

Kristian Børve Ask

# Høydeinterpolering av klimaparametere i nye aktsomhetskart for snøskred i Norge (NAKSIN)

Masteroppgave i Geotechnics and Geohazards

Veileder: Gudmund Reidar Eiksund

Juni 2020



Kristian Børve Ask

# **Høydeinterpolering av klimaparametere i nye aktsomhetskart for snøskred i Norge (NAKSIN)**

Masteroppgave i Geotechnics and Geohazards  
Veileder: Gudmund Reidar Eiksund  
Juni 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden





# Forord

Denne masteroppgaven utgjør det avsluttende arbeidet på mitt mastergradstudium i Geotechnics and Geohazards ved NTNU. Arbeidet med masteroppgaven har vært en krevende prosess. Mye tid har gått med til å sette seg inn programmeringsspråket Python og til å sette seg inn i den forholdsvis omfattende koden som utgjør NAKSIN. Jeg hadde minimalt med programmeringserfaring før jeg startet dette arbeidet, og mye tid har gått med til å lære seg dette, da det har vært nødvendig for å hente ut data. Min veileder ved NGI i Oslo, Dieter Issler, har vært til god hjelp i denne prosessen gjennom samtaler på Skype. Dessverre ble Dieter 100 % sykemeldt tidlig på våren, noe som i kombinasjon med Coronasituasjonens påvirkning på tilgjengeligheten til campus i Trondheim har gjort at jeg i stor grad har måttet stoke ut kursen selv.

NAKSIN er en modell som med mange variabler, og de fleste variablene påvirker resultatene man får i stor grad. Det fører til en svært krevende prosess med å sile ut nyttig informasjon om effektene av å endre en variabel. Jeg tror og håper imidlertid jeg har klart å trekke ut noe.

Jeg ønsker avslutningsvis å takke Dieter for nyttige samtaler og engasjement. Jeg vil også takke medstudenter, venner og familie for god støtte og oppmuntrende ord gjennom semesteret.



# Abstract

NAKSIN (New methodology for avalanche hazard indication maps in Norway) is a tool in development / testing to identify areas potentially endangered by avalanches. This new tool will hopefully replace the existing avalanche hazard indication map. Compared to its predecessor, NAKSIN is a far more complex model in which it seeks to include more of the components that play an important role in avalanche hazard. The current map is calculated from a relatively simplified topographic criterion with subsequent use of an empirical run-out model. NAKSIN, on the other hand, takes into account small-scale topography, a more refined selection of release areas, climate, forest effects and a dynamic run-out model.

In this paper, two factors related to the climate data used in NAKSIN have been studied. The first factor is the height interpolation of the climate data for annual maximum snow depth and 3-day rainfall. As an alternative to the current interpolation method, where the interpolation is performed on the distribution parameters of the extreme value distributions, it has been studied how the outcome will be if one interpolates on the return values rather than the distribution parameters. This new method proves to be a good alternative to the current solution. The current climate data goes through many processes before being used in NAKSIN, and by interpolating on return values have greater control and overview of the outcome of the height interpolation, especially regarding how the return values for high return periods develop with height.

The second factor that has been studied is a new type of extreme value distribution for annual maximum snow depth. Where a generalized pareto distribution has previously been used, it has now been tested what the values look like with a Gumbel distribution. The Gumbel distribution is found to give significantly greater values and wider tails than the generalized pareto distribution for annual maximum snow depth. In addition, the distribution also shows clearer height correlation and more consistent width of the tails. So far, a challenge in NAKSIN has been that the estimated values of avalanche probabilities and fracture depths are too low. The use of Gumbel distributed annual maximum snow depth can probably contribute to increase these.



# Sammendrag

NAKSIN (Nye aktsomhetskart for snøskred i Norge) er et verktøy under utvikling/uttesting for å identifisere potensielt skredfarlige områder med hensyn på snøskred. Verktøyet har som mål å skulle erstatte det eksisterende aktsomhetskartet for snøskred. Sammenlignet med sin forgjenger er NAKSIN en langt mer sammensatt modell hvor det søkes å ta hensyn til flere av de viktige komponentene som spiller inn ved snøskred. Der det nåværende aktsomhetskartet beregnes ut fra et forenklet topografisk kriterium med påfølgende bruk av en empirisk utløpsmodell, tas det i NAKSIN høyde for blant annet småskala topografi, mer raffinert utvelgelse av utløsningsområder, klima, skog samt at det benyttes en dynamisk skredmodell.

I denne oppgaven har det blitt sett på to faktorer knyttet til klimadataene som benyttes i NAKSIN. Den ene faktoren er høydeinterpoleringen av klimadataene for årlig maksimal snødybde  $HS_{max}$  og 3-døgns nedbør. Som et alternativ til den nåværende interpoleringsmetoden, hvor interpoleringen utføres på distribusjonsparameterne til ekstremverdifordelingene, har det blitt studert hvordan utfallet blir dersom man interpolerer på fordelingenenes returverdier i stedet. Denne nye metoden viser seg å kunne være et godt alternativ til nåværende løsning. De aktuelle klimadataene går igjennom mange prosesser før de benyttes i NAKSIN, og ved å interpolere på returverdier har man i større grad kontroll og oversikt over utfallet av høydeinterpoleringen, spesielt med hensyn til hvordan returverdiene for høye returperioder utvikler seg med høyden.

Den andre faktoren som har blitt studert er en ny type ekstremverdifordeling for årlig maksimal snødybde. Der det tidligere har blitt benyttet en generalisert paretofordeling, har det nå blitt testet ut hvordan verdiene ser ut med en gumbelfordeling. Gumbelfordelingen viser seg å gi markant større verdier og bredere haler enn for årlig maksimal snødybde. I tillegg viser fordelingen også tydeligere høydekorrelasjon og mer konsistent bredde på halene. Det har til nå vært en utfordring i NAKSIN at skredsannsynligheter og brudddybder blir for lave. Benyttelse av gumbeldistribuert årlig maksimal snødybde kan trolig bidra til å øke disse.



# Innhold

<b>1</b>	<b>INTRODUKSJON.....</b>	<b>1</b>
1.1	BAKGRUNN .....	1
1.2	AKTSOMHETSKART .....	2
1.3	PROBLEMFORMLERING .....	3
1.4	FORSKNINGSSPØRSMÅL.....	4
<b>2</b>	<b>TEORI .....</b>	<b>6</b>
2.1	SNØSKRED .....	6
2.1.1	<i>Stabilitet</i> .....	7
2.2	AKTSOMHETSKART .....	13
2.2.1	<i>Nåværende aktsomhetskart</i> .....	13
2.2.2	<i>NAKSIN</i> .....	14
<b>3</b>	<b>METODE.....</b>	<b>28</b>
3.1	OMRÅDER.....	28
<b>4</b>	<b>RESULTATER.....</b>	<b>29</b>
4.1	KORRELASJONER.....	29
4.2	GRADIENTER.....	36
4.2.1	<i>HS- og HN-gradienter</i> .....	36
4.2.2	<i>Temperaturgradient</i> .....	37
4.2.3	<i>Skjærstyrkens høydegradient</i> .....	38
4.3	DISTRIBUSJONSHALER.....	39
4.4	OMRÅDESTUDIE .....	41
4.4.1	<i>Tromsø</i> .....	42
4.4.2	<i>Lom</i> .....	46
4.4.3	<i>Voss</i> .....	49
4.4.4	<i>Montecarlo simulering</i> .....	52
<b>5</b>	<b>DISKUSJON.....</b>	<b>59</b>
5.1	KORRELASJONER.....	59
5.1.1	<i>Høydegradient</i> .....	59
5.1.2	<i>Horisontal grad</i> .....	59
5.1.3	<i>Halegradient</i> .....	59
5.1.4	<i>Returverdier vs distribusjonsparametere</i> .....	60
5.2	FORSKJELL MELLOM HSGUMBEL OG HSPARETO.....	61
5.3	UTLØSNINGSSANNSYNLIGHETER OG BRUDDYBDER SOM FUNKSJON AV HØYDE .....	62

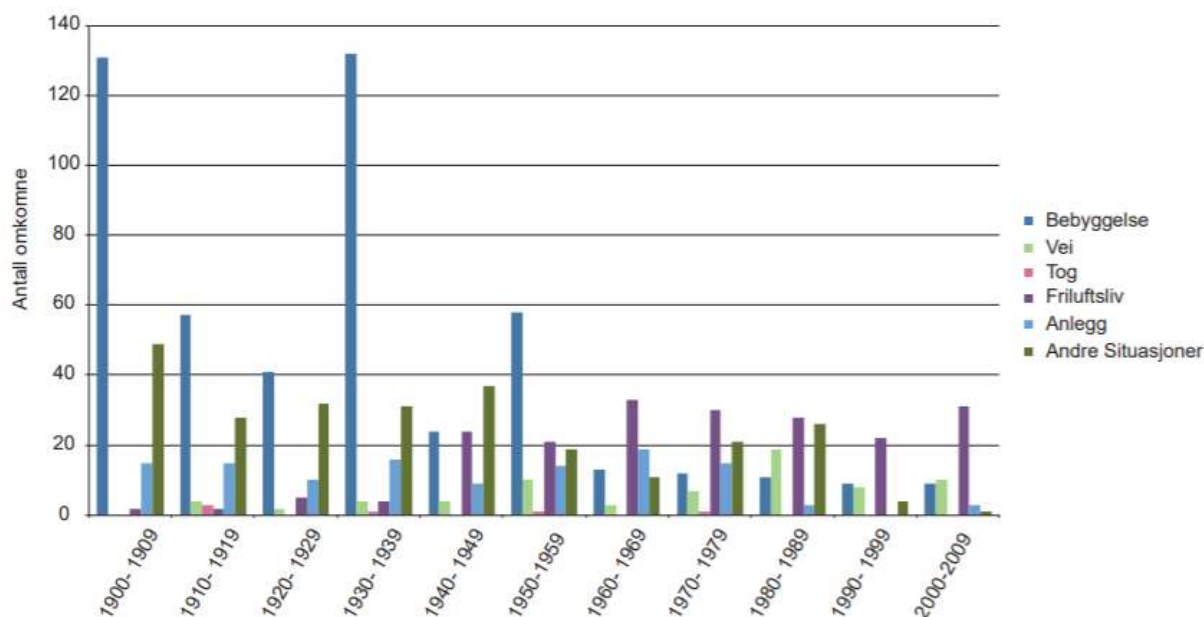
<b>6</b>	<b>OPPSUMMERING .....</b>	<b>63</b>
	6.1 OPPSUMMERING OG KONKLUSJONER.....	63
	6.2 VIDERE ARBEID.....	64
	<b>LITTERATURLISTE .....</b>	<b>65</b>
	<b>VEDLEGG A.....</b>	<b>67</b>
	KLIMAKART .....	67
	<b>VEDLEGG B .....</b>	<b>70</b>
	MAPPEPLASSERINGER AV SCRIPT OG RESULTATER PÅ NGI'S INTERNE DISK:.....	70
	<b>VEDLEGG C .....</b>	<b>71</b>
	BRUKERMANUAL FOR NAKSIN .....	71



# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

Norge et land med mye bratt terreng, og med bratt terreng følger også muligheten for at ting kan rase ned. Historien har vist at dette både utgjør en fare for liv og helse, samt at det kan føre til store økonomiske kostnader. Skred kan bestå av snø, jord og stein. Blant disse er det snøskred som tar flest liv, og siden år 1900 har om lag 600 mennesker mistet livet som følge av snøskred (Olje - og energidepartementet, 2012). Det imidlertid vært en endring i hvilke situasjoner folk er i når de blir rammet av snøskred. Som vist i figur 1.1 har dødsulykker fra snøskred knyttet til opphold i bebyggelse hatt en markant nedgang siden år 1900. På den andre siden fikk antall snøskredulykker knyttet til friluftsliv en økning fra midten av forrige århundre, og har siden ligget på et noenlunde stabilt nivå. Figuren viser imidlertid at historisk sett har mange skreddødsfall vært knyttet til opphold i bebyggelse.



Figur 1.1: Utvikling i omstendigheter rundt dødsfall fra snøskred (Olje - og energidepartementet, 2012)

I Plan- og bygningsloven (2008) stilles det krav til sikkerhet mot naturfarer ved bebyggelse, uttrykt i paragraf §28-1: «Grunn kan bare bebygges, eller eiendom opprettes eller endres, dersom det er tilstrekkelig sikkerhet mot fare eller vesentlig ulempe som følge av natur- eller miljøforhold». TEK17 (2017) §7-3 gir ytterligere føringer for hvor stor årlig sannsynlighet for

skred som tillates, avhengig av hvilken sikkerhetsklasse bygget plasseres i. I henhold til veiledningen til TEK17, plasseres vanlige eneboliger i sikkerhetsklasse 2, hvor største tillatte årlige nominelle sannsynlighet er 1/1000, som innebærer 1000 års returperiode.

## 1.2 Aktsomhetskart

Aktsomhetskart er kart som viser områder hvor skred potensielt kan forekomme og er ment å være et nyttig verktøy for i første fase av vurderingen av skred i et område. Det finnes aktsomhetskart for både jord-, flom- og snøskred. Aktsomhetskart for snøskred har blitt produsert siden 1970-tallet. Den første generasjonen av disse kartene ble brukt mellom 1975 og 2009 (Issler et al., under utarbeidelse). Disse kartene ble i hovedsak utarbeidet manuelt av skred eksperter gjennom kartstudier, befaringer og beregninger. Utarbeidelsen var en svært tidkrevende prosess, og kartene dekket kun begrensede områder.

I 2010 kom en ny generasjon aktsomhetskart for snøskred som er den nåværende versjonen som benyttes. Dette aktsomhetskartet er genereres automatisk med datamaskin, og dekker hele landet. For å kunne produsere kart for hele landet, er denne versjonen er forholdsvis enkelt bygget opp. I hovedsak benyttes det rent topografiske kriterier for å beregne utløsningsområder, mens en empirisk statistisk modell brukes for å finne utløpssonene. Modellen er forholdsvis enkel, noe som gjør det ganske effektivt å produsere kart for hele landet. Modellens enkle utforming har også noen vesentlige svakheter. Det tas ikke hensyn til klima (temperatur, snømengder, nedbørmengder) eller skog. Inndelingen av utløsningsområder er lite raffinert i den forstand at alle kartceller med helning innenfor et definert intervall betraktes som potensielle utløsningsområder. I tillegg har terrengmodellen som benyttes en oppløsning på 25x25 meter, som medfører at mye småskala terreng ikke blir fanget opp. Denne generasjonen aktsomhetskart har altså gitt kart som er effektive å produsere, men som i mange tilfeller gir i overkant konservative aktsomhetssoner og for unyansert informasjon til brukeren.

Med bakgrunn i manglene i nåværende aktsomhetskart, ga NVE (Norges vassdrags- og energidirektorat) i 2015 oppdrag til NGI (Norges Geotekniske Institutt) oppdrag om å utarbeide en ny metodikk for utarbeidelse av aktsomhetskart. Denne metodikken har fått navnet NAKSIN

– Nye Aktsomhetskart for Snøskred I Norge, og tenkes å inngå som den tredje generasjonen snøskredkart. Mange nye elementer implementeres i dette nye kartet, blant annet:

- Klima (gjennom gjennomsnittlig vintertemperatur, snødybder og nedbørsmengder)
- Effekt av skog, både med hensyn til utløsningssannsynlighet og utløpslengde
- Høyere oppløsning på terrengmodell (10x10 meter)
- En mer kompleks algoritme for å definere utløsningsområder

I utgangspunktet var tanken at NAKSIN skulle brukes av utbyggere og myndigheter for mindre områder av gangen. Vinteren 2020 ble det imidlertid gjennom samtaler mellom NVE og NGI vedtatt å kjøre NAKSIN for hele Norge. Dette er et tidkrevende prosjekt, og arbeidet med dette startet våren 2020.

### 1.3 Problemformulering

På grunn av den komplekse naturen til snøskred, er det et svært sammensatt problem å finne sannsynligheten for at sted blir truffet av snøskred i et tidsperspektiv på 1000 år. Når man vet at meteorologene kan ha store problemer med å forutse været to uker fram i tid, blir det ganske åpenbart at den virkelige sannsynligheten vil man ikke kunne finne. Dette skyldes at man aldri vil kunne få full oversikt over hvordan blant annet snøforholdene, temperaturen og skogveksten vil bli. I tillegg vil det kreves mer datakraft etter hvor kompleks modellen blir, og selv om det er en rivende utvikling innen regnekraft, er det en tung datamaskinjobb å regne dette for hele Norge. Som en følge av dette, forsøker man å tilnærme seg virkeligheten så godt som mulig gjennom forenklede modeller hvor man tar hensyn til de viktigste faktorene som spiller inn.

Det har blitt gjort en god del testing av NAKSIN hvor de resulterende aktsomhetskartene har blitt kontrollert opp mot det nåværende aktsomhetskartet, og detaljerte rapporter for skredfarekartlegging, der dette finnes. Resultatene er foreløpig lovende. Flere av modellene som benyttes i NAKSIN er imidlertid en form for førsteutkast som har blitt tatt i bruk i mangel av bedre alternativer.

Denne oppgaven vil ta for seg en av disse forenklingene som dreier som om hvordan NAKSIN høydeinterpolerer inngangsdataene for klima. Det har blitt stilt spørsmål til om nåværende

interpoleringsmetode er god nok. Dette kan potensielt gi store utslag på hvordan aktsomhetskartene blir. Høydeinterpoleringen påvirker snømengdene og skjærstyrken man benytter til å beregne utløsningssannsynlighet og bruddybder, som igjen har direkte påvirkning på om skredsimulering for utløsningsområder kjøres, og bruddybdene simuleringene kjøres med.

Klima er per nå representert i NAKSIN ved gjennomsnittlig vintertemperatur (TA), årlig maksimal snødybde (HSmax) og 3-døgns nedbør (HN). Disse tre verdiene hentes inn fra hvert sitt rasterkart med celleoppløsning på 1x1, produsert med utgangspunkt i data fra seNorge. For alle tre kartene representerer verdien cellas gjennomsnittshøyde. Høyden innenfor en 1x1 km kartcelle kan imidlertid variere svært mye, og for å få mest mulig representative verdier for høyden til et spesifikt utløsningsområde, er det lagt opp til at det interpoleres på et utvalg av cellene i kartet.

Mens rasterkartet for TA gir temperaturverdien for cella, gir rasterkartene for HSmax og HN distribusjonsparameterne til HSmax og HN sine ekstremverdifordelinger. For TA har det da blitt gjort interpolering på temperaturverdi vs. høyde, mens det for HSmax og HN har blitt gjort interpolering på distribusjonsparameter vs. høyde. Det er interpoleringen av disse distribusjonsparameterne som har gitt noe uønskede resultater.

Et foreslått alternativ er å interpolere på returverdier fra ekstremverdifordelingene i stedet for å interpolere på distribusjonsparameterne. Denne løsningen vil bli studert i denne oppgaven.

I tillegg vurderes det å benytte andre ekstremverdifordelinger for HSmax og HN. Til nå har både HSmax og HN blitt tilpasset en generalisert paretofordeling. I den forbindelse har det HSmax blitt tilpasset gumbelfordelinger til HSmax-dataene, og det vil bli sett på hvordan disse skiller seg fra de pareto-tilpassede dataene.

## 1.4 Forskningsspørsmål

Det er kommet fram til følgende forskningsspørsmål for oppgaven:

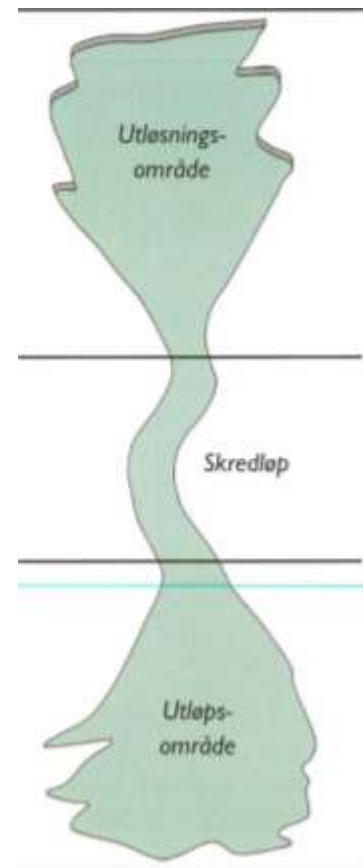
- Er høydeinterpolering med returverdier en god løsning for NAKSIN?

- Hvilke utslag gir det å benytte en gumbelfordeling i stedet for paretofordeling for  $HS_{max}$ ?
- Hvordan påvirker den kombinerte høydeinterpoleringen av snøverdier og temperatur utløsningssannsynlighetene og brudddybdene i NAKSIN?

## 2 Teori

### 2.1 Snøskred

Snøskred deles i hovedsak inn i løssnøskred og flakskred. (Lied. & Kristensen, 2003) Løssnøskred er en som navnet tilsier utglidning av snømasser hvor snøkornene er ubundet av hverandre. Flakskred er skred hvor de utglidende snømassene er bundet sammen til et flak. Dette flaket brytes imidlertid som regel fort opp i mindre deler ettersom skredet sklir over ulendt underlag og møter hindringer på veien nedover fjellsiden. Flakskred utgjør vanligvis en større trussel enn løssnøskredene siden denne type skred går lengre og består av hardere snø slik at det kan gjøre større skade, og det er denne type snøskred som blir behandlet videre i oppgaven.



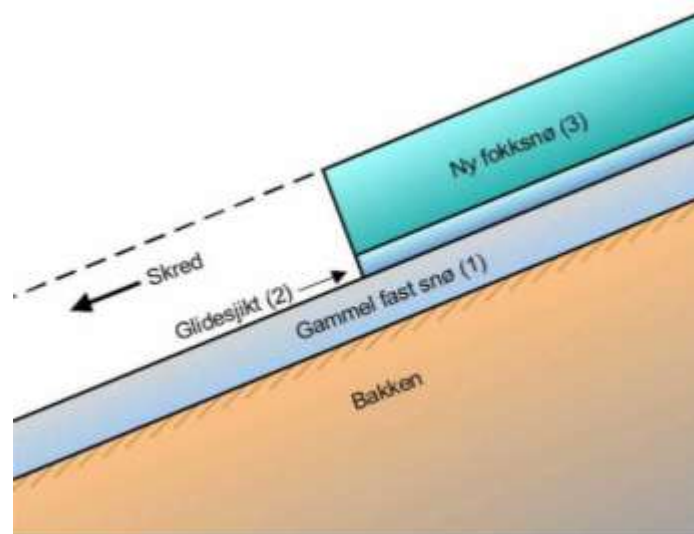
Et skred kan deles inn i tre områder. Øverst finner vi utløsningsområdet, som er selve «snøflaket» som løsner. Etter at skredet har løst ut, vil man ofte kunne se en markert kant i øvre del av utløsningsområdet som angir bruddybden til skredet. Utstrekningen horisontalt og i nedre kant er ofte ikke like definert siden denne grensen blir «visket» ut av skredets bevegelse. Når skredet har løsnet går det over i neste område; skredløpet. Skredløpet er banen skredet beveger seg langs nedover fjellsiden. Hvor langt skredet går, avhenger blant annet av mengden snømasse som løser ut, terrenget langs skredbanen og høydeforskjellen ned til slakere terreng. Til slutt avsettes snømassene i det såkalte utløpsområdet når terrenget blir så slakt at skredet stopper opp (Lied. & Kristensen, 2003).

Figur 2.1: Inndeling av områder i et snøskred (Lied. & Kristensen, 2003)

## 2.1.1 Stabilitet

### Forenklet modell

En forenklet stabilitetsvurdering av utløsningsområdet kan gjøres ved å benytte infinite slope – modellen som er illustrert i figur 2.2 (Lied. & Kristensen, 2003). Modellen er basert på at skråningen antas som uendelig lang, med konstant helning og uten spenningsbidrag fra sidekantene.



Figur 2.2: Forenklet stabilitetsmodell (Lied. & Kristensen, 2003)

Som figur 2.2 viser, ser man for seg en snøpakke hvor det øverst er et snølag med forholdsvis høy nok kohesjon slik at det kan oppføre seg som et flak. Under dette flaket antas det et svakt sjikt/lag med betydelig lavere skjærstyrke enn resten av snøpakken og som er laget bruddet skjer i. Under dette sjiktet igjen antas et lag med høyere fasthet som fungerer som et glideplan. Snøpakkens stabilitet evalueres ved å se skjærstyrken til det svake laget opp mot den opptredende skjærpenningen fra snøflaket over. Den opptredende skjærspenningen,  $\tau$ , i det svake laget parallelt med terrenghelningen kan finnes som:

$$\tau = \rho g z * \cos\theta * \sin\theta \quad (1)$$

hvor  $\rho$  er tettheten til den overliggende snøen,  $g$  er tyngdeakselerasjonen,  $\theta$  er terrenghelningen og  $z$  er den vertikale avstanden fra toppen av snøpakken ned til det svake laget. Snøens tetthet varierer med temperaturen og med setning. Gjennomsnittlig tetthet for nysnø ligger på om lag  $100 \frac{kg}{m^3}$ , mens gjennomsnittet for eldre snø ligger på om lag  $300 - 400 \frac{kg}{m^3}$  som følge av setninger

i snødekket. Skjærfastheten i det svake laget,  $\tau_w$ , kan beskrives som en kombinasjon av kohesjon og friksjon gjennom Coulombs bruddkriterium:

$$\tau_w = c + (\rho g z c \cos^2 \theta) * \tan \varphi \quad (2)$$

Her angir  $c$  kohesjonen, mens  $(\rho g z c \cos^2 \theta)$  normalkraften på det svake laget og  $\tan \varphi$  er friksjonskoeffisienten.. Snøens kohesjon er relatert til bindingen mellom snøkornene mens friksjonen er knyttet til motstand relativ bevegelse i planet. Med utgangspunkt i denne modellen får vi brudd når skjærspenningen overstiger skjærstyrken, altså:

$$\tau \geq \tau_w \quad (3)$$

En sentral faktor i identifiseringen av potensielle utløsningsområder er terrenghelningen. Studier viser at terrenghelningen stort sett ligger mellom 28 – 60 grader for utløste skred. Er terrenget slakere enn dette, er ikke de drivende kreftene store nok til å utløse skred, mens i terreng brattere enn ca 60 grader vil snøen rase ut mer eller mindre kontinuerlig etter hvert som den kommer, slik at det ikke rekker å bygge seg opp snømengder av noen særlig størrelse.

