

## 9. FLOMMER OG FLOMSKRED I GUDBRANDSDALEN I ET VÆRMESSIG OG KLIMATISK PERSPEKTIV

Atle Nesje<sup>1,2</sup>, Ingar M. Gundersen<sup>3</sup> og Rebecca J.S. Cannell<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Institutt for geovitenskap, Universitetet i Bergen

<sup>2</sup> Uni Research Klima og Bjerknessenteret for klimaforskning

<sup>3</sup> Kulturhistorisk museum, Universitetet i Oslo

<sup>4</sup> Bournemouth University

### INNLEDNING

Arkeologiske utgravninger i Midt-Gudbrandsdalen (figur 9.1 og figur 9.2) i 2011 og 2012 avdekket lag og horisonter med vekslinger mellom flom-/ flomskredlag og jordbrukshorisonter/ dyrkingslag på en rekke bosettings- og jordbrukshistoriske lokaliteter (Cannell og Gundersen 2014). Store flommer og flommer i bebygde områder fører i dag vanligvis til store skader og økonomisk tap (Lundquist 1996; Eikenes

mfl. 2000). Ordet *flom* stammer fra det norrøne ordet *flaumr*. Vi kaller det flom når vann-nivået blir så høyt at elver og innsjøer går over sine bredder og over sitt vanlige nivå. Flommer kan også føre til elvebrudd når elva endrer løp ved utgravning/erosjon, transport og avsetning av løsmasser. Kraftig nedbør i form av regn, ofte i kombinasjon med stor snø-/ bresmelting, er den vanligste årsaken til at vannføringen i bekker og elver vokser raskt og utløser jordskred/grove massestrømmer og lavereliggende elvesletter blir satt under vann.

Nedslagsfeltet til Mjøsa/Vorma omfatter Gudbrandsdalen (Gudbrandsdalslågen) med sideelvene Mesna, Moksa, Frya, Ula og Jora på østsiden av Gudbrandsdalen og Gausa, Vinstra, Sjoa og Otta på vestsiden. Vinstra, Sjoa og Otta drenerer store deler av Øst-Jotunheimen, og vannføringen i disse elvene er dermed også påvirket av breavrenningen. Bratte sideelver som kommer fra mindre nedbørfelt på østsiden av Gudbrandsdalslågen, transporterer ofte mye løsmasse fra trange gjel og daler på grunn av erosjon under perioder med stor nedbørintensitet, slik som på Kvam under flommene i 2011 og 2013 (for detaljer, se Roald 2013). De mest utsatte sideelvene når det gjelder erosjon i løsmasser, er Moksa, Frya, Veikleåa, Ula, Ryddøla, Hjelleåa, Hindi og Jora.

Storofsen sommeren 1789 var den største flommen på Østlandet i historisk tid, og kanskje i hele perioden etter siste istid (holocen). På Lalm i Otta ble den største vannføringen under Storofsen beregnet til 1700 m<sup>3</sup>/s, eller 431 l/s per km<sup>2</sup>. I Gudbrandsdalen ble 640 gårdsbruk (3034 bygninger) ødelagt, og 61 personer omkom av flom og jordskred. Værsituasjonen som førte til Storofsen, var et lavtrykk som kom nordvestover og brakte varme luftmasser fra det sentrale Atlanterhavet, og som hadde tatt opp mer varme og fuktighet fra Middelhavet før det svingte mot nordvest øst for Alpene. Denne lavtrykkssbanen er også i dag den som oftest fører til storflommer i Europa, som storflommene i Oder i 1997 og i Elben og Donau i august 2002. For flere detaljer om Storofsen, se Kleiven 1908, Sommerfeldt 1943, Østmoe 1985, Kington 1988 og Roald 2003 og 2013.



Figur 9.1. Kart over Sør-Norge. Kart: Ingar M. Gundersen.

I denne artikkelen er de flom- og skredhendelsene som er registrert og kartlagt under de arkeologiske utgravningene i Gudbrandsdalen, sammenlignet med andre skred- og flomhendelser som er undersøkt i områder i Sør-Norge. Disse hendelsene er dernest forsøkt satt inn i en vær- og klimahistorisk kontekst.

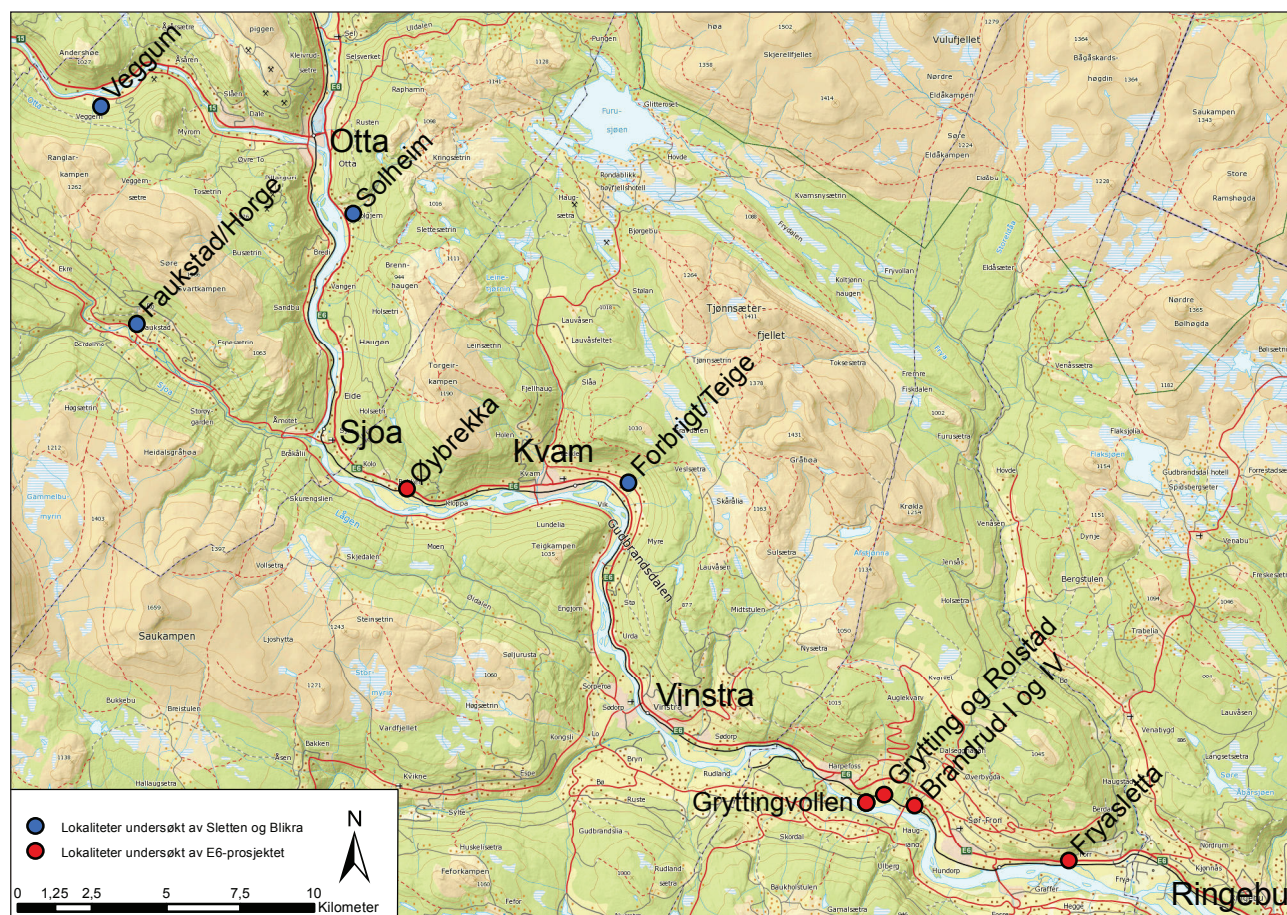
### VÆR- OG KLIMAMESSIGE FORHOLD SOM KAN FØRE TIL FLOM OG FLOMSKRED

Sør-Norge ligger i den tempererte klimasonen, der milde og fuktige luftmasser vanligvis kommer inn fra vest og avgir nedbør, mest på vestsiden av hovedvannskillet mellom Vest- og Østlandet. De mest nedbørrike områdene på Vestlandet (rundt Ålfotbreen) har en gjennomsnittlig årlig nedbør på rundt 5400 mm, mens det på de tørreste stedene (i Skjåk) faller omtrent 300 mm i året (met.no). Når det gjelder flom, er det nedbørintensiteten, det vil si hvor mye nedbør som kommer i løpet av timer eller døgn, som har størst betydning. De fleste flommene på Vestlandet skyldes nedbør som kommer fra vest/sørvest med lavtrykk dannet langs polarfronten.

På Østlandet er vårflokker mest vanlig, og det er som oftest kombinasjonen av snøsmelting og regn som

fører til de største flommene. På Vestlandet er det flest korte og bratte elver. Her er det oftest raskt voksende flommer om høsten og om vinteren (for detaljer, se: nve.no, varsom.no). Regnflommene på Vestlandet opptrer vanligvis på høsten, mens regnflommer på Østlandet skjer når nedbørsbanene går litt lenger sør og setter opp sørlige og sørøstlige vinder over Østlandet som bringer nedbør nordover fra sørligere breddegrader. Flommer på Østlandet kan også opptre ganske lokalt i forbindelse med kraftige tordenbyger. Isgang og ispropper som brister, opptrer relativt hyppig i vassdrag på Østlandet, i Trøndelag og i Finnmark. Noen stormflommer i Glomma har forekommet i forbindelse med isgangsflommer. Gudbrandsdalen og Glomma har som regel vårflokker i mai og juni.

