EKSTERN RAPPORT

Nr. 11/2020

Flomsonekart
Delprosjekt Tovdalselva

Dr. Blasy – Dr. Øverland Beratende Ingenieure

Ekstern rapport nr. 11/2020

Flomsonekart

Delprosjekt Tovdalselva

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør: Svein Arne Jerstad

Forfatter: Dr. Blasy – Dr. Øverland Beratende Ingenieure

Forsidefoto: Sørlandsflommen 2017. Foto: Tor Kenneth Gibbs Bergland
ISBN: 978-82-410-2030-8
ISSN: 2535-8235
Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 20

Sammendrag: Det er utarbeidet flomsoner for 10-, 20-, 50-, 100-, 200-, 500-, og1000-årsflom for Tovdalselva fra Topdalsfjorden til Teinefoss oppstrøms Flakksvann. I tillegg er det utarbeidet flomsone for 20-, 200-, og 1000 årsflom i et endret klima i år 2100. Grunnlaget for flomsonene er flomberegninger, vannlinjeberegninger, elvebunnsdata og terrengmodell. Rapporten erstatter tidligere Delprosjekt Flaksvann.

Emneord: Tovdalseva, Flakksvann, Birkeland, Drangsholt, Boenfossen, Tveit, Hamre, flom, flomberegning, vannlinjeberegning, flomsone, terrengmodell

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
E-post: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

Juni, 2020

Forord

Et nasjonalt kartgrunnlag – flomsonekart – er under etablering for de vassdragene i Norge som har størst skadepotensial. Hovedmålet med kartleggingen er forbedret arealplanlegging, byggesaksbehandling og beredskap i flomutsatte områder, slik at skadene ved flom blir redusert.

I forbindelse med utredning av mulige tiltak for å sikre Drangsholt og Birkeland mot flom, er det etablert en ny hydraulisk modell som omfatter strekningen fra Topdalsfjorden til Birkeland.

Denne rapporten presenterer resultatene for flomsonekartet for Tovdalselva på den aktuelle strekningen i Kristiansand og Birkenes kommuner i Agder fylke.

Dette flomsonekartet erstatter Delprosjekt Flakksvann fra 2005.

Tønsberg, juni 2020

Anne Britt Leifseth
direktør

Anne Cathrine Sverdrup
regionsjef

Flomsonekart – Delprosjekt Tovdalselva

27.11.2019

Oppdragsgiver: Norges vassdrags- og energidirektorat
Region sør
Anton Jenssensgate 7
3103 TØNSBERG

Forfatter: Dr. Blasy - Dr. Øverland Beratende Ingenieure
Moosstraße 3
82279 Eching am Ammersee

Rapport

1. Prosjektets formål og fremgangsmåte 1

2. Datagrunnlag 3

2.1 Hydrologiske data 3

2.1.1 Nedbørfeltet 3

2.1.2 Hydrometriske stasjoner 6

2.1.3 Observerte flommer 8

2.1.4 Flomberegning 8

2.1.5 Klimaframskrivinger for flom 10

2.1.6 Ekstremvannstander i sjø, nå og i et endret klima 12

2.2 Topografiske data 12

2.2.1 Terrengmodell 12

2.2.2 Elvebunn 13

2.2.3 Kalibreringsdata 13

3. Hydrauliske beregninger 14

3.1 Modellering 14

3.2 Grensebetingelser 15

3.3 Kalibrering 16

3.4 Særskilt om bruer og kulverter 19

3.5 Ekstremvannanalyse 29

3.6 Vannlinje 29

3.7 Vannhastighet 30

3.8 Følsomhetsanalyse 30

4. Flomsonekart 31

4.1 10-årsflom 31

4.2 20-årsflom 31

4.3 50-årsflom 31

4.4 100-årsflom 31
4.5 200-årsflom 32
4.6 500-årsflom 37
4.7 1000-årsflom 37
4.8 20-årsflom med klimapåslag 37
4.9 200-årsflom med klimapåslag 37
4.10 1000-årsflom med klimapåslag 37
4.11 Hastighetskart 38
4.12 Lavpunktanalyse 41
5. Usikkerhet 42
5.1 Flomberegning 42
5.2 Havnivå 42
5.3 Hydrauliske beregninger 43
5.4 Flomsoner 43
6. Andre faremoment i området 44
6.1 Is og isgang 44
6.2 Erosjons- og sikringstiltak 44
7. Sammendrag 46

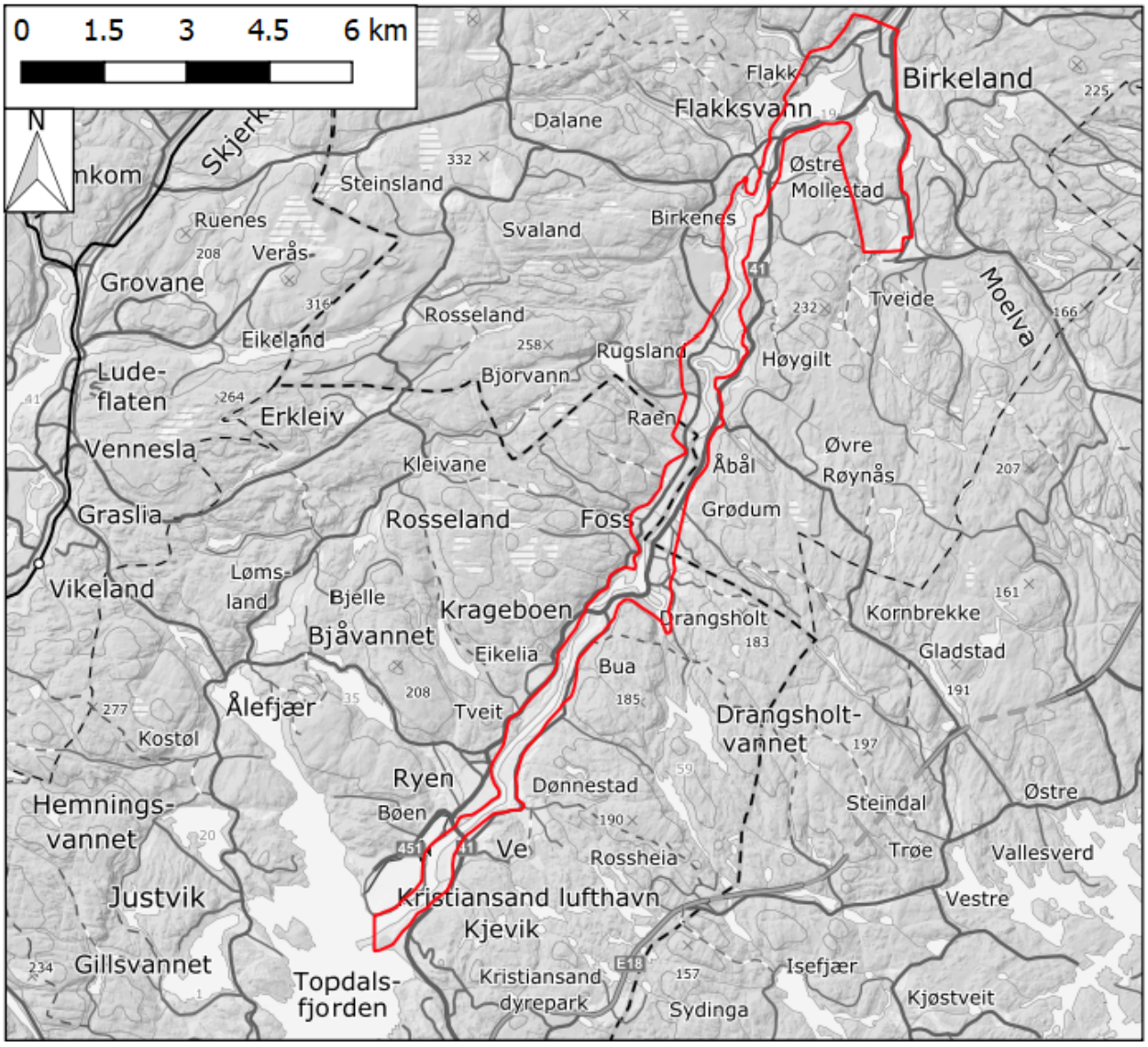
1. Prosjektets formål og fremgangsmåte

Formålet med prosjektet er å utarbeide flomsonekart for Tovdalselva på strekningen Teinefoss oppstrøms Flaksvatn til havet (ca. 20 km). Det kartlagte området (figur 1.1) berører Kristiansand kommune og Birkenes kommune. Vannstander, flomsoner og vannhastigheter ble beregnet ved hjelp av en todimensjonal, hydraulisk modell. Det ble brukt den hydrauliske modellen, som ble satt opp for samme elvestrekning i forbindelse med prosjektet «flomsikring Tovdalsvassdraget». I dette prosjektet ble det utarbeidet flomsikringskonsepter for Birkeland og Drangsholt på oppdrag av NVE.

Beregningsnettet for den hydrauliske modellen ble satt opp på grunnlag av lasermålte terrengdata, terrestriskt oppmålte data, lasermålte vanndybder (grønn laser) og dybdedata oppmålt fra båt. Det hydrologiske grunnlaget er basert på NVEs flomberegning for Flaksvatn og NEVINA. Nedstrøms grensebetingelse, dvs. havnivået i Topdalsfjorden, er hentet fra Kartverkets data.

Elvestrekningen ble befart den 18. og 19. juni 2019.

Beregningsresultatene ble bearbeidet ved hjelp av GIS-programvare. Det ble utarbeidet flomsoner med isolinjer for hele elvestrekningen. Isolinjene ble tynnet ut i bratte partier av elva. For strekningen nedstrøms Boenfoss ble det også laget kart over vannhastigheter og strømningsretninger.



Figur 1.1 Avgrensing av kartlagt område. Bakgrunnskart: Topgrafisk norgeskart, Kartverket.

2. Datagrunnlag

2.1 Hydrologiske data

Det hydrologiske grunnlaget for Tovdalsvassdraget er dokumentert i NVEs flomberegning for Flaksvatnet[1]. Følgende kapitler oppsummerer de viktigste data og analyseresultater.

2.1.1 Nedbørfeltet

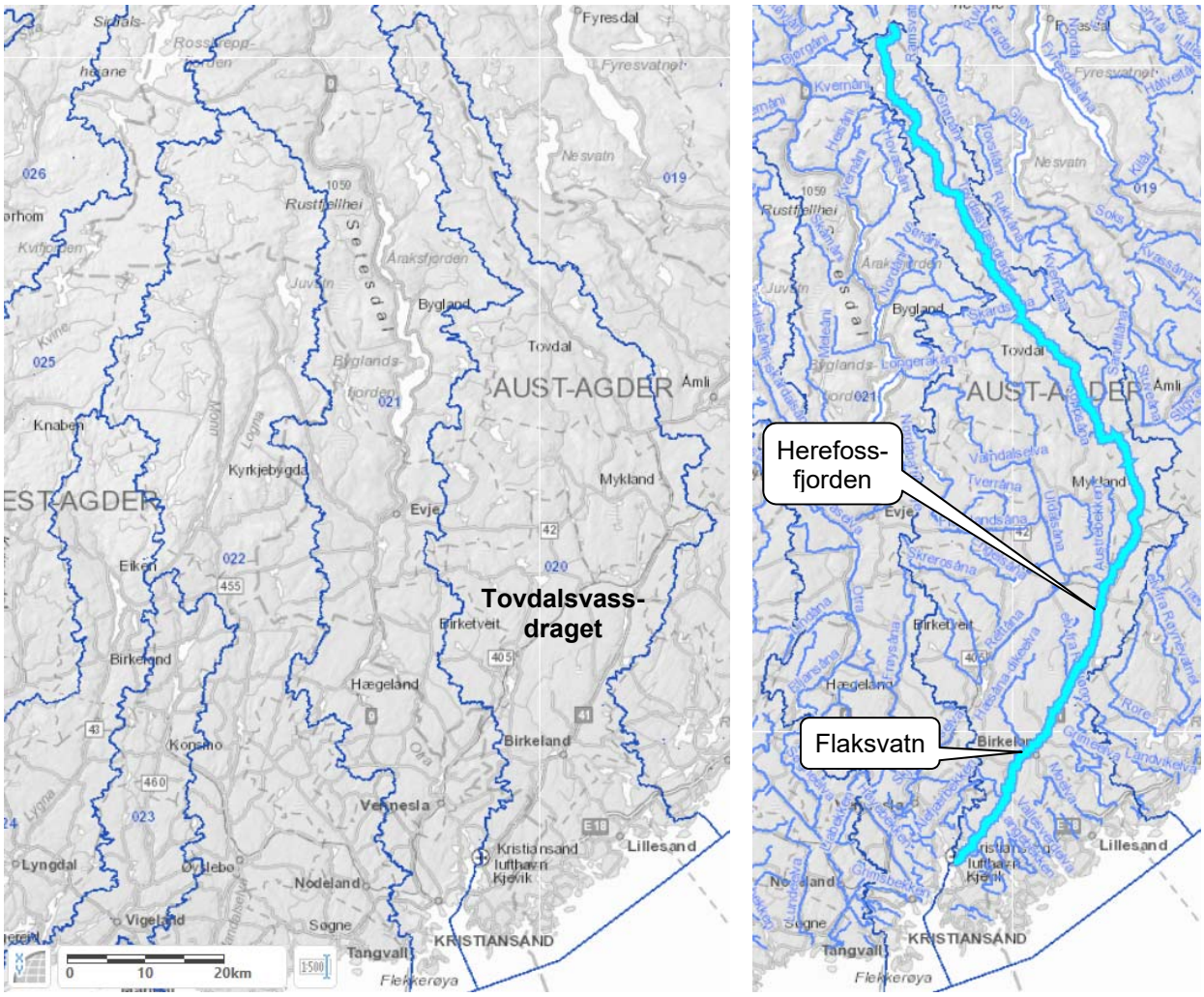
Tovdalsvassdraget ligger i en overgangssone mellom Øst- og Vestlandet, kyst og innland. Fra fjellområdene skjer dreneringen gjennom dype daler i et kupert heilandskap. Som elvesystem er vassdraget karakterisert ved at hovedelva har liten gradient. Den binder sammen et nett av innsjøer og fanger opp mange sideelver og bekker. De mange små vannene er forbundet med korte strie elveløp, av og til trange gjel.

Tovdalselva har sitt utspring i Mjåvatn og Straumsfjorden sør for Valleheiane i Setesdal. Hovedelva renner i sørøstlig retning og er 120 km lang (figur 2.1). Den vestlige delen av vassdraget er regulert. Tovdalsvassdraget berører kommunene Birkenes, Bygland, Evje, Hornnes, Froland, Fyrresdal, Iveland, Kristiansand, Valle og Åmli. Vassdraget består i hovedsak av hovedelva i øst og det regulerte Uldalsåna-Skjeggedalsvassdraget i vest, som tilløper hovedelva i Herefossfjorden. Lenger sør, ved Flaksvatn, tilløper Dikeelva. Fra Flaksvatn drenerer vassdraget samlet i Tovdalselva til utløpet i Topdalsfjorden.

Tovdalsvassdragets nedbørfeltareal er 1867 km^2, og årstilsig er 1951 mill. m^3. Nedbørfeltet til utløpet av Flaksvatn har et areal på 1781 km^2. Normalavrenningen for Flaksvatnets nedbørfelt er 33 $l/s/km^2$.

Tovdalselva nord for Herefossfjorden er uregulert. I den regulerte, vestlige delen av vassdraget, i Uldalsåna-Skjeggedalsvassdraget, er det fire vannkraftverk og seks magasiner (tabell 2.1, figur 2.2). I tillegg er det seks mini- / mikro-kraftverk i vassdraget, deriblant Boenfoss kraftverk. Reguleringsprosenten for Tovdalsvassdraget er 9 %[1].

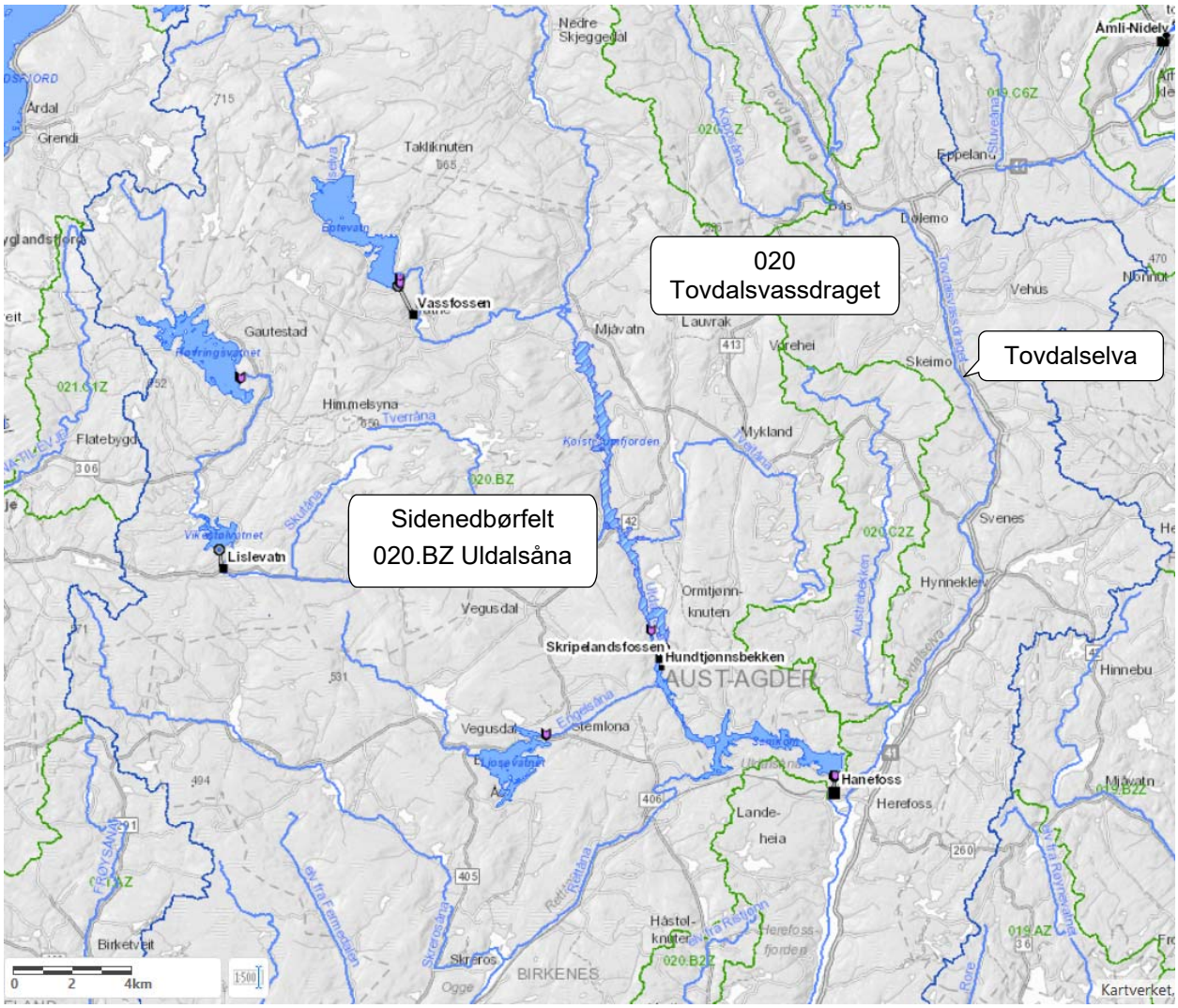
[1] *Flomberegninger for Flaksvatn i Tovdalselva – Revisjon av rapport 14/2003 - revidert versjon januar 2004 (2018) Rapport nr. 76-2018, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo.* http://publikasjoner.nve.no/rapport/2018/rapport2018_76.pdf



Figur 2.1 Oversikt over nedbørfeltet til Tovdalselva, vassdragsområde 020. Hovedelva er vist med lysblå, tjukk linje. Kart fra NVE Atlas, www.atlas.nve.no.

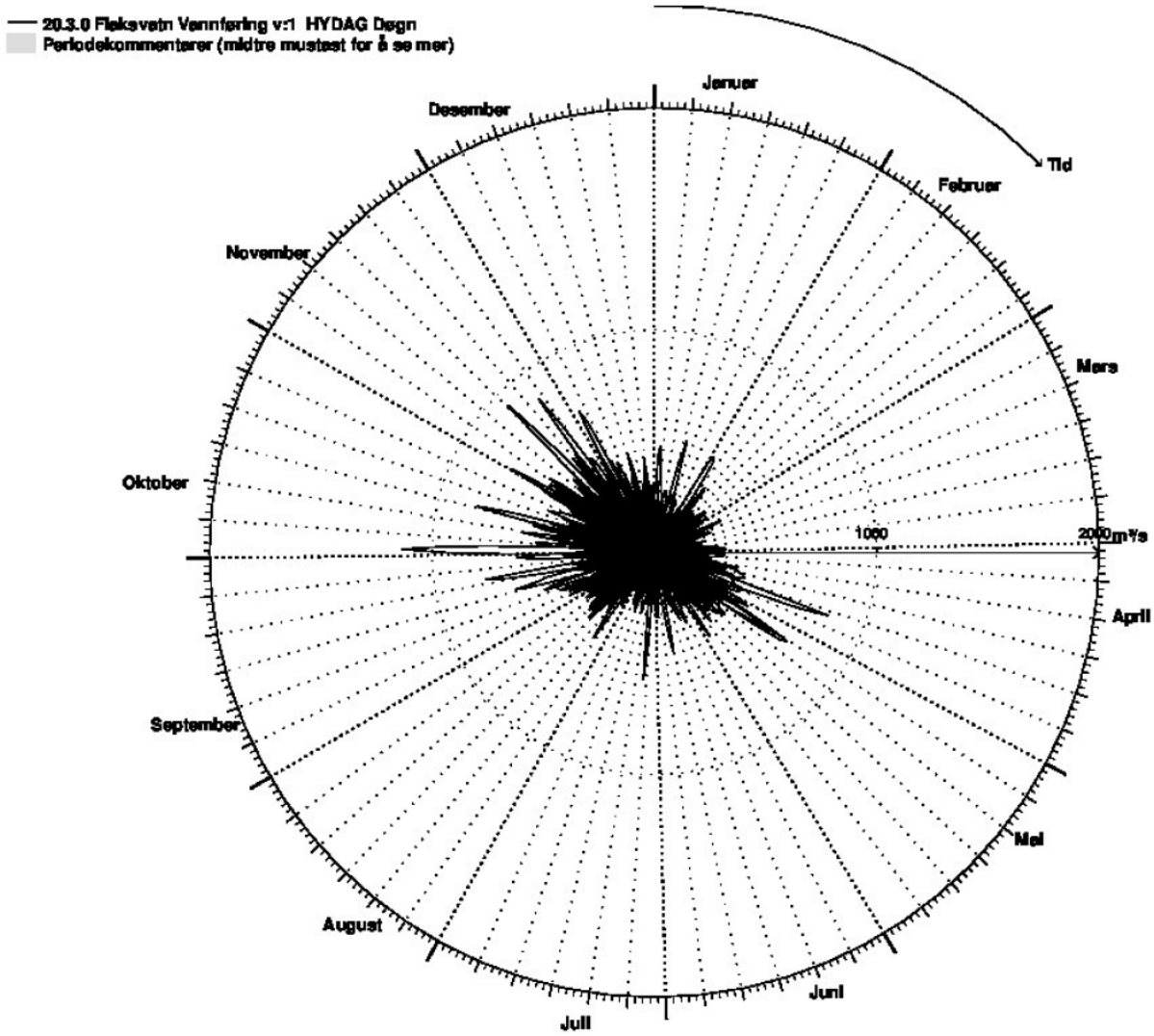
Tabell 2.1 Kraftverk og magasiner i den vestlige delen av Tovdalsvassdraget. Kilde: NVE Atlas.

Magasin	LRV [moh]	HRV [moh]	Magasinvolum [Mill. m³]	Vannkraftverk (maks. ytelse) [MW]
Samkom	140,69	148,69	11,6	Hanefoss (22)
Kolstraumfjorden	158,18	160,90	8,6	Skripelandsfossen (2,6)
Ljosevatnet	220,06	222,56	4,8	Hanefoss (22)
Vikestølvatnet	420,67	436,67	8,4	Lislevatn (4,2)
Høvringsvatnet	474,63	482,63	22,0	Lislevatn (4,2)
Eptevatn	328,60	350,00	44,0	Vassfossen (5,5)



Figur 2.2 Kart over kraftverk og magasiner i den vestlige delen av Tovdalsvassdraget. Kart fra NVE Atlas www.atlas.nve.no.

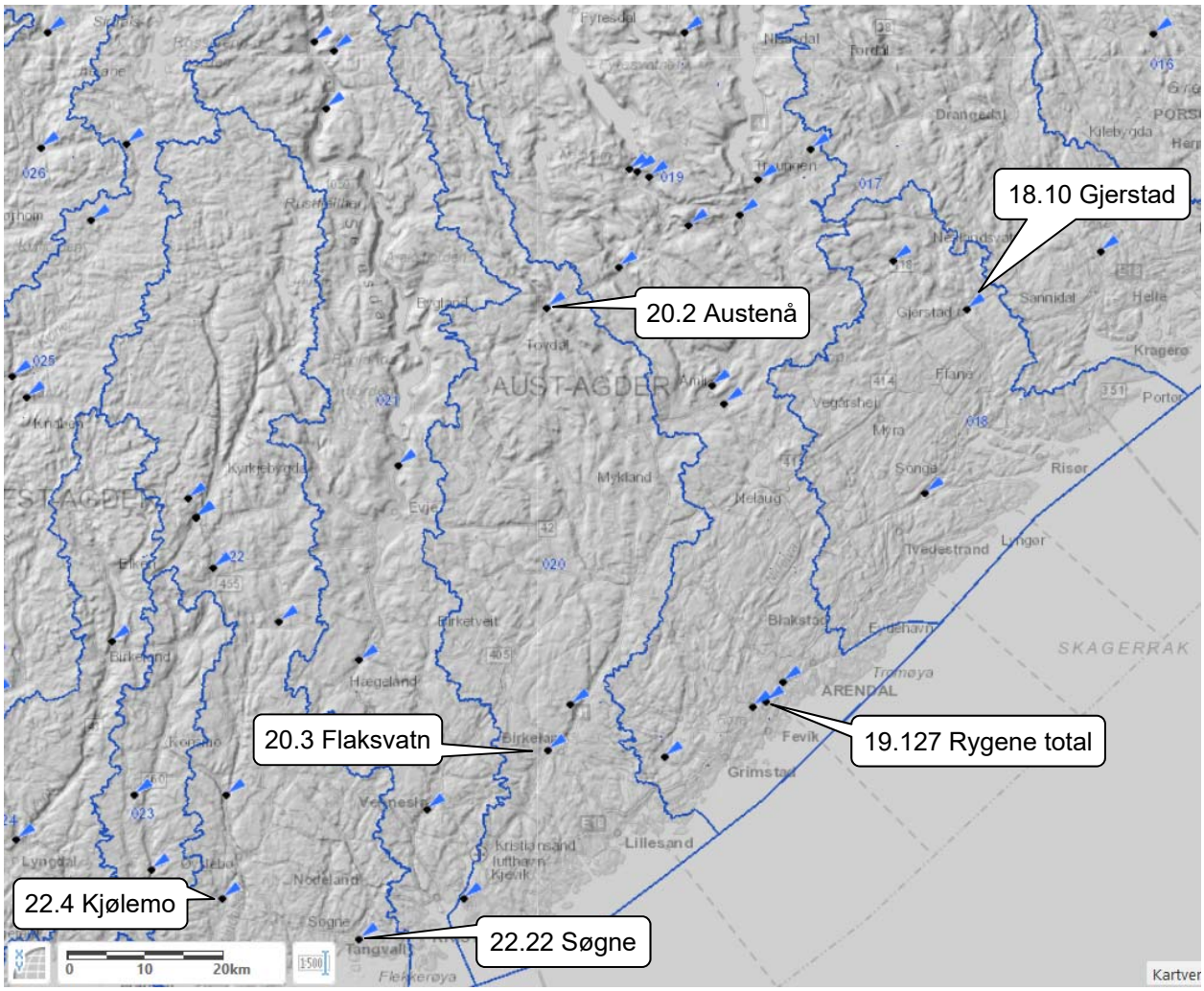
Tovdalselva har to flomsesonger (figur 2.3). Store flommer forekommer både om høsten og om våren. Hyppigst er nok flommene om høsten i månedene august til november, men også en del om våren i april og mai.



Figur 2.3 Flommer i Tovdalsvassdraget ved 20.3 Flaksvatn fra 1899 til 2017. Sirkelen representerer året med januar øverst, og mars / april til høyre. Kilde: NVEs flomberegning for Flaksvatnet[1].

2.1.2 Hydrometriske stasjoner

I Tovdalselvas nedbørfelt finnes det fire målestasjoner. 20.3 Flaksvatn og 20.2 Austenå ble brukt i flomfrekvensanalysen. 20.6 Ogge og 20.11 Tveitdalen ble ikke analysert fordi Ogge har svært usikker vannføringskurve, og Tveitdalen har et svært lite nedbørfelt med store forskjeller i feltegenskaper. Målestasjoner fra nærliggende områder fra utenfor nedbørfeltet, som er sammenlignbare med Flaksvatn, er 18.10 Gjerstad, 22.4 Kjølemo, 19.127 Rygene total og 22.22 Søgne. Oversikt over stasjonene og feltkarakteristika finnes i figur 2.4 og tabell 2.2.



Figur 2.4 Kart over målestasjoner. Stasjoner brukt i flomfrekvensanalysen er merket av grønt. Kart fra NVE Atlas www.atlas.nve.no.

Tabell 2.2 Feltparametere for målestasjoner i Tovdalsvassdraget og nærliggende områder. Kilde: NVEs flomberegning for Flaksvatnet[1].

Stasjon	Feltareal [km²]	Q_N (61-90) [l/s/km²]	Eff. sjø [%]	Høydeintervall [moh]	Median høyde [moh]
20.3 Flaksvatn	1781	33	0,59	19 - 1109	354
20.2 Austenå	277	37	2,00	225 - 1109	773
18.10 Gjerstad	237	35	1,64	50 - 659	294
22.22 Søgne	210	30	0,07	10 - 464	182
22.4 Kjølemo	1757	47	0,57	20 - 1162	559
19.127 Rygene total	3950	29	1,87	14 - 1521	543

2.1.3 Observerte flommer

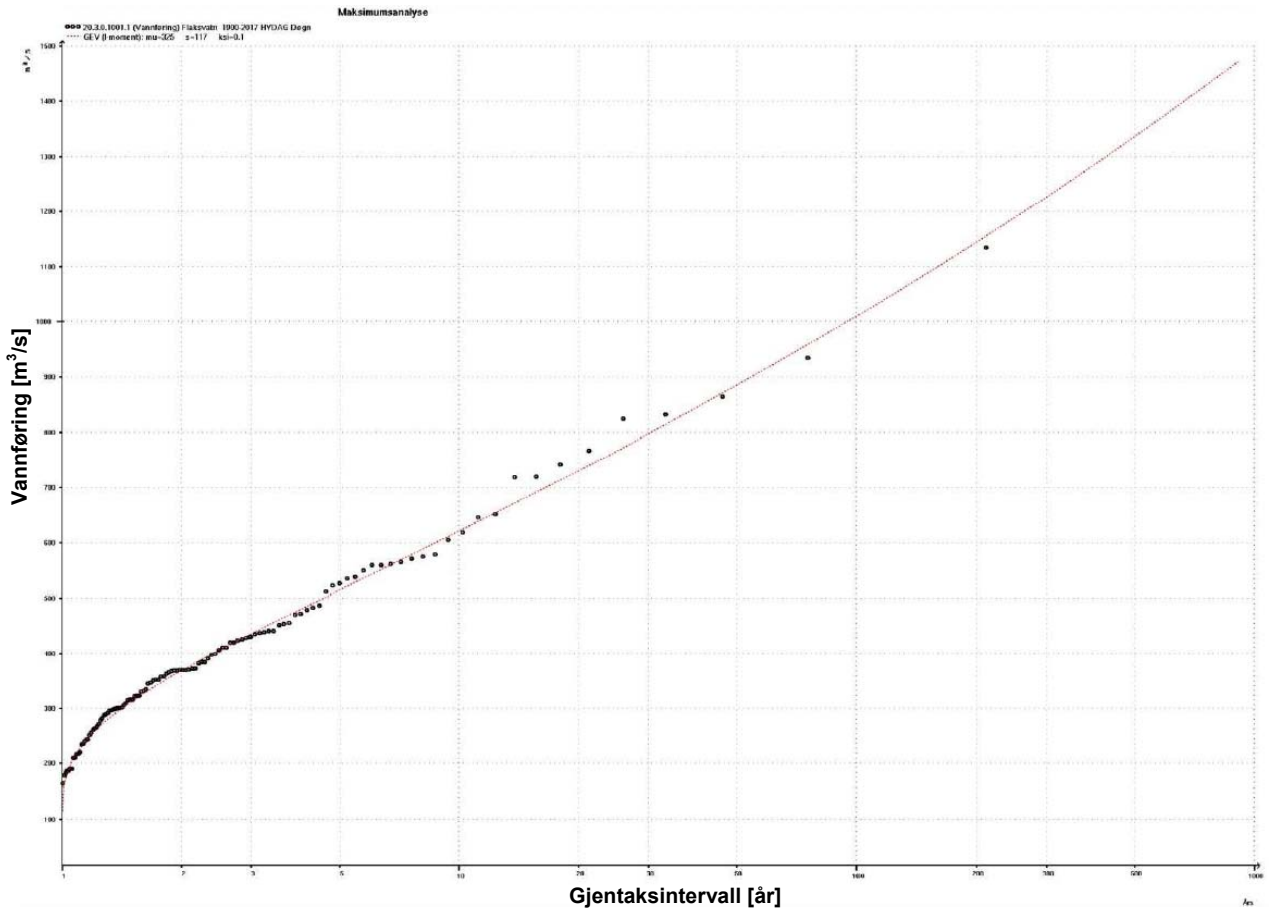
De største observerte flommene i Tovdalsvassdraget er gitt i tabell 2.3. Flommen i 2017 var mye større enn alle andre flomhendelser i løpet av måleperioden helt tilbake til 1899. Vannføringsmålingene under denne flommen har ført til endring i vannføringskurven med virkning tilbake til 1980. Dette er fordi ikke alle flomhendelsene har registrert kulminasjonsvannføring, da timesverdier ikke ble registrert før etter 1980. Datakvaliteten på tidsserien vurderes som meget bra på flom og normalvannføring, samt bra på lavvann.

Tabell 2.3 De seks største årsflommene i Tovdalselva ved 20.3 Flaksvatn og 20.2 Austenå. Strek betyr at informasjon om kulminasjonsvannføringen ikke er funnet i NVEs dataarkiv Hydra II. Kilde: NVEs flomberegning for Flaksvatnet[1].

Stasjon	Observasjons-periode	År	Dato	Døgnmiddel-vannføring [m^3/s]	Døgnmiddel-vannføring [$l/s/km^2$]	Kulminasjons-vannføring [m^3/s]
20.3 Flaksvatn	1899 - 2017	2017	02/10	1134	637	1195
		1959	16/11	934	524	-
		1949	24/11	864	485	-
		1937	22/04	832	467	-
		1987	16/10	824	463	858
		1930	22/09	767	431	-
20.2 Austenå	1924 - 2017	1927	04/06	131	473	-
		1987	16/10	130	469	134
		2017	02/10	129	466	174
		2008	01/05	124	448	129
		1938	04/10	115	415	-
		2014	31/08	113	408	163

2.1.4 Flomberegning

Flomberegningen er utført ved bruk av flomfrekvensanalyse for vannføringsserien fra målestasjon 20.3 Flaksvatn. GEV-fordelingen (*General Extreme Value*) ble valgt som representativ fordeling for de observerte flommene (figur 2.5).



Figur 2.5 Flomfrekvensanalyse av 20.3 Flaksvatn (1900 - 2017) med fordelingsfunksjonen GEV. Observerte flommer er vist med svarte punkter. Kilde: NVEs flomberegning for Flaksvatnet[1].

Ved bruk av et forholdstall mellom momentanvannføring og døgnmiddelvannføring på 1,05 beregnet NVE kulminasjonsverdier (tabell 2.4). Forholdstallet ble beregnet ved gjennomsnittet av forholdstall fra observerte flommer.

I tillegg til Flaksvatnet ble det beregnet Kulminasjonsvannføringer ved utløpet av Tovdalselva i Topdalsfjorden. Lokalt tilsig mellom Flaksvatnet og utløpet ble arealskalert ved bruk av døgnmiddelverdier fra 22.22 Søgne som representativ avrenning.

Tabell 2.4 Kulminasjonsvannføringer i Tovdalselva med forholdstall 1,05. Kilde: NVEs flomberegning for Flaksvatnet[1].

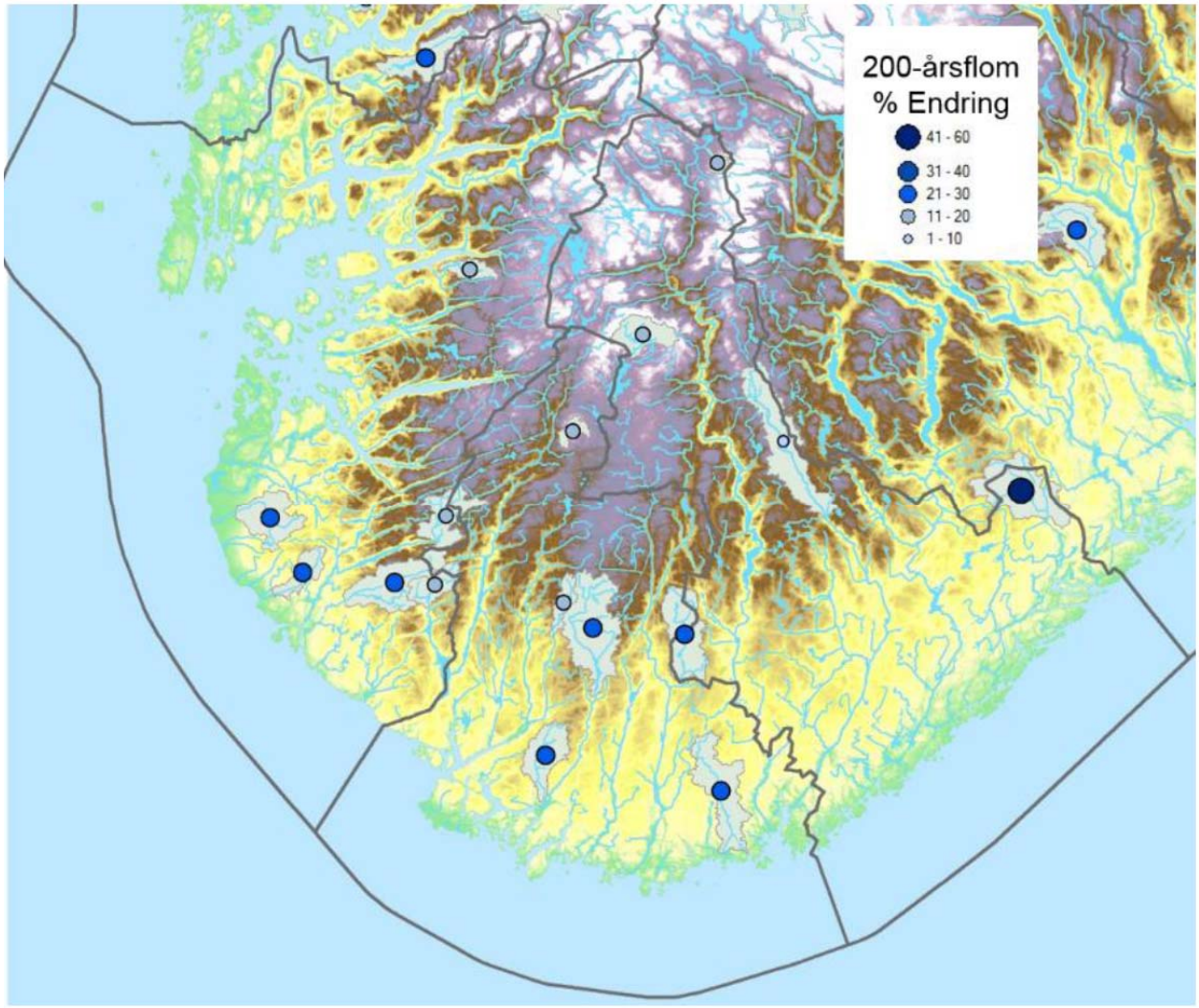
Sted	Areal [km^2]	Q_M [m^3/s]	Q_5 [m^3/s]	Q_{10} [m^3/s]	Q_{20} [m^3/s]	Q_{50} [m^3/s]	Q_{100} [m^3/s]	Q_{200} [m^3/s]	Q_{500} [m^3/s]	Q_{1000} [m^3/s]
20.3 Flaksvatn	1781	426	541	652	768	930	1061	1202	1403	1568
Utløp i Topdalsfjorden	1867	463	587	704	827	997	1135	1280	1487	1656

2.1.5 Klimaframskrivinger for flom

NVE har beregnet endringer i flomstørrelse som følge av klimaendringer frem til år 2100[2]. Størrelsen på endringene er blant annet avhengig av hvor i Norge vassdraget befinner seg, og av størrelsen på nedbørfeltet. I Rogaland og Agder forventes nedbørfelt som ligger nær kysten å ha 20 til 30 % større flom i fremtiden (figur 2.6). Mer høytliggende nedbørfelt i innlandet har mindre enn 20 % forventet økning. NVE anbefaler en økning i flomstørrelse på 20 % for alle større nedbørfelt i Rogaland og Agder. For nedbørfelt med areal mindre enn 100 km^2 er anbefalingen en økning på minst 20 %.

Tovdalsvassdraget er et relativt stort vassdrag som strekker seg fra høytliggende områder i innlandet til kysten. Det brukes derfor et klimapåslag på 20 %. Med klimapåslaget blir kulminasjonsvannføringer i Tovdalselva som vist i tabell 2.5.

[2] *NVE (2016) Klimaendring og framtidige flommer i Norge. Rapport 81-2016, Norges vassdrags- og energidirektorat, Oslo.*



Figur 2.6 Endring i flomstørrelse frem til år 2100 for nedbørfelt i Rogaland og Agder[2].

Tabell 2.5 Kulminasjonsvannføringer i Tovdalselva inklusive 20 % klimapåslag. Kilde: NVEs flomberegning for Flaksvatnet[1].

