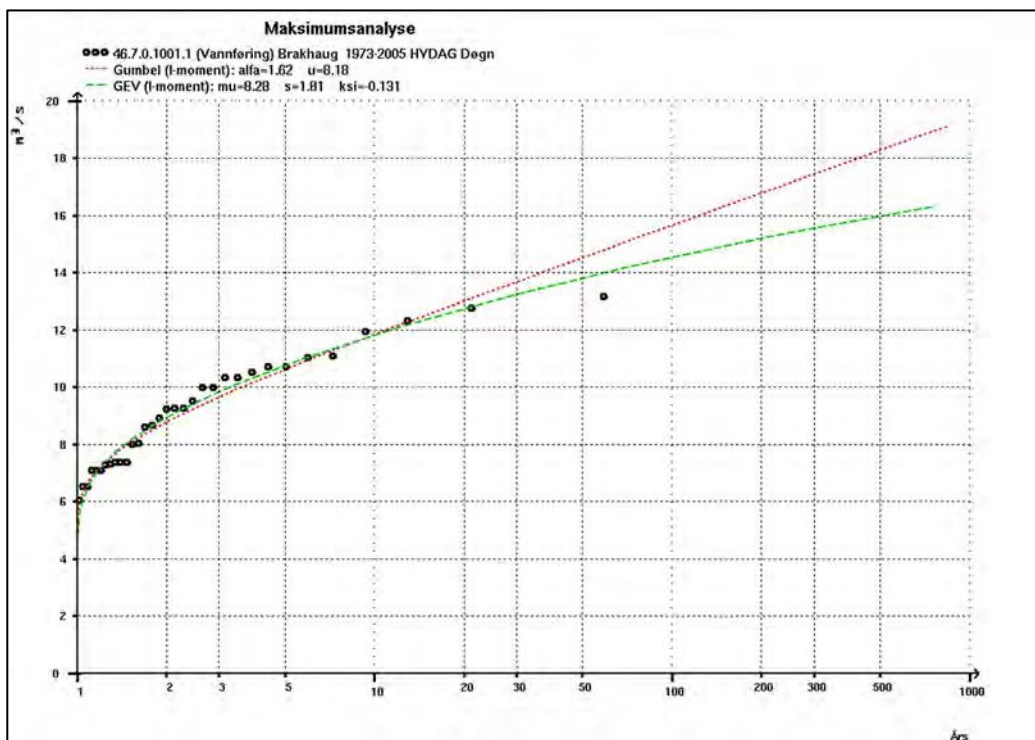
63.12 Fjellanger



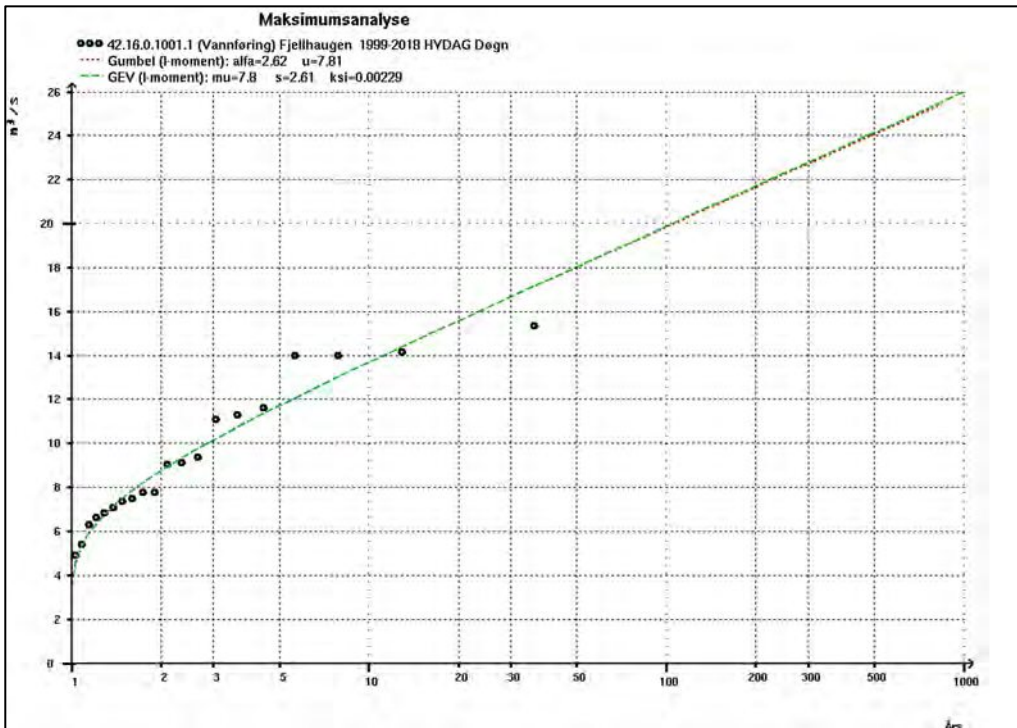
67.1 Fossetvatn



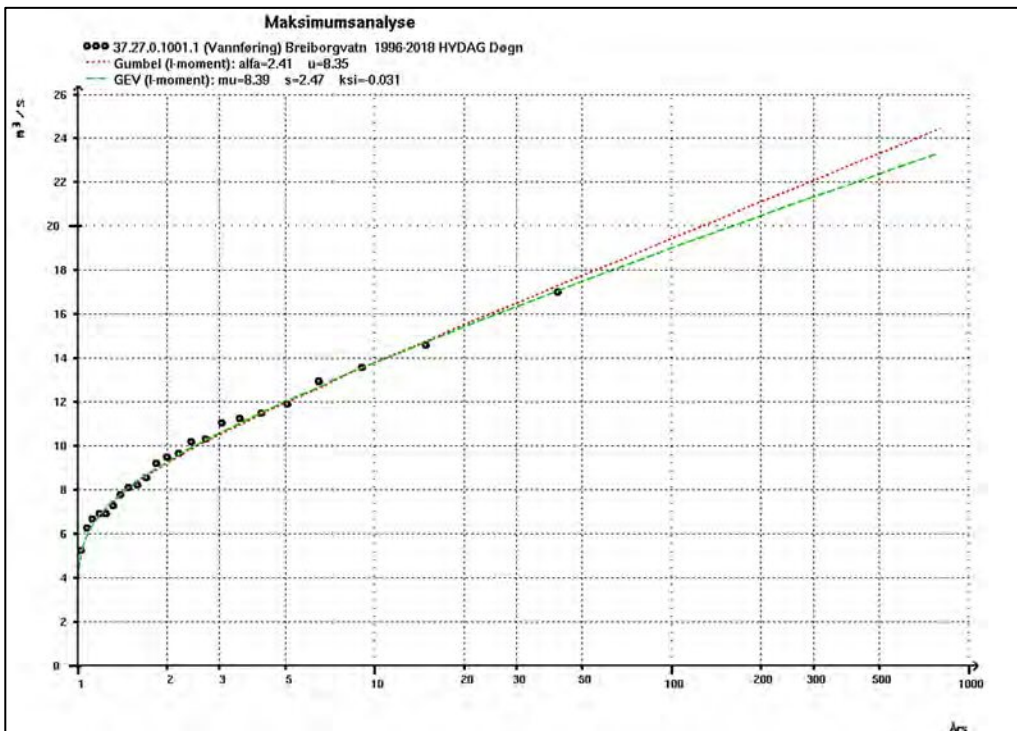
46.7 Brakhaug



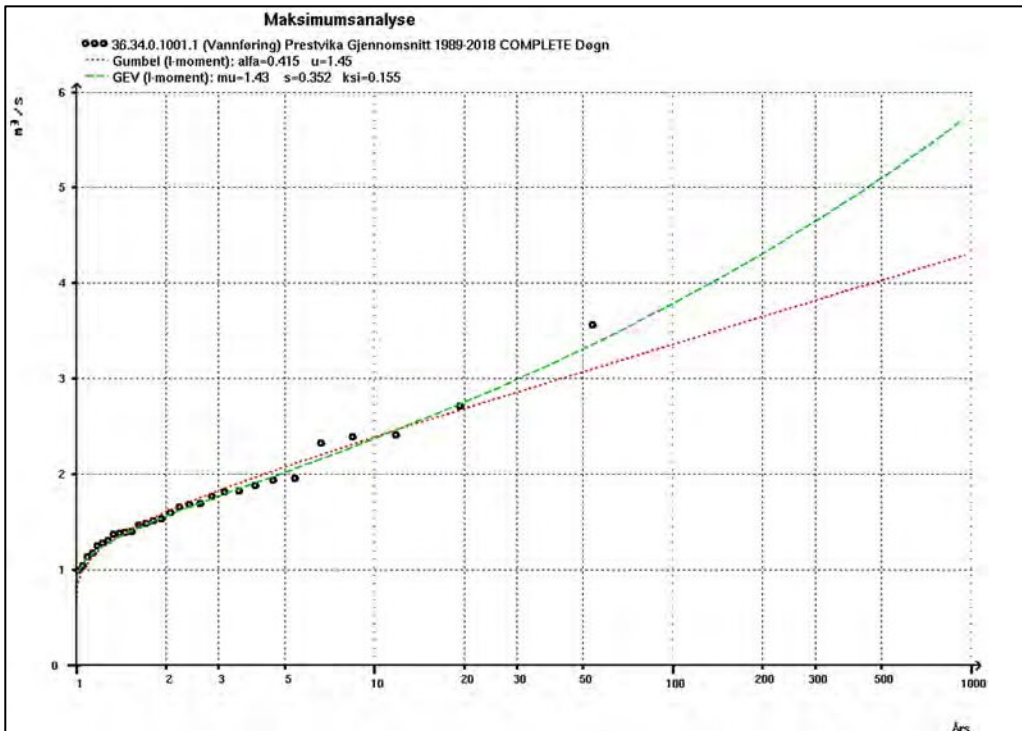