De tidligste flommene i historisk tid er kjent fra skriftlige nedtegnelser og flommerker (noen steder overført til flomsteiner). Vannstanden i vassdrag måles på faste steder. I Vorma ved Minnesund ble de første målingene gjort i 1824–27 og rapportert av Schive i 1828 (Roald 2013). Storofsen sommeren 1789 var hovedsakelig forårsaket av store nedbørmengder, men store snømengder i høyfjellet etter en lang, kald vinter med dannelse av dyp tele høsten før og høye temperaturer under selve flomperioden bidro til at flommen ble



Figur 9.2. Lokaltetskart over området for de arkeologiske undersøkelsene i Gudbrandsdalen i 2011 og 2012. Kart: Ingar M. Gundersen.

År	Sted	Betegnelse	År	Sted	Betegnelse
1342/1348 (Sn)	Vågå	Digerofsen	1864 (S)	Vegårdselva	
1544 (Sn)	Glomma		1879 (Sn)	Østlandet	
1650 (Sn)	Glomma		1892 (H)	Buskerud/Aust-Agder	
1653 (S)	Buskerud/Telemark		1910 (Sn)	Østlandet	
1655 (Sn)	Bøvra		1916 (Sn)	Østlandet	
1675 (Sn)	Glomma	Storfloden	1927 (S)	Østlandet	
1717 (Sn)	Glomma		1934 (Sn)	Østlandet	
1721 (Sn)	Glomma/Storelvdal		1934 (S)	Telemark	
1749 (Sn)	Glomma		1938 (S)	Gudbrandsdalen	Storflåmen
1752 (S)	Tinn		1939 (Sn)	Østlandet	
1760 (Sn)	Gudbrandsdalen/Glomma		1939 (S)	Aust-Agder	
1773 (Sn)	Glomma	Storfloden	1966 (Sn)	Østlandet	
1789 (S)	Østlandet	Storofsen	1967 (Sn)	Østlandet	
1793 (S)	Setesdalen		1987 (H)	Oslofjord-området	
1822 (S)	Numedalslågen/Skiensselva		1988 (S)	Rundt Mjøsa	
1827 (Sn)	Østlandet		1995 (Sn)	Østlandet	Vesleofsen
1837 (S)	Telemark		2003 (S)	Nord på Østlandet	
1846 (Sn)	Østlandet		2011 (S)	Gudbrandsdalen	Pinseflommen
1850 (Sn)	Østlandet		2012 (S)	Vestfold/Buskerud	Frida
1858 (S)	Tinn		2013 (Sn)	Østlandet	
1860 (Sn)	Østlandet	Storflåmen/Ofsen			

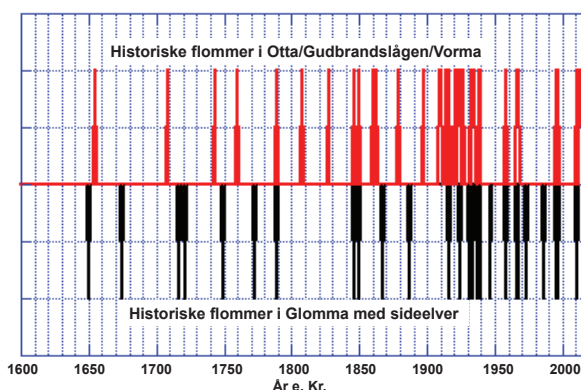
**Figur 9.3.** Historiske stor-/skadeflommer på Østlandet. Type flom/årstid: Sn – Vår-/snøsmelteflom, S – sommerflom, H – høstflom. Kilde og for nærmere detaljer: Roald 2013 og referanser i denne.

så stor og skadeomfanget så betydelig. Vårflommene (mai–juni) på Østlandet synes å skyldes enten brå temperaturstigning mens det ennå ligger mye snø i nedslagsfeltene, eller en kombinasjon av dette og stor nedbørintensitet (regn; se Sandersen 1997). For en mer detaljert beskrivelse av vær-situasjoner under historiske flommer på Østlandet, se Østmoe 1985, Støren mfl. 2010 og Roald 2013.

#### HISTORISKE OG MÅLTE FLOMMER I VORMA/GUDBRANDSDALSLÅGEN/OTTA

For å skape et mest mulig fullstendig bilde av flomhendelsene registrert under de arkeologiske utgravningene i Gudbrandsdalen vil vi gi en oversikt over de største historiske flommene. I Vorma/Gudbrandsdalslågen/Otta skjedde de største historiske flommene i 1342 eller 1348 (Digerofsen), 1655, 1708, 1743 (desemberflom), 1760, 1789 (sommerflom i juli kalt Storofsen), 1808 (vårflom), 1827 (vårflom), 1846 (vårflom), 1850 (vårflom), 1860 (vårflom, kalt Storflåmen) og 1863 (vårflom). Målte flommer i vassdraget forekom 29. mai 1879, 9. juni 1897, 26. juni 1909, 15. juni 1910, 11. mai 1916, 30. mai 1921, 24. juni 1924, 9. juli 1927, 10. mai 1934, 1. september 1938 (Storflåmen), 21.

juni 1939, 2. juli 1958, 15. juni 1966, 1. juni 1967, 3. juni 1995 (Vesleofsen), 12. juni 2011 og 22. og 23. mai 2013 (figur 9.3; Roald 2013). Figur 9.4 viser de historiske flommene i Otta/Gudbrandsdalen/Vorma sammenlignet med historiske storflommer i Glomma med sideelver (data: Roald 2013). På tross av at begge vassdragene grenser til hverandre, ser man at 12 av i alt 27 (44 prosent) storflommer i Glomma med sideelver ikke er registrert i Otta/Gudbrandsdalen/Vorma.



**Figur 9.4.** Historiske flommer i Otta/Gudbrandsdalen/Vorma (rødt) og i Glomma med sideelver (svart). Data fra Roald 2013.

### FLOM- OG SKREDHISTORIE BASERT PÅ RESULTATER FRA DE ARKEOLOGISKE UTGRAVNINGENE

De arkeologiske utgravningene avdekket tre forhistoriske flom-/ flomskredhendelser, som i varierende grad gjentar seg på lokalitetene: Forrskredet (rundt 350–200 f.Kr.), Gammelofsen (50–1 f.Kr.) og Merovingertidsofsen (600–800 e.Kr.). Navnene er benyttet for at det skal bli lettere å relatere funnene på de ulike lokalitetene til hverandre. I tillegg er lagene forsøkt satt i sammenheng med historiske fenomener som Digerofsen (1342 eller 1348), Storofsen (1789) og Storflaumen (også kalt Ofsen; 1860; figur 9.3, Roald 2013). Med «flom» menes sedimenter avsatt fra Lågen, «flomskred» tilførte masser og erosjonskanter forårsaket av sideelver og «skred» rene jordskred i fjellsidene (gjelder kun Fryasletta). I tillegg er det en rekke tynne sjikt, som det er vanskeligere å sette i sammenheng med hverandre fra lokalitet til lokalitet. I denne artikkelen har vi utelatt moderne matjordlag og eventuelle eldre løsmasser som ikke har relevans for arkeologien på lokalitetene. Flere av disse eldre sjiktene kan nok likevel tolkes som flomavsetninger.

Samtlige flomlag er indirekte datert gjennom dateringene av arkeologiske fenomener, og dette gir trolig rom for feilmarginer. Det er kun på Øybrekka at selve flomlaget er datert, men her er stratigrafien såpass kompleks at laget trolig er dannet av en rekke separate begivenheter. Dateringen har derfor begrenset bruksområde.

### FLOM- OG SKREDHENDELSER PÅVIST UNDER DE ARKEOLOGISKE UTGRAVNINGENE

Lokalitetsbeskrivelsene under bygger hovedsakelig på Cannell og Gundersen 2014.

#### Brandrud

På lokaliteten Brandrud I (figur 9.2) ble det avdekket et avsviingslag og fossilt jordbrukslag som indikerer nyridding, og dateringer angir at dette kan ha skjedd mellom 1700 og 1540 f.Kr. Dette tilsvarer det eldste jordbrukslaget på Brandrud IV (se under). Jordbrukslaget var overlappet av tre flomlag og av et flomskredlag øverst. Dateringer av bosetting (langhus) til 300–550 e.Kr. over kan tyde på at flomskredlaget under ble avsatt under den såkalte Gammelofsen 50–1 f.Kr. Over dette laget ble det observert et dyrkingslag overlappet av et sediment som er tolket til å være avsatt

under flom, muligens den såkalte Merovingertidsofsen 600–800 e.Kr.

