Oppdragsgiver:	Frogn Kommune
Oppdragsnavn:	Frogn kommune rammeavtale bygg og kommunalteknikk Storgrava
Oppdragsnummer:	633712-13
Utarbeidet av:	Sølvi Amland og Marianne Myhre Odberg
Oppdragsleder:	Sølvi Amland
Dato:	01.06.2023
Tilgjengelighet:	Åpent

Flomsonekartlegging, Storgrava i Frogn kommune

1. Innledning
2. Regelverk flomfare
2.1. Sikkerhet mot flom
2.2. Klimapåslag
3. Flomberegning, Storgrava
3.1. Beskrivelse av nedbørfeltet
3.2. Tilgjengelig vannføringsdata
3.3. Beregning av 200-årsflom
3.3.1. Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt (NIFS)
3.3.2. Flomfrekvensanalyse, døgnverdier
3.4. Oppsummering, erfaringstall og usikkerhet
3.5. Endelig estimat, flomberegning
4. Kapasitetsvurdering, kulvert Heer
4.1. Flomberegning
4.2. Kapasitet kulvert
5. Hydrauliske beregninger
5.1. Programvare og modelltype
5.2. Modelloppsett
5.2.1. Analyseområde
5.2.2. Beregningsnett

5.2.3. Terrengmodell

5.2.4. Konstruksjoner i vassdraget

5.2.5. Friksjonsforhold

5.2.6. Grensebetingelser

5.2.7. Sikkerhetspåslag

5.3. Resultater fra hydraulisk modellering

5.3.1. Resultater 200-årsflom, inkludert bidrag fra Heer

5.3.2. Forskjell som følge av bidraget fra Heer

6. Oppsummering

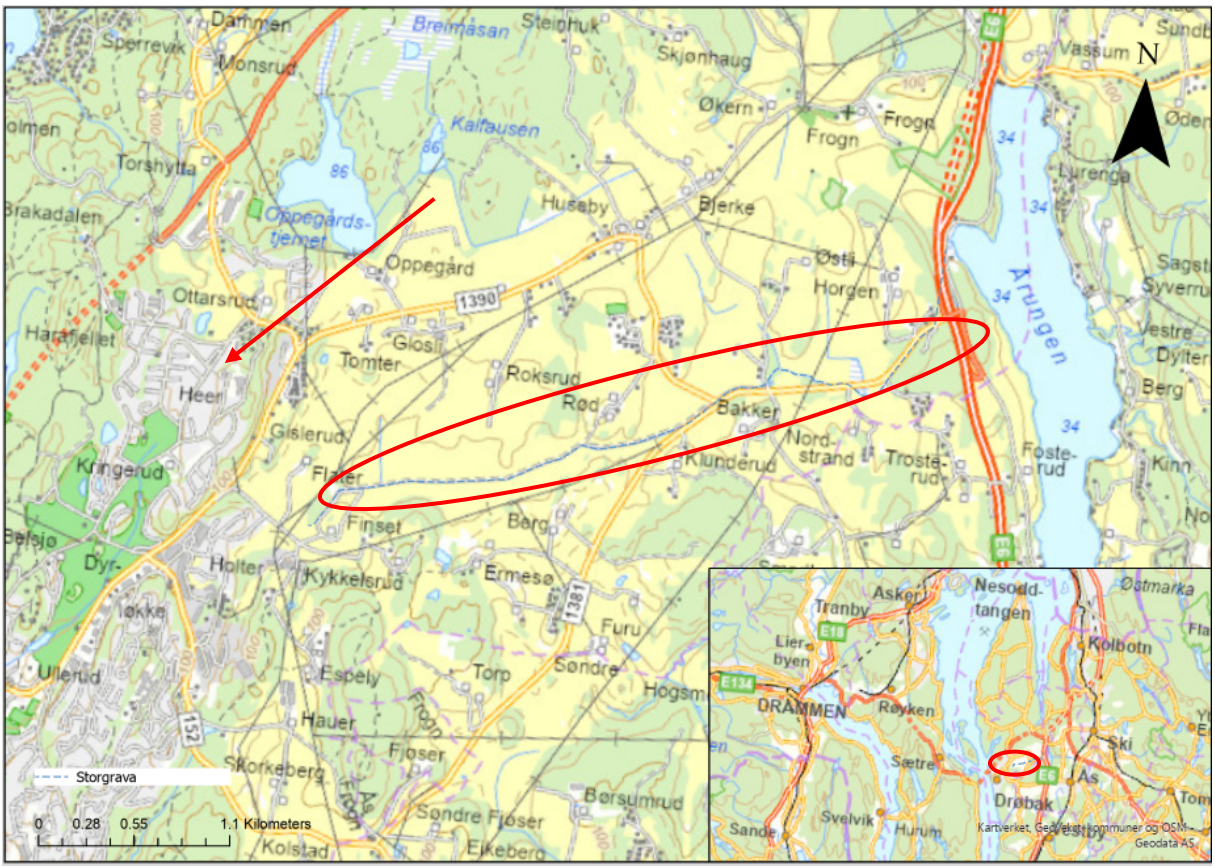
Kilder

Versjonslogg:

01	01.06.23	Rapport, flomsonekartlegging Storgrava	SA og MMO	SA og MMO
VER.	**DATO**	**BESKRIVELSE**	**AV**	**KS**

1. Innledning

Frogn kommune ønsker utarbeidelse av flomsonekart for Storgrava som renner fra handlesenteret Drøbak City med utløp i Årungen, se Figur 1-1. Kartleggingen skal benyttes som grunnlag for planlegging av erosjonssikring av bekken.



Figur 1-1 Storgrava markert med blåstiplet linje i detaljkart og rød sirkel, området Heer er vist med rød pil

I en normal situasjon føres overvannet fra Heer videre til Raskebekken, mens det ved større nedbørhendelser føres til Storgrava i et overløpsrør. Det utføres derfor en flomberegning for Storgrava, basert på Storgravas naturlige nedbørfelt. Beregningene utføres i henhold til NVEs *veileder for flomberegninger* (NVE 1/2022), hvor dimensjonerende flomvannføring fastsettes basert på sikkerhetsklasse F2 oppgitt i TEK17 §7-2. For situasjonen der overvann fra Heer skal inkluderes, legges maksimalt påslipp fra overvannsrøret på Storgravas flomvannføring. Det forutsettes at kulminasjonstoppene fra Heer og Storgrava inntreffer samtidig.

Flomsonekartleggingen innebærer en kartlegging av Storgravas flomsone ved bruk av den hydrauliske modellen HEC-RAS. Området for kartlegging er definert i samarbeid med Frogn kommune og presentert i Figur 5-1. Flomsonekartleggingen utføres i henhold til NVEs veileder *Sikkerhet mot flom* (NVE 3/2022).

Flomsonekartleggingen viser resultater med flomvann fra området Heer, som representerer dagens situasjon. I tillegg skal det vise hvilken effekt flomvannet fra Heer har på vannhastighet og flomsone i Storgrava. Resultatet fra flomsonekartleggingen består av kart som viser beregnet vannstand og vannhastighet langs Storgrava. Flomsone oversendes også digitalt, som shapefil.

2. Regelverk flomfare

2.1. Sikkerhet mot flom

Krav til sikkerhet mot flom og stormflo er hjemlet i plan- og bygningsloven med tilhørende Byggteknisk forskrift (TEK 17), kapittel 7, § 7-2. Tabell 2-1 viser sikkerhetsklasser for flom. Ved å følge kravene i TEK 17, §7-2 møtes krav i plan- og bygningsloven § 28-1 for flomfare.

Tabell 2-1 Sikkerhetsklasser for byggverk i flomutsatt område. Kilde: Byggteknisk forskrift (TEK 17)

Sikkerhetsklasse for flom	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
F1	liten	1/20
F2	middels	1/200
F3	stor	1/1000

Flomfare ved en 200-årsflom er utredet, tilsvarende sikkerhetsklasse F2.

2.2. Klimapåslag

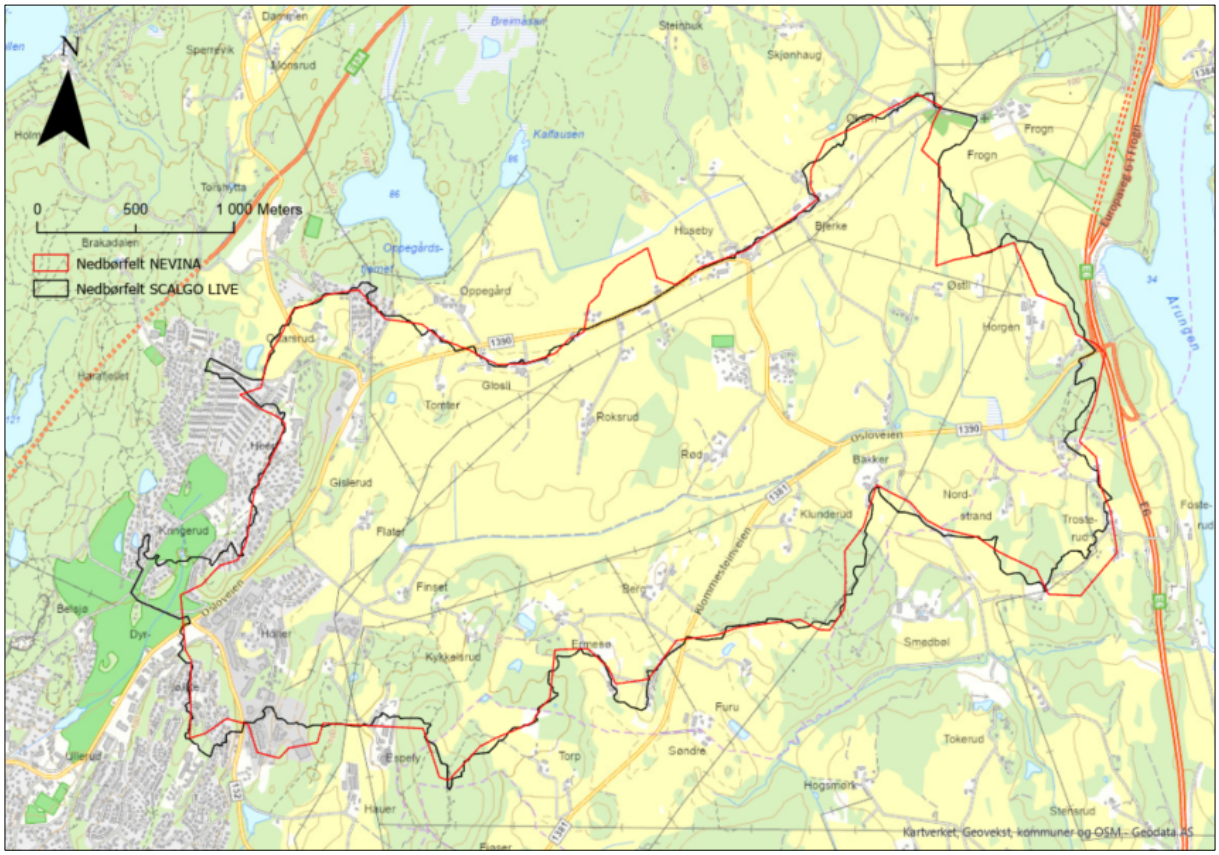
Plan- og bygningsloven § 29-5 sier at man skal ta særlig hensyn til klimatiske forhold ved prosjektering og utførelse av tiltak.

Basert på anbefalinger fra NVE og Norsk Klimaservicesenter er det valgt å legge til et klimapåslag på 40 % på beregnet kulminasjonsflom.

3. Flomberegning, Storgrava

3.1. Beskrivelse av nedbørfeltet

Nedbørsfeltet er generert ved hjelp av programvarene Scalgo LIVE og NEVINA. Resultatet vises i Figur 3-1. NEVINA bygger på en høydemodell 10x10 m mens Scalgo henter nasjonal høydemodell (1 x 1 m) fra høydedata. Det er noen forskjeller i nedbørfelt basert på simulering ved hjelp av de to programvarene og det er utført en manuell kontroll av vannskillet i ArcGIS. Basert på manuell kontroll er det valgt å gå videre med nedbørfeltet generert ved hjelp av SCALGO Live. Grønsteinbekkens nedbørsfelt er 8,5 km^2.