### **Dannelse av svake lag**

Det er i hvert fall tre sentrale prosesser som kan føre til at svake lag dannes: nedføyket nysnø, overflaterim og begerkrystaller (Lied. & Kristensen, 2003).

#### *Nedføyket nysnø*

Lett og porøs nysnø kan føykes ned av fokksnø som kommer med vinden og danner et fastere lag oppå dette. Dette gjelder særlig i leheng og forsenkninger hvor nysnøen ikke blåser bort og siden blir overlesset av tyngre fokksnø.

#### *Overflaterim*

Svake lag kan dannes er ved at overflaterim dannes og siden blir overlesset av fokksnø. Overflaterim dannes som en følge av at snøoverflaten er mye kaldere enn lufta over. Vanndampen i lufta like over snødekket går direkte over til is på snødekket ved sublimasjon. Sublimasjon betyr at stoffet går direkte fra gass til fast fase uten å være innom flytende fase.



Lufta like over snøoverflaten klarer da ikke å holde på vanndampen, som fører til at det blir avsatt iskrystaller/rim på snøoverflaten. Dette skjer gjerne klare og vindstille netter, noe som fører til stor utstråling og lav utskiftning av luftmassene over snøoverflaten.

### *Begerkrystaller*

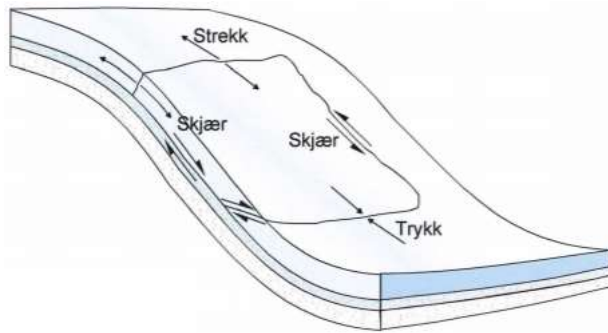
Svake lag kan dannes ved forekomst av såkalte begerkrystaller nede i snødekket. Begerkrystaller blir dannet som et resultat av stor temperaturgradient i snødekket. Nederst i snødekket, ved bakken, er temperaturen stort sett rundt 0 grader. Hvis snødekket er forholdsvis tynt og lufttemperaturen er lav, vil vanndamptrykket nederst være høyere enn lenger oppe, og vanndampmolekylene vil bevege seg oppover. Denne forflytningen kan skje både ved diffusjon, at dampen går fra områder med høyt metningstrykk til områder med lavt, og ved konveksjon, som innebærer luftstrømning og er avhengig av porøsiteten i snøen. Dersom temperaturen blir for lav etter hvert som vanndampen beveger seg oppover, vil lufta bli overmettet og dampen avsettes på snøkrystallene. Hvis temperaturgradienten blir høy nok, fører denne avsetningen til en endring i snøkrystallenes form. De blir mer kantete, og får dårligere bindinger til hverandre, og kan etter hvert utvikle seg til å bli et svakt lag. Disse krystallene har forholdsvis høy trykkfasthet mens skjærfastheten er meget lav.

Svake lag kan forekomme hvor som helst i det gamle snødekket. Noen svake lag kan være svake en periode for så å konsolideres til å bli sterkere slik at de ikke lenger utgjør noen stor trussel. Andre blir derimot til såkalte vedvarende svake lag, som kan være «sovende» i lang tid før bruddet inntreffer.

## **En mer omfattende modell**

### **Randspenninger**

Figur 2.3 illustrerer spenningene som virker på et snøflak. I tillegg til skjærspenningen parallelt med terrenget omtalt i den forenklede modellen, virker spenninger langs alle sider av flaket. Grovt sett vil det være strekkspenninger i overkant, skjærspenninger langs sidene og skjær-/trykkspenninger i nedkant av flaket.

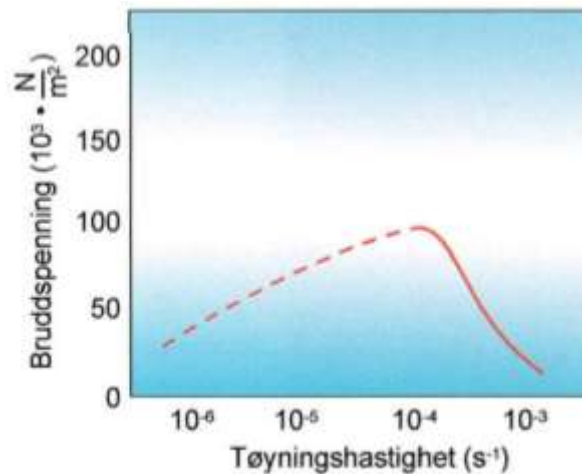


Figur 2.3: Spenningene som virker på et snøflak (Lied. & Kristensen, 2003)

Disse randspenningene er altså ikke inkludert i infinite slope – modellen. I hovedsak bidrar imidlertid også randspenningene til å holde tilbake flaket. Kreftene som virker langs flakets sider er en funksjon arealet til kanten rundt flaket mens kreftene som virker i helningsplanet er en funksjon av arealet til flaket. Det innebærer at randkreftenes betydning vil være større jo mindre utløsningsområdet er.

### Hvordan brudd oppstår

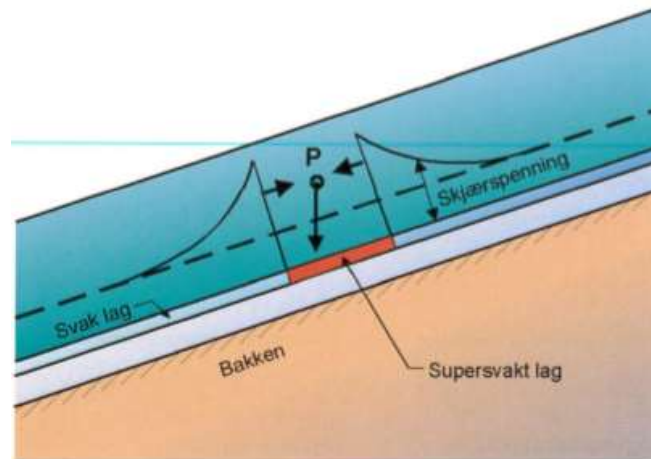
For utløste skred hvor skjærstyrken i det svake laget har blitt målt, viser tilbakekalkuleringer med Columbs bruddkriterium at det kreves urimelig store brudddybder for at skred skal bli utløst som følge av denne modellen (Lied. & Kristensen, 2003). Mens Coulomb-modellen er basert på lineær-elastiske materialer, viser undersøkelser at snø har en mer kompleks materialoppførsel som beskrives bedre med en visko-elastisk modell. En slik modell innebærer at materialoppførselen er avhengig av hastigheten lastpåføringen. Figur 2.4 viser snøens bruddspenning som funksjon av tøyningshastigheten. Kurven viser økende bruddspenning for økende tøyningshastighet opp til en viss tøyningshastighet, hvor bruddspenningen brått faller og vi får et såkalt sprøbrudd.



Figur 2.4: Bruddspenning som funksjon av tøyningshastighet (Lied. & Kristensen, 2003)

Snø som ligger i en skråning er værende i stadig bevegelse på grunn av såkalt snøsig. Snøsig forekommer som følge av en kombinasjon av at snøen komprimeres og blir trukket nedover skråningen av tyngdekraften. Kombinasjonen fører til at de øvre delene i snøpakken beveger seg mer enn de nedre delen, noe som resulterer i skjærspenninger i snøen. Hastigheten på snøsiget er blant annet avhengig av hvor fort ny snø pålagres og snøens komprimeringsgrad.

Målinger av deformasjonene fra snøsig viser seg imidlertid å gi for lave deformasjonshastigheter til å forklare utløsning av skred. Studier har da vist at såkalte supersvake soner spiller en viktig rolle for at skredutløsning skal være mulig. Av forskjellige årsaker vil ikke snødekket være homogent lateralt sett i et helt heng. Små variasjoner i terrenget kan blant annet påvirke dannelsen av de nevnte svake lagene og hvordan vinden virker på overflaten. Det har da blitt observert soner i det svake laget hvor skjærstyrken er vesentlig lavere enn i resten av laget (Lied. & Kristensen, 2003). Dette fører til en ujevn fordeling av skjærpenningene i det svake laget ved at det bli en opphopning av spenning i randen av den svake sonen som illustrert i figur 2.5, hvor vi ser en økning i skjærspenning på oversiden og nedsiden av den svake sonen.



Figur 2.5: Spenningsforhold rundt en supersvak sone (Lied. & Kristensen, 2003)

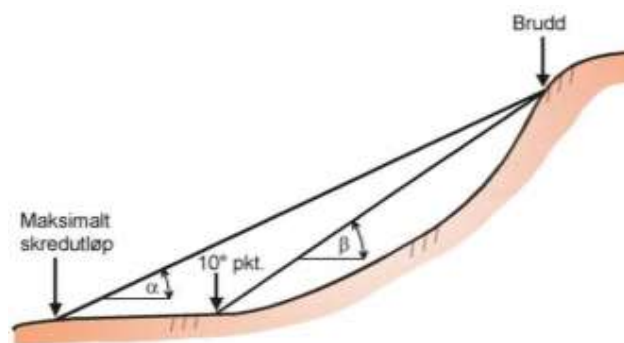
En slik spenningsoppbygging vil kunne gi høyere deformasjonshastighet i randsonene, som etter hvert kan overstige den kritiske grensen. Når det da oppstår lokalt brudd i randsonene, vil skjærspenningene øke i de tilstøtende områdene som da må ta mer last. Dette kan føre til en kjedereaksjon som gjør at et helt flak løser ut.

## 2.2 Aktsomhetskart

Som omtalt i innledningen har det siden 1975 blitt utarbeidet aktsomhetskart for snøskred i Norge, men det var ikke før i 2010 at det ble laget kart som dekker hele landet. I de neste delkapitlene vil det først bli en kort beskrivelse av hvordan det nåværende aktsomhetskartet er utformet, før det blir en innføring i NAKSIN.

### 2.2.1 Nåværende aktsomhetskart

Det nåværende aktsomhetskartet for snøskred er basert på forholdsvis enkel modell som beskrevet av Derron & Sletten (2016). For en digital terrengmodell med oppløsning 25x25 meter identifiseres kartcellenes helning. Celler med helning i intervallet 30° - 55° behandles som potensielle startpunkter for skred, og videre beregnes skredutløpslengden fra disse cellene ved den såkalt alpha-beta metoden utviklet av Lied & Bakkehøi (1980). Metoden er en empirisk modell basert på statistisk analyse av utløpslengden til om lag 200 skred og er illustrert i figur 2.6



Figur 2.6: Forklarende illustrasjon for alpha-beta metoden (Lied. & Kristensen, 2003)

Konseptet er at man finner vinkelen verdien til vinkel  $\alpha$ , som er vinkelen mellom siktelinja maksimalt skredutløp – bruddpunkt og horisontalplanet, ved likninga:

$$\alpha = 0.96 * \beta - 1.4^\circ \quad (4)$$

hvor  $\beta$  er siktelinja mellom punktet i skredbanen hvor helninga er 10° og bruddpunktet. Sammenhengen har et standardavvik på 2.3°.

Selv kartet er effektivt å produsere, har det vist seg å ha flere svakheter (Issler et al., under utarbeidelse). Det pekes spesielt på tre mangelfulle aspekter

- Den uraffinerte utvelgelsen at utløsningsområder kombinert med den valgte utløpsmodellen, resulterer i mange tilfeller i uforholdsmessig store utløpsområder
- Klima tas ikke hensyn til i verken utløsningssannsynlighet eller utløpsberegning
- Effekten av skog tas ikke hensyn til i verken utløsningssannsynlighet eller utløpsberegning

Det er med bakgrunn i disse svakhetene det ble sett behov for å utvikle en ny metodikk for produksjon av aktsomhetskart for snøskred.

## 2.2.2 NAKSIN

### Introduksjon

I samtaler mellom NVE (Norges vassdrags- og energidirektorat) og NGI (Norges Geotekniske Institutt) ble føringene for utarbeidelsen av nye aktsomhetskart for snøskred i Norge, NAKSIN, lagt. Sentrale elementer i disse føringene ble:

- En terrengmodell med oppløsning på 10x10 meter skal benyttes for de topografiske beregningene
- Skog- og klimaeffekter skal tas hensyn til
- Kartene skal i hovedsak vise aktsomhetssoner for en returperiode på 1000 år
- En mer realistisk utløpsmodell skal benyttes
- Programmet skal gjøres tilgjengelig for rådgivende bedrifter og kommuner, og det skal derfor benyttes åpen programvare
- Programmeringen skal gjøres modulær slik at forbedringer kan gjøres gradvis

Dette har resultert i en kode skrevet i Python, hvor skredsimuleringsprogrammet MoT-Voellmy, utviklet ved NGI, er implementert som en del av koden. Den modulære oppbygningen består av følgende moduler:

### **naksin.py**

Dette er hovedmodulen som styrer kjøringen og henter inn resultater fra de respektive delmodulene.

### **release\_area.py**

Potensielle utløsningsområder finnes gjennom en rekke algoritmer og nummereres.

### **release\_prob.py**

Utløsningssannsynligheter og bruddybder til utløsningsområdene funnet i `release_area.py`, beregnes. Dersom den årlige utløsningssannsynligheten blir større eller lik 0.001 (returperiode 1000 år), blir 1000-årsverdien for bruddybde beregnet, og området blir sendt videre til skredsimulering med denne bruddybden.

### **runout.py**

Utløpssimuleringer kjøres ved at skredsimuleringsprogrammet MoT-Voellmy kalles på. Simuleringer kjøres kun for utløsningsområder som har utløsningssannsynlighet større eller lik 0.001.

### **assemble\_map.py**

Skredsimuleringene settes sammen og kartcellene nummereres etter hvor mange skred de har blitt truffet av.

En kjøring av NAKSIN resulterer i et aktsomhetskart i form av en rasterfil. Fila kan så visualiseres i GIS – programvare.

Oppgavens tema, klima i NAKSIN, er mest knyttet til utløsningssannsynligheten, og det vil derfor bli hovedfokus på modulen for dette, `release_prob`. Det kan imidlertid være gunstig å ha en grunnleggende forståelse for helheten i programmet først, og det vil derfor bli gitt en kort introduksjon til modulene `release_area.py` og `runout.py` i de følgende avsnittene.

### **Utløsningsområder (`release_area.py`)**

Potensielle utløsningsområder i studieområdet velges ut gjennom følgende kriterier:

### *Helning*

Alle cellene som har helning innenfor et intervall satt av brukeren, velges ut. Intervallet har som begrensning at nedre grense må være mellom 25° - 30°, mens øvre grense må være mellom 55° - 60°.

### *Krumning*

For å eliminere skarpe rygger i terrenget, settes det en terskelverdi (bestemt av brukeren) for kurvatur.

### *Flaskehals, utstikkere*

Vider blir flaskehals og utstikkende celler fjernet gjennom en iterativ algoritme.

### *Størrelse*

Av de gjenværende cellene, blir sammenhengende områder med areal under minimumsgrense eliminert, mens områder med areal større enn en maksimumsgrense deles opp i mindre områder. Begge disse grensene settes av brukeren. Maksimumsgrensen kan typisk komme i bruk i fjordområder hvor bratte fjellsider langs fjorden kan ha svært stor horisontal utbredelse, uten at krumningen er stor nok til at området deles opp. Utløsningsområder som overskrider maksimumsgrensen for areal, deles opp etter dreneringsløp

### *Høydeforskjell*

De settes også en grense for vertikal utstrekning av utløsningsområdet. For områder med større høydeforskjell enn en maksimumsgrense, fjernes de lavestliggende cellene helt til høydeforskjellen er innenfor maksimumsgrensen.

### *Skog*

Dersom man kjører NAKSIN inkludert skogeffekter, brukes kronedekningen til å vurdere om celler skal elimineres. Det gjøres etter følgende formel

$$CC(\%) > 60 + 40 * \left( \left( \frac{Helning}{30} \right) - 1 \right) \quad (5)$$

Formelen er avhengig av helningen på cellene. Eksempelvis gir den at for en celle med helning på 30 grader, må kronedekningen være over 60 % for at cella skal elimineres.



## Utløpssimulering

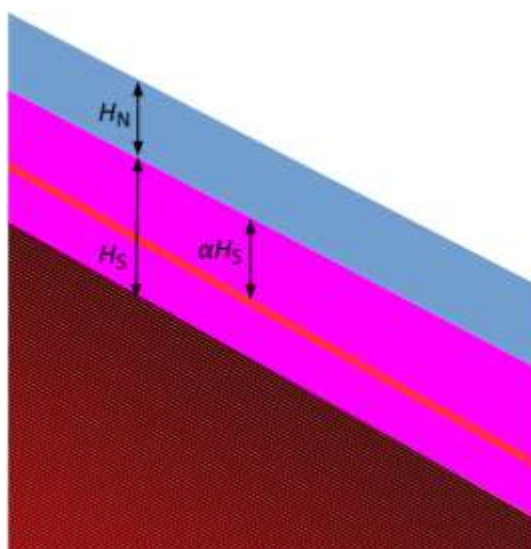
Skredene simuleres ved at NAKSIN kaller på programmet MoT-Voellmy. Dette er en forenklet kvasi-3D dynamisk modell for skredsimulering som er utviklet ved NGI. Skredet simuleres ved å løse likningene masse- og momentbalanse under antakelsen om at snøen oppfører seg som en inkompressibel væske. Programmet ligner i stor grad på sin mer kjente slekting RAMMS (Christen et al., 2010).

## Utløsningssannsynlighet

Stabilitetskriteriet i NAKSIN er basert på infinite slope-metoden. Det etableres en stabilitetsfunksjon  $\Theta$

$$\Theta \left(1 - \frac{\tau_w}{\tau}\right) = \begin{cases} 1, & \text{for } \tau_w < \tau \text{ (Brudd)} \\ 0, & \text{for } \tau_w \geq \tau \text{ (Stabilt)} \end{cases} \quad (6)$$

hvor  $\tau_w$  er skjærstyrken til det svake laget og  $\tau$  er den opptredende skjærspenningen. Figur 2.7 illustrerer modellen. Det antas et svakt lag en vertikal avstand  $\alpha H_S$  ned i det gamle snødekket, mens det over det gamle snødekket ligger et nysnølag med tykkelse  $H_N$ .



Figur 2.7: Dybdene som benyttes i beregningene (Issler et al., underutarbeidelse)

For en helning  $\theta$  og tyngdeakselerasjon  $g$ , beregnes den opptredende skjærspenningen som

$$\tau = (\alpha H_S \rho_S + H_N \rho_N) * g * \sin\theta * \cos\theta \quad (7)$$

Hvor  $\rho_S$  og  $\rho_N$  er tetthet til henholdsvis det gamle og nye snødekket. Snøens tetthet antas å øke med gjennomsnittlig vintertemperatur (TA) (Issler et al., under utarbeidelse) som fører til følgende funksjon for  $\rho_S$ :

$$\rho_S(TA) = \max[200, \min(400, 320 + 20^\circ C * TA)] \text{ kgm}^{-3} \quad (8)$$

Nysnøen, som ikke har blitt komprimert over tid, antas å ha lavere tetthet for gjennom relasjonen:

$$\rho_N(TA) = 0.5 * \rho_S \quad (9)$$

Det svake laget, som antas å ligge i det gamle snødekket, antas å ha noe lavere tetthet enn den omkringliggende snøen:

$$\rho_W(TA) = 0.8 * \rho_S \quad (10)$$

Skjærstyrken til det svake laget,  $\tau_w$ , estimeres basert på studier av Mellor (1975) og Mellor & Smith (1967), som en funksjon av tetthet og temperatur. Førstnevnte studie fant en eksponentiell økning av snøens skjærstyrke som funksjon av tettheten  $\rho_w$ , ved konstant temperatur. I NAKSIN blir sammenhengen representert gjennom uttrykket:

$$\tau_w(-10^\circ C) * e^{\frac{\rho_w - \frac{200 \text{ kg}}{\text{m}^3}}{\rho_r}} \quad (11)$$

Her er  $\tau_w(-10^\circ C)$  er en referanseverdi for skjærstyrken ved  $-10^\circ C$ .  $\rho_r$  ble funnet å være  $50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  i Mellors studier. Mellor & Smith (1967) kom fram til et dimensjonsløst uttrykk for

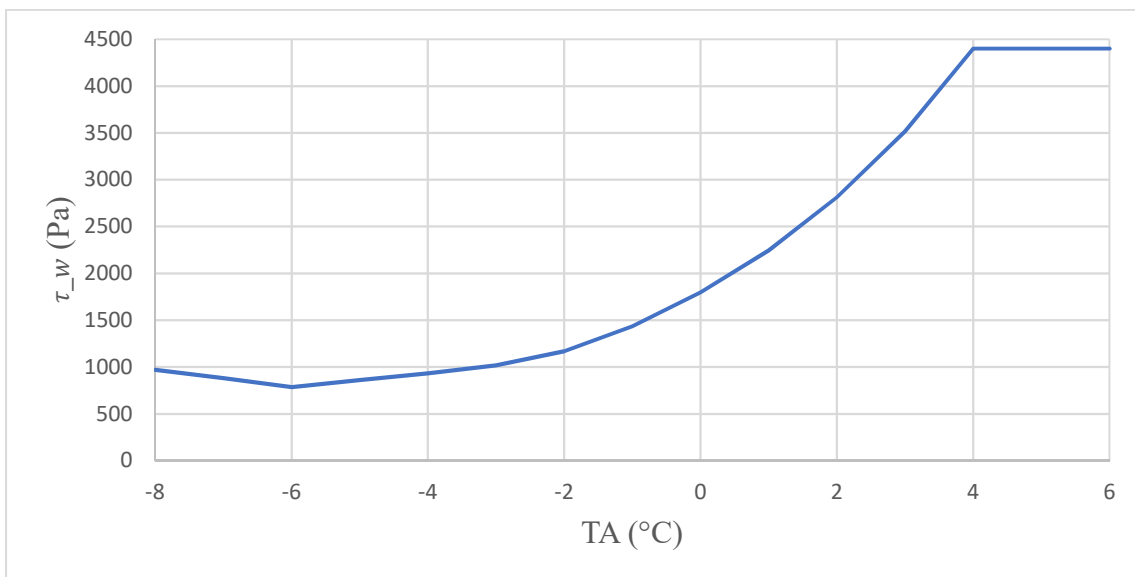
temperaturavhengigheten til skjærstyrken, på formen:

$$0.41 + 1.73 * 10^{\frac{4.76^{\circ}C}{T}} \quad (12)$$

hvor  $T$  er temperaturen i snødekket.  $T$  settes i NAKSIN til  $\min(TA, -0.1)$ . Disse to avhengighetene kombineres i NAKSIN til:

$$\tau_w(\rho_w, TA) \approx \tau_w(-10^{\circ}C) * e^{\frac{\rho_w - \frac{200kg}{m^3}}{\rho_r} * \left(0.41 + 1.73 * 10^{\frac{4.76^{\circ}C}{T}}\right)} \quad (13)$$

Siden både tetthetsleddet og temperaturleddet er relatert til  $TA$  i NAKSIN, blir  $\tau_w$  i praksis en funksjon kun av  $TA$ . Funksjonen er illustrert i figur 2.8. For  $TA$  under  $-6^{\circ}C$  vil kun temperaturleddet endre seg. For temperaturer mellom  $-6^{\circ}C$  og  $0^{\circ}C$  på virker både tetthetsleddet og temperaturleddet funksjonen. For  $TA$  mellom  $0^{\circ}C$  og  $4^{\circ}C$  er det kun tetthetsleddet som endrer seg. Mens for  $TA$  over  $4^{\circ}C$ , blir  $\tau_w$  konstant.



Figur 2.8: Skjærstyrkens forventningsverdi som funksjon av  $TA$

$H_S$ ,  $H_N$ ,  $\alpha$  og  $\tau_w$  antas å være stokastiske variabler med sine respektive sannsynlighetsfordelinger. Fordelingene til  $H_S$  og  $H_N$ ,  $p_1(H_S)$  og  $p_2(H_N)$ , er basert på data fra seNorge. Sannsynlighetsfordelingen til  $\tau_w$ ,  $p_3(\tau_w)$ , settes til en lognormal fordeling med

forventningsverdi  $\tau_w(TA)$  og et standardavvik på 20 %. Den lognormale fordelingen har blitt valgt blant annet fordi den ikke genererer negative verdier. Fordelingen til

$\alpha$ ,  $p_4(\alpha)$ , antas å ha en uniform fordeling. Dette innebærer at alle plasseringer i det gamle snødekket gis like stor sannsynlighet. Med dette som utgangspunkt, kan utløsningssannsynligheten til et utløsningsområde  $i$  finnes gjennom integralet:

$$p_i = \int_0^{H_N, max} \int_0^{H_S, max} \int_{\tau_w, min}^{\tau_w, max} \int_0^1 \Theta\left(-\frac{\tau_w}{\tau(H_S, H_N, \alpha)}\right) \times p_4(\alpha) d\alpha p_3(\tau_w) d\tau_w p_2(H_N) dH_N p_1(H_S) dH_S \quad (14)$$

Integralet evalueres i NAKSIN gjennom en Monte-Carlo-simulering. Dette innebærer at det utføres et stort antall forsøk hvor man ser om stabilitetsfunksjonen går til brudd. For hvert forsøk trekkes de stokastiske variablene trekkes fra sine respektive sannsynlighetsfordelinger. Dersom et forsøk resultere i brudd, beregnes bruddybden. Dersom Monte-Carlo-simuleringen gir en utløsningssannsynlighet større eller lik 0.001, beregnes 1000 års returverdi for bruddybde fra de registrerte bruddybdene. Denne bruddybden benyttes så i simuleringen av skredet i MoT-Voellmy.

Dersom man velger å inkludere skog i beregningen av utløsningssannsynlighet, legges effekten av skog til skjærstyrken gjennom en empirisk sammenheng.