På lokaliteten Brandrud IV ble det påvist tre nivåer med arkeologiske funn, deriblant en rekke sekvenser med fossile jordbrukslag. Den følgende beskrivelsen er i hovedsak basert på profil 2A, men er forsøkt satt i sammenheng med øvrige funn på feltet (se også Loktu og Gundersen, dette bind). Det stratigrafisk eldste laget er et jordbrukslag som er datert til 1720–1530 f.Kr. Et avsviingslag, som indikerer nyridding, er datert til 1550–1410 f.Kr. og er påvist under Hus 1, men antas å høre til den samme fasen. Ytterligere et avsviingslag er påvist i profil 1A og datert til 650–540 f.Kr., men har en usikker relasjon til jordbruksindikatorerne på stedet. Over dette nivået er det påvist uregelmessige stein- og grusavsetninger fra et flomskred. Det er uvisst om dette er samtidig med jordskredet påvist på lokaliteten Fryasletta (se under), det såkalte Forrskredet, datert til ca. 350–200 f.Kr. (se under). Nivå 2 er anlagt på disse avsetningene og består av en kokegrop datert til 330–200 f.Kr. Kokegropen er deretter dekket av nye avsetninger fra flomskred, som trolig kan settes i sammenheng med sporene etter Gammelofsen på Brandrud I og Fryasletta. Over flomskredavsetningene ligger nivå 1, hvor det er avdekket en rekke langhus fra 200–550 e.Kr. Et jordbrukslag i to faser datert til 240–410 e.Kr. ligger på samme nivå og overleires av flomavsetninger. Dette laget er ikke datert og dekkes av fossile jordbrukslag i to faser, som heller ikke er datert. I profil 1A er imidlertid et fossilt jordbrukslag datert til 610–710 e.Kr. Et annet jordbrukslag på selve utgravningsfeltet overleirer en kokegrop datert til 250–430 e.Kr. Funnene indikerer vedvarende jordbruksaktivitet på stedet etter at langhusene går ut av bruk rundt 550 e.Kr., men etterfølges av tette og tynne sjikt med flomavsetninger av uvisst alder. I likhet med flomavsetningene på Brandrud I kan disse forsøksvis settes i sammenheng med Merovingertidsofsen, men stammer trolig fra flere flombegivenheter. Det er imidlertid viktig å påpeke at stratigrafien er noe usikker, ettersom lagene opptrer i ulike profiler og sjakter og flomlagene har skapt en svært uoversiktlig lagoppbygning. I likhet med på Brandrud I tyder likevel dateringene på flere flomsituasjoner mellom det første dyrkingslaget i eldre bronsealder og langhusene i romertid og flere flomsituasjoner etter at langhusene går ut av bruk i overgangen mellom folkevandringstid og tidlig merovingertid.

På flere lokaliteter er det påvist en rekke skred etter det eldste dyrkingslaget. Det er usikkert om denne økte skredaktiviteten også skyldes menneskelig landskapspåvirkning i tillegg til værmessige forhold.

### Fryasletta

På Fryasletta (figur 9.2, figur 9.5 og figur 9.6) er det nederst påvist et kullsjikt avsatt i vann (muligens flom) trolig fra en skogbrann i yngre steinalder (figur 9.7). Over ligger sedimenter tolket til å være avsatt i forbindelse med ras og flom med et elvesediment øverst i denne sekvensen. Disse sedimentene er overlagret av dyrkingslag fra mellom 1200–1000/700 og 400 f.Kr. Disse lagene inneholder flere horisonter tolket til å være avsatt under flommer. Dateringene grupperer seg i to perioder, før og etter 1000–700 f.Kr, noe som har gitt grunn til å tro at matjorda ble lagt brakk rundt dette tidspunktet og ble nydyrket på et senere tidspunkt. Dette kan ha skyldtes flom, som påvist ved makrofossilanalyser (se Moltsens artikkel 26 i dette bind), men det er ikke påvist sedimenter som kan belyse dette nærmere. Fra samme periode er det påvist rydningsrøyser og ardspor. Over disse lagene ligger et skredlag kalt Forrskredet, etter Forrgårdene på sletta. Dateringer av et jordbrukslag fra en periode med dyrking eller beiting over skredlaget plasserer dette skredet mellom omtrent 350 og 200 f.Kr. Det er også påvist en kokegrop etter bosetting i dette jordbrukslaget. En yngre sekvens med et flomlag og et skredlag dekker dette jordbrukslaget. Daterte kokegropen over (1–200 e.Kr.) indikerer at dette flom-/skredlaget ble avsatt rundt 50–1 f.Kr., og det har blitt tilskrevet Gammelofsen. Jordbrukslag som indikerer dyrking eller beiting, ligger over disse lagene og er datert til 1–1280 e.Kr. Derover ligger flomlag tolket til å være avsatt under Digerofsen (1342 eller 1348 e.Kr.). Jordbrukslag datert til mellom 1680 og 1770 e.Kr. overlager flomlaget fra Digerofsen. Over disse lagene ligger seks flomlag som stammer fra historiske flommer i Gudbrandsdalen, trolig inkludert Storofsen (1789) og Storflaumen (1860; figur 9.3).

### Øybrekka

På lokaliteten Øybrekka (figur 9.2) ligger sedimenter (trolig avsatt under Gammelofsen 50–1 f.Kr.) overlagret av jordbrukslag datert til mellom 300 og 700 e.Kr. Jordbrukslaget er overlagret av sedimenter tolket til å være avsatt under flere flomhendelser i Lågen. Det foreligger en datering til 1030–1210 e.Kr., men den er fra et sentralt punkt i laget og kan derfor ikke knyttes til en konkret hendelse. Derover ligger jordbrukslag datert til 1700–1800 e.Kr. Konteksten til lagene er noe usikker, men de indikerer etterreformatisk jordbruk, trolig før Storofsen i 1789. Øverst ligger sedimenter tolket til å være avsatt under flomskred (Storofsen og/eller Storflaumen i 1860 (figur 9.3).

### Grytting

På lokaliteten Grytting I (figur 9.2) ligger det nederst avsviingslag, der flere sjikt er datert til perioden 4500–2490 f.Kr. overlagret av sedimenter med spor etter langhus (bosetting) over datert til 150–600 e.Kr. Over bosettingssporene er det påvist tynne sjikt med flomavsetninger, som har blitt avsatt etter at langhusene ble fraflyttet. Sedimentene er trolig avsatt i forbindelse med Merovingertidssofsen 600–800 e.Kr.

### Rolstad

På lokaliteten Rolstad I (figur 9.2) er det nederst påvist jordbrukslag datert til 440–610 e.Kr. overlagret av sedimenter tolket til å være avsatt under flom og flomskred. Dateringer av rydningsrøyser (dyrking) over til 800–1000 e.Kr. indikerer at sedimentene ble avsatt i perioden 600–800 e.Kr., og hendelsen har derfor blitt kalt Merovingertidssofsen.

### Gryttingvollen

På lokaliteten Gryttingvollen (figur 9.2) er det påvist fire markoverflater datert til 4490–4260 f.Kr., 410–580 e.Kr., 1290–1410 e.Kr. og 1405–1460 e.Kr. Sjiktene med markoverflater ligger mellom en rekke sekvenser med flomsedimenter, men konteksten til dateringene er noe usikker, slik at enkelthendelser (flommer) ikke kan tidfestes nøyaktig.

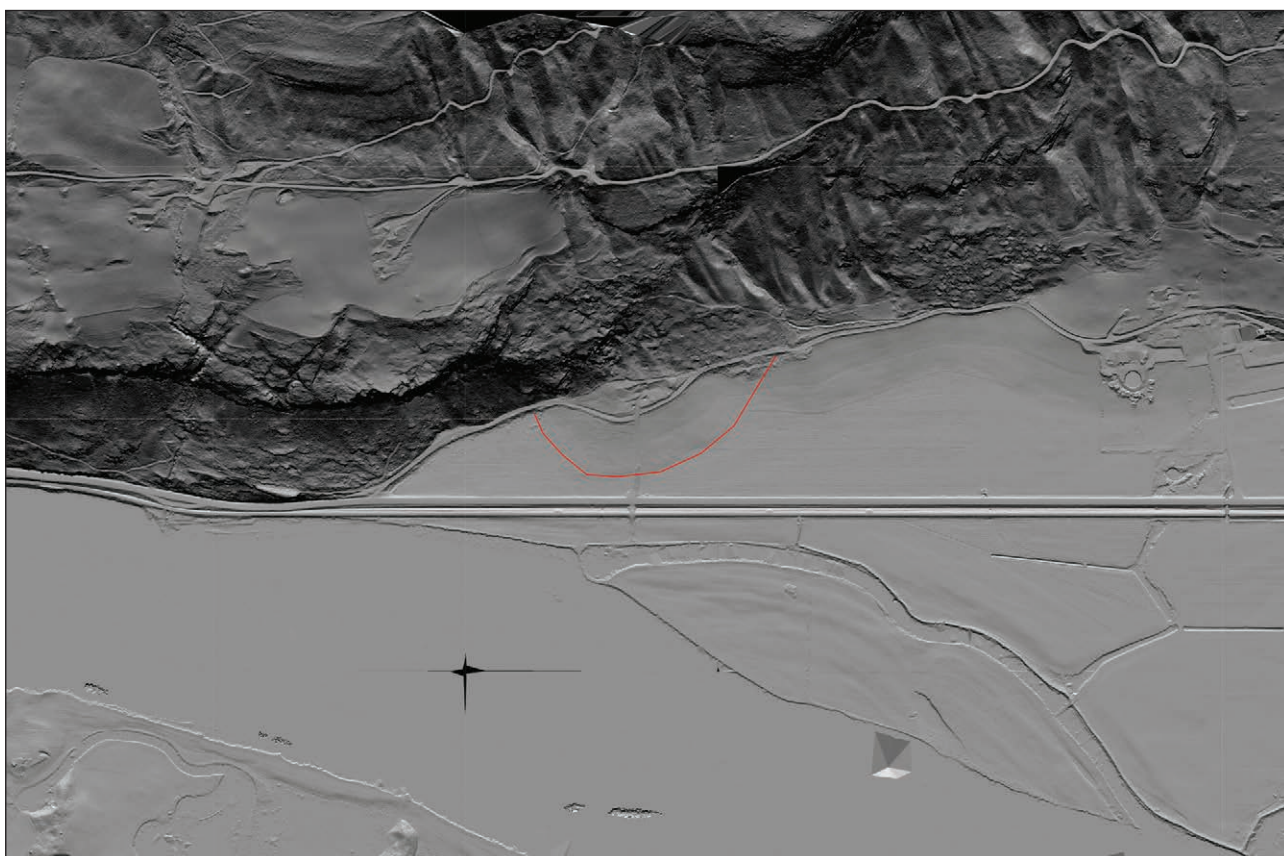
## REKONSTRUKSJONER AV FORHISTORISK SKRED- OG FLOMAKTIVITET I SØR-NORGE I PERIODEN ETTER SISTE ISTID

*Alluviale* sedimenter er elveavleiringer som er avsatt under tilnærmet samme forhold som i nåtiden. En *alluvial flate eller vifte* er henholdsvis en mindre slette og en slakt skrånende flate langs en elv, bygd opp av flom- og elveavsetninger. *Kolluviale* sedimenter er mer grovkornet materiale avsatt under ulike typer hurtige massebevegelser og skred, slik som steinsprang/-skred, flomskred og jordskred. Ulike typer forhistoriske skred (kolluvial aktivitet), flomskred og elveflommer, som i de fleste tilfeller er et resultat av ekstreme værhendelser, kan rekonstrueres fra innsjøsedimenter og skjæringer/snitt i skred- og flommasser.