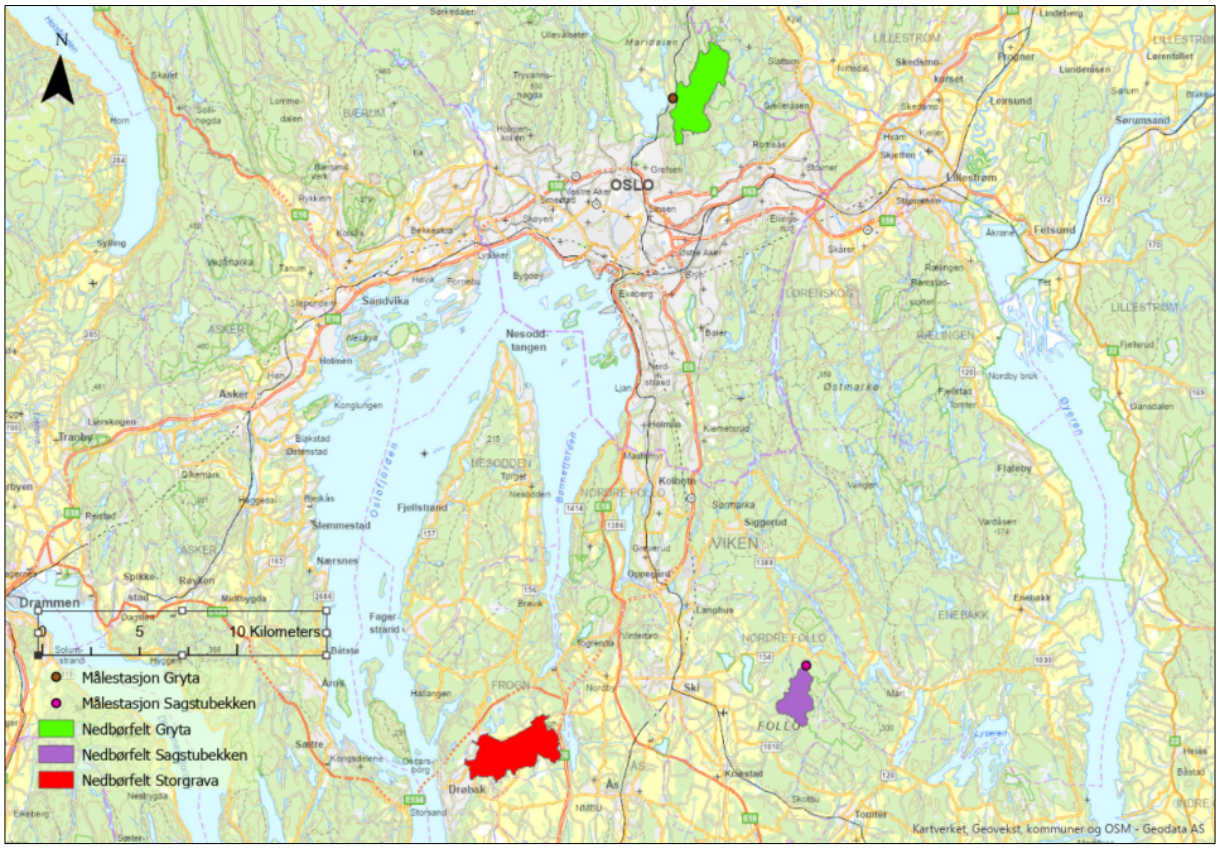


Figur 3-1 Storgravas nedbørsfelt, simulert ved hjelp av verktøyene NEVINA og Scalgo LIVE

3.2. Tilgjengelig vannføringsdata

Basert på en vurdering av sammenlignbare felt ved hjelp av NVEs seriekart basert på geografisk plassering, areal, spesifikk avrenning, effektiv sjø og arealklasser, er feltene 6.10.0 Gryta og 3.11 Sagstubekken vurdert som grunnlag for flomberegning. Figur 3-2 viser geografisk plassering av Storgrava og valgte referansefelt mens Tabell 3-1 viser stasjonsdata og feltparametre for Storgrava og de to referansefeltene.

6.10.0 Gryta har 54 år med kulminasjons- og døgndata, fra oppstart i 1967 til 2021. For Sagstubekken ligger det inne døgndata fra 1951 – 1974, 24 år.



Figur 3-2. Geografisk plassering av Storgrava og referansefeltene Gryta og Sagstubekken

Tabell 3-1. Stasjonsdata og feltparametre for Storgrava, Gryta og Sagstubekken (Kilde: NVE Atlas/Hydra II).

Stasjonsnummer			**6.10.0**	**3.11**
Stasjonsnavn		**Storgrava**	**Gryta**	**Sagstubekken**
Areal	[km^2]	8.5	7.03	3.23
Spesifikk avrenning	[l/s·km^2]	15.4	20.6	18.6
Effektiv sjø	[%]	0	0.41	0.04
Feltlengde	[km]	4.7	3.41	3.13
Relieff forhold	[m/km]	2.9	18.6	4.2
Bre	[%]	0	0	0
Dyrket mark	[%]	65.4	0	0
Myr	[%]	0.2	1.6	2.6
Skog	[%]	21.0	94.5	96.5
Sjø	[%]	0.1	2.8	0.5
Snaufjell	[%]	0	0	0
Urban	[%]	3.4	0	0

Målestasjonen Sagstubekken ligger geografisk nært Kvernstubekken, men den har data av eldre dato. Målestasjonen Gryta har en langs tidsserie og nedbørfeltet har sammenlignbare egenskaper med nedbørfeltet til Kvernstubekken. Det er valgt å vekte de to stasjonene 50 % hver i flomfrekvensanalyse.

3.3. Beregning av 200-årsflom

3.3.1. Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt (NIFS)

Nasjonalt formelverk for små nedbørfelt (også kalt NIFS-formelverk) er utarbeidet for små (< 60 km^2) naturlige, uregulerte felt. Formelverket består av to regresjonsligninger for beregning av flom, som bruker inngangsparameterne feltareal, spesifikk middelavrenning og effektiv sjøprosent. Den første ligningen gir et estimat av middelflom (kulminasjonsverdi), som generelt har størst usikkerhet knyttet til seg. Den andre ligningen er for vekstkurven (Q_T/Q_M), som anses som svært robust for små felt (NVE, 2015).

Estimert middelflom, vekstkurveforhold og 200-års kulminasjonsflom med 95 % konfidensintervall er gitt i Tabell 3-2.

Tabell 3-2 Beregnet middelflom, vekstkurveforhold og 200-årsflom med 95 % konfidensintervall (kulminasjonsverdi) med NIFS

Felt	**Middelflom** (kulminasjon) [m^3/s]	**Q_{200}/Q_M** [-]	**200-årsflom** (kulminasjon) [$l/s \cdot km^2$]	**200-årsflom** (kulminasjon) [m^3/s]
Storgrava	3,25	2,881	1 101	9,4 [4,7 – 18,8]

3.3.2. Flomfrekvensanalyse, døgnverdier

Flomfrekvensanalysen utføres på vannføringsdata fra de utvalgte målestasjonene beskrevet i kapittel 3.2. Fra flomfrekvensanalysen estimeres middelflom og vekstkurve for målestasjonene. Middelflom (Q_M) referer til gjennomsnittet av den største vannføringen hvert år, mens vekstkurven (Q_T/Q_M) er forholdet mellom middelflom og en flom med et vilkårlig gjentaksintervall T.

Døgnverdi for middelflom og vekstkurve for 200-årsflom er hentet fra NVEs database Hydra II ved bruk av programmet Flom_Analyse. Middelflommen deles på feltarealet til målestasjonen, slik at en får en spesifikk middelflom (q_M) som kan benyttes for det aktuelle feltet.

For å finne kulminasjonsflom basert på døgndata må døgndataene multipliseres med en kulminasjonsfaktor. Kulminasjonsfaktor er beregnet ved bruk av ligning fra RFFA-2018, og er 1,450.

Tabell 3-3 gir resultater fra flomberegningen ved hjelp av lokal flomfrekvensanalyse med døgnverdier.

Tabell 3-3 Resultater fra lokal flomfrekvensanalyse med døgnverdier, ved bruk av referansefelt BGryta og Sagstubekken

Felt	**200-årsflom** (kulminasjon) [$l/s \cdot km^2$]	[m^3/s]
Storgrava	1 113	9,5

3.4. Oppsummering, erfaringstall og usikkerhet

Tabell 3-4 viser en oppsummering av resultater fra flomberegning ved hjelp av de ulike beregningsmetodene.

Tabell 3-4 Beregnede flomverdier fra alle metoder

Metode		**200-årsflom**				
		Døgnmiddel		**$Q_{mom}/Q_{døgn}$**	**Kulminasjon**	
		l/s·km²	m³/s	-	l/s·km²	m³/s
Kulminasjonsverdier	NIFS	-	-	-	1 101	9,4
Døgnverdier	Lokal flomfrekvensanalyse	768	6,5	1,450	1 113	9,5

NVE 2022 viser erfaringstall for spesifikk flomvannføring. Disse er gjengitt i Tabell 3-5. For 200-årsflom vises erfaringstall for kulminasjon. Erfaringstallene benyttes for å vurdere resultatene i Tabell 3-4.

Tabell 3-5. Erfaringstall. Kilde: NVE 2022

Felttype	**Feltareal** [km²]	**Landsdel**	**Spesifikk flomvannføring** [l/s·km²]	
			Kulminasjon (time) Gjentaksintervall 200 år	**Døgnmiddelverdi Gjentaksintervall 1000 år**
Mikrofelt	*≤ 1*	*Alle*	*2000 - 5000*	-
Små felt	1-50	Østlandet	400 - 2500	600 - 1500
		Sør- og Vestlandet	700 - 6000	1500 - 3000
		Trøndelag, Møre og Romsdal	800 - 3000	850 - 2000
		Nordland	800 - 4000	500 - 2000
		Troms og Finnmark	400 - 3000	
Middels store felt	50-500	Østlandet	-	350 - 1100
		Sør- og Vestlandet	-	700 - 2500
		Trøndelag, Møre og Romsdal	-	600 - 1800
		Nord-Norge	-	500 - 2000
Store felt	>500	Alle	-	200 - 1000

Landsdelene omtales i NVE 1/2022. Storgrava tilhører Østlandet.

NVE 1/2022 sier om Østlandet: *På Østlandet (Hedmark, Oppland, Akershus, Oslo, Buskerud og deler av Telemark), vassdragsnummer 1- 16, varierer flomverdiene i stort fra 500 l/s· km² til 1500 l/s/km², men noen flomverdier er helt opp til 2000 – 2500 l/s/km² og helt ned i 400 l/s/km². Det er relativt jevn geografisk spredning på flomverdiene, men de laveste verdiene finner en øst i området og/eller større felt med høy selvreguleringsevne*.

Begge beregningsmetodikkene gir spesifikk avrenning for 200-årsflom (kulminasjonsverdier) innenfor rammen til erfaringstallene. Resultatene ved bruk av NIFS

og flomfrekvensanalyse er svært like. Det er valgt å vektlegge resultatet ved bruk av flomfrekvensanalyse. Storgrava er noe mer urbanisert enn de to referansefeltene, og 200-års kulminasjonsflom settes til 10 m^3/s.

3.5. Endelig estimat, flomberegning

200-årsflom er beregnet til 10 m^3/s og 200-årsflom inkludert 40 % klimapåslag er 14 m^3/s.

4. Kapasitetsvurdering, kulvert Heer

Fra området Heer går det en kulvert som bidrar med vann til Storgrava. Kulvertens kapasitet beregnes, for å inkludere bidraget i flomsonekartleggingen av Storgrava.

4.1. Flomberegning

Nedbørfeltets størrelse er 0,5 km^2. Det er utført flomberegning ved bruk av metodene nasjonalt formelverk for små vassdrag, rasjonelle formel og flomfrekvensanalyse. For flomfrekvensanalyse er representative målestasjon for flomberegningen av Storgrava benyttet. Beregningsgrunnlaget til den rasjonelle formel finnes i vedlegg 1. For beskrivelse av beregningsmetodikkene, se NVEs retningslinje for flomberegning (NVE 1/2022).

Resultatet fra flomberegning ved bruk av de ulike metodene vises i Tabell 4-1

Tabell 4-1. Resultater fra flomberegning ved bruk av NIFS, rasjonelle formel og flomfrekvensanalyse

Metode	Q200 (m^3/s)	Klimafaktor	Q200klima (m^3/s)
NIFS	0.8 [0.4 - 1.6]	1.4	2.2
Rasjonelle formel	6.6	1.4	9.2
Flomfrekvensanalyse	0.5	1.4	0.7

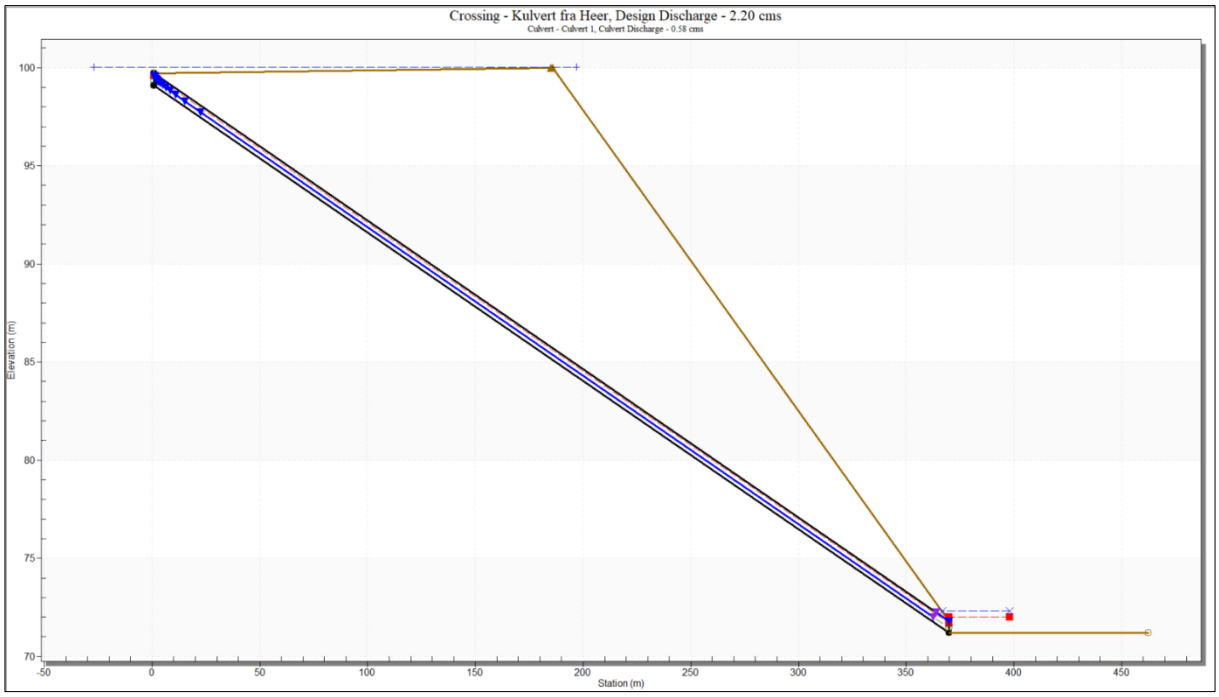
Ved å skalere flomberegningen til Storgrava på areal får vi en dimensjonerende 200-årsflom inkludert klimafaktor på 700 l/s mens median verdi fra NIFS gir 700 l/s. Nedbørfeltet ved Heer er urbant. Den rasjonelle formel gir stor flomverdi i forhold til

nedbørfeltets størrelse og erfaringstall for felt mindre enn 1 km^2. Den rasjonelle formel vektes ikke, men urbaniteten i feltet benyttes som grunn for å bruke øvre konfidensintervall fra NIFS i det videre.

Dimensjonerende 200-årsflom for nedbørfeltet ved Heer er 1 600 l/s. Klimapåslag er 40 %. Dimensjonerende 200-årsflom inkludert klimapåslag er 2 200 l/s.