## Klima i NAKSIN

### SeNorge-data

Data om årlig maksimal snødybde (HS), 3-døgns nedbør (HN) og gjennomsnittlig vintertemperatur (TA) hentes inn fra klimakart. Disse kartene er produsert med utgangspunkt i klimadata fra seNorge. seNorge-dataene baserer seg på døgnlige tidsserier for temperatur og nedbør fra 1957 til i dag fra et hundretalls målestasjoner spredt rundt i landet. Grovt sett går disse tidsseriene gjennom følgende steg, før de brukes som input for HS, HN og TA i NAKSIN (Engeset, 2016):

- Målestasjonenes døgnlige målinger av temperatur og nedbør interpoleres til et rutenett for hele landet med oppløsning 1x1 km. Interpoleringen utføres ved bruk av flertrinns kriging for å fange opp forskjellige meteorologiske og topografiske effekter (Lussana et al., 2018)
- Kart for snødybder oppnås så ved å benytte kartene for nedbør og temperatur i HBV-modellen.
- Med disse kartene med døgnlig 1x1 km<sup>2</sup> oppløsning etablert, lages så nye kart med samme oppløsning med gjennomsnittlig vintertemperatur og tilpassede ekstremverdifordelinger for 3-døgns nedbør og årlig maksimal snødybde.

### **Ekstremverdifordelinger**

Måledataene som benyttes i Senorge-kartene strekker seg opp mot 60 år tilbake i tid. Siden man i NAKSIN ønsker å finne ut hvor store skredene blir i et tusenårsperspektiv, tilpasses disse måledataene for HS og HN ekstremverdifordelinger. Hittil har en generalisert paretofordeling med lokasjon lik 0 blitt benyttet for både HS og HN. Paretofordelingen ble valgt som et utgangspunkt fordi den var forholdsvis enkel å implementere i Python. Det vurderes imidlertid å benytte andre fordelinger for både HS og HN. I forbindelse med denne oppgaven, har det blitt laget et klimakart hvor HS er tilpasset en gumbeldistribusjon. Det vil i denne oppgaven bli sett på hvordan denne tilpasningen skiller seg fra paretotilpasningen.

Ekstremverdifordelinger karakteriseres gjerne av parameterne  $\xi$  (shape),  $\sigma$  (scale) og  $\mu$  (location) (Ragulina et al.,2014). Shapeparameteren beskriver halen til fordelingen. Med hale menes fordelings oppførsel ved høye returperioder. Scaleparameteren utgjør et slags gjennomsnitt, mens locationparameteren forskyver fordelingen langs x-aksen.

### **Tilpassing av ekstremverdifordeling**

Det finnes flere metoder for å tilpasse en ekstremverdifordeling til en tidsserie av klimadata. To sentrale metoder er blokkmaksimum-metoden og «peak over threshold» -metoden (Ragulina et al.,2014). I førstnevnte metode deles datasettet opp i blokker på eksempelvis ett år, og en ekstremverdifordeling tilpasses deretter til maksimalverdiene til disse blokkene. Denne

metoden er vanligvis koblet til bruk av den generaliserte ekstremverdifordelingen. I den andre metoden, «peak over threshold», tilpasses en fordeling til dataene som overstiger en viss terskel som man definerer. Denne metoden er vanligvis koblet til den generaliserte paretofordelingen.

### Generalisert Paretofordeling

Den generaliserte paretofordelingen med  $\mu = 0$  har kumulativ fordelingsfunksjon (Ragulina et al.,2014):

$$F(x) = 1 - \left[1 + \xi * \frac{x}{\sigma}\right]^{-\frac{1}{\xi}} \quad (15)$$

Ved å invertere den kumulative fordelingsfunksjonen, får man den tilhørende kvantilfunksjonen, gitt av (Ragulina et al.,2014):

$$q = \frac{\sigma}{\xi} (p^{-\xi} - 1) \quad (16)$$

Fra kvantilfunksjonen finner man returverdiene. For å finne eksempelvis 1000 års returverdi, setter man inn  $p = 1/1000$  i likning 16. Verdien man da får ut for  $q$  er en verdi som har en sannsynlighet på  $1/1000$  for å bli overskredet hvert år.

### Gumbelfordeling (GEV type I)

Gumbelfordelingen er et spesialtilfelle av den generaliserte ekstremverdifordelingen hvor  $\xi = 0$ . Gumbelfordelingens kumulative fordelingsfunksjon er gitt av:

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)}} \quad (17)$$

Ved å invertere den kumulative fordelingsfunksjonen får man Gumbelfordelingens kvantilfunksjon:

$$x = -\sigma * \ln[-\ln(1 - p)] - \mu \quad (18)$$

Returverdier finnes på samme måte som for den generaliserte paretofordeling ved å sette inn ønsket verdi for p. Ved å studere kvantilfunksjonen, kan man se at den har som egenskap at dersom  $(1 - p) = F$  tegnes opp på en dobbellogaritmisk x-akse, vil funksjonen bli en rett linje med stigningstall  $\sigma$  og skjæring  $\mu$  med y-aksen.

## Høydeinterpolering

### Nåværende metode

De tre klimakartene som benyttes i NAKSIN gir verdier som representerer gjennomsnittshøyden i cella på 1x1 km. Innad i en slik celle kan det imidlertid forekomme store høydeforskjeller. For å få mest mulig representative verdier for høyden et utløsningsområde ligger på, interpoleres det derfor på et utvalg celler for å få mest mulig. Til nå har interpoleringen blitt gjort ved å bruke alle cellene i undersøkelsesområdet til lineær regresjon. For TA blir dette en regresjon på temperatur og cellehøyde. Det etableres en interpoleringsfunksjon:

$$TA(Z) = TA_0 + \lambda_{TA} * Z \quad (19)$$

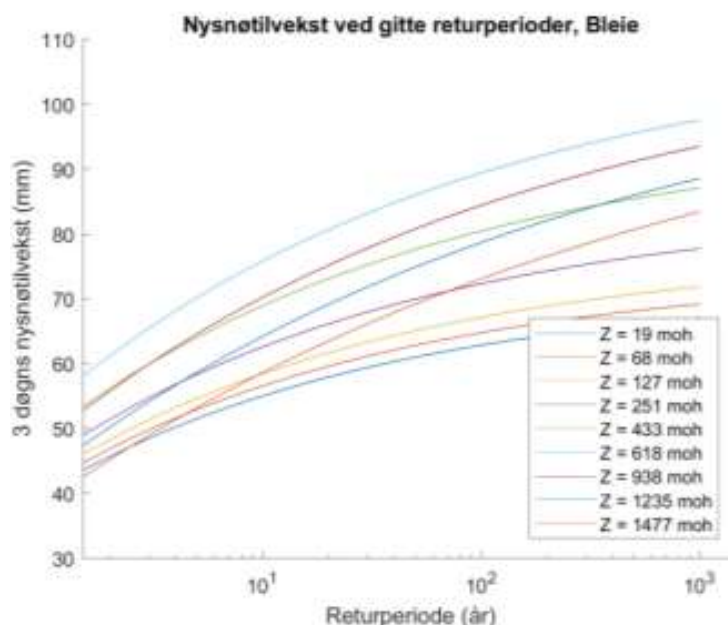
hvor  $TA_0$  er verdien ved  $Z = 0$ ,  $\lambda_{TA}$  er høydegradienten til TA og  $Z$  er høyden man studerer. I kontrast til TA, består klimakartene for HS og HN av distribusjonsparameterne til paretofordelingene,  $\sigma$  og  $\xi$ . Høydeinterpoleringen til HS og HN har blitt gjort ved å gjøre lineær regresjon på disse parameterne vs. høyde. Det etableres interpoleringsfunksjoner på  $\sigma$ - og  $\xi$ -parameterne:

$$\sigma(Z) = \sigma_0 + \lambda_\sigma * Z \quad (20)$$

$$\xi(Z) = \xi_0 + \lambda_\xi * Z \quad (21)$$

hvor  $\xi_0$  og  $\sigma_0$  er shape og scale ved  $Z = 0$ ,  $\lambda_\xi$  og  $\lambda_\sigma$  er deres respektive gradienter og  $Z$  er høyden man studerer. Videre finnes distribusjonsparameterne for utløsningsområdet som studeres ved å sette inn aktuell  $Z$ .

Høydeinterpoleringen har vist seg å fungere bra for TA. Det har imidlertid vært usikkerhet rundt hvor godt denne løsningen fungerer for HS og HN. Busengdal (2019) peker ut to problemer ved de interpolerte distribusjonene. Det ene problemet er hovedsakelig knyttet til HN, hvor man i noen testområder finner at returverdiene for lavereliggende utløsningsområder blir høyere enn returverdiene til høyereliggende utløsningsområder, noe som fører kryssende kurver, som vist i figur 2.9.



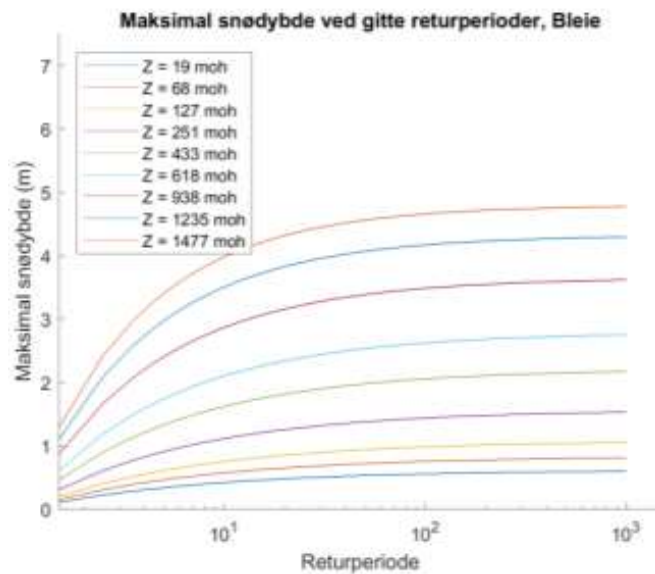
Figur 2.9: Eksempel på høydeinterpolering av HN for Bleie (Busengdal, 2019)

Denne kurvekryssingen betyr at man ikke får en konsekvent økning i halebredden med høyden. Det kan være flere grunner til dette. En mulig årsak er at det er en konsekvens av at det gjøres lineær interpolering på distribusjonsparameterne til en ikke-lineær funksjon, og at dette fører



til uventede resultater. En annen mulig årsak er at distribusjonene i klimakartene faktisk ikke har konstant eller økende halebredde med høyden og at kurvekryssingen faktisk representerer de originale dataene, selv om problemet med lineær regresjon på ikke-lineære parametere også kan bidra med feilkilder.

Det andre problemet er knyttet til at kvantilfunksjonene til HS i mange tilfeller viser seg å flate fra en forholdsvis lav returperiode på om lag 10-20 år, som illustrert i figur 2.10



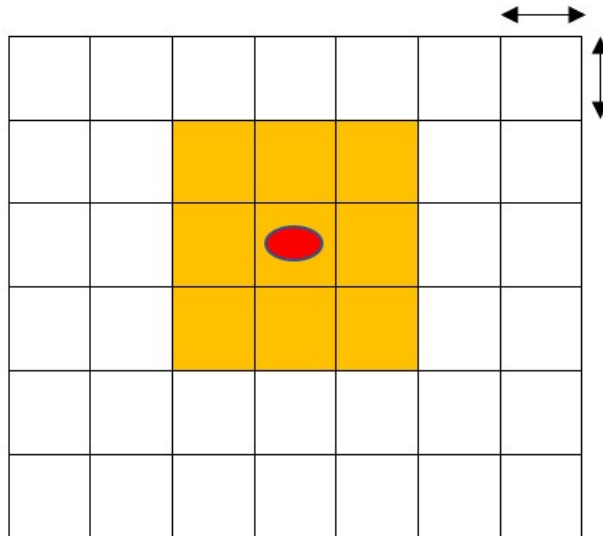
Figur 2.10: Eksempel på høydeinterpolering av HSmax for Bleie (Busengdal, 2019)

Dette innebærer at det er forholdsvis smale haler på distribusjonene. Det er usikkert om dette skyldes forholds rundt interpoleringen eller om det er knyttet til valg av distribusjon.

### Ny metode

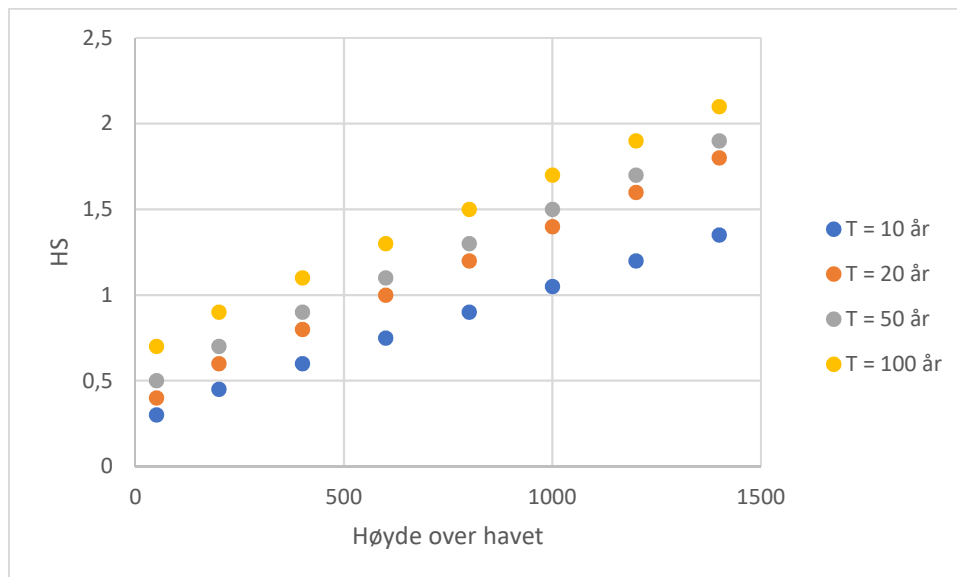
I denne oppgaven skal det testes å interpolere på returverdier fra distribusjonene til HS og HN, fremfor å interpolere på distribusjonsparametere. Denne interpoleringen vil også skille seg fra den foregående ved at interpoleringen gjøres på et mindre utvalg celler som omkranser det aktuelle utløsningsområdet. Stegene i den nye interpoleringen, med HS som eksempel, blir som følger

- For utløsningsområdet som skal studeres, velges det ut et utsnitt av seNorge-celler som omkranser utløsningsområdet. I dette eksempelet er utsnittet på 3x3 celler, men det kan tenkes andre størrelser på utsnittet.



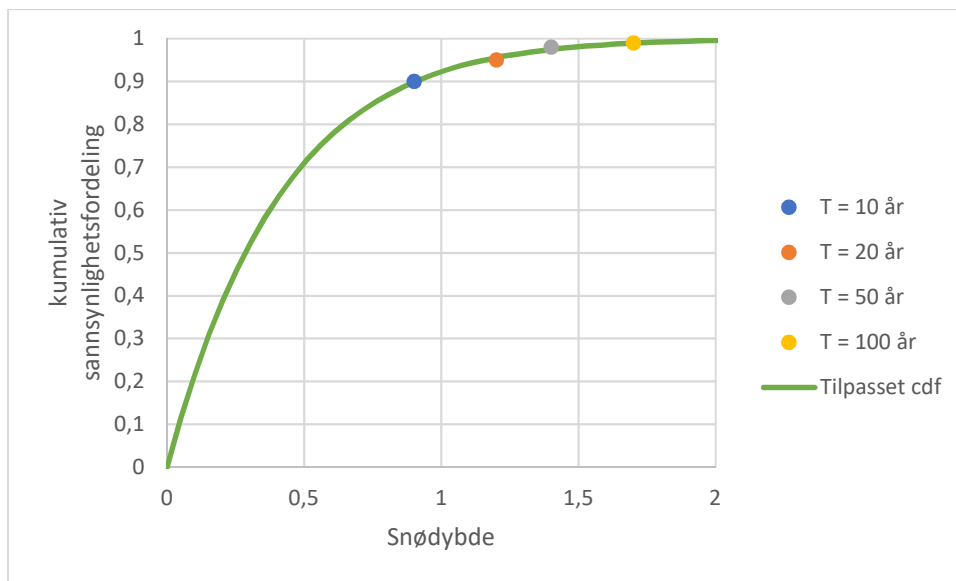
Figur 2.11: Illustrasjon av valgt utsnitt av seNorge-celle for et utløsningsområde (markert med rødt)

- For disse cellene finner man cellehøyden og returverdier for HS for et valgt antall returperioder, i dette eksempelet 10,20, 50 og 100 år. For hver returperiode, etableres det en interpoleringsfunksjon.



Figur 2.12: Returverdier for 4 returperioder for hver av cellene i figur 2.11

- Videre brukes disse interpoleringsfunksjonene til å finne returverdier for ønsket høyde. Deretter tilpasses en sannsynlighetsfordeling av samme type som ble benyttet til å begynne med.



Figur 2.13: Tilpasning av distribusjon til interpolerte returverdier

- Denne distribusjonen benyttes så i Monte-Carlo simuleringen.

### Alternativ metode

Et viktig spørsmål ved denne nye interpoleringsmetoden er hvor mange returperioder man skal benytte. Siden de observerte dataene kun strekker seg ca 60 år tilbake i tid, kan det tenkes at man får misvisende resultater dersom man interpolerer returverdier fra høyere returperiodene. Som et alternativ vil det bli testet ut å benytte kun interpoleringsfunksjonen til returperiode 10 år, og kombinere dette med distribusjonshalen til fordelingen for cella utløsningsområdet ligger i. Prosedyren blir da å finne interpoleringsfunksjonen for returperiode 10 år, interpolere til ønsket høyde og deretter multiplisere med forholdstall til høyere returperioder, hentet fra den aktuelle seNorge-cella. Dette alternativet innebærer at man får like forholdstall for distribusjonshalen for alle høyder.

Fordelen med denne metoden er at man har større kontroll på hvordan distribusjonshalen blir for ulike høyder. Ulempen er imidlertid at dersom det er en tydelig gradient på distribusjonshalene, det vil si at halene bredere eller smalere med høyden, fanger ikke denne metoden opp dette.

## 3 Metode

I og med at klimakartene dekker hele Norge og har forholdsvis store variasjoner i verdier, er det lite tenkelig i denne omgang å gjøre en uttømmende vurdering av effektene av den nye høydeinterpolering og ny distribusjon for HS for hele landet. Undersøkelsen vil derfor bli utført ved å først se etter generelle trekk for 15 utvalgte områder med forholdsvis stor geografisk spredning, dernest ved å studere tre områder mer inngående.

### 3.1 Områder

Utvelgelsen av områder er basert på de vedlagte klimakartene. Det er kart med 10 års returverdier for HN og HSmax, samt kart for TA. Det har blitt delt inn i tre klimatyper. Den første er Vestlandet, med store snø-/nedbørsverdier og forholdsvis mild TA. Den andre er indre deler av sørnorge (Innlandet), med forholdsvis lave snøverdier og kald TA. Den tredje er Nord-Norge som blir en slags mellomting. De utvalgte områdene er gitt i tabell 3.1

Tabell 3.1: Områdene som studeres

<b>VEST</b>	<b>NORD</b>	<b>INNLANDET</b>
Åndalsnes	Tromsø	Lom
Voss	Narvik	Oppdal
Odda	MoiRana	Dombås
Volda	Lyngseidet	Strynefjellet
ØvreÅrdal	Bardufoss	Gol

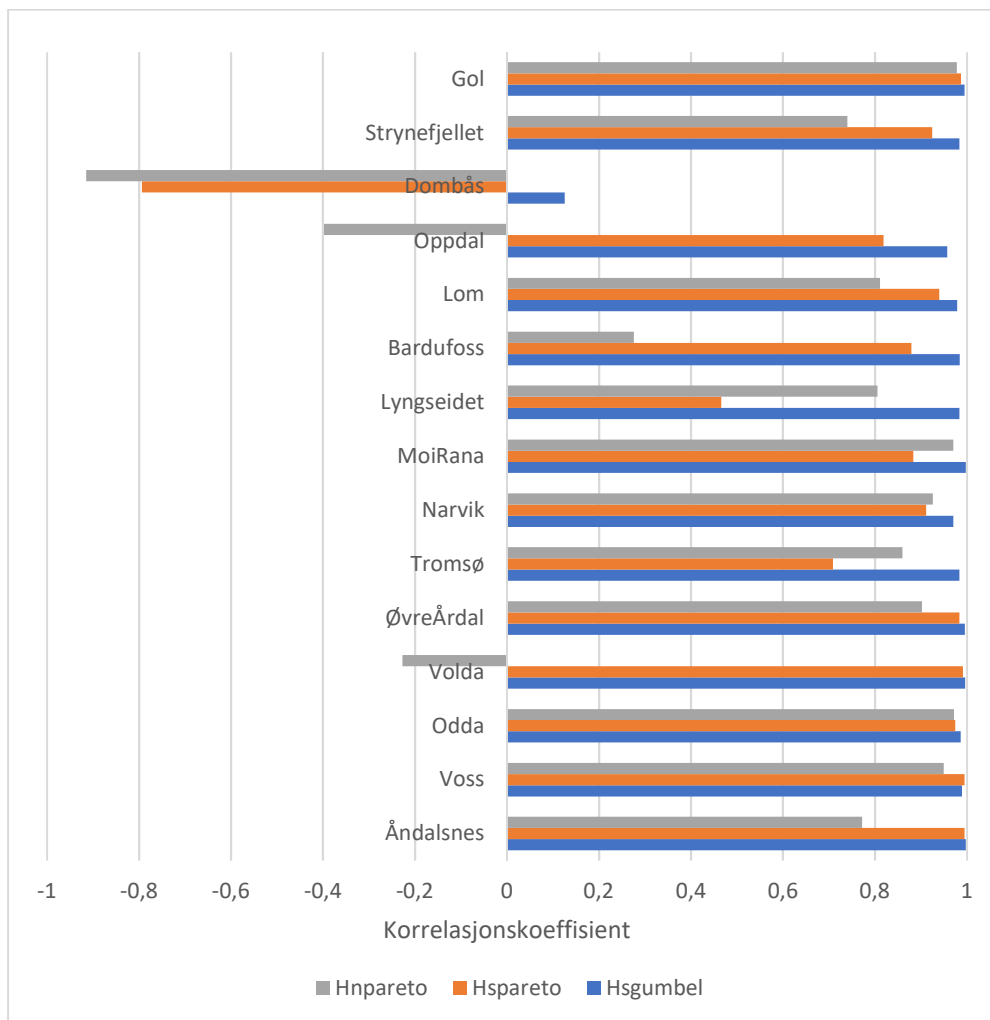
I den mer inngående undersøkelsen er det valgt ut ett område fra hver av kategoriene over. Disse er Voss, Tromsø og Lom.

## 4 Resultater

### 4.1 Korrelasjoner

#### Verdikorrelasjon

Det er sett på korrelasjonen mellom returverdier for returperiode 10 år og høyde. Dette er en forholdsvis lav returperiode, og verdiene burde i utgangspunktet være ganske tett knyttet til målingene de er basert på. Det er benyttet et utsnitt på 5x5 seNorge-celler for hvert testområde. Figur 4.1 viser korrelasjonskoeffisientene.

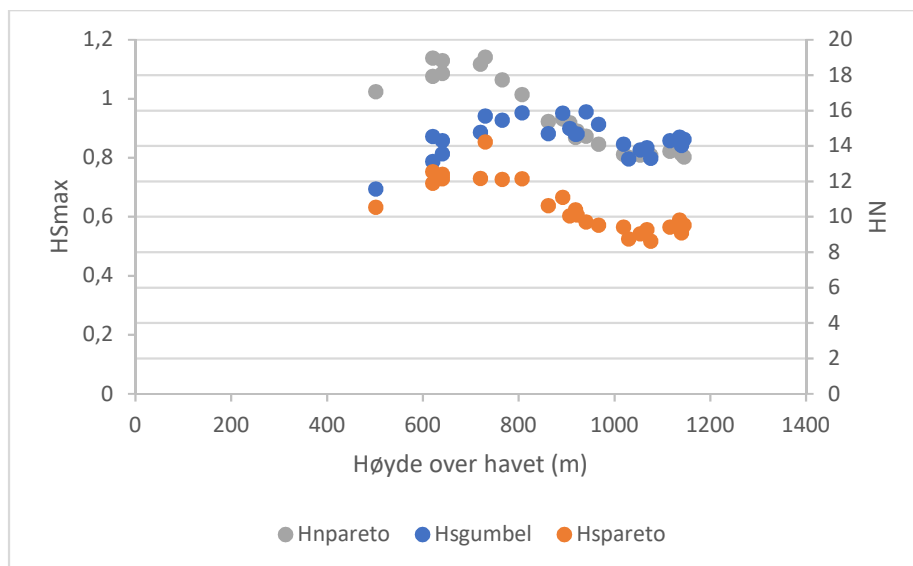


Figur 4.1: Korrelasjonskoeffisienter for HSmaxgumbel, HSmaxpareto og HNpareto for 15 områder

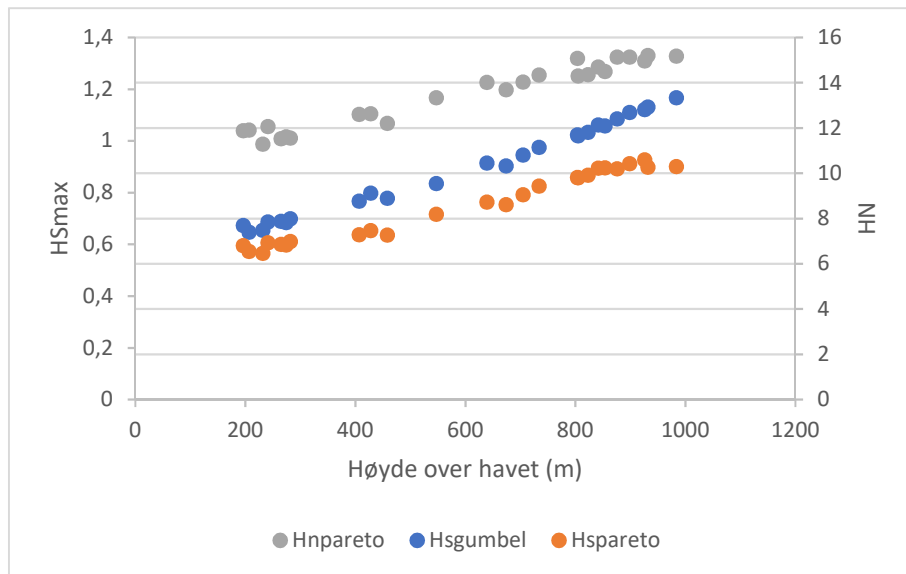
Resultatene gir stort sett positiv korrelasjon, som medfører økning i verdi med høyden. Tydeligst korrelasjon viser Hsgumbel, med korrelasjonskoeffisienter stort sett tett på 1.