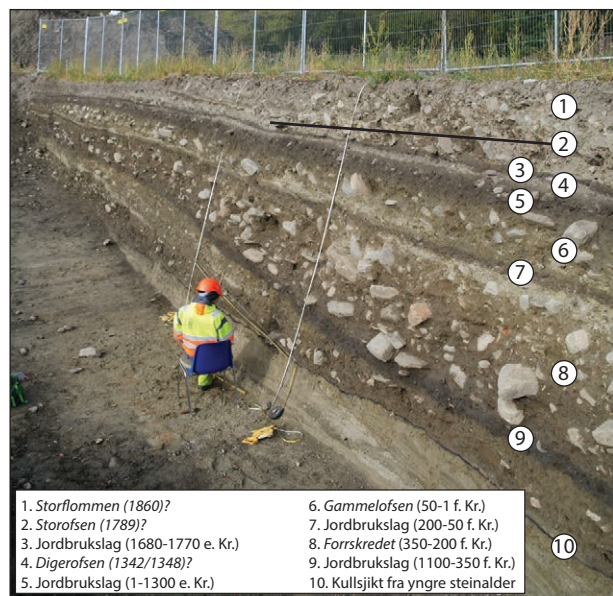
Figur 9.8 viser rekonstruksjoner av antall snø- og jordskredhendelser per hundreår gjennom de siste 9000 årene (modifisert etter Vasskog mfl. 2011) basert på data fra Leirdalen i Jotunheimen (Matthews mfl. 2009), jordskredhendelser (grove massestrømmer) andre steder i Øst- og Vest-Norge sammenstilt av Blikra og Nesje



*Figur 9.5. Undersøkellesområdet for de arkeologiske utgravningene på Fryasletta. Foto: Ingar M. Gundersen.*



*Figur 9.6. LiDAR-scanning av Fryasletta, der utstrekningen til rasøifta er markert med rødt. Laserdata: Lars Holger Pilø, Oppland fylkeskommune.*



**Figur 9.7.** Rebecca Cannell under arbeid i snittveggen på Fryasletta. Bildet viser vekslinger mellom blokkholdige skredlag og mørke dyrkings-/bosettingslag. Foto: Lise Loktu.

(1997), Sletten mfl. (2003) og Sletten og Blikra (2007), snøskredhendelser i Møre og Romsdal (Blikra og Selvig 1998; Blikra og Sletten 2002) og snøskredaktivitet i Vanndalsvatnet i Jostedal (Nesje mfl. 2007a) og i Oldevatnet (Vasskog mfl. 2011). Elveflommer i øvre del av Glommas nedslagsfelt (Bøe mfl. 2006) og elveflommer rekonstruert i tre innsjøer (Nesje mfl. 2001; Sletten og Blikra 2007; Støren mfl. 2008). Figur 9.9 viser at det generelt var mindre kolluvial/alluvial aktivitet i Sør-Norge i første halvdel av holocen enn i siste del. Det var imidlertid noe større aktivitet 8600–8000, 7600–7000, 6900–6700, 6600–5700, 5600–5100, 5000–4500, 4300–3500, 3400–2800, 2600–1900, 1600–1100, 1000–500 og 400 kalenderår BP opp til nåtid. Det var tilsynelatende mindre kolluvial og alluvial aktivitet de første tusenårene etter siste istid, med en markert økning for rundt 4000 år siden. Datasettet for grove massestrømmer (jordskred) synes å avvike noe fra de andre datasettene følsomme for nedbørsendringer (ekstreme nedbørshendelser), slik som elveflommer, snøskred og brevariasjoner i Vest-Norge. Dataene for grove massestrømmer gir derfor komplementær informasjon relatert til ekstreme vær- og klimahendelser etter siste istid. Figur 9.9 viser at tre forhistoriske flom- og skredhendelser påvist under utgravningene i Gudbrandsdalen i 2011 og 2012 faller sammen med stor kolluvial og alluvial aktivitet registrert på mange lokaliteter i Sør-Norge. Dette tyder på at disse hendelsene var av regional karakter og mest sannsynlig kan karakteriseres som ekstreme hendelser som hadde stor effekt på landskap, jordbruk og bosetting.

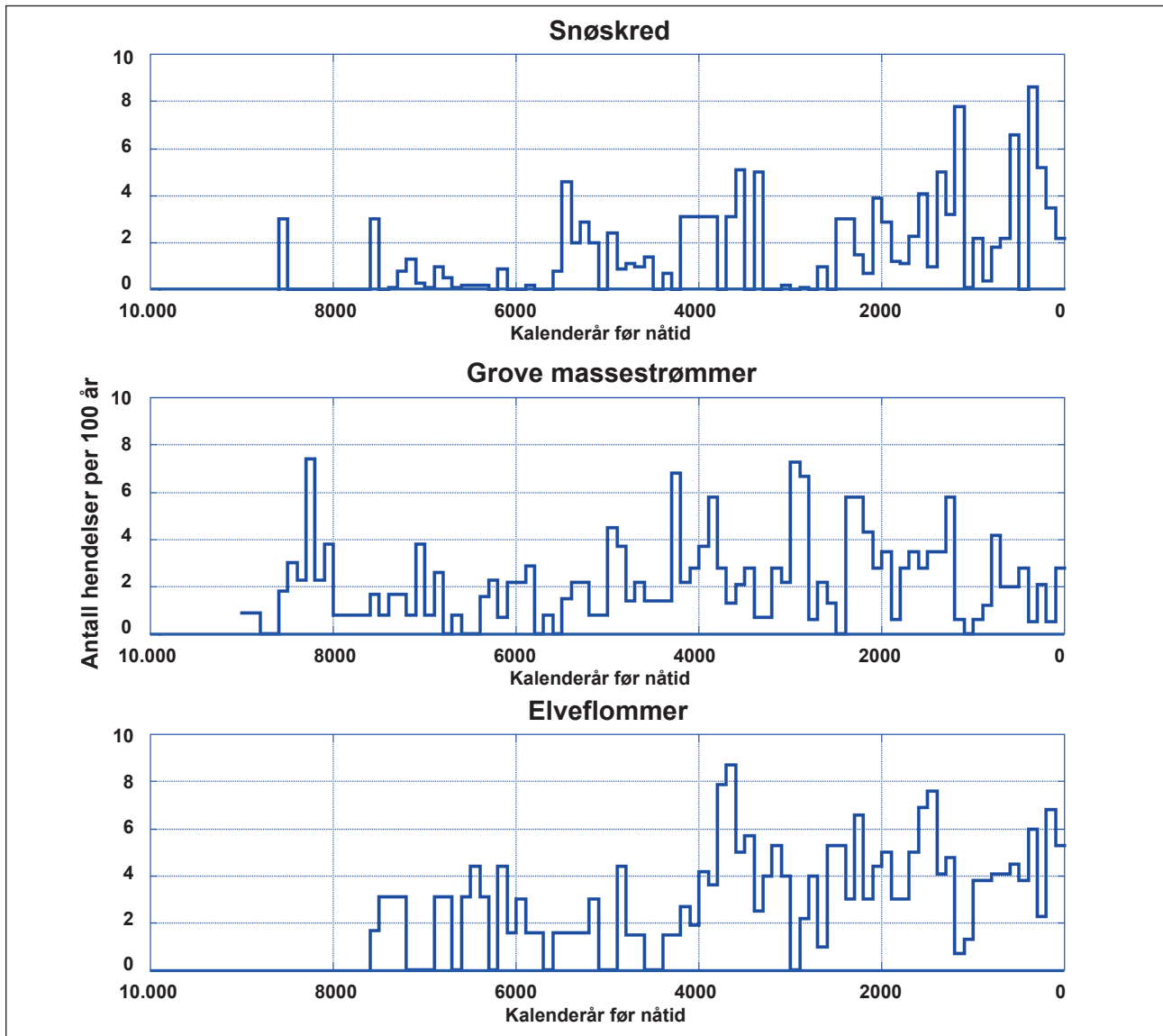
Flomhistorien i Atndalen øst for Rondane de siste 4500 år ble rekonstruert fra sedimentkjerner tatt nær innløpet til Atnsjøen (Nesje mfl. 2001). Totalt 30 lyse minerogene lag (den lyse bergarten i området gir den lyse fargen til sedimentene) ble tolket som flomlag, hvorav det fra Storofsen i 1789 er det tykkeste. Selv om man tar hensyn til dateringsusikkerheten ved bruk av C14-metoden og at noen dateringer fra sedimentene i Atnsjøen tyder på at noe av det organiske materialet er resedimentert og dermed gjør alder-dyp-forholdet i kjernen noe usikkert, er trolig hendelser som er samtidige med Forrskredet (rundt 350–200 f.Kr.), Gammelofsen (50–1 f.Kr.) og Merovingertidsofsen (600–800 e.Kr.) representert i sedimentene i Atnsjøen. Dette kan tyde på at disse hendelsene hadde en regional utbredelse på Østlandet.