Sted	Areal [km^2]	Q_M [m^3/s]	Q_5 [m^3/s]	Q_{10} [m^3/s]	Q_{20} [m^3/s]	Q_{50} [m^3/s]	Q_{100} [m^3/s]	Q_{200} [m^3/s]	Q_{500} [m^3/s]	Q_{1000} [m^3/s]
20.3 Flaksvatn	1781	512	650	783	921	1116	1274	1443	1684	1882
Utløp i Topdalsfjorden	1867	556	704	845	992	1196	1363	1536	1785	1988

2.1.6 Ekstremvannstander i sjø, nå og i et endret klima

Tovdalselva munner ut i Topdalsfjorden ved Kjevik, Kristiansand lufthavn. Tidevannet påvirker vannstanden oppover elva. Ekstremvannstander er tilgjengelig på Kartverkets nettsider[3]. Forvented havnivåstigning for Kristiansand er 0,77 m frem til år 2100[4]. For Kjevik gir Kartverket ekstremvannstander som vist i tabell 2.6.

Tabell 2.6 Ekstremvannstander for havet ved Kjevik, i dag og i år 2100. Kilde: Kartverket[3].

Gjentaksintervall [år]	1	5	10	20	50	100	200	500	1000
Vannstand i dag [moh, NN 2000]	0,62	0,75	0,81	0,87	0,94	0,99	1,04	- **	1,15
Vannstand i år 2100 [moh, NN 2000]	1,39*	-	-	1,63	-	-	1,80	- **	1,91

* Verdien er ikke gitt på Se Havnivå. Den ble beregnet ved bruk av havnivåstigningen angitt i DSB sin rapport: 0,62 m + 0,77 m = 1,39 m.

** Verdien er ikke gitt på Se Havnivå. Verdien for gjentaksintervall 1000 år benyttes.

2.2 Topografiske data

2.2.1 Terrengmodell

Følgende data er lagt til grunn for terrenget og konstruksjoner i den hydrauliske modellen:

- Lasermålte terrenghøyder fra Høydedata.no (prosjektnavn: Kristiansand 2014, NDH Birkenes-Grimstad 5pkt 2017)
- 3D-modell av damanlegg og fisketrapp ved Boenfossen
- TruView-presentasjon for Boenfoss kraftverk
- 3D-modell av eksisterende inntak til Boenfoss kraftverk
- Fotoopptak fra Boenfossen i juli 2018

[3] *Se havnivå, www.sehavniva.no, Kartverket*

[4] *DSB (2016) Havnivåstigning og stormflo – samfunnssikkerhet i kommunal planlegging, Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, Tønsberg.*

2.2.2 Elvebunn

Følgende data er lagt til grunn for elvebunn i den hydrauliske modellen:

- Lasermålte dybder fra Høydedata.no (prosjektnavn: NVE Tovdalselva 2018)
- 17 tverrprofiler på strekningen Flaksvatn til Tønnenes, fra NVE
- 12 tverrprofiler og 2 bruprofiler på strekningen oppstrøms Flaksvatn til Teinefossen, fra NVE
- 3D-modell av bunndata ved Boenfossen
- Oppmålinger av elvebunnen oppstrøms og nedstrøms Boenfoss kraftverk
- 3D-modell av eksisterende inntak til Boenfoss kraftverk
- Fotoopptak fra Boenfossen i juli 2018

2.2.3 Kalibreringsdata

Vannstander målt under flommen i oktober 2017 ble brukt til å kalibrere den hydrauliske modellen (se kapittel 3.3).

3. Hydrauliske beregninger

3.1 Modellering

De hydrauliske beregningene ble utført med programvaren HYDRO_AS-2D. Programmet er en numerisk modell for todimensjonale, hydrodynamiske vannspeilberegninger, som benytter finite volum-metoden og «shallow water equations». Ligningene er basert på tredimensjonale kontinuitetsligninger og Navier-Stokes-ligningene, midlet over dybden for et inkompressibelt fluid med hydrostatisk trykkfordeling.

HYDRO_AS-2D benytter et beregningsnett som kombinerer tre- og firkantede elementer. Det kombinerte nettet gjør det lettere å tilpasse modellen til topografiske og hydrodynamiske forhold. På den måten kan strømninger, voller og veier avbildes med tilstrekkelig nøyaktighet, mens antallet elementer reduseres.

Beregningsnettet genereres ved hjelp av programmet LASER_AS-2D, på grunnlag av lasermålte terrengdata og terrestriske oppmålinger. Programmet reduserer datamengden, samtidig som nøyaktigheten av terrengmodellen opprettholdes ved identifisering av høybrekk i terrenget og tilpasset variasjon av elementstørrelsen. På den måten avbildes strukturer som veier, voller og omriss av bygninger. For elve- og bekkeløp brukes det oppmålte tverrprofiler, siden lasermålte høydedata ikke gjengir formen av elveleiet og konstruksjoner langs elva med tilstrekkelig nøyaktighet. Et optimert beregningsnett som avbilder terreng og elvebunn med tilstrekkelig nøyaktighet er avgjørende for nøyaktig modellering av strømningsprosesser og vannstander på lange elvestrekninger.

Alle data som er brukt til å sette opp modellen, er i eller ble konvertert til høydesystemet NN 2000.

Beregningsnettet ble satt opp på grunnlag av terreng- og bunndata fra flere kilder (jf. kapittel 2.2). Elveløpet av Tovdalselva ble modellert med firkantede elementer med bredde og lengde på ca. 2,5 m og 10 m.

På strekningen rett nedstrøms Flaksvatn, der det ikke foreligger mer aktuelle tverrprofiler, ble elveløpet bygd opp på grunnlag av 17 tverrprofiler. Disse profilene er tatt fra en tidligere, endimensjonal vannlinjeberegning i Tovdalselva utført av NVE[5]. Oppstrøms Flaksvatn er elveløpet basert på oppmålte tverrprofiler som ble kontrollmålt i juni 2018. Totalt er det målt opp 12 normalprofiler og 2 bruprofiler i Tovdalselva oppstrøms Flaksvatn. I områder der det ikke foreligger noen nøyaktig terrestrisk oppmåling av tverrprofiler, ble det brukt terrengmodell- og ekkoloddata til å interpolere bunnen. Dataene av bunnkartleggingen med ekkolodd ble stilt til rådighet av NVE.

Elvesletter og øvrig terreng ble basert på lasermålte terrenghøyder fra Høydedata.no (grid med rasteravstand 0,25 m). For å redusere gridpunktene til en håndterbar mengde ble gridet konvertert til rasteravstand 1 m.

Beregningsnettet omfatter i alt omtrent 800 000 noder og 1 500 000 elementer. Den lokale tettheten av noder er avhengig av de enkelte områdenes lokale terrengforhold og betydning for de hydrauliske beregningene. I elveløpet, spesielt på strekninger med konstruksjoner eller

[5] *NVE (2005) Dokumentasjon av vannlinjeberegninger for Flakksvann. Intert notat 911-483 /020.A*

andre strukturer som innvirker på strømningen, er beregningsnettet finere enn i ubebygde områder lenger unna elva.

For å bestemme ruhetsverdier i modellen ble det bestemt arealtyper for terrengoverflaten. De enkelte elementer i beregningsnettet fikk tildelt ruhetskoeffisient etter Manning-Strickler i henhold til arealbruk (tabell 3.1). Det ble brukt geodata fra grunnkartet, f.eks. veier, bygninger eller vassdrag. Noen steder, spesielt i elveområdet, ble ruhetskoeffisienter bestemt på bakgrunn av flyfoto eller andre bilder.

Tabell 3.1 Ruhetskoeffisienter etter Manning-Strickler brukt i den hydrauliske modellen.

Flate	k_{ST} [$m^{1/3}/s$]
Bygning – ikke gjennomstrømbar	-
Sidevassdrag, innsjø	30
Elv – Tovdalselva	25
Innløpskanal og fisketrapp Boenfoss	25
Grønt område (skog, eng, dyrket mark, o.l.)	20
Vei	40
Betong	50
Mur	50
Dam Boenfoss	50

3.2 Grensebetingelser

Oppstrøms grensebetingelse er vannføring for aktuell flomstørrelse (tabell 3.2). Flomvannføringer ved oppstrøms modellgrense ved Teinefossen ble beregnet ved å trekke vannføringen i Dikeelva og i Berse fra vannføringen i Tovdalselva ved utløpet av Flaksvatn (se kapittel 2.1.4). Flomverdiene for Dikeelva, som tilløper Flaksvatn fra vest (Hæsåna-dikeelva, vassdragsnr. 020.AZ), og for Berse (tilløp fra øst, vassdragsnr. 020.A7) ble hentet fra henholdsvis flomberegningen og NEVINA. Disse verdiene er basert på beregninger med NIFS formelverk.

Øvrig tilsig fra sidevassdrag ble beregnet ved arealskalering i forhold til 20.3 Flaksvatn og utløpet i Topdalsfjorden (tabell 3.3).

Alle modellberegninger ble gjennomført med konstante vannføringer.

Tabell 3.2 Kulminasjonsvannføringer i Tovdalselva [m^3/s] ved oppstrøms modellgrense.

Sted	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}	Q_{500}	Q_{1000}	$Q_{20+klima}$	$Q_{200+klima}$	$Q_{1000+klima}$
Tovdalselva ved Teinefoss	615	725	877	1000	1132	1324	1476	869	1359	1772

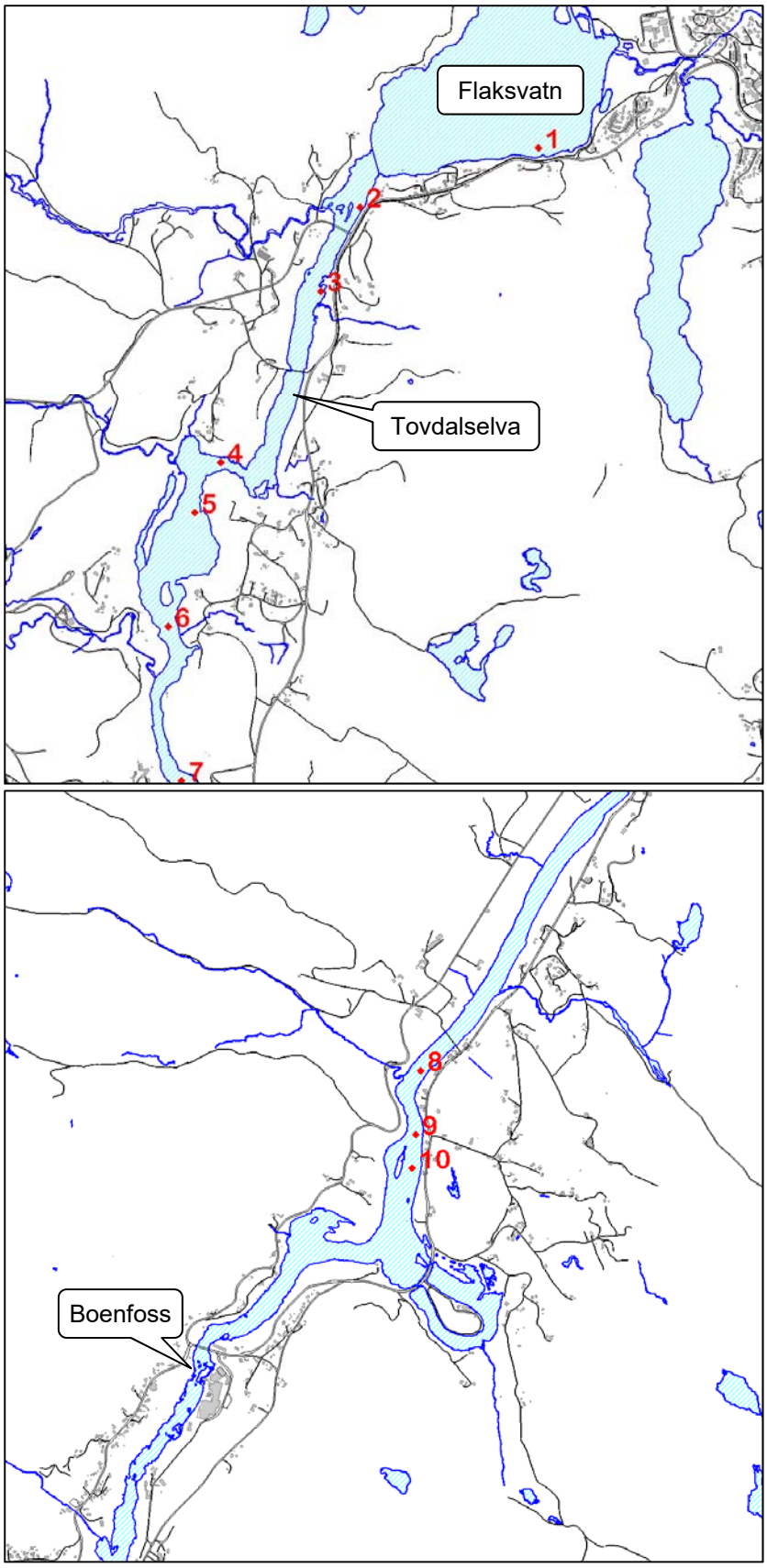
Tabell 3.3 Tilsig fra sidevassdrag til Tovdalselva [m^3/s], beregnet ved arealskalering.

Sted	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}	Q_{500}	Q_{1000}	$Q_{20+klima}$	$Q_{200+klima}$	$Q_{1000+klima}$
Etter Dalebekken	9,0	10,2	11,6	12,8	13,5	14,5	15,2	12,3	16,1	18,3
Ved Bjorhus	7,1	8,1	9,2	10,1	10,7	11,5	12,0	9,7	12,7	14,5
Etter Kverndalsbekken	11,0	12,5	14,2	15,7	16,5	17,8	18,6	15,0	19,7	22,4
Oppstrøms Boenfoss	8,4	9,5	10,8	11,9	12,5	13,5	14,1	11,4	14,9	17,0
Ved Dønnestad	16,6	18,8	21,3	23,6	24,8	26,7	28,0	22,6	29,6	33,7

Nedstrøms grensebetingelse er vannstanden i havet ved 1-års stormflo (se kapittel 2.1.6).

3.3 Kalibrering

Ved siste ekstremflom den 03.10.2017 ble det målt vannstander på flere steder langs Tovdalselva (figur 3.1). For å kalibrere den hydrauliske modellen og bestemme en egnet ruhetskoeffisient for Tovdalselva ble det gjennomført simuleringer med en vannføring på 1195 m^3/s, som tilsvarer målt vannføring nedstrøms Flaksvatn under flommen i oktober 2017, med en ruhet av elvebunnen på 20, 25 und 28 $m^{1/3}/s$. Simuleringen med 25 $m^{1/3}/s$ ga det beste resultatet sammenlignet med de observerte vannstandsverdiene under flommen i oktober 2017 (tabell 3.4).



Figur 3.1 Oppmålingspunkter av vannstander under flommen 03.10.2017 i og nedstrøms Flaksvatn (øverst) og oppstrøms Boenfoss (nederst).

Tabell 3.4 Kalibrering av modellen ved simuleringer med forskjellige ruhetskoeffisienter for elveleiet. Beregnede vannstander sammenlignet med observerte verdier.

Punkt-nr.	Oppmålt [moh]	Beregnet, 20 $m^{1/3}/s$ [moh]	Beregnet, 25 $m^{1/3}/s$ [moh]	Beregnet, 28 $m^{1/3}/s$ [moh]
1	25,56	26,06	25,54	25,23
2	25,71	25,99	25,46	25,15
3	25,26	25,74	25,20	24,89
4	24,67	25,03	24,46	24,10
5	24,89	25,09	24,53	24,19
6	24,58	25,01	24,45	24,10
7	23,48	24,22	23,48	23,10

Videre ble det gjennomført en simulering med en vannføring på 1270 m^3/s, som tilsvarer vannføringen under flommen i oktober 2017 ved utløpet av Tovdalselva i Topdalsfjorden, beregnet ved skalering etter nedbørfeltstørrelsen. Resultatene er vist i tabell 3.5. Vannføringen for 200-årsflommen skalert til oppstrøms Boenfoss, der vannstandene ble målt, på 1255 m^3/s ligger mellom de to simulerte vannføringer.

Tabell 3.5 Kalibrering av modellen ved simuleringer med forskjellige vannføringer. Beregnede vannstander sammenlignet med observerte verdier oppstrøms Boenfoss.

Punkt-nr.	Oppmålt [moh]	Beregnet, 1195 m^3/s [moh]	Beregnet, 1270 m^3/s [moh]
8	20,50	20,60	20,79
9	20,54	20,48	20,66
10	20,55	20,39	20,57

3.4 Særskilt om bruer og kulverter

Det er totalt ni bruer over Tovdalselva på strekningen fra Teinefossen til utløpet i fjorden. Av disse bruene ble 8 modellert (tabell 3.6). Bruene samt pilarer og landkar ble lagt inn i modellen ved bruk av dimensjoner som er basert på oppmålinger, er hentet fra brutegninger eller ble oppgitt av NVE. GS-brua Høygilt - Rugsland ble ikke modellert på grunn av manglende data. Tabell 3.7 viser de høyeste vannstander på tvers av elva beregnet like oppstrøms bruene for flomvannføringer med forskjellige gjentaksintervall.

Bortsett fra bruene over Tovdalselva er det flere bruer over sidevassdrag som ligger innenfor flomsonen for mer sjeldne gjentaksintervall, blant annet Fv. 41 bru og GS-bru over Berse i Birkeland, og to Fv. 41 bruer over Drangsholtskilen. Disse bruene ble ikke modellert.

Tabell 3.6 Data på bruer over Tovdalselva.

Nr.	Bru	Brutegning / oppmåling / ingen data	Underkant bru (laveste punkt) [moh]
1	Fv. 41 ved Kristiansand lufthavn	Tegning, oppmåling	10,32
2	GS-bru Moen - Tveit	Tegning, oppmåling	2,73
3	Fv. 41 Boenfoss bru	Tegning, oppmåling	24,46
4	GS-bru Drangsholtmyra - Foss	Tegning, oppmåling	20,50
5	GS-bru Høygilt - Rugsland	-	-
6	GS-bru Mollestad	Tegning	25,68
7	Fv. 3750 Mollestad bru	Tegning	26,60
8	GS-bru Birkeland - Lunden	Oppmåling	25,94
9	Fv. 3756 ved Teinefoss	Oppmåling	30,82

Tabell 3.7 Modellerte flomvannstander like oppstrøms bruene over Tovdalselva.

Bru	Q_{10}	Q_{20}	Q_{50}	Q_{100}	Q_{200}	Q_{500}	Q_{1000}	$Q_{20+klima}$	$Q_{200+klima}$	$Q_{1000+klima}$
1	1,33	1,51	1,81	2,06	2,32	2,63	2,88	2,16	2,89	3,46
2	1,83	2,09	2,53	2,88	3,25	3,69	4,03	2,76	3,90	4,72
3	18,36	18,61	19,04	19,31	19,50	19,91	20,22	19,03	20,00	20,70
4	19,14	19,51	20,05	20,46	20,90	21,43	21,81	20,03	21,53	22,56
5	21,07	21,58	22,23	22,71	23,17	23,75	24,18	22,21	23,86	24,96
6	23,00	23,52	24,22	24,74	25,25	25,94	26,51	24,17	26,05	27,48
7	23,23	23,78	24,47	25,01	25,53	26,21	26,78	24,43	26,34	27,76
8	24,11	24,56	25,19	25,73	26,28	26,96	27,45	25,15	27,08	28,36
9	25,63	25,90	26,22	26,45	26,68	27,02	27,43	26,19	27,10	28,25

1 – Fv. 41 ved Kristiansand lufthavn

Brua har fire kantede pilarer (figur 3.2). Denne elvestrekningen er påvirket av tidevann. Underkanten ligger så høyt at det er tilstrekkelig fribord under flom.

Figur 3.2 Fv. 41 brua ved Kristiansand lufthavn, sett fra venstre bredden i nedstrøms retning. Foto: J. Sauterleute

2 – GS-bru Moen - Tveit

Brua ved Dønnestad har to pilarer (figur 3.3). Ved flom er pilarfundamentene dykket, og stålkonstruksjonen vil ha liten betydning for strømningen og vannstanden. Landkarene er noe lavere enn bruunderkanten mellom de to pilarene, slik at bruunderkanten går på skrått fra pilarene til landkarene. Ved 50-årsflom er fribordet under 0,5 m, og ved flom med gjentaksintervall høyere enn 50 år samt ved beregnede flommer i endret klima kommer vannet opp i underkanten.

Figur 3.3 GS-bru Moen - Tveit, sett fra venstre bredden i nedstrøms retning. Foto: J. Sauterleute

3 – Fv. 41 ved Boenfoss

Brua har en pilar på midten elva (figur 3.4). Både fundament og pilar er utformet gunstig i forhold til strømningen. Underkanten ligger så høyt at det er tilstrekkelig fribord under flom.

Figur 3.4 Boenfoss bru, sett fra høyre bredden i nedstrøms retning. Foto: J. Sauterleute

4 – GS-bru Drangsholtmyra - Foss

Brua har to pilarer, som hver står noen meter ut i elva (figur 3.5). Ved flom er pilarfundamentene dykket, og stålkonstruksjonen vil ha liten betydning for strømningen og vannstanden. Ved 50-årsflom er fribordet under 0,5 m, og ved flom med gjentaksintervall høyere enn 100 år samt ved 200- og 1000-årsflom i endret klima kommer vannet opp i bruunderkanten.

Figur 3.5 GS-bru Drangsholtmyra - Foss, mot vestsiden av elva (venstre), og mot østsiden (høyre). Foto: J. Sauterleute

5 – GS-bru Høygilt - Rugsland

Denne brua ble ikke modellert. Brua er en hengebru, slik at den ikke har pilarer (figur 3.6). Det vestlige landkaret stikker noe ut i elva, men det vil ha begrenset betydning for strømningen, siden den ligger i innersvingen av elva. Fine sedimenter nedstrøms landkaret tyder likevel på at det dannes bakevje på dette stedet ved høy vannføring.

Figur 3.6 GS-bru Høygilt - Rugsland, mot vestsiden av elva (venstre), og nedstrøms den vestlige landkaret (høyre). Foto: J. Sauterleute

6 – GS-bru Mollestad

Ved Mollestad finnes det en gammel bru som er åpen for gang- og sykkeltrafikk. Brua har ingen pilarer. Det vestlige landkaret er bygd på fjell (figur 3.7). På grunn av den fremstikkende fjellformasjonen med landkaret vil strømingen innsnevres, og det vil utvikle seg bakevje nedstrøms landkaret. Vannstanden oppstrøms brua vil påvirkes av strømningsforholdene ved brua. I tillegg vises det avsetninger av fin sediment som følge av bakevjen nedstrøms landkaret. Ved 200-årsflom er fribordet under 0,5 m, og ved flom med gjentaksintervall høyere enn 200 år samt ved 200- og 1000-årsflom i endret klima kommer vannet opp i bruunderkanten.

Figur 3.7 GS-bru Mollestad, landkar på vestsiden av elva (venstre); og landkar på østsiden (høyre). Avsetninger av fin sediment er avmerket med hvit ring. Foto: J. Sauterleute

7 – Fv. 3750 Mollestad bru

Brua ligger rett nedstrøms utløpet av Flaksvatnet og har tre avrundete pilarer (figur 3.8). Venstre bredden, sett i nedstrøms retning, er sikret på flere hundre meter langs Fv. 41. Nedstrøms det høyre landkaret finnes en naturlig fjellformasjon. Verken av venstre eller høyre landkaret er elva innsnevret. Brua vil følgelig i liten grad påvirke strømningen og vannstanden, selv ved høy vannføring. Ved 500-årsflom er fribordet under 0,5 m, og ved 1000-årsflom samt ved 200- og 1000-årsflom i endret klima kommer vannet opp i bruunderkanten.

Figur 3.8 Mollestad bru, som treffer på Fv. 41 rett nedstrøms Flaksvatnet. Sett fra vestsiden av elva (venstre). Fjellformasjon nedstrøms det vestlige landkaret (høyre). Foto: J. Sauterleute

8 – GS-bru Birkeland - Lunden

Brua er en hengebru, slik at den ikke har pilarer. Det vestlige landkaret er fundamentert på fjell, i yttersvingen av elva (figur 3.9). Verken av venstre eller høyre landkaret er elva innsnevret. Brua vil følgelig i liten grad påvirke strømningen og vannstanden, selv ved høy vannføring. Ved 100-årsflom er fribordet under 0,5 m, og ved flom med gjentaksintervall høyere enn 100 år samt ved 200- og 1000-årsflom i endret klima kommer vannet opp i bruunderkanten.

Figur 3.9 GS-bru Birkeland - Lunden, sett fra oppstrøms (venstre) og fra den østlige elvebredden (høyre). Foto: J. Sauterleute

9 – Fv. 3756 ved Teinefoss

Brua ligger rett nedstrøms Teinefossen og har ingen pilarer (figur 3.10). Det østlige landkaret ligger i yttersvingen av elva og er sikret med stein- og betongmur. Elva har høy vannhastighet på dette stedet, selv ved relativt lav vannføring. Nedstrøms det vestlige landkaret vises spor etter erosjon (figur 3.11). Bruunderkanten ligger så høyt at det er tilstrekkelig fribord under flom.

Figur 3.10 Fv. 3756 brua nedstrøms Teinefoss, sett fra nedstrøms (venstre), og mot østsiden av elva (høyre). Foto: J. Sauterleute

Figur 3.11 Fv. 3756 bru, erosjon nedstrøms landkaret. Foto: J. Sauterleute

Kulverter

Antall og posisjon av eventuelle kulverter i analyseområdet er ukjent. Dermed ble kulverter ikke modellert.

På befaring ble det registrert en kulvert i Birkeland, nord for fiberglassfabrikken. Det er tre rør med diamter på ca. 1,6 m under en vei. Rørene avleder flomvann (figur 3.12). Siden kulverten ikke ble modellert, kan de beregnede vannspeil i dette området være noe høyere enn i virkeligheten. Jo mer sjelden gjentaksintervallet er, detso mindre effekt vil dette ha på flomvannstanden.

Figur 3.12 Vei med tre rør nord for fiberglassfabrikken i Birkeland, sett fra nord og øst. Foto: J. Sauterleute

3.5 Ekstremvannanalyse

Flom i elv kombineres med 1-års stormflo. Da forutsetter en at sannsynligheten for at flom og stormflo med sjeldne gjentaksintervall inntreffer samtidig, er liten. På kartene presenteres den høyeste vannstanden av flom i vassdrag og ekstremvannstand i havet for hvert gjentaksintervall, uavhengig av om det skyldes flom eller stormflo.

3.6 Vannlinje

I motsetning til en endimensjonal hydraulisk modell, som beregner vannstander midlet over elvetverrsnitt og gir en vannlinje, beregner en todimensjonal modell vannstander, som varierer både i hovedstrømningsretningen og i elvetverrsnittet. De beregnede vannstandene er presentert som isolinjer med 0,5 m avstand. I bratte elvepartier, der isolinjer ligger tett til hverandre, ble isolinjene tynnet ut. For resultatene henvises det til kapittel 4 og vedlegget.

3.7 Vannhastighet

For strekningen nedstrøms Boenfoss ble det også laget kart over vannhastigheter og strømningsretninger. Den todimensjonale, hydrauliske modellen beregner romlig fordelte vannhastigheter, som er midlet over vanndybden. De beregnede vannhastighetene og strømningsretningene er presentert i kapittel 4.11 og i vedlegget. Fra ca. 950 m oppstrøms Fv. 41 bru ved Kristiansand lufthavn til munningen i Topdalsfjorden er det ikke presentert vannhastigheter, siden strømningen er påvirket av havnivået.

3.8 Følsomhetsanalyse

I forbindelse med kalibrering av modellen ble det kjørt simuleringer med lavere og høyere vannføring (jf. kapittel 3.3). En økning av vannføringen fra 1195 m^3/s til 1270 m^3/s (6,3 %) ga nesten 0,2 m høyere vannstander.

4. Flomsonekart

Resultater fra flomsoneanalysen er beskrevet nedenfor. Flomsonekartet for 200-årsflommen er presentert nedenfor, mens kartene for alle andre gjentaksintervall finnes i vedlegget.

4.1 10-årsflom

Ved en 10-årsflom blir noen bygninger oversvømt. De fleste berørte bygninger er båthus og hytter langs elvebreddene nedstrøms Boenfoss. Ved Drangsholt renner vannet fra Drangsholtkilen over Drangsholtveien og innover land mot nord. Her er bolighus berørt på Kiløyna og ved Presthåla. Lengre oppstrøms, i Birkeland, begynner vannet å oversvømme næringsområdet ved Tollenesveien.

4.2 20-årsflom

Ved Rølliken renner vannet ut av elveløpet over Dønnestadveien og tilbake til elva 200 m nedstrøms. Ved Boenfoss begynner vannet å berøre bygninger av Boen bruk. Nedstrøms Rugsland trekker vannet mot bebyggelsen; et hus og Fv. 3748 blir oversvømt. Flere bygninger i næringsområdet ved Tollenesveien i Birkeland er berørt.

4.3 50-årsflom

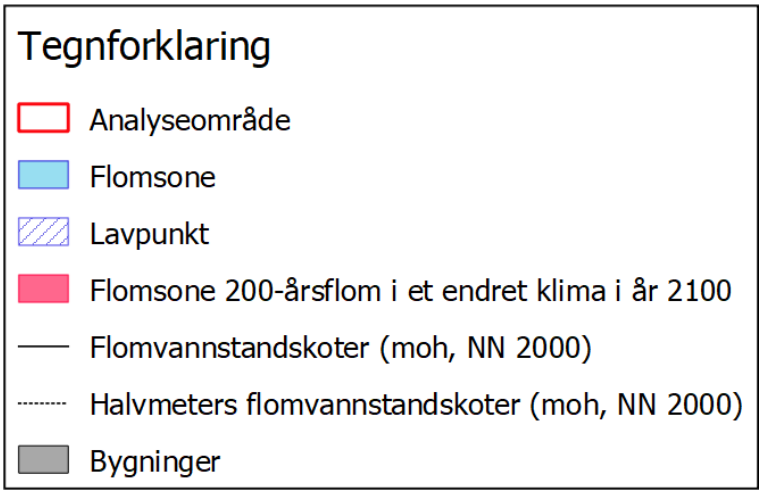
I Ryen blir to boliger i Ryensveien berørt. Ved Drangsholt er flere hus og Fv. 41 satt under vann. På høyre elvebredd, litt lengre oppstrøms, oversvømmer elva Fv. 3748. Gården på Åbål er delvis under vann. I Birkeland er næringsområdet ved Tollenesveien og Fv. 41 oversvømt, og vannet begynner å berøre fiberglassfabrikken.

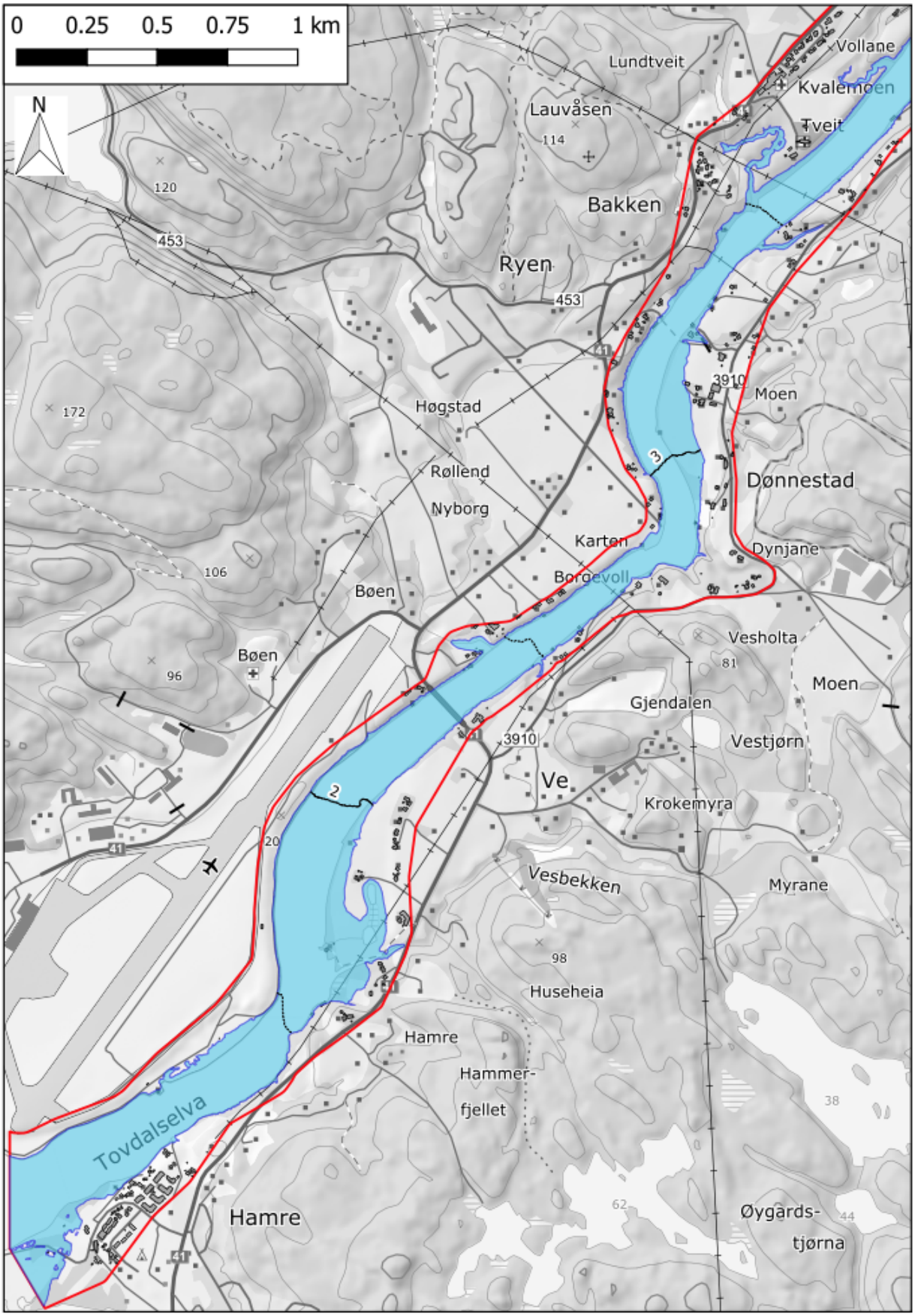
4.4 100-årsflom

Vannet begynner å oversvømme flere hus på venstre elvebredd oppstrøms GS-brua Moen - Tveit. Boen bruk ved Boenfoss er berørt. Ved Drangsholt er flere hus satt under vann; Fv. 41 er oversvømt på flere hundre meter. På høyre elvebredd, litt lengre oppstrøms, oversvømmer elva Fv. 3748. Et hus ved Høygilt blir oversvømt. Fv. 41 på Østre Mollestad er satt under vann. I Birkeland er store deler av næringsområdet ved Tollenesveien oversvømt, og Fv. 41 er satt under vann.

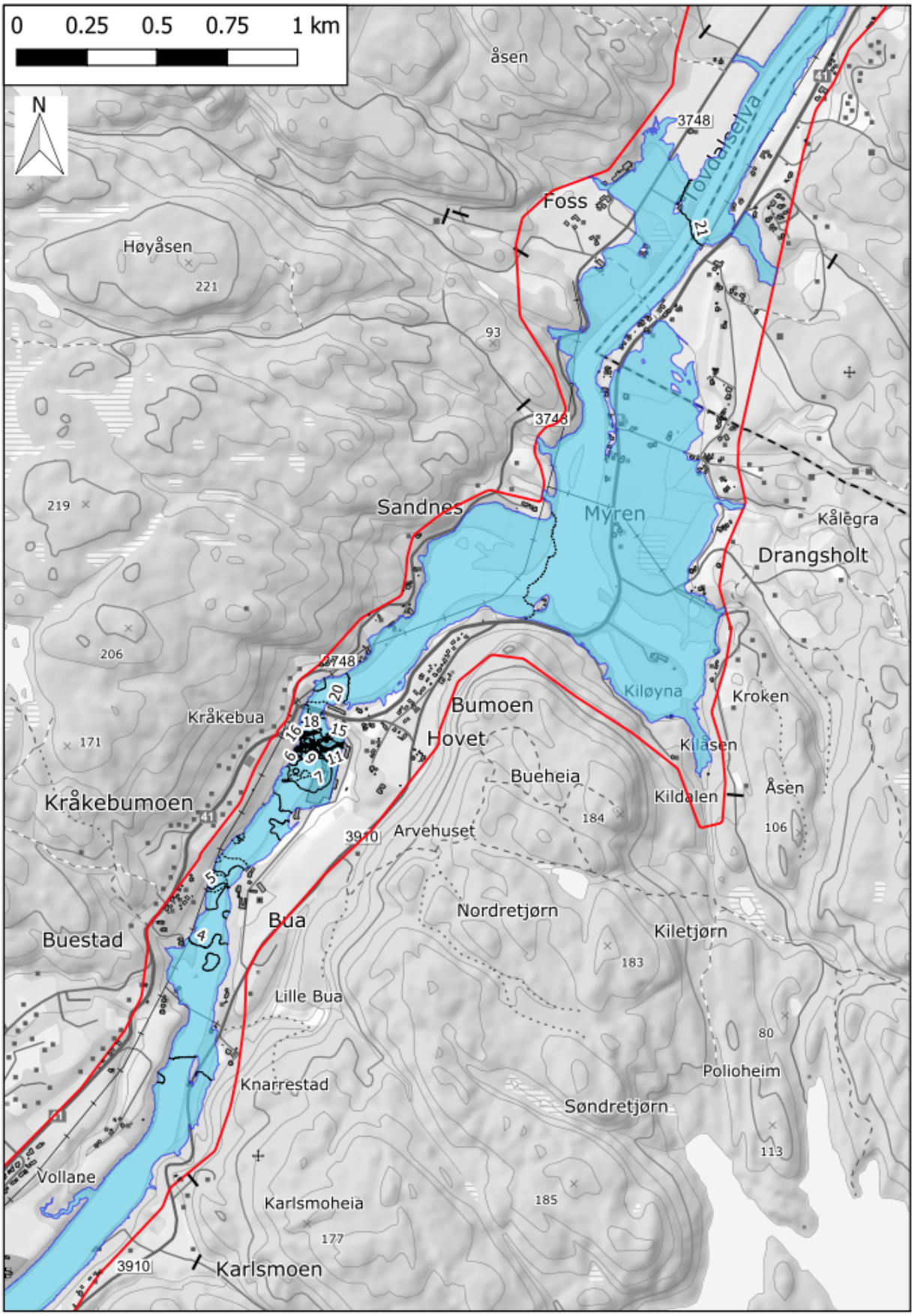
4.5 200-årsflom

Ved en 200-årsflom begynner vannet å berøre et hus på høyre elvebredd oppstrøms Fv. 41 brua ved Kristiansand lufthavn. Flere hus på venstre elvebredd oppstrøms GS-brua Moen - Tveit er oversvømt. Store deler av Boen bruk er satt under vann. Et hus på høyre elvebredd oppstrøms Boenfoss bru begynner å bli oversvømt. Ved Drangsholt og litt lengre oppstrøms på høyre elvebredd blir flere hus berørt. I Birkeland er vannstanden i Flaksvatn så høy at hus langs den sørlige kanten av innsjøen begynner å bli oversvømt.