4.2. Kapasitet kulvert

Verktøyet HY-8 er benyttet for beregning av kulvertens kapasitet. Terrengdata er hentet fra Statens Kartverk sin innsynsløsning Høydedata, prosjekt Viken 5. pkt. 2021. Dimensjonerende 200-årsflom er beregnet til 2200 l/s (Tabell 4-1). Kulverten har en beregnet kapasitet på 580 l/s, se Figur 4-1. Det resterende vannet renner i flomvei.



Figur 4-1. Kulvert med bidrag av vann fra Heer. Kulvertens kapasitet er beregnet til 580 l/s.

5. Hydrauliske beregninger

5.1. Programvare og modelltype

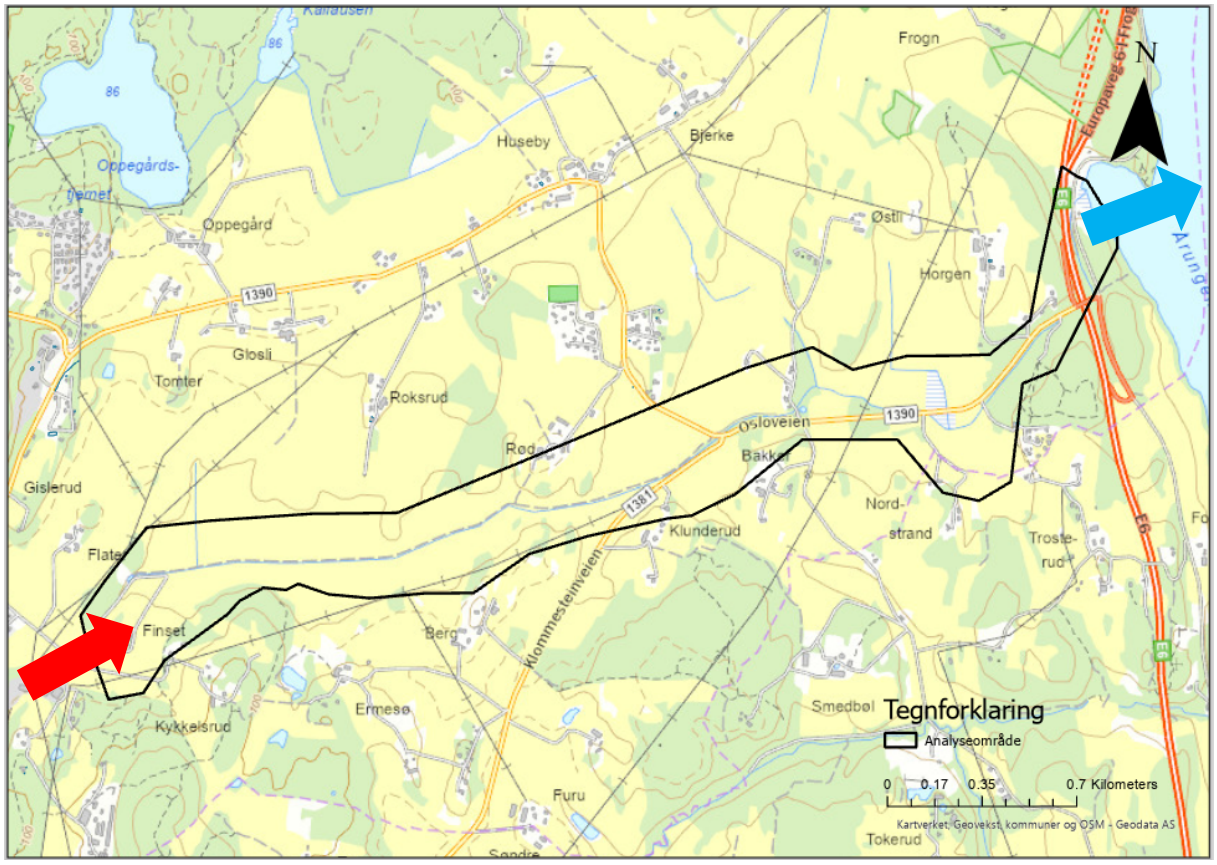
Hydrauliske beregninger er utført med programvaren HEC-RAS versjon 6.3.0, utviklet av United States Army Corps of Engineers. I HEC-RAS kan en utføre endimensjonale stasjonære hydrauliske beregninger, og en- og todimensjonal dynamisk (ikke-stasjonær) modellering. For detaljert informasjon om funksjonaliteter, modelloppbygging og beregningsteori, vises det til brukermanualen til HEC-RAS.

Denne beregningen skal ligge til grunn for vurdering av erosjonsfare, NVE anbefaler i sin veileder at todimensjonal modellering benyttes som grunnlag for vurdering av erosjon (NVE 3/2022). Med bakgrunn i dette er det valgt å benytte todimensjonal modell i denne beregningen.

5.2. Modelloppsett

5.2.1. Analyseområde

Avgrensning av området for den hydrauliske modelleringen er definert i samarbeid med Frogn kommune, og er vist i Figur 5-1.



Figur 5-1 Analyseområde for den hydrauliske modellen, øvre og nedre grensebetingelser er markert med henholdsvis rød og blå pil

5.2.2. Beregningsnett

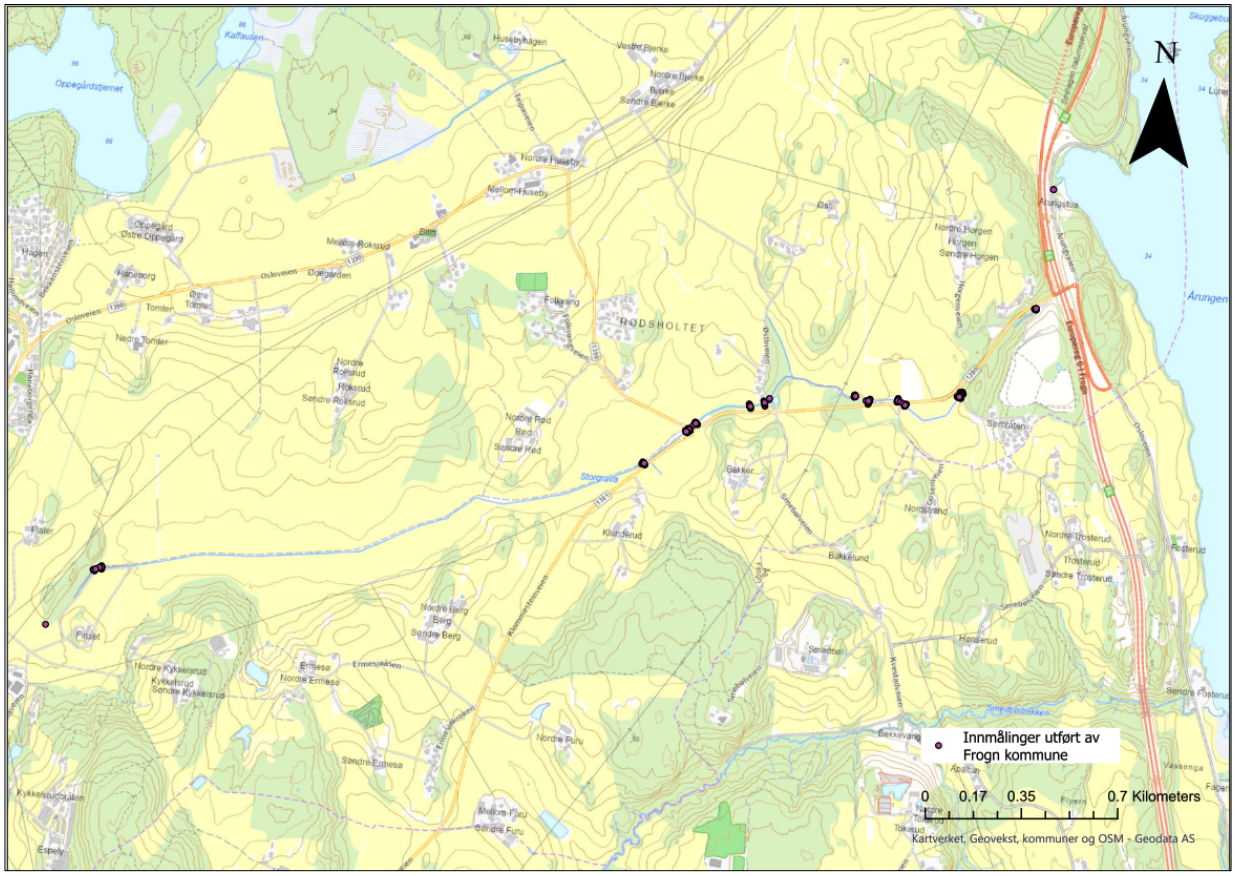
Den hydrauliske modellen baserer seg på et rutenett, hvor det for hver enkelt rute gjøres beregninger. Rutenettstørrelse varierer fra 5 x 5 meter i flate områder med lite variasjon, til 1 x 1 meter i områder der helningen på elva er brattere og/eller der terrenget endres over korte avstander.. Innenfor Storgravas bekkekanter er det benyttet 1 meters celler. Tidssteget er satt til 1 sekund og «2D unsteady diffusion wave equation set» benyttes som beregningsmetodikk.

5.2.3. Terrengmodell

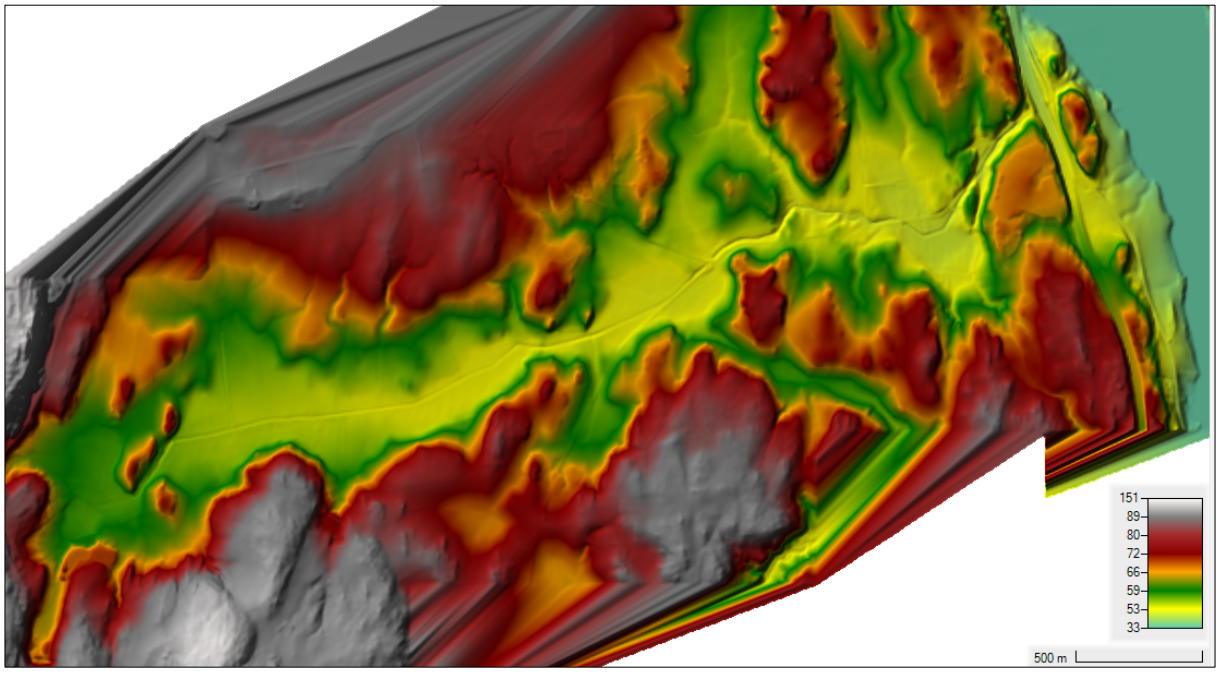
Det er satt opp en terrengmodell, som er hovedgrunnlaget for de hydrauliske beregningene. Terrengmodell som ligger til grunn for den hydrauliske modellen er vist i Figur 5-3.

Terrengmodellen er basert på laserdata med 0,25 meter oppløsning (prosjekt Follo 2014), hentet fra Kartverkets forvaltningsløsning Høydedata.

Laserdata kan være unøyaktige i områder med tett vegetasjon og vannspeil/vannflater. For å korrigere dette er Storgravas bekkebunn lagt inn i terrengdata, basert på innmålingene som er oversendt av Frogn kommune. Geografisk plassering av innmålingene er vist i Figur 5-2.



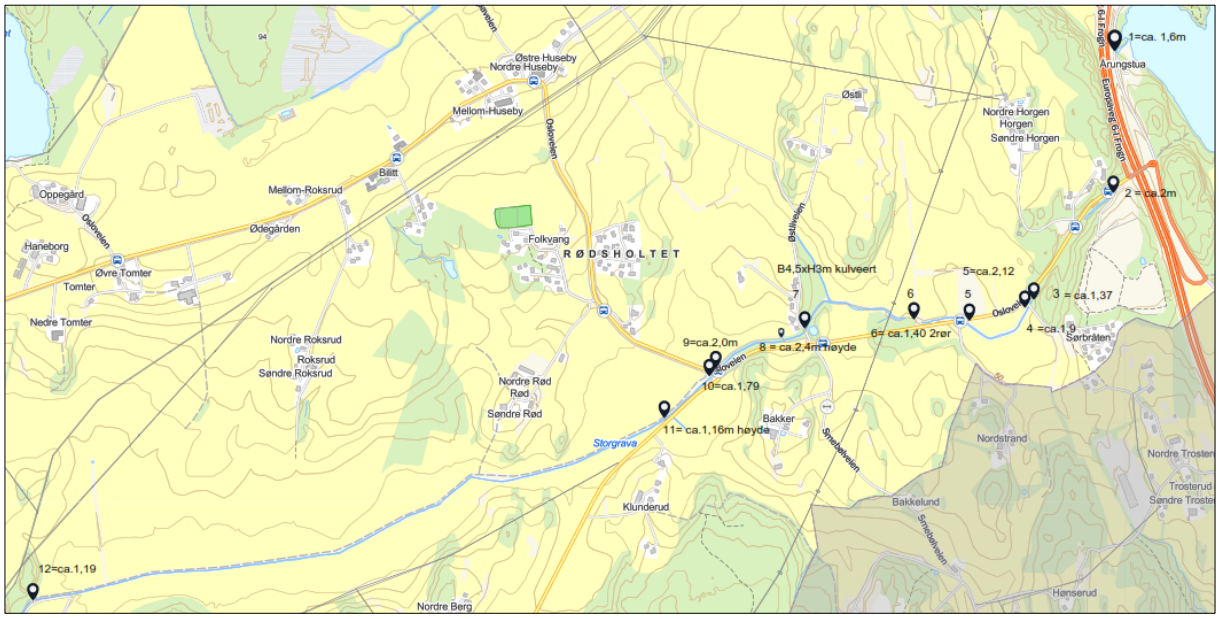
Figur 5-2 Geografisk plassering av innmålte punkter langs Storgrava



Figur 5-3 Terrengmodell som er benyttet i hydrauliske beregninger, basert på prosjekt Follo 2014 fra Statens Kartverk og innmålinger utført av Frogn kommune våren 2023.