HSpareto følger ganske tett, men viser noe lavere korrelasjon og har også et tilfelle med negativ korrelasjon, som tyder på synkende verdier med høyden. HNpareto viser om lag samme korrelasjon som HSpareto, men har noen flere tilfeller med negativ korrelasjon. I sin helhet tyder resultatene på en forholdsvis klar tendens til at verdiene stiger med høyden, men resultatene tyder på at man vil kunne forvente unntak fra dette.

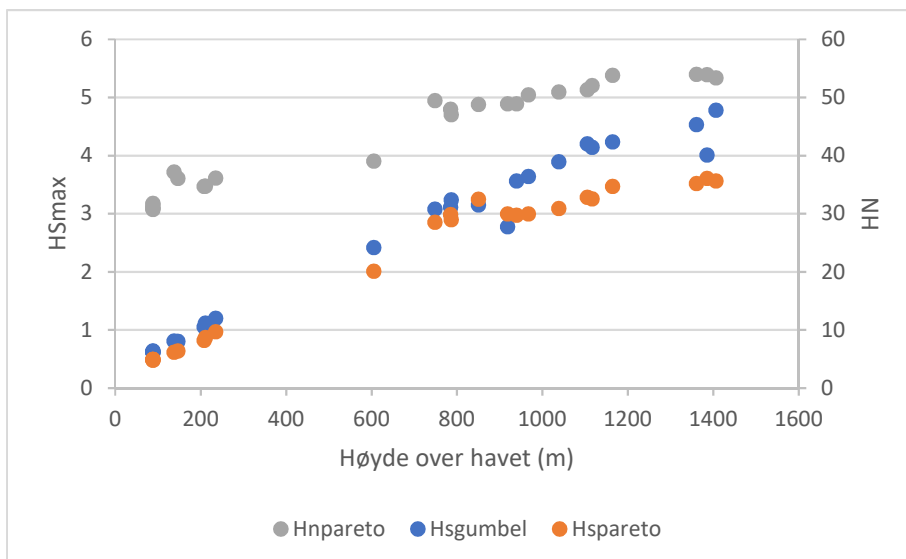
Dombås har det mest fremtredende tilfellet med negativ korrelasjon. Figur 4.2 – 4.4 viser celleverdiene (høyde/returverdi 10 år) korrelasjonskoeffisientene er beregnet ut ifra for Dombås, Gol og Odda. For Gol og Odda, som viste høye positive korrelasjonskoeffisienter for alle tre variablene, ser vi en tydelig stigning med høyden. For Dombås ser vi imidlertid at verdiene får et dropp for de største høydene. Dette kan både være en følge av at lokale klimatiske effekter har blitt fanget opp av seNorge-kartene, eller at det er misvisende resultater som har oppstått gjennom interpoleringsprosessen når klimakartene lages.



Figur 4.2: Returverdier for de tre fordelingene for Dombås



Figur 4.3: Returverdier for de tre fordelingene for Gol

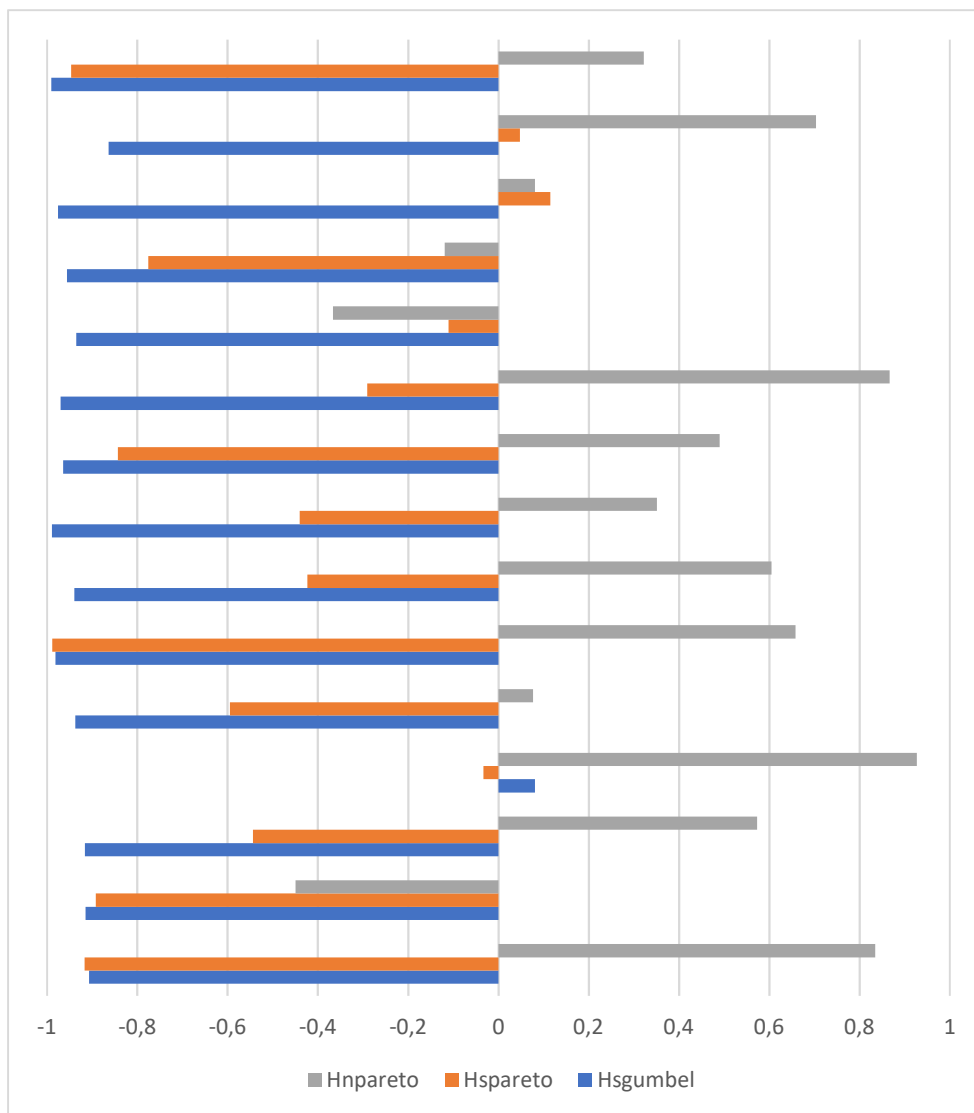


Figur 4.4: Returverdier for de tre fordelingene for Odde

## Halekorrelasjon

Videre har sammenhengen mellom distribusjonshaler og høyde blitt undersøkt ved å se på korrelasjonen mellom høyde og forholdet returverdi 1000 år/ returverdi 10 år. Figur 4.5 viser korrelasjonskoeffisientene. Vi ser en ganske klar tendens til at Hsgumbel får høy negativ korrelasjon, og altså smalere haler med høyden. Det gjelder til dels HS pareto også. HNpareto viser tendenser til å få bredere haler med høyden.

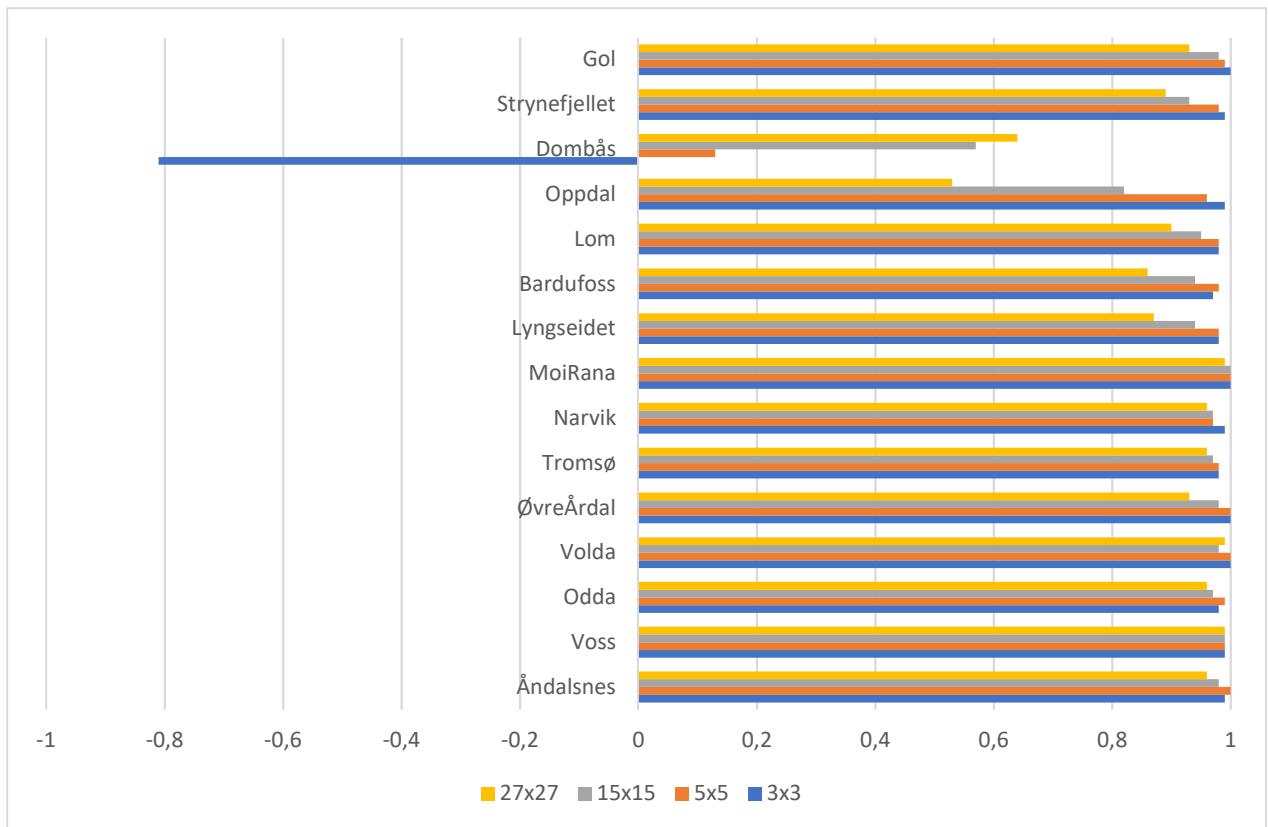
Denne korrelasjonen har betydning for høydeinterpoleringen med hensyn på hvor stor del av distribusjonen man skal interpolere.



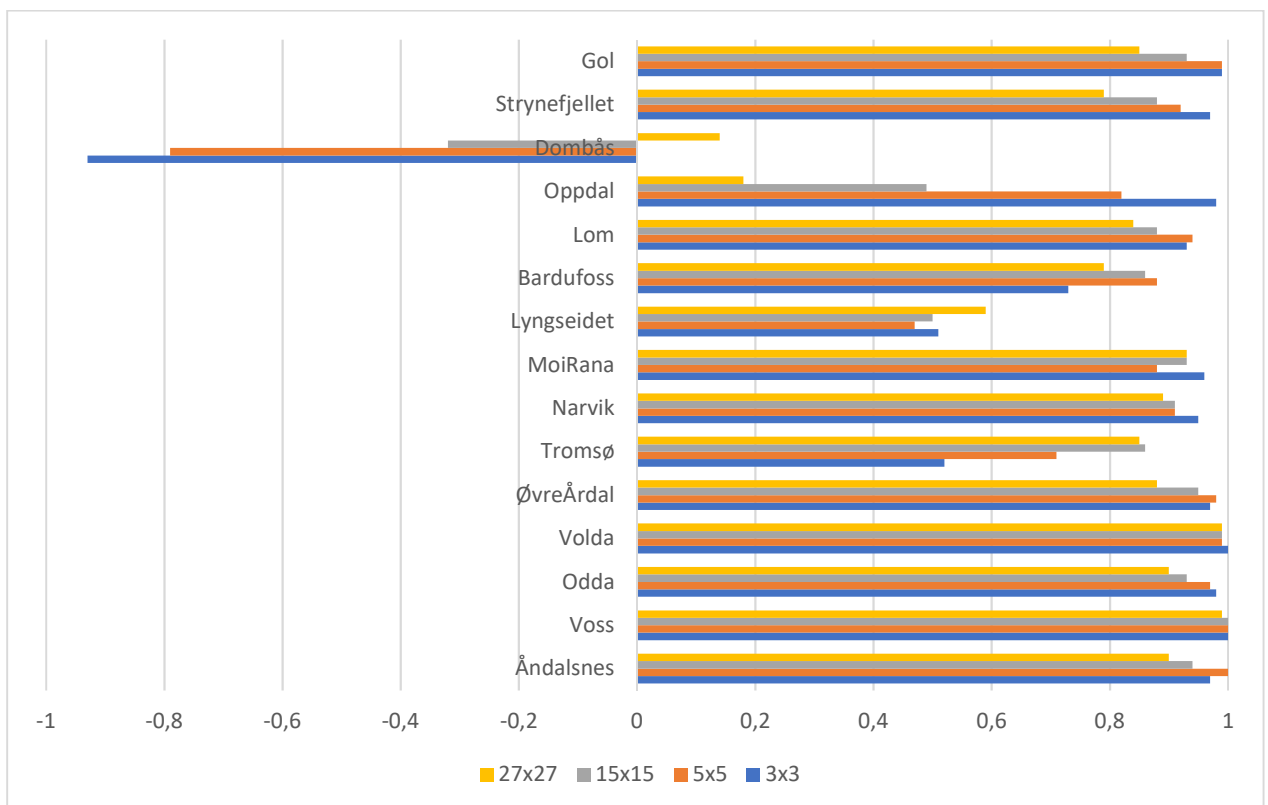
Figur 4.5: Korrelasjonskoeffisient for ratio (returverdi 1000 år/returverdi 10 år)

I tillegg til at verdiene variere med vertikal forflytning, vil det kunne forventes variasjoner i klimaverdier med horisontal forflytning. Med hensyn på å vurdere hvor store utsnitt som burde brukes i interpoleringen, er det undersøkt hvordan korrelasjonen endrer seg med økende utsnitt av seNorge-celler. Det har blitt testet med 3x3, 5x5, 15x15 og 27x27 celler, som altså tilsvarer sidekanter på utsnittskvadratet på henholdsvis 3, 5, 15, og 27 km. Disse størrelsene er valgt med hensyn til at tanken er å kjøre NAKSIN for et kartblad om gangen, som medfører at det er grenser for hvor store utsnitt som er aktuelle. Returverdiene korrelasjonen er beregnet ut ifra er for returperiode 10 år. Figur 4.6 – 4.8 viser korrelasjonskoeffisientene for de 4 utsnittene. Vi ser men forholdsvis moderat men observerbar endring i korrelasjonskoeffisienter fra minste til største utsnitt.

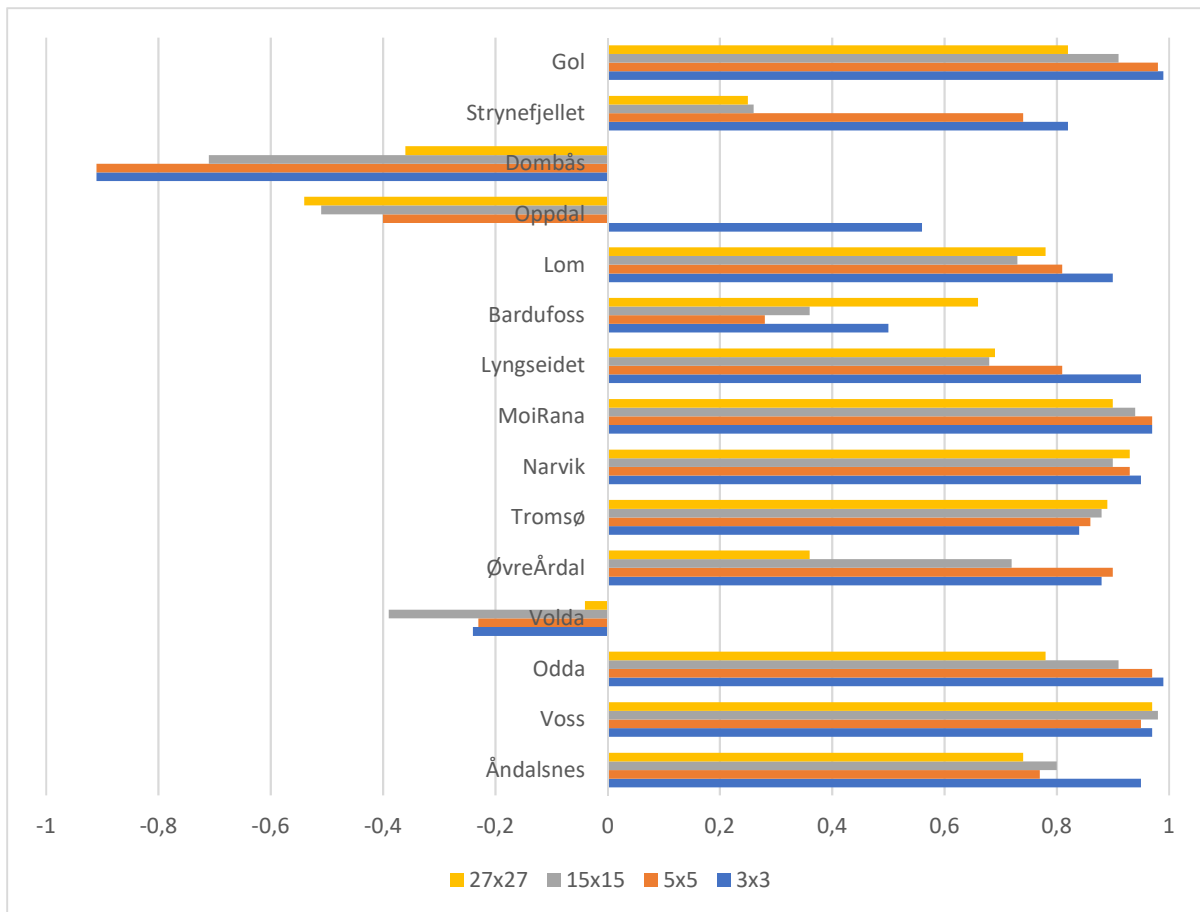




Figur 4.6: Korrelasjonskoeffisienter for økende utsnitt, HSmaxgumbel



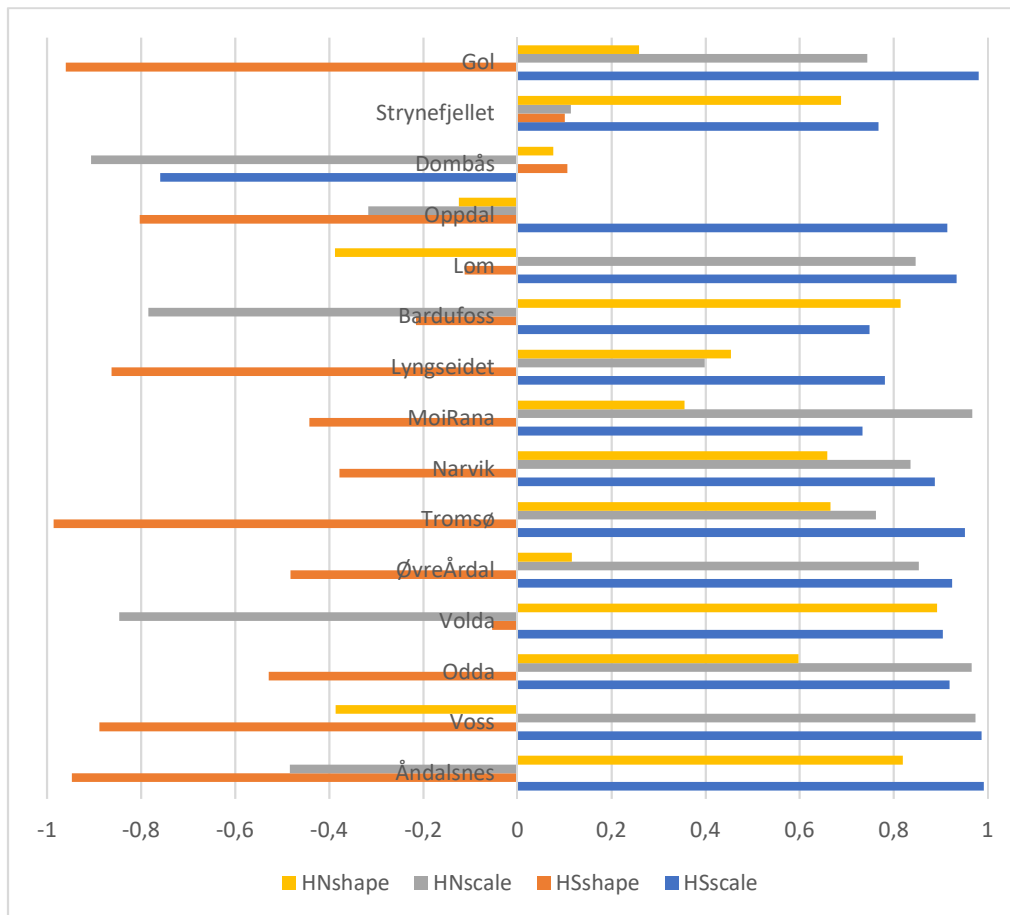
Figur 4.7: Korrelasjonskoeffisienter for økende utsnitt, HSmaxpareto



Figur 4.8: Korrelasjonskoeffisient for økende utsnitt, HNpareto

### Parameterkorrelasjon

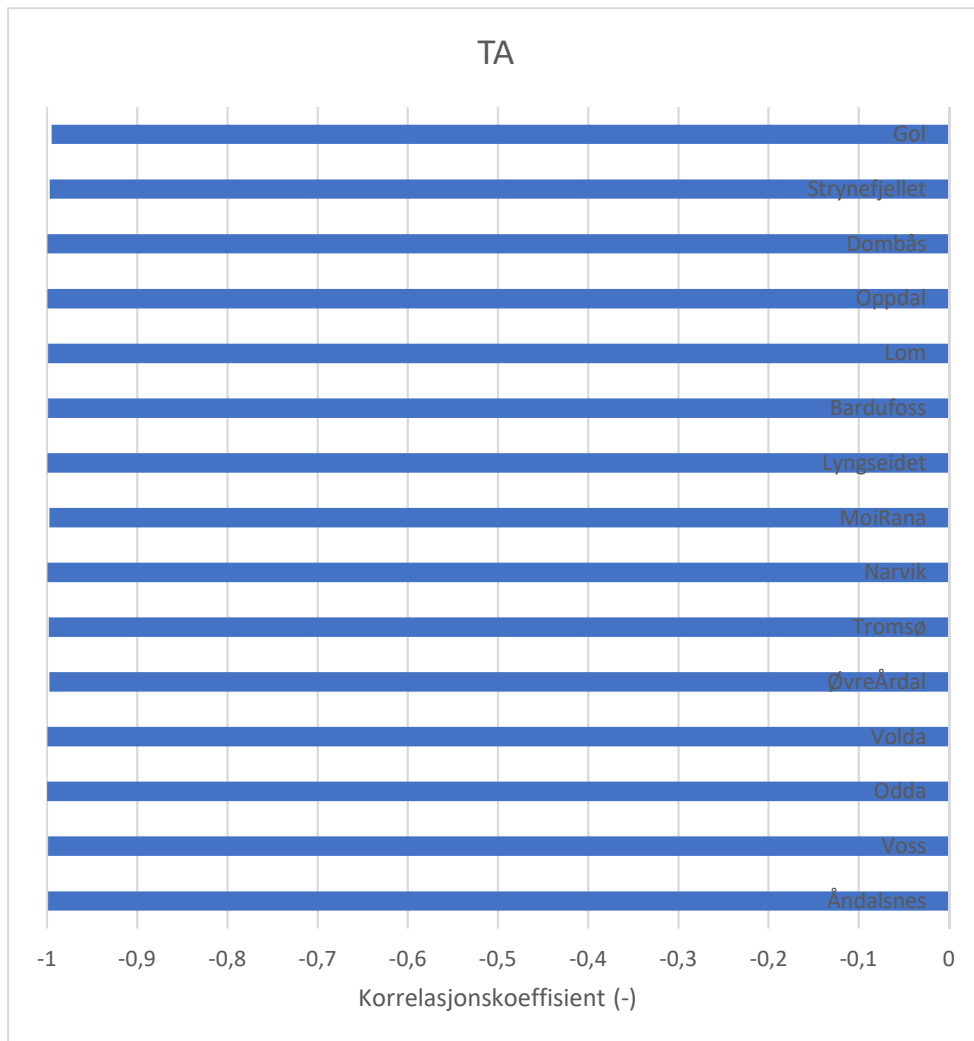
Det har også blitt testet hvordan distribusjonsparameterne til paretofordelingen, scale og shape, korrelerer med høyden. Figur 4.9 viser korrelasjonskoeffisientene til distribusjonparameterne for HS og HN. Resultatene bidrar til å bekrefte korrelasjonene til returverdiene. Scaleparameterne, som sier noe om gjennomsnittet i fordelingene, viser forholdsvis tydelig positiv korrelasjon med høyden. Dette kan sammenliknes sånn noenlunde med figur 4.1. som viser resultatene for returperiode 10 vs høyde. Shapeparameteren, karakteriserer distribusjonshalen, viser for HS tendenser til negativ korrelasjon. Dette innebærer lavere verdi for shapeparameteren med høyden, noe som medfører smalere hale. Dette samsvarer forholdsvis bra med figur 4.5. For shapeparameteren til HN, ser vi jevnt over positiv korrelasjon, som medfører bredere haler med høyden.



Figur 4.9: Korrelasjonskoeffisienter for paretoparameterne shape og scale vs høyde

### Temperaturkorrelasjon

Figur 4.10 viser korrelasjonskoeffisienten for temperatur vs. høyde for områdene. Resultatene viser tydelig korrelasjon for alle områdene med lavere temperatur med økende høyde.



Figur 4.10: Korrelasjonskoeffisient for TA vs høyde

## 4.2 Gradienter

### 4.2.1 HS- og HN-gradienter

Høydegradient til HSgumbel, HSpareto og HN pareto har blitt beregnet for alle områdene og er presentert i tabell 4.1.