42.16 Fjellhaugen



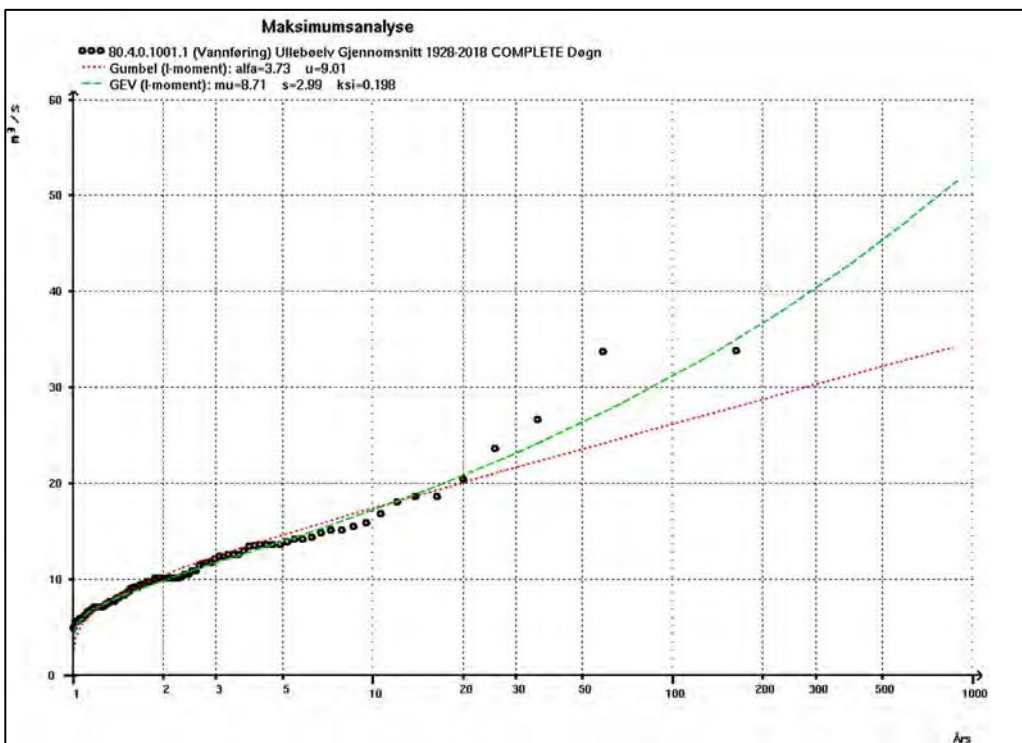
37.27 Breiborgvatn



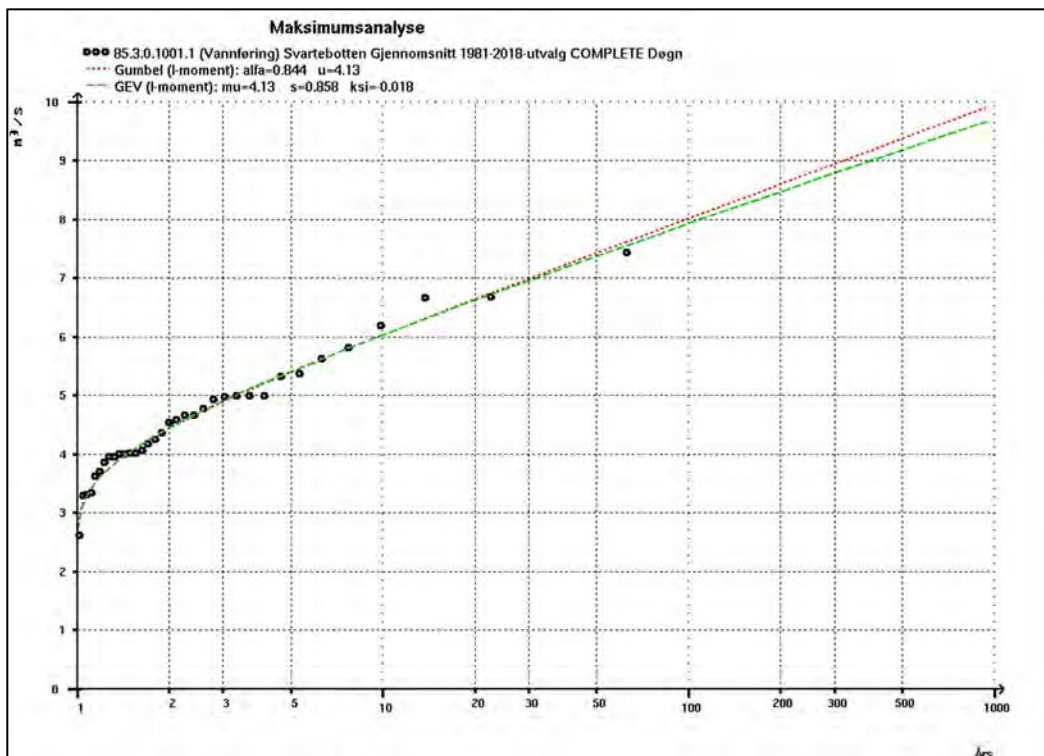
36.34 Prestvika



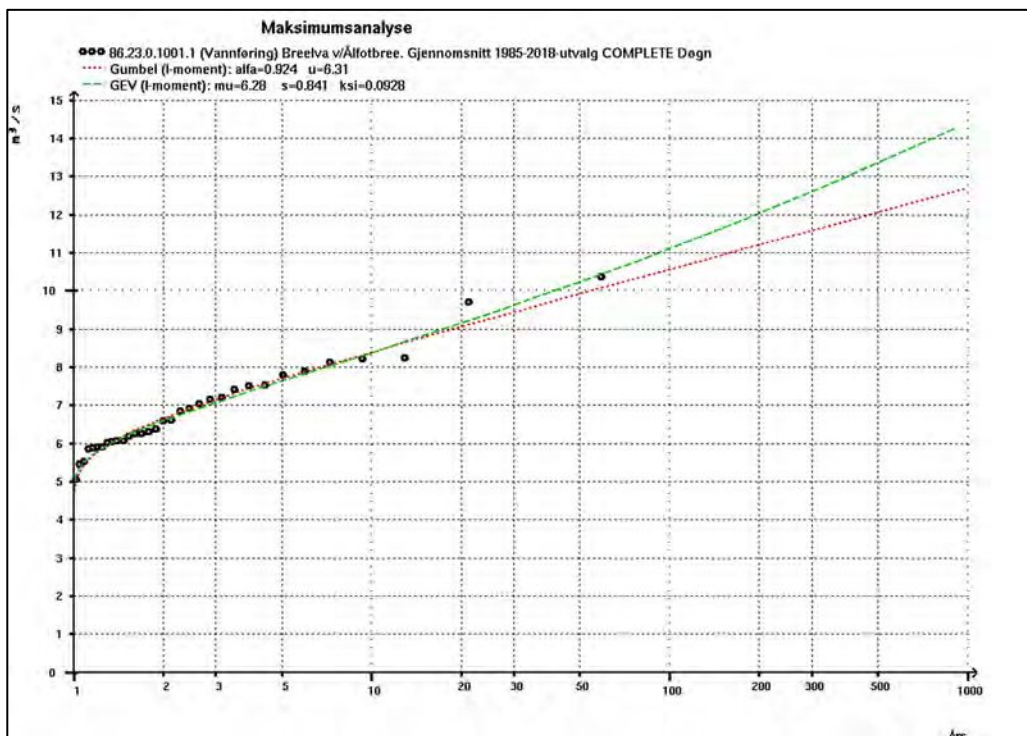
80.4 Ullebøelv