5.2.4. Konstruksjoner i vassdraget

Geografisk plassering av konstruksjoner med nummerering er vist i Figur 5-4. Frogn kommune har målt inn dimensjoner og kotehøyder, og tatt bilder av konstruksjonene. Bilder av konstruksjon er vist i vedlegg 3 *Bilder av konstruksjoner, Storgrava*. Innmålt dimensjon av konstruksjonene er oppgitt i Tabell 5-1.



Figur 5-4 Geografisk plassering av konstruksjoner nummer 12 til 1 langs Storgrava

Tabell 5-1 Innmålte dimensjoner for konstruksjoner i vassdraget.

Nr. / navn	**Lysåpning** (m)
12	Ø1900 mm
11	H =1400 mm
10	Ø1790 mm
9	Ø2000 mm
8	H = 2400 mm
7	B = 3000 mm, H = 4500 mm
6	2 x Ø1400 mm
5	Ø2120 mm
4	Ø1900 mm
3	Ø1370 mm
2	Ø2000 mm
1 – utløp til kulvert 2	Ø1600 mm

5.2.5. Friksjonsforhold

Vannets hastighet påvirkes av friksjonsforhold, det vil si ruheten til overflaten det strømmer over. Denne varierer etter type underlag og utforming av elve-/bekkeløpet. Ruheten i modellen er gitt som Mannings tall (n), hvor et høyt n-tall betyr høyere ruhet.

Friksjonsforhold er definert ut fra arealtype og er vurdert ut fra kart og flyfoto, og bilder tatt under befaring av elven (se vedlegg 3).

For bekkeløpet og flomslettene er Mannings n satt lik 0.035. Tabellene som ligger til grunn for valgt ruhet er hentet fra NVEs Vassdragshåndboka og er presentert i Vedlegg 2.

5.2.6. Grensebetingelser

Plassering av grensebetingelser er vist i Figur 5-1.

Øvre grensebetingelse: Antagelse om normalstrømning, hvor beregnet 200- års flomvannføring er benyttet. Mengden flomvann øker nedover et vassdrag, som følge av et økende oppstrøms tilsigsareal. Denne økningen er ofte så gradvis at man ved å porsjonere ut flomvannet for definerte områder kan underestimere mengden flomvann for deler av strekningen. Siden erosjonsikring er et av formålene ved kartleggingen er det valgt å legge inn total flomvannføring øverst i modellområdet, selv om dette kan føre til noe konservativt resultat for den øverste delen av den modellerte strekningen av Storgrava.

- Nedre grensebetingelse: Normalvannstand i Årrungen, kote + 34.

5.2.7. Sikkerhetspåslag

Ved praktisk bruk av flomsonekart, for eksempel i forbindelse med arealplansaker og byggesaker, skal man ta hensyn til usikkerhet knyttet til flomberegning og hydrauliske beregninger (NVE 3/2022). Sikkerhetspåslaget gis i form av et prosentvis påslag på flomvannføringen. Valg av prosentvist påslag på flomvannføringen baseres på usikkerheter i flomberegningen og den hydrauliske modellen inkludert terrenget som ligger til grunn for den.

Plassering av flomberegning og den hydrauliske modellen i ulike klasser er beskrevet i NVEs veileder 3/2022 *Sikkerhet mot flom*, kapittel 10. Det finnes ikke kalibreringsdata for Storgrava og den hydrauliske modellen klassifiseres i klasse D eller E. På grunn av usikkerheter i terrengdata plasseres modellen i klasse E. Flomberegningen plasseres i klasse 3. Ut fra Tabell 5-2 er det anbefalt å utføre en vurdering av sikkerhetsmargin ved å legge til 50 % på flomvannføringen. Resultatene som er presentert i kapittel 5 *Hydrauliske beregninger* viser derfor situasjonen for Q_{200} inkludert klimapåslag og sikkerhetsmargin.

Tabell 5-2 Anbefalt prosentvist påslag på vannføringen for å hensynta usikkerheten i beregningene (Kilde: NVE 3/2022)

Prosentvis påslag på vannføringen

Klassifisering av hydraulisk modell, tabell 10-1	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4 og 5
Klasse E	40 %	45 %	50 %	60 %
Klasse D	20 %	30 %	40 %	50 %
Klasse C	15 %	20 %	30 %	40 %
Klasse B	10 %	15 %	20 %	30 %
Klasse A	5 %	10 %	15 %	25 %

Klassifisering av flomberegning, tabell 10-2

5.3. Resultater fra hydraulisk modellering

Resultatene fra den hydrauliske modelleringen viser flomsonens utstrekning og vannhastighet ved dimensjonerende flomvannføring. I denne vurderingen er dimensjonerende flomvannføring 200- års flom inkludert klimapåslag og sikkerhetsmargin. Som nevnt innledningsvis er det er valgt å vise resultatene for flomsituasjonen som inkluderer flomvannet fra Heer, siden dette representerer dagens situasjon ved høy vannføring. I tillegg er det vist hvor stort utslag flomvannet fra Heer har på beregnet vannhastighet og vannstand langs Storgrava i en flomsituasjon.

På grunn av unøyaktigheter i terrengdataene anbefaler NVE i sin veileder 3/2022 å trekke ut vanndybder mindre enn 5 cm. Vanndybder mindre enn 5 cm er derfor ikke inkludert i flomsonekartene knyttet til denne vurderingen.

Kapittel 5.3.1 viser flomsone og vannhastighet for dagens situasjon, med bidrag fra Heer. Mer detaljerte kart er presentert i vedlegg 4 og vedlegg 5.

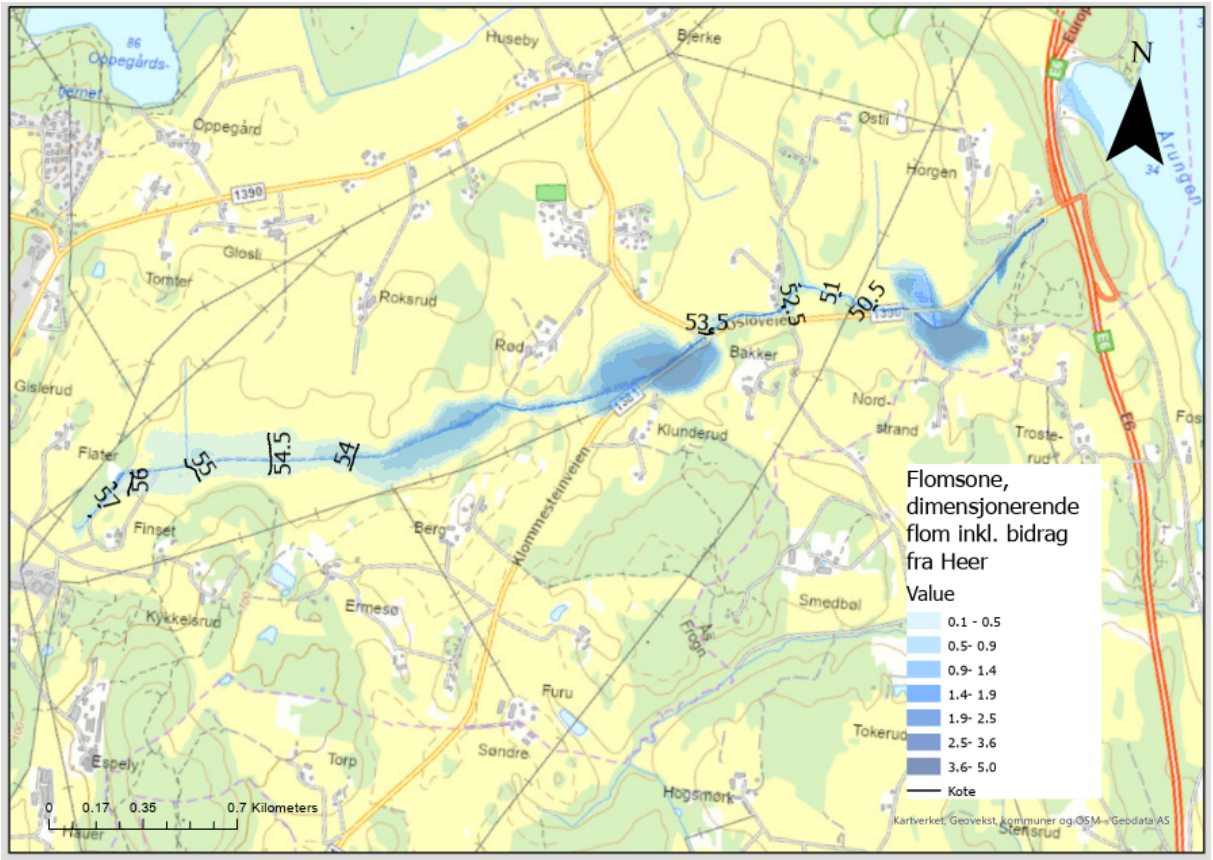
Kapittel 5.3.2 beskriver forskjellene i flomvannstand og vannhastighet for situasjon med og uten flomvannet fra Heer.

5.3.1. Resultater 200-årsflom, inkludert bidrag fra Heer

Beregnet dybde i Storgrava ved dimensjonerende flomvannføring er opptil 4.9 meter i bekkeløpet og opptil 2.9 meter på flomslettene. Gjennomsnittlig dybde i bekkeløpet er 1.3 meter, mens gjennomsnittlig dybde langs flomslettene er 0.9 meter. Variasjon i dybde langs den modellerte strekningen er vist i Figur 5-5, og mer detaljert i vedlegg 4.

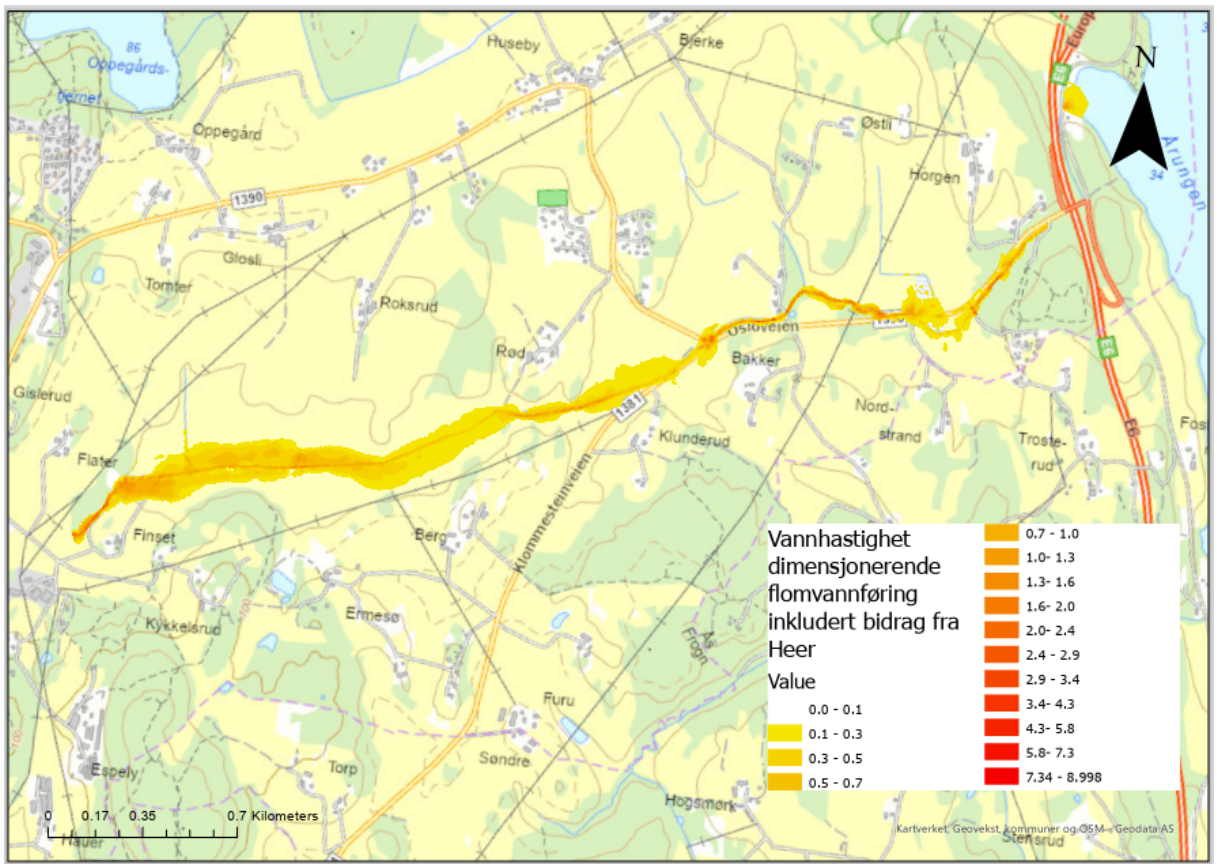
Jevnt over ligger vannhastigheten mellom 0 og 3 m/s langs hele Storgrava, vannhastigheten ligger generelt noe høyere etter kulvert nummer 9 (se Figur 5-4). De høyeste vannhastighetene er innenfor Storgravas bekkeleie, mens vannhastigheten reduseres på flomslettene. Gjennomsnittlig vannhastighet for hele strekket er 0.8 m/s innenfor bekkeleiet, og 0.2 m/s innenfor Storelvas flomsletter. Dersom man deler opp i før og etter kulvert nummer 9 så er gjennomsnittlig vannhastighet innenfor bekkeleiet før og etter kulvert nummer 9 henholdsvis 0.8 og 1.0 m/s.