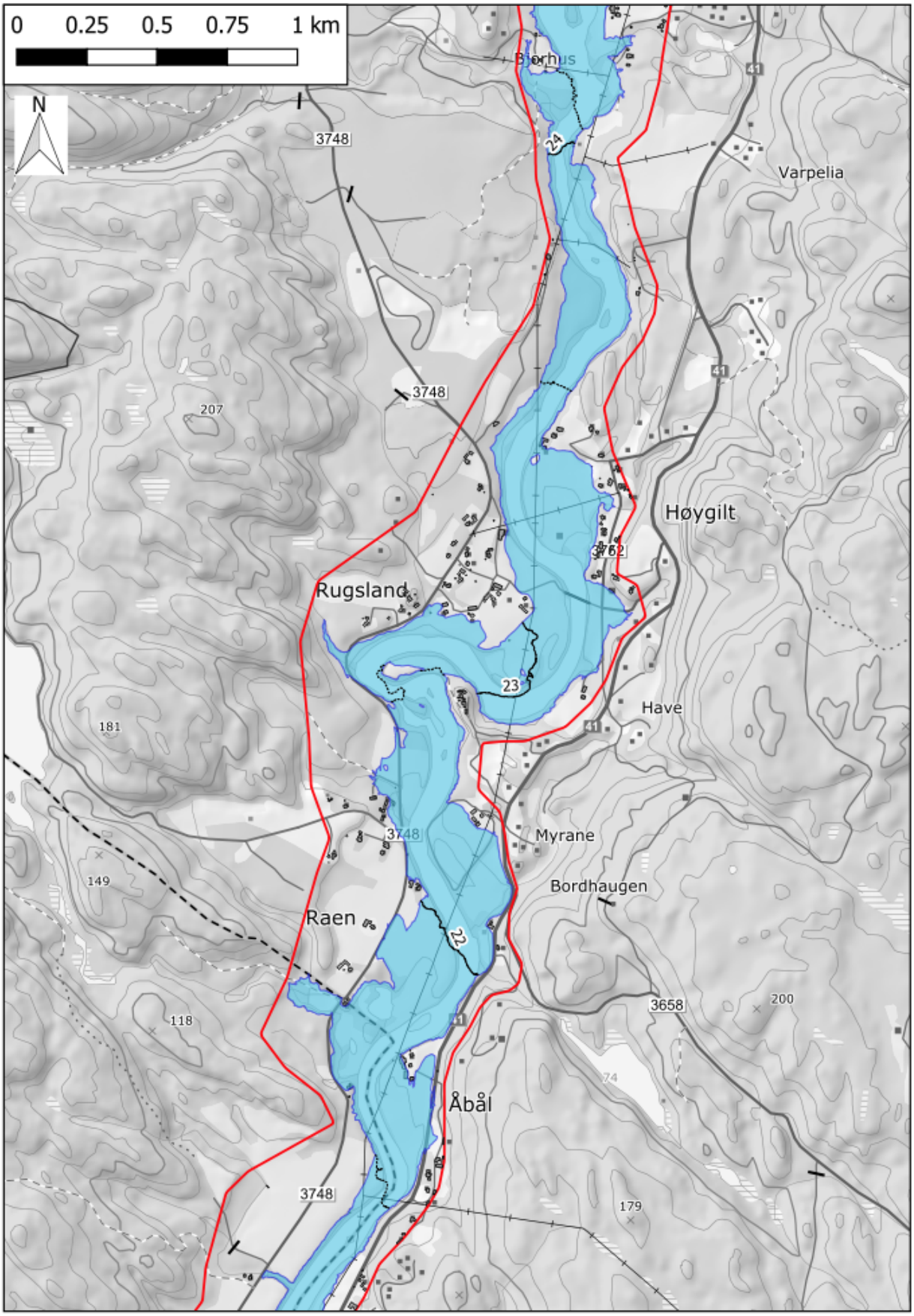




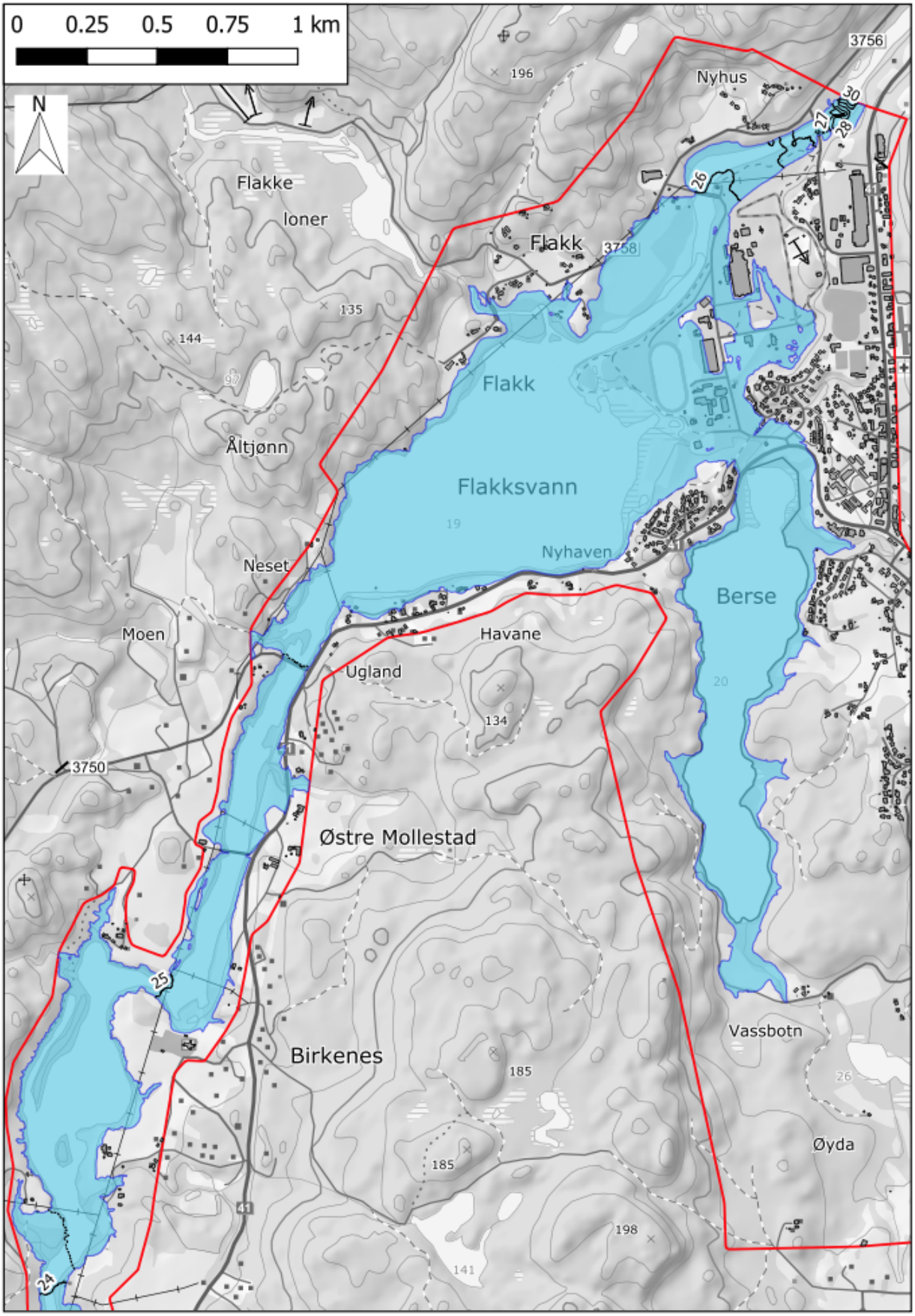
Flomsonekart for 200-årsflom, del 1



Flomsonekart for 200-årsflom, del 2



Flomsonekart for 200-årsflom, del 3



Flomsonekart for 200-årsflom, del 4

4.6 500-årsflom

Ved en 500-årsflom er Boen bruk fullstendig oversvømt. I Drangsholt og Foss er mange hus berørt. Fv. 41 ved Åbål er berørt. Ved og nedstrøms Rugsland trekker vannet innover i bebyggelsen. På sørsiden av Flaksvatn er hus og Fv. 41 berørt. I Birkeland trekker vannet innover bebyggelsen; fiberglassfabrikken er fullstendig oversvømt.

4.7 1000-årsflom

Ved en 1000-årsflom er de fleste bygningene i Drangsholt og mange bygninger i Foss oversvømt. Mange av husene på sørsiden av Flaksvatn er berørt.

4.8 20-årsflom med klimapåslag

20-årsflommen i et endret klima har høyere vannstand enn 50-årsflommen nedstrøms Boenfoss, selv om vannføringen for 20-årsflommen med klimapåslag er noe lavere enn for 50-årsflommen (869 m^3/s og 877 m^3/s, jf. tabell 3.2 i kapittel 3.2). Grunnen til dette er det høyere havnivået som nedstrøms grensebetingelse for 20-årsflommen med klimapåslag, som tar hensyn til havnivåstigningen frem til år 2100.

Ved utløpet i Topdalsfjorden blir noen bygninger oversvømt. I Ryen blir to boliger i Ryensveien berørt. Vannet begynner å oversvømme flere hus på venstre elvebredd oppstrøms GS-brua Moen - Tveit. Ved Rølliken renner vannet ut av elveløpet over Dønnestadveien og tilbake til elva 200 m nedstrøms. Boen bruk ved Boenfoss er berørt. Ved Drangsholt er flere hus og Fv. 41 satt under vann. På høyre elvebredd, litt lengre oppstrøms, oversvømmer elva Fv. 3748. Gården på Åbål er delvis under vann. I Birkeland er næringsområdet ved Tollenesveien og Fv. 41 oversvømt, og vannet begynner å berøre fiberglassfabrikken.

4.9 200-årsflom med klimapåslag

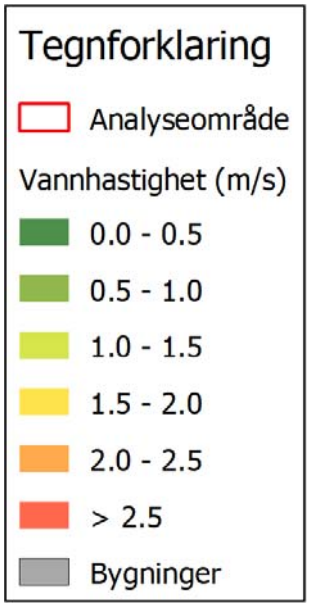
Noen hus langs elvebreddene nedstrøms Boenfoss er oversvømt. Boen bruk er fullstendig satt under vann. Store deler av Drangsholt og Foss er oversvømt. Fv. 3748 er under vann på en strekning på flere hundre meter, Fv. 41 på over en kilometer. I og nedstrøms Rugland trekker vannet innover deler av bebyggelsen. Fv. 41 ved Åbål er berørt. I Birkeland er næringsområdet ved Tollenesveien og fiberglassfabrikken fullstendig oversvømt. Fv. 41 og flere hus øst for næringsområdet og sør for Flaksvatn er berørt.

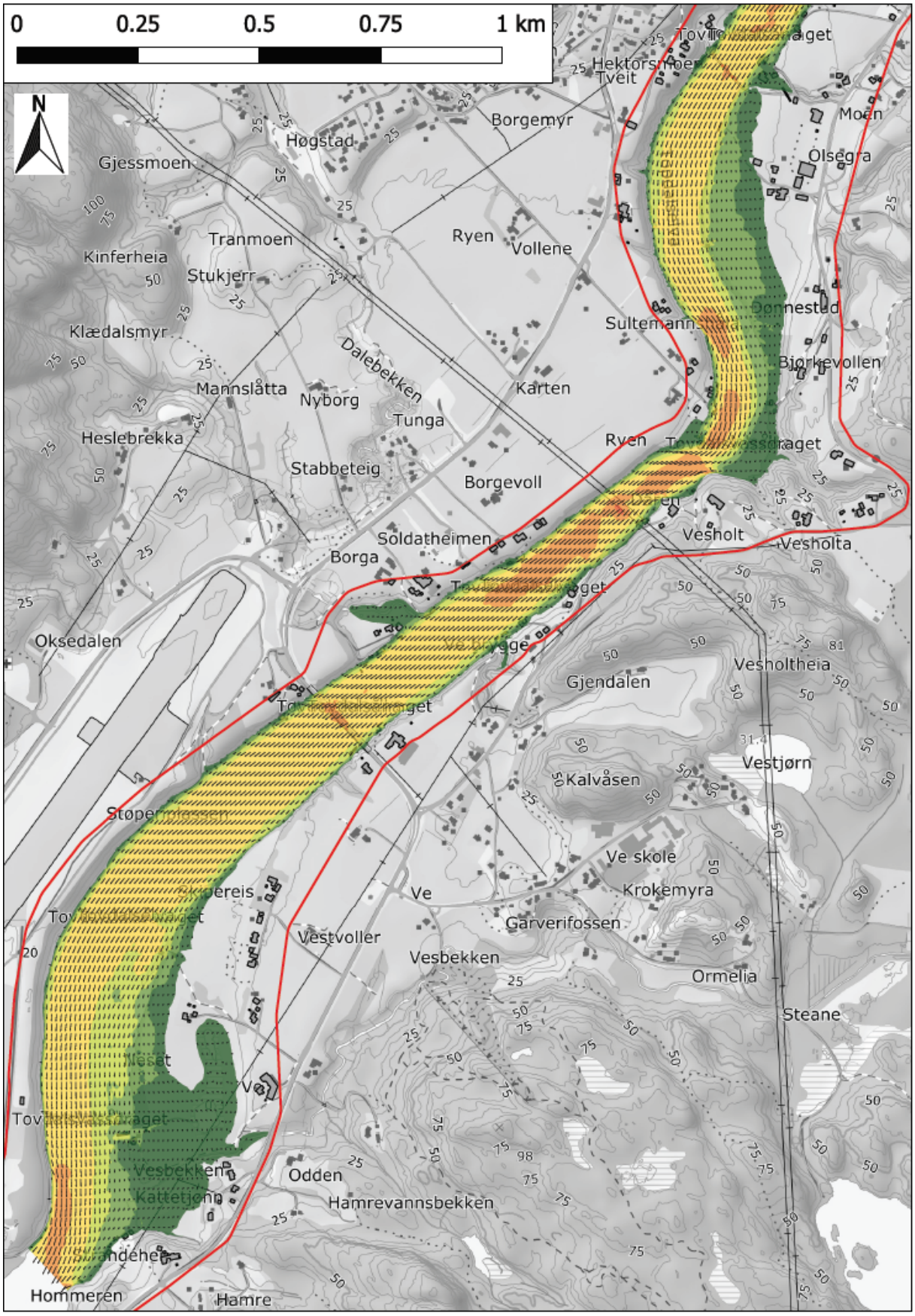
4.10 1000-årsflom med klimapåslag

Ved en 1000-årsflom i et endret klima blir ytterligere hus ved Ryen og Dønnestad oversvømt. Også i Drangsholt, Foss, Rugsland og Birkeland er ytterligere hus berørt. I tillegg er Fv. 41 på Østre Mollestad satt under vann på en halv kilometer.

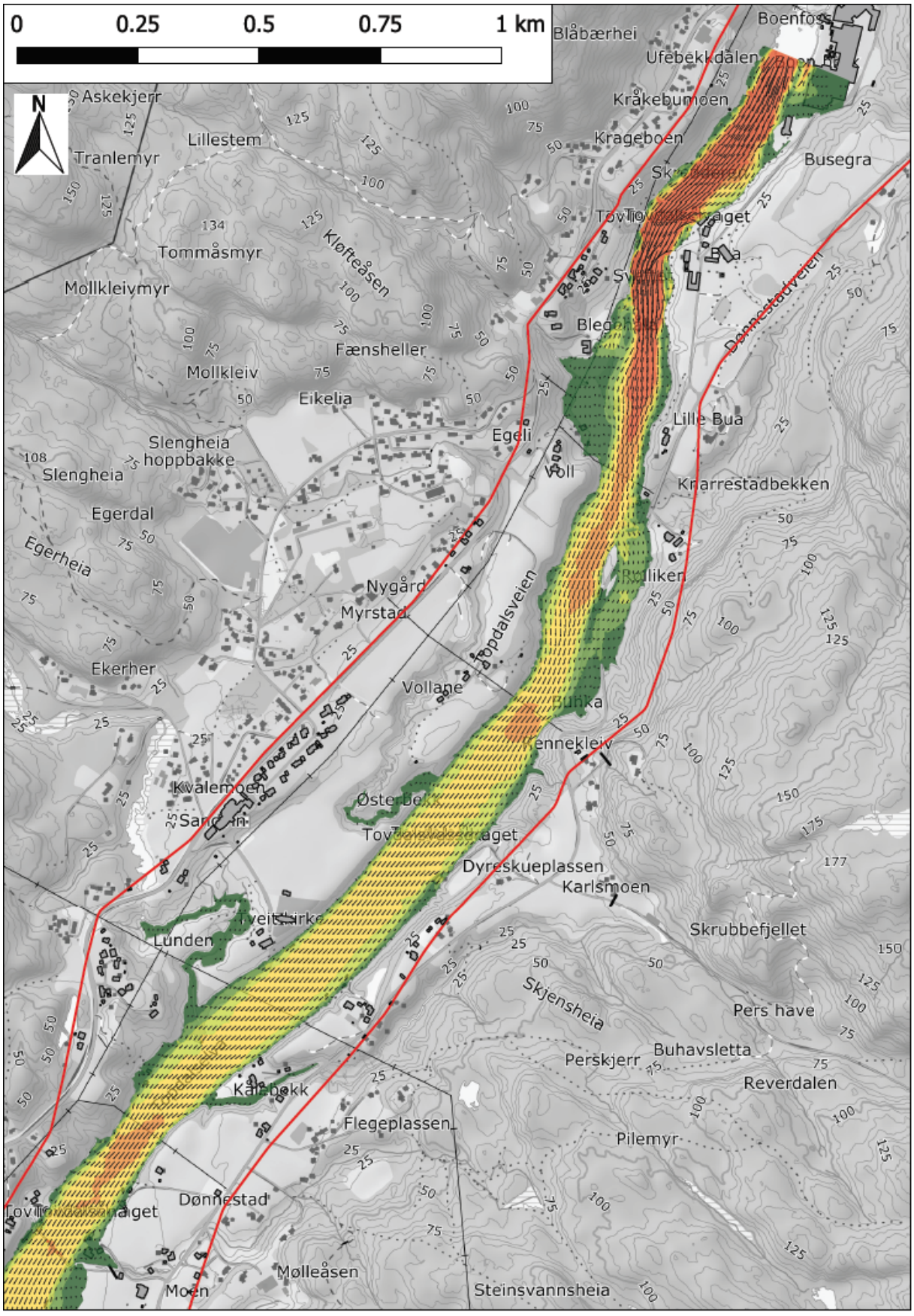
4.11 Hastighetskart

Hastigheter for 200-årsflommen er presentert nedenfor, mens kartene for alle andre gjentaksintervall finnes i vedlegget.





Hastighetskart for 200-årsflom, del 1



Hastighetskart for 200-årsflom, del 2

4.12 Lavpunktanalyse

Lavpunktanalyse ble gjennomført for 200-årsflom og 200-årsflom i et endret klima. Analysen for 200-årsflom ga kun et lite område ved utløpet i Topdalsfjorden. Analysen for 200-årsflom med klimapåslag viste at det ikke finnes areal i analyseområdet som ligger lavere enn flomvannspeilet og ikke har direkte forbindelse til elva.

5. Usikkerhet

5.1 Flomberegning

NVE vurderte datagrunnlaget for beregningen av flomverdier for Tovdalselva ved Flaksvatn og ved utløpet i fjorden å være klasse 1 av 3, der 1 er den beste klassen[1]. NVE nevnte følgende kilder for usikkerhet:

- Vannføringskurve på grunnlag av målinger, endringer i vannføringskurven
- Én måling per dag representerer døgnmiddelverdien for data målt før 1980
- Valg av forholdstallet Q_{mom}/Q_{mid} beregnet med ulike metoder
- Valg av fordelingsfunkskjon for flomfrekvensanalysen

Likevel vurderes datagrunnlaget for denne flomberegningen å være godt.

5.2 Havnivå

Det er knyttet usikkerhet til både stormflonivåer og havnivåstigning. DSB anbefaler bruk av middelverdien for stormflotall i kommunal planlegging, og bruk av 95-percentilen for havnivåstigning, for å ta høyde for usikkerheten knyttet til beregningene[4]. Intervallene for stormflonivå og havnivåstigning i Kristiansand er vist i tabell 5.1.

Tabell 5.1 Middelverdier og konfidensintervaller (5- og 95-persentil) for stormflo relativt NN 2000 og havnivåstigning i Kristiansand. Kilde: NCCS 2015[6].

	Middelverdi [m]	Konfidensintervall [m]	
		5 %	95 %
20-års stormflo	0,87	0,80	0,91
200-års stormflo	1,04	0,92	1,11
1000-års stormflo	1,15	1,00	1,23
Havnivåstigning*	0,50	0,23	0,77

* Økning frem til periode 2081 – 2100 relativt 1986 – 2005, klimascenario RCP8.5.

[6] *NCCS Norwegian Centre for Climate Services (2015) Sea Level Change for Norway – Past and Present Observations and Projections to 2100. Rapport M-405/2015, Miljødirektoratet*

5.3 Hydrauliske beregninger

Bruk av hydrauliske modeller innebærer forenklinger og antakelser knyttet til inngangsdata, grensebetingelser og modelleringsmetoder. En todimensjonal, hydrodynamisk modell midler vanndybder og vannhastigheter i vertikal retning. Særlig i områder med kompleks strømning, f.eks. ved brupilarer, fosser eller blanding av ferskvann med saltvann ved utløp i sjøen, kan denne forenklete betrakningen medføre avvik av beregnede vannstander.

Feil kan oppstå blant annet som følge av

- numeriske metoder brukt av modellen,
- grensebetingelser (vannføring, vannstand),
- og inngangsdata, dvs. terrengmodell basert på lasermålte høydedata, oppmålte tverrprofiler eller oppmålte bunndata; konstruksjoner som bruer og kulverter; og ruhet basert på kart over arealbruk.

Nøyaktigheten i grensebetingelser og inngangsdata er vurdert å ha størst betydning. Totalt sett er nøyaktigheten av de beregnede vannstander estimert til +/- 0,15 m.

5.4 Flomsoner

Usikkerhet av flomsoner, dvs. usikkerhet av flomarealets utstrekning i horisontal retning, er i hovedsak knyttet til nøyaktigeheten av vannstandsberegningene samt grensebetingelser og inngangsdata, og til nøyaktigeheten av terrengmodellen (jf. usikkerhet av hydraulisk modell i forrige kapittel). I hvor stor grad avvik i terrenghøyder påvirker flomsonen avhenger av terrengets helning. I flatt område utgjør et lite avvik i terrenghøyder mer enn i brattere terreng.

Nøyaktigheten av de beregnede flomsoner er estimert til +/- 1 til +/- 2 m. I flatt terreng kan unøyaktigheten være større.

6. Andre faremoment i området

6.1 Is og isgang

Det ble ikke registert tydelige tegn på isgang i området som ble kartlagt i forbindelse med flomsonekartleggingen.

6.2 Erosjons- og sikringstiltak

NVEs kartdata viser at det er utført flere sikringstiltak i det kartlagte området. Dessuten ble det observert tegn på erosjon på enkelte elvestrekninger under befaringen.

Ved Ryen er det tydelige tegn på aktiv erosjon i yttersvingen av elva. Den høye, bratte høyre elvebredden er erodert, og trær har rast ut i elva (figur 6.1). Erosjonen i denne yttersvingen kan være en fare for boliger som ligger på toppen av skråningen.

Sikring av Drangsholt mot flom er undersøkt i utarbeidelsen av et flomsikringskonsept på oppdrag av NVE[7].

Ved Rugsland ble skråningen på høyre elvebredd sikret etter skredaktivitet, ifølge NVEs database med ordnet steinlag på ca. 40 m i september 2006. Lignende ble utført på høyre bredd ved Tellemoen, ca. 300 m nedstrøms Mollestad bru.

I Birkeland finnes det en flomvoll langs Tollenesveien. Ca. 200 og 400 m nestrøms GS-brua Birkeland – Lunden er venstre elvebredd sikret med stein (figur 6.2). Ca. 100 m oppstrøms GS-brua er det en bune på venstre elvebredd, som leder vannet til høyre, mot den store bakevjen i svingen.

For å sikre Birkeland bedre mot flom ga NVE i oppdrag å utarbeide et flomsikringskonsept for tettstedet[8].

Ved Fv. 3756 bru ble det observert tegn på erosjon på høyre elvebredd (figur 3.11).

[7] *Flomsikringskonsept Drangsholt, Kristiansand kommune. Rapport, 12.07.2019, Dr. Blasy – Dr. Øverland Beratende Ingenieure*

[8] *Flomsikringskonsept Birkeland, Birkenes kommune. Rapport, 22.03.2019, Dr. Blasy – Dr. Øverland Beratende Ingenieure.*

Figur 6.1 Tegn på erosjon i yttersvingen ved Ryen. Foto: J. Sauterleute

Figur 6.2 Erosjonssikring ved Birkeland og tegn på erosjon på venstre bredd nedstrøms GS-brua Birkeland – Lunden. Foto: J. Sauterleute

7. Sammendrag

I prosjektet er det kartlagt flomfare for Tovdalselva på strekningen Teinefoss oppstrøms Flaksvatn til havet. Det kartlagte området ligger i Kristiansand kommune og Birkenes kommune.

Vannstander, flomsoner og vannhastigheter er beregnet ved hjelp av en hydraulisk modell og er presentert i kart. Det er utarbeidet flomsonekart for 10-, 20-, 50-, 100-, 200-, 500- og 1000-årsflom samt 20-, 200- og 1000-årsflom i et endret klima i år 2100. Alle topografiske data er oppgitt i UTM-sone 32 og høydesystem NN 2000.

Grunnlaget for flomsonekartleggingen er flomberegninger, havnivådata, detaljerte data på terreng og elvebunn, oppmålingsdata og klimaframskrivinger for flom og havnivåstigning.

Tovdalsvassdraget ligger i en overgangssone mellom Øst- og Vestlandet, kyst og innland. Fra fjellområdene skjer dreneringen gjennom dype daler i et kupert heilandskap. Tovdalselva binder sammen et nett av innsjøer og fanger opp mange sideelver og bekker. Hovedelva er 120 km lang. Nedbørfeltet har et areal på totalt 1867 km^2. Den vestlige delen av vassdraget er regulert.

I modellen er det brukt 1-års stormflo som nedstrøms grensebetingelse, og flomvannføring for de aktuelle gjentaksintervallene som oppstrøms grensebetingelse. I analysene for et endret klima er det regnet på havnivåstigning og økning i flomvannføring i henhold til NVE's anbefalinger. For Tovdalselva er klimapåslaget 20 %.

Ved en 10-årsflom renner vannet ved Drangsholt fra Drangsholtkilen over Drangsholtveien og innover land mot nord. Noen bygninger på Kiløyna og ved Presthåla er berørt. I Birkeland begynner vannet å oversvømme næringsområdet ved Tollenesveien.

Ved en 20-årsflom renner vannet ut av elveløpet ved Rølliken, over Dønnestadveien og tilbake til elva 200 m nedstrøms. Vannet begynner å berøre bygninger av Boen bruk ved Boenfoss. Nedstrøms Rugsland trekker vannet mot bebyggelsen og Fv. 3748 blir oversvømt. Flere bygninger i næringsområdet ved Tollenesveien i Birkeland er satt under vann.

Ved en 50-årsflom blir to boliger i Ryen berørt. Ved Drangsholt er flere hus og Fv. 41 satt under vann. I Foss oversvømmer elva Fv. 3748. I Birkeland er næringsområdet ved Tollenesveien og Fv. 41 oversvømt, og vannet begynner å berøre fiberglassfabrikken.

Ved en 100-årsflom begynner vannet å oversvømme flere hus på venstre elvebredd oppstrøms GS-brua Moen - Tveit. Boen bruk ved Boenfoss er berørt. Ved Drangsholt er flere hus satt under vann og Fv. 41 er oversvømt på flere hundre meter. I Foss er Fv. 3748 oversvømt. Elva oversvømmer Fv. 41 på Østre Mollestad. I Birkeland er store deler av næringsområdet ved Tollenesveien oversvømt, og Fv. 41 er satt under vann.

Ved en 200-årsflom er flere hus nær elvebreddene berørt. Store deler av Boen bruk er satt under vann. Ved Drangsholt og i Foss blir flere hus oversvømt. Vannstanden i Flaksvatn er så høy at noen hus langs den sørlige kanten av innsjøen begynner å bli oversvømt. I Birkeland er store deler av næringsområdet ved Tollenesveien og Fv. 41 satt under vann.

Ved en 500-årsflom er Boen bruk fullstendig oversvømt. I Drangsholt og Foss er mange hus berørt. Ved og nedstrøms Rugsland trekker vannet innover i bebyggelsen og Fv. 41. På sørsiden av Flaksvatn er hus og Fv. 41 berørt. I Birkeland trekker vannet innover bebyggelsen og fiberglassfabrikken er fullstendig oversvømt.

Ved en 1000-årsflom er de fleste bygningene i Drangsholt og mange bygninger i Foss oversvømt. Hus nær elvebreddene ved Dønnestad, Raen og Rugsland, og mange av husene på sørsiden av Flaksvatn er berørt. I Birkeland er næringsområdet ved Tollenesveien, fiberglassfabrikken, Fv. 41 og noen boliger oversvømt.

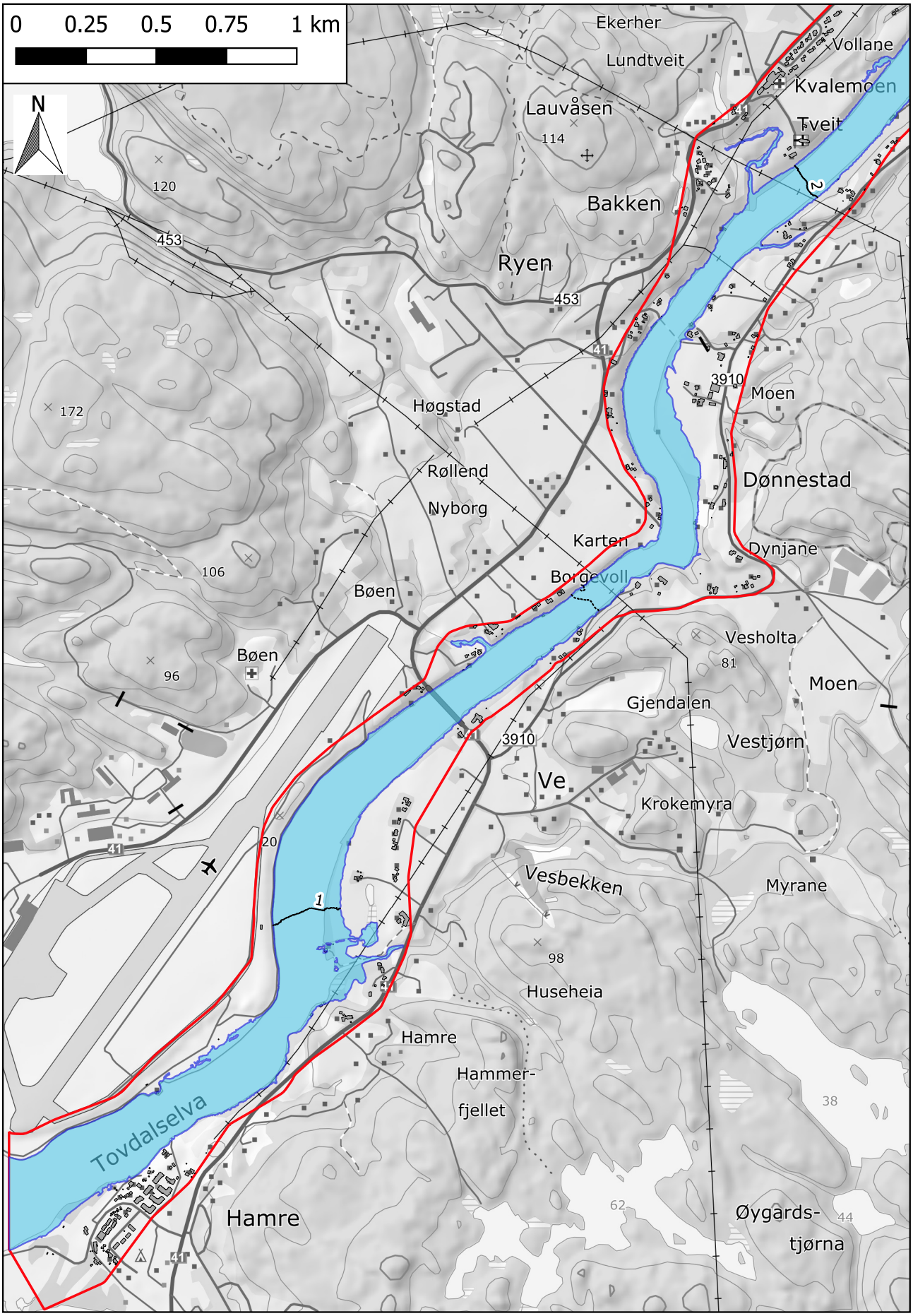
Ved en 20-årsflom i et endret klima er noen bygninger ved utløpet i Topdalsfjorden noen hus nær elvebreddene ved Dønnestad berørt. Ved Rølliken renner vannet ut av elveløpet over Dønnestadveien. Boen bruk ved Boenfoss er berørt. Ved Drangsholt er flere hus og Fv. 41 satt under vann. I Foss oversvømmer elva Fv. 3748. I Birkeland er næringsområdet ved Tollenesveien og Fv. 41 oversvømt, og vannet begynner å berøre fiberglassfabrikken.

Ved en 200-årsflom i et endret klima er noen hus langs elvebreddene nedstrøms oversvømt. Boen bruk er fullstendig satt under vann. Store deler av Drangsholt og Foss er oversvømt. Fv. 3748 er under vann på en strekning på flere hundre meter, Fv. 41 på over en kilometer. I og nedstrøms Rugland trekker vannet innover deler av bebyggelsen og Fv. 41. I Birkeland er næringsområdet ved Tollenesveien og fiberglassfabrikken fullstendig oversvømt. Fv. 41 og flere hus øst for næringsområdet og sør for Flaksvatn er berørt.

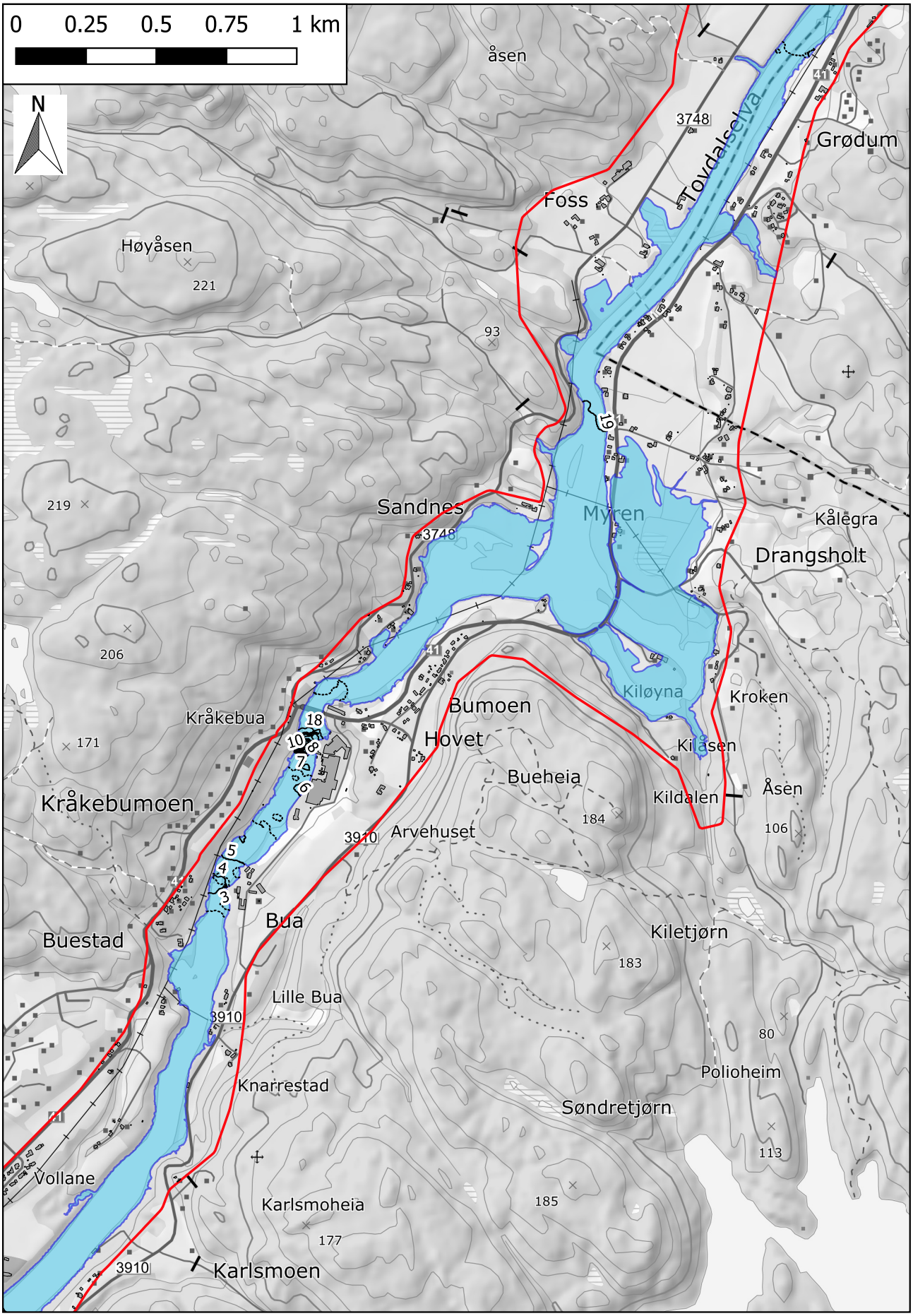
Ved en 1000-årsflom i et endret klima blir ytterligere hus ved Ryen og Dønnestad oversvømt. Også i Drangsholt, Foss, Rugsland og Birkeland blir ytterligere hus berørt. I tillegg er Fv. 41 på Østre Mollestad satt under vann.