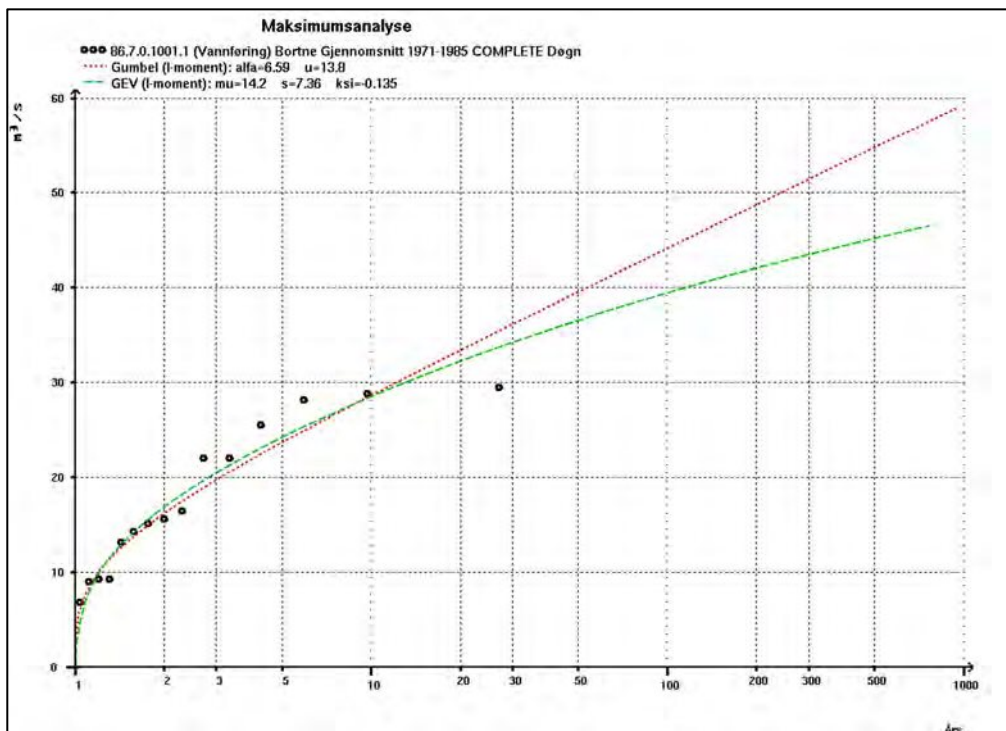
85.3 Svartebotten



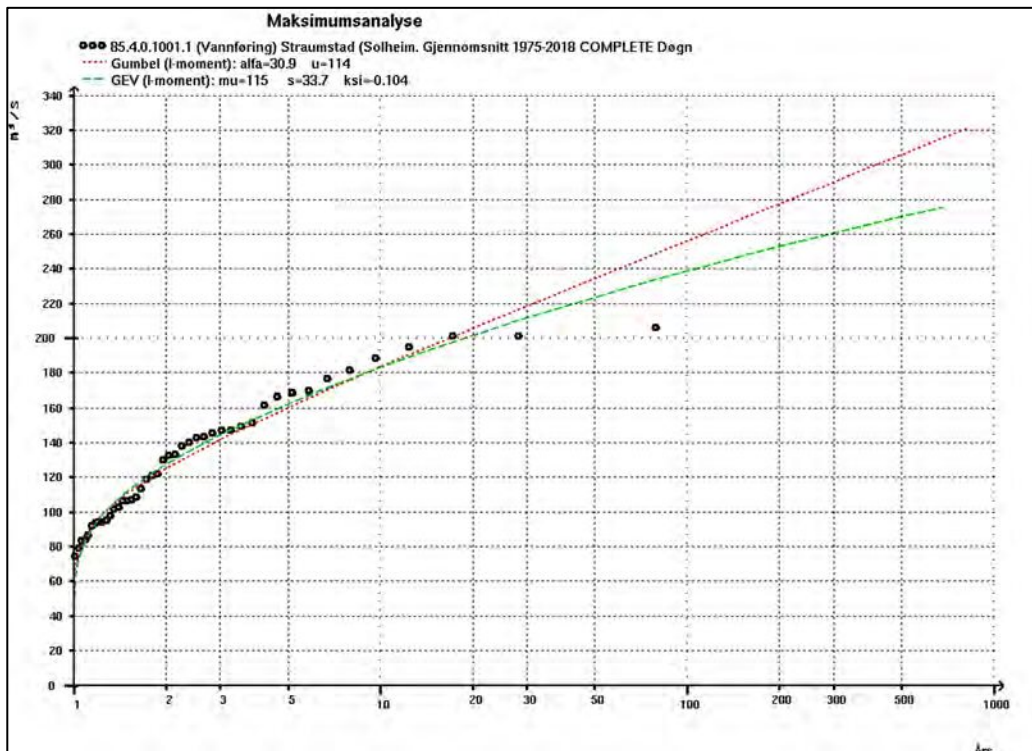
86.23 Breeiva v/ Ålfotbreen



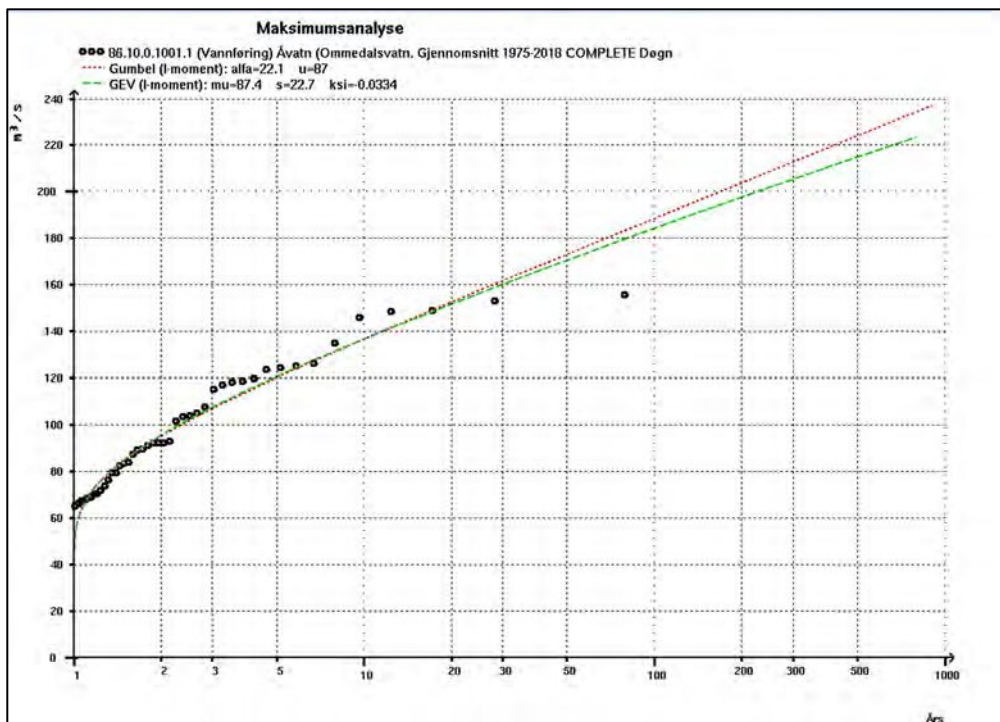
86.7 Bortne



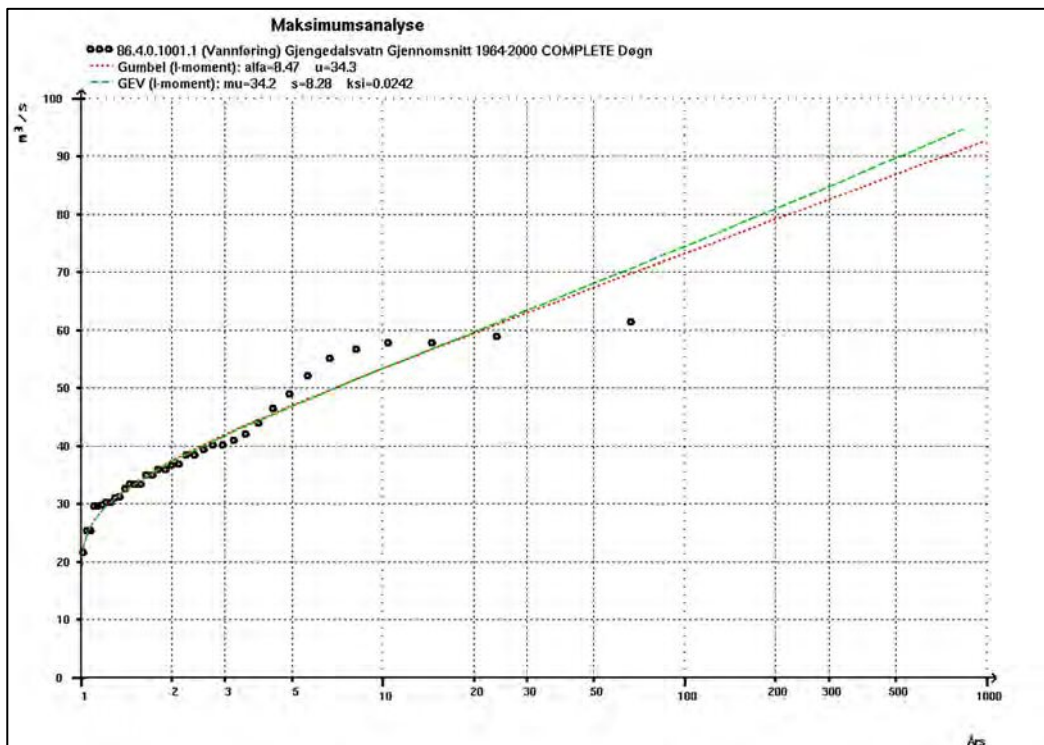