Sletten mfl. (2003) rekonstruerte grove massestrømmer fra innsjøsedimenter i Ulvådalvatnet på grensen mellom Romsdalen og Lesja. Sedimentene viste at det var en markert økning i grove massestrømmer etter 2200 kalenderår før nåtid; disse er tolket som et resultat av høyere regnedbørsintensitet.

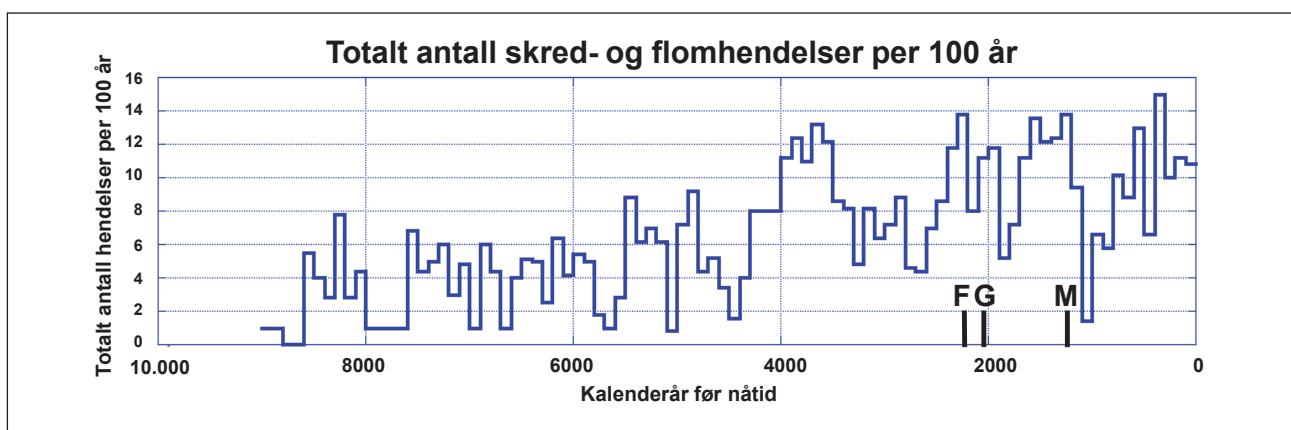
En rekonstruksjon av holocen flomaktivitet (sekvensen dekker perioden fra 9800 år før nåtid til i dag) i øvre del av Glommas nedslagsfelt ble utført ved studier av sedimentene i Butjønna i Folldal nordøst for Rondane (Bøe mfl. 2006). Det ble skilt ut totalt ca. 115 flomlag som varierer i tykkelse fra 1 til 620 mm; det tykkeste ble avsatt under Storofsen. Sedimentene viser at det var liten flomaktivitet i første halvdel av holocen. De første flommene i Butjønna opptrådte for rundt 7600 år siden, og det var en økning i flomaktivitet i siste halvdel av holocen, som også påvist i de andre flomrekonstruksjonene.

Sletten og Blikra (2007) utførte 19 dype gravninger på fire steder (Forbrigt/Teige, Faukstad/Horge, Solheim og Veggum) i øvre del av Gudbrandsdalen (figur 9.2) for å rekonstruere holocen alluvial og kolluvial aktivitet. Relativt stor kolluvial aktivitet ble rekonstruert omtrent 8600–7400 (med en topp 8500–8100), 2400–1900 og 800–400 kalenderår før nåtid. Det var perioder med relativt liten kolluvial aktivitet omtrent 7100–6500, 5900–5300 og 3500–2500 kalenderår før nåtid. De tre forhistoriske hendelsene (se over) påvist i forbindelse med de arkeologiske utgravningene i 2011 og 2012 faller innenfor de periodene som Sletten og Blikra (2007) rekonstruerte med økt kolluvial aktivitet.

Støren mfl. (2008) gjorde en studie over sedimenter i Russvatnet i Øst-Jotunheimen der de skilte episodiske skråningsprosesser og brevariasjoner de siste 4000 år. De tolker dataene slik at økt flomaktivitet og kolluvial aktivitet har skjedd 4000–3400, 2900–2500, 2000–1400 og 1000–500 kalenderår før nåtid.



**Figur 9.8.** Rekonstruksjoner av antall snø- og jordskredhendelser per hundreår gjennom de siste 9000 årene basert på data fra Leirdalen i Jotunheimen (Matthews mfl. 2009), jordskredhendelser (grove massestrømmer) andre steder i Øst- og Vest-Norge, sammenstilt av Blikra og Nesje (1997), Sletten mfl. (2003) og Sletten og Blikra (2007), snøskredhendelser i Møre og Romsdal (Blikra og Selvik 1998; Blikra og Sletten 2002) og snøskredaktivitet i Vannalsvatnet i Jostedal (Nesje mfl. 2007) og i Oldevatnet (Vasskog mfl. 2011). Elveflommer i øvre del av Glommas nedslagsfelt (Bøe mfl. 2006) og elveflommer rekonstruert i tre innsjøer (Nesje mfl. 2001; Sletten og Blikra 2007; Støren mfl. 2008).



**Figur 9.9.** Totalt antall skred- og flombhendelser per hundreår i Sør-Norge gjennom de siste 9000 år basert på dataene presentert i figur 9.8. F – Forrskredet 350–200 f.Kr., G – Gammelofsen 50–1 f.Kr., M – Merovingertidsosen 600–800 e.Kr.



På Sletthamn i Leirdalen i Jotunheimen gjorde Matthews mfl. (1997, 2009) omfattende undersøkelser av grove massestrømmer i tre snitt/skjæringer. De utførte totalt 155 radiokarbondateringer for å tidfeste hendelsene, som dekker de siste 8500 år. Minst massestrømkraft var det i perioden 8000–7100 år før nåtid. Massestrømkraften var størst 4300–2800 kalenderår før nåtid, i overgangen mellom varmeperioden og den påfølgende kjøligere perioden. Åtte distinkte perioder med økt aktivitet inntraff rundt 8300–8000, 7100–7000, 4300–3700, 3200–2800, 2200–1900, 1500–1200, 800–700 og 300–0 kalenderår før nåtid. Hendelsene antas å representere stor nedbørintensitet sommer og høst.

Støren mfl. (2010) gjorde en detaljert studie av sedimentene i Meringdalsvatnet i Murudalen i Øst-Jotunheimen. Innsjøen fanger opp flommer i elva Muru, en sideelv til Sjoa. Radiokarbondateringer av bunnsedimentene viser at flomaktiviteten var liten i første del av holocen (9770–5500 kalenderår før nåtid). Deretter var det en beskjeden økning i flomaktiviteten inntil for 2500 år siden, da det inntraff en markert økning i flomaktiviteten som varte til for 2300 kalenderår siden. Med unntak av et relativt kort tidsintervall rundt 1000 år før nåtid med liten flomaktivitet har tendensen med relativt stor flomaktivitet holdt seg opp til vår tid. Storofsen ser ut fra sedimentene i Meringdalsvatnet ut til å være den klart største flommen i historisk tid og mest trolig i hele holocen.

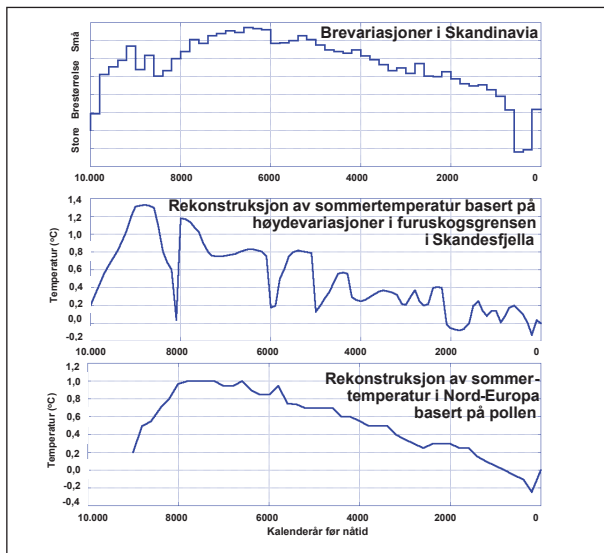
#### KLIMAPÅDRIV I PERIODEN ETTER SISTE ISTID (HOLOCEN)

Av de eksterne faktorene som påvirker klima og vær på holocen tidsskala, er en jordbaneparameter som kalles presesjon (syklus på 23 000/21 000 år). Presesjon er et fysisk fenomen som viser seg når akselen til et roterende objekt «slingrer» mens det utsettes for en kraftpåvirkning utenfra. Fenomenet kan illustreres med en snurrebass og forekommer i den tiden på året når jorda er nærmest sola. Jorda er i dag nærmest sola om vinteren, mens den for 12 000 år siden var nærmest sola om sommeren. For 12 000 år siden var det derfor omtrent 10 prosent større innstråling om sommeren på høye nordlige breddegrader enn i dag. Siden den tid har totalinnstrålingen om sommeren avtatt, mens innstrålingen om vinteren har økt på våre breddegrader. Den avtakende innstrålingen om sommeren på våre breddegrader etter siste istid er reflektert i at breene i Skandinavia har vist en voksende tendens og furuskogsgrensen en fallende tendens, og at somrene har blitt kjøligere de siste 8000–6000 årene

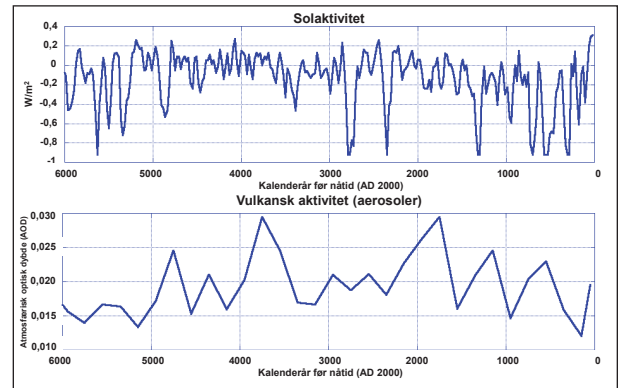
(figur 9.10). En annen faktor er solaktiviteten, som varierer med antall solflekker (figur 9.11). En tredje faktor er vulkansk aktivitet, spesielt på lave breddegrader (høyt innhold av vulkanske aerosoler, det vil si stor vulkansk aktivitet, gir lavere sommertemperatur de første 1–3 årene etter vulkanutbruddet). Figur 9.11 viser vulkansk aktivitet (liten tidsoppløsning) rekonstruert for perioden fra 6000 år før nå til i dag.