Vedlegg

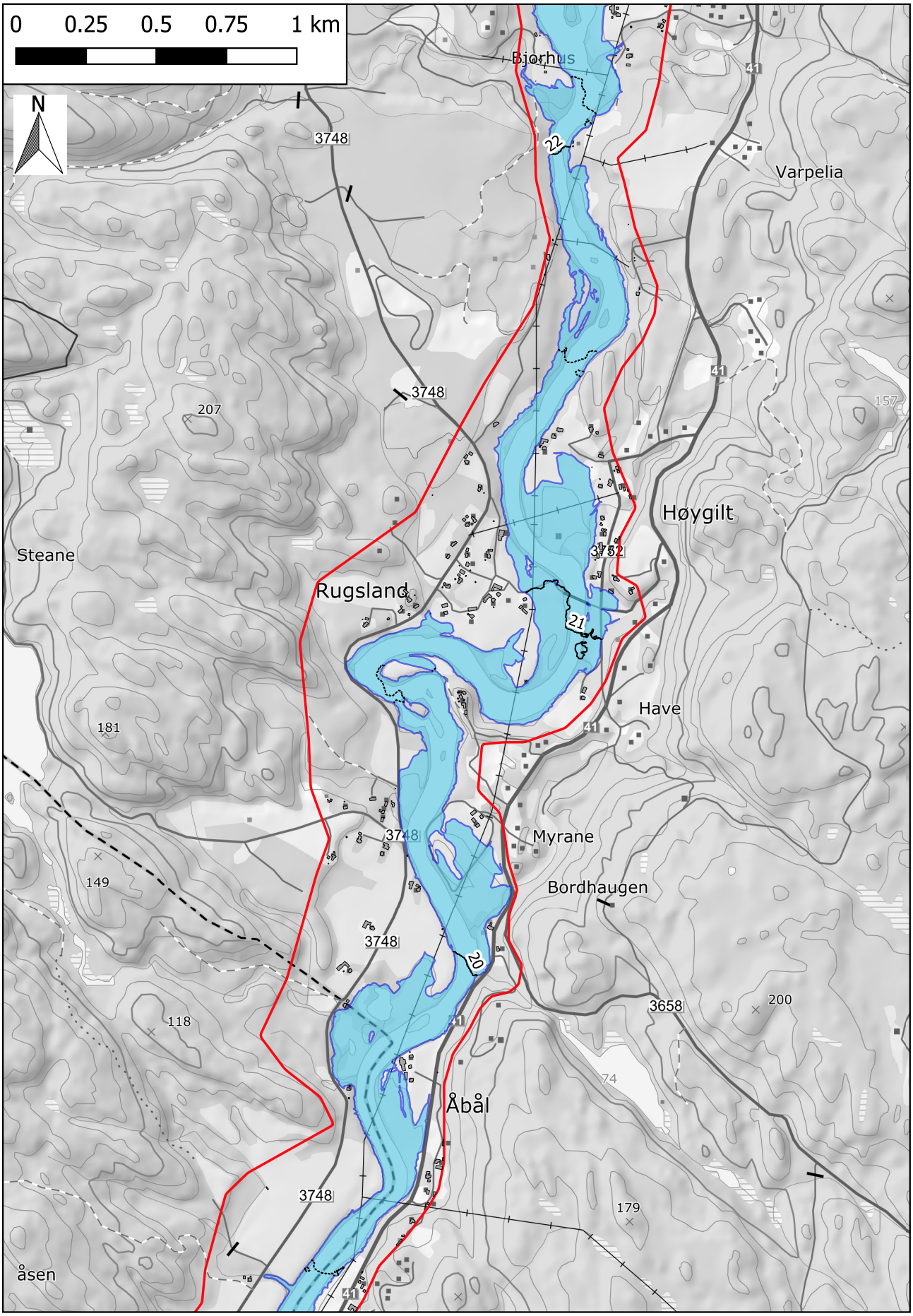
Flomsonekart og hastighetskart



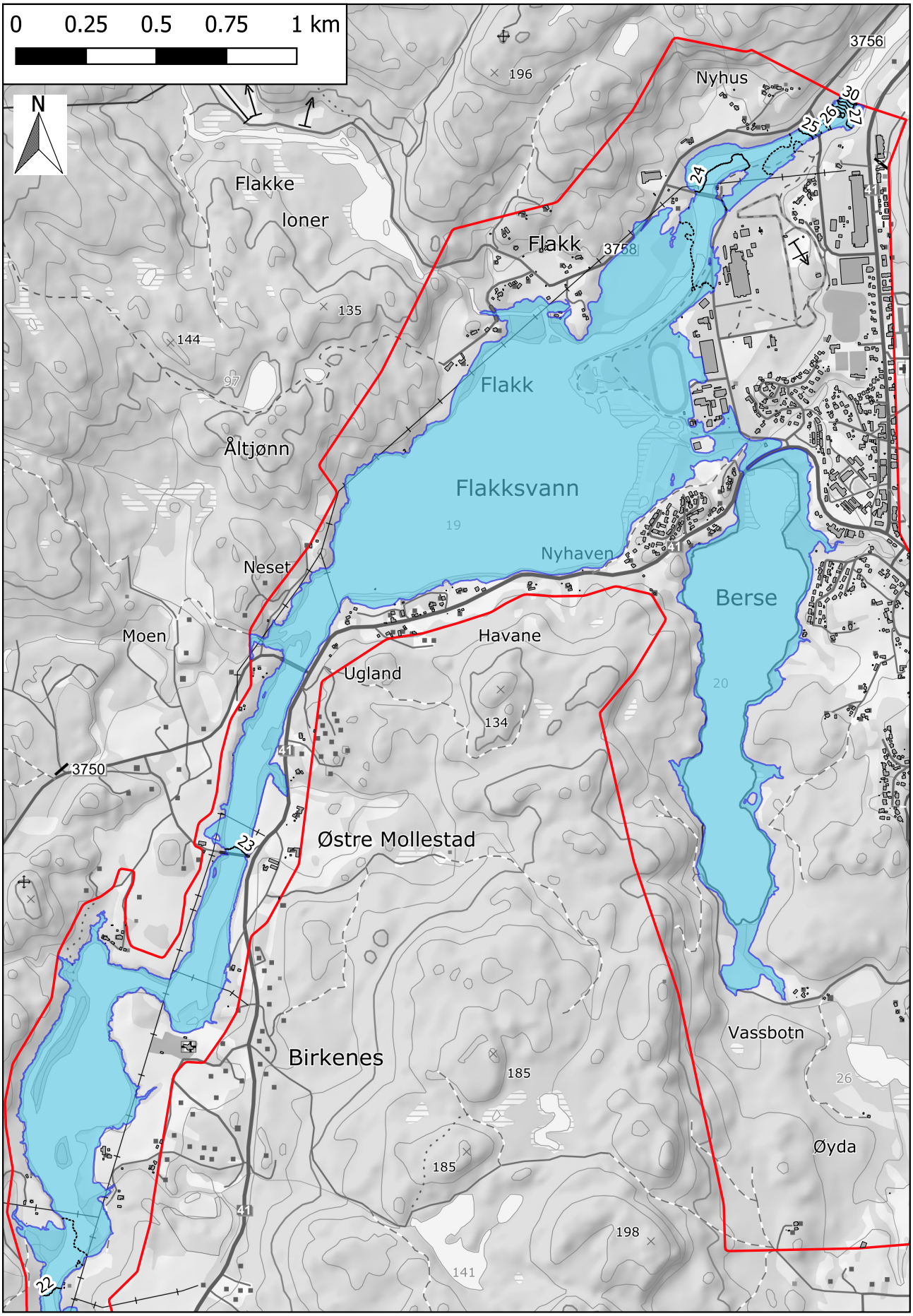
Flomsonekart for 10-årsflom, del 1



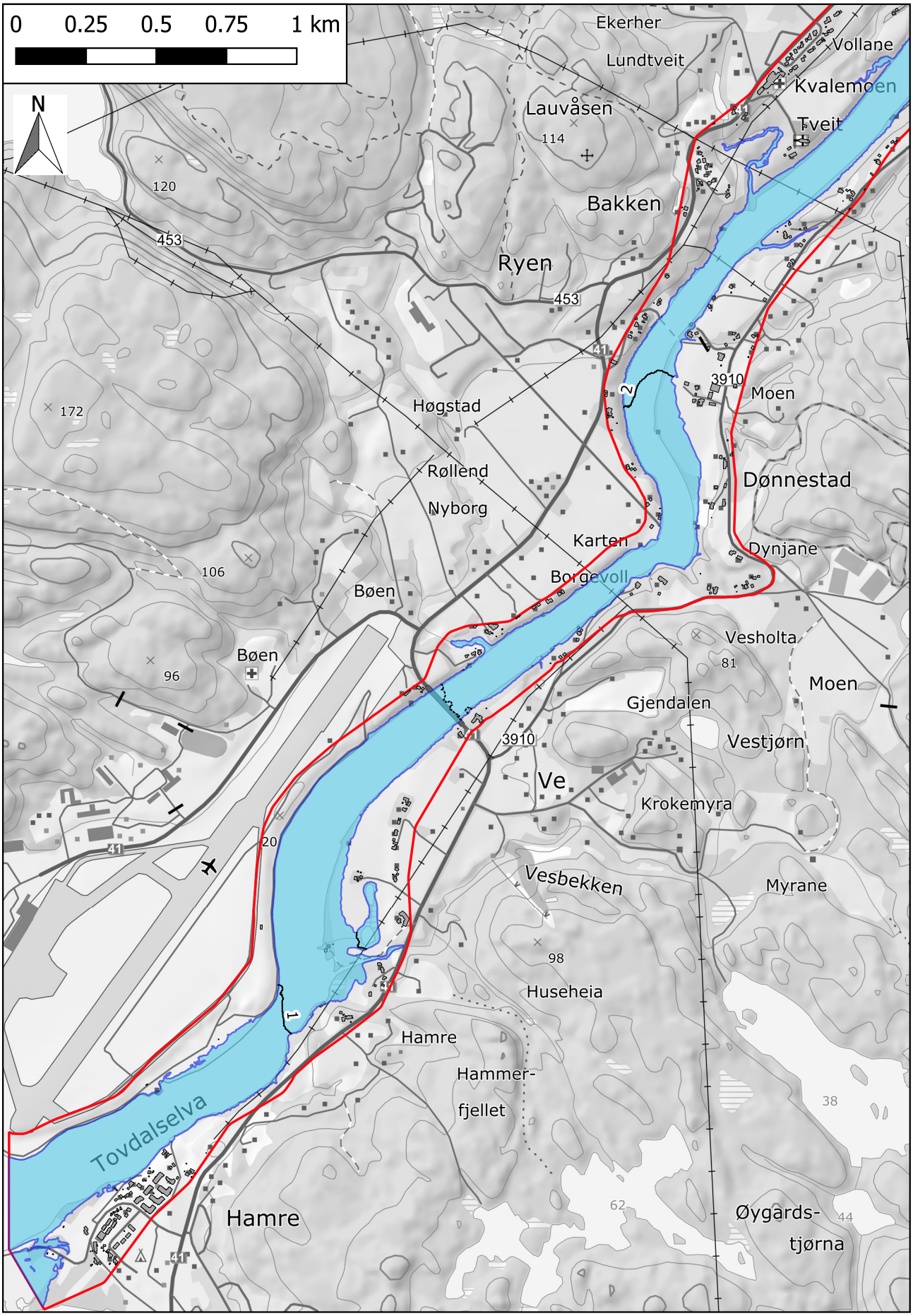
Flomsonekart for 10-årsflom, del 2



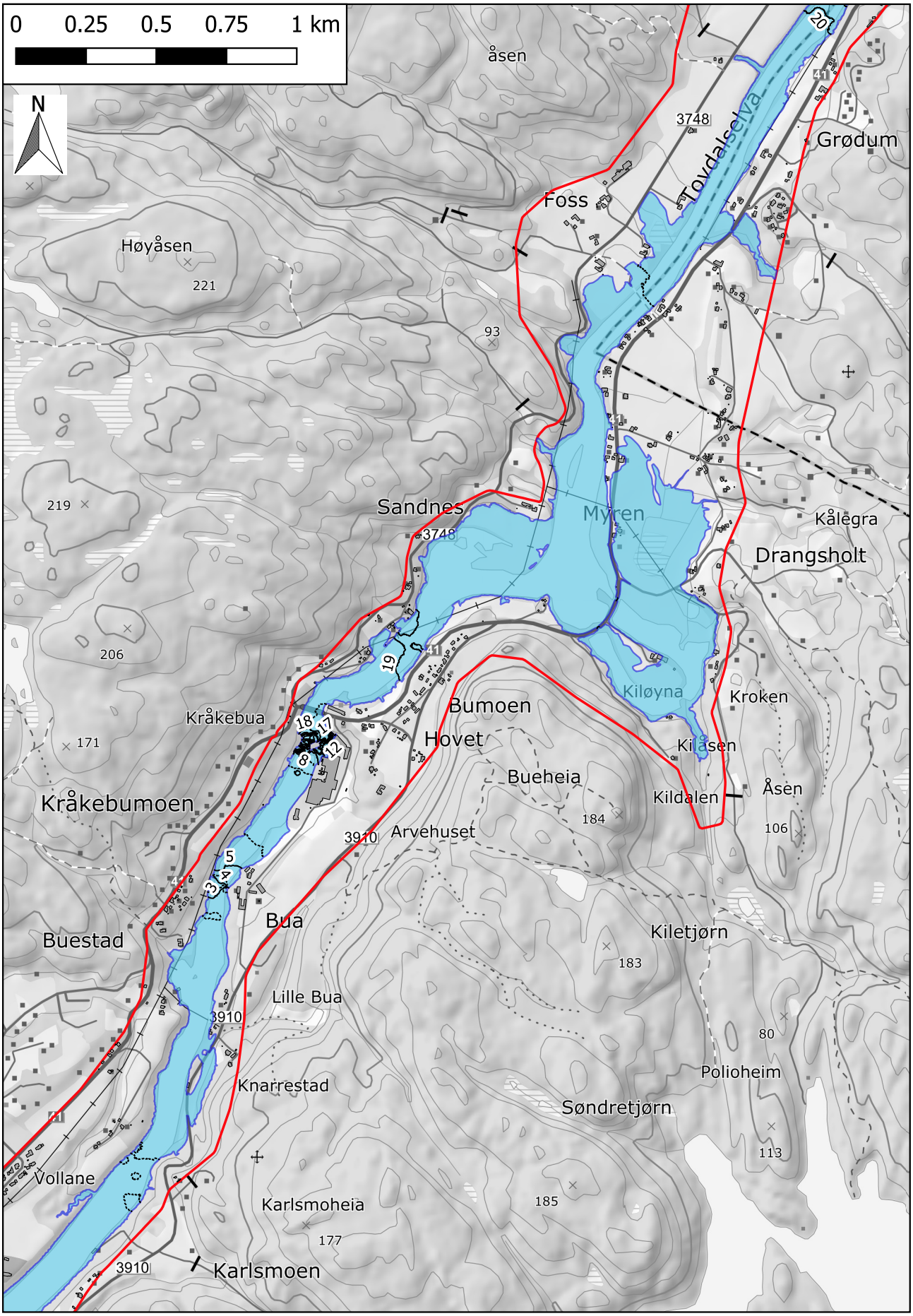
Flomsonekart for 10-årsflom, del 3



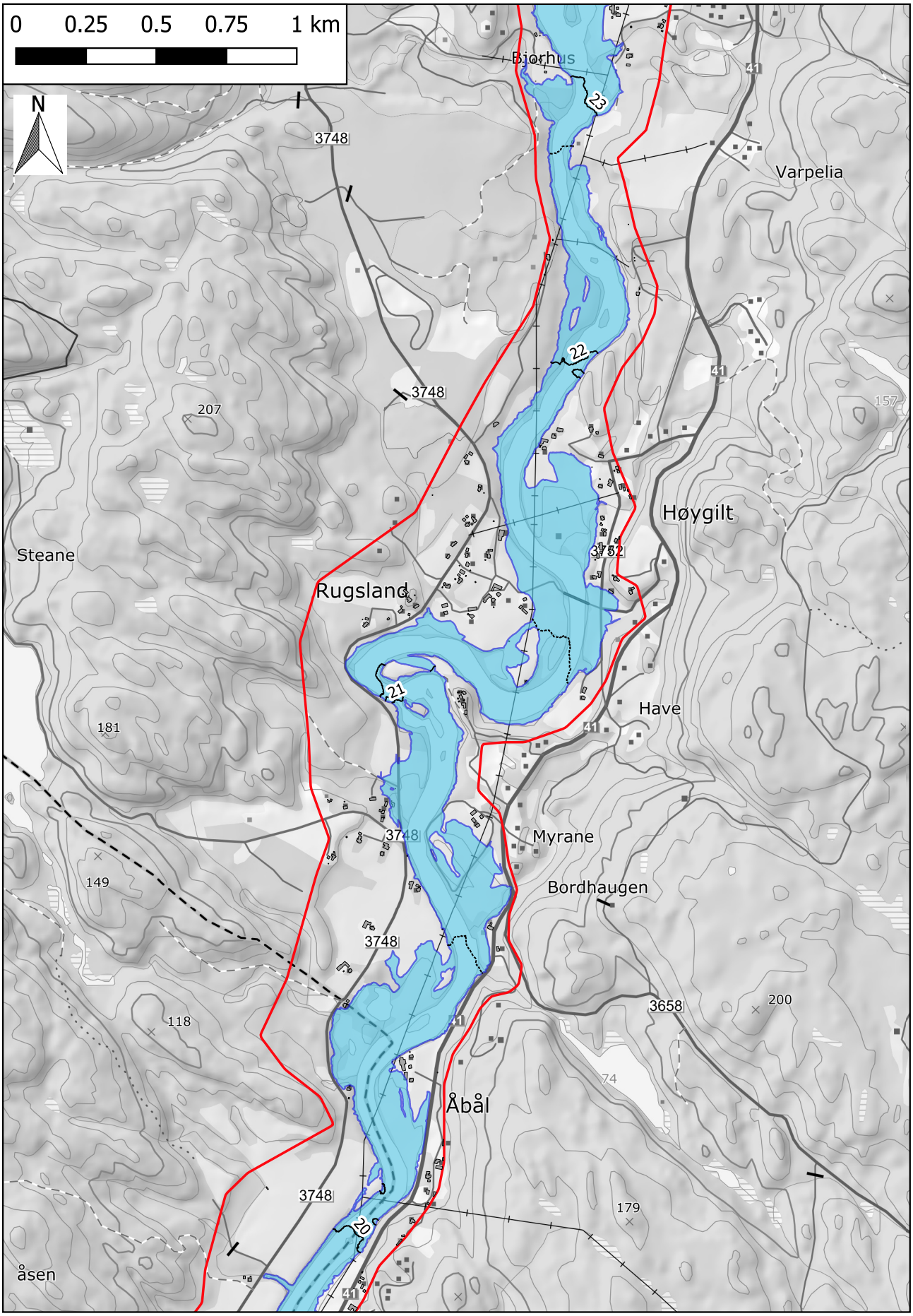
Flomsonekart for 10-årsflom, del 4



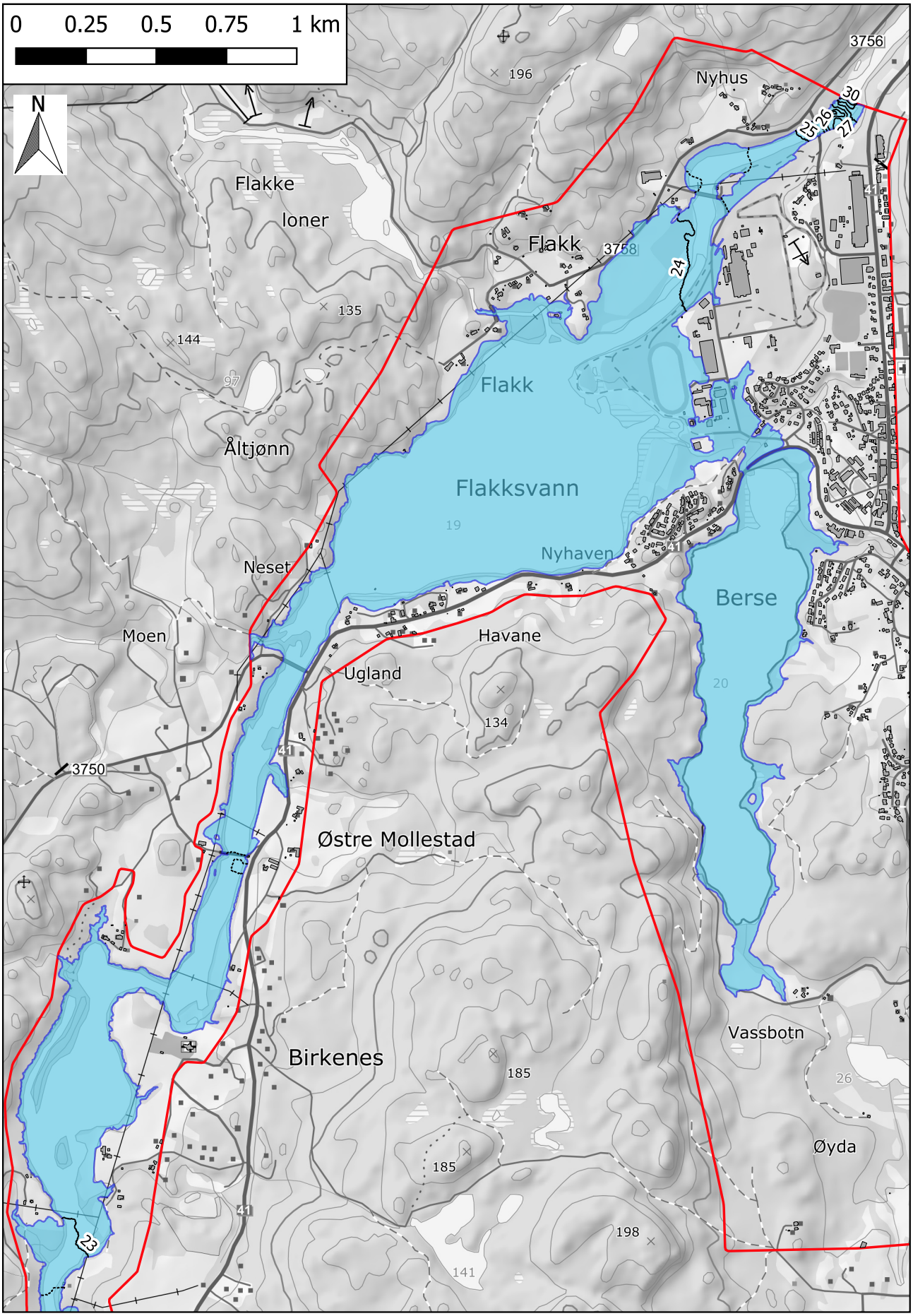
Flomsonekart for 20-årsflom, del 1



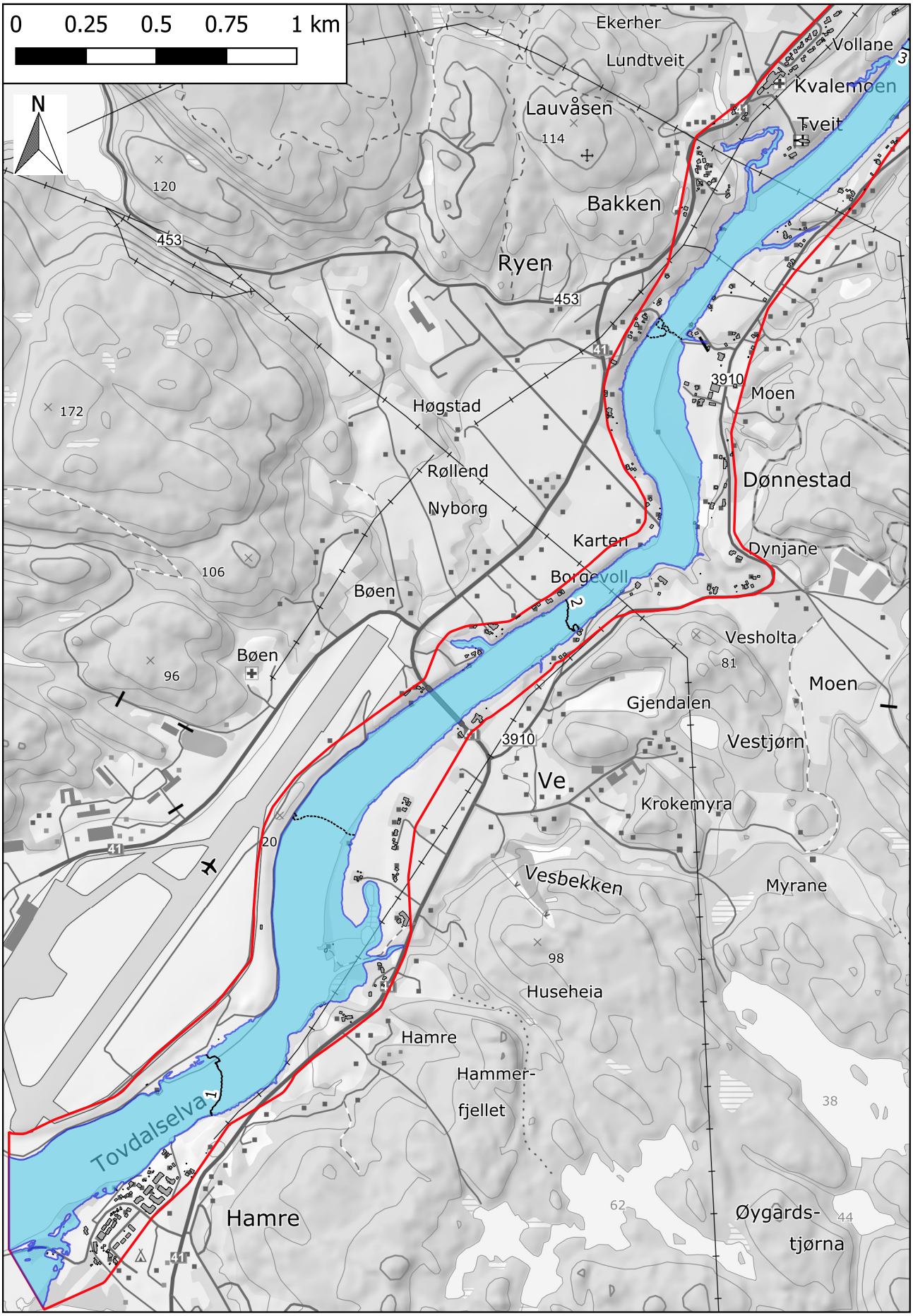
Flomsonekart for 20-årsflom, del 2



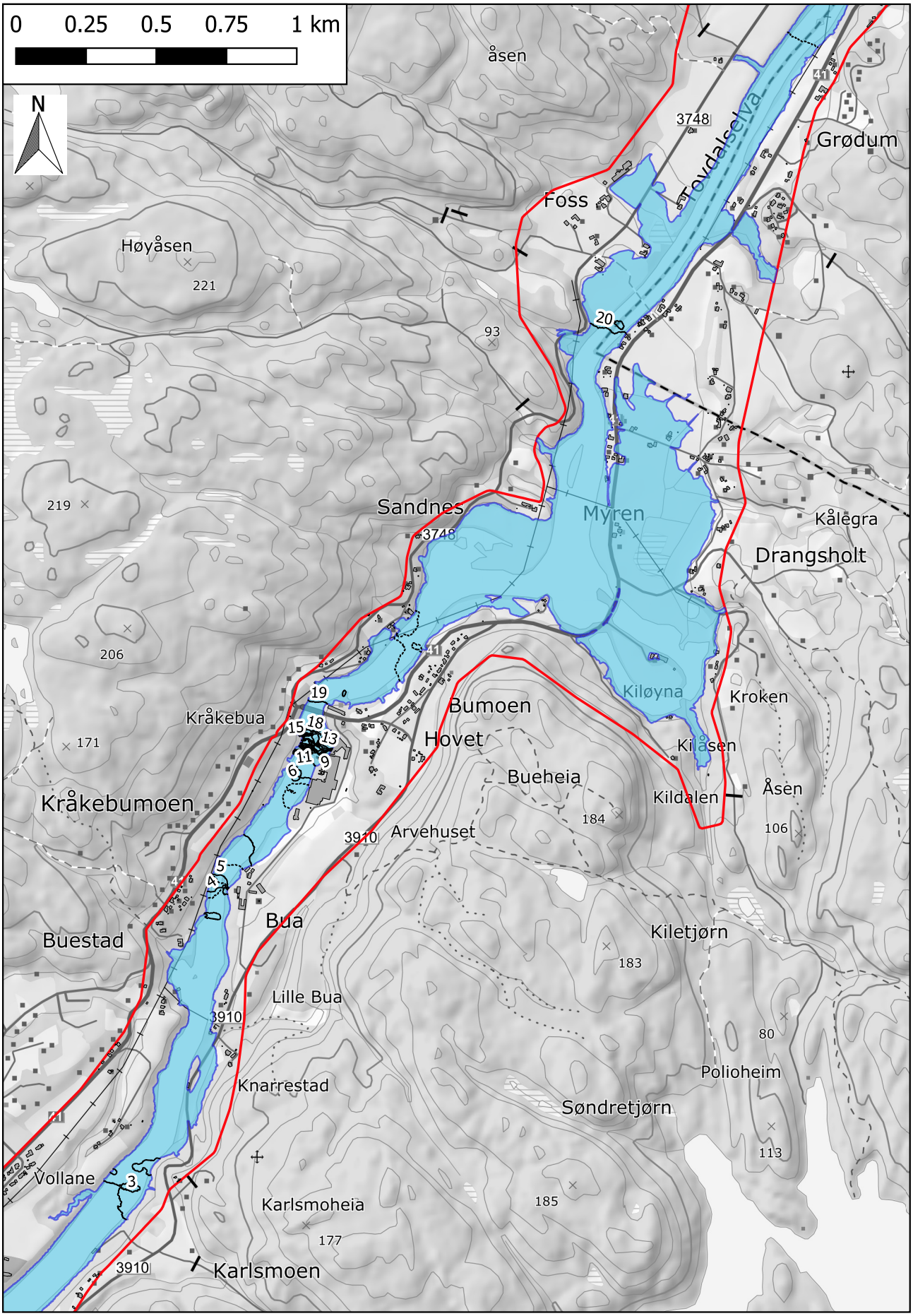
Flomsonekart for 20-årsflom, del 3



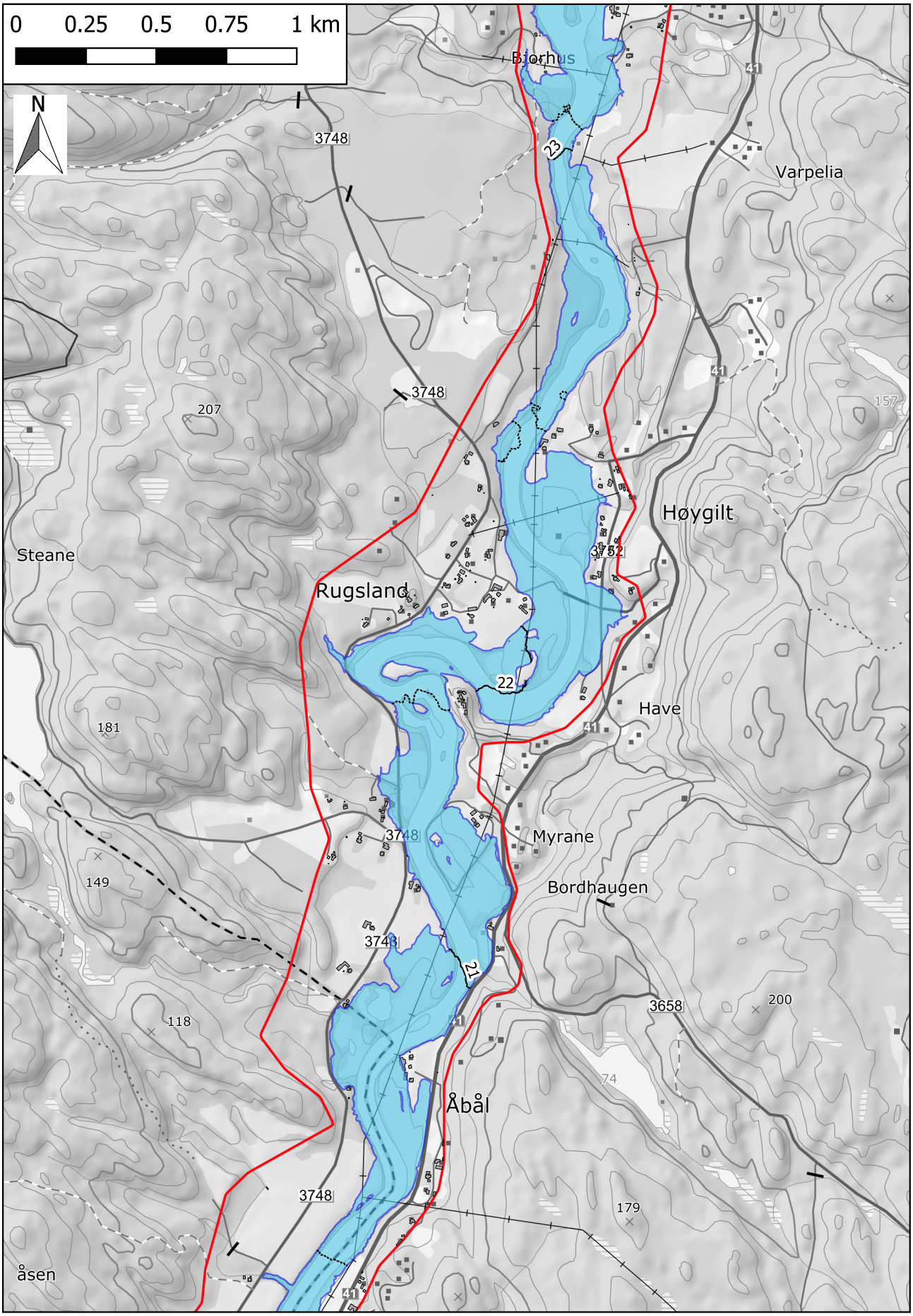
Flomsonekart for 20-årsflom, del 4



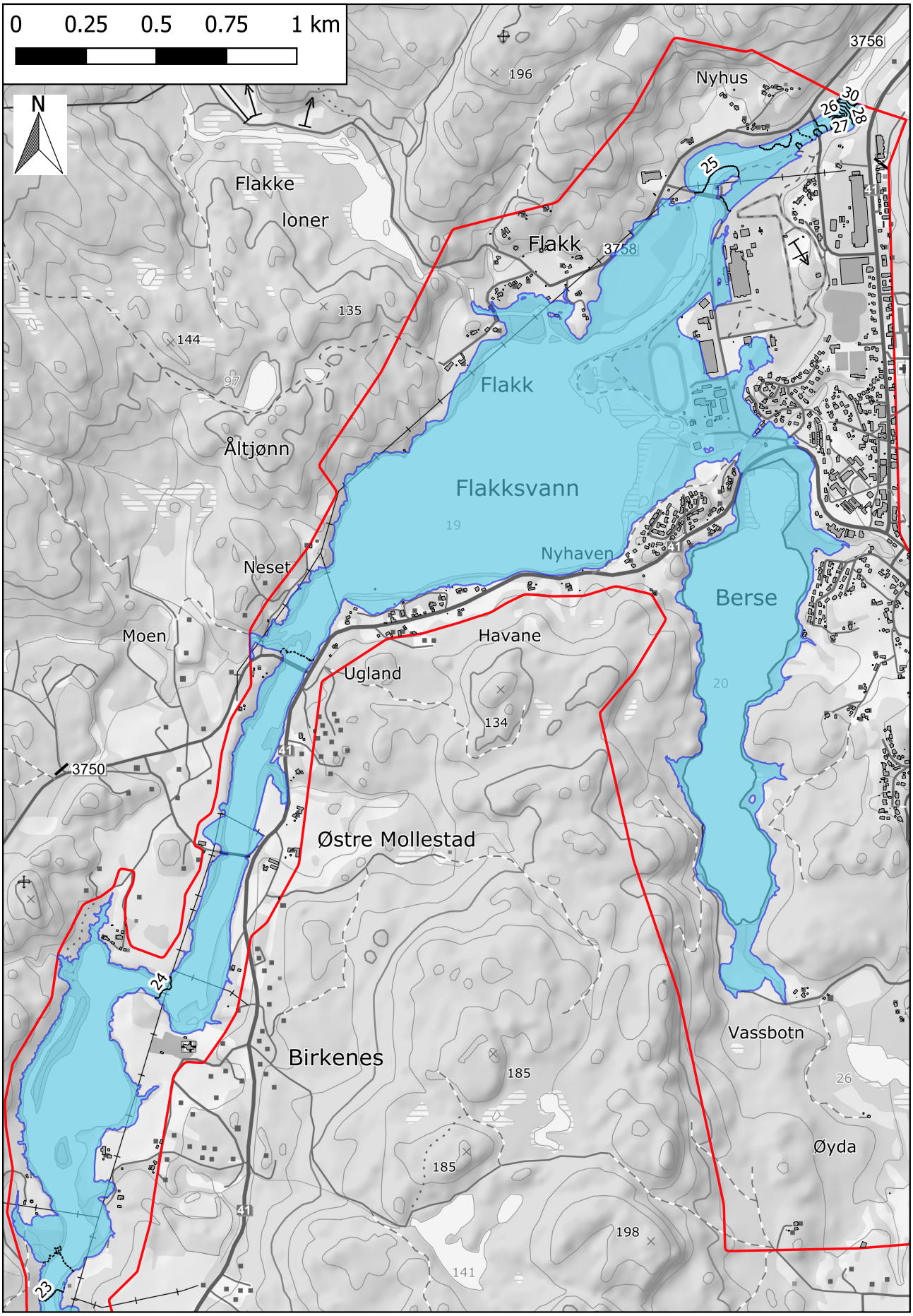
Flomsonekart for 50-årsflom, del 1



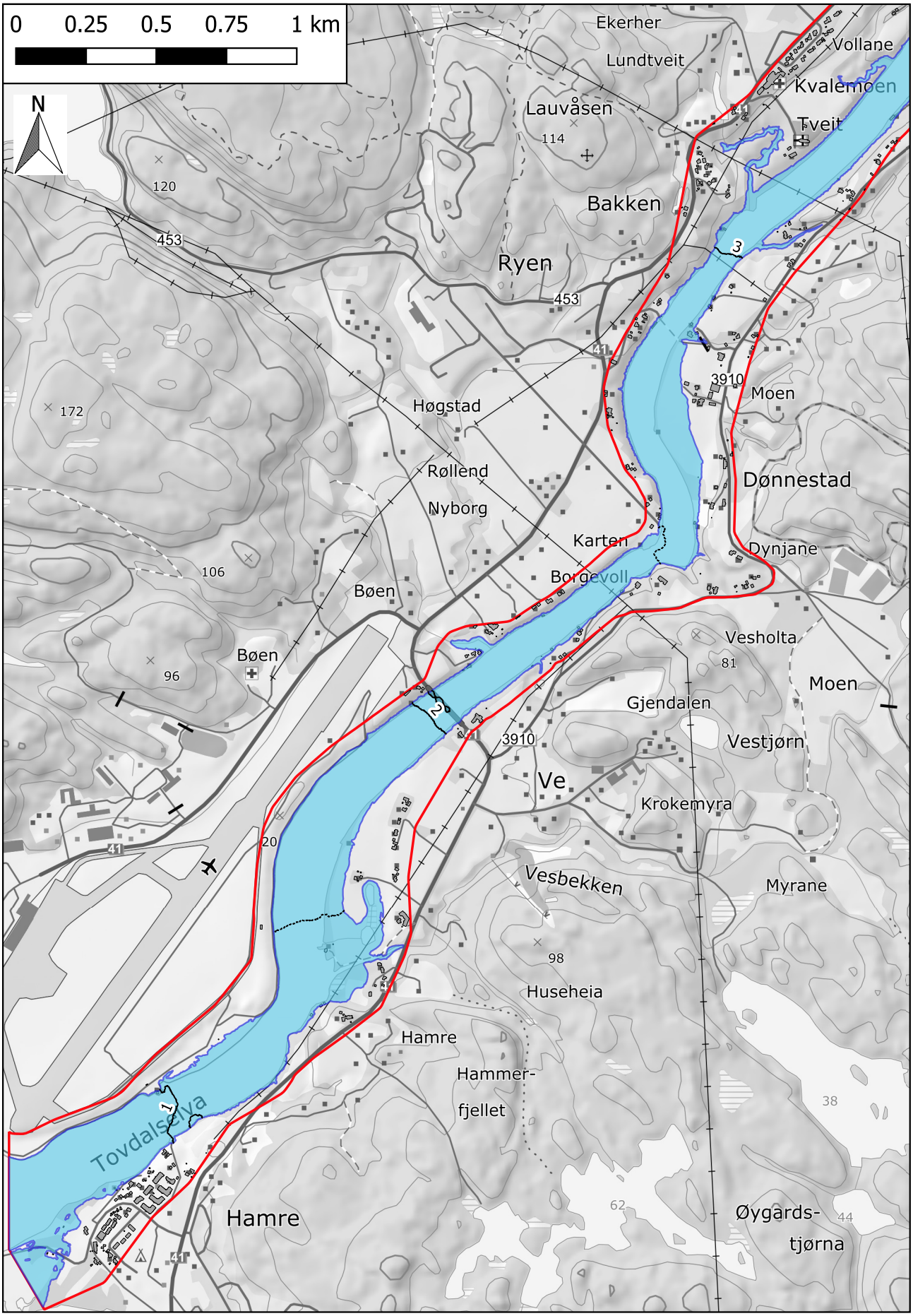
Flomsonekart for 50-årsflom, del 2



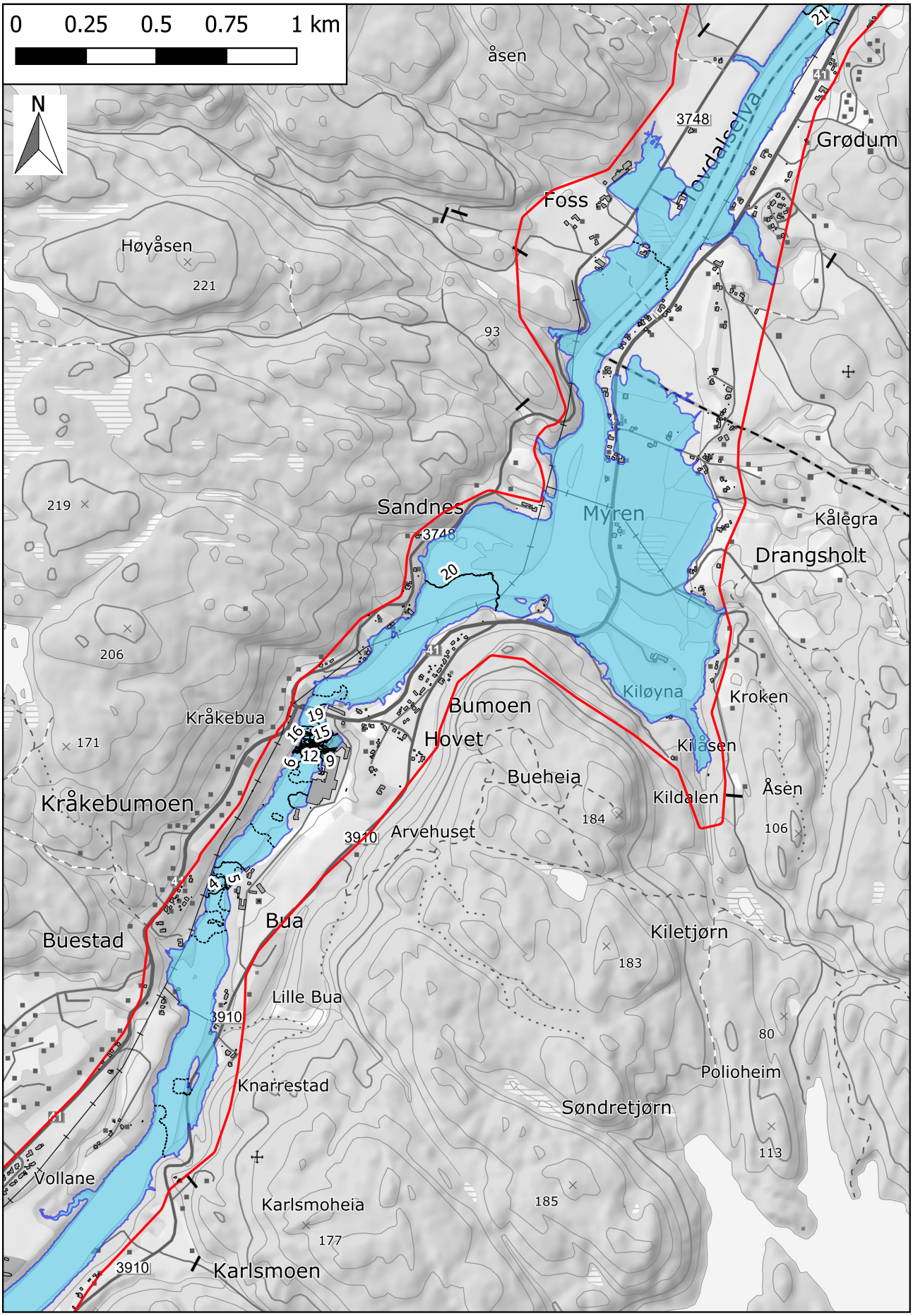