85.4 Straumstad



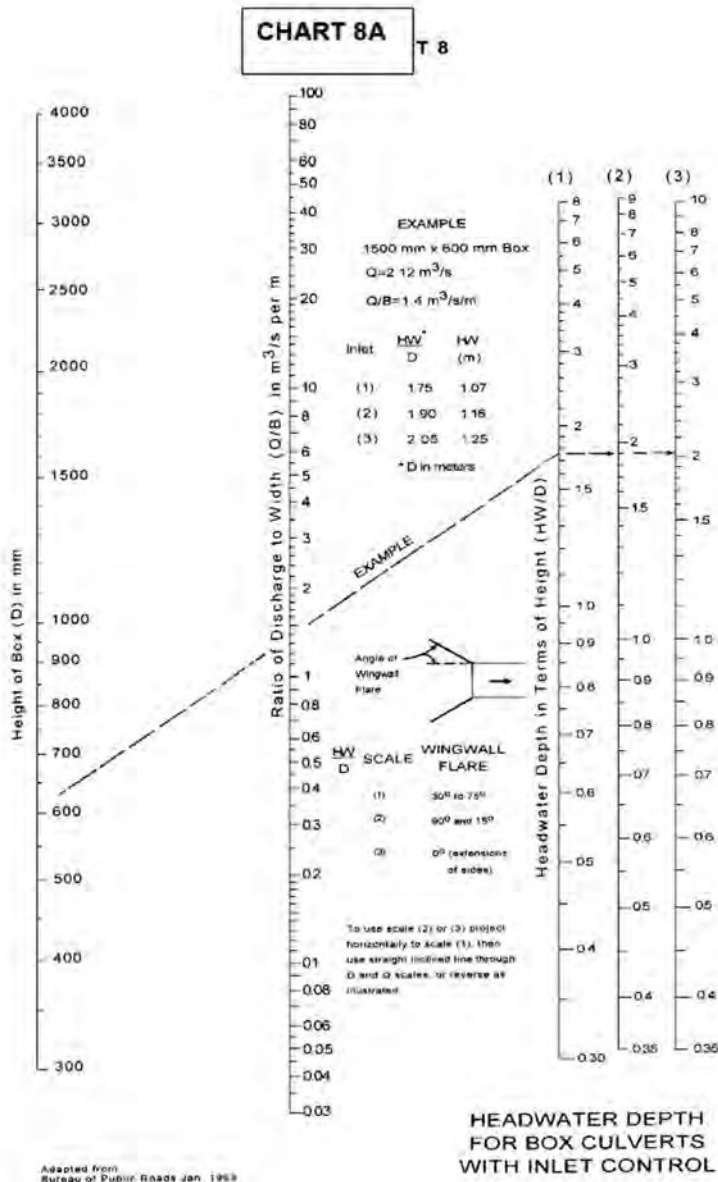
86.10 Åvatn



86.4 Gjengedalsvatn

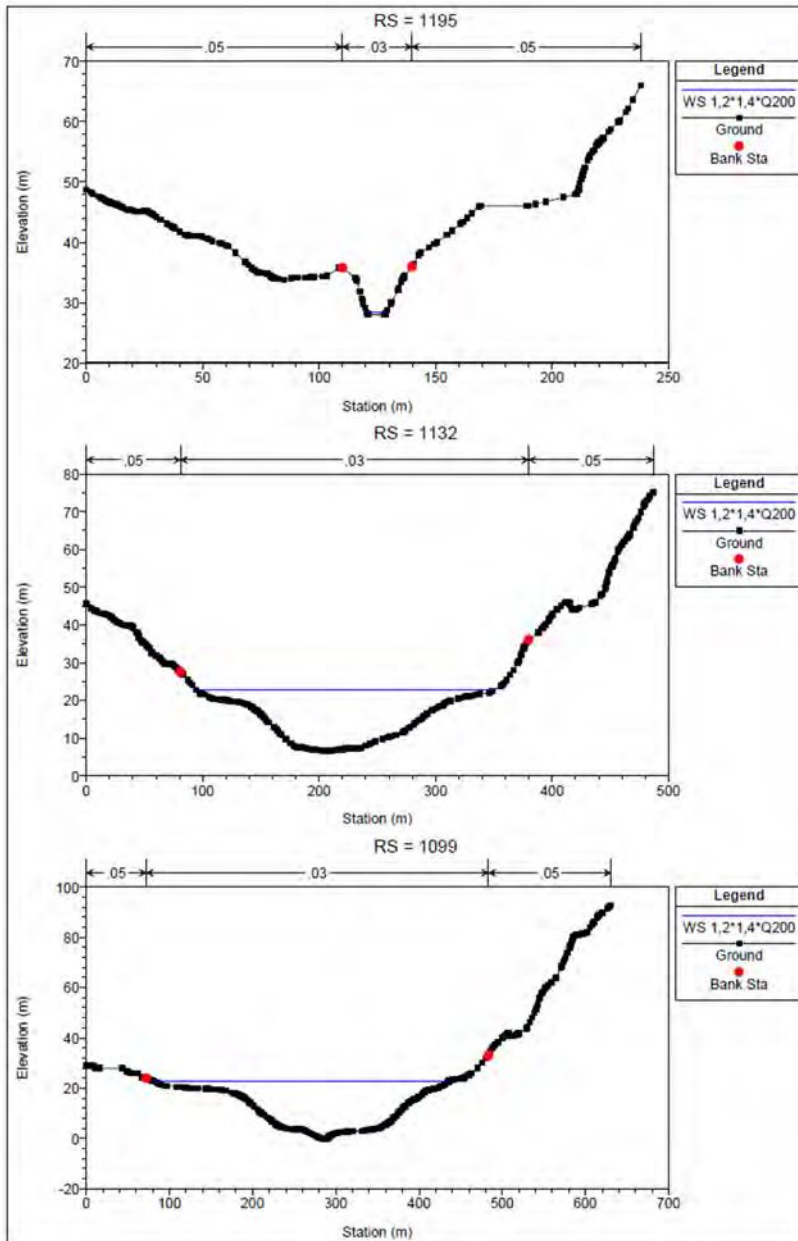


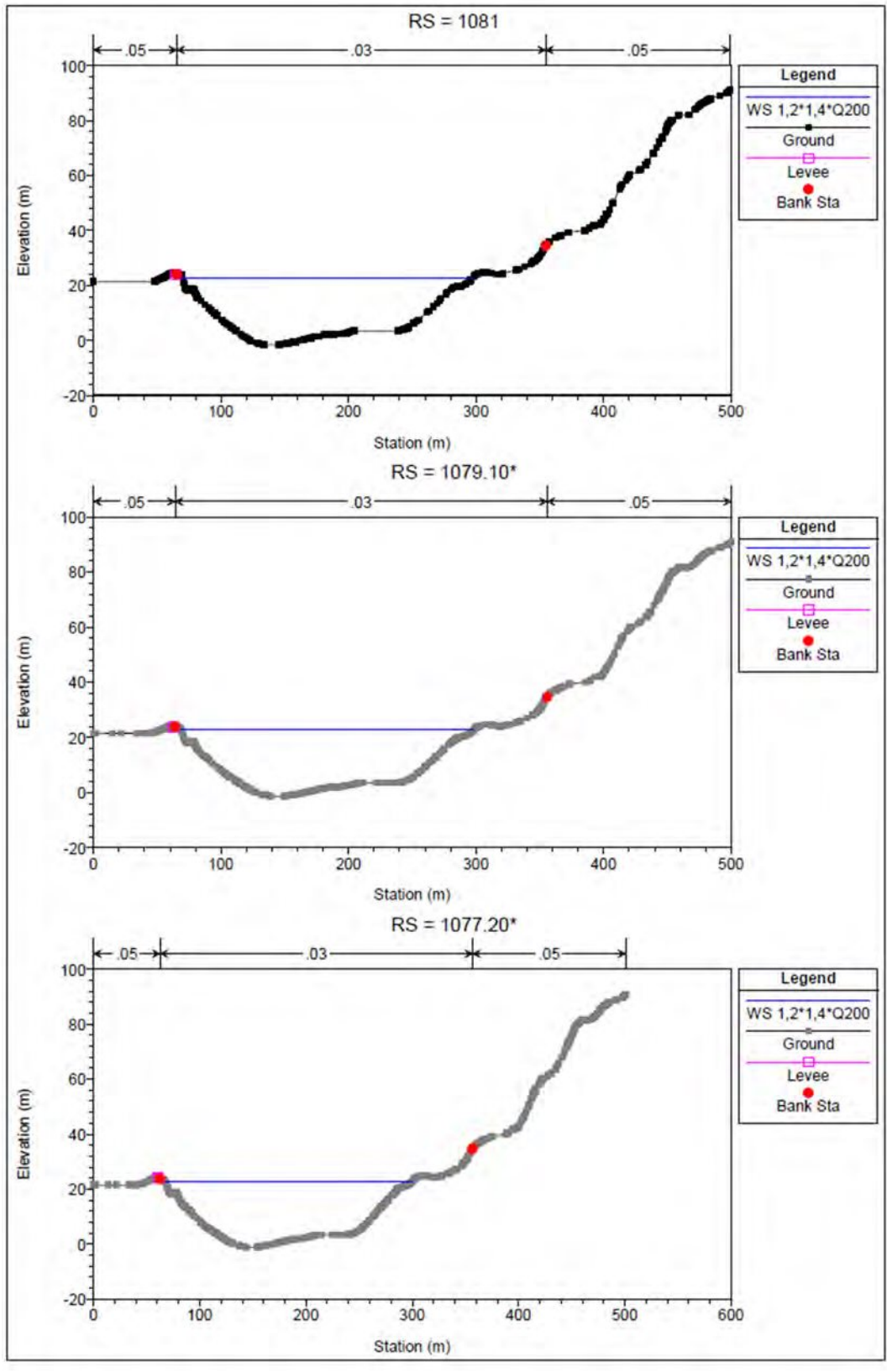
5.3 Nomogram til utrekning av kulvertkapasitet