#### HOLOCEN FLOM- OG SKREDAKTIVITET PÅ ØSTLANDET I LYS AV KLIMAUTVIKLING I PERIODEN ETTER SISTE ISTID

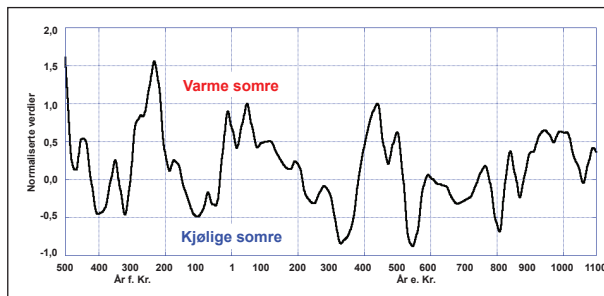
Økt flom- og skredaktivitet på Østlandet for rundt 8500–7700 år siden sammenfaller med en periode kalt «8,2 ka event» (Alley mfl. 1997), i Norge påvist med et breframstøt kalt «Finse event» (Dahl og Nesje 1996), som er en todelt periode med lavere sommertemperatur og mer vinternedbør med påfølgende brevekst i Sør-Norge. Mer nedbør om vinteren i form av snø kombinert med kjølige vårtemperaturer og korte somre kan ha resultert i mer konsentrert avrenning. Perioden 7700–6000 år før nåtid var karakterisert av høye sommertemperaturer, rundt 1,5–2 °C høyere enn i normalperioden 1961–90. Bre- og temperaturrekonstruksjoner fra Jotunheimen viser at breene var små eller mest sannsynlig helt vekksmeltet, med vinternedbør på rundt 50 prosent av dagens (Matthews mfl. 2005; Matthews og Dresser 2008; Velle mfl. 2010). Disse faktorene kan tyde på at vintrene var kortere med mindre snø og tettere vegetasjon og omtrent 300 meter høyere skogsgrense, noe som indikerer mindre mulighet for flommer. Økt flom- og skredaktivitet fra rundt 5000–2500 år før nåtid sammenfaller med økt breakaktivitet i Jotunheimen (Matthews mfl. 2000, 2005; Lie mfl. 2004; Matthews og Dresser 2008) og kan være forårsaket av økt vinternedbør (mer snø i fjellområdene), som kan ha ført til større mulighet for vårflommer. Den markerte økningen i flom- og skredaktivitet om lag 2500–2300 kalenderår før nåtid skjedde samtidig med en veldokumentert klimaendring i Skandinavia, med lavere sommertemperaturer og mer vinternedbør. Denne førte til at breene vokste betydelig (se sammenstilling av Nesje 2009) og snøskredaktiviteten tiltok på Vestlandet (Nesje mfl. 2007a), trolig som følge av milde, nedbørrike vintre, som igjen var et resultat av økt styrke på vestavindsbeltet i perioden for 2300–900 år siden (Bakke mfl. 2008). I dag knytter vi dette værmønsteret til den såkalte nordatlantiske oscillasjonen (NAO), som gir vintre som veksler mellom å være milde og nedbørrike og kalde og nedbørfattige (henholdsvis positiv og negativ NAO). Lavere skogsgrense og mindre tett vegetasjon samt nyridding/



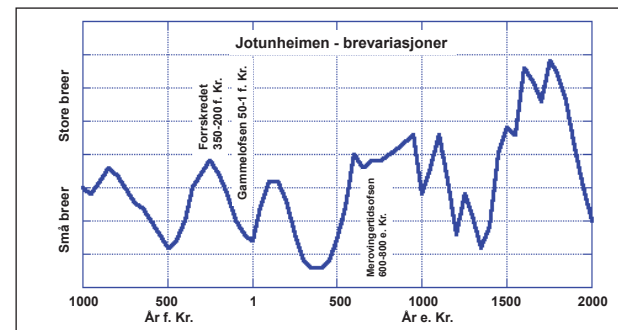
**Figur 9.10.** Brevariasjoner i Skandinavia de siste 10 000 år (for referanser, se Nesje [2009]), rekonstruksjon av sommertemperatur basert på høydevariasjoner i furuskogsgrensen i Skandesfjella de siste 10 000 år (data fra Kullman 1981, korrigert for landhevning og omregnet til variasjoner i sommertemperatur [Dahl og Nesje 1996]) og endringer i sommertemperatur (juli) i Nord-Europa de siste 9000 år basert på et gjennomsnitt av 36 rekonstruksjoner (Seppä mfl. 2009).



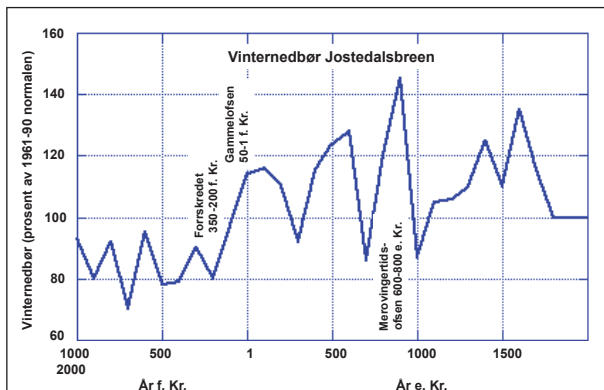
**Figur 9.11.** Variasjoner i solaktivitet (total solinnstråling, TSI, angitt som watt/m<sup>2</sup>; Steinhilber mfl. 2012) og atmosfærens innhold av vulkanske aerosoler (atmosfærisk optisk dybde, AOD; Bryson 1988). Jo lavere verdien er, desto høyere er innholdet av vulkanske aerosoler.



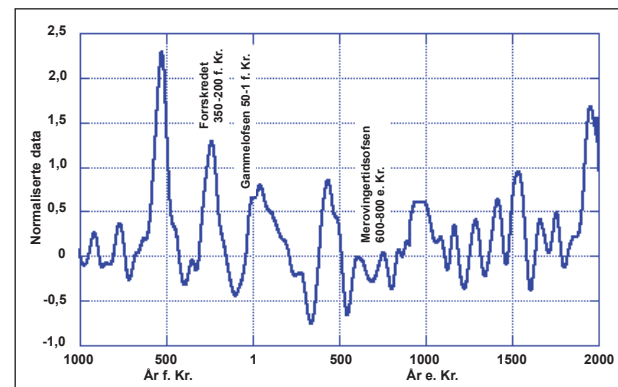
**Figur 9.12.** Normaliserte treringdata fra furu (årringsbredden reflekterer hovedsakelig variasjoner i sommertemperatur) mellom 500 f.Kr. og 1100 e.Kr. i Nord-Skandinavia (Linderholm mfl. 2010 basert på data fra Torneträsk [Grudd mfl. 2002], finsk Lappland [Helama mfl. 2002] og Jämtland [Gunnarson 2008]).



**Figur 9.13.** Brevariasjoner i Jotunheimen de siste 3000 år (data: Matthews mfl. 2000; Matthews og Dresser 2008). Flom- og skredhendelser påvist under de arkeologiske undersøkelsene i Gudbrandsdalen i 2011 og 2012 er indikert.



**Figur 9.14.** Variasjoner i vinternedbør (prosent av normalen for perioden 1961–90 = 100 prosent) de siste 3000 år beregnet for Jostedalbreområdet (Nesje mfl. 2001). Flom- og skredhendelser påvist under de arkeologiske undersøkelsene i Gudbrandsdalen i 2011 og 2012 er indikert.



**Figur 9.15.** Normaliserte treringdata fra furu (årringsbredden reflekterer hovedsakelig variasjoner i sommertemperatur) de siste 3000 år i Nord-Skandinavia (Linderholm mfl. 2010 basert på data fra Torneträsk [Grudd mfl. 2002], finsk Lappland [Helama mfl. 2002] og Jämtland [Gunnarson 2008]). Flom- og skredhendelser påvist under de arkeologiske undersøkelsene i Gudbrandsdalen i 2011 og 2013 er indikert.

skogfelling i forbindelse med menneskelig aktivitet kan ha ført til økt flom-, skred- og erosjonsfare. Støren og Paasche (2014) undersøkte om det var samvariasjon mellom vinternedbør (fem rekonstruksjoner) og flommer (to datasett) i Sør-Norge etter siste istid. Analysen viste at det er en positiv korrelasjon mellom antall flommer og vinternedbør i Sør-Norge på hundreårsskala gjennom de siste 6000 årene.