Flomsonekart for 50-årsflom, del 3



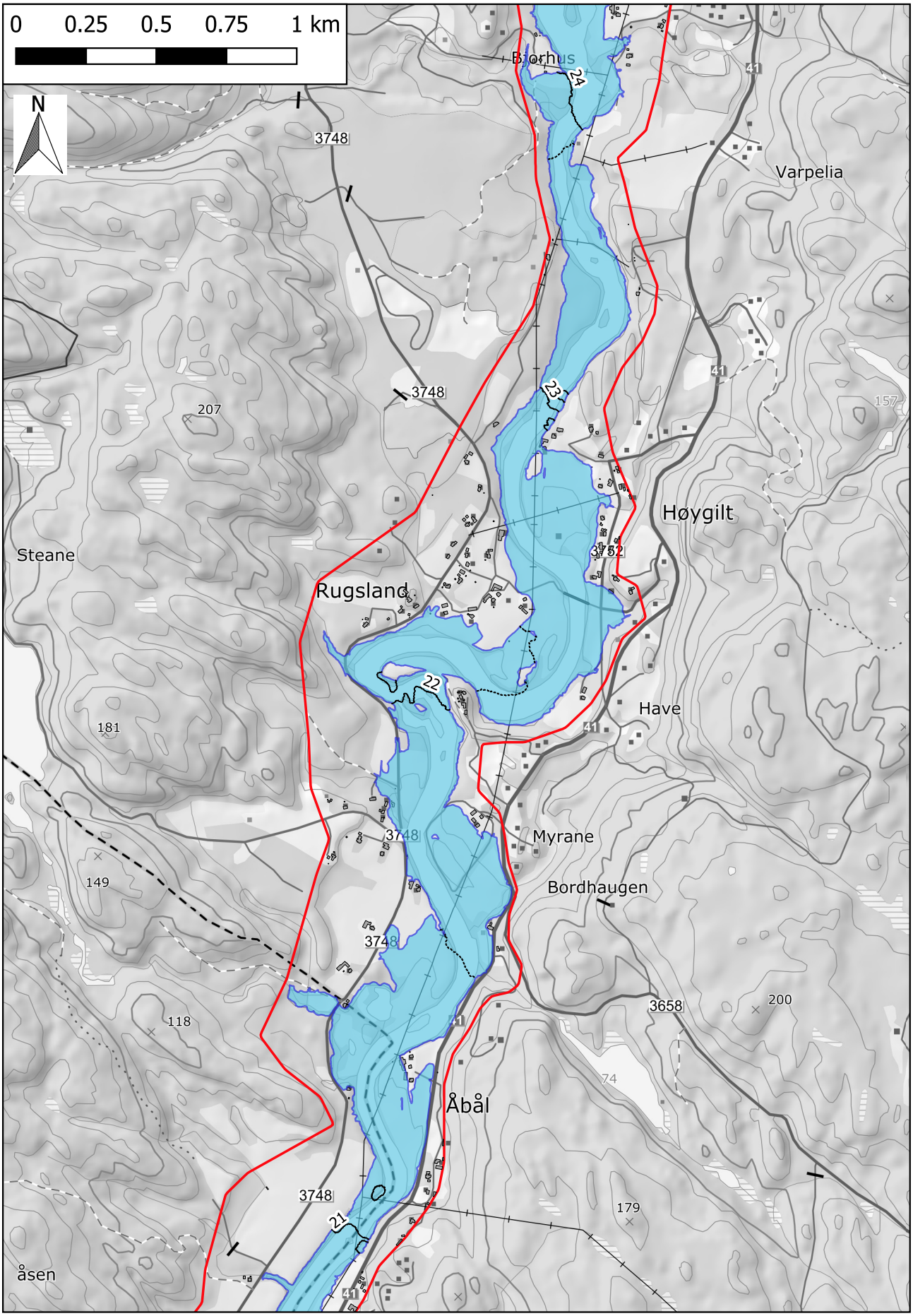
Flomsonekart for 50-årsflom, del 4



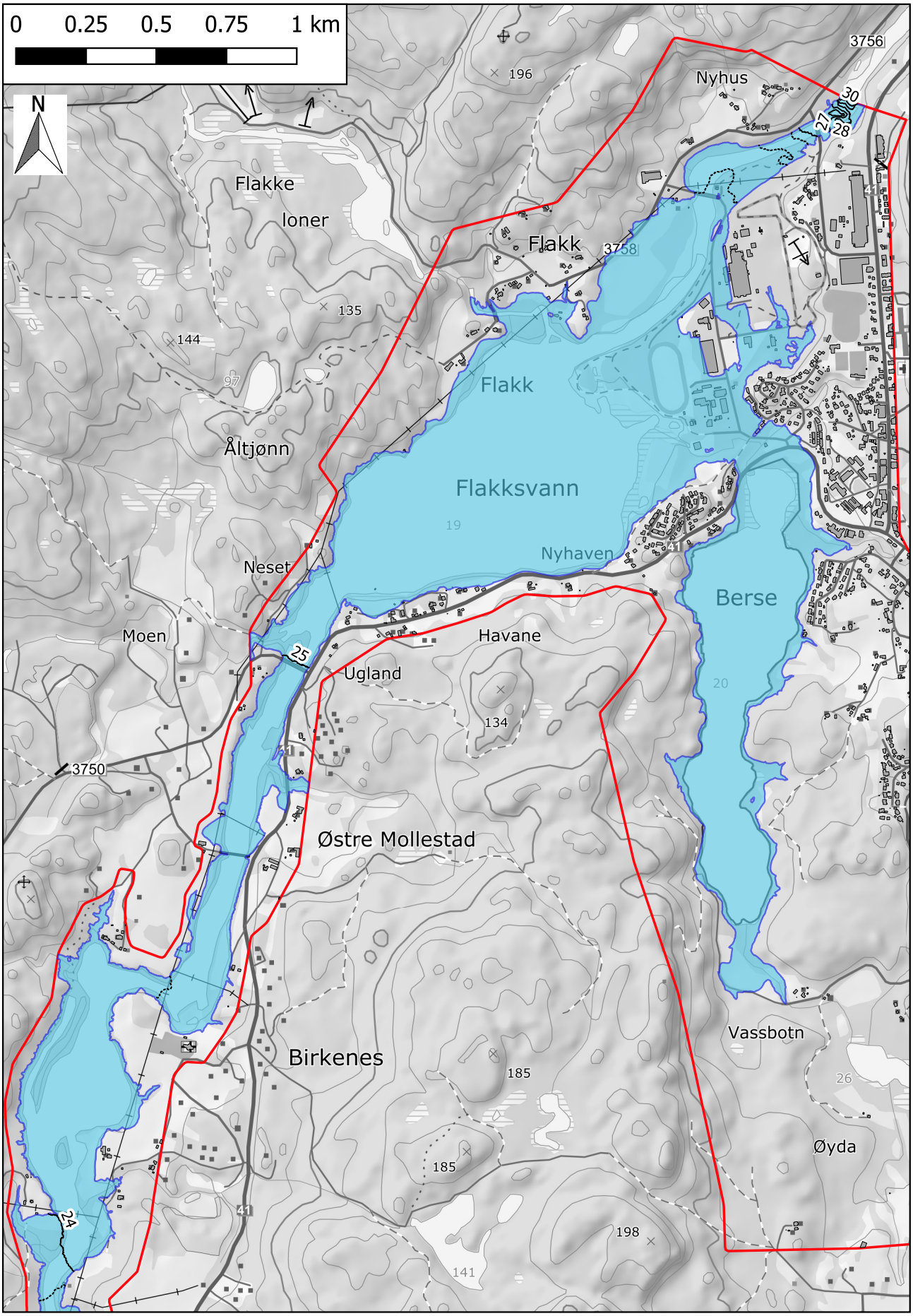
Flomsonekart for 100-årsflom, del 1



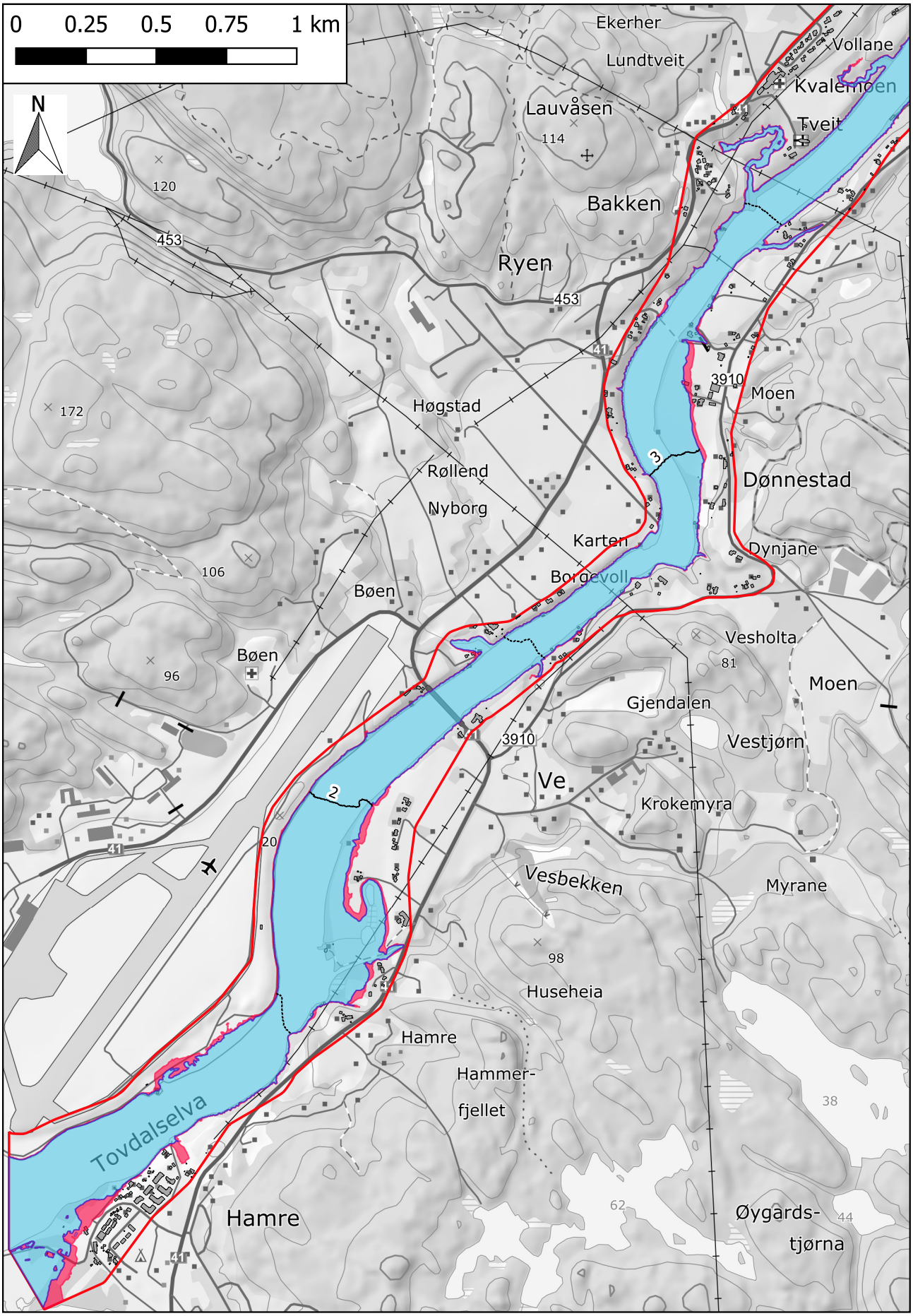
Flomsonekart for 100-årsflom, del 2



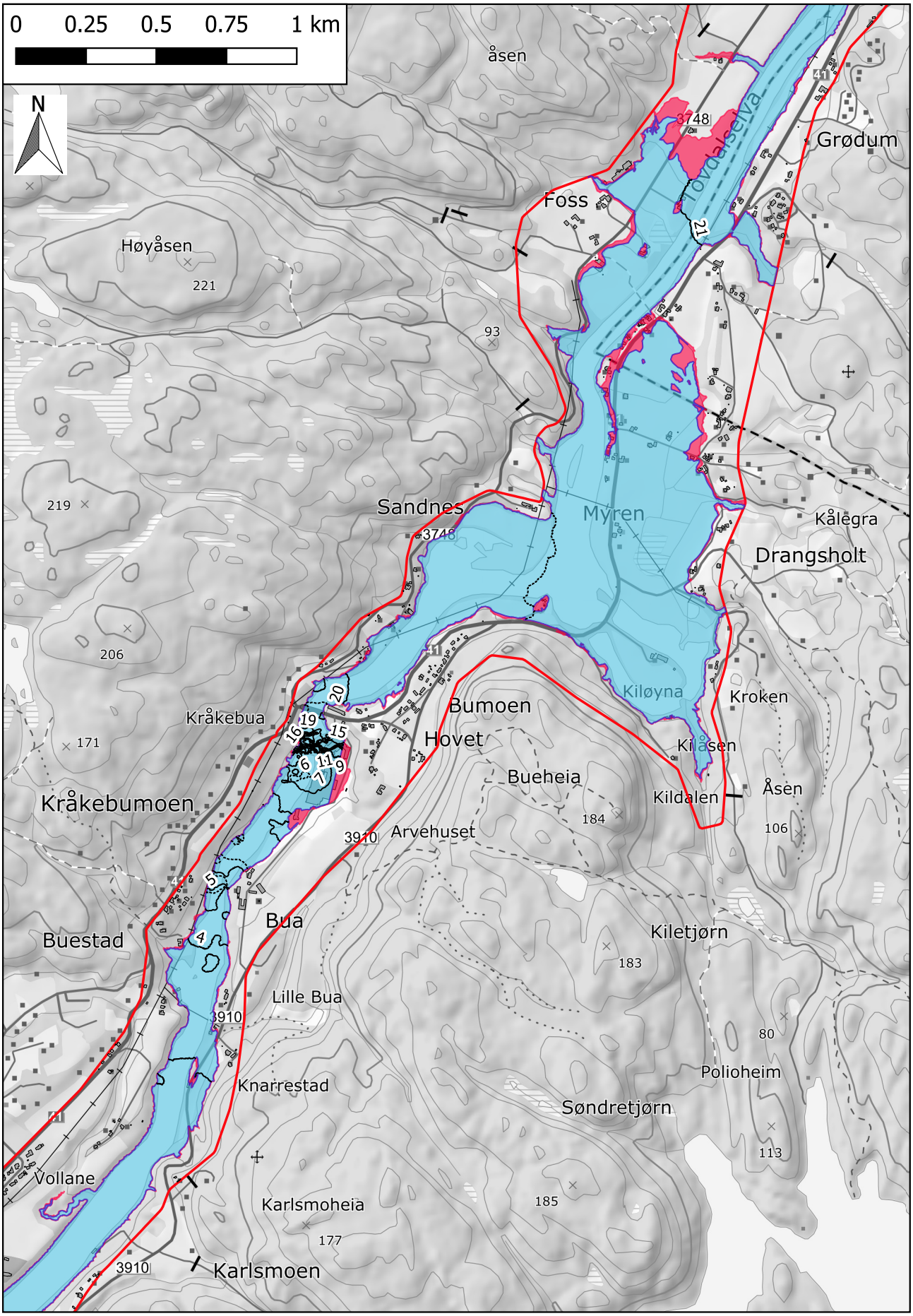
Flomsonekart for 100-årsflom, del 3



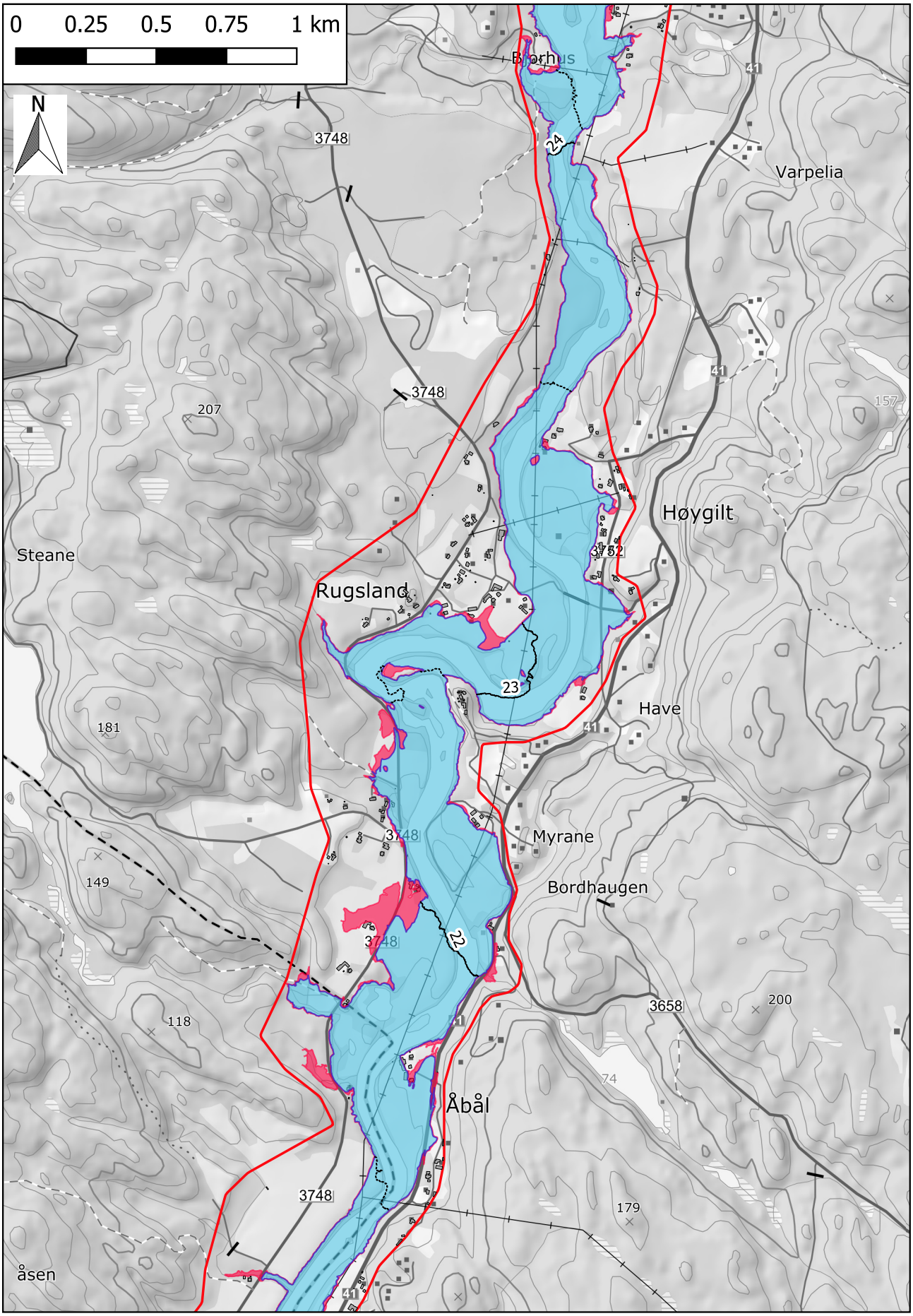
Flomsonekart for 100-årsflom, del 4



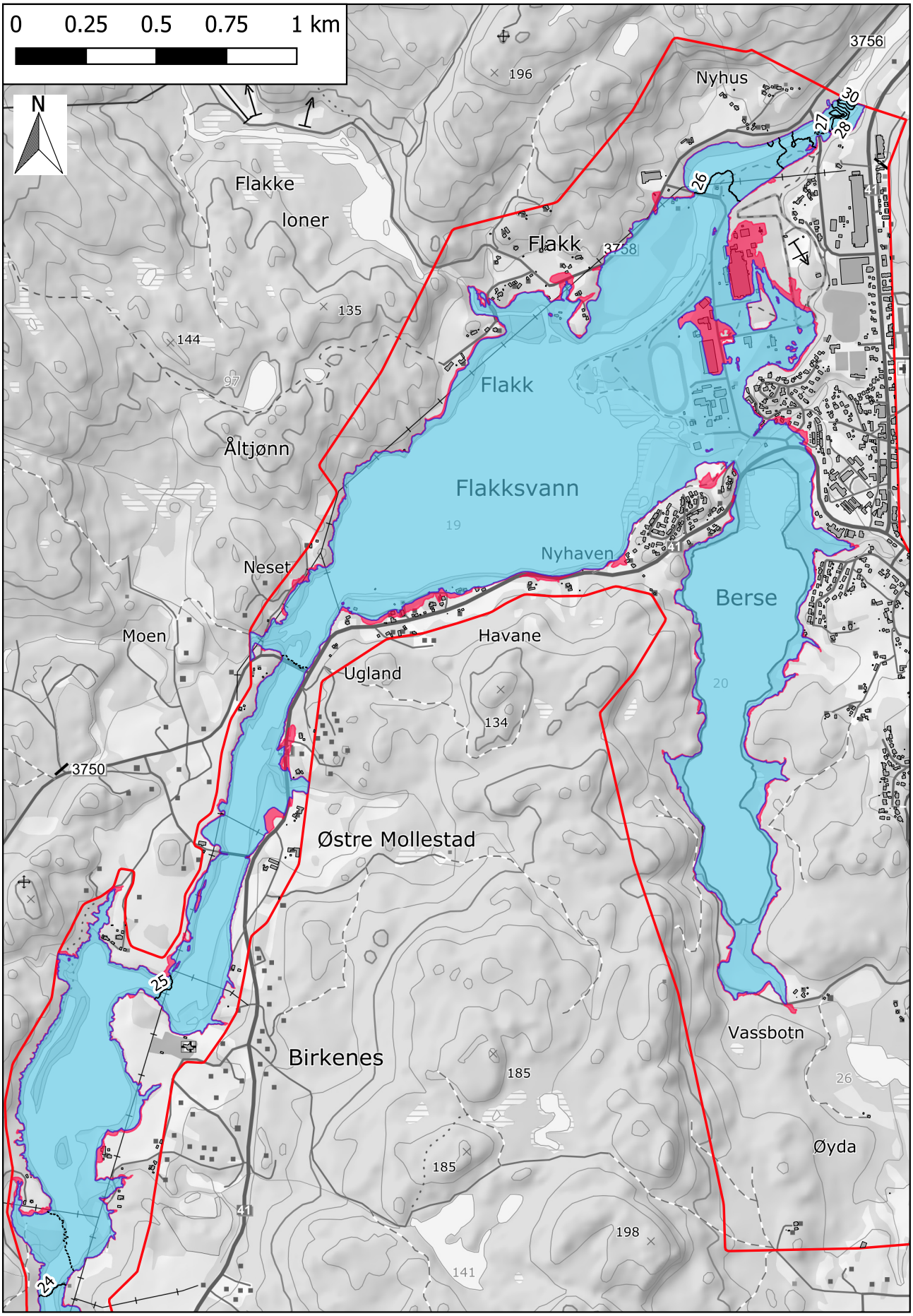
Flomsonekart for 200-årsflom og 200-årsflom med klimapåslag, del 1



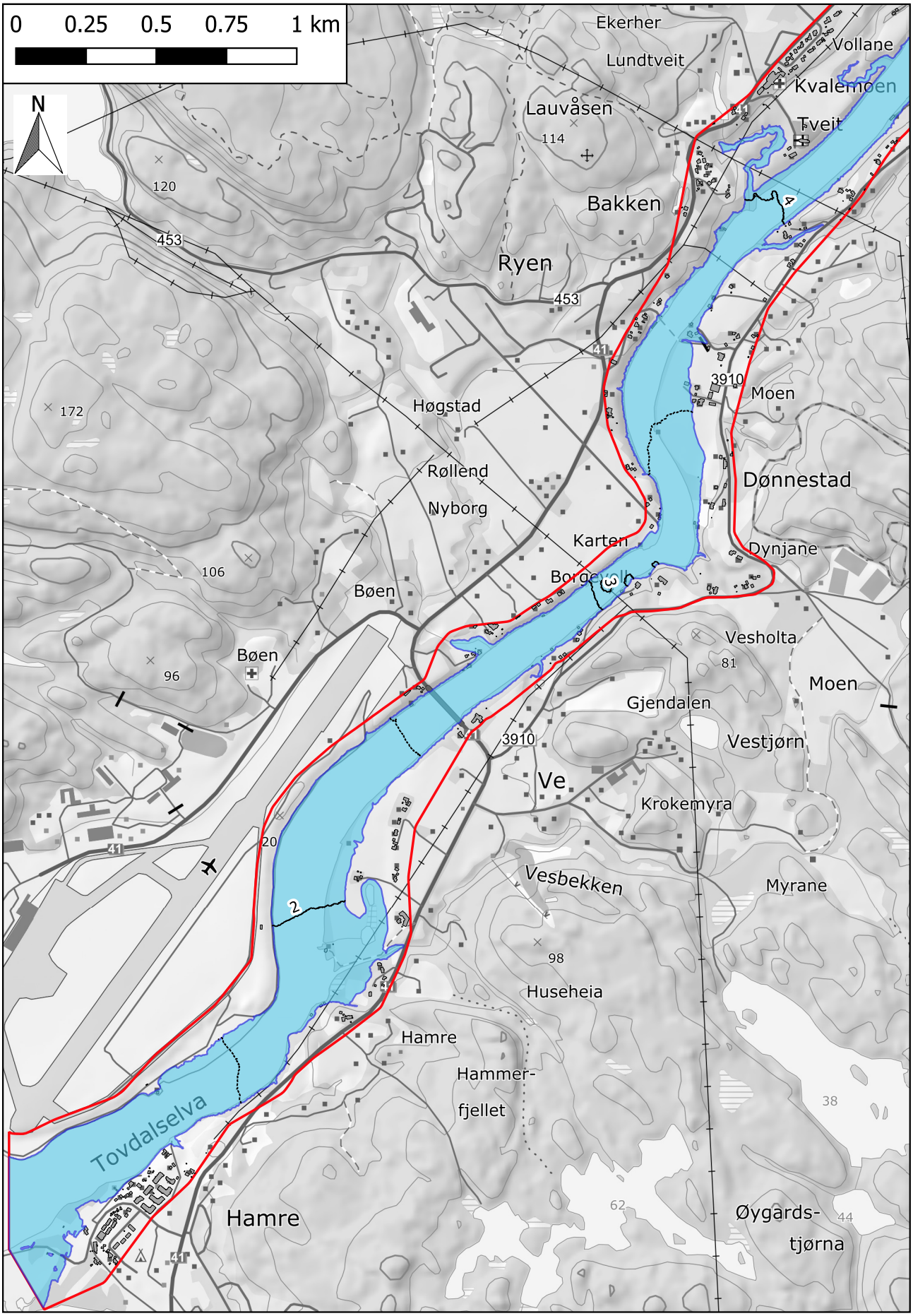
Flomsonekart for 200-årsflom og 200-årsflom med klimapåslag, del 2



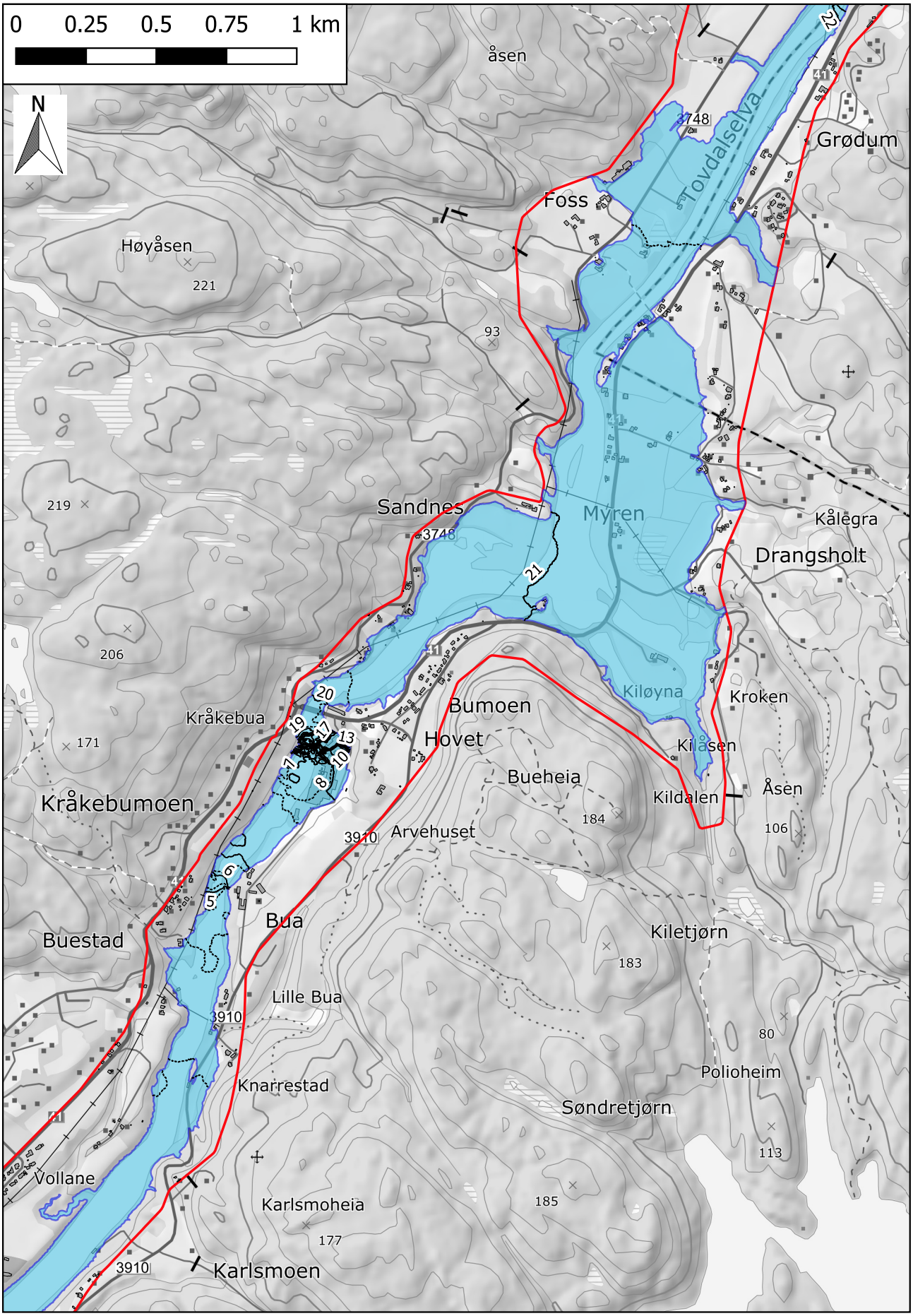
Flomsonekart for 200-årsflom og 200-årsflom med klimapåslag, del 3



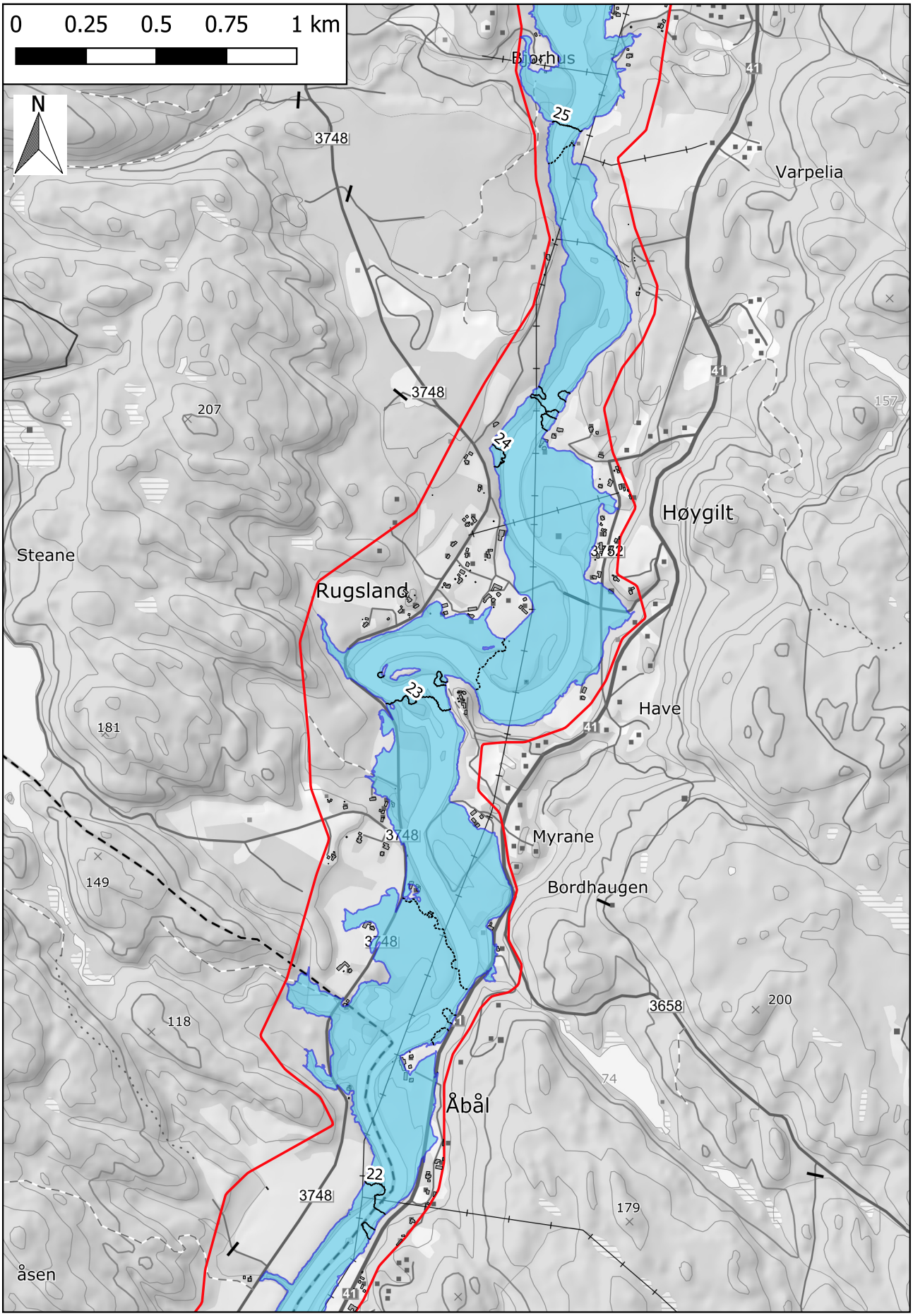
Flomsonekart for 200-årsflom og 200-årsflom med klimapåslag, del 4