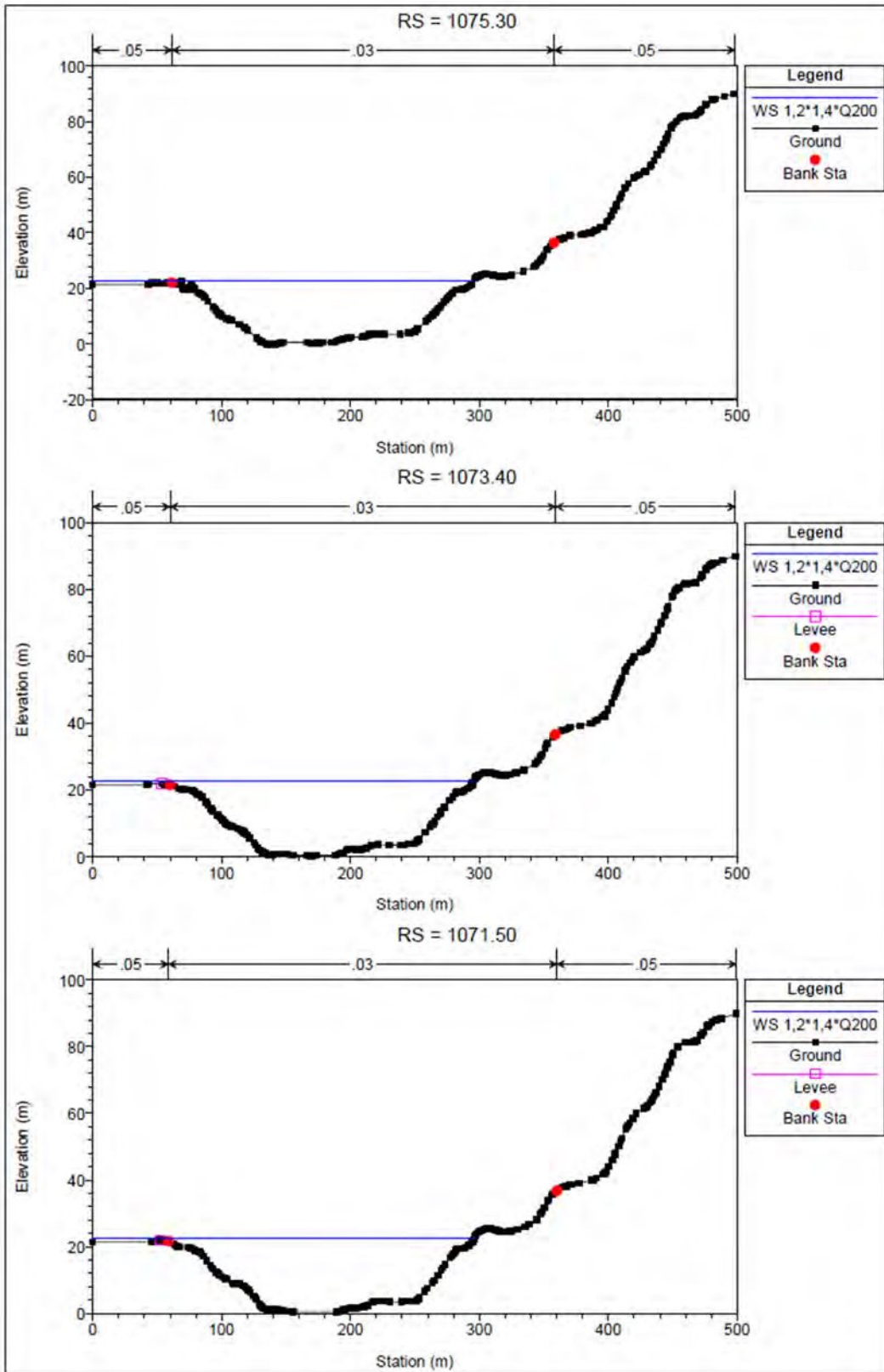


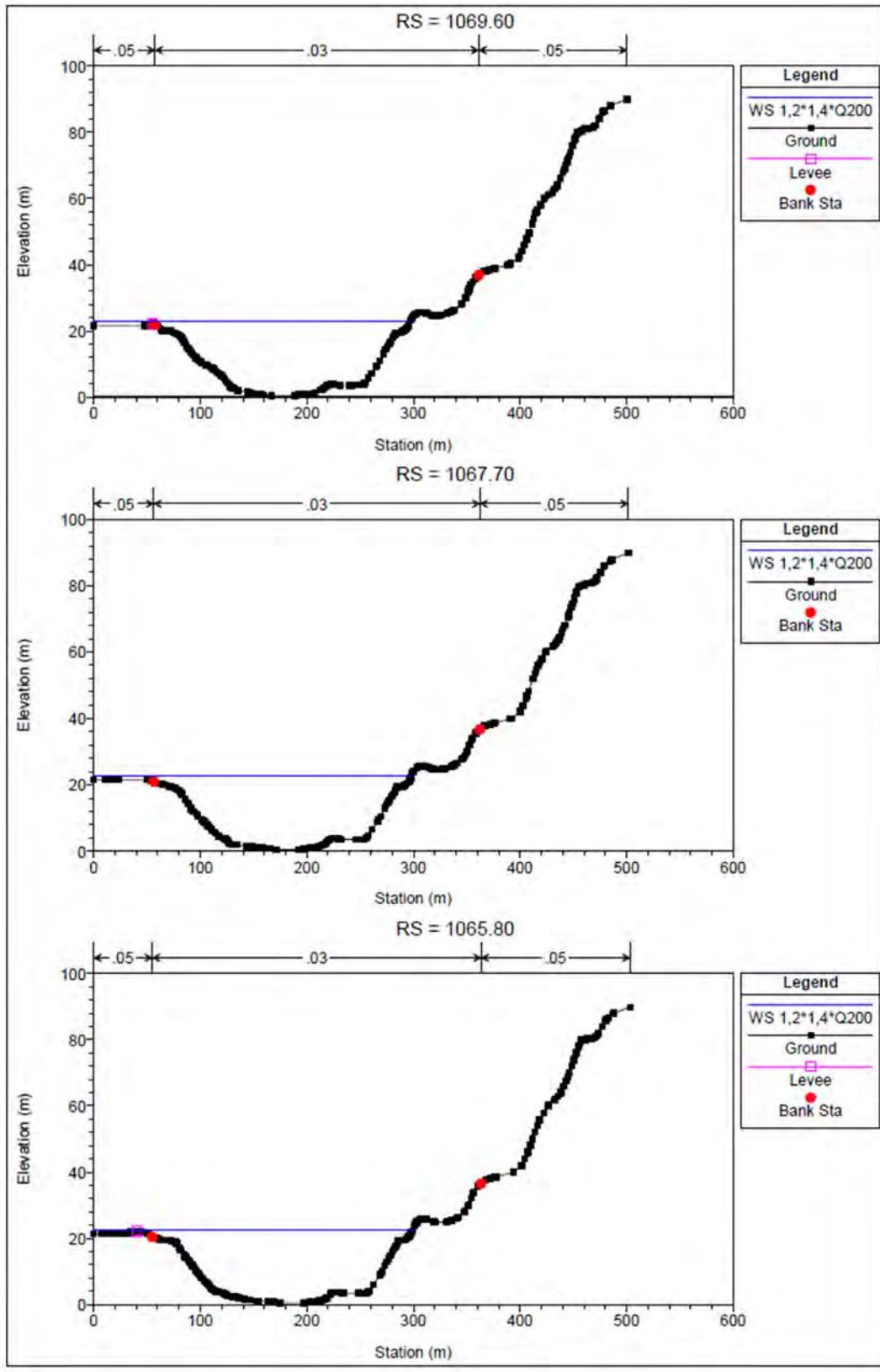
5.4 Tverrsnitt nytta i dei hydrauliske modellane