Flomsone



Figur 5-5 Flomsonen ved 200- års flomvannføring inkludert klimapåslag og sikkerhetsmargin for dagens situasjon, med bidrag av flomvann fra Heer

Hastighet



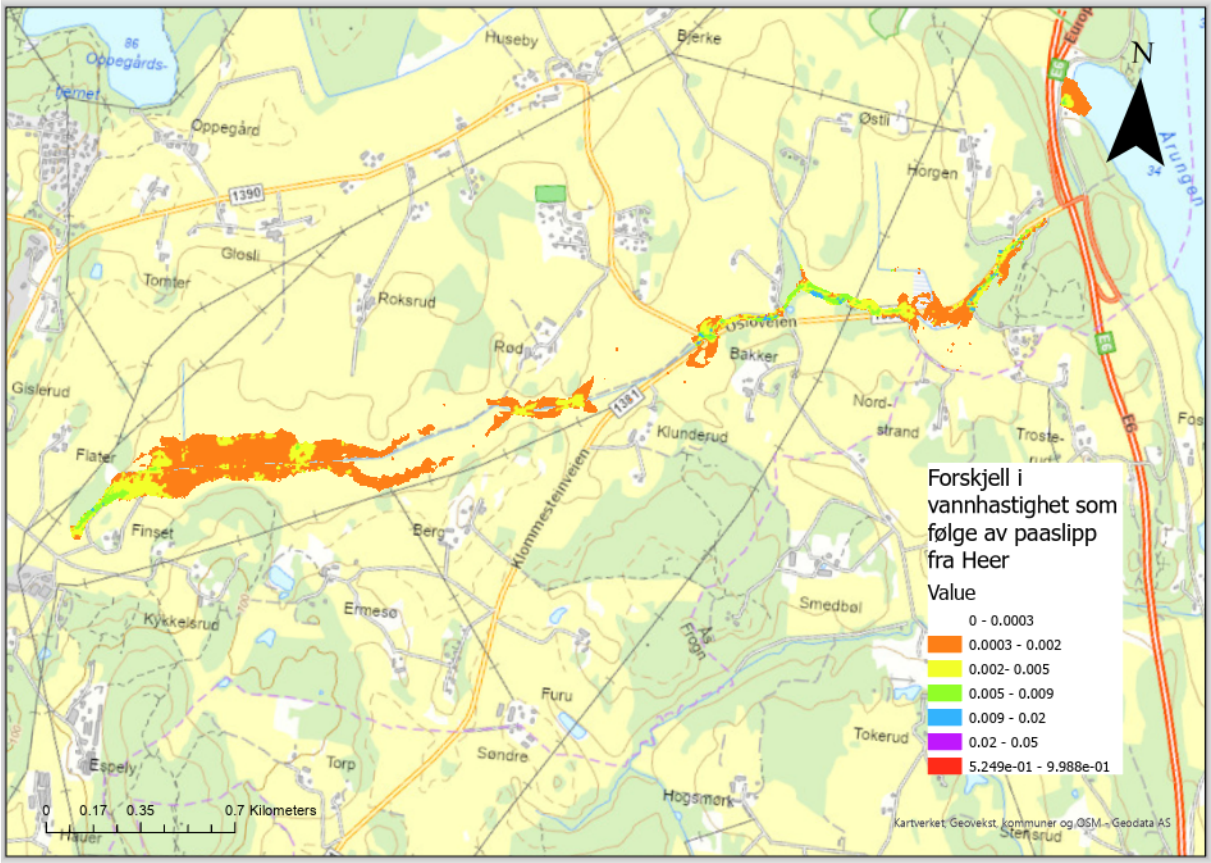
Figur 5-6 Beregnet vannhastighet i Storgrava ved dimensjonerende flomvannføring inkludert flomvann fra Heer

5.3.2. Forskjell som følge av bidraget fra Heer

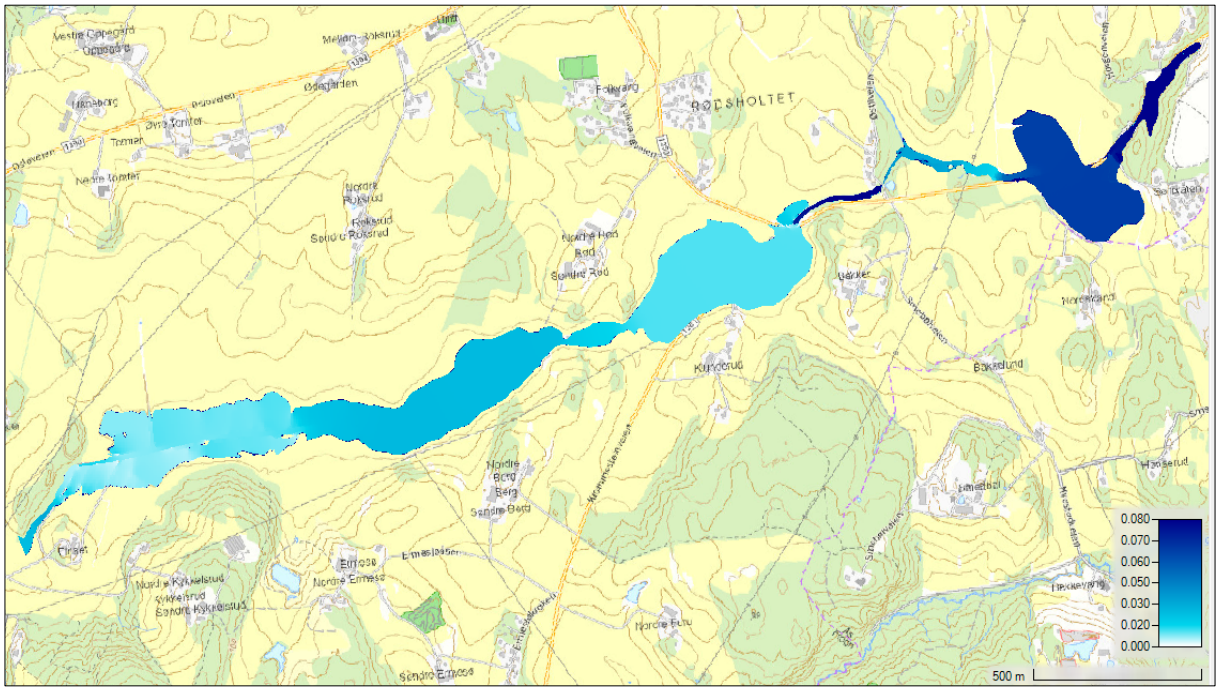
Dersom flomvannet fra Heer ikke sendes til Storgrava vil dette påvirke vannstand og vannhastighet langs Storgrava som vist i Figur 5-7 og Figur 5-8. Det er valgt å benytte en lav skala for å best mulig få frem eventuelle områder med forskjeller. Flomdybden har benyttet skala opp til 8 cm og for vannhastighet en endring opp til 0.1 m/s.

Beregnet vannstand ved dimensjonerende flomvannføring øker med 2 til 8 cm når flomvannet fra Heer inkluderes i beregningen. Øverst i Storgrava er det et lenger strekke med større flomsletter og få konstruksjoner, her er det følgelig minst endring som følge av en økt vannføring. Lenger nedover vassdraget øker forskjellen, dette er på grunn av konstruksjoner og generelt mindre plass til flomvannet å bre seg ut.

Vannhastigheten øker med opptil 0.05 m/s langs Storgrava som følge av påslippet fra Heer, gjennomsnittlig økning er 0.01 m/s.



Figur 5-7 Endring i vannhastighet som følge av påslipp fra Heer



Figur 5-8 Endring i vannstand som følge av påslipp fra Heer

6. Oppsummering

Dimensjonerende flomvannføring henviser i denne rapporten til 200- års flomvannføring inkludert klimapåslag og sikkerhetsmargin. Det er valgt å presentere resultater for dagens situasjon, hvor flomvann fra Heer er inkludert.

Maksimalt beregnet vanndybde ved dimensjonerende flomvannføring inkludert flomvann fra Heer er 4.9 meter i bekk og 2.9 meter innenfor flomsonen. Dersom flomvannet fra Heer ikke inkluderes i beregningen reduseres flomvannstanden med opptil 8 cm. Jevnt over ligger vannhastigheten mellom 0 og 3 m/s langs hele Storgrava, dersom flomvannet fra Heer ikke inkluderes i beregningen reduseres vannhastighet med opptil 0.05 m/s. Endringen i vannhastighet og flomvannstand, med og uten bidrag av flomvann fra Heer, vurderes som små.

De fleste av konstruksjonene langs Storgrava har ikke tilstrekkelig kapasitet for dimensjonerende flomvannføring, dette reduserer vannhastigheten og har en oppstuvende effekt på flomvannet.

Beregnede vannstander og hastigheter kan benyttes som grunnlag for prosjektering av erosjonsikring langs Storgrava. Dersom vassdraget skal erosjonsikres anbefales det å utarbeide en helhetlig plan, der også utskifting av kulverter inngår.

Detaljerte kart med beregnet vannstand og vannhastighet er vist i vedlegg 4 og vedlegg 5.

Kilder

NVE 2010 *Vassdragshåndboka*

NVE 2015 Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt, NVE rapport 07/2015

NVE 2022a Retningslinjer for flomberegning, NVE rapport 01/2022

NVE 2022 b Veileder nr. 1/2022. *Sikkerhet mot flom, utredning av flomfare i reguleringsplan og byggesak*

NVE 2022 c *Sikkerhet mot flom* (NVE 1/2022)

Databaser og verktøy:

HEC 2021. HEC-RAS River Analysis System. User's Manual. Version 6.0.

Høydedata (måned, år). Hentet fra https://hoydedata.no/LaserInnsyn/

Norsk Klimaservicesenter (www.klimaservicesenter.no)

Beregning av kapasitet ved innløpskontroll, Basal.no

HY-8

Vedlegg 1 – Flomberegning, Heer

Flomberegning ved bruk av den rasjonelle formel

Rasjonelle formel	**Heer**
Høyeste punkt i nedbørsfeltet [moh]	144
Laveste punkt i nedbørsfeltet [moh]	99
L, nedbørsfeltets lengde [m]	1000
deltaH [m]	45
Ase	0
Konsentrasjonstid, skogsområder [min]	89
Konsentrasjonstid, urbane felt [min]	13
Andel skogsområder i nedbørsfelt [%]	10
Andel urbant i nedbørsfeltet [%]	90
Konsentrasjonstid, endelig [min]	**20**
i (200) [l/s·ha]	236.6
Areal [ha]	50
C-verdi, vektet [-]	0.56
Q200 [l/s]	6 625
Klimapåslag [%]	1.4
Q200 inkl. klimapåslag [l/s]	**9 275**

C-verdi (øvre sjikt valgt)	
skog	0.2
Moderat tettbygd boligområde	0.6

IVF-kurve: Ås – Rustadskogen (41 sesonger). C-verdier er hentet fra NVE nr. 1 2022, Retningslinjer for flomberegning mens klimapåslag følger av anbefaling på Norsk Klimaservicesenter.

Det forutsettes at varigheten på regnet er lik beregnet konsentrasjonstid. Konsentrasjonstiden er vektet, basert på andel naturlige og urbane deler i nedbørfeltet.

Vedlegg 2 – Mannings n (Chow, 1959)

Naturlige vassdrag Små bekker, bredde <30 m	Vanlige M-verdier
Rette, rene, uten kulper, med full vannføring	30-33-40
Samme, men mer stein og planter Rene, svinget, noen kulper Samme, men noe planter og stein	25-29-33 22-25-30 20-22-29
Samme, men mer stein Samme, lav vannstand, delvis tørrlagt Uryddige, kulpet plantebevokst Svært tilvokst, kulpet. Flomløp	17-20-22 18-21-25 12-14-20 7-10-13
Fjellbekker uten vegetasjon i løpet, men bevokst på sidene: Bunn av grus, stein og blokker Bunn av store steiner og blokker	 20-25-33 14-20-25
Flom over åpent landskap	Vanlige M-verdier
Flomsletter, eng Kort gras Langt gras	 29-33-40 20-29-33
Flomsletter, åkerland Uten vekster Radvekster Moden grøde	 25-33-50 22-29-40 20-25-33
Busklandskap, lett med planter Busker og trær, sommer Busker og trær, vinter	14-20-29 6-13-25 9-16-29
Skog, tett lauvskog, sommer Nyhogd land med stubber	5-7-9 20-25-29

Vedlegg 3 – Bilder av konstruksjoner, Storgrava

Figur og tabell som er presentert i dette vedlegget ble oversendt i et samledokument til Asplan Viak av Frogn kommune 22. Mai 2023. Merk at nummerering av konstruksjoner i figuren i vedlagt dokument avviker noe fra nummerering av konstruksjoner i kapittel 5.2.4. Nummereringen i figuren i vedlagt dokument ligger ett tall lavere sammenlignet med tidligere nummerering i Figur 5-4.

Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
1	Utløp	1	Horgen-Årungen under E6, utløp til Årungen

Figur 1:Kulvertåpning i utløpssone mot Årungen.

Figur 2: Utløpssonen mot Årungen, nedstrøms bilde.

Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
1	Innløp	2	Horgen-Årungen: Innløp til rør under E6, utslipp til Årungen.

Figur 3: Innløp av bekk.

Figur 4: Oppstrømsbilde tatt fra samme sted som Kulvertmåling 2, sprengt kanal i fjell.

Figur 5: Oppstrømsbilde videre opp sprengt kanal. Røret i enden er ikke innmålt, men er utløpet til kulvert nr. 2, vist ved «Kulvertmåling 3».

Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
2	Innløp	3	Osloveien x Sørbråtenveien

Figur 6: Innløpet til kulvert nr. 2. Dette er røret som er synlig fra innmålingsstedet til røret som går under E6. Med «anslag» for høyvannstand ved gress og annet flytstoff som er lagt fra seg av vann.

Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
3	Utløp	4	Osloveien x Sørbråtenveien

Figur 7: Forholdsvis tett mellom kulvert nr. 2 og 3. Bildet er tatt opp fra innløpet til kulvert nr. 2.

Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
3	Innløp	5	Osloveien x Sørbråtenveien

Figur 8: Bildet viser området for kulvertmåling 5. Tegn til høyvannsstand på jordet og til høyre på høyden.

Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
4	Utløp	6	Osloveien x Gosenveien

Figur 9: Bilde fra utløp av kulvert 4, sett nedover vassdraget. Horgenveien med kulverter 2 og 3 skimtes i bakgrunnen ved «skarp sving»-skilt.

Figur 10: Bilde av utløp til kulvert 4 som går under Osloveien.

Figur 11: Bilde av vassdraget mellom Gosenveien og Sørbråtenveien.

Figur 12: Bilde av vassdraget halvveis mellom Gosenveien og Sørbråtenveien.

Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
4	Innløp	7	Osloveien x Gosenveien

Figur 13: Innløp kulvert under Osloveien.

Figur 14: Bilde oppover vassdraget i nærheten av Kulvertmåling 7.

Figur 15: Erosjonssone med vegetasjon i vassdraget. Stedvise leirblotninger.

Figur 16: Graving i kantene. Midt mellom kulvert nr. 4 og 5.

Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
5	Utløp	8	Osloveien

Figur 17: Kulvertmåling 8, to parallelle rør, samme dimensjon.

Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
5	Innløp	9	Osloveien

Figur 18: Kulvertmåling 9, innløp til kulvertmåling 8 med to parallelle rør.

Figur 19: Bilde oppstrøms fra målepunkt.

Figur 20: Videre opp vassdraget, 50 meter opp fra Kulvertmåling 9. Bratte skråninger, tegn til graving der jeg står, hvor strømmen treffer.

Figur 21: Videre opp vassdraget, 150 meter luftlinje fra kulvertmåling 9. Sone på ca. 50 meter med mye utgliding av jord.

Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
6	Bro	10	Østliveien

Figur 22: Kulvertmåling 10, sprengt passasje under Østliveien. Høyde: 4,5 meter, bredde: 3 meter.

Figur 23: Bilde oppstrøms tatt fra bro/kulvert. Tett vegetasjon, tilbake til "vanlig" Storgrava-profil.

Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
7	Liten gangbro	11	

Figur 24: Gangbro for hest og vogn. Lagt direkte over vassdragsprofilen uten å støpe eller endre utforming under.

Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
8	Utløp	12	Osloveien x Klommesteinveien

Figur 25: Foto sett oppstrøms mot kulvert 8. Utglidninger og uthulinger inn langs kanten av bekken, muligens rundt drensrør. Høy skråning.

Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
8	Innløp	13	Osloveien x Klommesteinveien

Figur 26: Nyrehabilitert område.

Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
9	Utløp	14	Osloveien x Klommesteinveien

Figur 27: Utløpsrør til kulvert nr. 9.

Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
9	Innløp	15	Osloveien x Klommesteinveien

Figur 28: Innløpssiden til kulvert 9.

Figur 29: Mellom kulvert 9 og bro/kulvert 10 (synlig lengst opp i bildet).

Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
10	Bro	16	Klommesteinveien

Figur 30: Tegn til oversvømmelse på jordet rundt broen. Erosjon i brokantene observert.

Figur 31: Tegn til oversvømmelse på jordet på andre siden av Klommesteinveien (med liten overvannsbekk).

Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
11	Utløp	17	Finset nord

Figur 32: Utløp rør. Graver en del i utløpet.

Figur 33: Bilde nedstrøms fra målepunkt.

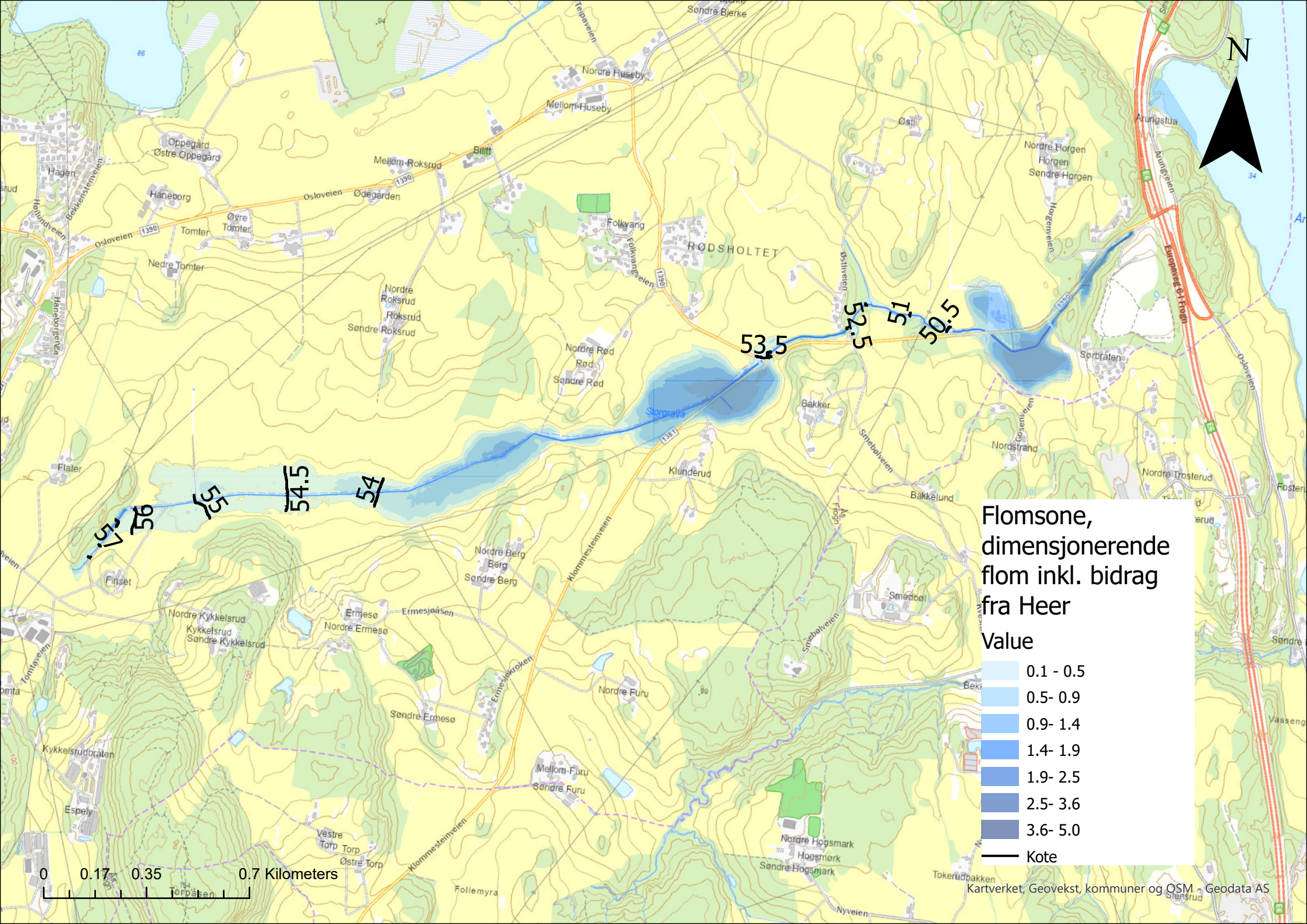
Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
11	Innløp	18	Finset nord

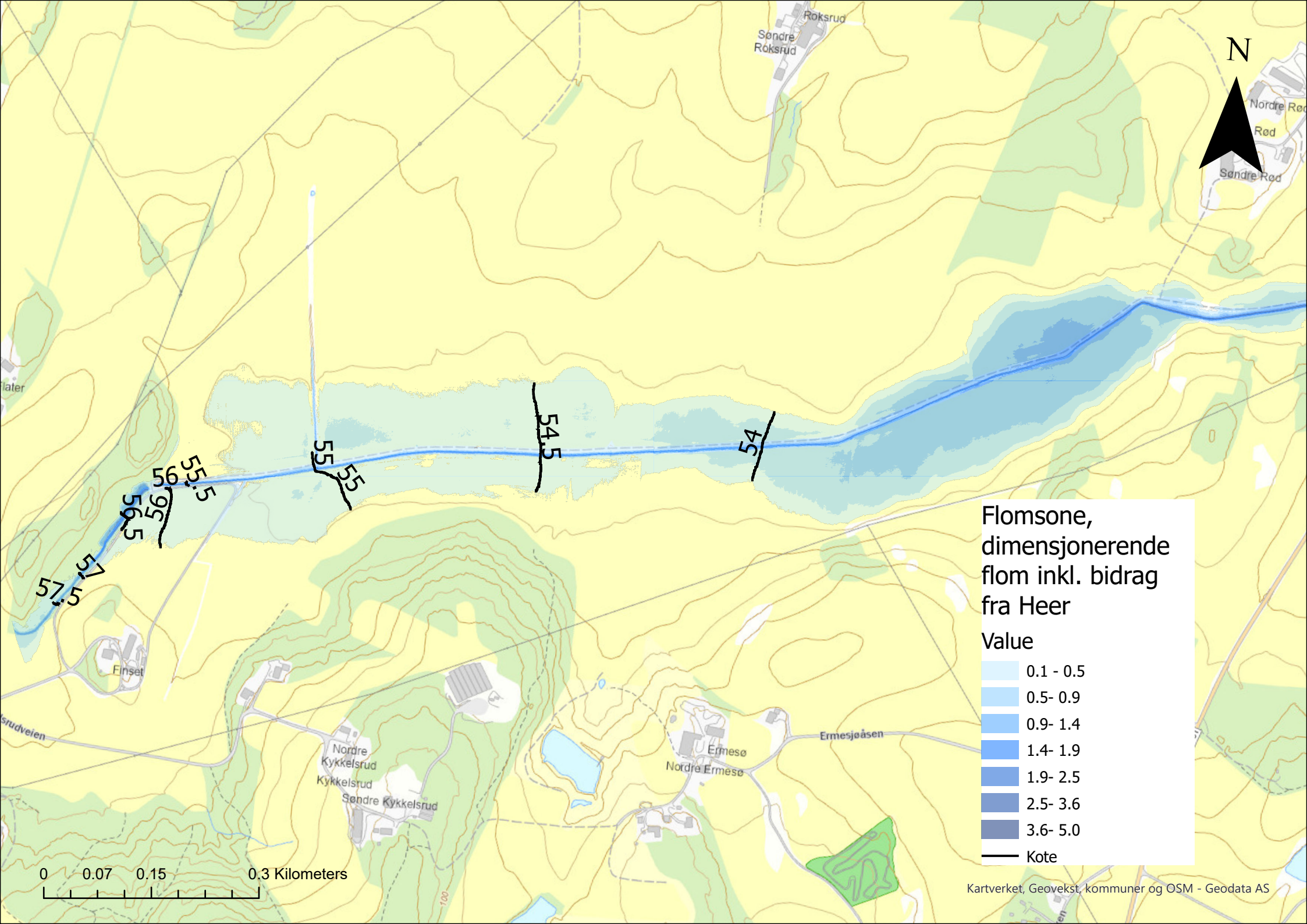
Figur 34: Bekkeleiet mot innløp til kulvert. Mye vegetasjon, vanskelig å få bilder.

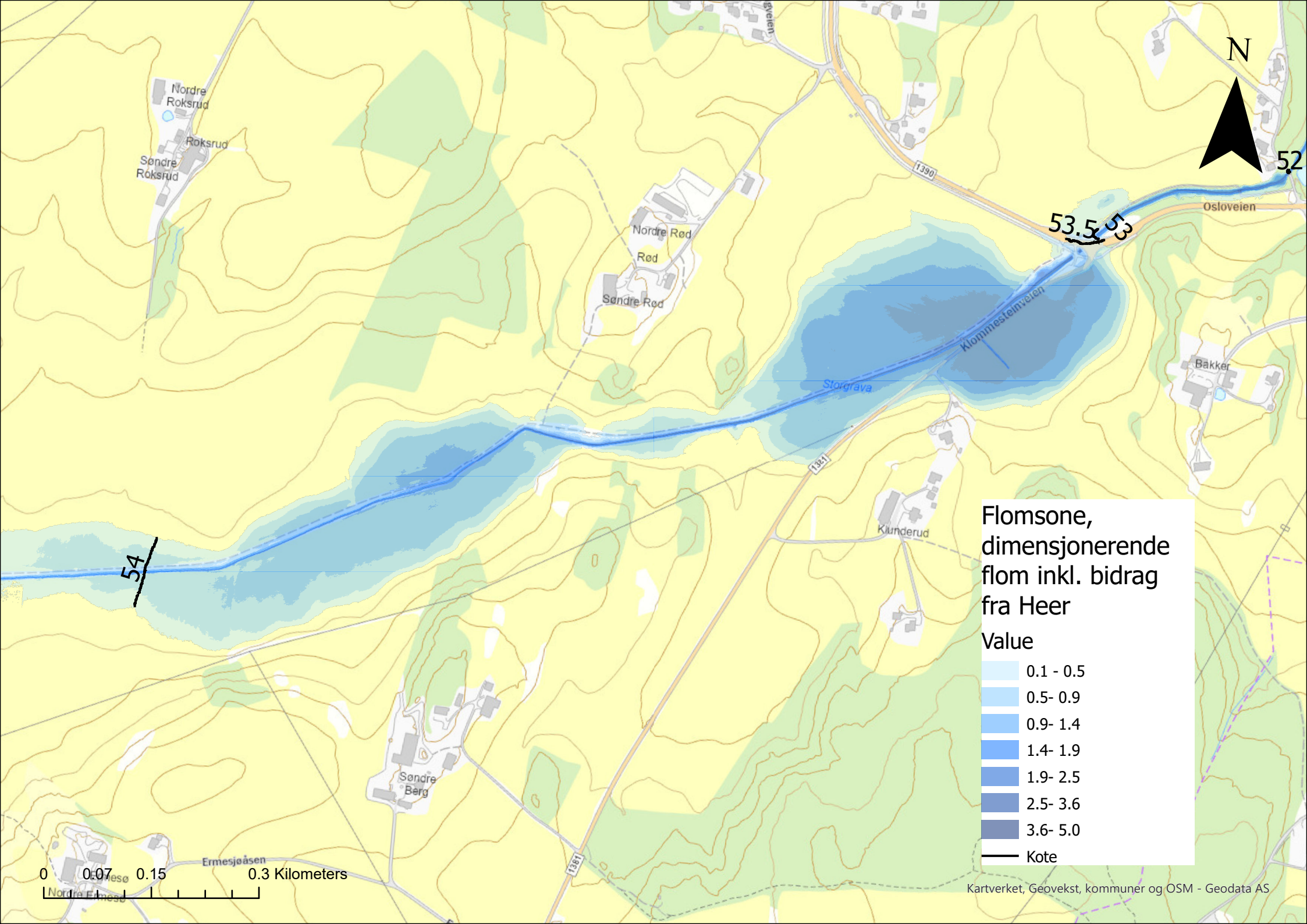
Kulvert nr. (1-8)	Innløp/utløp	Kulvertmåling (1-12)	Sted
11	Innløp	19	Finset sør