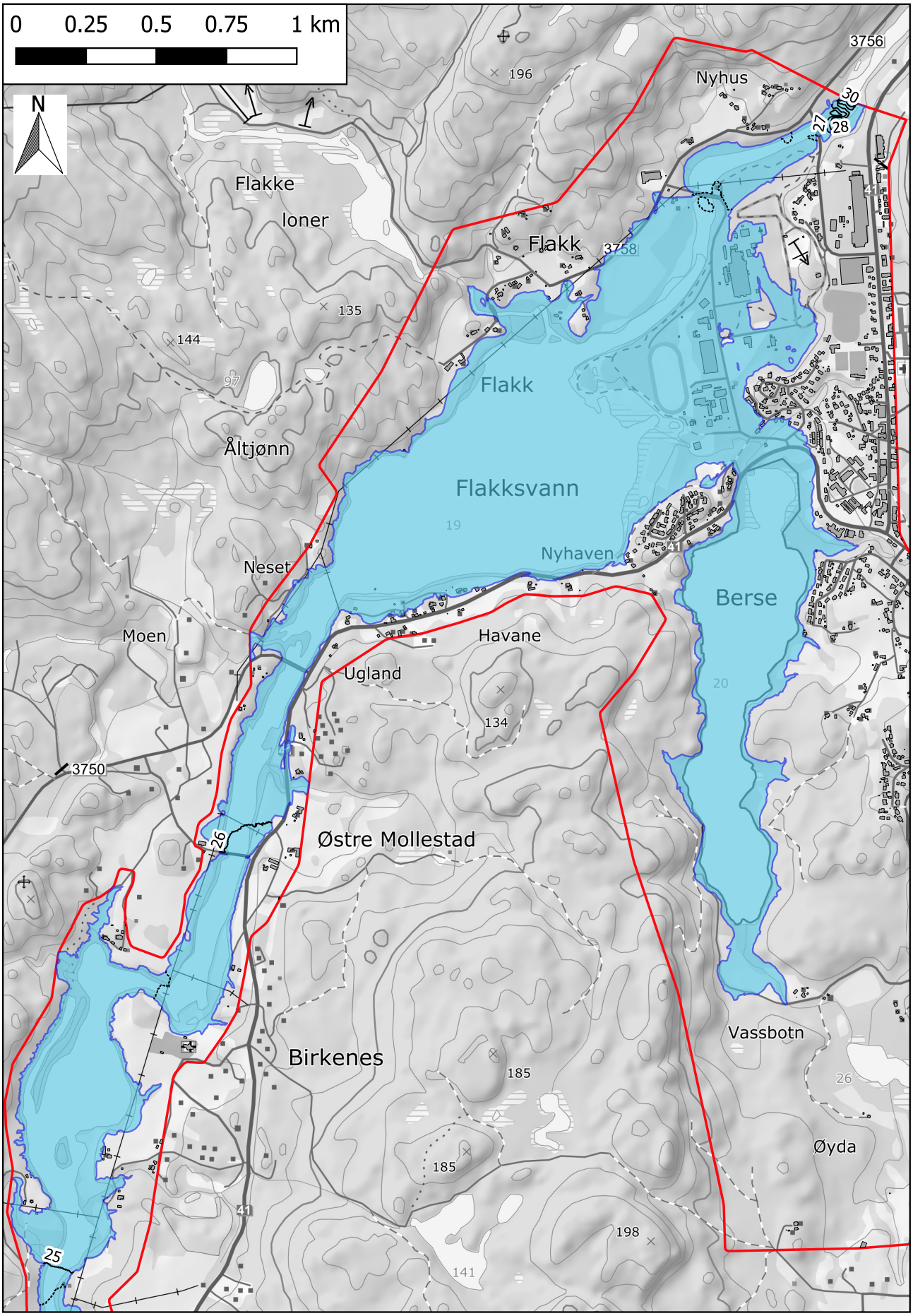
Flomsonekart for 500-årsflom, del 1



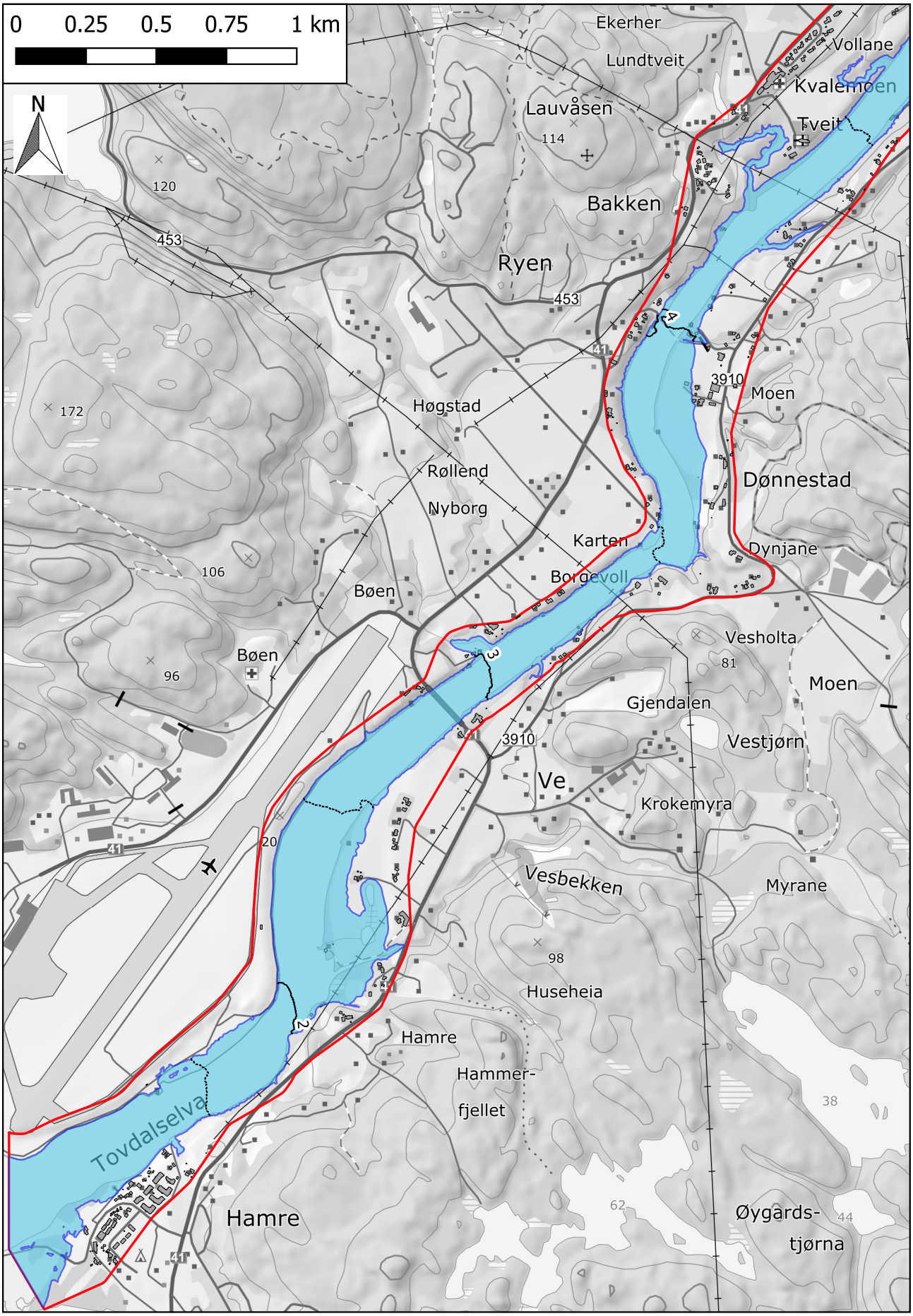
Flomsonekart for 500-årsflom, del 2



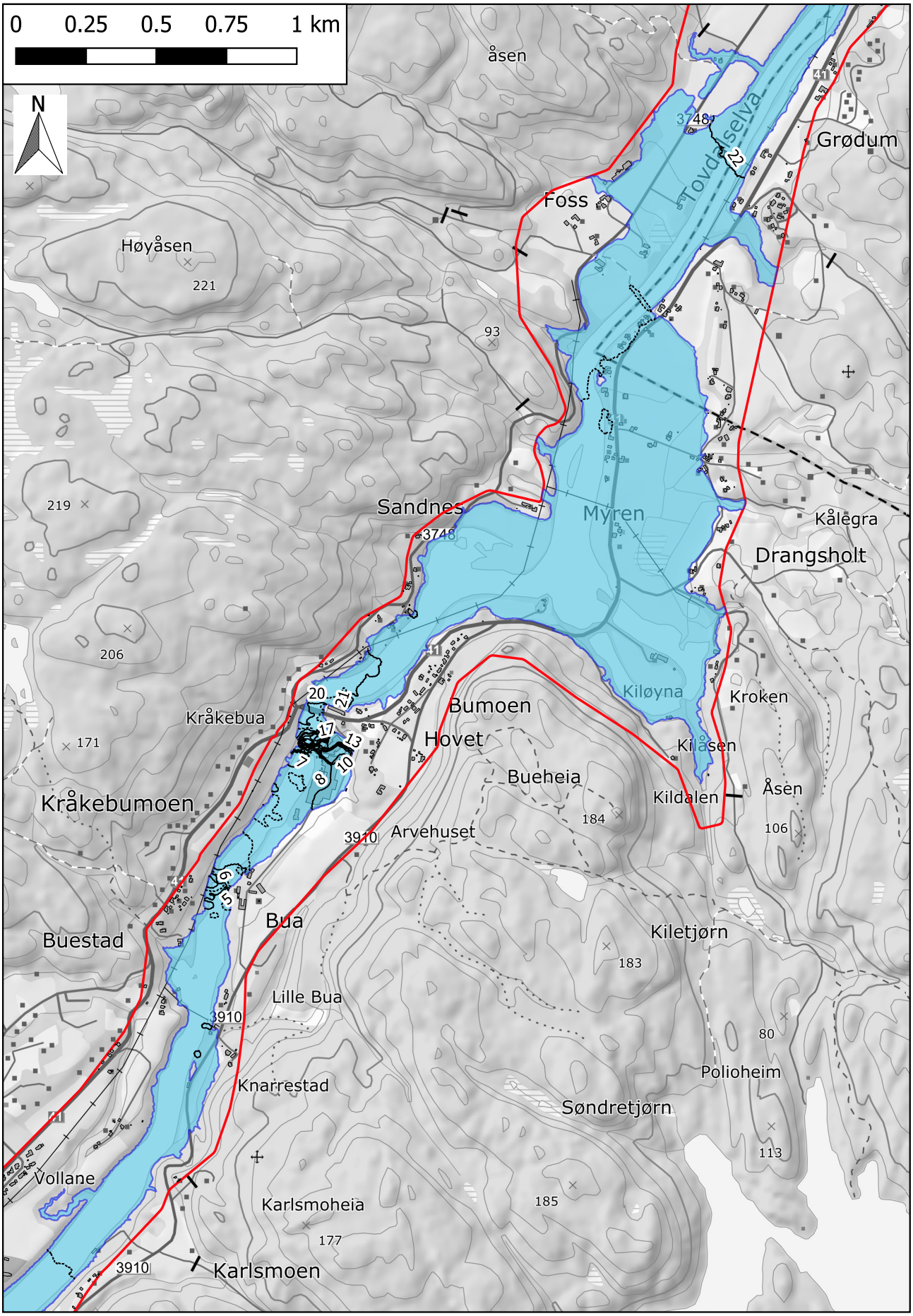
Flomsonekart for 500-årsflom, del 3



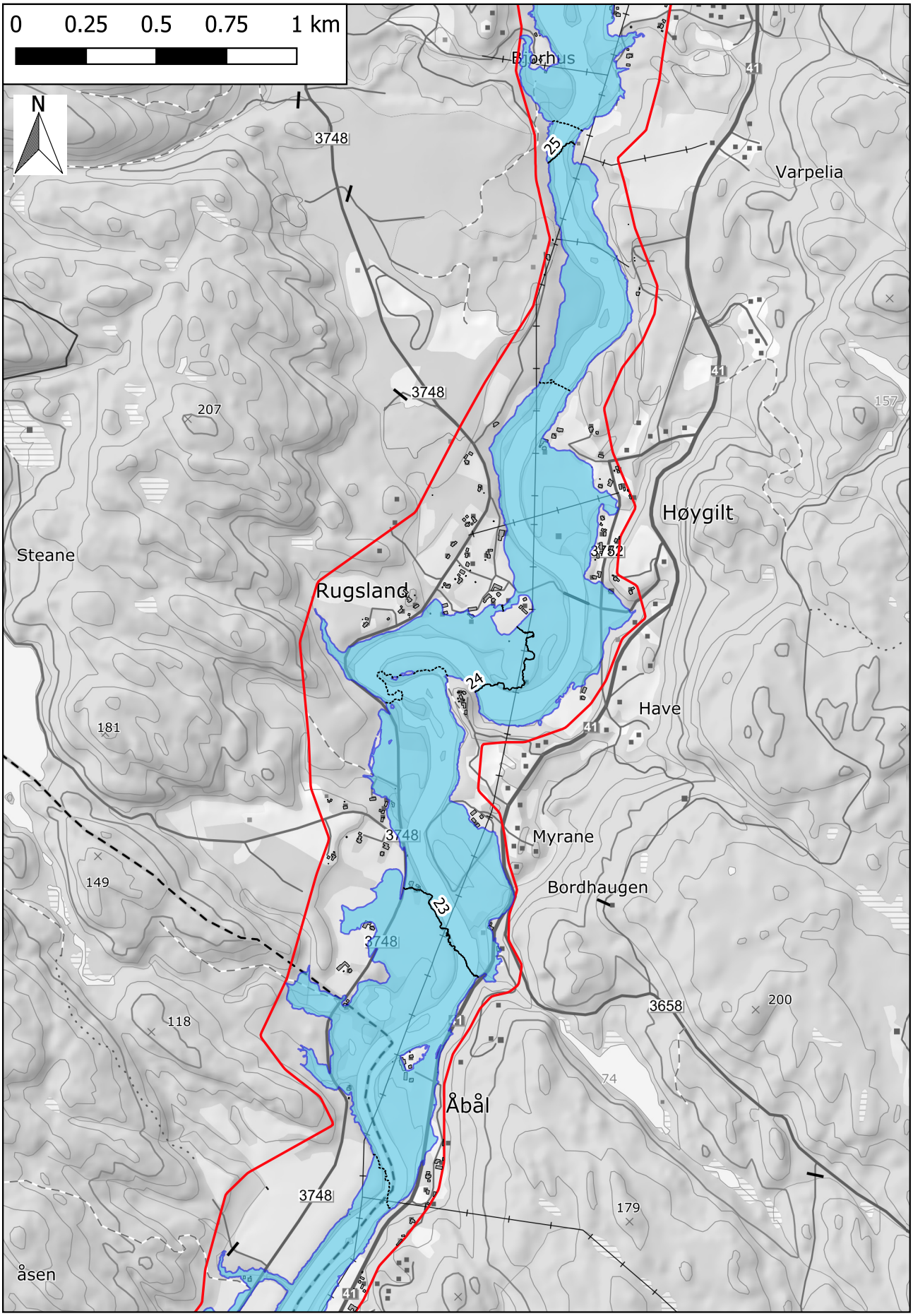
Flomsonekart for 500-årsflom, del 4



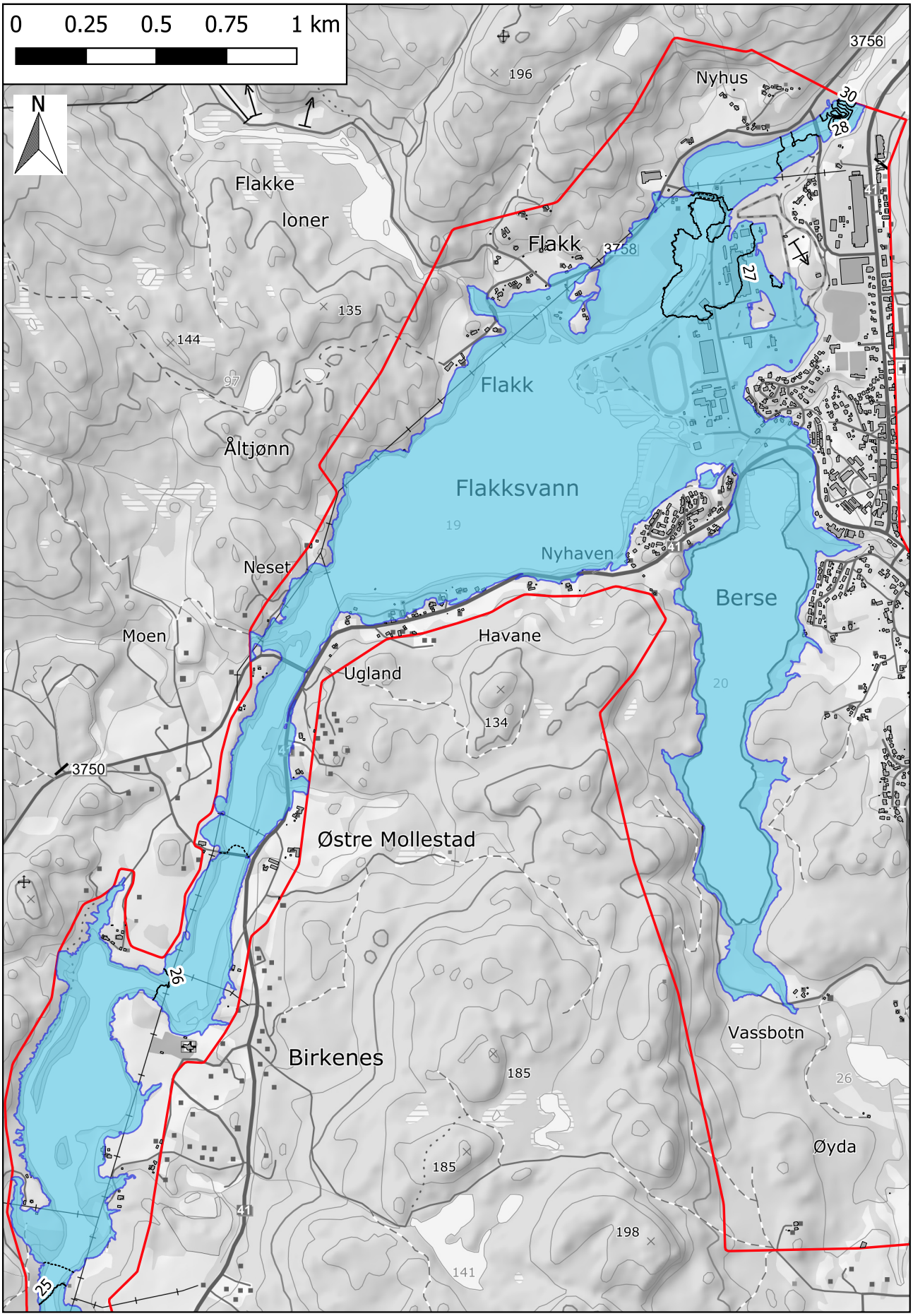
Flomsonekart for 1000-årsflom, del 1



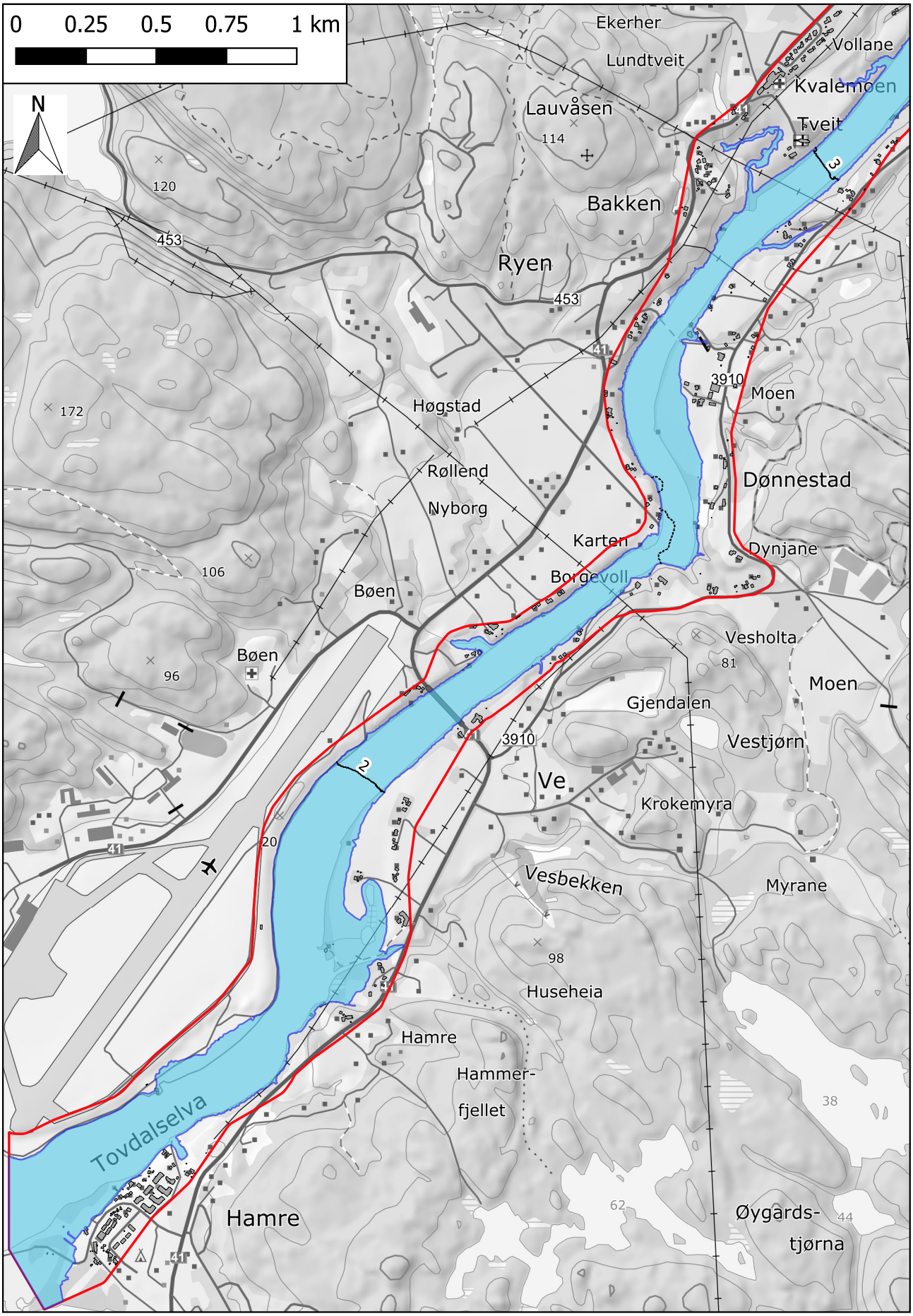
Flomsonekart for 1000-årsflom, del 2



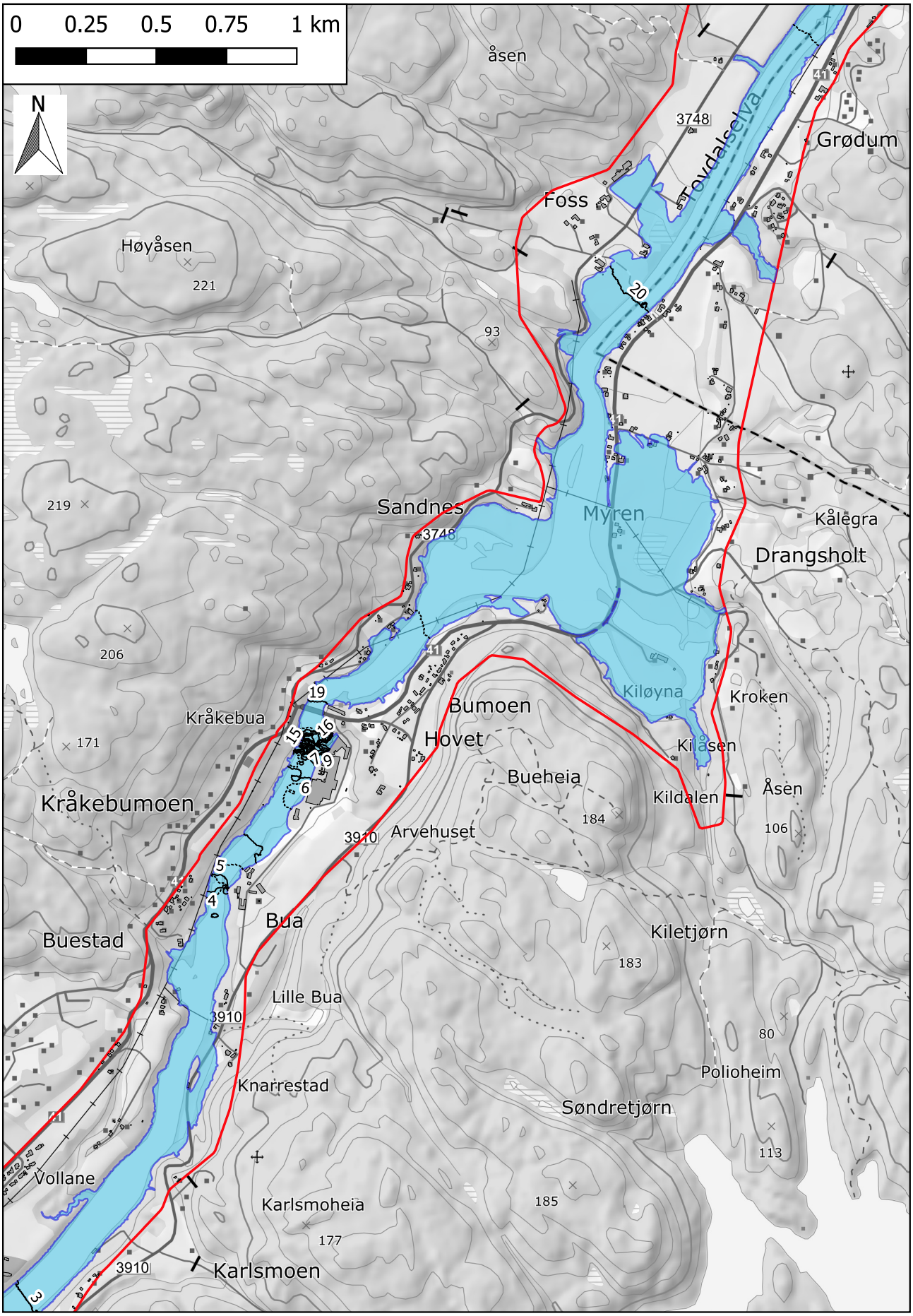
Flomsonekart for 1000-årsflom, del 3



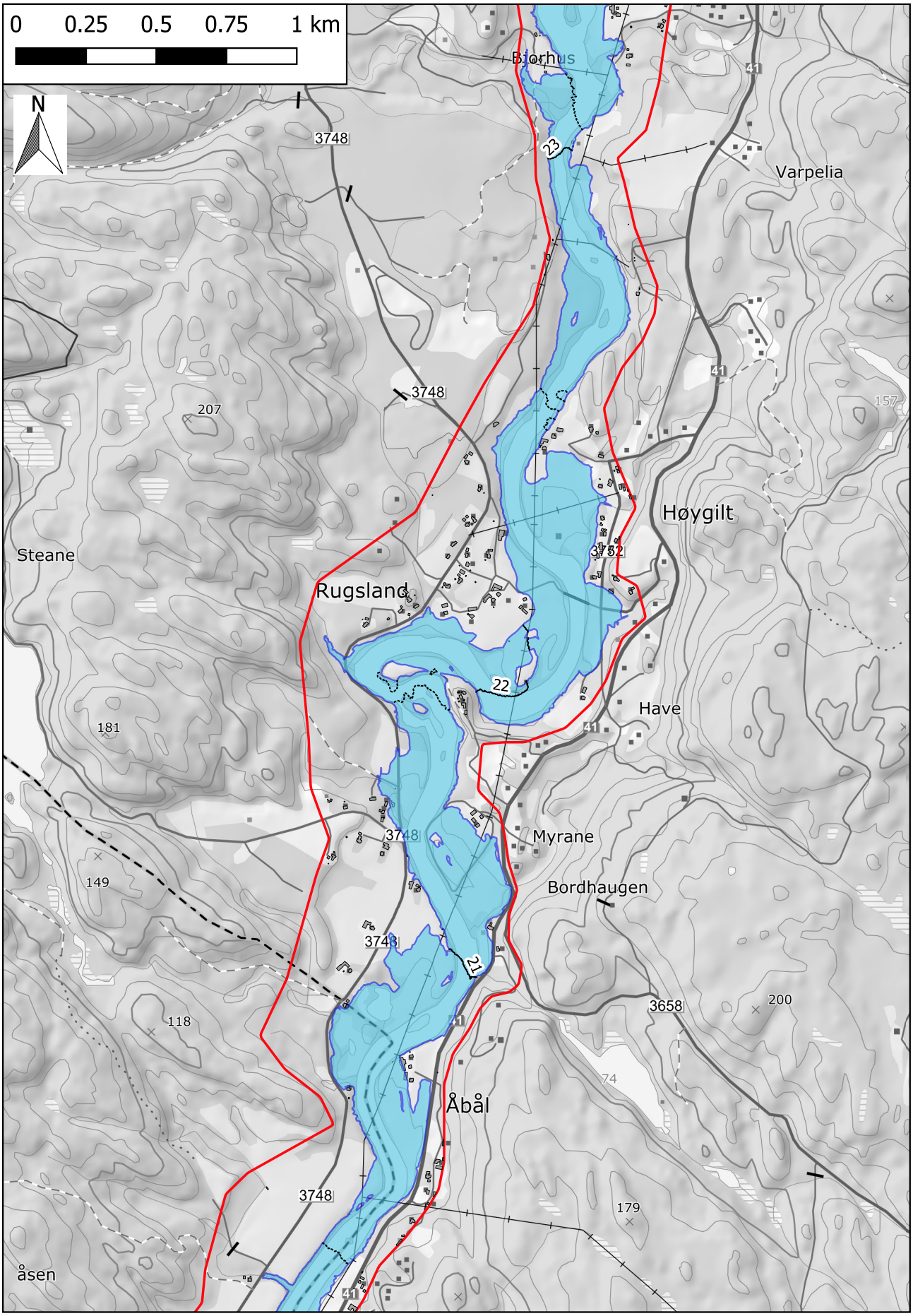
Flomsonekart for 1000-årsflom, del 4



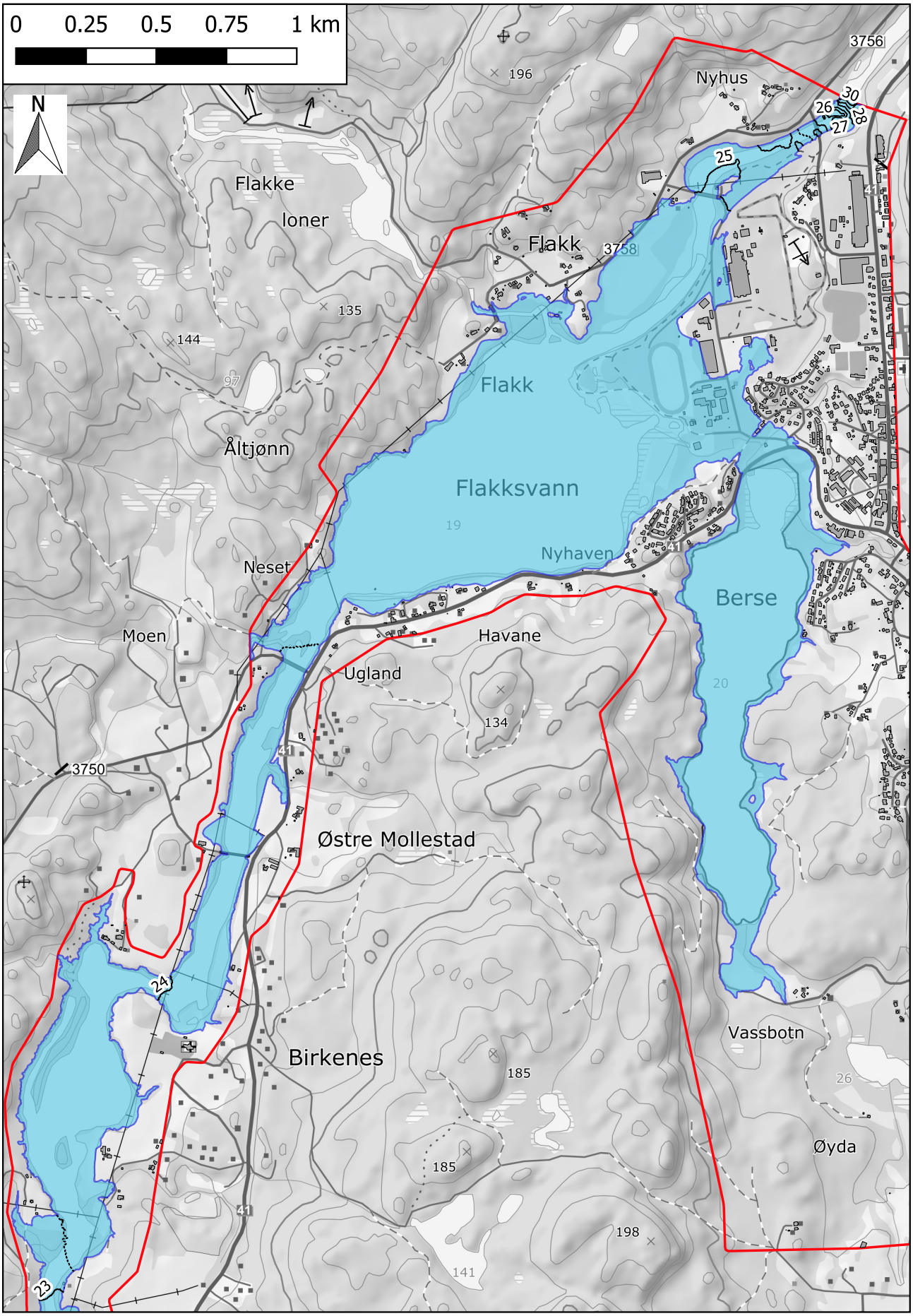
Flomsonekart for 20-årsflom med klimapåslag, del 1



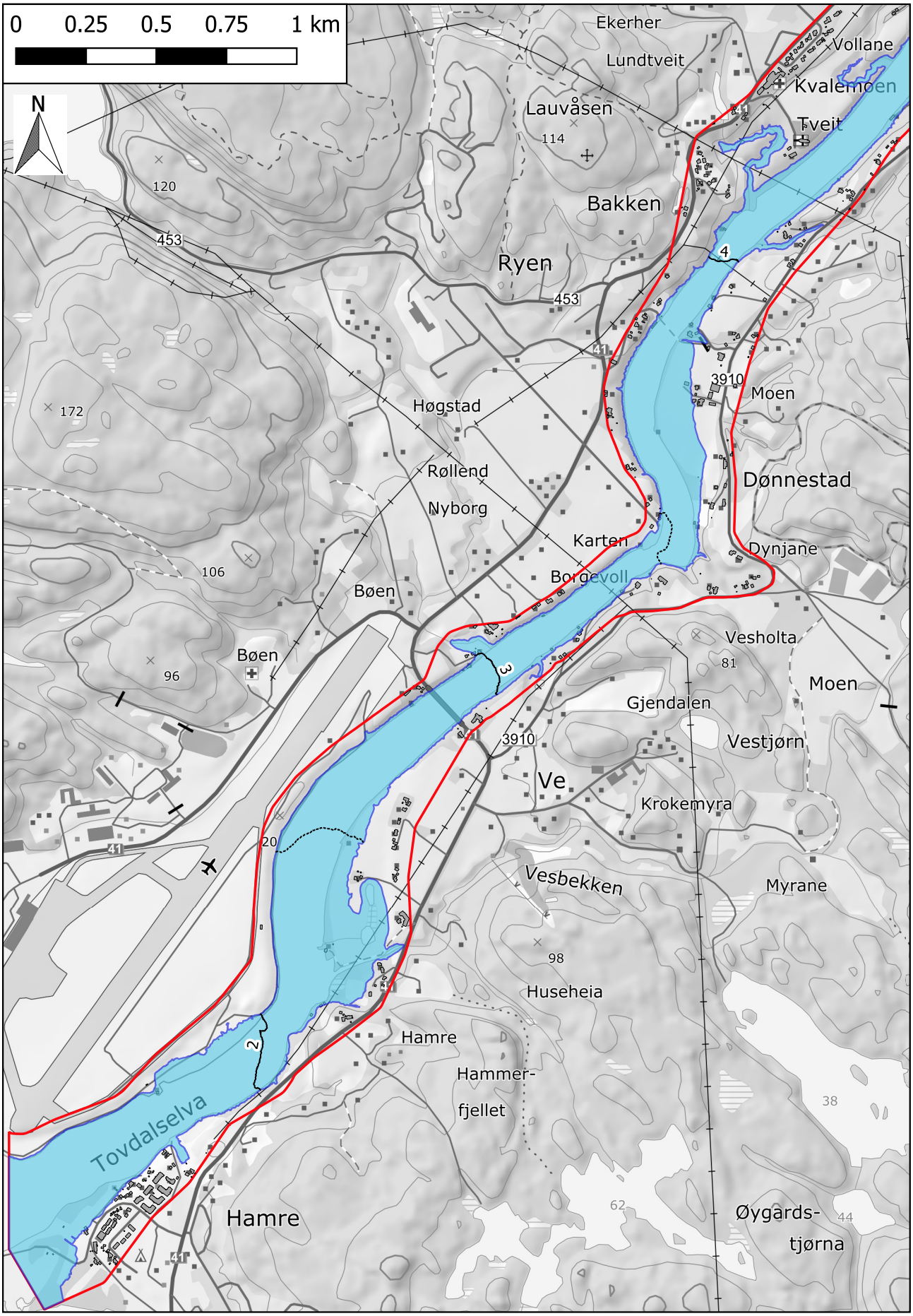
Flomsonekart for 20-årsflom med klimapåslag, del 2



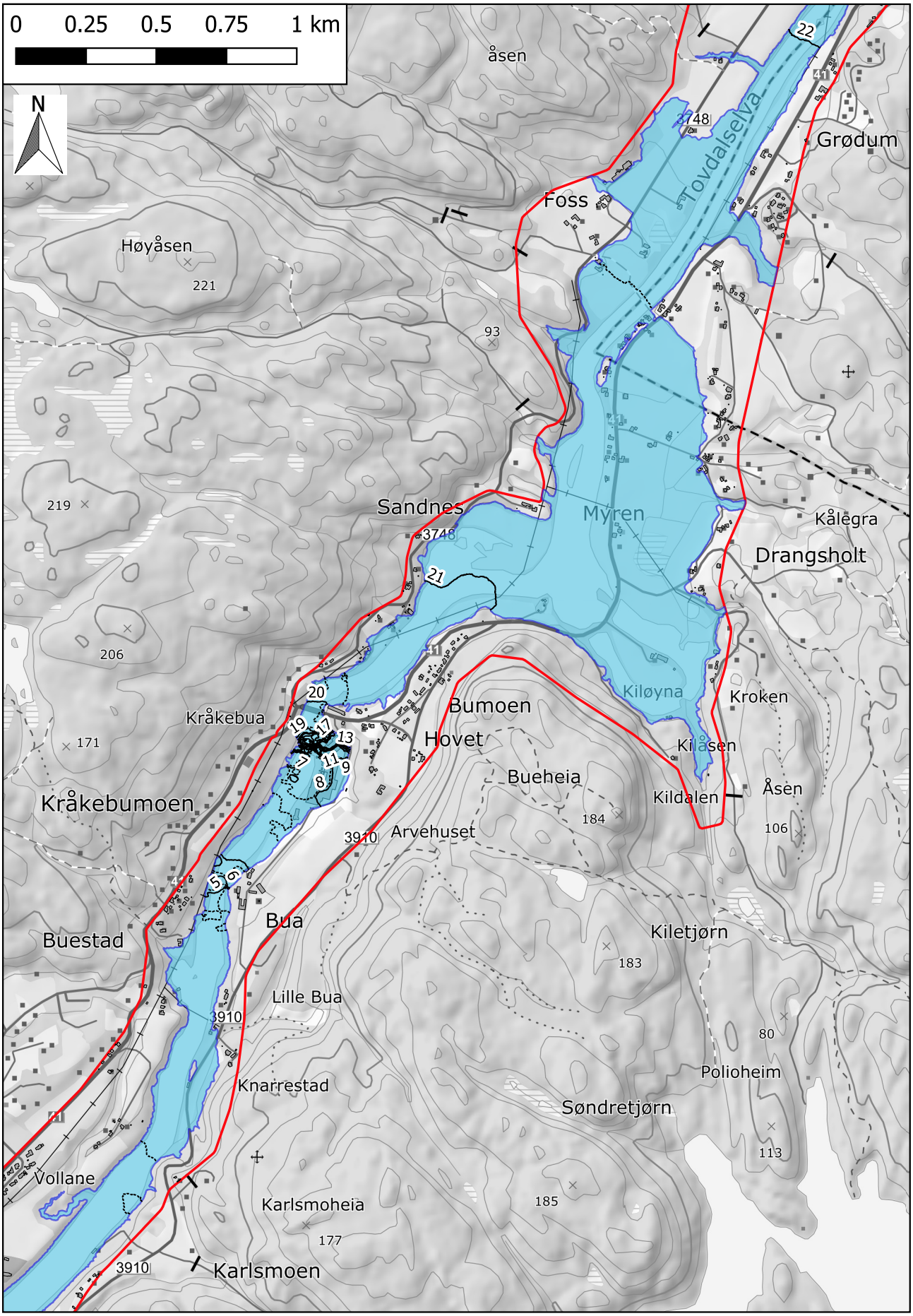
Flomsonekart for 20-årsflom med klimapåslag, del 3



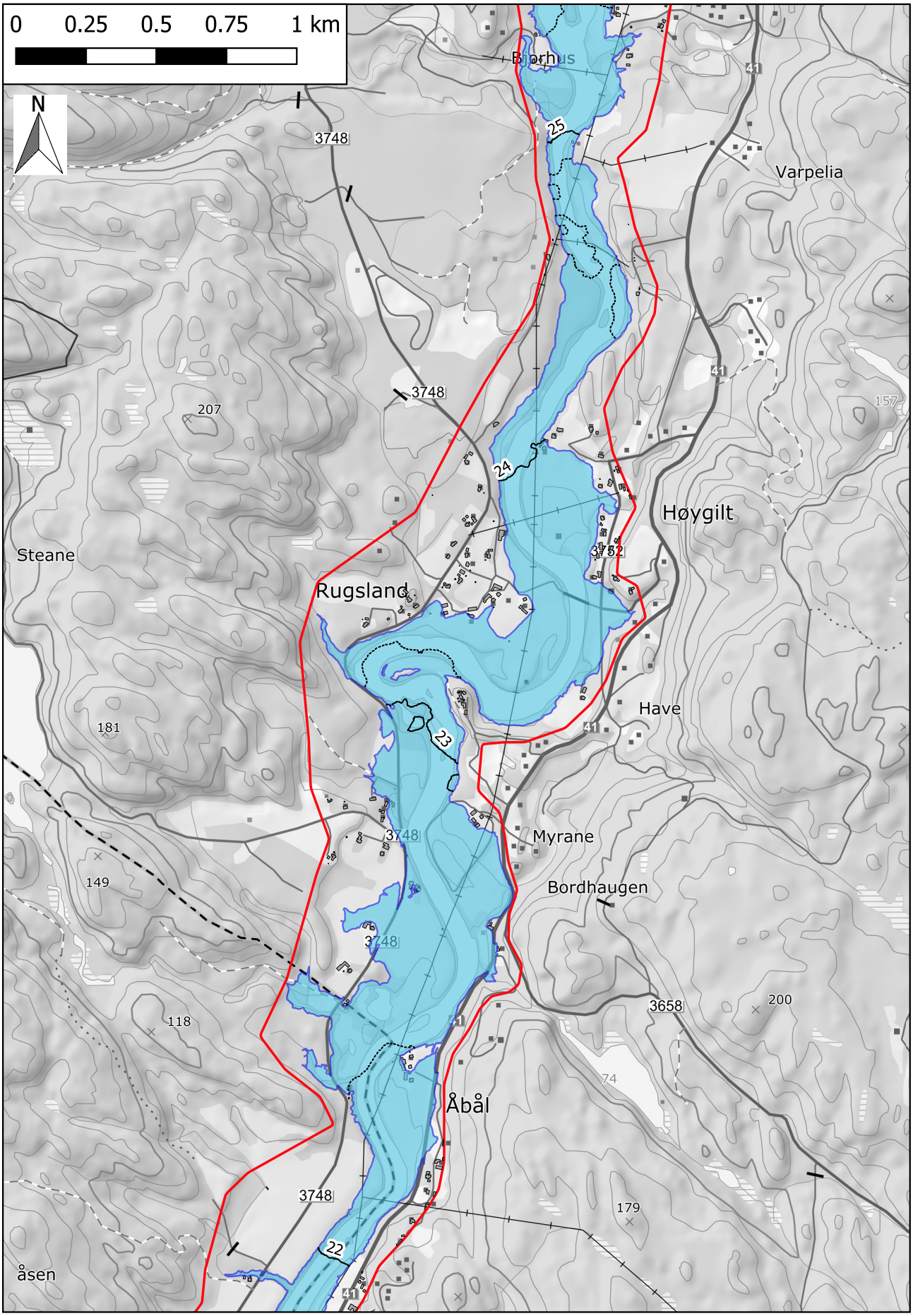
Flomsonekart for 20-årsflom med klimapåslag, del 4



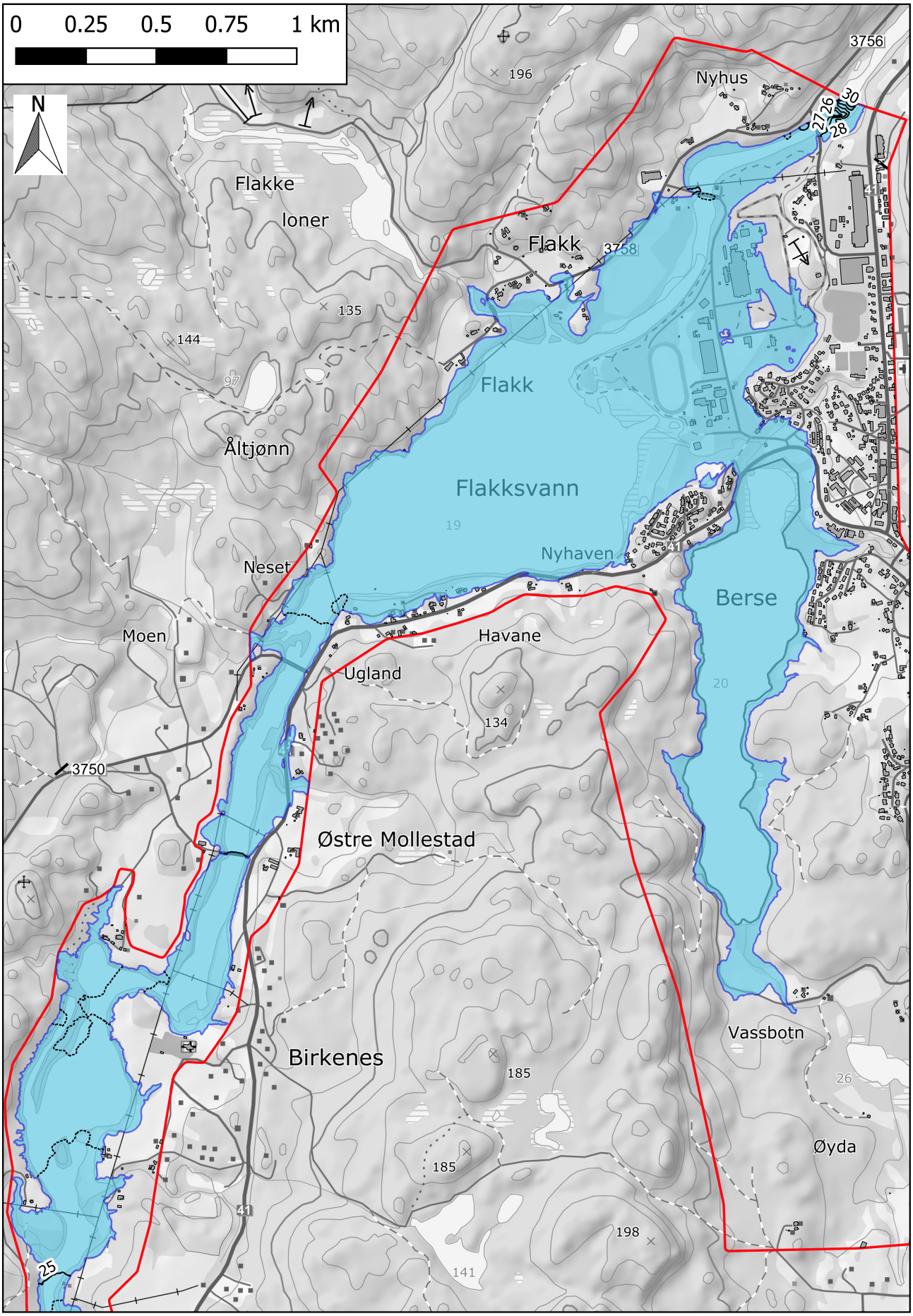
Flomsonekart for 200-årsflom med klimapåslag, del 1



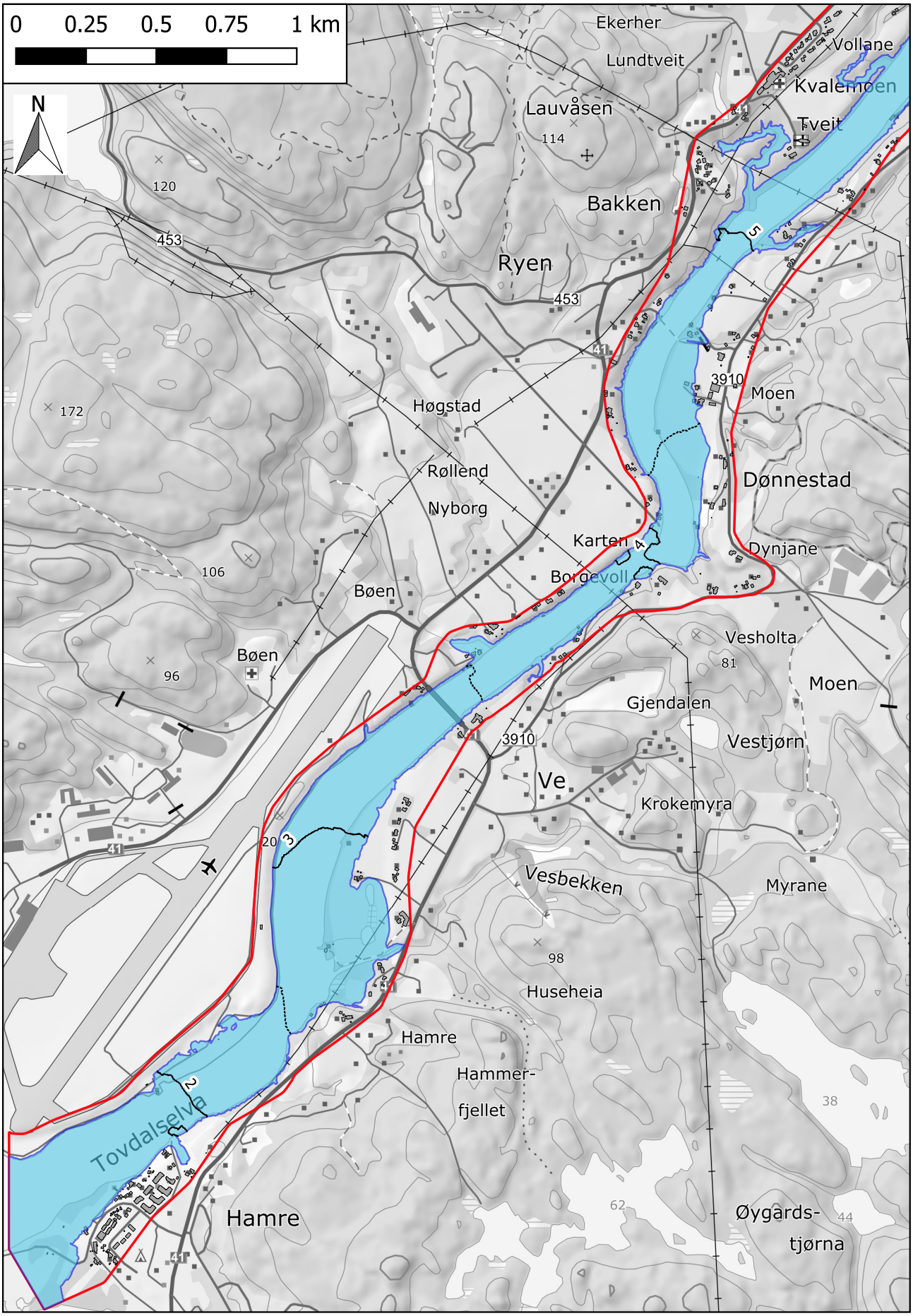
Flomsonekart for 200-årsflom med klimapåslag, del 2



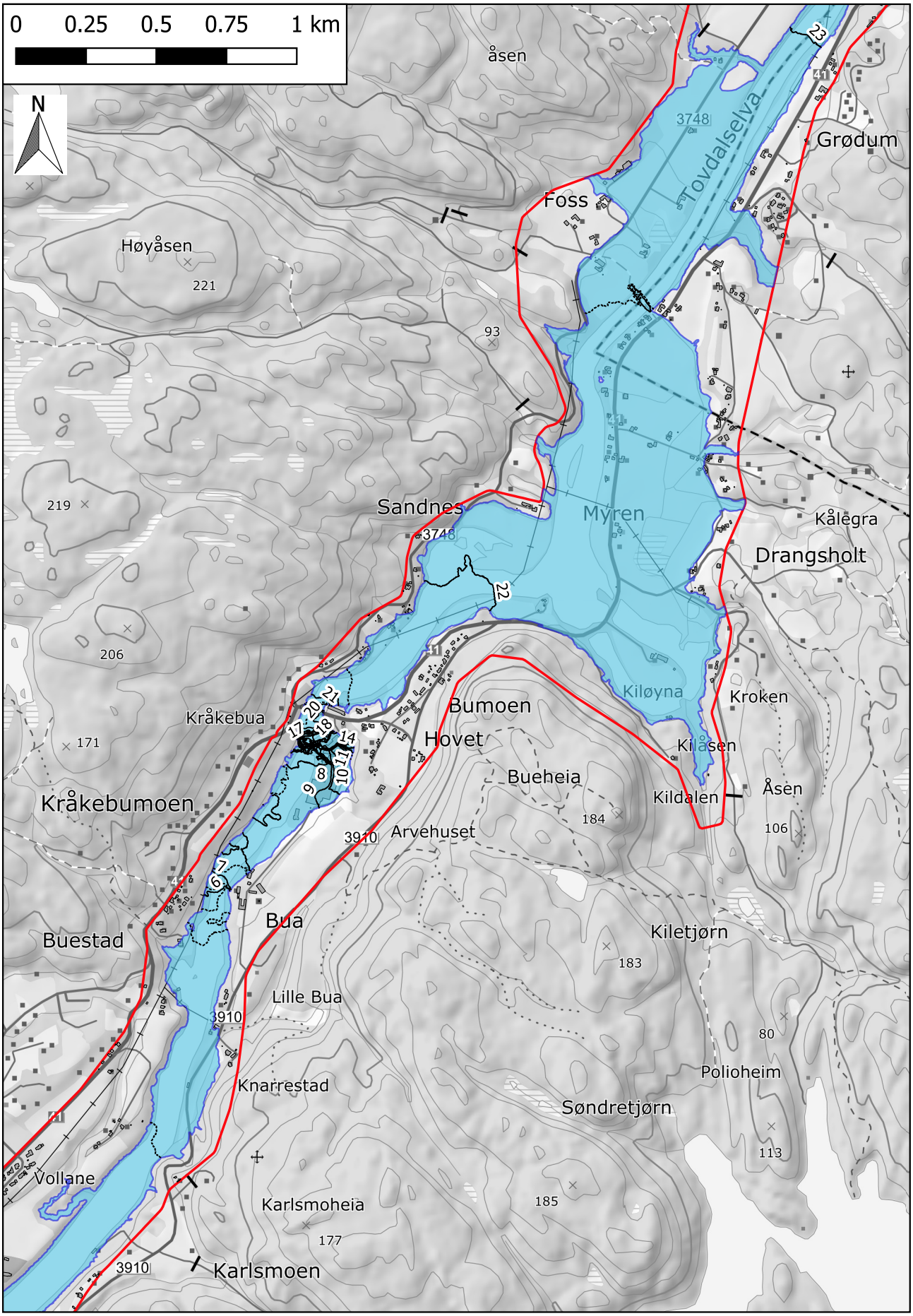
Flomsonekart for 200-årsflom med klimapåslag, del 3