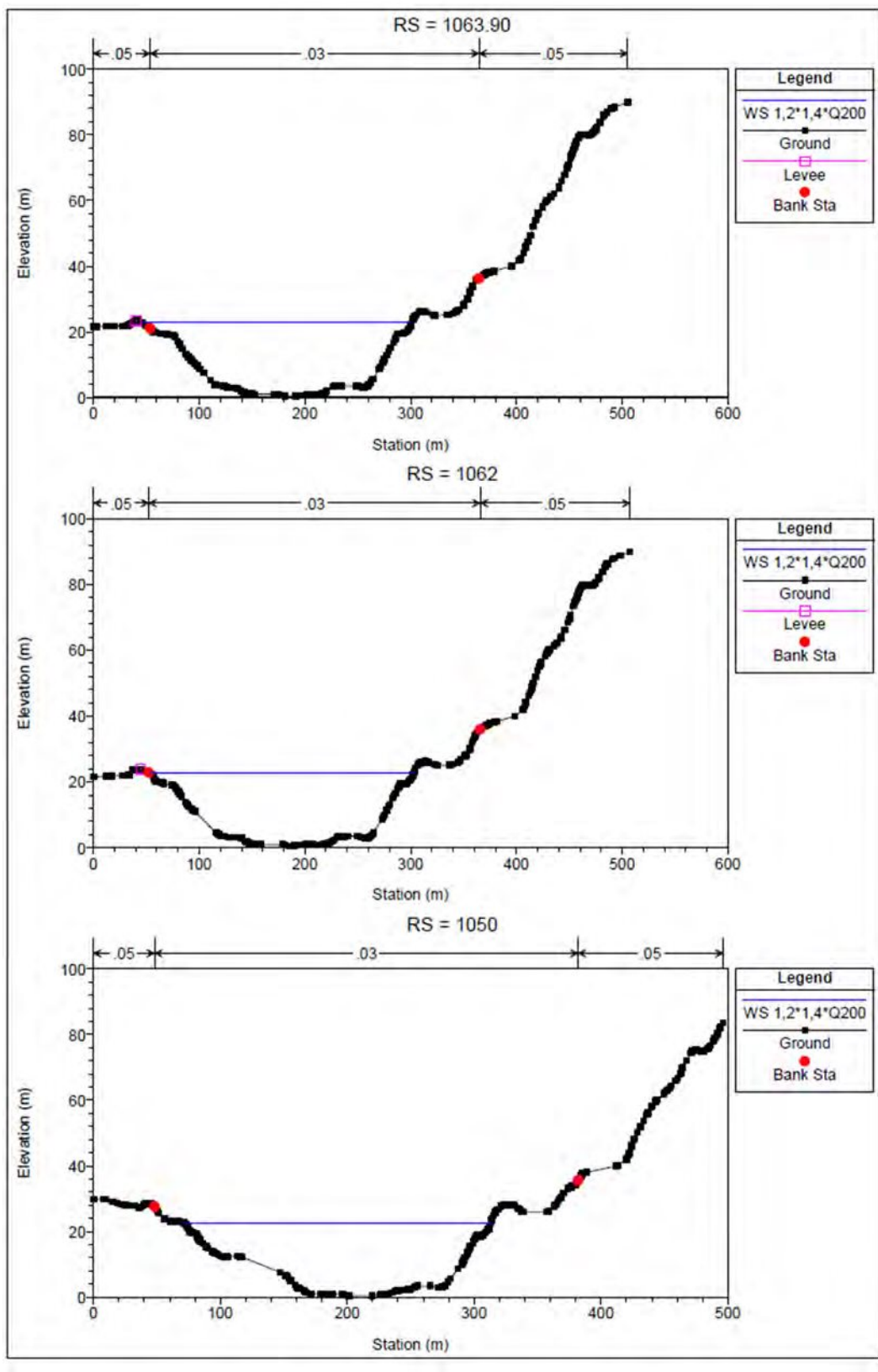
Haukåsvatnet

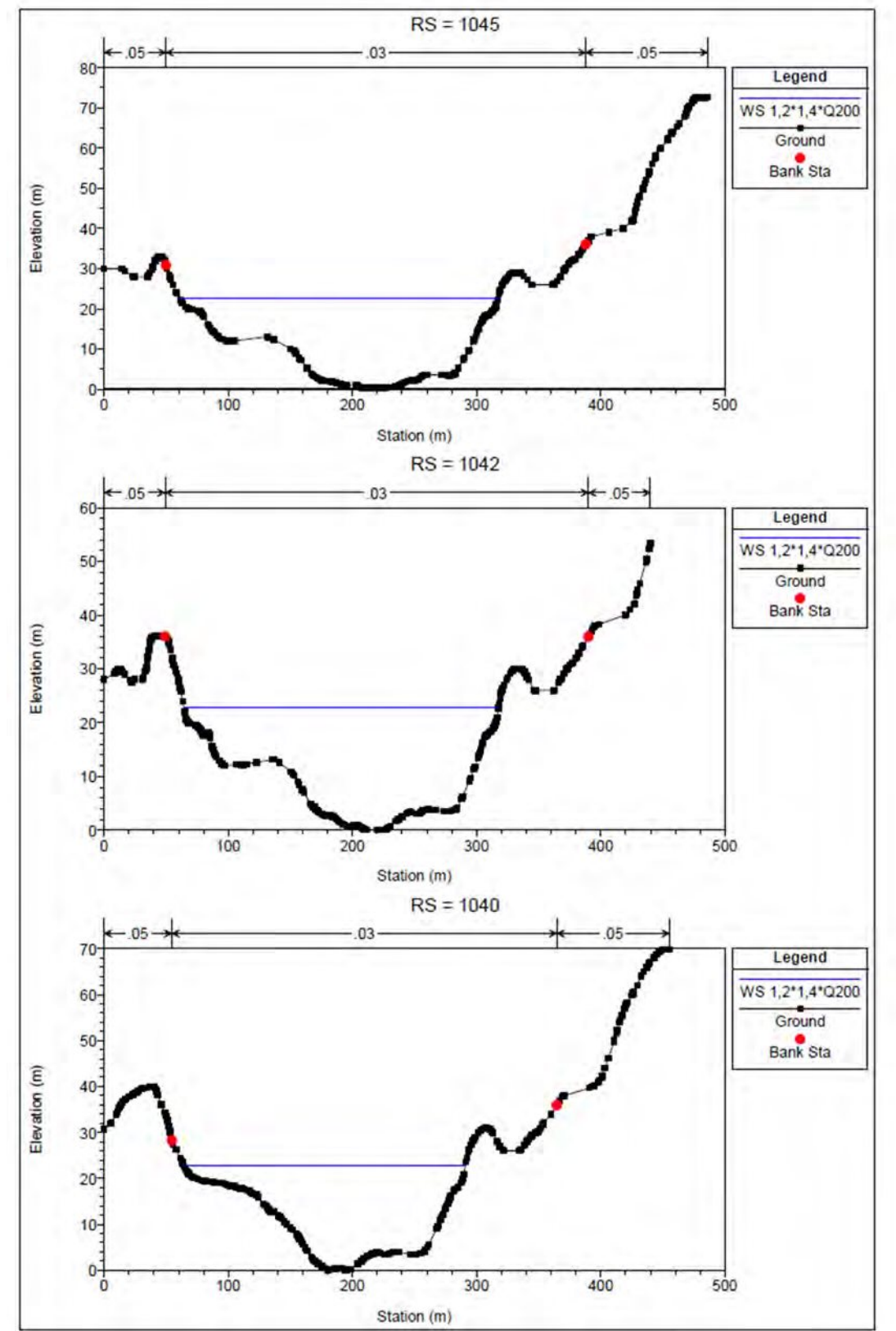