	Hsmaxgumbel	Hsmaxpareto	Hnpareto
Åndalsnes	0,0023	0,0023	0,0057
Voss	0,0035	0,0029	0,0292
Odda	0,0031	0,0026	0,0181
Volda	0,0031	0,0026	-0,0017
ØvreÅrdal	0,0014	0,0009	0,0118
Tromsø	0,0009	0,0003	0,0067
Narvik	0,0015	0,0006	0,0091
Mo i Rana	0,0026	0,0006	0,0217
Lyngseidet	0,0007	0,0001	0,0034
Bardufoss	0,0009	0,0005	0,0010
Lom	0,0005	0,0003	0,0022
Oppdal	0,0007	0,0004	-0,0029
Dombås	0,0000	-0,0004	-0,0101
Strynefjellet	0,0015	0,0007	0,0032
Gol	0,0006	0,0005	0,0050

Tabell 4.1: Høydegradienter for returverdi 10 år for de tre distribusjonene

## 4.2.2 Temperaturgradient

Gradientene til gjennomsnittlig vintertemperatur (TA) er vist i tabell 4.2, sortert etter synkende gradientstørrelse. Gradientene varierer i spennet 3 – 8 ‰, som vil si mellom 3 og 8 grader lavere temperatur pr 1000 meter. Vi ser også at gradientene sånn noenlunde fordeler seg i størrelse etter den nevnte områdeinndelingen, hvor vestlandsområdene får de største gradientene, innlandsområdene de minste gradientene, mens områdene i Nord-Norge ligger i midten. Forskjellene er imidlertid ikke svært store.

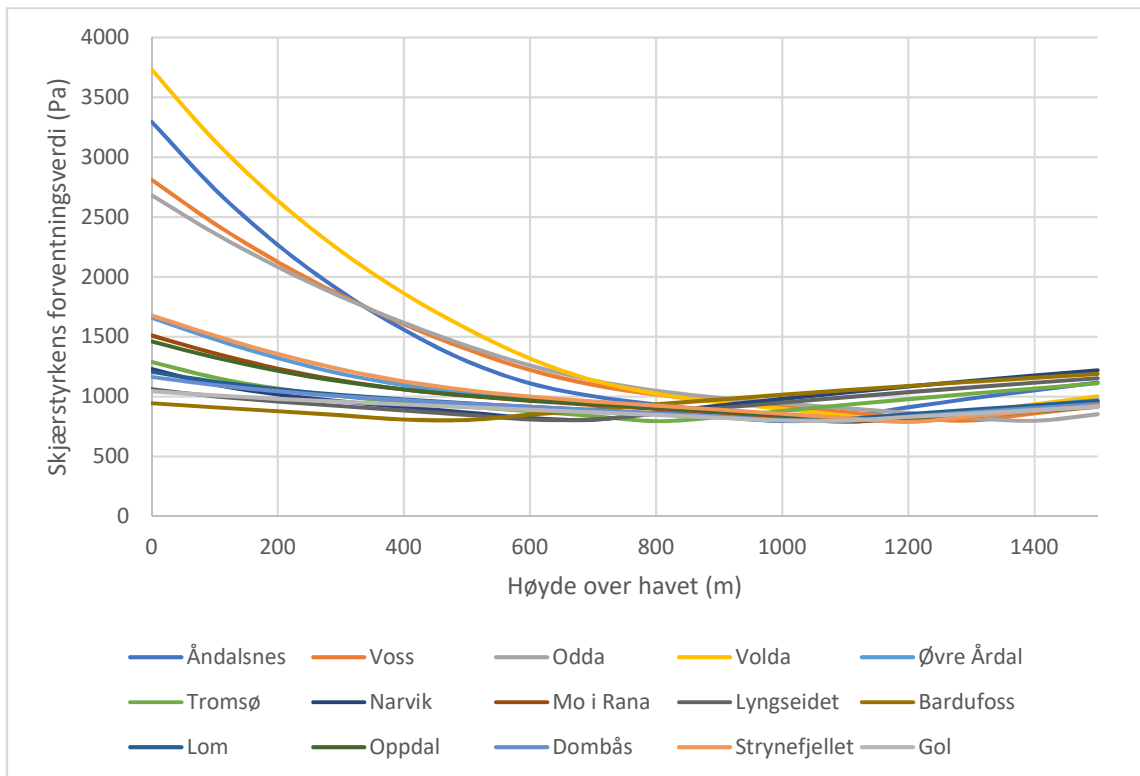
	Gradient TA (°C/m)	TA Ved Z = 0 (°C)
Åndalsnes	-0,008	2,7
Volda	-0,008	3,3
Narvik	-0,006	-1,7
Voss	-0,006	2,0
Odda	-0,006	1,8
Tromsø	-0,006	-1,5
Lyngseidet	-0,005	-2,6
ØvreÅrdal	-0,005	-0,4
Strynefjellet	-0,005	-0,3
Bardufoss	-0,005	-3,8
MoiRana	-0,005	-0,8

Oppdal	-0,004	-0,9
Lom	-0,004	-1,8
Dombås	-0,004	-2,0
Gol	-0,003	-2,8

Tabell 4.2: Høydegradienter og verdi for  $Z = 0$  for de ulike områdene

### 4.2.3 Skjærstyrkens høydegradient

Skjærstyrken,  $\mu_{\tau_w}$ , som benyttes som forventningsverdi i den lognormale fordelingen til det svake lagets skjærstyrke, beregnes som sagt som en funksjon av TA. Med interpoleringsfunksjonen til TA, kan man da studere hvordan  $\mu_{\tau_w}$  varierer med høyden. Figur 4.11 viser  $\mu_{\tau_w}$  som funksjon av høyde for de 15 områdene. Som følge av hvordan tau-likningen er konstruert, vil skjærstyrken avta med høyden til TA når  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hvor  $\mu_{\tau_w}$  når en verdi i underkant av 1000 Pa. Interpolering vider til større høyde fører til at  $\mu_{\tau_w}$  stiger svakt igjen som følge av at kun temperaturleddet i likningen endrer seg for TA lavere enn  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kalde områder som har forholdsvis lav temperatur ved lav høyde, får en ganske flat form på denne kurven, mens områder hvor det er forholdsvis mildt ved lav høyde, får stor variasjon i  $\mu_{\tau}$  med høyden. Størrelsen på gradienten vil også påvirke hvordan denne kurven blir.

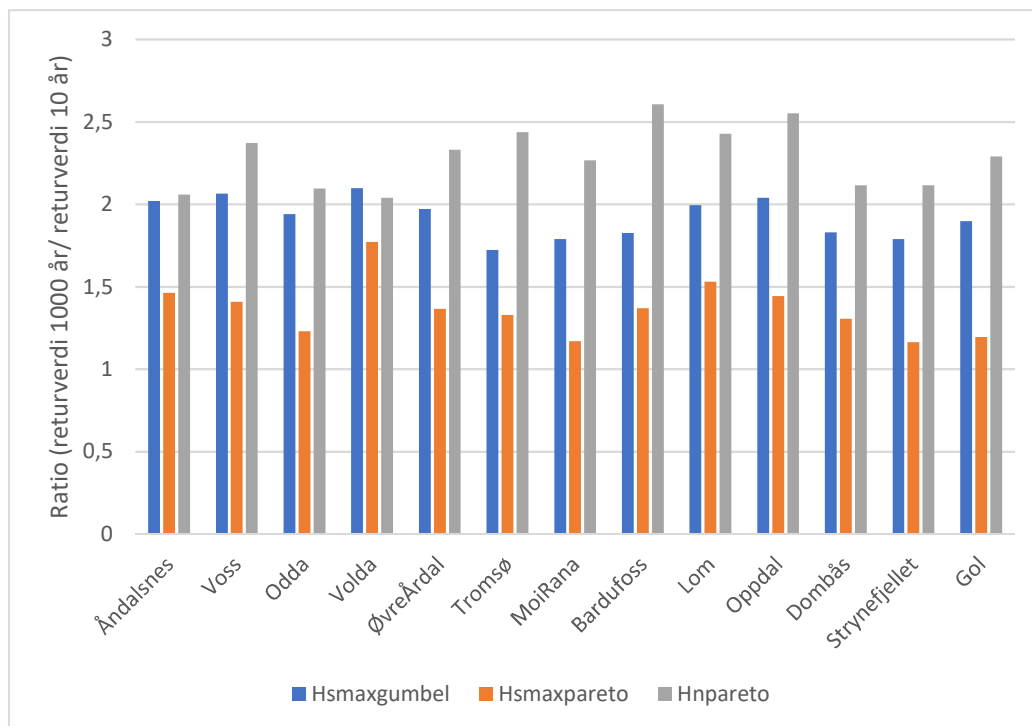


Figur 4.11: Skjærstyrkens forventningsverdi som funksjon av høyden

De fire kurvene som starter som starter markert høyere enn de andre er for Volda, Åndalsnes, Voss og Odda, og disse områdene vil få størst variasjon av skjærstyrken med høyden. Det kan også observeres at kurven for Åndalsnes, som har den største TA-gradienten, synker fortere enn de andre tre.

### 4.3 Distribusjonshaler

Figur 4.12 viser forholdet mellom returverdi 1000 og returverdi 10 år for områdene. Figuren viser det gjennomsnittlige forholdet for utsnittet på 5x5 celler. HSmaxpareto har de høyeste ratioene, med og får verdier stort sett mellom 2 og 2.5. HSmaxpareto har stort sett ratioer rundt/i underkant av 2, mens HSmaxpareto stort sett ligger i underkant av 1.5. Vi ser altså en markant forskjell på HSmaxgumbel og HSmaxpareto.



Figur 4.12: Gjennomsnittlig ratio (returverdi 1000år/returverdi 10 år) for de respektive områdene

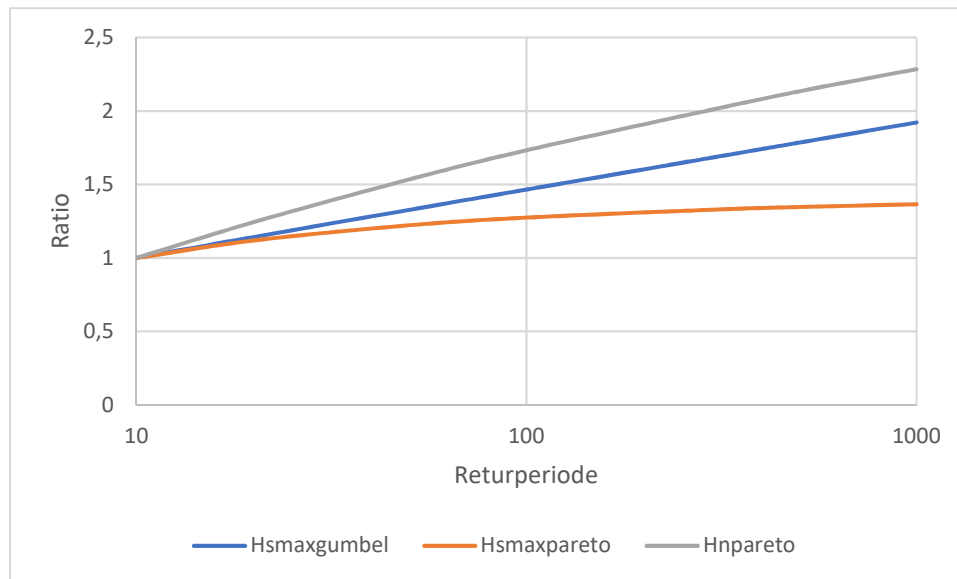
Tabell 4.3 viser de gjennomsnittlige ratioene av alle områdene. Forskjellen mellom HSmaxgumbel og HSmaxpareto øker med økende returperiode.

	Gjennomsnittlig ratio (returverdi x år/returverdi 10 år)							
	10 år	20 år	50 år	100 år	300 år	500 år	1000 år	
<b>Hsmaxgumbel</b>	1	1,14	1,33	1,47	1,68	1,78	1,92	
<b>Hsmaxpareto</b>	1	1,12	1,22	1,27	1,33	1,35	1,37	
<b>Hnpareto</b>	1	1,24	1,53	1,73	2,01	2,13	2,28	

Tabell 4.3: Gjennomsnittlige ratioer for returverdier fra ulike returperioder, basert på alle områdene

Ratioene er også illustrert i figur 4.13, hvor vi ser at mens HSmaxgumbel og HNpareto viser en noenlunde lineær sammenheng i det logaritmiske diagrammet, flater HSmaxpareto ut forholdsvis tidlig.





Figur 4.13: De gjennomsnittlige ratioene illustrert i diagram med logaritmisk x-akse

## 4.4 Områdestudie

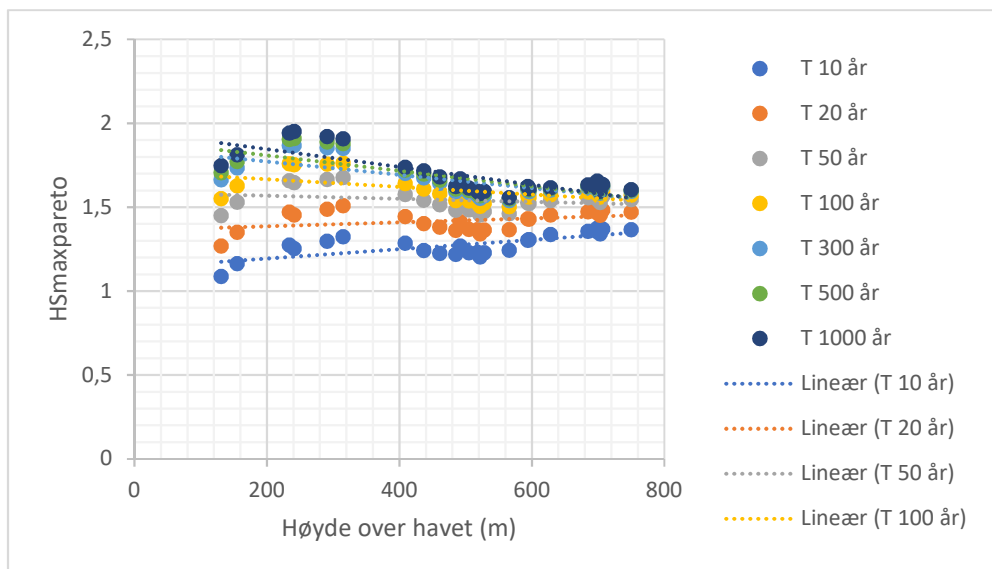
For de tre områdene som studeres nærmere, har det blitt det blitt sett på celleverdiene som brukes til regresjonen og hvordan disse påvirker interpoleringsfunksjonene man får. Videre blir det studert ulike metoder for å interpolere på disse dataene. Metodene er

- Metode 1: Bruk av returverdiene for returperiodene 10, 20, 50, 100, 300, 500 og 1000 år. Dette medfører at mye av halen tas med i interpoleringen.
- Metode 2: Bruk av returverdier kun fra lavere returperioder hvor mindre del av halen tas med i interpoleringen.
- Metode 3: Benytte en interpoleringsfunksjon fra en lav returperiode, eksempelvis 10 år. Bruke denne funksjonen til å interpolere til ønsket høyde. Den interpolerte verdien multipliseres så med ratioer til høyere returperioder for å få nok punkter til tilpasse en distribusjon for denne høyden. Disse ratioene kan eksempelvis hentes fra cella utløsningsområdet ligger i, eller så kan man benytte et gjennomsnitt av ratioene fra de 25 cellene i utsnittet.

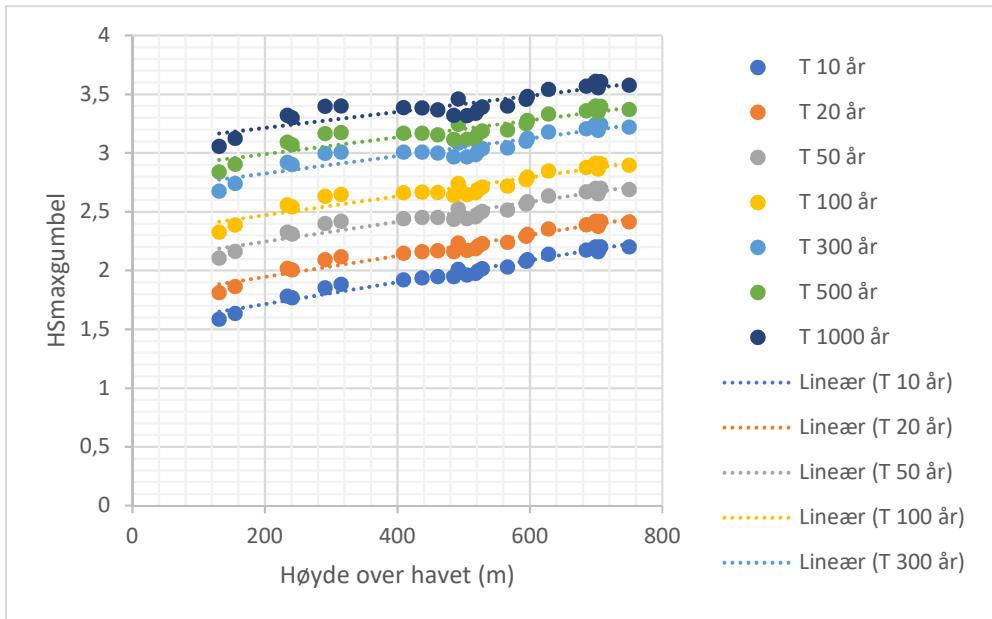
Videre er det kjørt noen Monte-Carlo simuleringer i modulen for utløsningssannynlighet i NAKSIN for å studere effekten av ulike interpoleringsmetoder og forskjellene man får ved å benytte henholdsvis HSmaxgumbel og HSmaxpareto.

#### 4.4.1 Tromsø

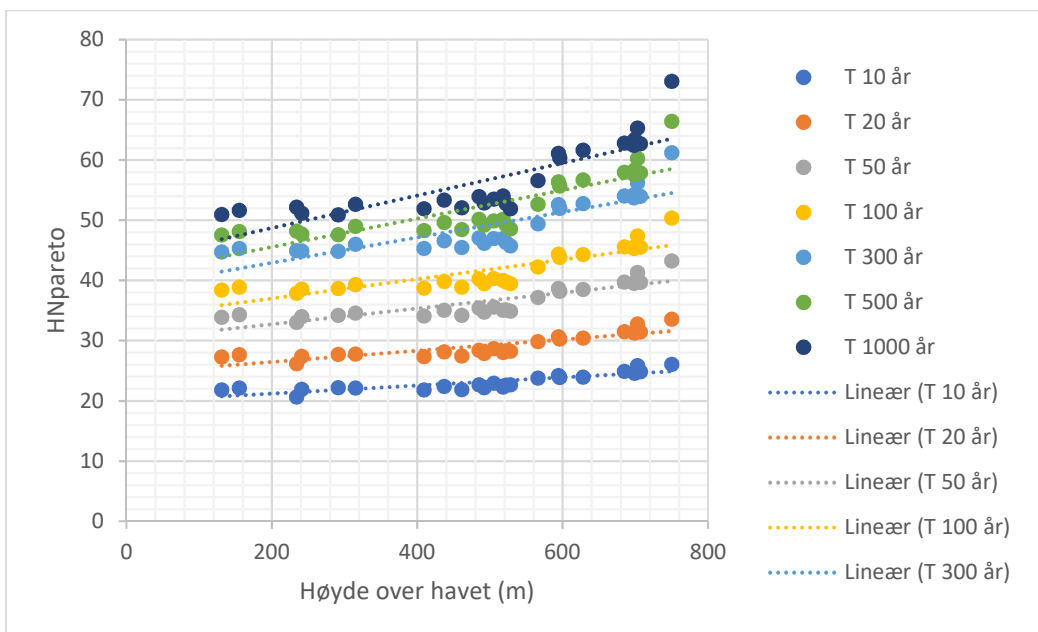
Figur 4.14 – 4.16 viser returverdier for returperiodene 10, 20,50,100,300,500 og 1000 år for hver celle i 5x5 utsnittet for Tromsø, for distribusjonene til henholdsvis HSmaxpareto, HSmaxgumbel og HNpareto. HSmaxgumbel viser forholdsvis tydelige gradienter og jevne distribusjonshaler. HSmaxpareto viser ikke fullt så tydelige gradienter, og har i tillegg ganske stor variasjon i distribusjonshaler. HNpareto viser noenlunde tydelige, men små gradienter,



Figur 4.14: Regresjonspunkter for HSmaxpareto Tromsø. Punkter som er «stablet» oppå hverandre, viser returverdiene fra en celle.

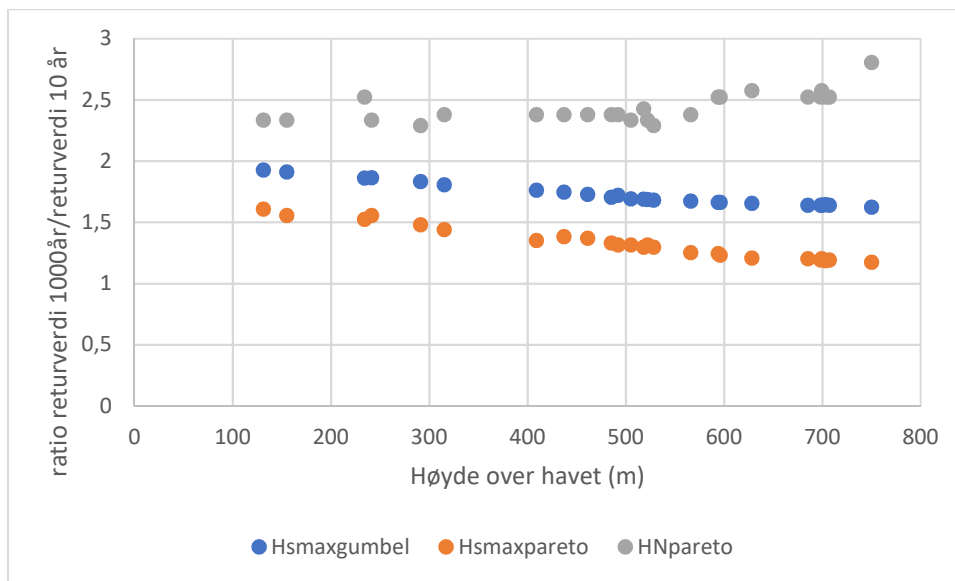


Figur 4.15: Regresjonspunkter for HSmaxgumbel Tromsø



Figur 4.16: Regresjonspunkter for HNpareto Tromsø

Figur 4.17 viser hvordan halen endrer seg med høyden ved å se på forholdet returverdi 1000 år / returverdi 10 år. HSmaxgumbel og HSmaxpareto viser ganske tydelig tendens til noe smalere hale med høyden, mens HNpareto viser noe tendens til bredere hale med høyden.



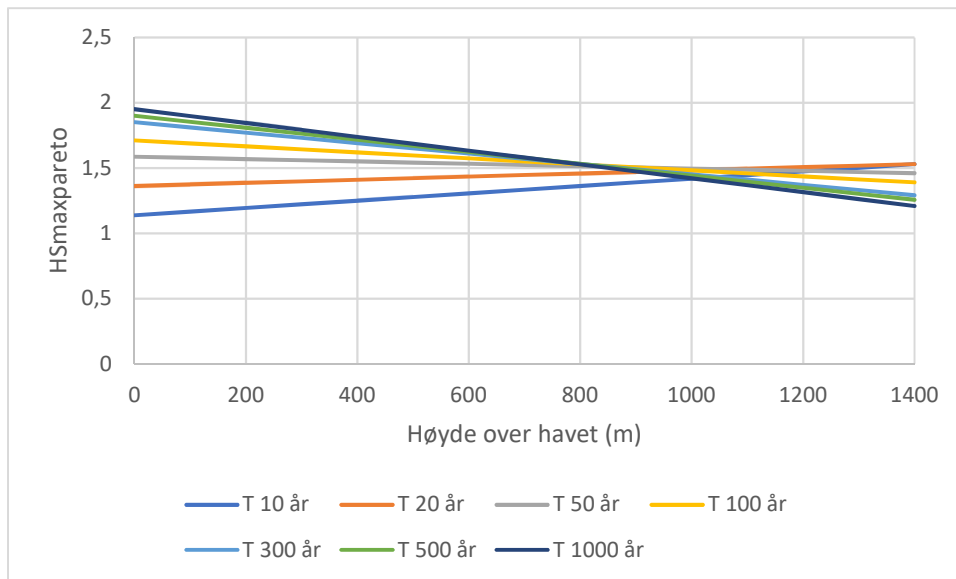
Figur 4.17: Sammenheng mellom halebredde og høyde, Tromsø

Interpoleringsfunksjonene til alle 7 returperiodene fungerer fint for HSmaxgumbel og HNpareto. For HSmaxpareto gir imidlertid forskjellen i gradient fra lav til høy returperiode noen problemer. Tabell 4.14 viser gradientene til alle 7 returperiodene for HSmaxpareto. Vi ser at gradienten blir negativ fra og med returperiode 50 år.

Tabell 4.4: Interpoleringsfunksjoner for de ulike returperiodene for HSmaxpareto, Tromsø

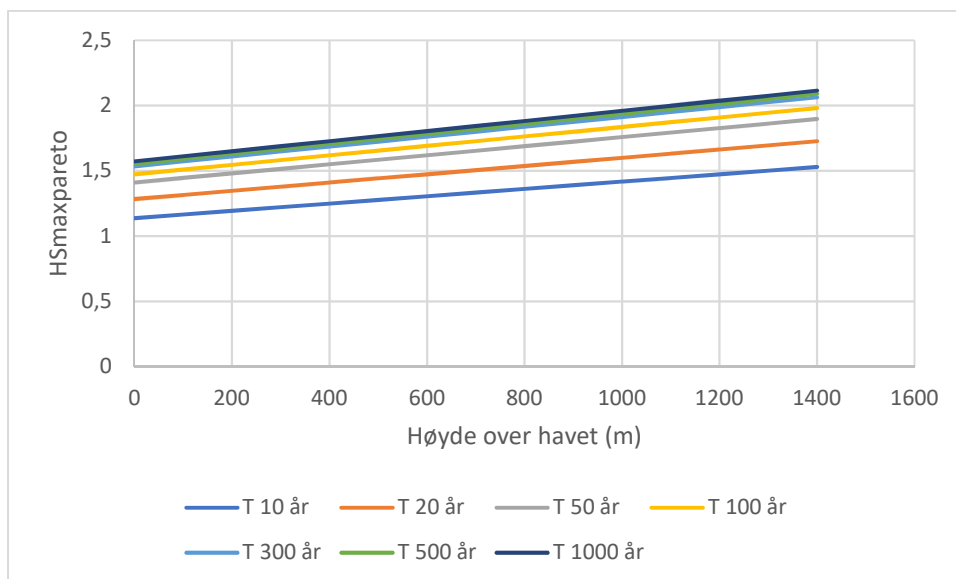
	T 10 år	T 20 år	T 50 år	T 100 år	T 300 år	T 500 år	T 1000 år
<b>skjæringspunkter</b>	1,13818	1,36252	1,58661	1,71208	1,85124	1,90072	1,95133
<b>gradienter</b>	0,00028	0,00012	-0,00009	-0,00023	-0,0004	-0,00046	-0,00053

I figur 4.18 ser vi disse funksjonene interpolert til høyder fra 0 – 1400 meter. Rundt 900 meter krysser funksjonene hverandre som fører til at lavere returperioder får høyere verdier enn høye returperioder. Dette gir ikke mening med tanke på en ekstremverdifordeling, og det fører også til problemer for Python, som ikke klarer å tilpasse en distribusjon til dataene.