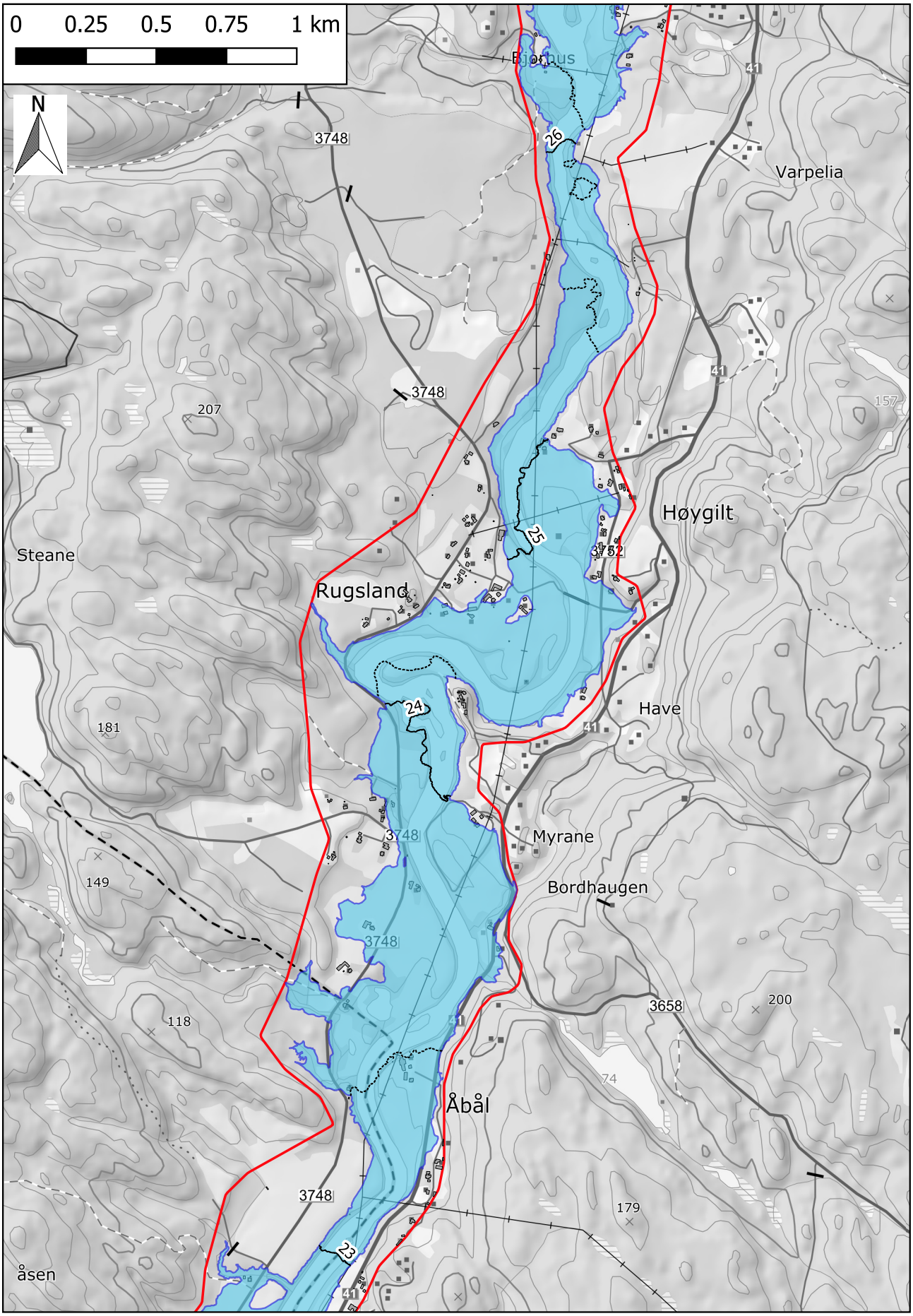
Flomsonekart for 200-årsflom med klimapåslag, del 4



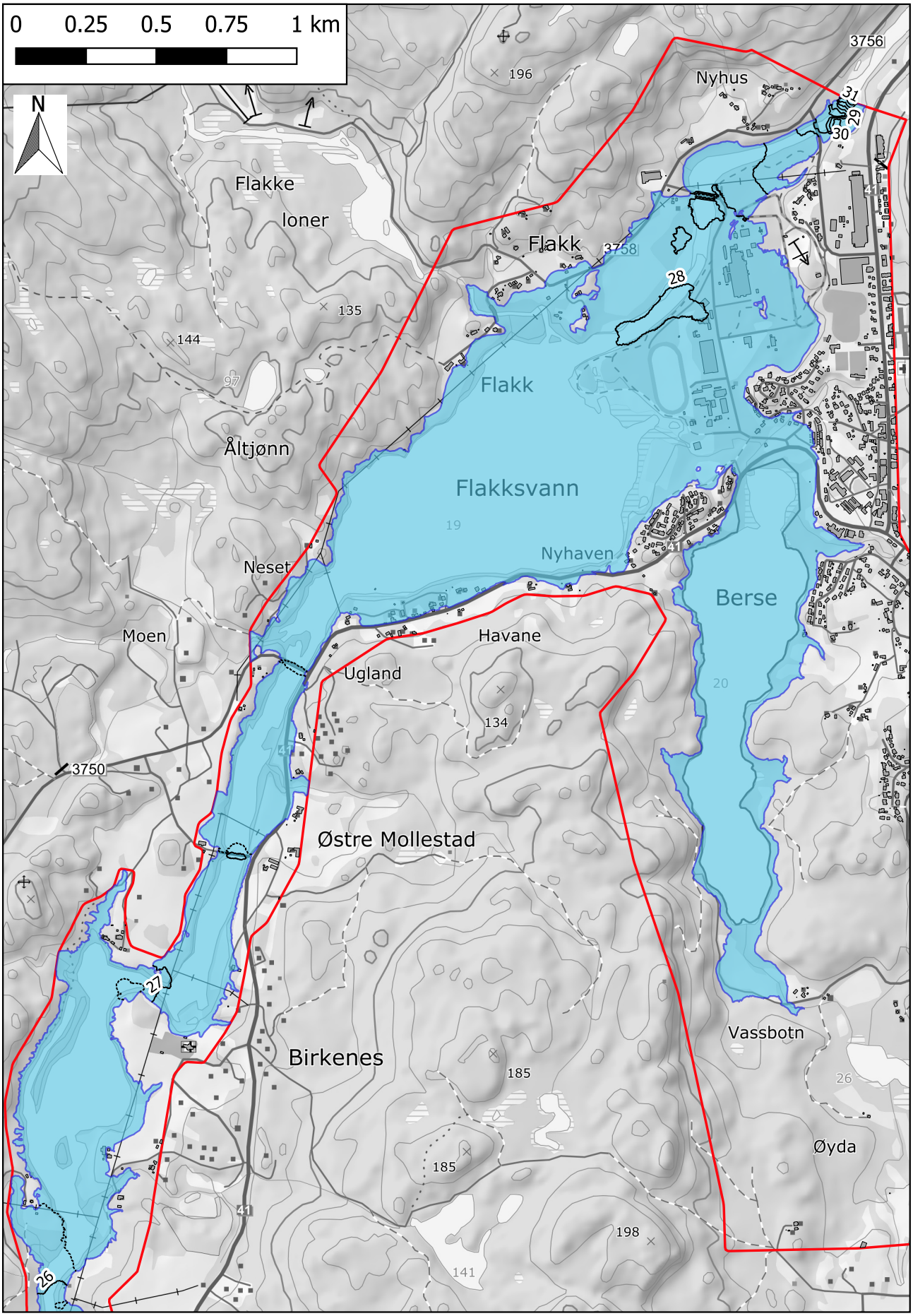
Flomsonekart for 1000-årsflom med klimapåslag, del 1



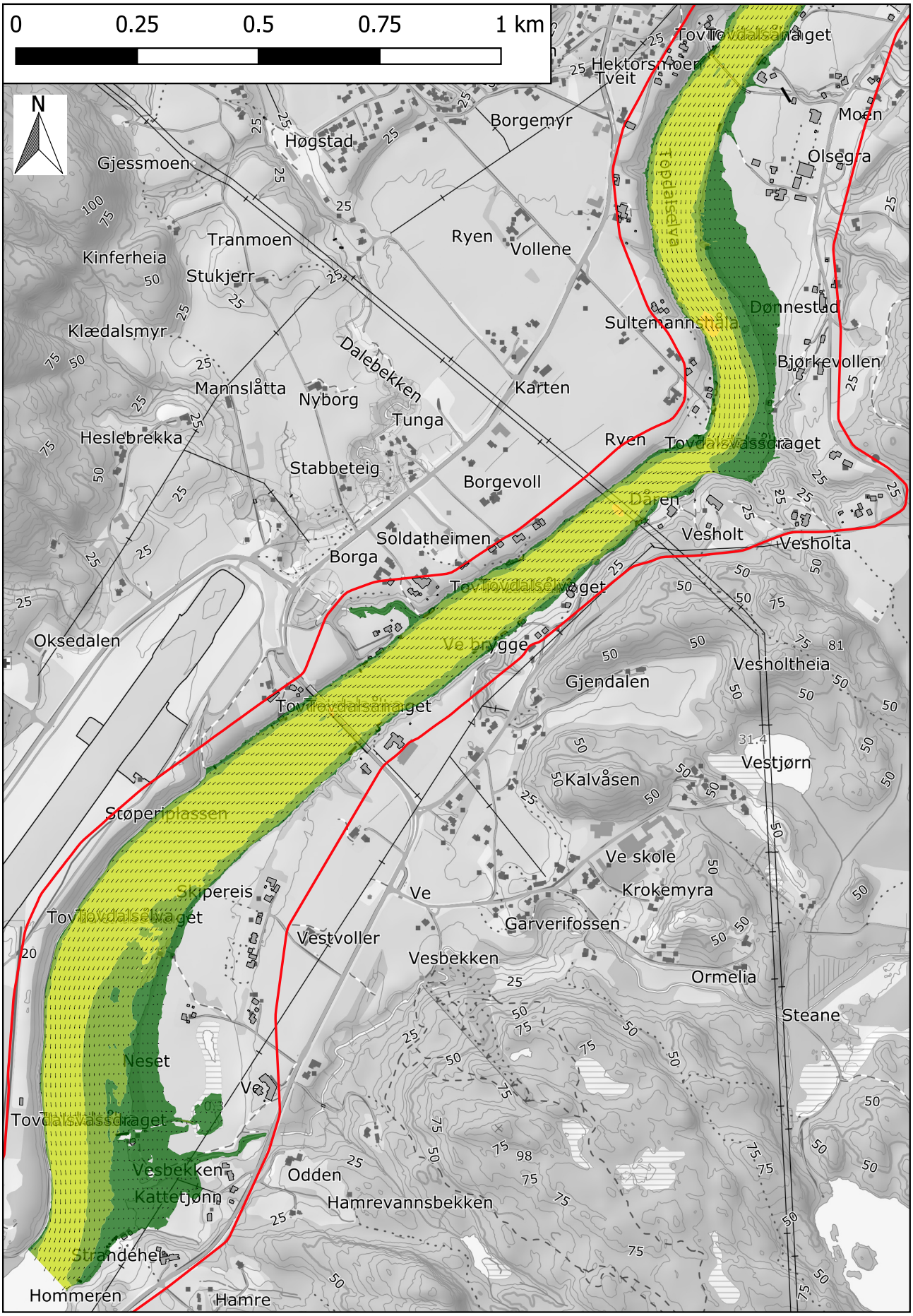
Flomsonekart for 1000-årsflom med klimapåslag, del 2



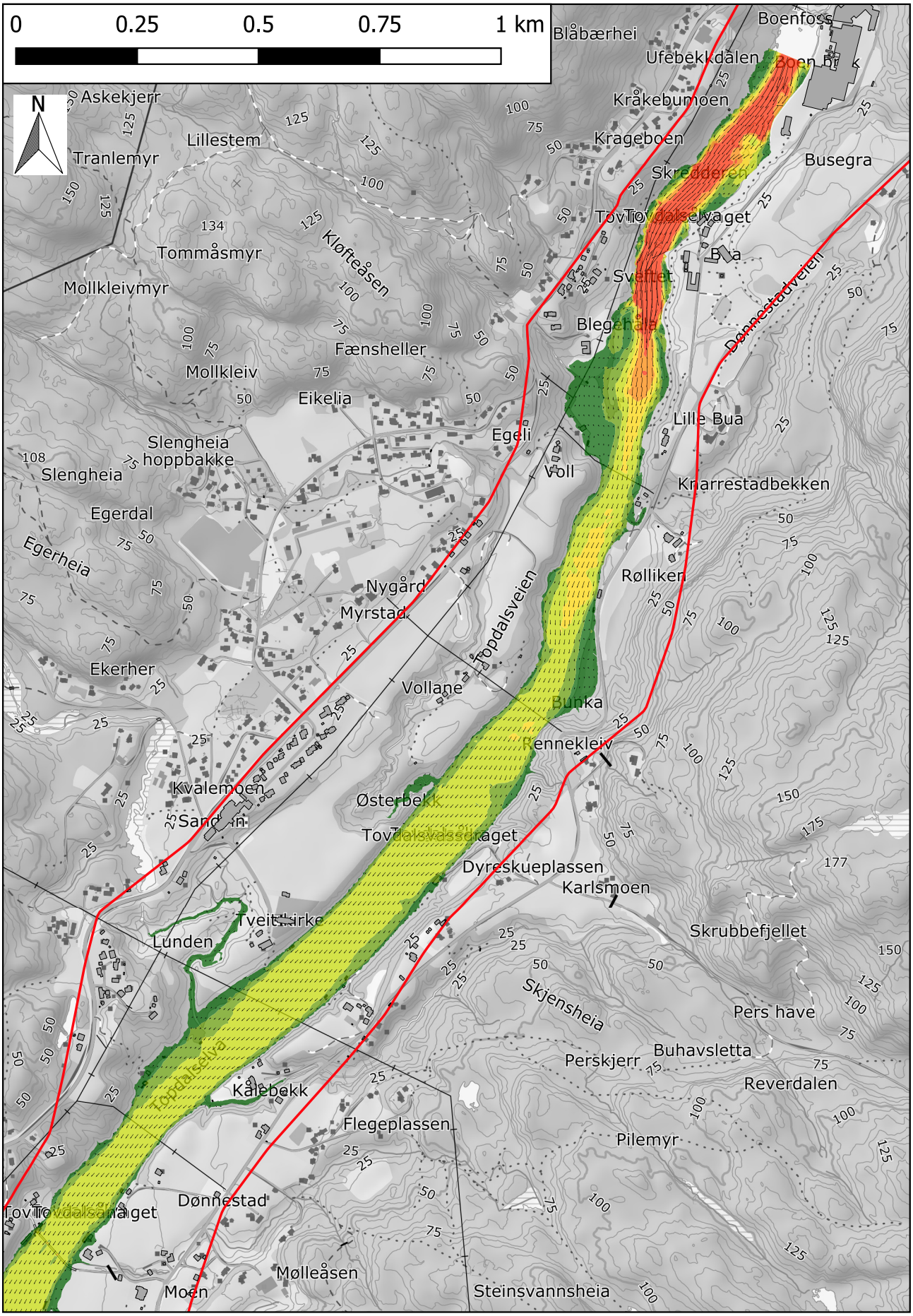
Flomsonekart for 1000-årsflom med klimapåslag, del 3



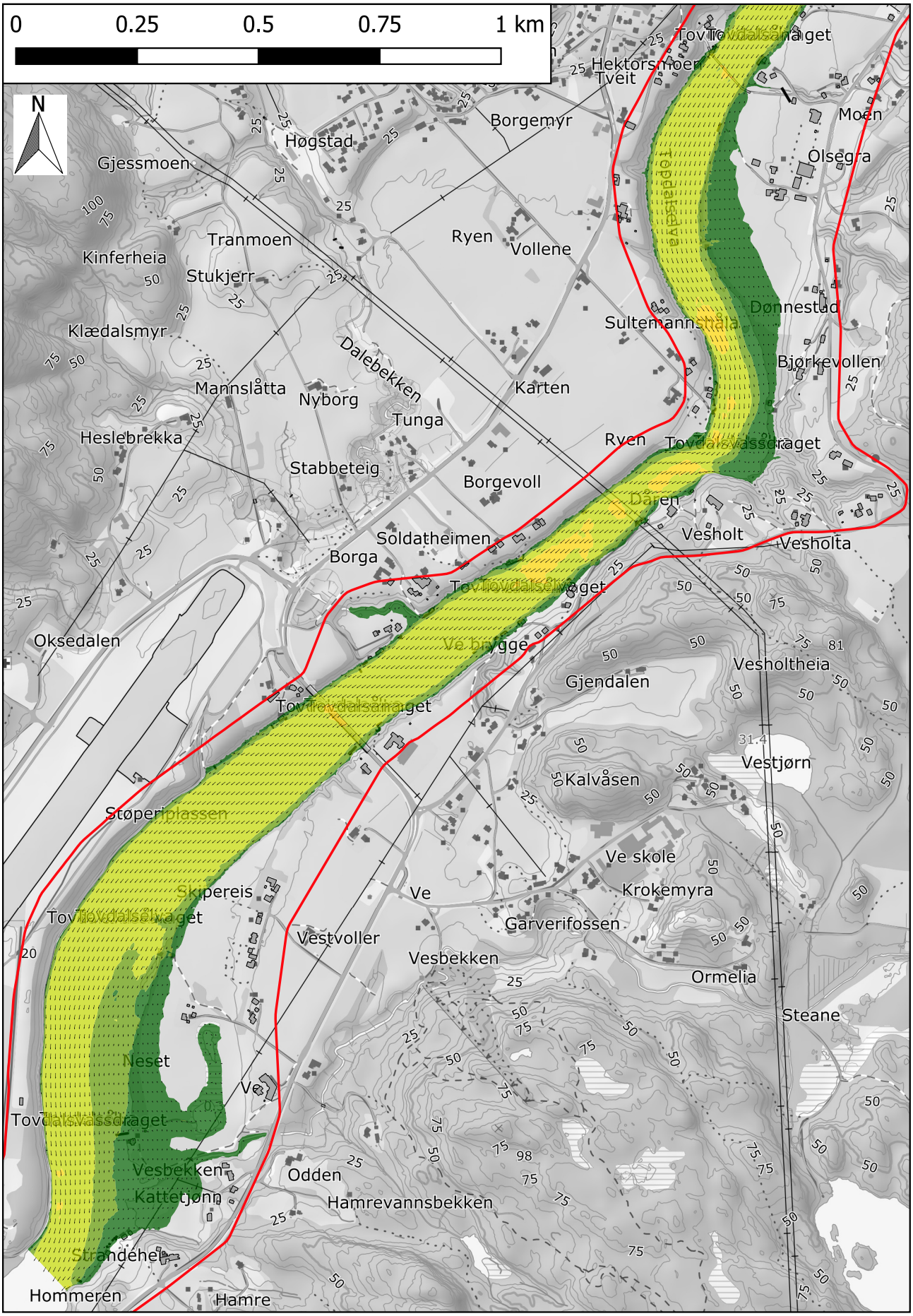
Flomsonekart for 1000-årsflom med klimapåslag, del 4