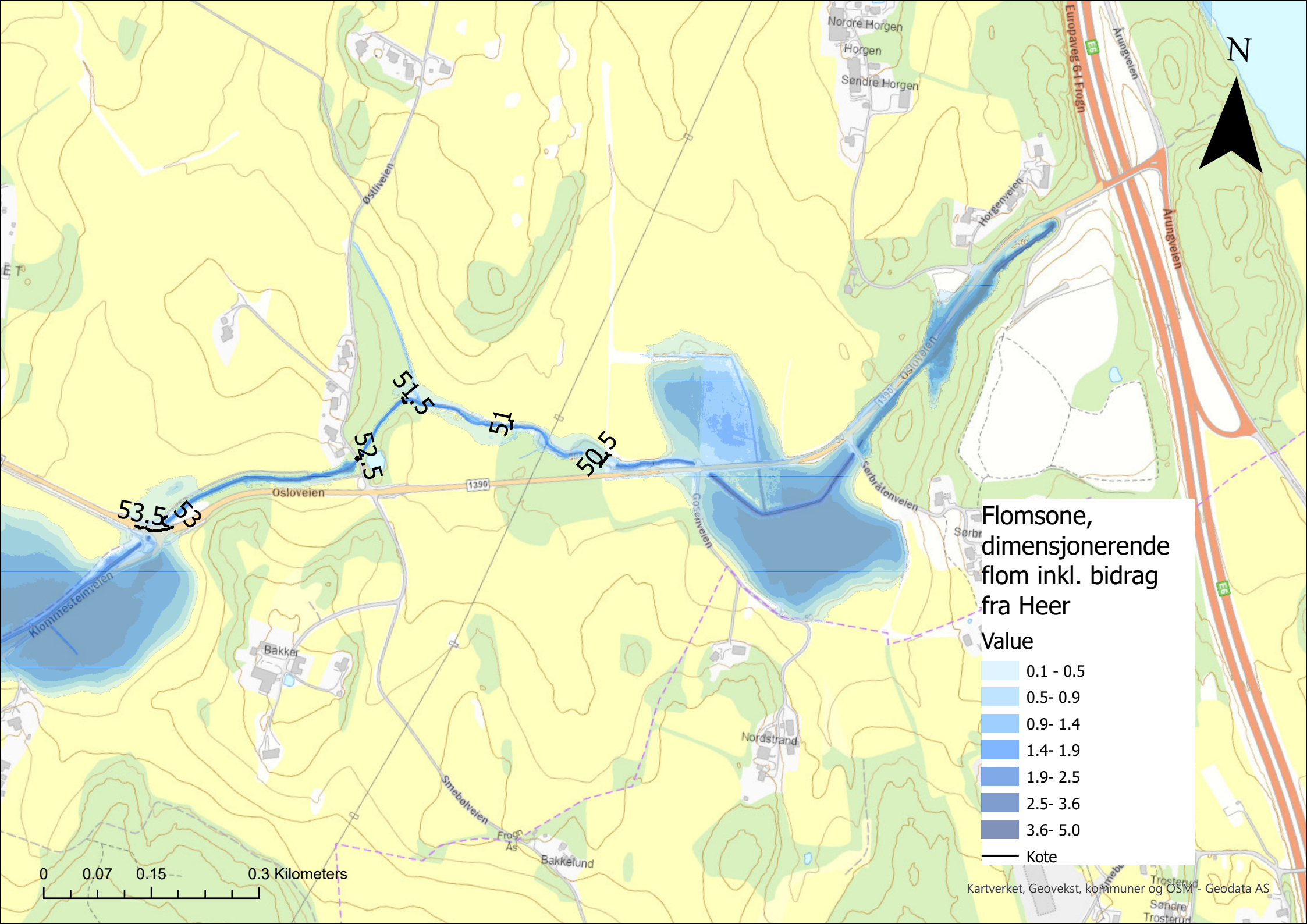
Figur 35: Utløp fra drenering på jordene Kykkelsrudveien/Gislerud/Flater.

Vedlegg 4 – Resultater, flomsonekart dimensjonerende flom inkludert bidrag fra Heer

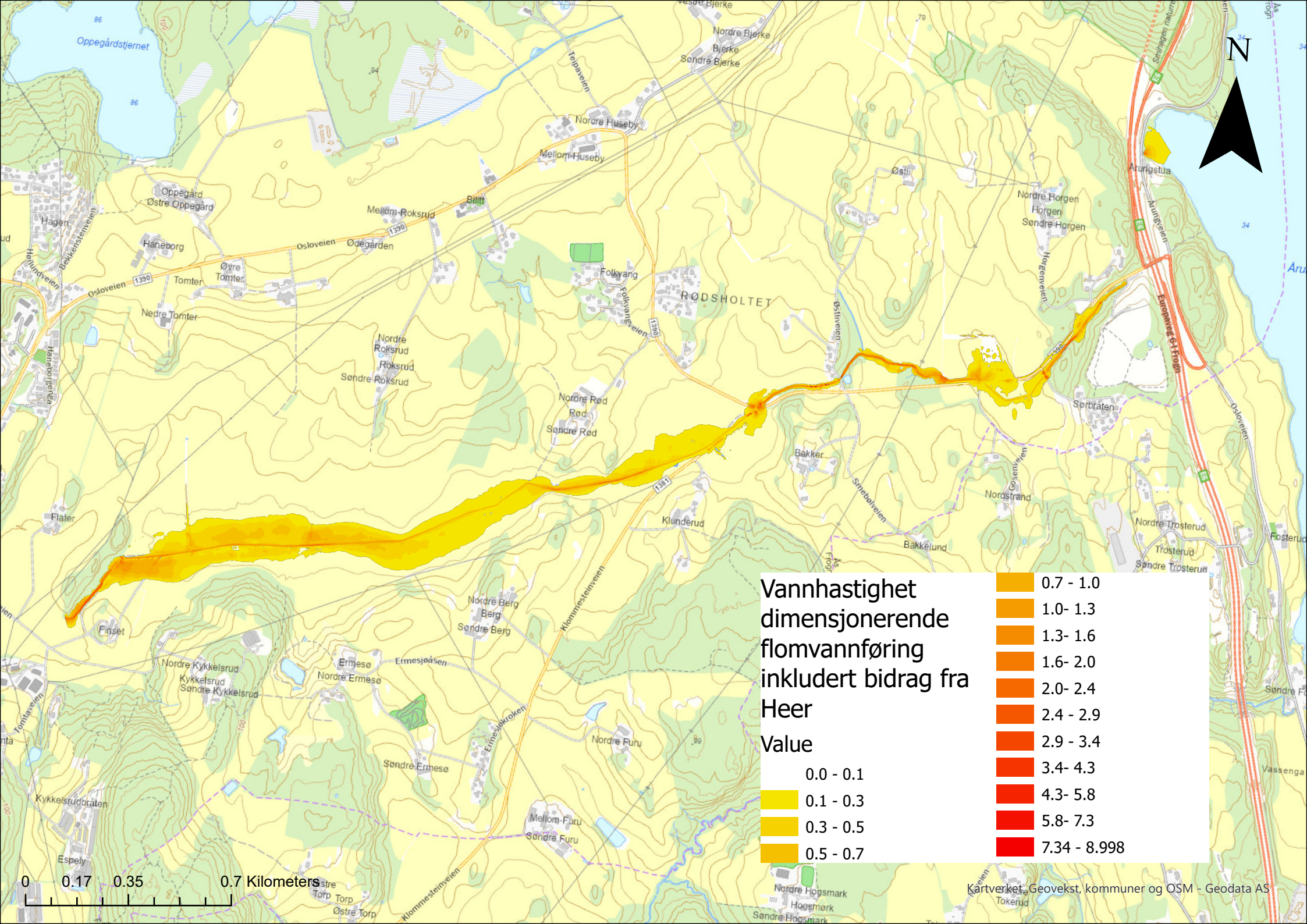

N
Flomsone, dimensjonerende flom inkl. bidrag fra Heer
Value
0.1 - 0.5
0.5- 0.9
0.9- 1.4
1.4- 1.9
1.9- 2.5
2.5- 3.6
3.6- 5.0
Kote
57
56
55
54.5
54
53.5
52.5
51
50.5
0 0.17 0.35 0.7 Kilometers
Kartverket, Geovekst, kommuner og OSM - Geodata AS
RØDSHOLTET
Storgrava
Mellom-Roksrud
Osloveien
Nordre Huseby
Mellom-Huseby
Folkvang
Klunderud
Bakker
Bakkelund
Smedbøl
Nordre Berg
Berg
Søndre Berg
Ermesø
Nordre Ermesø
Ermesjøåsen
Nordre Furu
Søndre Ermesø
Mellom-Furu
Søndre Furu
Nordre Hogsmark
Hogsmark
Søndre Hogsmark
Nordre Kykkelsrud
Kykkelsrud
Søndre Kykkelsrud
Finset
Flater
Nordre Roksrud
Roksrud
Søndre Roksrud
Nordre Rød
Rød
Søndre Rød
Nordre Huseby
Nordre Horgen
Horgen
Søndre Horgen
Arungstua
Sørbråten
Nordstrand
Nordre Trosterud
Klommesteinveien
Smebølveien
Europaveg 6 Frogn
Kykkelsrudbråten
Espely
Vestre Torp
Torp
Østre Torp
Follemyra
Tokerudbakken
Nyveien
Vassenga

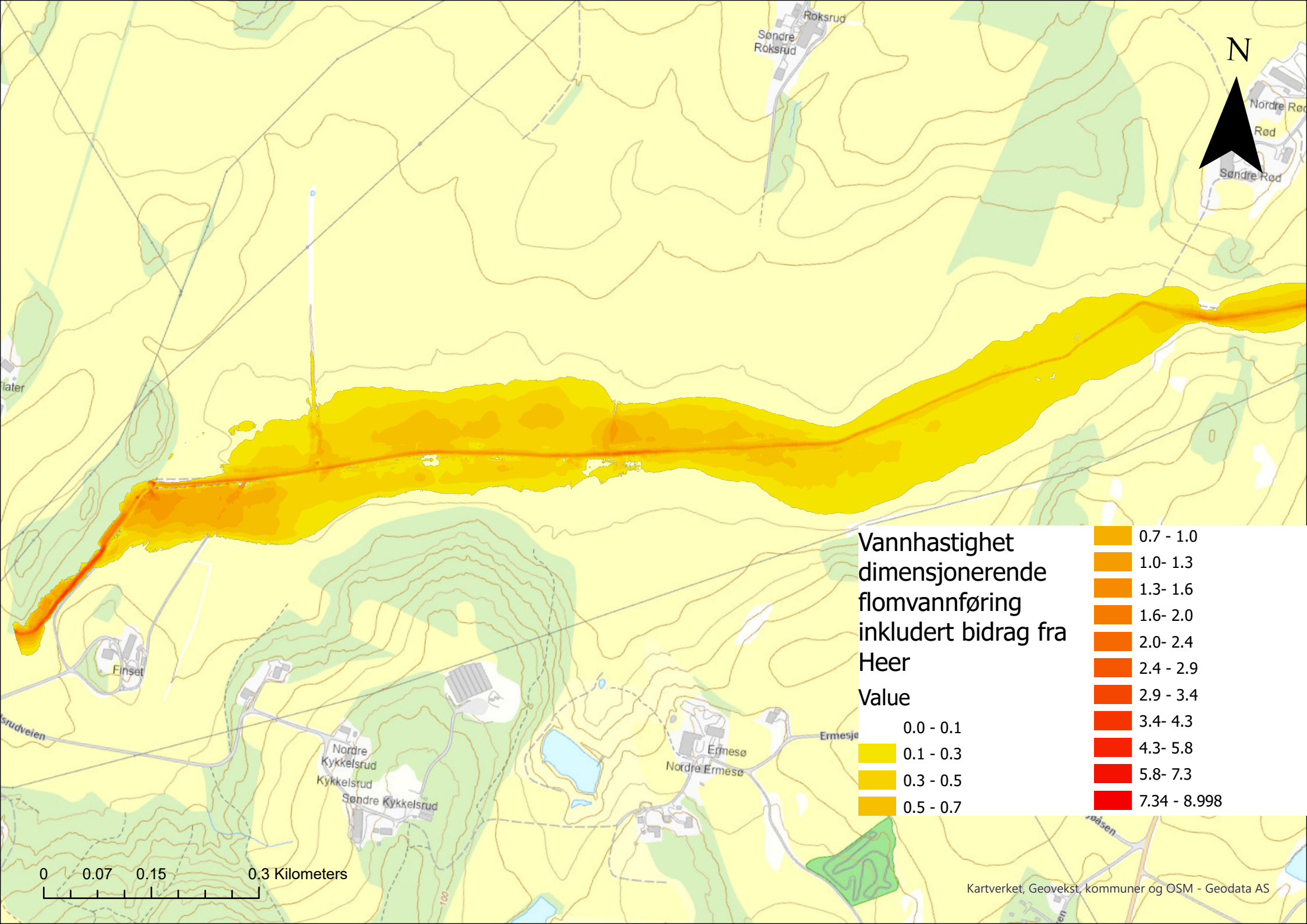

N
Flomsone, dimensjonerende flom inkl. bidrag fra Heer
Value
0.1 - 0.5
0.5- 0.9
0.9- 1.4
1.4- 1.9
1.9- 2.5
2.5- 3.6
3.6- 5.0
Kote
0 0.07 0.15 0.3 Kilometers
Kartverket, Geovekst, kommuner og OSM - Geodata AS
Roksrud
Søndre Roksrud
Nordre Rød
Rød
Søndre Rød
Finset
Nordre Kykkelsrud
Kykkelsrud
Søndre Kykkelsrud
Ermesø
Nordre Ermesø
Ermesjøåsen
57.5
57
56.5
56
55.5
55
55
54.5
54