Figur 4.18: Interpoleringsfunksjoner for 7 returperioder, Tromø

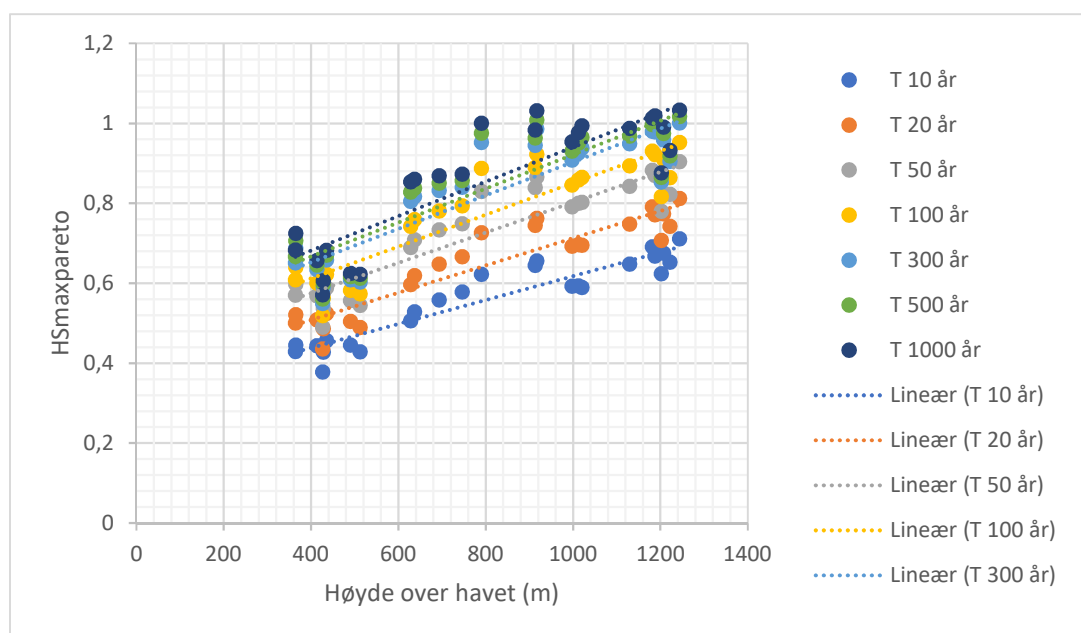
Man kan benytte metode 2 nevnt i kapitlets innledning, hvor man bare bruke de tre første returperiodene. Men i og med at gradienten blir negativ også for returperiode 50 år, vil dette også kunne by på problemer. Hvis man derimot benytter metode 3, med faste ratioer, får man kurver som vist i figur 4.19. Med denne metoden er forholdene mellom returverdiene faste, og man får oversiktlige kurver. Det er her flere måter man kan velge disse ratioene på. I figuren er det benyttet ratioene fra midtcella i utsnittet. Et annet alternativ er å benytte de gjennomsnittlige ratioene til alle cellene i utsnittet. Eller man kan bruke de maksimale ratioene i utsnittet.



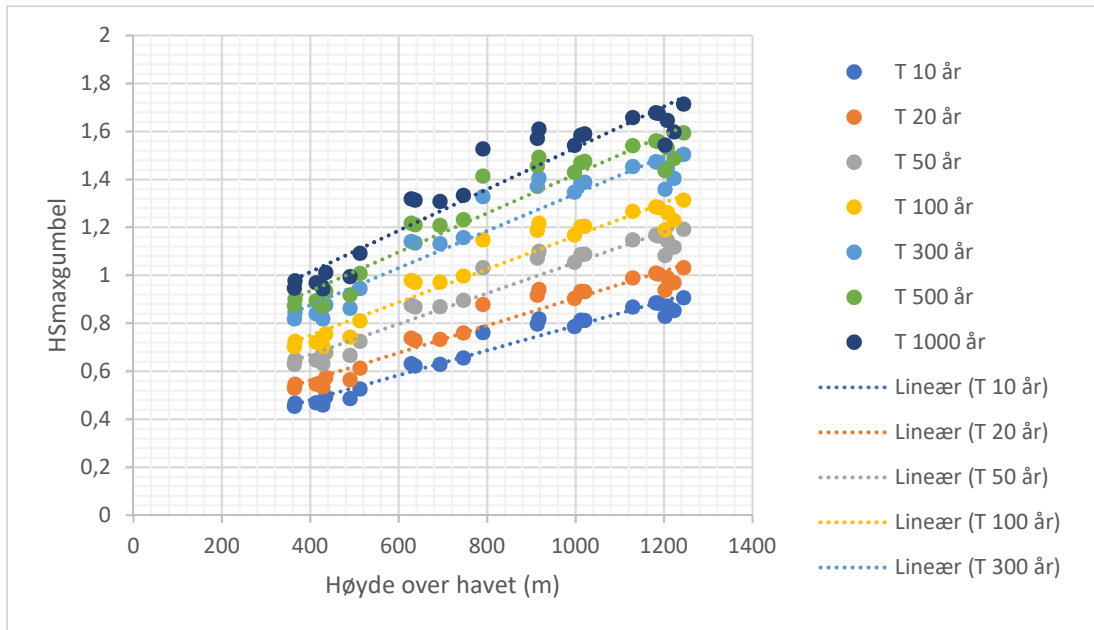
Figur 4.19: Interpolering ved bruk av interpoleringsfunksjon for returperiode 10 år multiplisert med faste ratioer

## 4.4.2 Lom

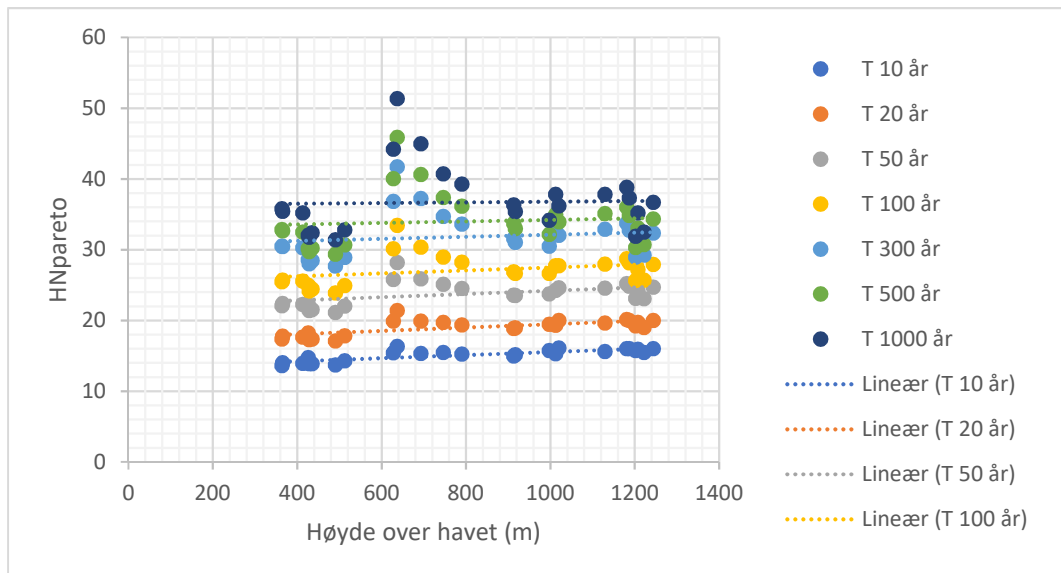
Figur 4.20 – 4.22 viser resultatene for de tre dsitrobusjonene for Lom. HSmaxgumbel får også her forholdsvis tydelige og jevne gradienter for alle returperiodene. HSmaxpareto spriker litt mer enn HSmaxgumbel her også, men i motsetning til Tromsø, blir gradientene positive for alle returperiodene. HNpareto viser lav gradient, som i Tromsø. Men her får vi samme situasjonen som for HSmaxpareto i Tromsø, nemlig at gradientene til de høye returperiodene blir lavere enn for de lave returperiodene. Dette skyldes de forholdsvis brede halene til cellene i høyde 600 – 800 meter.



Figur 4.20: Regresjonspunkter for HSmaxpareto Lom

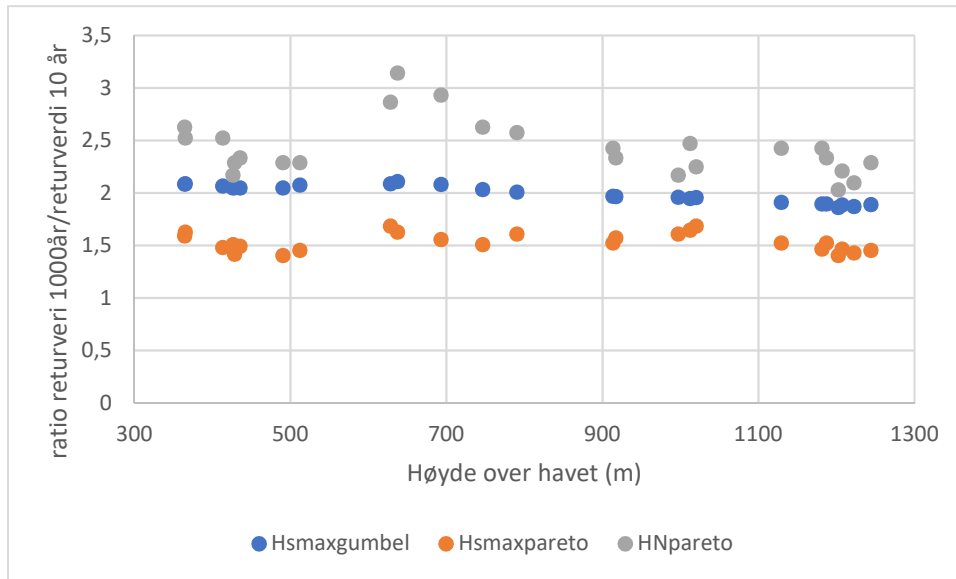


Figur 4.21: Regresjonspunkter for HSmagumbel, Lom



Figur 4.22: Regresjonspunkter for HNpareto, Lom

Som vist i figur 4.23, får vi også for Lom en svak tendens til å halen blir smalere med høyden for HSmagumbel og HSmagpareto. Det gjelder for så vidt HNpareto også, men de nevnte cellene i høyde 600 – 800 meter skiller seg fra denne trenden.



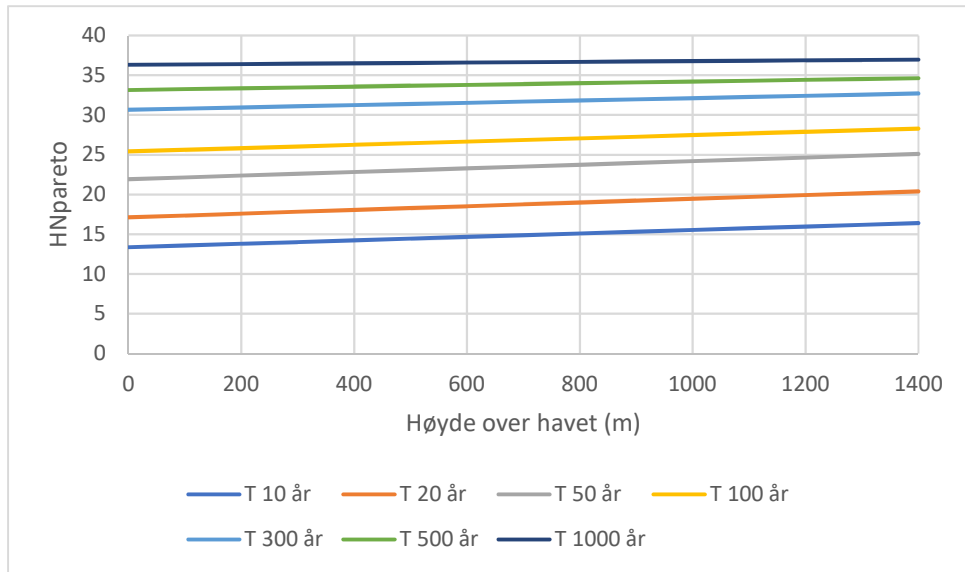
Figur 4.23: Sammenheng mellom halebredde og høyde, Lom

Tabell 4.5 viser interpoleringsfunksjonene til de ulike returperiodene for HNpareto. Vi ser at gradienten blir lavere og lavere med høyere returperiode. I figur 4.24 er interpoleringsfunksjonene tegnet opp for høyder mellom 0 – 1400 meter. Halen til distribusjonen blir smalere med høyden med denne metoden.

Tabell 4.5: Interpoleringsfunksjoner for de ulike returperiodene for HNpareto, Lom

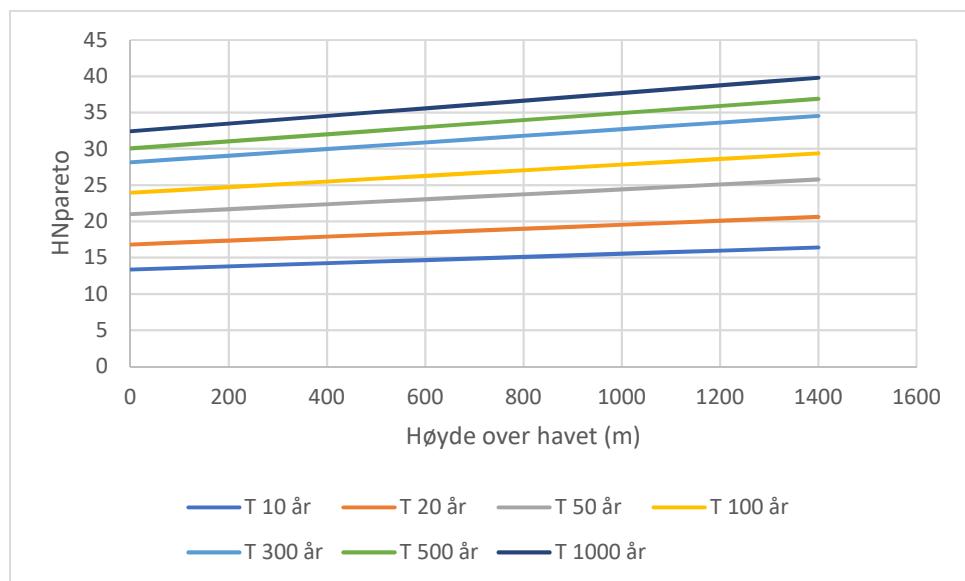
	T 10 år	T 20 år	T 50 år	T 100 år	T 300 år	T 500 år	T 1000 år
skjæringspunkt	13,36545	17,12683	21,9229	25,42267	30,66026	33,14696	36,31049
gradienter	0,00217	0,00233	0,00227	0,00205	0,00146	0,00106	0,00047





Figur 4.24: Interpoleringsfunksjoner for 7 returperioder

I figur 4.25 er interpoleringsfunksjonene for metode 3, med ratioer fra midtcella, tegnet opp, og vi får igjen faste forhold mellom returperiodene.

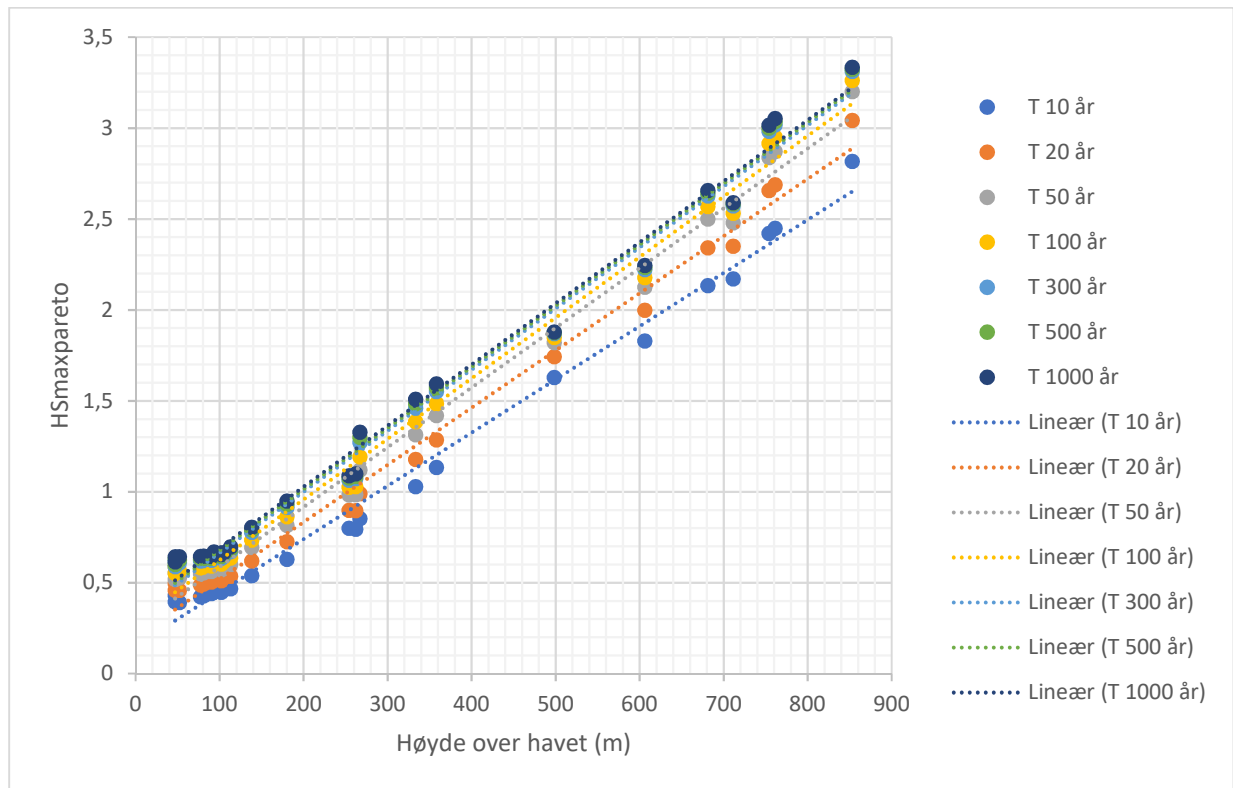


Figur 4.25: Interpolering ved bruk av interpoleringsfunksjon for returperiode 10 år multiplisert med faste ratioer

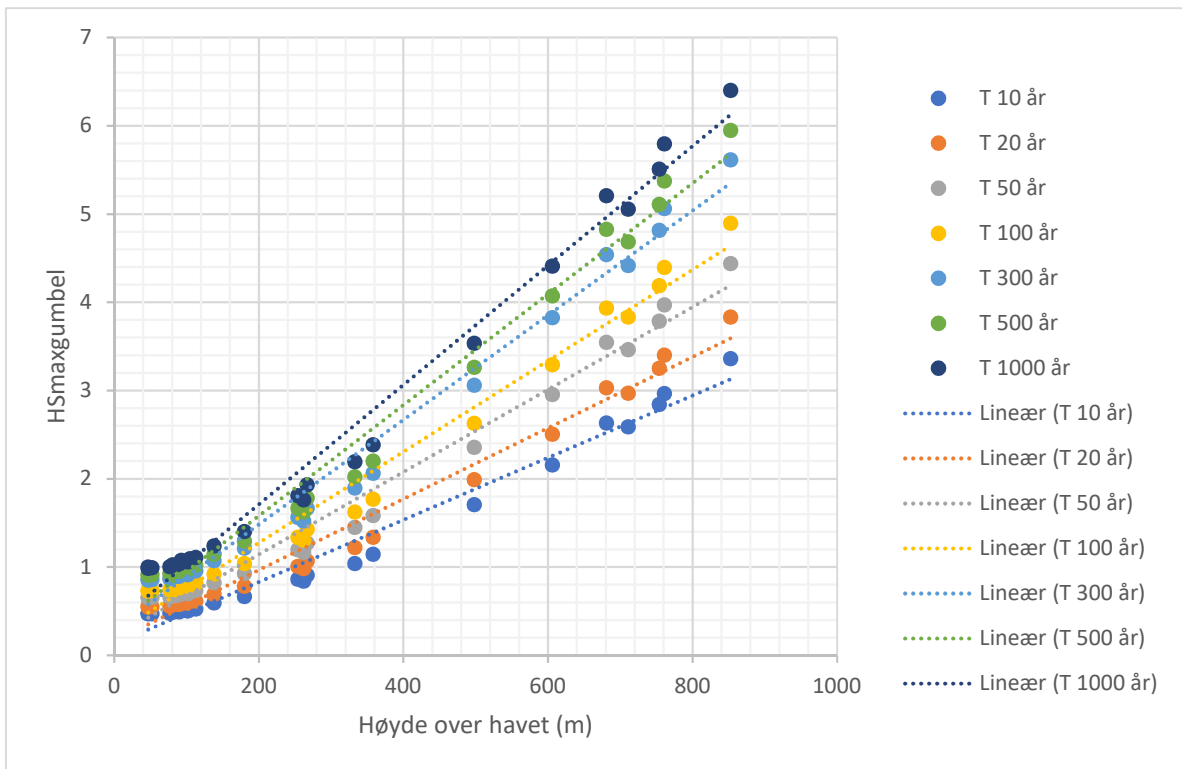
### 4.4.3 Voss

Voss viser store gradienter og tydelig høydekorrelasjon for både HSmaxgumbel og HSmaxpareto. Vi ser imidlertid at mens høyere returperioder har høyere gradienter for HSmaxgumbel, er de omtrent like for alle returperiodene for HSmaxpareto. Dette innebærer for

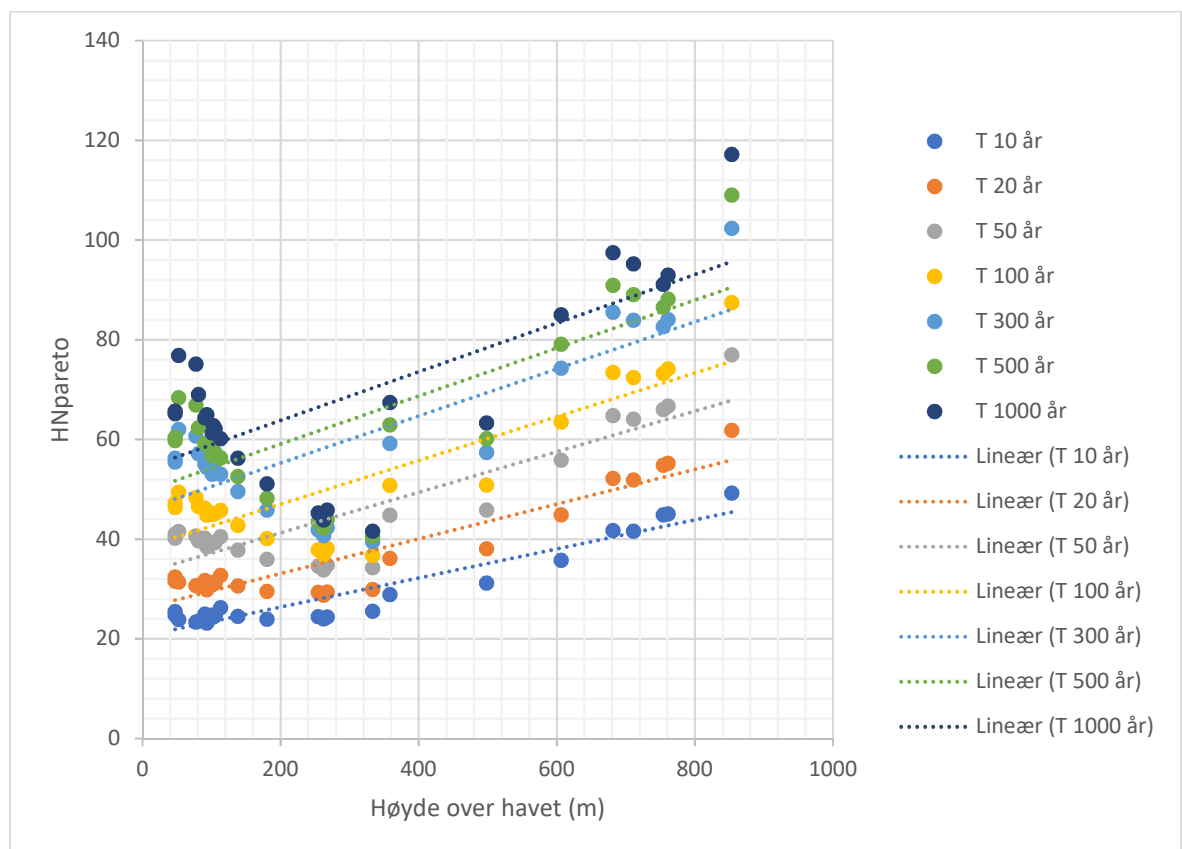
HSmaxpareto at halene blir smalere med høyden. HNpareto viser en tydelig gradient for den laveste returperioden, men halene varierer mye, uten en noen tydelig sammenheng med høyden.