Ser vi nærmere på sommertemperaturvariasjonene i jernalderen (500 f.Kr. til 1030 e.Kr.) slik de er rekonstruert fra årringsbredde i furu i Nord-Skandinavia (figur 9.12; Linderholm mfl. 2010), og sammenligner dem med bosettingsendringene i Gudbrandsdalen, viser det seg at tre jernaldergårder i dalbunnen utvikles og avvikes innenfor det relativt begrensede tidsrommet 100–600 e.Kr. De to første hundreårene e.Kr. var dominert av varme somre, etterfulgt av en periode med kjølige somre som varte til omtrent 380 e.Kr. Deretter var det en periode med varme somre fram til omtrent 500 e.Kr. Rundt 550 e.Kr. var det en kortvarig periode med svært kjølige somre (ut fra treringdataene den kjøligste perioden mellom 500 f.Kr. og 1100 e.Kr.), før somrene igjen ble varmere rundt 600 e.Kr. Deretter fulgte en relativt lang periode på knapt 200 år med relativt varme somre, før en markert periode med kjølige somre inntraff omkring 800 e.Kr. Perioden fra ca. 900 til 1100 e.Kr. var dominert av varme somre, bare avbrutt av en kjølig periode rundt 1060 e.Kr. De kalde somrene faller sammen med det tidspunktet da jernaldergårdene går ut av bruk. Disse gårdene lå i dalbunnen, der det vanligvis er sen vår og tidlig høst. Kalde somre kan dermed ha blitt skjebnesvangre for en marginal bosetting. Hvis jernaldergårdene representerte en ekspansjon av bosetting og jordbruk mot stadig mer marginale områder, ble disse gårdene trolig mer utsatt for flom- og skredhendelser som følge av økt vinternedbør (mye snø i fjellområdene, som gjorde at breene vokste) med påfølgende snø- og bresmelting.

Forrskredet (300–200 f.Kr.) ser ut til å ha skjedd i en periode med relativt store breer i Jotunheimen (figur 9.13), trolig som et resultat av noe økt vinternedbør i fjellområdene (figur 9.14) i en periode med høye sommertemperaturer i Skandinavia (figur 9.15), en kombinasjon som kan ha gitt større flomfare. Gammelofsen (50–1 f.Kr.) inntraff i en periode med minkende breer i Jotunheimen (figur 9.13) mens vinternedbøren var økende på Vestlandet (figur 9.14), og mens sommertemperaturen var stigende i Skandinavia (figur 9.15). Høye vår-/sommertemperaturer kombinert med mye snø i fjellet kan ha ført til større flomfare.

Merovingertidsofsen (600–800 e.Kr.) skjedde i en periode med relativt store breer i Jotunheimen (figur 9.13), svært raskt økende vinternedbør (maksimum

> 140 prosent av normalen i perioden 1961–90) på Jostedalsbreen (figur 9.14) og relativt lave sommertemperaturer i Skandinavia (figur 9.15). Store snømengder og en kortvarig varmeperiode (som ikke fanges opp av de paleoklimatiske dataene) kan ha ført til økt flomfare. Nesje mfl. (2007b) tilskrev breveksten på Vestlandet tidlig på 1700-tallet fram mot bremaksimumet på midten av 1700-tallet (under «den lille istiden») en kombinasjon av kjølige somre og nedbørrike vintre med mye snø i fjellområdene og på breene.

Beliggenheten til de undersøkte lokalitetene i Midt-Gudbrandsdalen i forhold til Lågen er interessant med tanke på størrelsen på flommene. Øybrekka ligger for eksempel 15–20 meter over Lågens nåværende nivå og preges i tillegg av oversvømmelse fra Lågen. Flomskredene er ikke like framtrekkende her. Lågen kan ha gravd seg noe dypere ned siden den tid, men oversvømmelser fra Lågen kan i varierende grad også spores på de andre lokalitetene. De tre forhistoriske flombegivenhetene (Forrskredet [rundt 350–200 f.Kr.], Gammelofsen [50–1 f.Kr.] og Merovingertidsofsen [600–800 e.Kr.]) kan ut fra det foreliggende materialet karakteriseres som ekstremhendelser. Det som skjedde under Storofsen, kan tjene som en mulig parallell til det som skjedde under disse forhistoriske flom- og skredhendelsene.

#### SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

De arkeologiske utgravningene i midtre del av Gudbrandsdalen i 2011 og 2012 viser at de fleste dyrkingslagene er på flom- og flomskredsedimenter (alluviale og kolluviale sedimenter). Utgravningene avdekket flere store forhistoriske flom-, flomskred- og skredhendelser, hvorav Forrskredet (rundt 350–200 f.Kr.), Gammelofsen (50–1 f.Kr.) og Merovingertidsofsen (600–800 e.Kr.) skiller seg ut og gjenfinnes i varierende grad på de ulike lokalitetene. Lokaltopografiske forhold i kombinasjon med værmessige (ekstreme værhendelser) og mer langvarige klimatiske forhold har ført til disse hendelsene. I perioden for Forrskredet ser det ut til å ha vært relativt store breer i Jotunheimen og noe økt vinternedbør på Vestlandet (Jostedalsbreen) og høye sommertemperaturer i Skandinavia. Gammelofsen skjedde i en periode med relativt tilbaketrunkne breer i Jotunheimen mens vinternedbøren økte på Jostedalsbreen og sommertemperaturen var stigende i Skandinavia. Merovingertidsofsen fant sted i en periode med relativt store breer i Jotunheimen og raskt økende vinternedbør på Jostedalsbreen mens det var relativt lave sommertemperaturer i Skandinavia.

Skred- og flomhendelsene må ha påvirket bosetnings-, dyrkings- og jordbruksforholdene i denne delen av Gudbrandsdalen. Undersøkelsene viser at det var lite skred- og flomaktivitet de første 550 årene e.Kr. Dette samsvarer med en periode med gjennomgående høye sommertemperaturer og relativt små breer i Jotunheimen.

Fra 1600-tallet og opp mot vår tid har det vært flere flom- og flomskredhendelser der bosettingen nær dalbunnen har vært påvirket/avbrutt av større flomhendelser, særlig Storofsen i 1789 og Storflaumen (også kalt Ofsen) i 1860.

#### ENGLISH SUMMARY

The archaeological investigations in the mid part of Gudbrandsdalen in 2011 and 2012 revealed a number of flood/avalanche horizons, of which «Forrskredet» (ca 350–200 BC), «Gammelofsen» (ca 50–1 BC), and «Merovingertidsofsen» (ca AD 600–800) were recognised as the major events at the investigated sites. Local topography and weather conditions (such as extreme weather events) and more long-term climatic trends were most likely the triggering factors for these events. During the time interval for Forrskredet, glaciers in Jotunheimen were in an advanced position, winter precipitation in mountains in western Norway (Jostedalsbreen) was relatively high, and summer temperatures in Scandinavia, as reconstructed from tree rings, were relatively high. Gammelofsen occurred during a period with relatively small glaciers in Jotunheimen as winter precipitation was increasing in western Norway and summer temperatures were rising in Scandinavia. During Merovingertidsofsen, glaciers in Jotunheimen were in an advanced position, winter precipitation was rapidly increasing in western Norway, and summer temperatures were relatively low in Scandinavia. The prehistoric flood and avalanche events in Gudbrandsdalen, such as the subsequent historic flood events, in particular «Storofsen» (1789) and «Storflaumen» (1860), certainly had a severe impact on settlement and farming.

#### LITTERATUR

- Alley, Richard, Paul Andrew Mayewski, Todd Sowers, Minze Stuiver, Kendrick Taylor og Peter U. Clark 1997. «Holocene climate instability. A prominent, widespread event 8200 yr ago». *Geology* 25: 483–486.
- Bakke, Jostein, Øyvind Lie, Svein Olaf Dahl, Atle Nesje og Anne Elisabeth Bjune 2008. «Strength and spatial patterns of the Holocene wintertime westerlies in the NE Atlantic region». *Global and Planetary Change* 60: 28–41.
- Blikra, Lars Harald og Atle Nesje 1997. «Holocene avalanche activity in western Norway. Chronostratigraphy and palaeoclimatic implications». Matthews, John A., David Brunsten, Buchard Frenzel, Birgit Gläser og Mirjam M. Weiss (red.). *Rapid mass movement as a source of climatic evidence for the Holocene. Paläoklimaforschung* 19: 299–312. Gustav Fischer Verlag: Stuttgart.
- Blikra, Lars Harald og Synøve Fjalstad Selvik 1998. «Climatic signals recorded in snow-avalanche-dominated colluvium in western Norway. Depositional facies successions and pollen records». *The Holocene* 8: 631–658.
- Blikra, Lars Harald og Kari Sletten 2002. «Klimaendringer kan påvirke skredfaren». *Cicerone* 11: 27–30.
- Bryson, Reid 1988. «Late quaternary volcanic modulation of Milankovitch climate forcing». *Theoretical and Applied Climatology* 39: 115–125.
- Bøe, Anne-Grete, Svein Olaf Dahl, Øyvind Lie og Atle Nesje 2006. «Holocene river floods in the upper Glomma catchment, southern Norway. A high-resolution multiproxy record from lacustrine sediments». *The Holocene* 16: 445–455.
- Cannell, Rebecca og Ingar M. Gundersen 2013. The geoarchaeology of the archaeological sites at Brandrud I and IV, Grytting I, Gryttingvollen, Rolstad I, Fryasletta and Øybrekka. Forr Søristuen øvre 17/1, Brandrud 56/14, Grytting søndre 47/1 og Rolstad øvre 45/1 og Øibreken nordre 330/14, 21, Sør- og Nord-Fron kommuner, Oppland fylke. Oslo: Kulturhistorisk museum. (Upublisert utgravningsrapport).
- Crowley, Thomas J. og Matthew Unterman 2012. «Technical details concerning development of a 1200-yr proxy index for global volcanism». *Earth System Science Data* 5: 187–197. DOI: 10.5194/essd-5-187-2013.
- Dahl, Svein Olaf og Atle Nesje 1996. «A new approach to calculating Holocene winter precipitation by combining glacier equilibrium-line altitudes and pine-tree limits. A case study from Hardangerjøkulen, central southern Norway». *The Holocene* 6: 381–398.
- Eikenes, Olianne, Arnor Njøs, Torbjørn Østdahl og Trond Taugbøl (red.) 2000. *Flommen kommer... Sluttrapport fra HYDRA – et forskningsprogram om flom*. NVE.
- Grudd, Håkan, Keith R. Briffa, Wibjörn Karlén, Thomas S. Bartholin, Philip D. Jones og Bernd Kromer 2002. «A 7400-year tree-ring chronology in northern Swedish Lapland. Natural climatic variability expressed on annual to millennial timescales». *The Holocene* 12: 657–665.