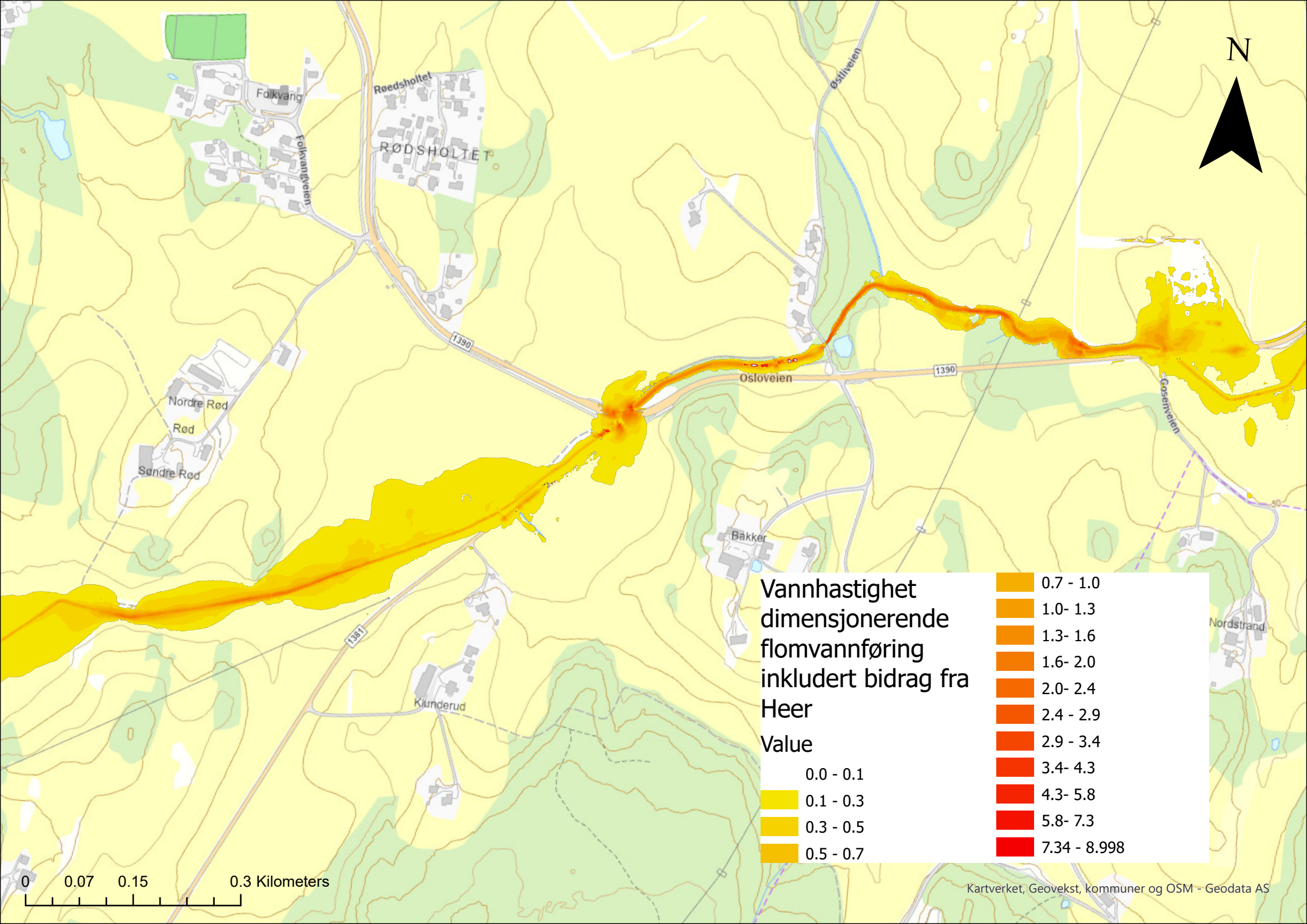

N
Flomsone, dimensjonerende flom inkl. bidrag fra Heer
Value
0.1 - 0.5
0.5- 0.9
0.9- 1.4
1.4- 1.9
1.9- 2.5
2.5- 3.6
3.6- 5.0
Kote
0 0.07 0.15 0.3 Kilometers
Kartverket, Geovekst, kommuner og OSM - Geodata AS
52
53.5
53
54
Nordre Roksrud
Roksrud
Søndre Roksrud
Nordre Rød
Rød
Søndre Rød
Storgrava
Klommestein veien
Osloveien
Bakker
Klunderud
Søndre Berg
Ermesjøåsen
Nordre Ermesø
1390
1381

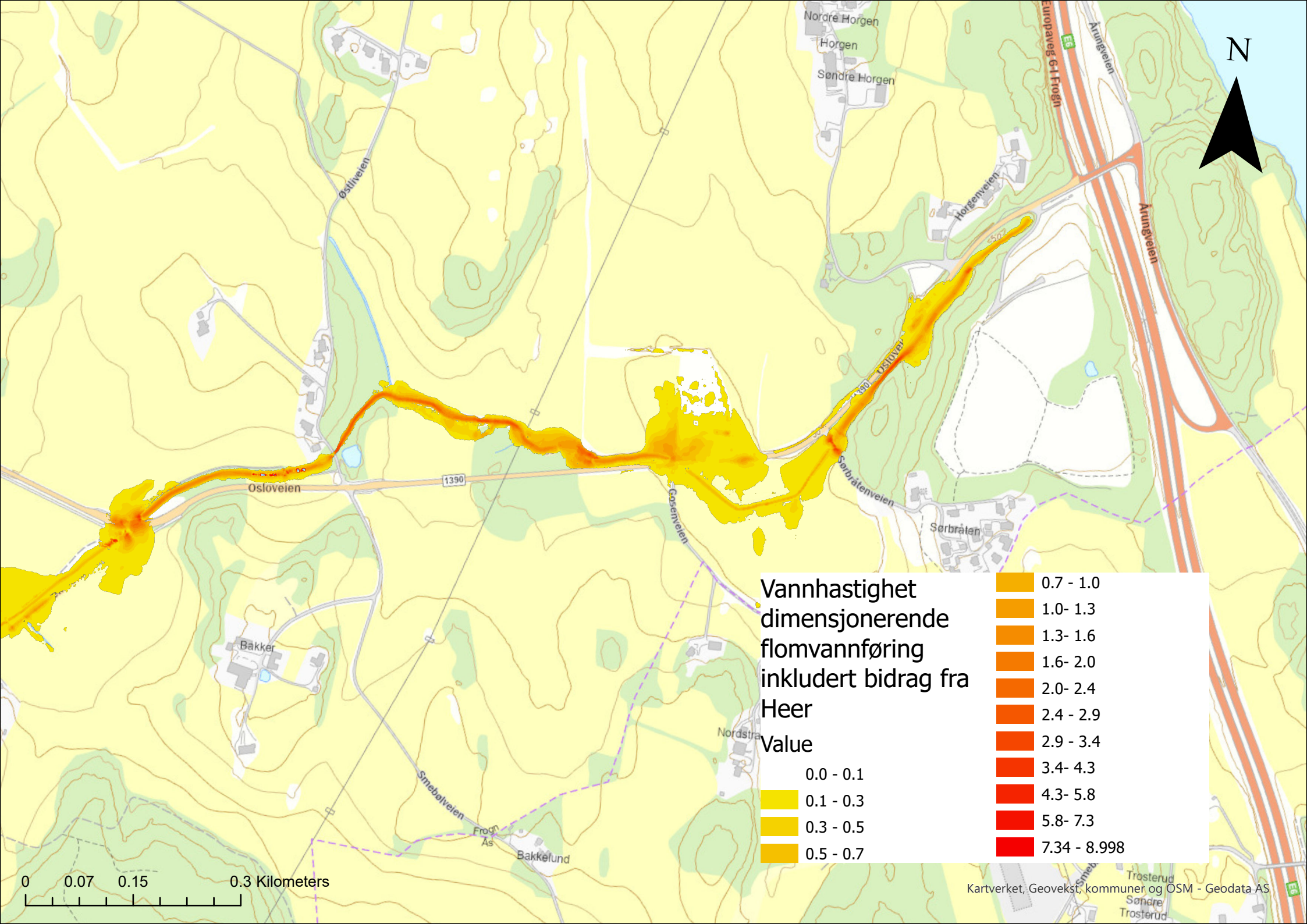

N
Flomsone, dimensjonerende flom inkl. bidrag fra Heer
Value
0.1 - 0.5
0.5- 0.9
0.9- 1.4
1.4- 1.9
1.9- 2.5
2.5- 3.6
3.6- 5.0
Kote
53.5
53
52.5
51.5
51
50.5
Osloveien
1390
Klommesteinveien
Bakker
Østliveien
Smebolveien
Frogn As
Bakkelund
Nordstrand
Gossveien
Sørbråtenveien
Osloveien
Horgenveien
Nordre Horgen
Horgen
Søndre Horgen
Europaveg 6-I Frogn
E6
Årungveien
Kartverket, Geovekst, kommuner og OSM - Geodata AS
0
0.07
0.15
0.3 Kilometers

Vedlegg 5 – Resultater, vannhastighet ved dimensjonerende flom inkl. bidrag fra Heer


N
Vannhastighet dimensjonerende flomvannføring inkludert bidrag fra Heer
Value
0.0 - 0.1
0.1 - 0.3
0.3 - 0.5
0.5 - 0.7
0.7 - 1.0
1.0- 1.3
1.3- 1.6
1.6- 2.0
2.0- 2.4
2.4 - 2.9
2.9 - 3.4
3.4- 4.3
4.3- 5.8
5.8- 7.3
7.34 - 8.998
0 0.17 0.35 0.7 Kilometers
Kartverket, Geovekst, kommuner og OSM - Geodata AS
Oppegårdstjernet
Nordre Bjerke
Bjerke
Søndre Bjerke
Nordre Huseby
Mellom-Huseby
Oppegård
Østre Oppegård
Hagen
Haneborg
Mellom-Roksrud
Bilitt
Osloveien
Ødegården
Øvre Tomter
Tomter
Nedre Tomter
Folkvang
RØDSHOLTET
Nordre Roksrud
Roksrud
Søndre Roksrud
Nordre Rød
Rød
Søndre Rød
Østli
Nordre Horgen
Horgen
Søndre Horgen
Arungstua
Arungveien
Europavegen
Sørbråten
Bakker
Bakkelund
Nordstrand
Klunderud
Flater
Finset
Nordre Berg
Berg
Søndre Berg
Klommesteinveien
Nordre Kykkelsrud
Kykkelsrud
Søndre Kykkelsrud
Ermesø
Nordre Ermesø
Ermesjøåsen
Ermesjøkroken
Nordre Furu
Søndre Ermesø
Kykkelsrudbråten
Mellom-Furu
Søndre Furu
Espely
Nordre Trosterud
Trosterud
Søndre Trosterud
Fosterud
Vassenga
Nordre Hogsmark
Hogsmark
Søndre Hogsmark
Tokerud
Østre Torp
Torp
Østre Torp


N
Vannhastighet dimensjonerende flomvannføring inkludert bidrag fra Heer
Value
0.0 - 0.1
0.1 - 0.3
0.3 - 0.5
0.5 - 0.7
0.7 - 1.0
1.0- 1.3
1.3- 1.6
1.6- 2.0
2.0- 2.4
2.4 - 2.9
2.9 - 3.4
3.4- 4.3
4.3- 5.8
5.8- 7.3
7.34 - 8.998
0 0.07 0.15 0.3 Kilometers
Kartverket, Geovekst, kommuner og OSM - Geodata AS
Roksrud
Søndre Roksrud
Nordre Rød
Rød
Søndre Rød
Finset
Nordre Kykkelsrud
Kykkelsrud
Søndre Kykkelsrud
Ermesø
Nordre Ermesø


N
Vannhastighet dimensjonerende flomvannføring inkludert bidrag fra Heer
Value
0.0 - 0.1
0.1 - 0.3
0.3 - 0.5
0.5 - 0.7
0.7 - 1.0
1.0- 1.3
1.3- 1.6
1.6- 2.0
2.0- 2.4
2.4 - 2.9
2.9 - 3.4
3.4- 4.3
4.3- 5.8
5.8- 7.3
7.34 - 8.998
0
0.07
0.15
0.3 Kilometers
Kartverket, Geovekst, kommuner og OSM - Geodata AS
Folkvang
Folkvangveien
Røedsholtet
RØDSHOLTET
Østliveien
1390
Osloveien
Nordre Rød
Rød
Søndre Rød
Bakker
Gosenveien
Nordstrand
1381
Klunderud


N
Vannhastighet dimensjonerende flomvannføring inkludert bidrag fra Heer
Value
0.0 - 0.1
0.1 - 0.3
0.3 - 0.5
0.5 - 0.7
0.7 - 1.0
1.0- 1.3
1.3- 1.6
1.6- 2.0
2.0- 2.4
2.4 - 2.9
2.9 - 3.4
3.4- 4.3
4.3- 5.8
5.8- 7.3
7.34 - 8.998
0 0.07 0.15 0.3 Kilometers
Kartverket, Geovekst, kommuner og OSM - Geodata AS
Nordre Horgen
Horgen
Søndre Horgen
Europaveg 6-1 Frogn
Årungveien
Østliveien
Horgenveien
Osloveien
1390
Gosenveien
Sørbråtenveien
Sørbråten
Bakker
Nordstra
Smebølveien
Frogn As
Bakkelund
Trosterud
Søndre Trosterud