Figur 4.26: Regresjonspunkter for HSmaxpareto Voss

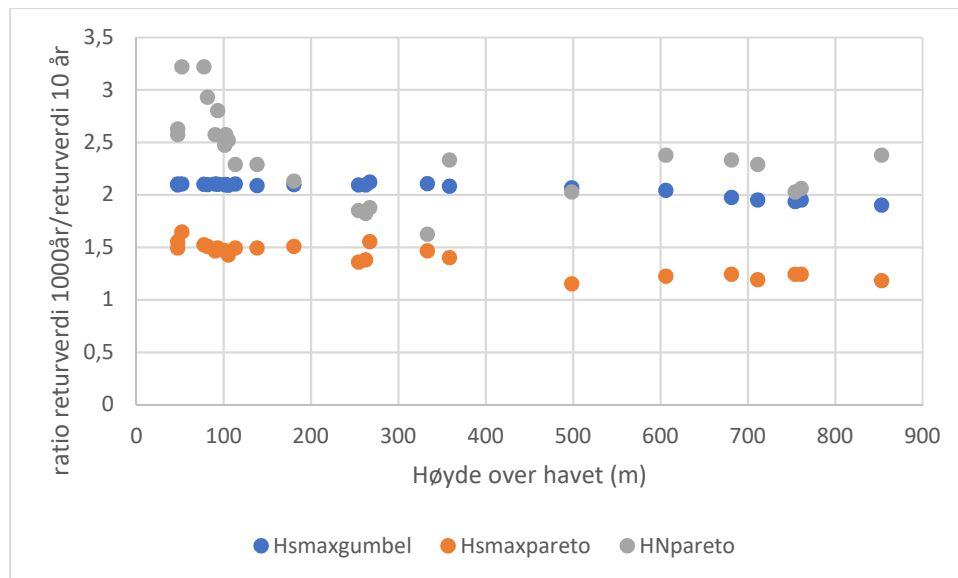


Figur 4.27: Regresjonspunkter for HSmaxgumbel, Voss



Figur 4.28: Regresjonspunkter for HNpareto, Voss

Figur 4.29 viser hvordan halebredden er for de ulike høydene. Vi ser igjen en svak tendens til smalere haler med høyden for begge HSdistribusjonene, mens det for HN synes vanskelig å se noen klar sammenheng.



Figur 4.29: Sammenheng mellom halebredde og høyde, Voss

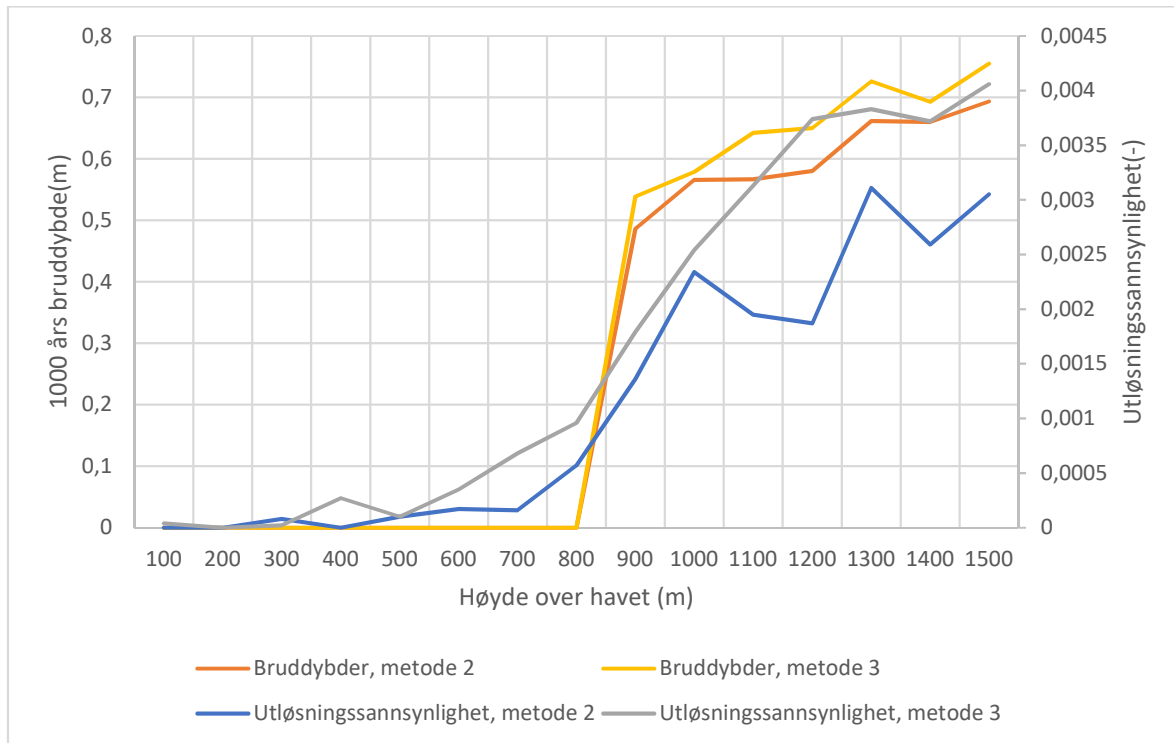
#### 4.4.4 Montecarlo simulering

For Lom, Tromsø og Voss er det testet å kjøre Monte-Carlo simuleringen for stigende høyde fra 0 – 1500 meter med steg på 100 meter. Dette høydespektret er ikke nødvendigvis med utgangspunkt i fjellhøydene i området, men er valgt for å se hvordan utløsnings sannsynligheter og bruddybde endrer seg med høyden.

Det er kjørt 4 simuleringer for hvert sted. Først er det kjørt to simuleringer med paretodistribusjon på både HSmax og HN, mens det er interpoleringsmetode 2 på den ene kjøringen og interpoleringsmetode 3 med gjennomsnittlige ratioer fra alle cellene på den andre. Tanken er å studere hvordan de to interpoleringsmetodene påvirker utløsnings sannsynlighet og 1000 - års bruddybde med høyden. De to påfølgende simuleringene er begge kjørt med interpoleringsmetode 3, men med bruk av HSmaxgumbel på den ene og HSmaxpareto på den andre. Dette for å se effekten av ulik distribusjon for HSmax.

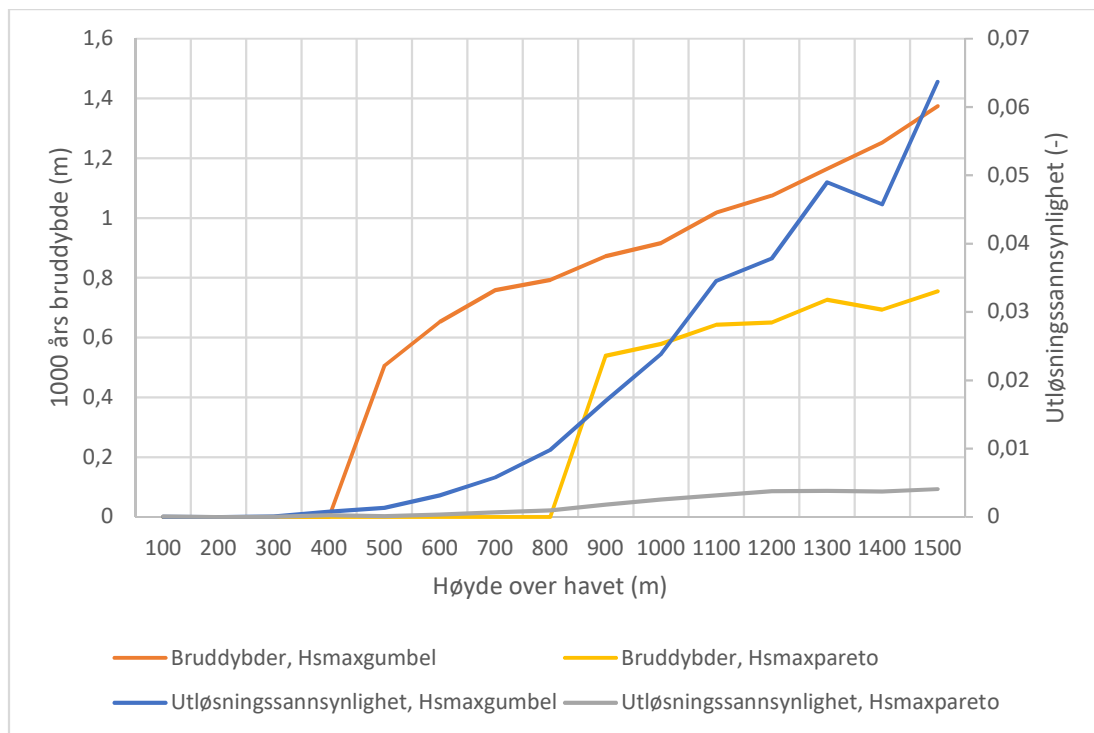
## LOM

Forsøket med ulik interpoleringsmetode er vist i figur 4.30. Interpolering med faste ratioer gir en god del større utløsningssannsynlighet, og noe større bruddybder. For Lom vil interpoleringsmetode 3 gi noe bredere haler på fordelingene til HNpareto, og dette kan være med på å forklare økningen.



Figur 4.30: Monte Carlo – simulering for Lom med to ulike interpoleringsmetoder

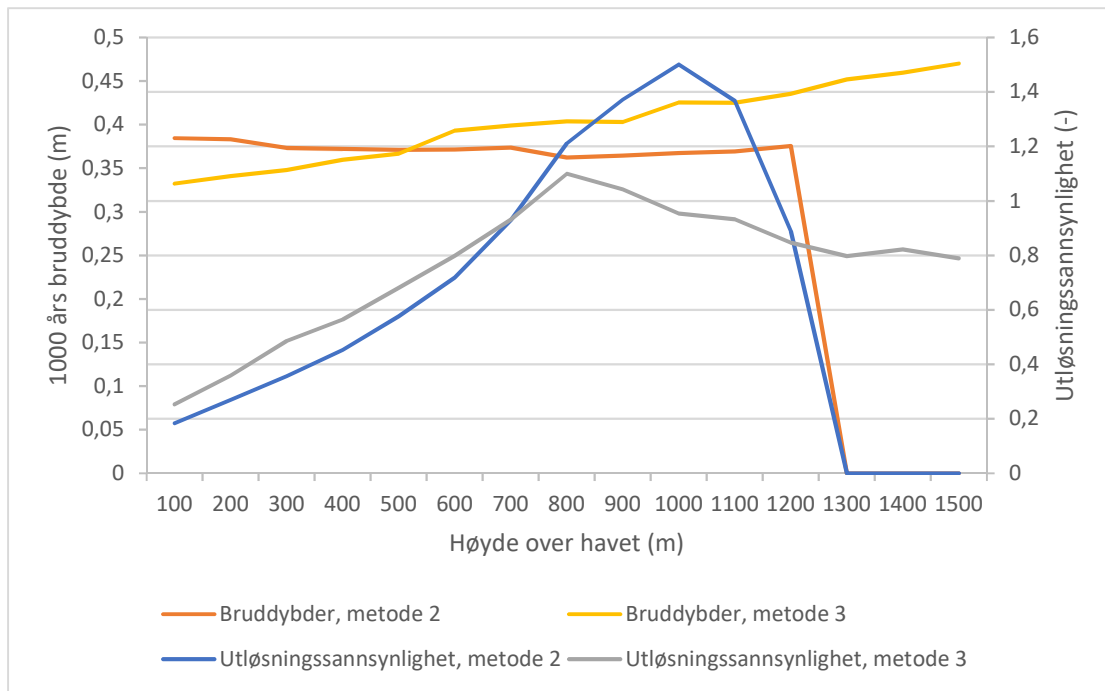
Forsøket med ulik HSmax-distribusjon er vist i figur 4.31. Det kan observeres at HSmaxgumbel gir betraktelig høyere utløsningssannsynligheter og bruddybder enn forsøket med HSmaxpareto.



Figur 4.31: Monte Carlo – simulering med bruk av henholdsvis HSmagumbel og HSmagpareto

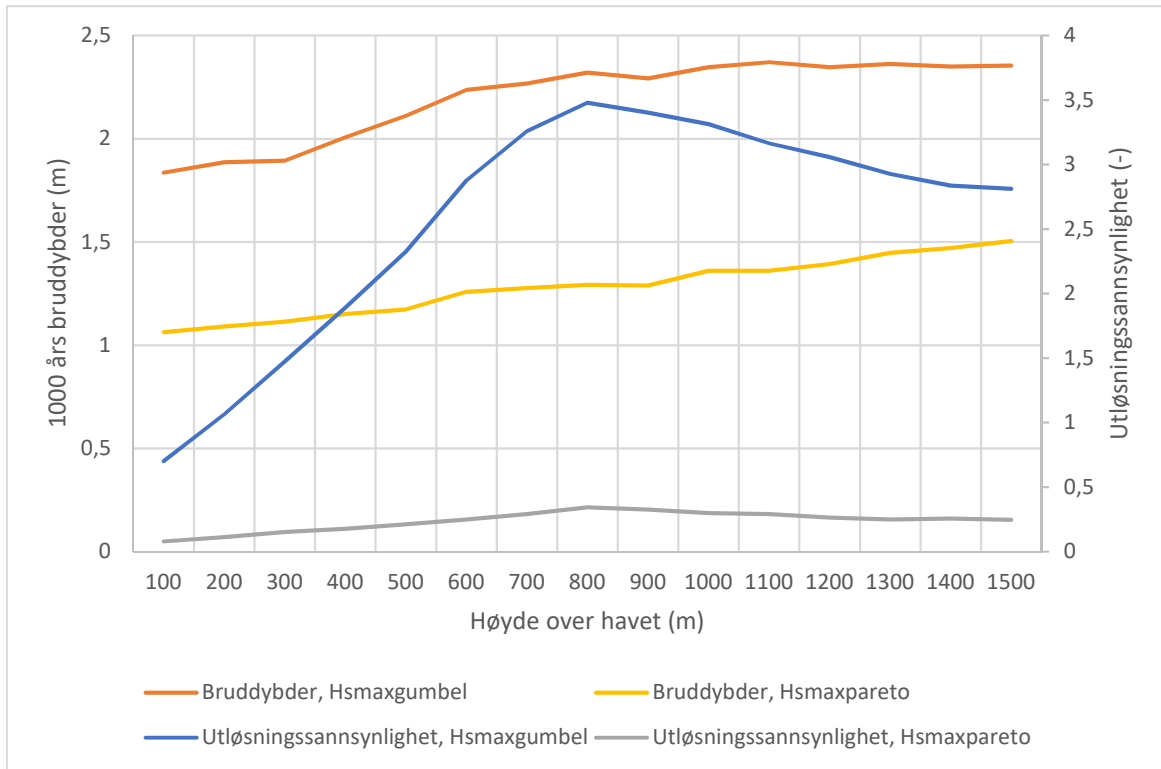
### Tromsø

Forsøket med ulike interpoleringsmetoder er vist i figur 4.32. Det kan observeres et drop til 0 for både bruddybder og utløsningssannsynlighet for metode 2 fra 1300 meter. Dette skyldes at Python får problemer med å tilpasse distribusjon til HSmagpareto for denne høyden, siden den negative gradienten for returperiode 50 år gjør at 50 års returverdi blir lavere enn 10 års returverdi. Følgelig blir ikke Monte Carlo -simuleringen gjennomført. Ellers er det litt uklare tendenser. Bruddybdene for metode 3 blir større for større høyder, men lavere for lave høyder. Mens det motsatte er tilfelle for utløsningssannsynligheten.

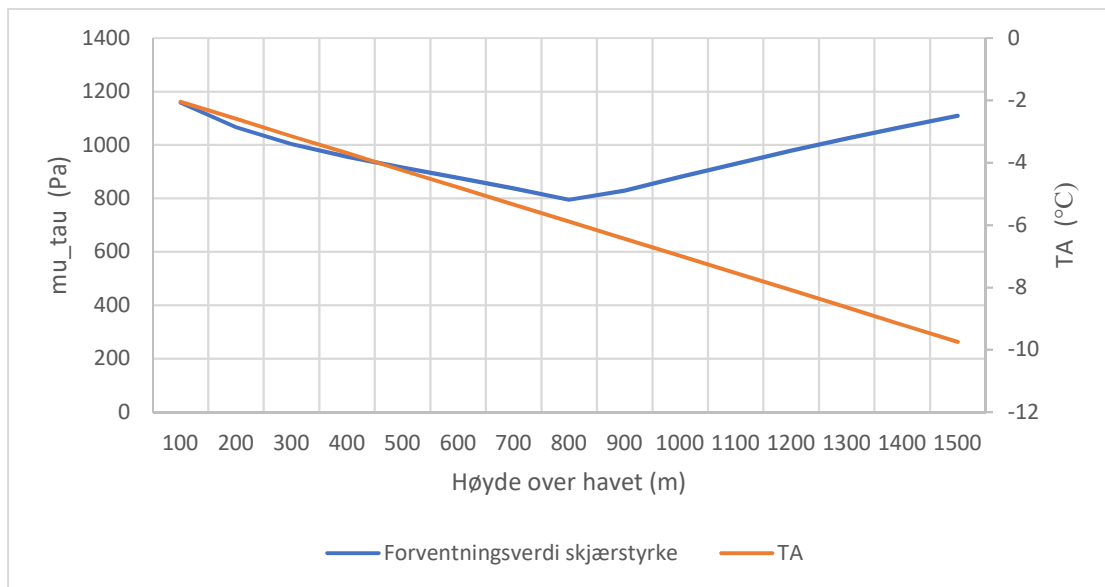


Figur 4.32: Monte Carlo – simulering for Tromsø med to ulike interpoleringsmetoder

Forsøket med ulike distribusjon for HSmax er vist i figur 4.33. Her ser vi betraktelig større utløsningssannsynlighet og bruddybder for HSmaxgumbel. Det blir imidlertid et drop i utløsningssannsynligheten og en utflating av bruddybdene fra ca 800 meters høyde. Hvis vi studerer figur 4.34, kan vi se at dette er høyden hvor TA blir interpolert til -6 grader, som fører til at forventningsverdien til skjærstyrken er på sitt laveste punkt. For høyder større enn dette vil skjærstyrkens forventningsverdi stige igjen. Dette gir utslag i lavere utløsningssannsynlighet. En økning i forventet skjærstyrke skal egentlig gi muligheter for større bruddybder, men som vi ser går veksten av skjærstyrke forholdsvis sakte, slik at det ikke gir særlig utslag på bruddybdene.



Figur 4.33: Monte Carlo – simulering for Tromsø med bruk av henholdsvis Hsmaxgumbel og Hsmaxpareto

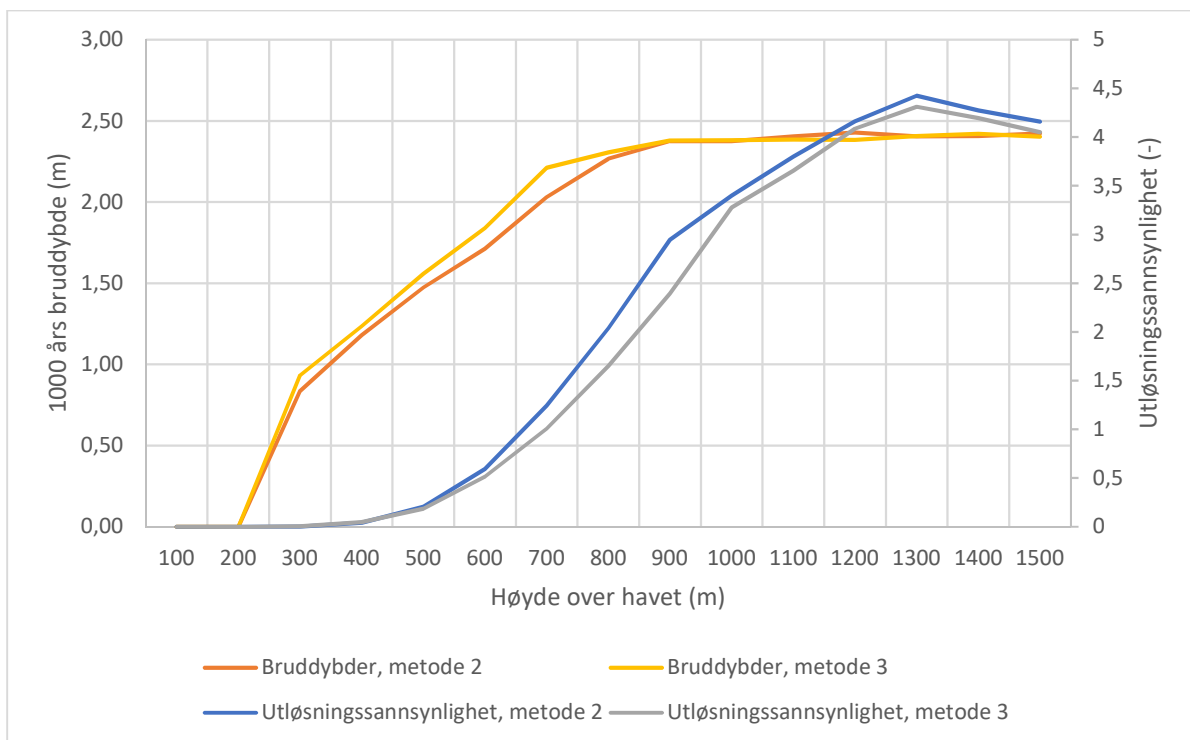


Figur 4.34: Forventet TA og skjærstyrke som funksjon av høyde



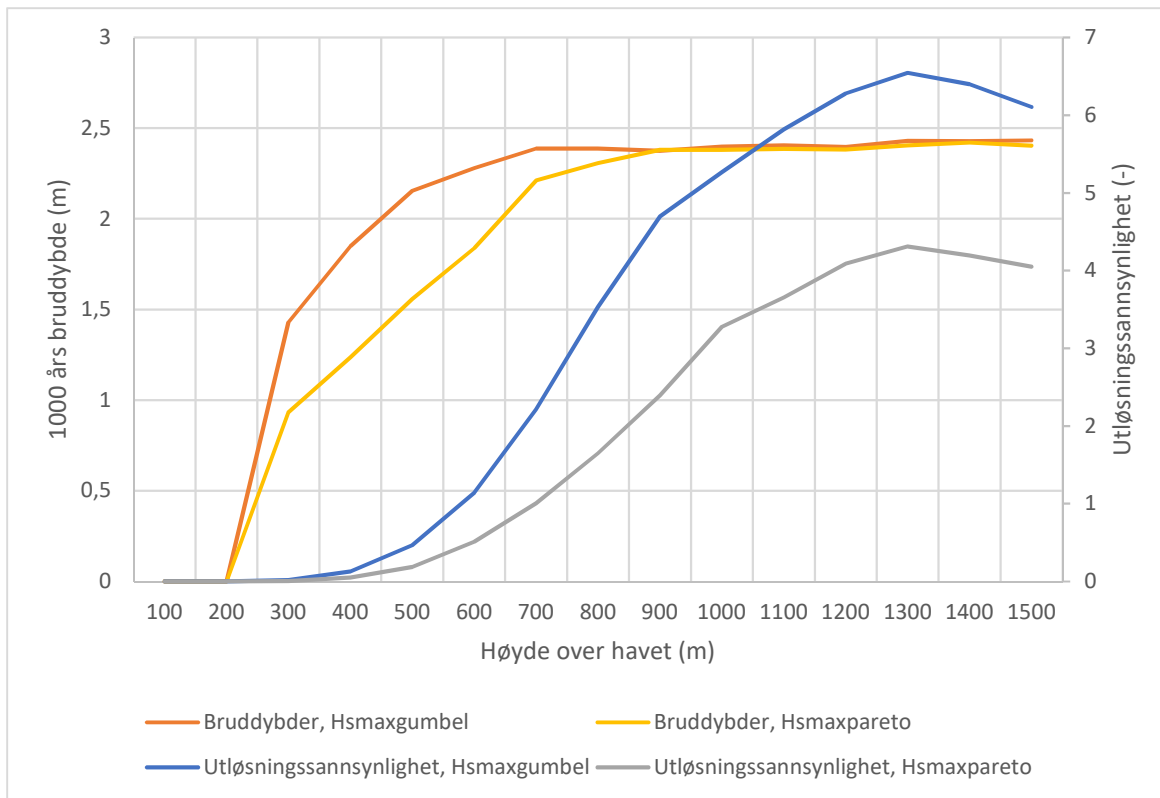
## Voss

Forsøket med to ulike interpoleringsmetoder er vist i figur 4.34. Vi ser forholdsvis like kurver både for utløsningssannsynlighet og bruddybde, men kurvene for interpoleringsmetode 3 gir noe høyere verdier. Man kan imidlertid kjenne igjen utflatingen av kurvene for bruddybde og droppet i kurvene for utløsningssannsynlighet fra resultatene fra Tromsø. Som vi kan se fra figur 4.37, er droppet i utløsningssannsynlighet sammenfallende med høyden hvor skjærstyrkens forventningsverdi begynner å stige igjen. Utflatingen av bruddybdene kommer trolig av at fra en høyde på om lag 800 meter genererer ikke fordelingen for skjærstyrke høye nok skjærstyrkeverdier til å større bruddyber.

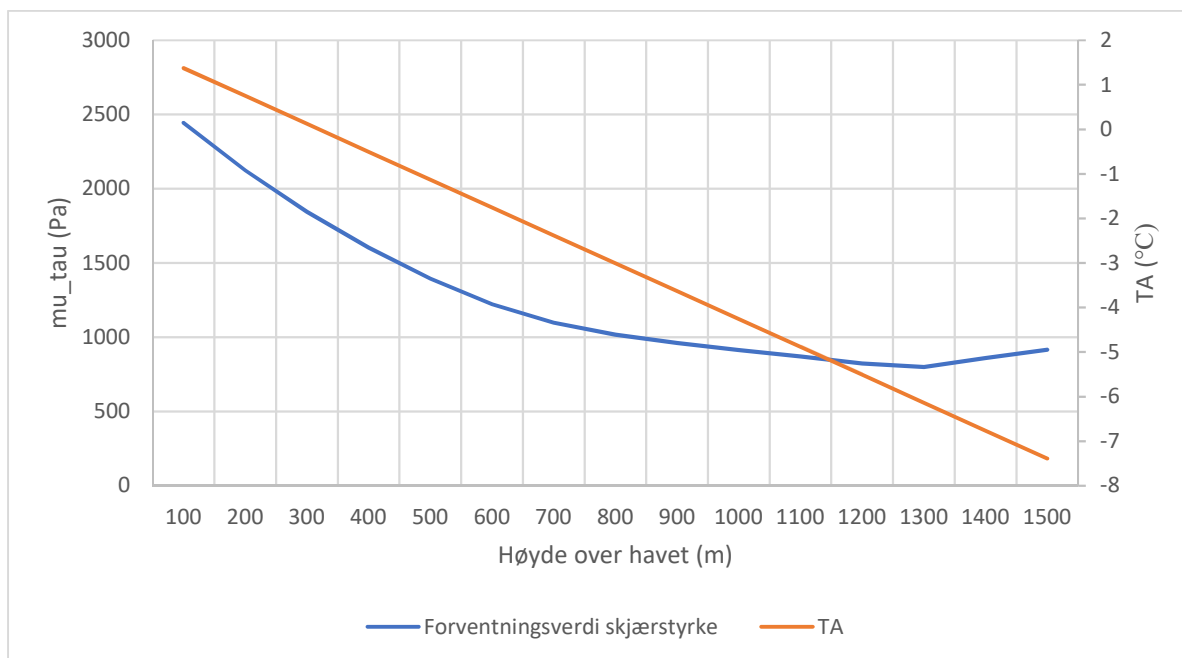


Figur 4.35: Monte Carlo – simulering for Voss med to ulike interpoleringsmetoder

Forsøket med to ulike fordelinger for HSmax er vist i figur 4.35. Vi ser betraktelig større utløsningssannsynligheter for HSmaxgumbel for alle høyder, og større bruddyber for høyder under 800 meter. Vi ser imidlertid både utflating og drop ved bruk av begge distribusjonene.