- Gunnarson, Björn 2008. «Temporal distribution pattern of subfossil pines in central Sweden. Perspective on Holocene humidity fluctuations». *The Holocene* 18: 569–577.
- Helama, Samuli, Markus Lindholm, Mauri Timonen, Jouko Meriläinen og Matti Eronen 2002. «The supra-long Scots pine tree-ring record for Finnish Lapland. Part 2, interannual to centennial variability in summer temperatures for 7500 years». *The Holocene* 12: 681–687.
- Kington, John 1988. *The Weather of the 1780s over Europe*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kleiven, I. 1908: «Ofsin 1789». *I Gamle Daagaa. Forteljing og Bygde-Minne fraa Vaagaa. Vågå kommune*. Kristiania: H. Aschehoug & Co.
- Kullman, Leif 1981. «Recent tree-limit dynamics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the southern Swedish Scandes». *Wahlenbergia* 8: 1–67.
- Lie, Øyvind, Svein Olaf Dahl, Atle Nesje, John A. Matthews og Sigurd Sandvold 2004. «Holocene fluctuations of a polythermal glacier in high-alpine eastern Jotunheimen, central-southern Norway». *Quaternary Science Reviews* 23: 1925–1945.
- Linderholm, Hans, Jesper Björklund, Kristina Seftigen, Björn Gunnarson, Håkan Grudd, Jin Hae Jeong, Igor Drobyshev og Yu Liu 2010. «Dendroclimatology in Fennoscandia – from past accomplishments to future potential». *Climate of the Past* 6: 93–114.
- Lundquist, D. 1996. «The 1995 flood in the Glomma and Lågen river basin». Appendix to the Annual Report of Glommen og Laagens Brukseierforening 1995.
- Matthews, John A., Mark S. Berrisford, P. Quentin Dresser, Atle Nesje, Svein Olaf Dahl, Anne Elisabeth Bjune, Jostein Bakke, H. John B. Birks, Øyvind Lie, Lisa Dumayne-Peaty og Catherine Barnett 2005. «Holocene glacier history of Bjørnbreen and climatic reconstruction in central Jotunheimen, Norway, based on proximal glaciofluvial stream-bank mires». *Quaternary Science Reviews* 24: 67–90.
- Matthews, John A., Svein Olaf Dahl, Mark S. Berrisford, Atle Nesje, P. Quentin Dresser, og Lisa Dumayne-Peaty 1997. «A preliminary history of Holocene colluvial (debris-flow) activity, Leirdalen, Jotunheimen, Norway». *Journal of Quaternary Science* 12: 117–129.
- Matthews, John A., Svein Olaf Dahl, P. Quentin Dresser, Mark S. Berrisford, Øyvind Lie, Atle Nesje og Geraint Owen 2009. «Radiocarbon chronology of Holocene colluvial (debris-flow) event at Sletthamn, Jotunheimen, southern Norway. A window on the changing frequency of extreme climatic events and their landscape impact». *The Holocene* 19: 1107–1129.
- Matthews, John A., Svein Olaf Dahl, Atle Nesje, Mark S. Berrisford og Carin Andersson 2000. «Holocene glacier variations in central Jotunheimen, southern Norway based on distal glaciolacustrine sediment cores». *Quaternary Science Reviews* 19: 1625–1647.
- Matthews, John A. og P. Quentin Dresser 2008. «Holocene glacier variation chronology of the Smørstabbtinden massif, Jotunheimen, southern Norway, and the recognition of century- to millennial-scale European Neoglacial events». *The Holocene* 18: 181–201.
- Nesje, Atle 2009. «Latest Pleistocene and Holocene alpine glacier fluctuations in Scandinavia». *Quaternary Science Reviews* 28: 2119–2136.
- Nesje, Atle, Jostein Bakke, Svein Olaf Dahl, Øyvind Lie og Anne-Grete Bøe 2007. «A continuous, high-resolution 8500-yr snow-avalanche record from western Norway». *The Holocene* 17: 269–277.
- Nesje, Atle, Svein Olaf Dahl, Terje Thun og Øyvind Nordli 2007. «The ‘Little Ice Age’ glacial expansion in western Scandinavia. Summer temperature or winter precipitation?» *Climate Dynamics* 30: 789–801.
- Nesje, Atle, Svein Olaf Dahl, John A. Matthews og Mark S. Berrisford 2001. «A ~4500-yr record of river floods obtained from a sediment core in Lake Atnsjøen, eastern Norway». *Journal of Paleolimnology* 25: 329–342.
- Nesje, Atle, John A. Matthews, Svein Olaf Dahl, Mark S. Berrisford og Carin Andersson 2001. «Holocene glacier fluctuations of Flatebreen and winter precipitation changes in the Jostedalbreen region, western Norway, based on glaciolacustrine records». *The Holocene* 11: 267–280.
- Roald, Lars Andreas 2003. «Two large 18. century flood disasters in Norway». V.R. Thorndycraft, G. Benito, G. Barriendos og M.C. Llasat (red.). *Proceedings of the International Workshop PHEFRA (Palaeofloods, Historical Data & Climatic Variability. Applications in Flood Risk Assessment)*, Barcelona, Spain, October 2002.

- Roald, Lars Andreas 2013. *Flom i Norge*: 184. Forlaget Tom & Tom.
- Ruddiman, William 2002. *Earth's climate, past and future*. New York.
- Sandersen, Frode 1997. «The influence of meteorological factors in the initiation of debris flows in Norway». John A. Matthews, David Brunnsden, Buchard Frenzel, Birgit Gläser og M.M. Weiss (red.). *Paläoklimaforschung* 19: 321–332. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Seppä, Heiki, Anne Elisabeth Bjune, Richard J. Telford, H. John B. Birks og Siim Veski, 2009. «Last nine-thousand years of temperature variability in northern Europe». *Climate of the Past* 5: 523–535.
- Sletten, Kari og Lars Harald Blikra 2007. «Holocene colluvial (debris-flow and water-flow) processes in eastern Norway. Stratigraphy, chronology and palaeoenvironmental implications». *Journal of Quaternary Science* 22: 619–635.
- Sletten, Kari, Lars Harald Blikra, Colin K. Ballantyne, Atle Nesje og Svein Olaf Dahl 2003. «Holocene debris flows recognized in a lacustrine sedimentary succession. Sedimentology, chronostratigraphy and cause of triggering». *The Holocene* 13: 907–920.
- Sommerfeldt, Wilhelm 1943. *Ofsen i 1789 og dens virkninger i Kvam*. Hovedfagsoppgave i geografi, Universitetet i Oslo. Fron Historielag, 1972.
- Steinhilber, Friedhelm, Jose A. Abreu, Jürg Beer, Irene Brunner, Marcus Christl, Hubertus Fischer, Ulla Heikkilä, Peter W. Kubik, Mathias Mann, Ken G. McCracken, Heinrich Miller, Hiroko Miyahara, Hans Oerter og Frank Wilhelms 2012. «9,400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings». *Proceedings of the National Academy of Sciences*. doi:10.1073/pnas. 1118965109.
- Støren, Eivind Nagel, Svein Olaf Dahl og Øyvind Lie 2008. «Separation of late-Holocene episodic paraglacial events and glacier fluctuations in eastern Jotunheimen, central southern Norway». *The Holocene* 18: 1179–1191.
- Støren, Eivind Nagel, Svein Olaf Dahl, Atle Nesje og Øyvind Paasche 2010. «Identifying the sedimentary imprint of high-frequency Holocene river floods in lake sediments. Development and application of a new method». *Quaternary Science Reviews* 29: 3021–3033.
- Støren, Eivind Nagel og Øyvind Paasche 2014. «Scandinavian floods. From past observations to future trends». *Global and Planetary Change* 113: 34–43.
- Vasskog, Kristian, Atle Nesje, Eivind Nagel Støren, Nicolas Waldmann, Emmanuel Chapron og Daniel Ariztegui 2011. «A Holocene record of snow-avalanche and flood activity reconstructed from a lacustrine sedimentary sequence in Oldevatnet, western Norway». *The Holocene* 21: 597–614.
- Velle, Gaute, Anne Elisabeth Bjune, Jorunn Larsen og H. John B. Birks 2010. «Holocene climate and environmental history of Brurskardstjønni, a lake in the catchment of Øvre Heimdalsvatn, south-central Norway». *Hydrobiologia* 642: 13–34.
- Østmoe, Arne 1985. *Stor-ofsen 1789. Værsystemet som førte til den største flomkatastrofen i Norge*. Oversiktsregisteret. Infotrykk, Ski. 36 sider + appendiks.