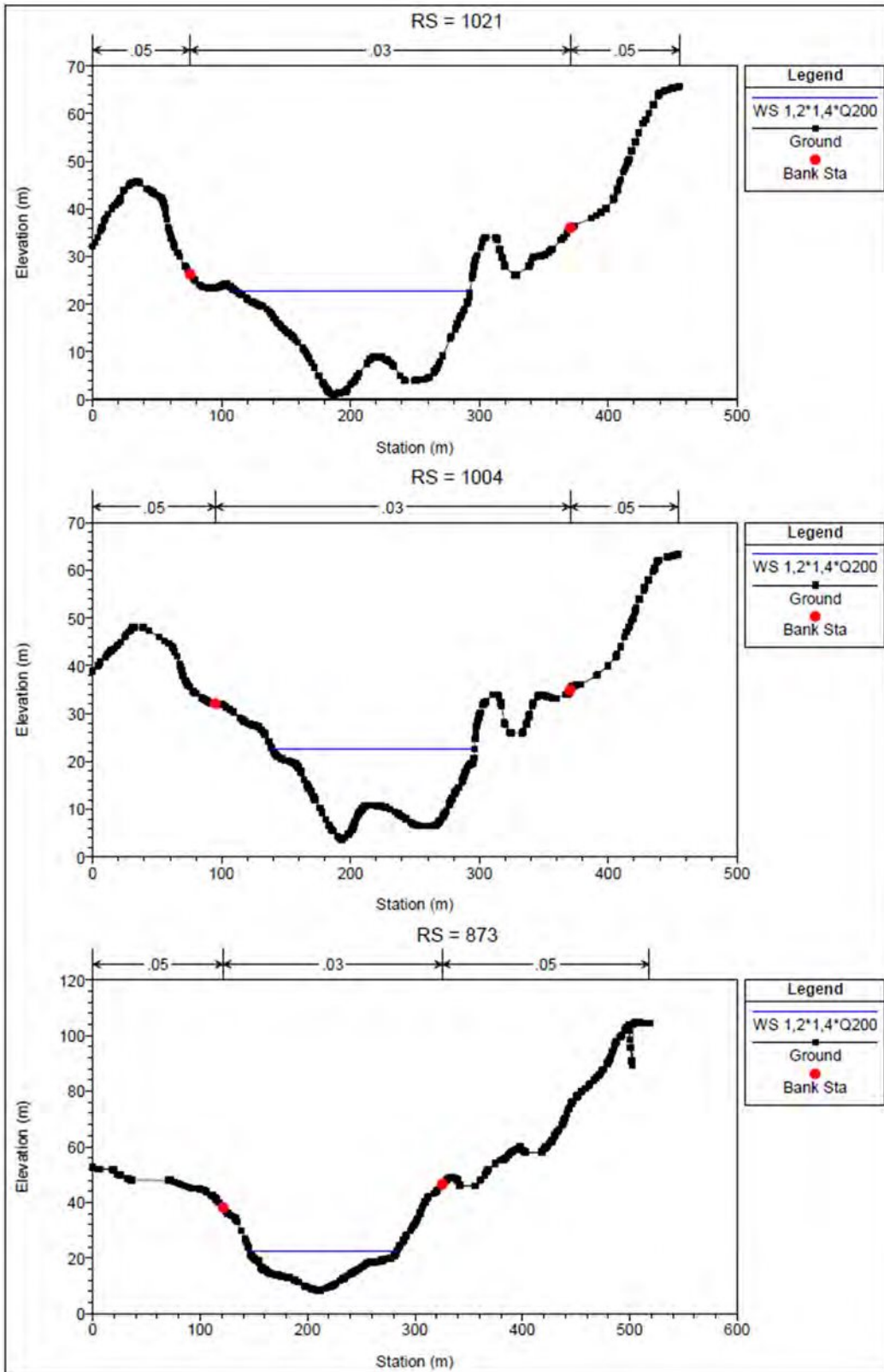


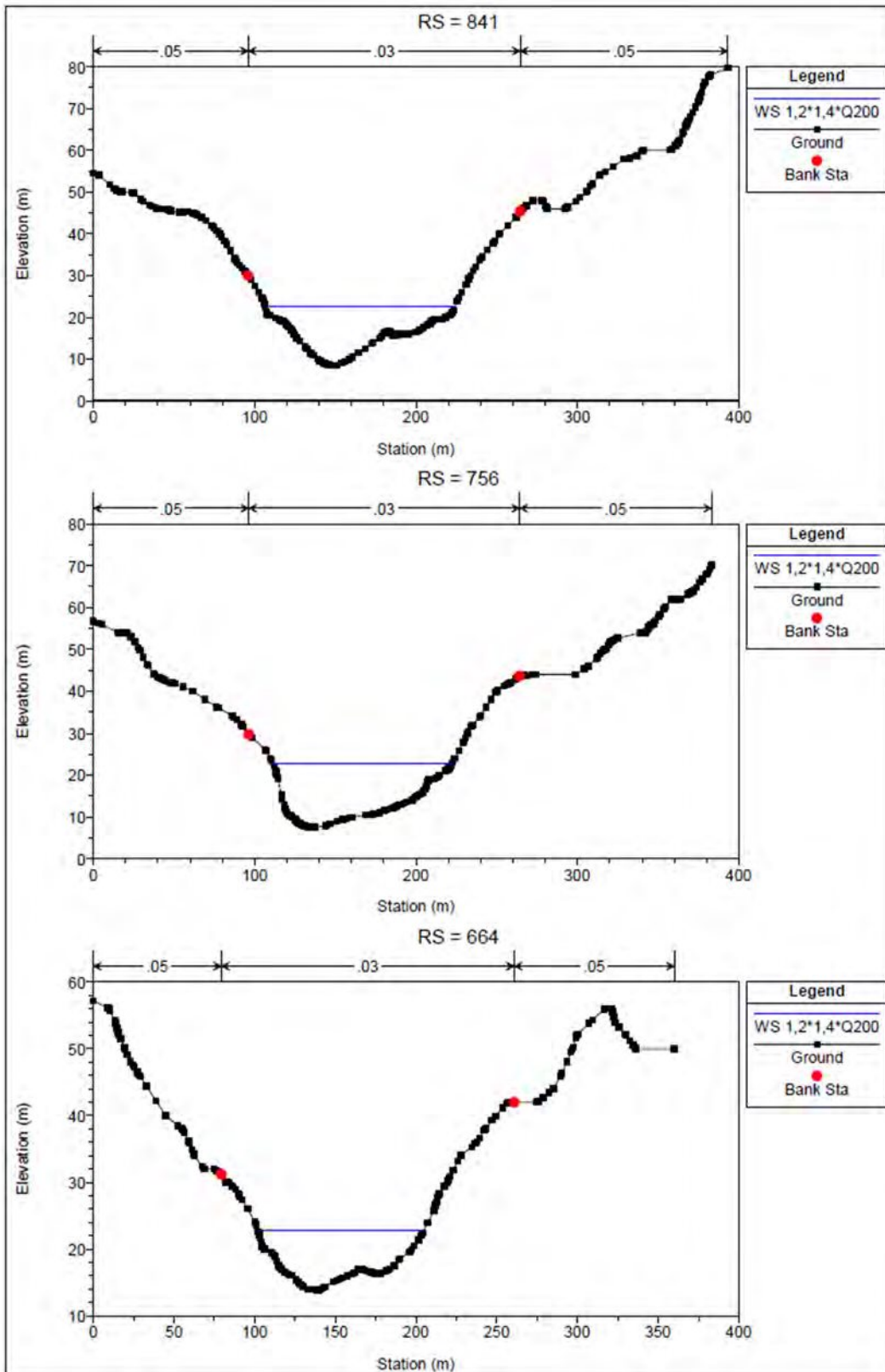


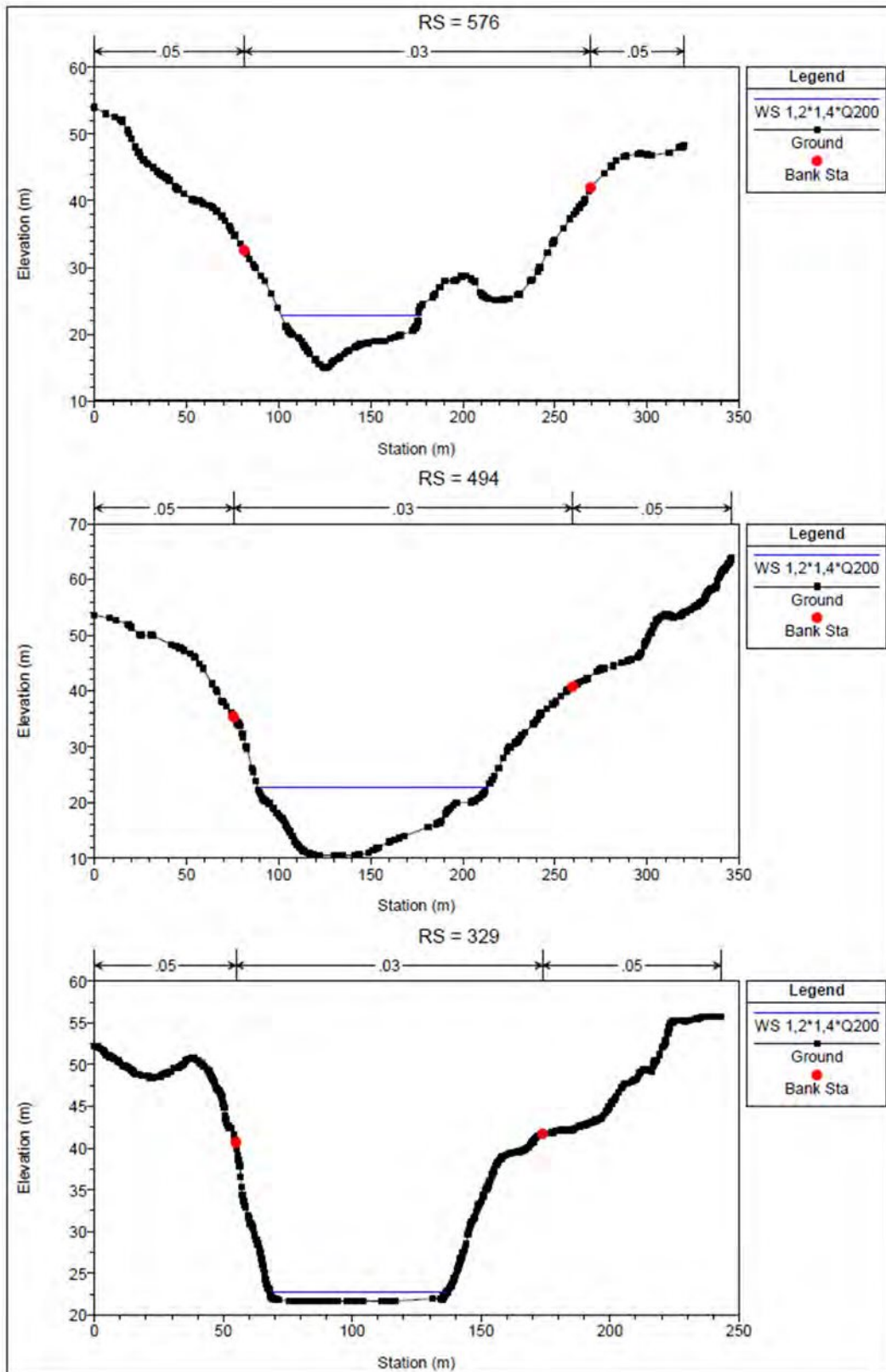