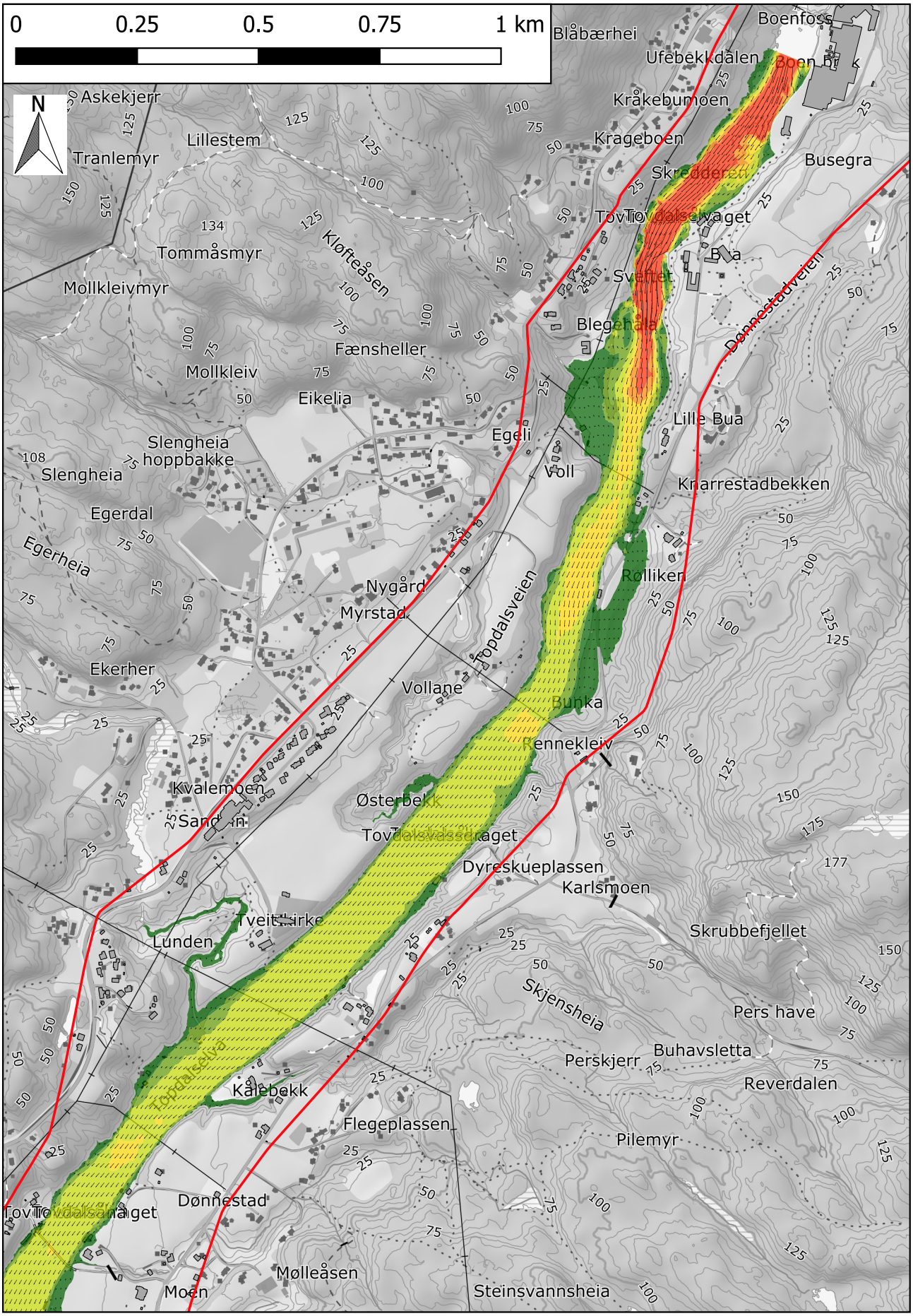
Hastighetskart for 10-årsflom, del 1



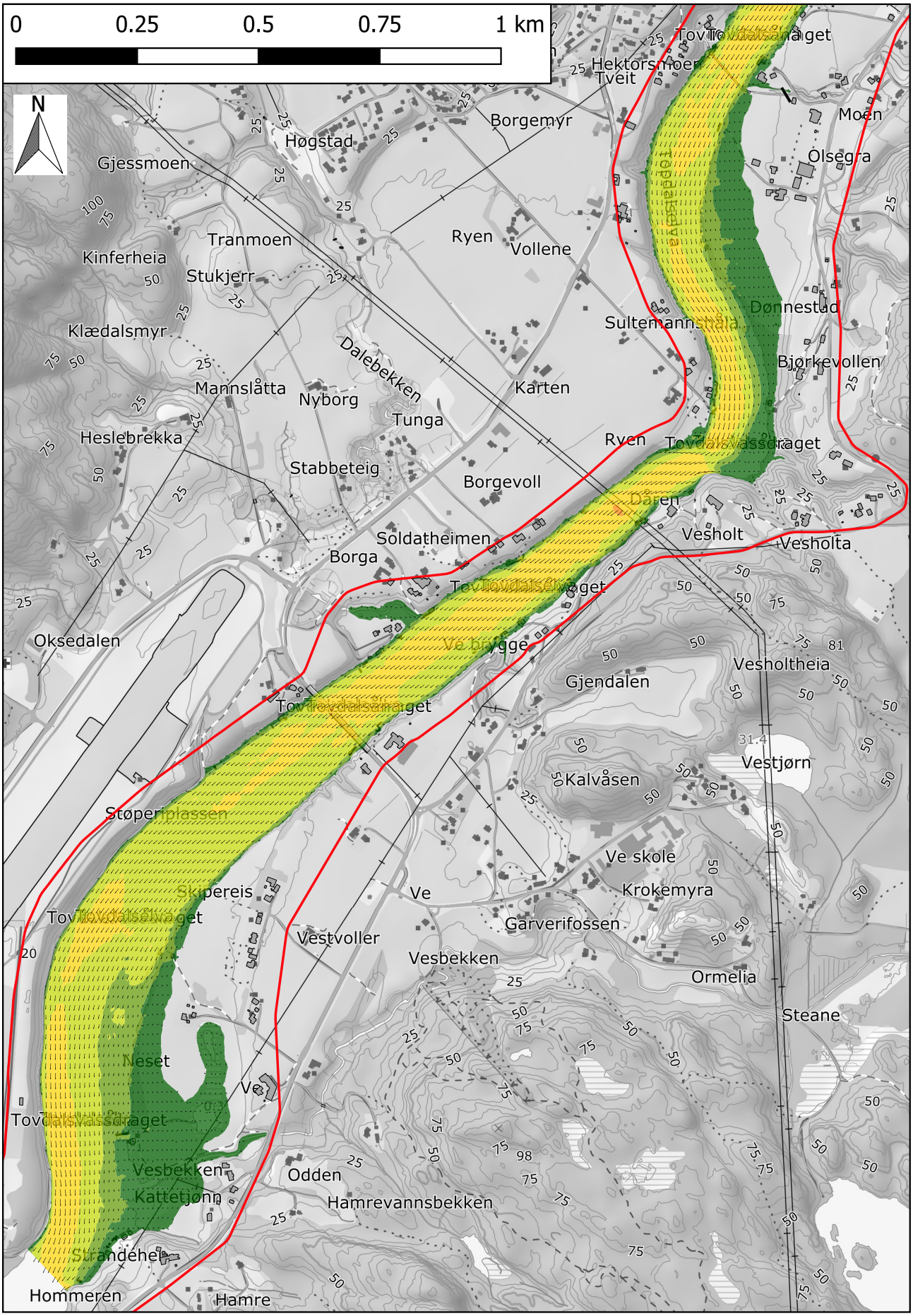
Hastighetskart for 10-årsflom, del 2



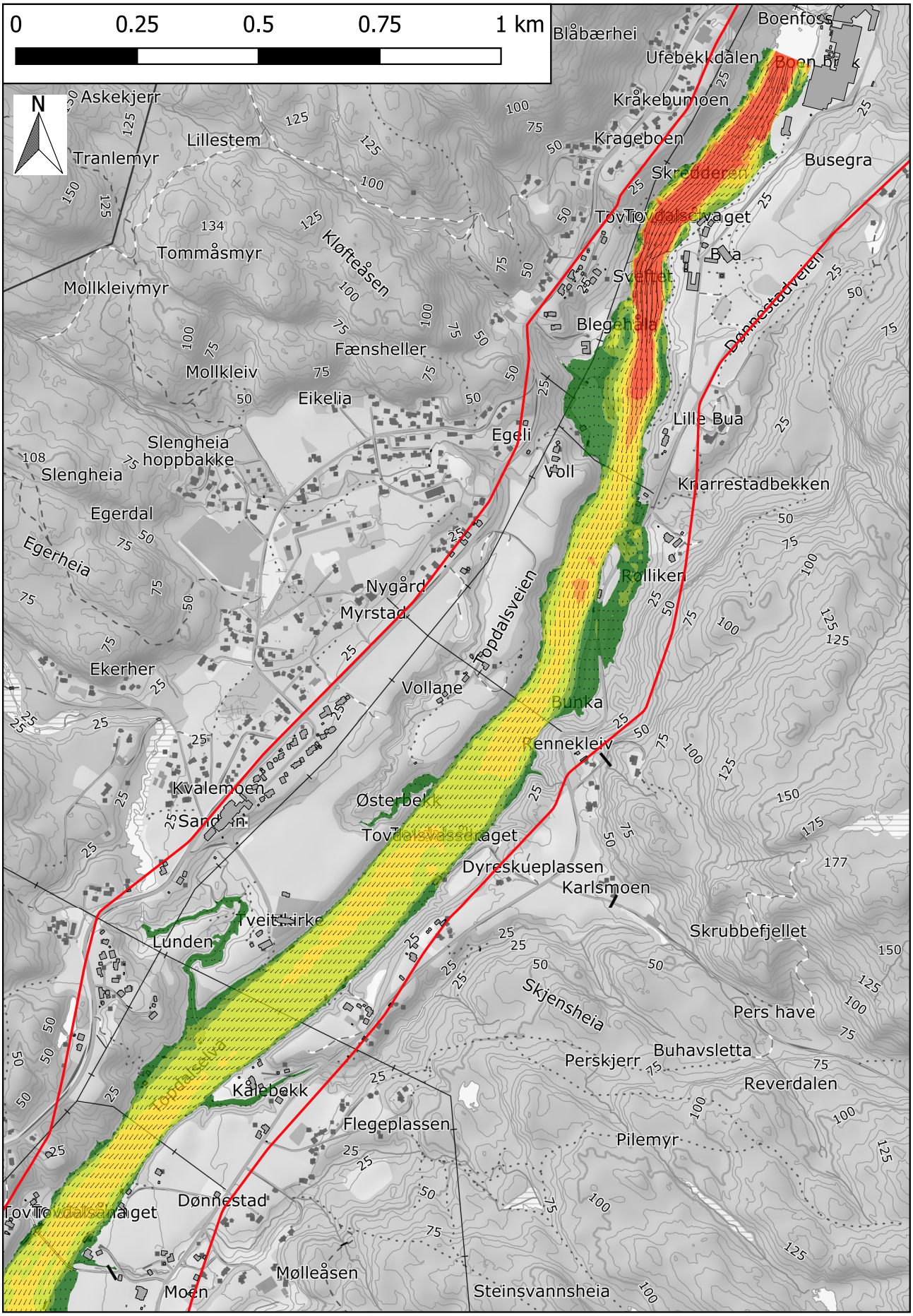
Hastighetskart for 20-årsflom, del 1



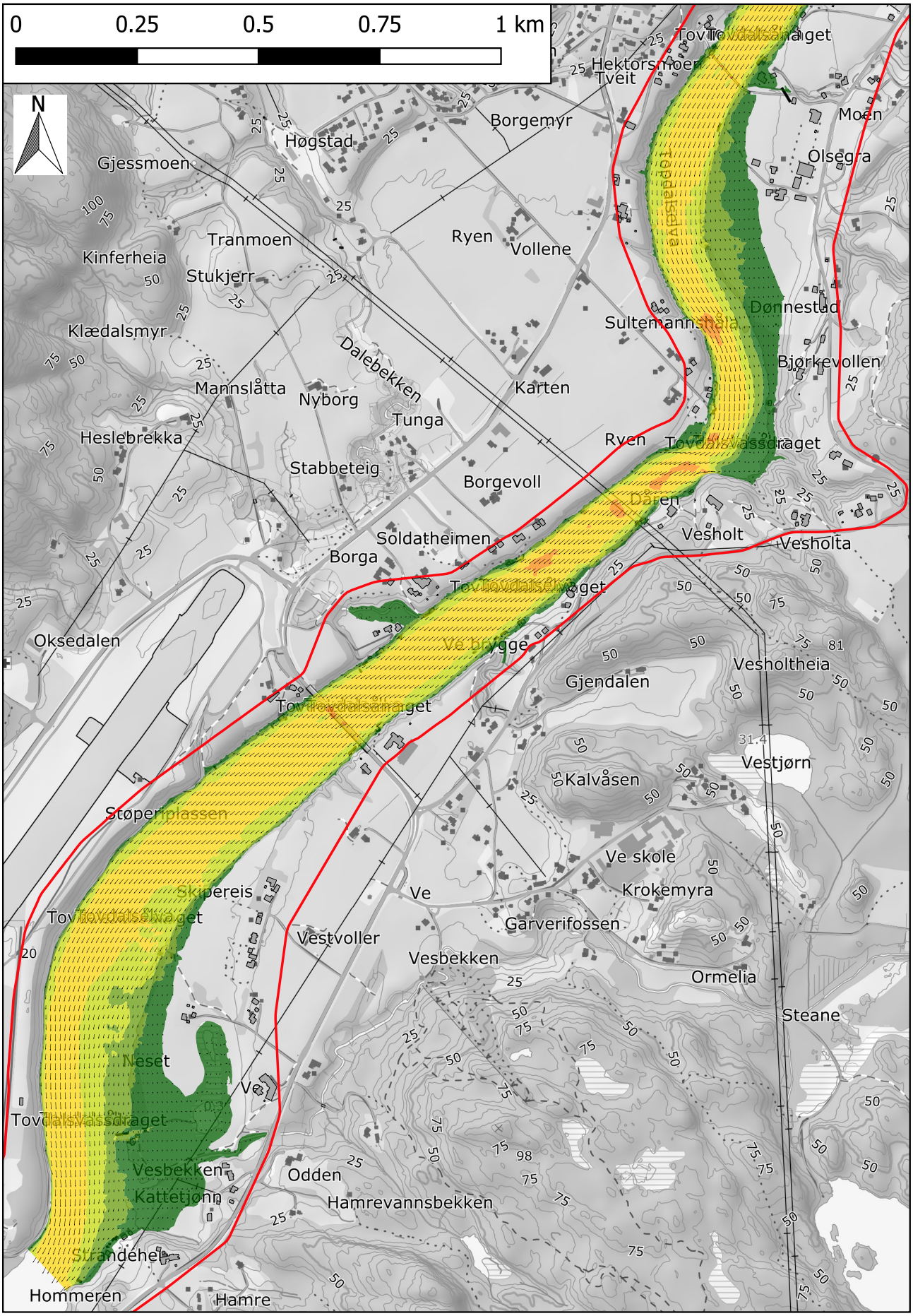
Hastighetskart for 20-årsflom, del 2



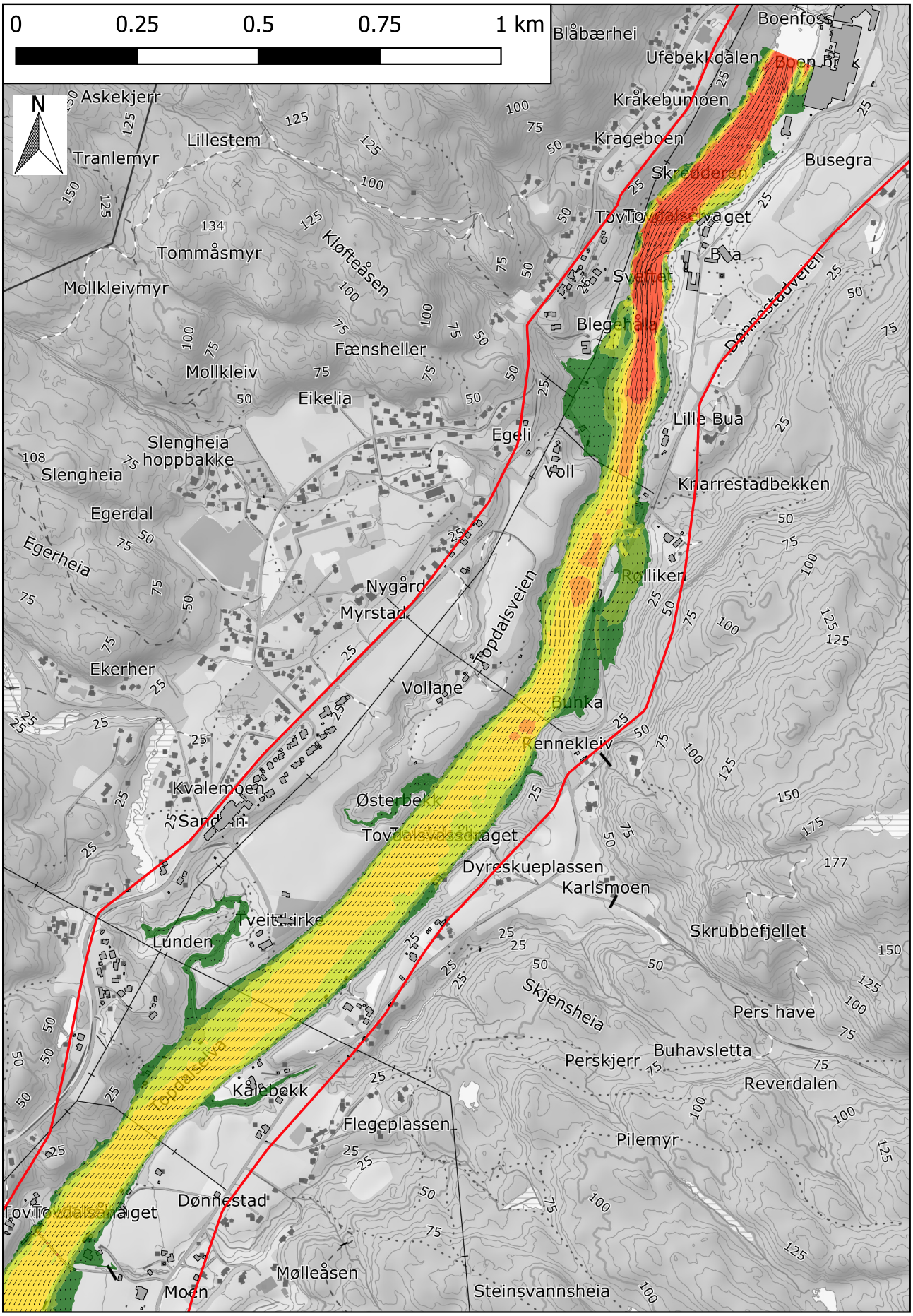
Hastighetskart for 50-årsflom, del 1



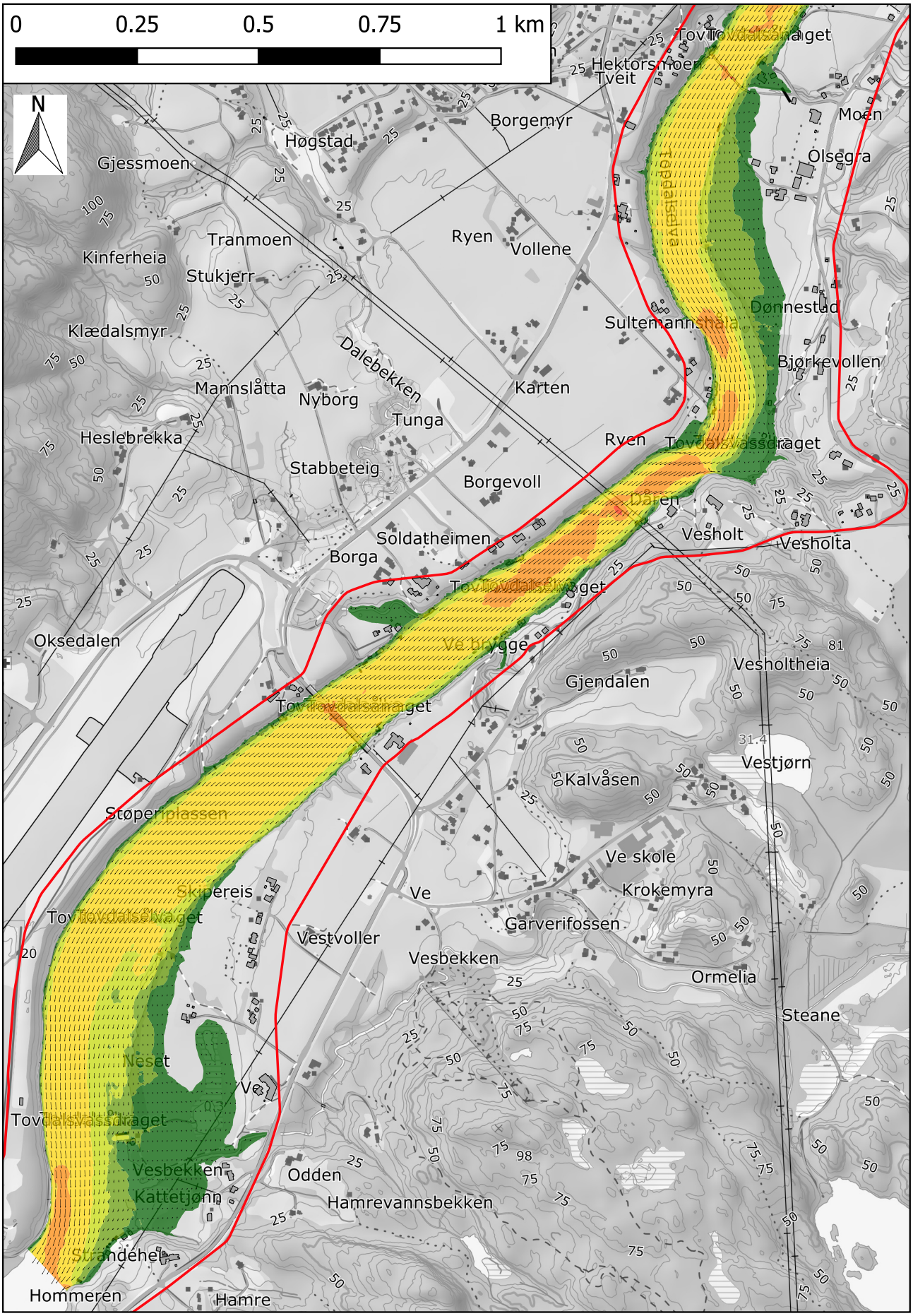
Hastighetskart for 50-årsflom, del 2



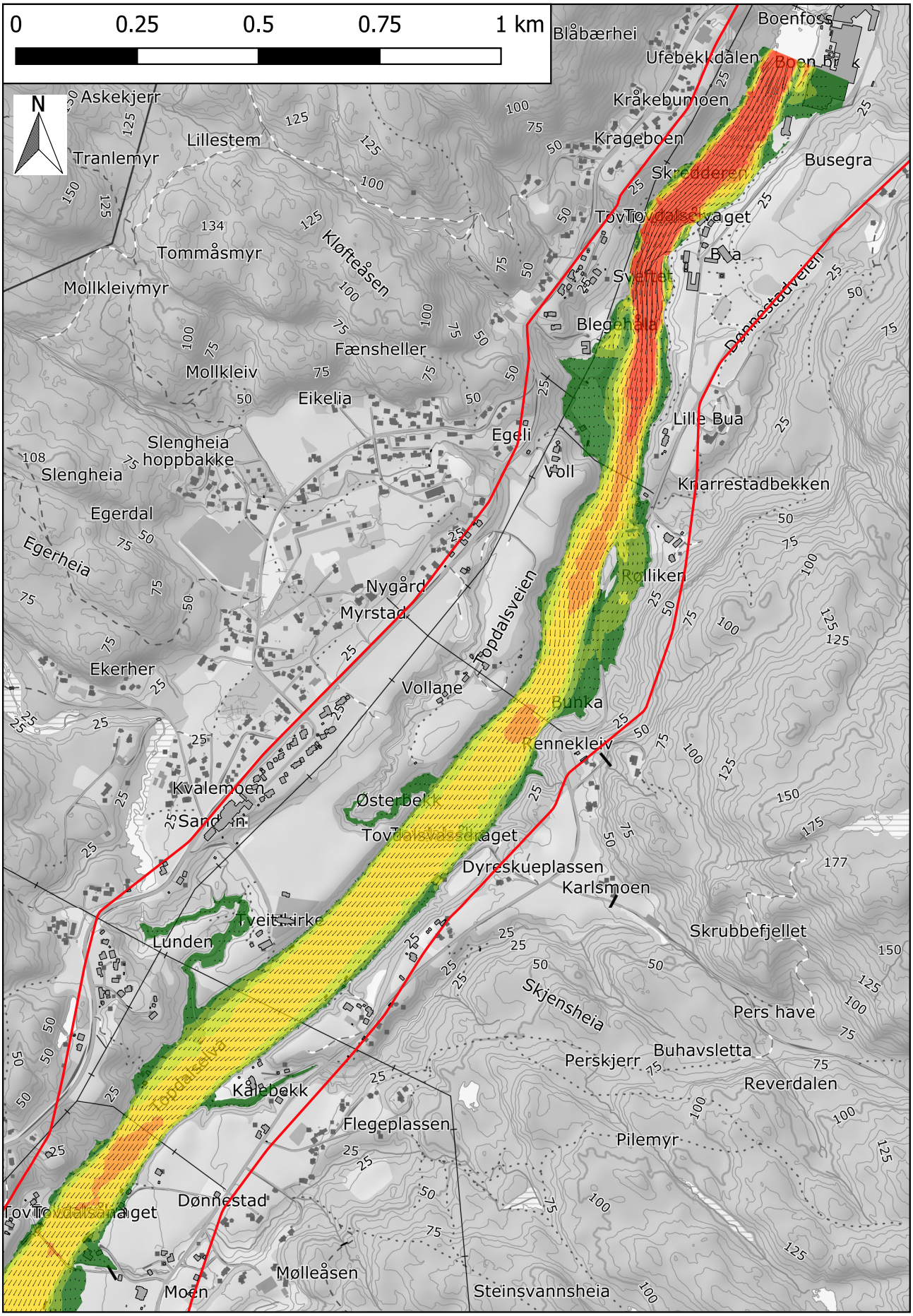
Hastighetskart for 100-årsflom, del 1



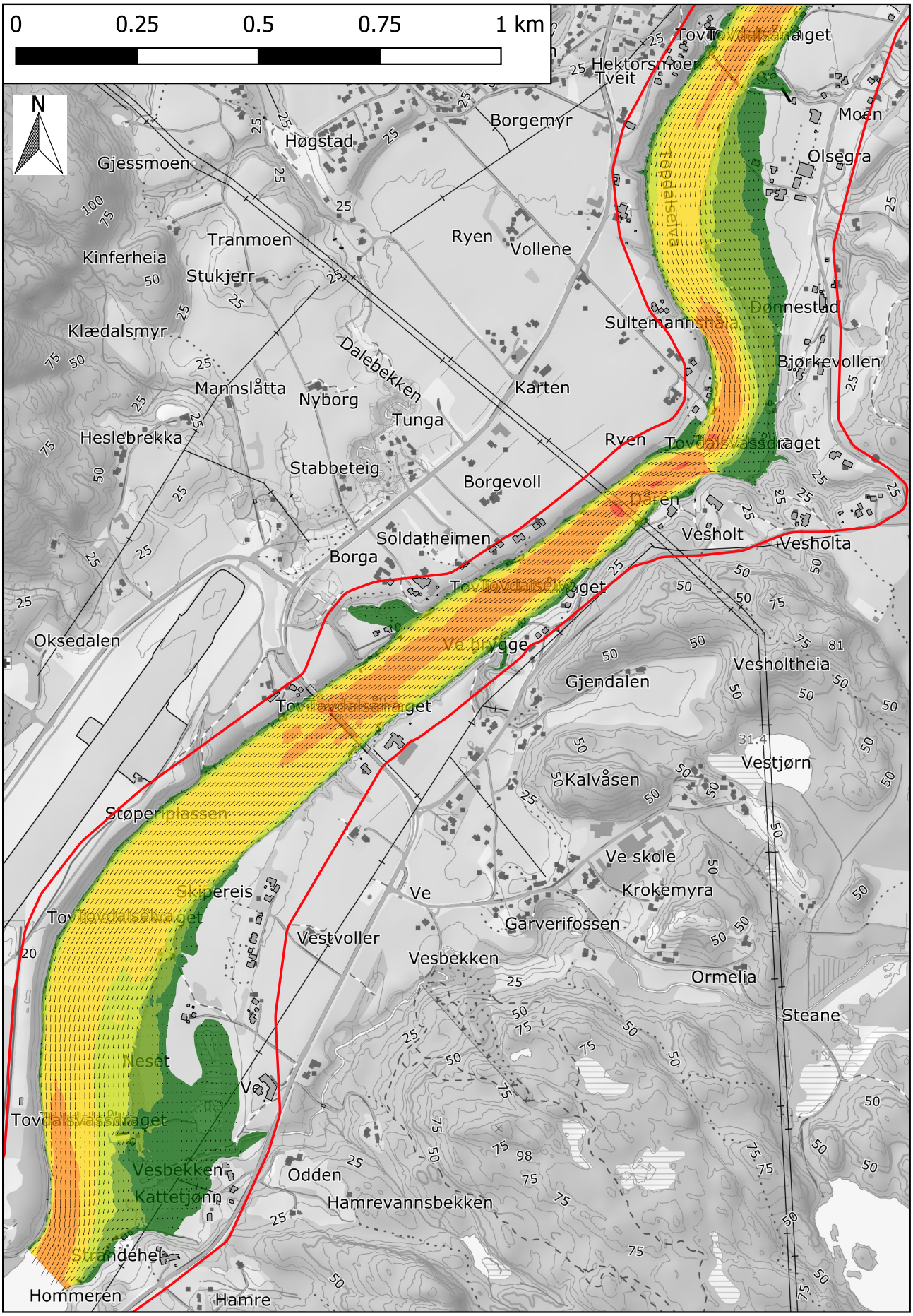
Hastighetskart for 100-årsflom, del 2



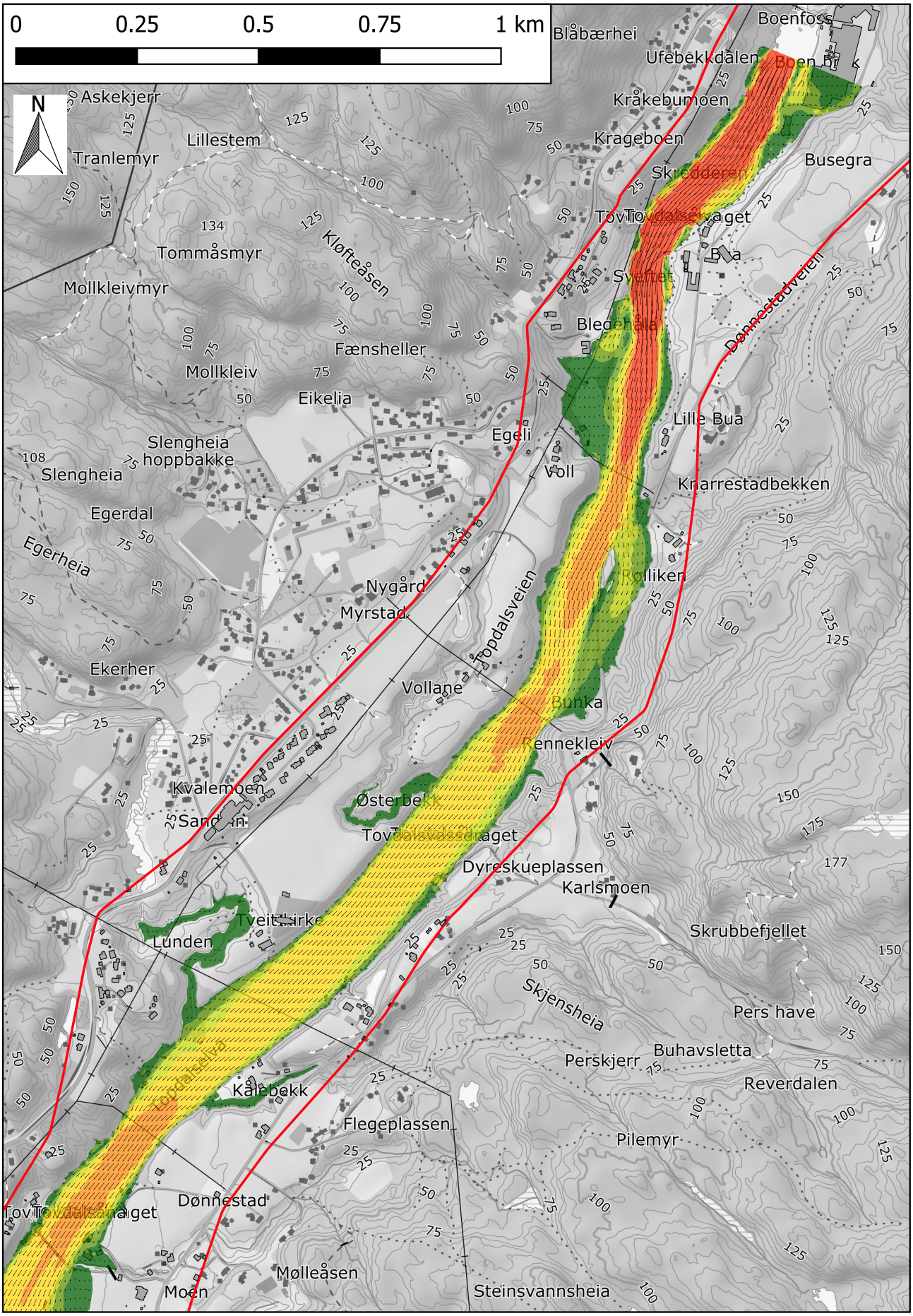
Hastighetskart for 200-årsflom, del 1



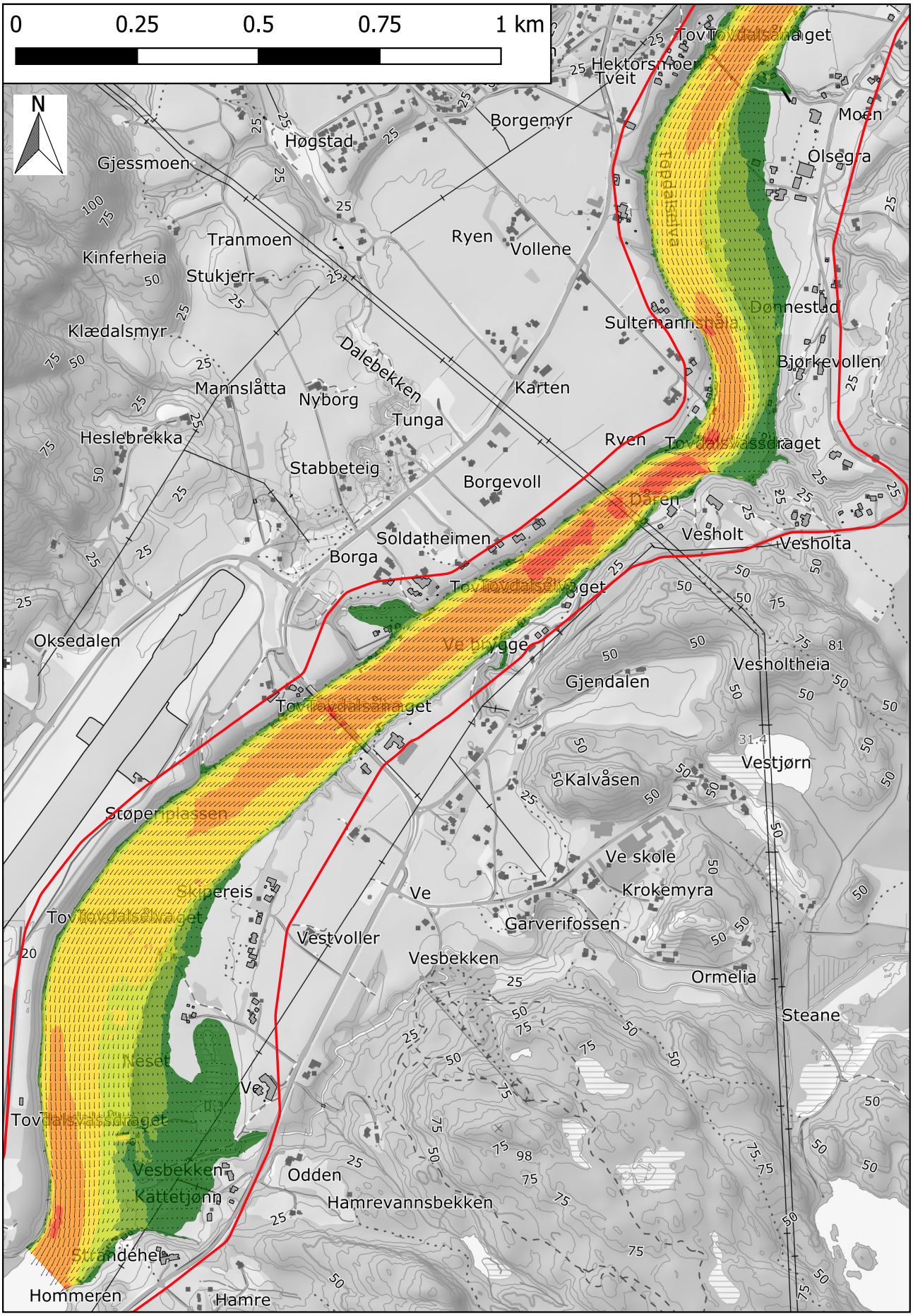
Hastighetskart for 200-årsflom, del 2



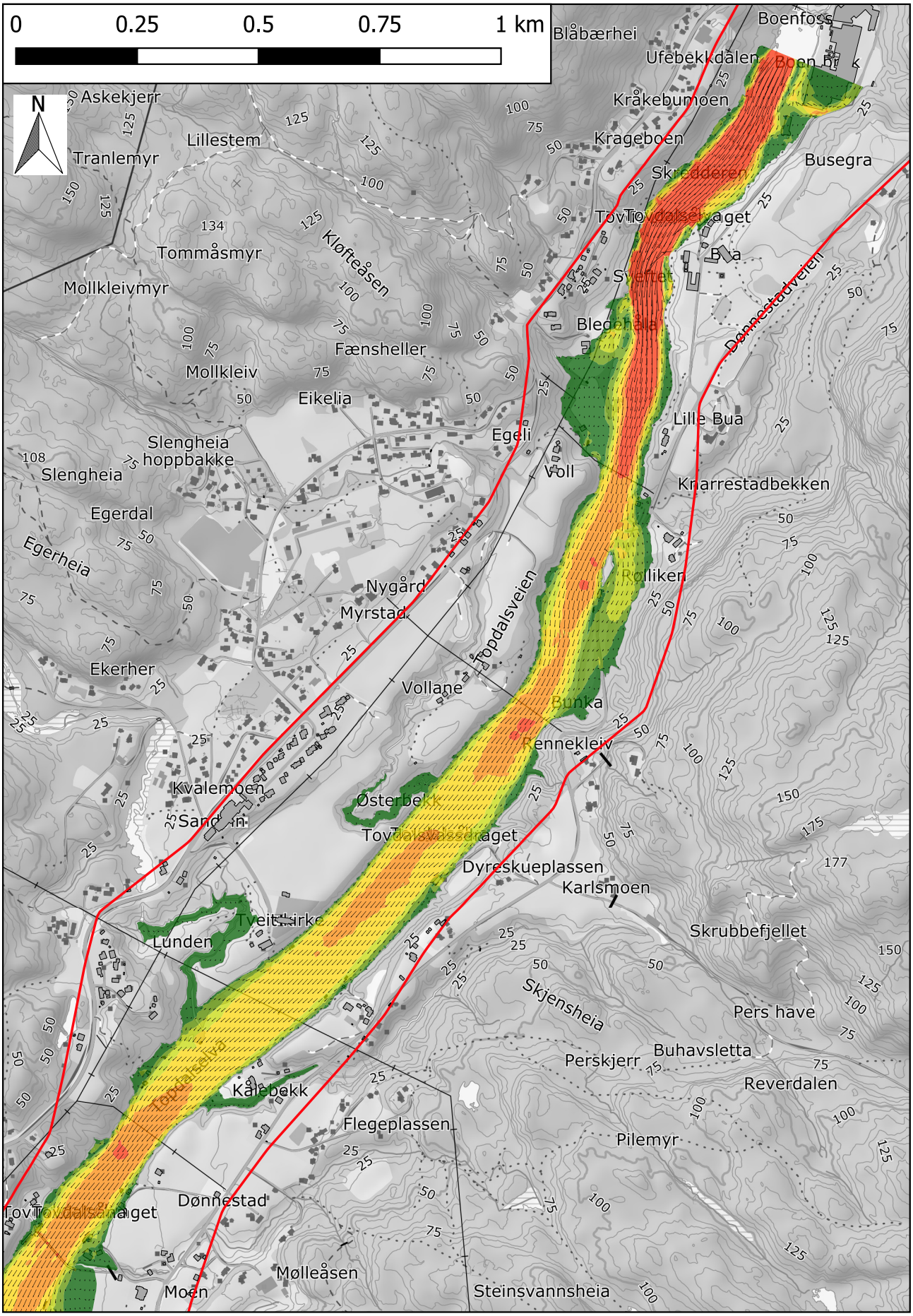
Hastighetskart for 500-årsflom, del 1



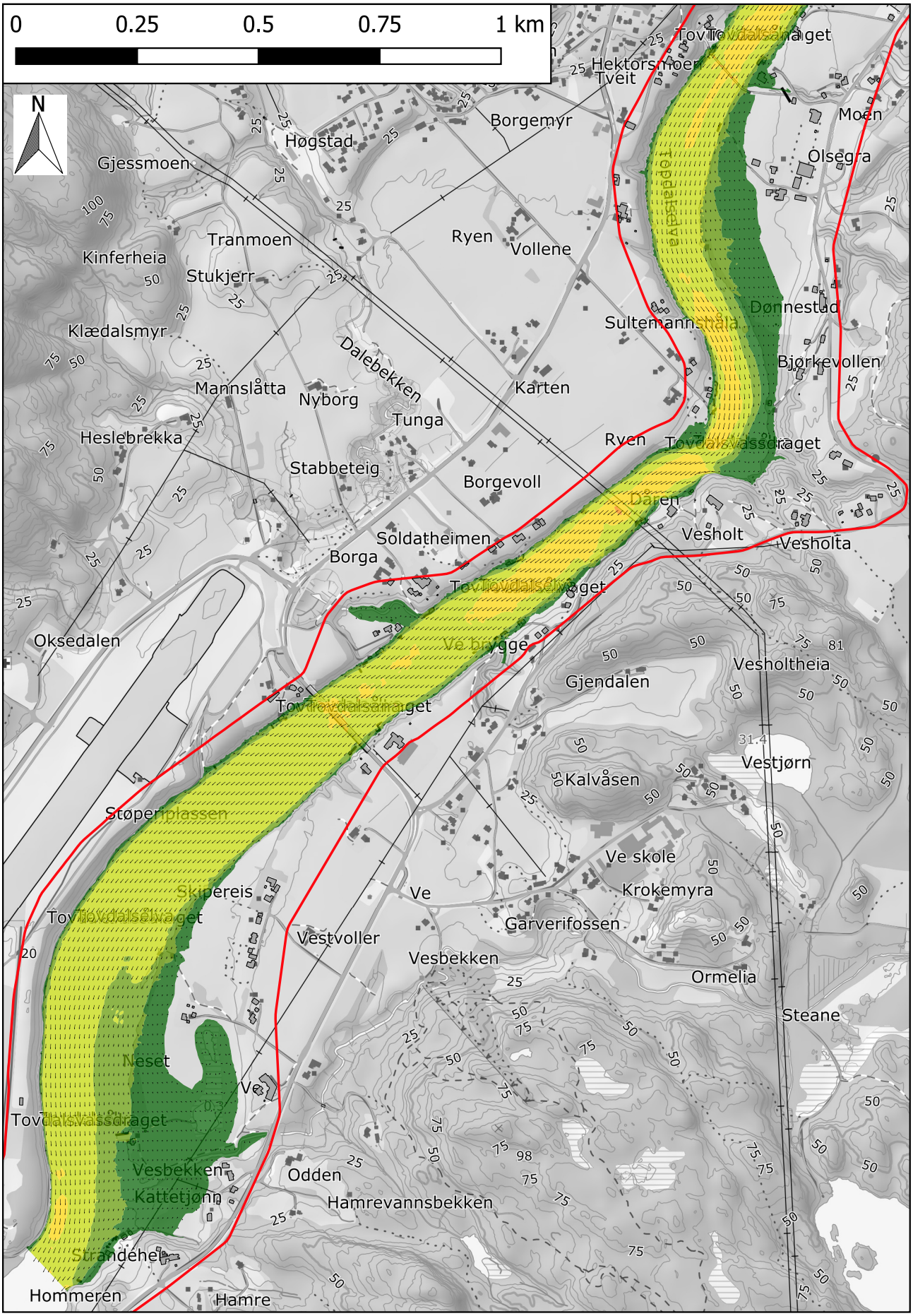
Hastighetskart for 500-årsflom, del 2



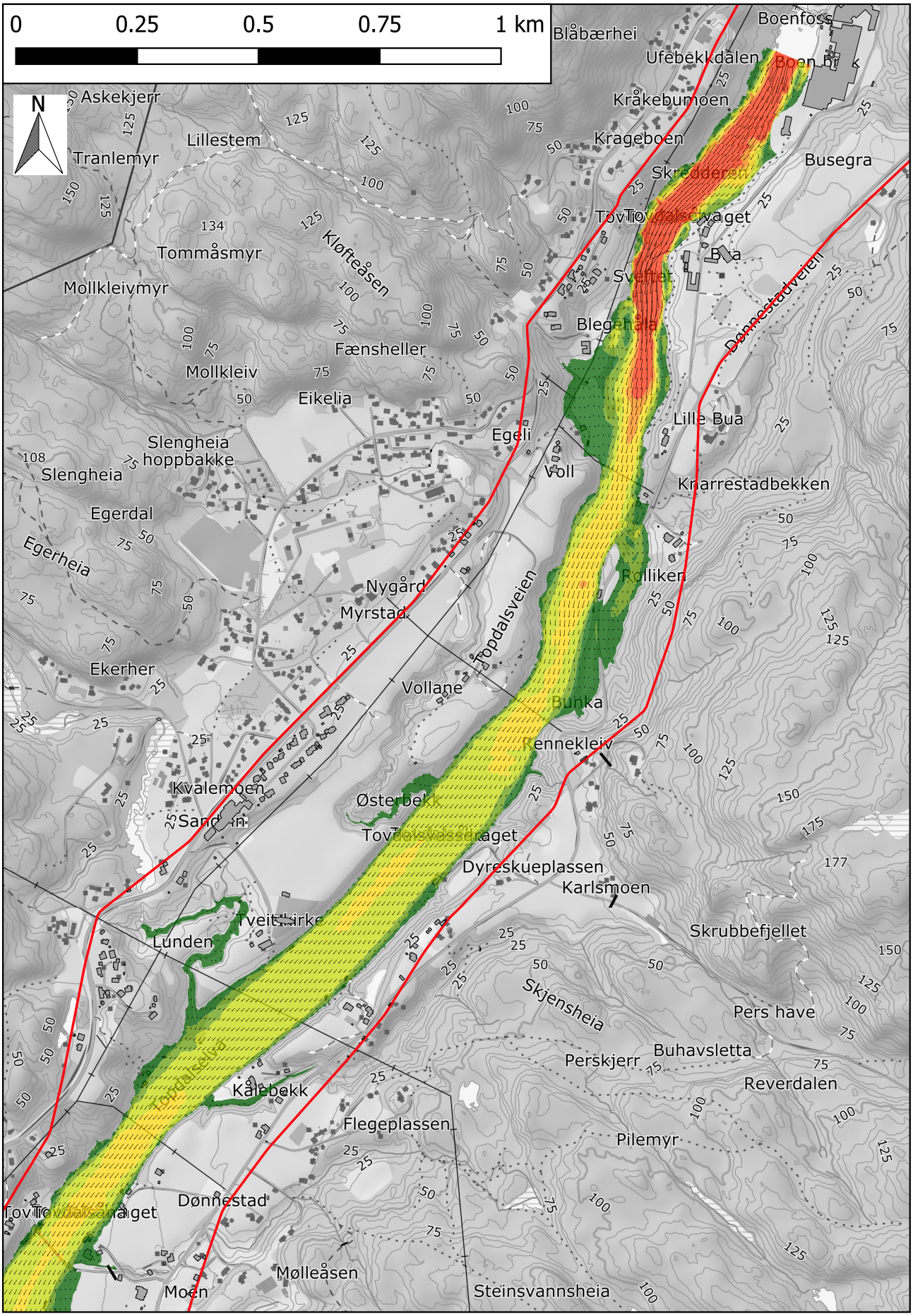
Hastighetskart for 1000-årsflom, del 1



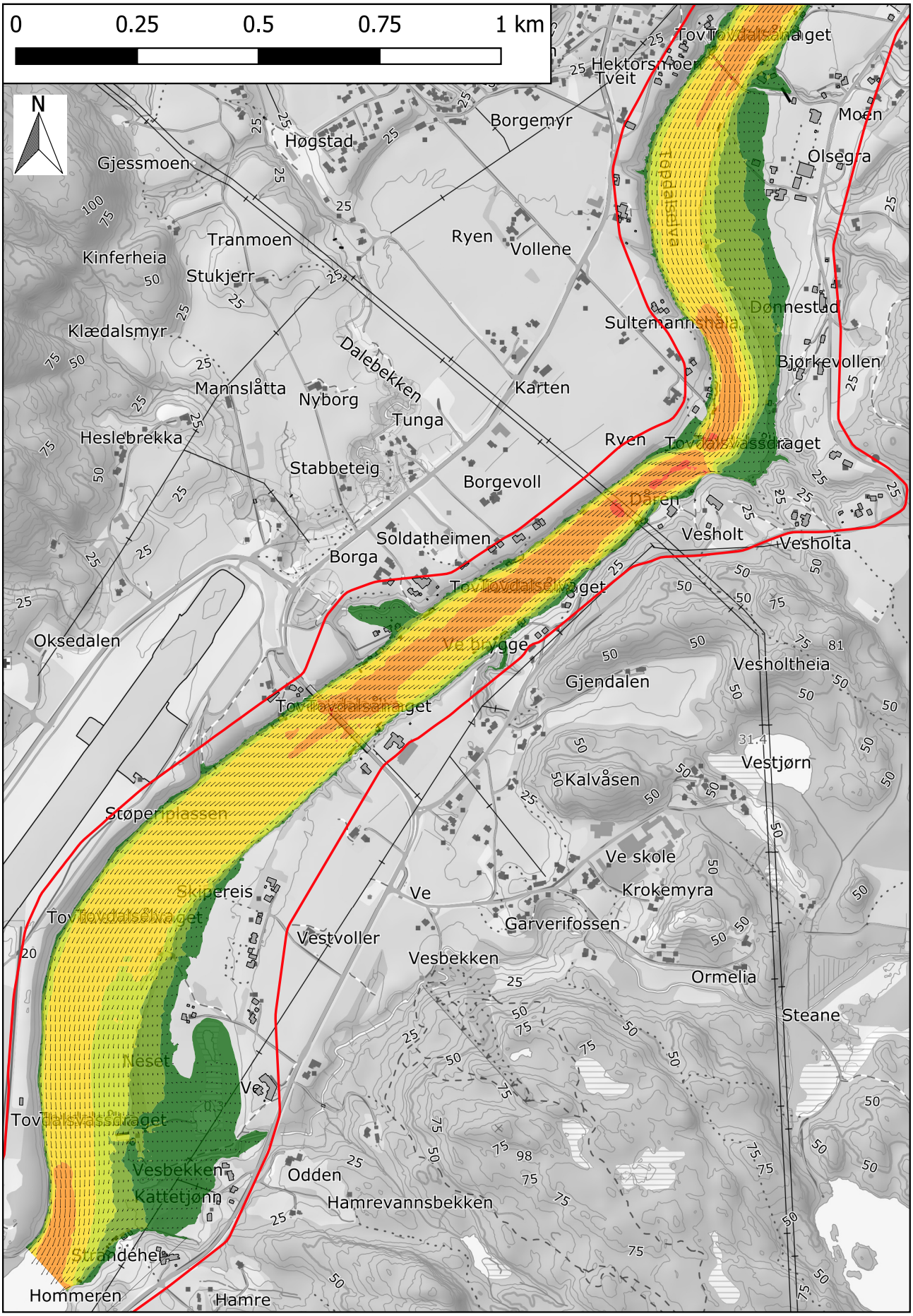
Hastighetskart for 1000-årsflom, del 2



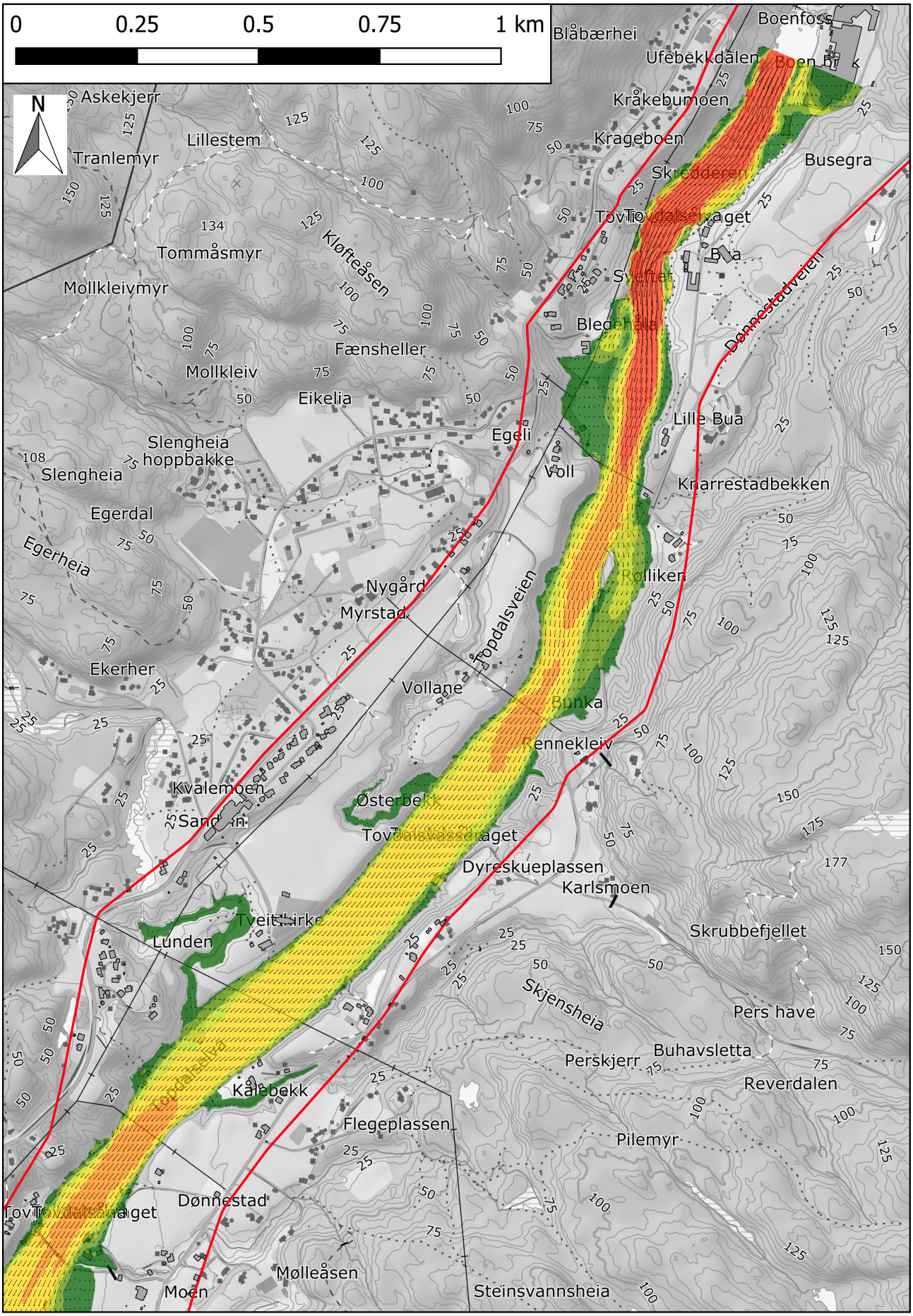
Hastighetskart for 20-årsflom med klimapåslag, del 1



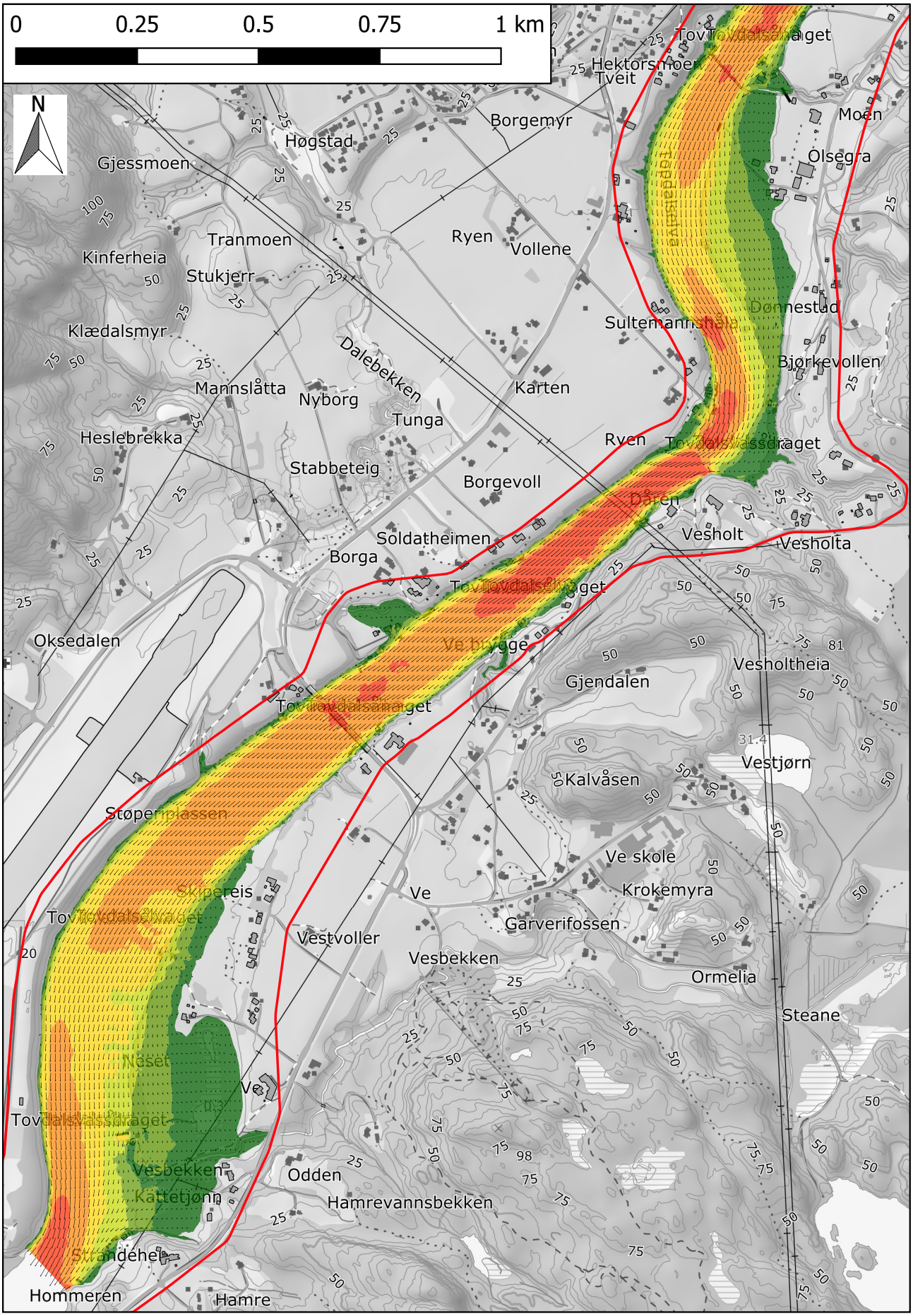
Hastighetskart for 20-årsflom med klimapåslag, del 2



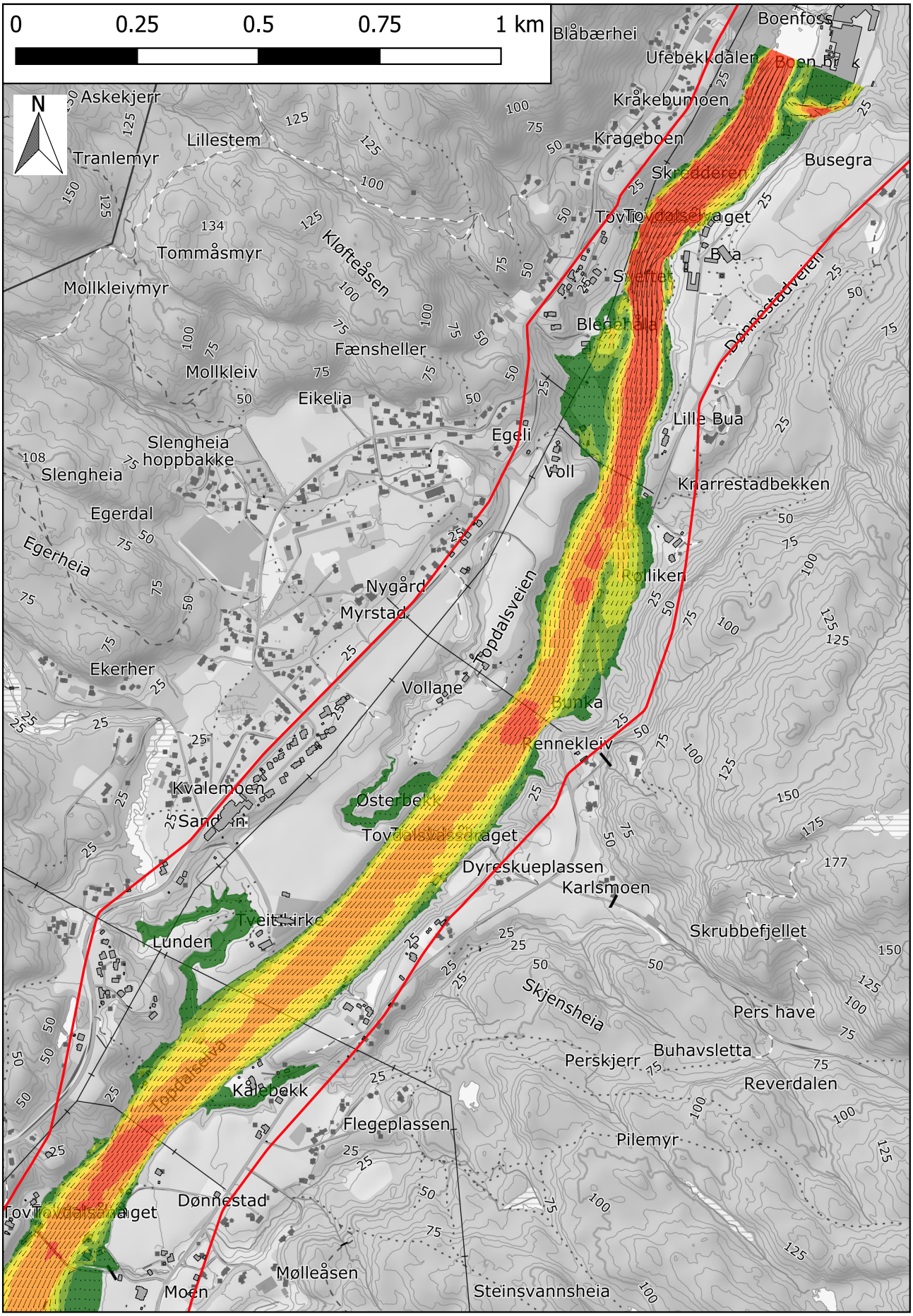
Hastighetskart for 200-årsflom med klimapåslag, del 1



Hastighetskart for 200-årsflom med klimapåslag, del 2



Hastighetskart for 1000-årsflom med klimapåslag, del 1



Hastighetskart for 1000-årsflom med klimapåslag, del 2

NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

MIDDELTHUNSGATE 29
POSTBOKS 5091 MAJORSTUEN
0301 OSLO
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

www.nve.no