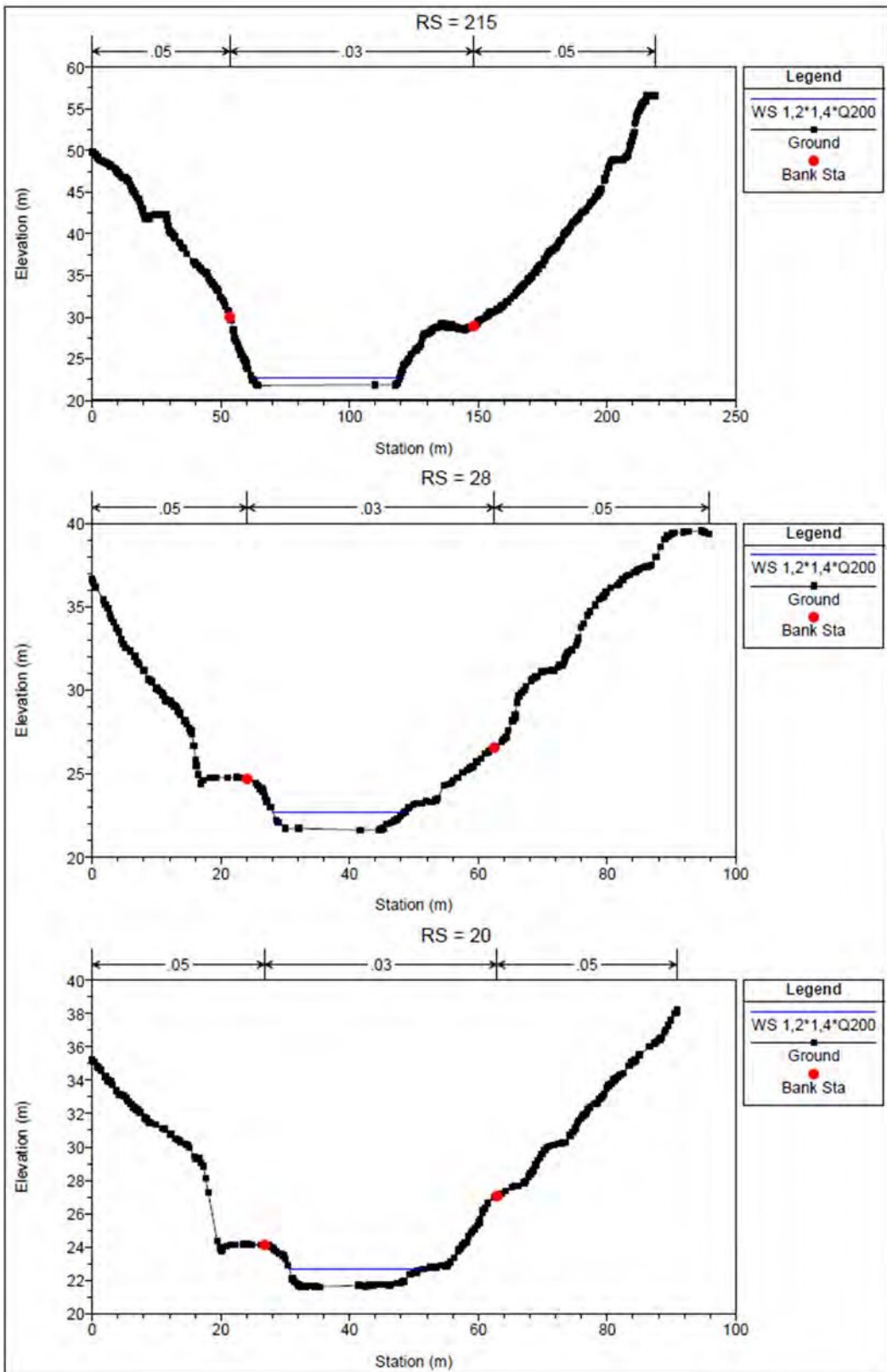


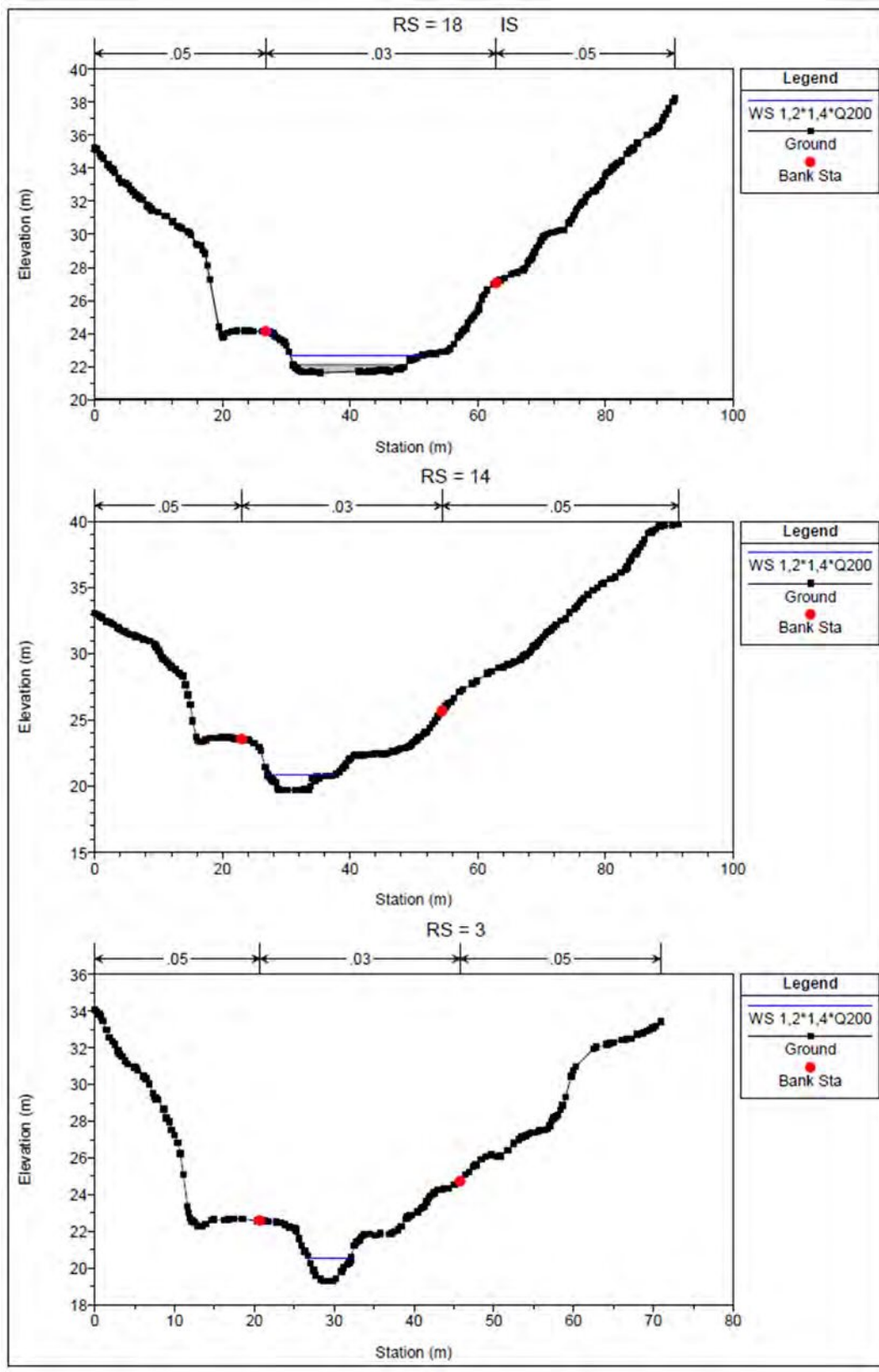












Hjelmåsvatnet