Figur 4.36: Monte Carlo – simulering for Voss med bruk av henholdsvis Hsmaxgumbel og Hsmaxpareto



Figur 4.37: Forventet TA og skjærstyrke som funksjon av høyde

# 5 Diskusjon

## 5.1 Korrelasjoner

### 5.1.1 Høydegradient

For å studere hvor meningsfylt det er å interpolere HS<sub>max</sub> og HN med høyden, har det blitt sett på høydekorrelasjonene for lav returperiode. Resultatene viser jevnt over høy positiv korrelasjon mellom høyde og HS<sub>max</sub>, altså at HS<sub>max</sub> stiger med høyden. Dette gjelder både for HS<sub>max</sub>pareto og HS<sub>max</sub>gumbel. Korrelasjonen viser seg imidlertid å være høyest for gumbeltilpassede distribusjonen.

HN viser også tegn til korrelasjon med høyden, men denne er mer ujevn. Mens HS<sub>max</sub> har en sterk kobling til temperaturen som synker med høyden som fører til at mer nedbør faller som snø høyere oppe og blir liggende lenger slik at de akkumulerte snømengdene blir større, er HN trolig mer koblet til meteorologiske effekter og som ikke nødvendigvis gir like tydelige tendenser og økning med høyden.

### 5.1.2 Horisontal grad

Med hensyn på interpoleringen i NAKSIN, taler en mulig horisontal gradient for å gjøre utsnittet så lite som mulig. Samtidig må det sørges for å få nok celler til å gjøre en god regresjon, både med tanke på at det er gunstig å få en viss spredning på cellehøydene og at noen celleverdier faller bort siden HS- og HN-kartene ikke gir verdier der det er sjø. Resultatene viser noe lavere korrelasjon med høyden økende horisontal utbredelse av utsnittet se Norge-celler. Det er imidlertid liten forskjell i korrelasjonen på utsnittene 3x3 og 5x5. Med hensyn til at 5x5 gir flere cellehøyder enn 3x3, synes dette å være en mer robust løsning.

### 5.1.3 Halegradient

Et sentralt spørsmål ved høydeinterpoleringen er i hvilken grad distribusjonshalene skal interpoleres. Det har blitt sett tendens til at distribusjonshalene til HS<sub>max</sub> later til å bli noe smalere med høyden. Dette viser seg tydeligst for HS<sub>max</sub>gumbel, men det kan også observeres for

HSpareto. Halene til HNpareto viser i mindre grad tydelig korrelasjon med høyden. Dette medfører at det er noe mer uforutsigbart hvordan distribusjonshalene er tar form for de ulike cellehøydene. Dette kan være med på å forklare at Busengdal (2019) fant tilfeller hvor kvantilfunksjonene til lavere høyder oversteg kvantilfunksjonene til høyere høyder.

Man må altså utvise noe forsiktighet med å interpolere for mye av halen, spesielt med hensyn til HN. En løsning kan her være å kun benytte lavere returperioder i interpoleringen. For HNpareto i Lom ble det problemer i Python å tilpasse en distribusjon med bruk av 7 returperioder (10,20,50,100,300,500,1000 år), mens det lot seg gjøre ved bruk av 3 returperioder (10,20,50 år). Vi får likevel at halen blir smalere med høyden også for 3 returperioder. Denne innsnevringen av halen med høyden skjer på grunn noen celler midt i høydespektret med brede haler, som fører til lavere gradienter med økende returperiode. Man risikerer imidlertid at

Ved å interpolere med faste ratioer (metode 3) sørges det for at halen for noenlunde samme bredde for alle høyder. Her kan det diskuteres om det er mest fornuftig å benytte ratioene til midtcella i utsnittet eller om det er bedre å benytte et gjennomsnitt av ratioene til alle cellene i utsnittet. Ved å benytte midtcella får man ratioer som er koblet til cella utløsningsområdet ligger i. Det imidlertid noe tilfeldig hvilken høyde disse ratioene representerer. Det kan da synes mer robust å benytte et gjennomsnitt av haleratioene i utsnittet, ved at man da får en mer utjevnet representasjon av halen.

#### **5.1.4 Returverdier vs distribusjonsparametere**

Korrelasjonene til paretofordelingens distribusjonsparametere (shape og scale) vs. høyden bekreftet tendensene observert for returverdiene. Dette kan nok kanskje sies å være som forventet, da returverdiene jo er hentet fra de aktuelle distribusjonene. Ved å bruke returverdier har man imidlertid større mulighet til å kontrollere hvordan interpoleringen tar form, i

motsetning til parameterinterpolering hvor den lineære sammenhengen ikke er like tydelig. Det kan da synes som et bedre alternativ å benytte returverdier til høydeinterpoleringen.

## 5.2 Forskjell mellom HSgumbel og HSpareto

Resultatene viser generelt høyere returverdier for alle returperioder for HSmaxgumbel sammenlignet med HSmaxpareto. HSmaxgumbel viser også bredere distribusjonshaler enn HSmaxpareto, som innebærer at forskjellen mellom dem øker med økende returperiode. I tillegg viser også HSmaxgumbel høyere korrelasjon med høyden.

At disse distribusjonene blir såpass ulike til tross for at de er basert på de samme klimakartene er noe bemerkelsesverdig. Samtidig kan det tenkes at dette er en konsekvens av måten distribusjonstilpasningen skjer på. HSmaxpareto er tilpasset med peak-over-threshold mens HSmaxgumbel er tilpasset med blokkmaksimumsmetoden, noe som fører til at fordelingene ikke tilpasses nøyaktig de samme verdiene. I tillegg ligger det i Gumbeldistribusjonen at shapeparameteren er lik 0, i kontrast til den generaliserte paretofordelingen hvor shapeparameteren er justerbar etter hva som gir den beste tilpasningen til dataene. Følgelig vil man kunne få ganske stor variasjon i halebredde for de paretotilpassede verdiene, mens de gumbeltilpassede verdiene viser mindre variasjon i halebredde.

Tidligere uttesting av NAKSIN viser jevnt over overestimering av skredenes returperioder (underestimering av sannsynlighet) og underestimering av bruddhøyder (Busengdal 2019). Da HSmaxgumbel altså vil gi høyere verdier enn HSmaxpareto for alle returperioder, vil dette trolig føre til en betydelig økning i skredsannsynlighet og brudddybder. Utløsningssannsynlighetene og brudddybdene man får er imidlertid også avhengig av utformingen likningen for skjærstyrke. Utløsningssannsynligheten vil trolig øke direkte som en konsekvens av høyere snødybder fra HSmaxgumbel, mens for å få store brudddybder, kreves det også tilstrekkelig skjærstyrke.

### **5.3 Utløsningssannsynligheter og bruddybder som funksjon av høyde**

Monte Carlo – simuleringene for Lom, Tromsø og Voss viser at valg av interpoleringsmetode spiller inn på utløsningssannsynlighetene og bruddybdene man får. Generelt ser det ut til at interpolering med faste ratioer gir både høyere utløsningssannsynligheter og bruddybder. Hvordan forskjellene blir kommer imidlertid an på flere forhold. Dersom forventningsverdien til skjærstyrken blir for lav etter en viss høyde, kan dette være med å begrense bruddybdene. Utløsningssannsynligheten vil likevel fortsette å stige til TA når -6 grader, hvor utløsningssannsynligheten vil synke igjen som følge av høyere skjærstyrke. Økningen i skjærstyrke som kommer etter denne høyden ser imidlertid ut til å være for lav til å gjøre noe særlig forskjell på beregningen av bruddybde.

## 6 Oppsummering

### 6.1 Oppsummering og konklusjoner

Slik NAKSIN er utformet, består mange av modellene av forholdsvis betydelige forenklinger og antakelser. Dette har blitt gjort enten av mangel på bedre modeller eller av praktiske hensyn med tanke på programmeringen. Som en konsekvens har vi at NAKSIN i varierende grad beskriver den fysiske virkeligheten. Sagt på en annen måte, er det foreløpig slik at man forsøker å få resultatene fra NAKSIN til å passe med det kunnskap og erfaringer man har, fremfor at man tilegner seg ny kunnskap gjennom NAKSIN. Med dette som utgangspunkt, er det trolig viktigere at modellene man benytter har tydelige og konsekvente forhold, enn at man søker å få dem til å gjenskape virkeligheten i størst mulig grad.

Ved å studere distribusjonenes returverdier, har der vist seg at interpolering på disse gir noen av de samme utfordringene som ved parameterinterpolering. For å få en oversiktlig høydeinterpolering, synes det fornuftig å benytte metoden hvor man henter høydegradient fra en lav returperiode (eksempelvis 10 år), som man så multipliserer med gjennomsnittlige ratioer for utsnittet.

Resultatene har vist at til en tilpasning av Gumbeldistribusjon til HSmax både gir både høyere korrelasjon med høyde, høyere returverdier og bredere distribusjonshale en HSmax tilpasset en generalisert pareto-distribusjon. Hvorvidt Gumbelfordelingen gjenspeiler de årlig maksimale snødybdene i bedre grad enn paretofordelingen med hensyn på virkeligheten er et annet studie, men tatt i betraktning at NAKSIN generelt har vist seg å gi for lave utløsningssannsynligheter og bruddybder, kan det synes å være et godt valg å benytte Gumbelfordelingen

Det har også blitt studert hvordan høydeinterpoleringen av HSmax og HN kombinert med høydeinterpoleringen til skjærstyrken påvirker utløsningssannsynlighet og bruddybde med høyde. For de tre områdene dette ble undersøkt for, ser vi at de maksimale bruddybdene nås ved en forholdsvis lav høyde. Dette kan også være en bidragsyter til at det har blitt observert lave bruddybder i mange av testene av NAKSIN, og det kan være et grunnlag for å endre likninga for skjærstyrken.

## 6.2 Videre arbeid

NAKSIN er et modelleringsverktøy med mange sammensatte prosesser med som studeres med ganske forenklede modeller. Det vil følgelig være mye man kan jobbe med for å utbedre verktøyet.

Det er foreløpig ikke implementert modellering av vindeffekter i programmet. Dette er noe det kan jobbes med å modellere. Vind kan transportere enorme mengder snø, og spiller følgelig en sentral rolle innen snøskred. Spesielt med hensyn til områder hvor det forholdsvis sparsomt med nedbør, slik som Lom, ville en vindmodell kunne ha en stor påvirkning.

Ligningen for bestemmelse skjærstyrke er per nå etablert på grunnlag av forholdsvis gammel forskning. Det kan også sies at det muligens er en uforholdsmessig komplisert modell tatt i betraktning at den hviler på forholdsvis usikre antakelser. Sånn sett kunne det kanskje vært interessant å studere bruken av en enklere modell hvor man kanskje kan få tilsvarende resultater med en enklere ligning hvor man har mer kontroll på sammenhengen.

Det brukes i dag Monte Carlo simulering for å evaluere utløsningssannsynligheten. Denne metoden kan være svært tidkrevende, spesielt dersom man skal undersøke stor områder. Som et alternativ kan det være interessant å teste ut hvordan implementering av FORM (first order reliability method) eller FOSM (first order, second moment) ville fungert, med hensyn til effektivitet og utløsningssannsynlighet.



# Litteraturliste

Busengdal, M. (2018). *Validering og testing av nye aktsomhetskart for snøskred i Norge (NAKSIN)*. Hentet fra <https://www.duo.uio.no/handle/10852/70034>

Christen M., Kowalski J. og Bartelt P. (2010). RAMMS: Numerical simulation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain. *Cold Regions Sci. Technol.*, 63(1-2), 1–14

Derron, M.H. og Sletten K. (2016). Method for the susceptibility mapping of snow avalanches in Norway, Technical report. techreport 2016.032, Geological Survey of Norway (NGU) and Institute of Geomatics and Risk Analysis (IGAR), University of Lausanne, Lausanne, Switzerland, revised edition

Engeset, R. (2016). Hvordan lages vær- og snødata for seNorge.no og XGEO.no. Hentet fra [https://www.nve.no/Media/4813/weatherandsnowdata\\_v2\\_no.pdf](https://www.nve.no/Media/4813/weatherandsnowdata_v2_no.pdf)

Issler, D., Gauer, P., Gisnås, G. K. og Domaas, U. (under utarbeidelse). Approaches to including forest effects in avalanche hazard indication maps in Norway.

Lied, K. og Kristensen, K. (2003). *Snøskred - Håndbok om snøskred*. Oslo: Vett & viten AS i samarbeid med NGI, Norges geotekniske institutt

Lied, K. & Bakkehøi, K. (1980). Empirical calculations of snow-avalanche run-out distance based on topographic parameters. *Journal of Glaciology*, 26(94), 165-177.

Lussana, C. et al. (2018). seNorge2 daily precipitation, an observational gridded dataset over Norway from 1957 to the present day. *Earth Syst. Sci. Data*, 10, 235–249

Mellor, M. og Smith, J.H. (1966). Strength studies on snow. *International Symposium on Scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches*, 5–10 April 1965, Davos, Switzerland: Reports and Discussions, 100–113, Intl. Association of Hydrological Sciences, IAHS Publication nr. 69

Mellor, M. (1975). A review of basic snow mechanics. In Snow Mechanics (Proceedings of the Grindelwald Symposium April 1974), IAHS Publ. no. 114, 251–291, IAHS Press, Institute of Hydrology, Wallingford, Oxfordshire, UK

Olje - og energidepartementet. (2012). Hvordan leve med farene - om flom og skred (Meld. St. 15 (2011-2012)). Hentet fra <https://www.regjeringen.no>

Plan- og bygningsloven. (2008). Lov om planlegging og byggesaksbehandling (Plan- og bygningsloven). Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>

Ragulina, G. og Taurisano, A. (2014). Hvordan beregne ekstremverdier for gitte gjentakintervaller? (Rapport nr. 22/2014). Hentet fra [http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014\\_22.pdf](http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_22.pdf)

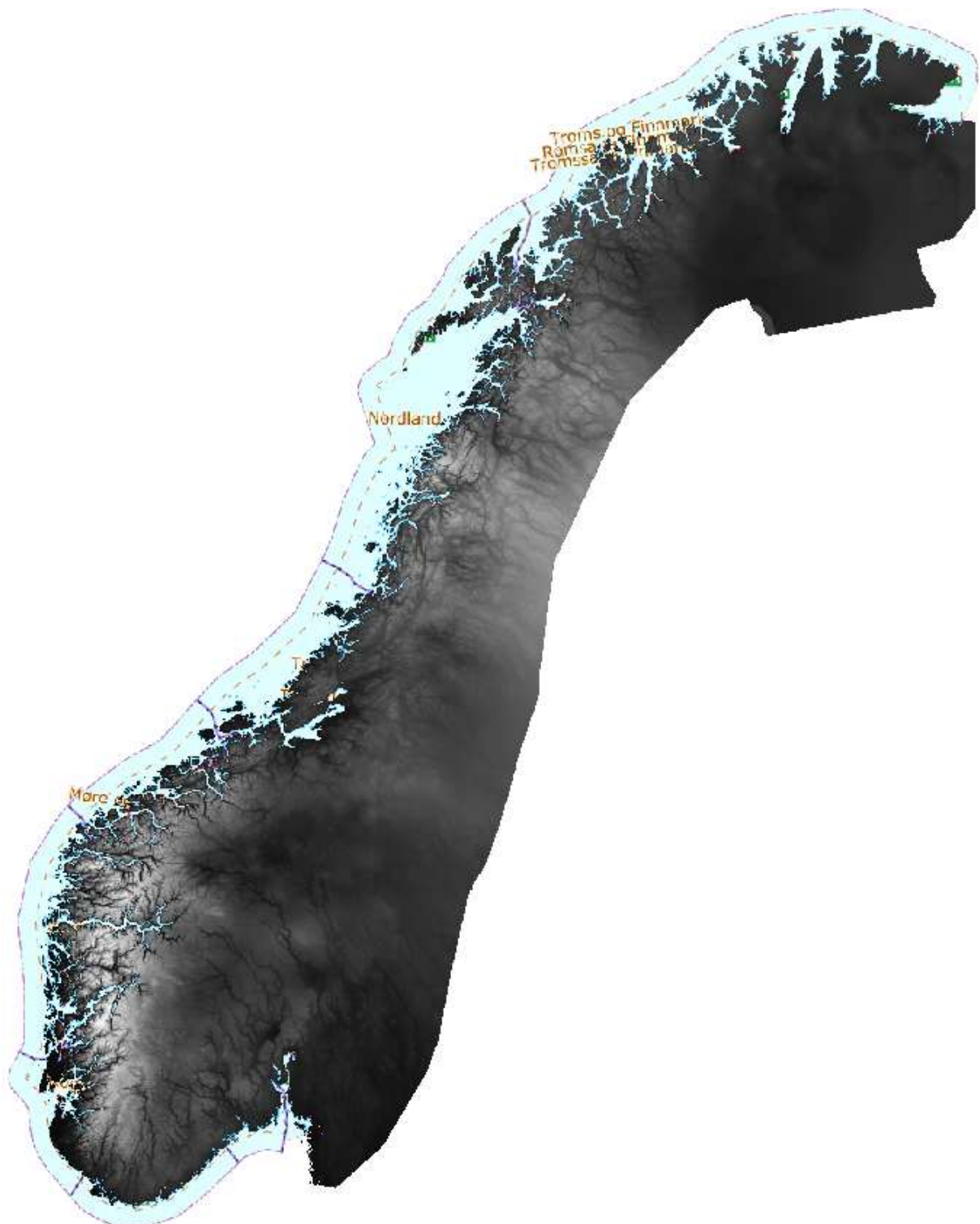
TEK17 (2017). Forskrift om teknisk krav til byggverk (Byggteknisk forskrift). Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840>

# Vedlegg A

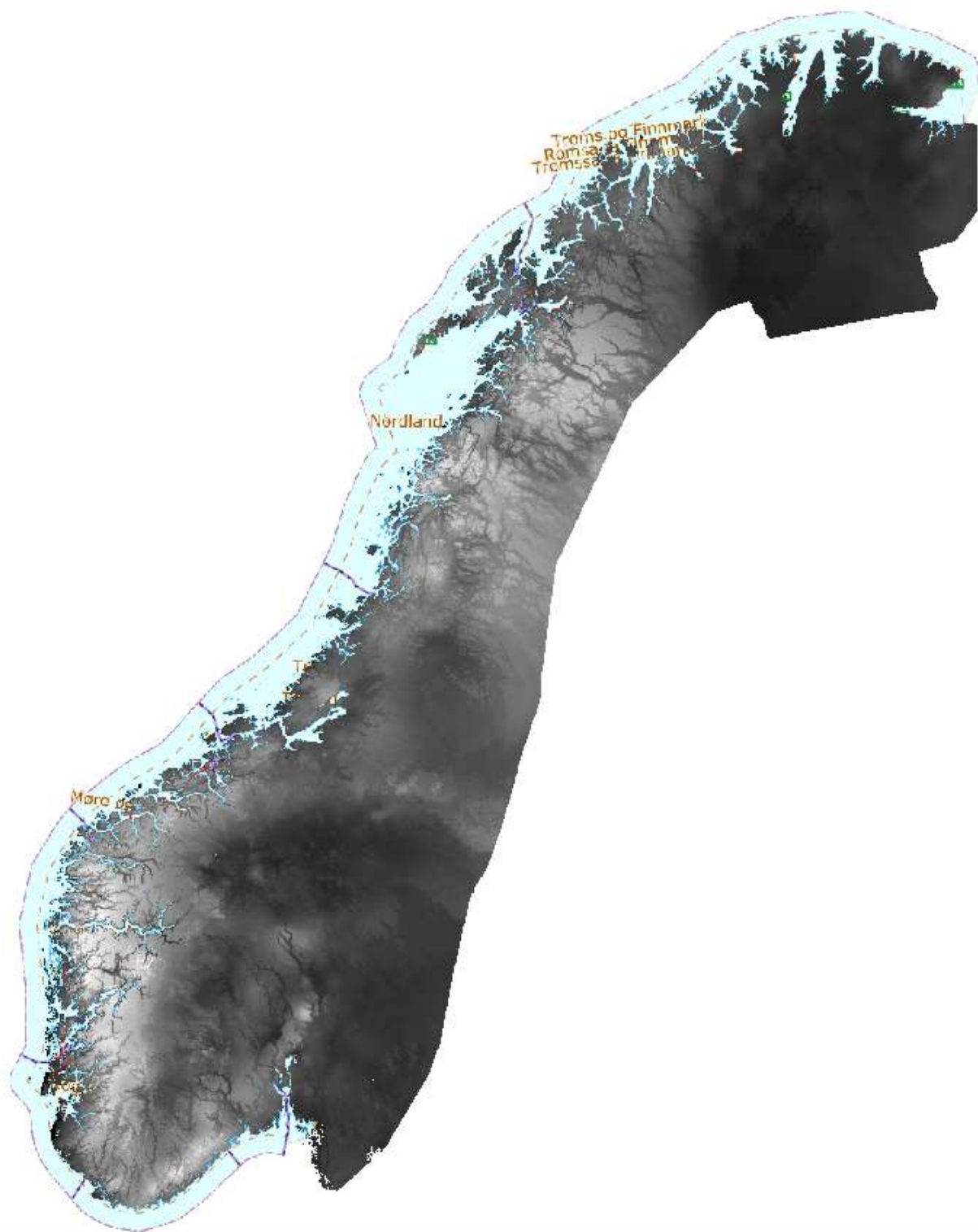
## Klimakart

Årlig maksimal snødybde (HSmax)

(Jo hvitere, jo større dybde)



3-døgns nedbør (HN)  
(jo hvitere, jo mer nedbør)



Gjennomsnittlig vintertemperatur (TA)

(Jo hvitere, jo kaldere)



# Vedlegg B

## Mappeplasseringer av script og resultater på NGI's interne disk:

### Scriptmapper

#### *Generelle studier*

Høydekorrelasjoner:

P:\2015\04\20150457\Masteroppgave\_KBA\generelt\2høydeinterpolering

Horisontal gradient:

P:\2015\04\20150457\Masteroppgave\_KBA\generelt\1horisontal\_gradient

Halegradienter:

P:\2015\04\20150457\Masteroppgave\_KBA\generelt\3haleratios

#### *Områdestudier*

P:\2015\04\20150457\Masteroppgave\_KBA\studieområder\Lom

P:\2015\04\20150457\Masteroppgave\_KBA\studieområder\Voss

P:\2015\04\20150457\Masteroppgave\_KBA\studieområder\Tromsø

### Resultater

#### *Generelle resultater*

P:\2015\04\20150457\Masteroppgave\_KBA\Resultater\vertikal gradient

P:\2015\04\20150457\Masteroppgave\_KBA\Resultater\horisontal gradient

P:\2015\04\20150457\Masteroppgave\_KBA\Resultater\haleratios

#### *Områderesultater*

P:\2015\04\20150457\Masteroppgave\_KBA\Resultater\tromsø

P:\2015\04\20150457\Masteroppgave\_KBA\Resultater\voss

P:\2015\04\20150457\Masteroppgave\_KBA\Resultater\lom

# **Vedlegg C**

## **Brukermanual for NAKSIN**

Til: Norges Vassdrags- og Energidirektorat  
v/ Eli Katrina Øydvin  
Kopi til:  
Dato: 2018-10-01  
Rev.nr. / Rev.dato: 1 / 2019-08-29  
Dokumentnr.: 20150457-07-TN  
Prosjekt: Nye aktsomhetskart snøskred  
Prosjektleder: Ulrik Domaas  
Utarbeidet av: Katrine Mo, Kjersti Gisnås, Marte Flaate Busengdal og Dieter Issler  
Kontrollert av: Ulrik Domaas

---

## Brukermanual for NAKSIN versjon 2019-03-15

### Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Oversikt over NAKSIN-systemet</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Klargjøring av data</b>	<b>4</b>
3.1	Kartleggingsområde	5
3.2	Tilrettelegging av raster-data	6
<b>4</b>	<b>Hvordan sette opp en simulering i NAKSIN?</b>	<b>10</b>
4.1	Klargjøring for programkjøring	10
4.2	Klargjøring av prosjektinformasjon	11
4.3	Start programmet	17
<b>5</b>	<b>Visualisering av data i ArcGIS</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>Når ting ikke går som de skal</b>	<b>21</b>

### Kontroll- og referanseside



## 1 Innledning

Denne brukermanualen gjelder for NAKSIN (Nye Aktsomhetskart for Snøskred i Norge) versjon 3 2019-08-09 og inkluderer en rask introduksjon til klargjøring av input data i ArcMap, kjøring av programmet og visualisering av resultater. For at brukeren skal ha en forestilling av hva som foregår “bak kulissene”, beskrives det i korte trekk i avsnitt 2 hvordan NAKSIN 3 finner mulige utløsningsområder, beregner utløsnings-sannsynligheter og simulerer utløpsdistansene for å så komme til et samlet aktsomhetskart for snøskred.

Gjennom hele manualen brukes det typewriter font for å vise input fra brukeren. Enter-knappen indikeres med <Enter>. <Ctrl>+Z betyr at man skal holde ned Ctrl-knappen og skrive Z. Navn til mapper skrives med kursiv skrift (*Tjoflotviki*).

## 2 Oversikt over NAKSIN-systemet

NAKSIN (Nye AktsomhetsKart for Snøskred I Norge) er en metodikk og et program for å lage aktsomhetskart for snøskred i et begrenset område (typisk 10–1000 km<sup>2</sup> om gangen). Formålet er å lage et kart som gir et mer nyansert og detaljert bilde av snøskredfare enn de nåværende kartene, som ble utarbeidet etter en fullstendig automatisert GIS-analyse for omtrent ti år siden og refereres til som AKS2009 i dette dokumentet. I NAKSIN genereres aktsomhetskartet semi-automatisk, dvs. brukeren (en snøskredesk-pert) bestemmer en rekke parametere i starten, deretter kjøres programmet uten videre input fra brukeren til det ferdige resultatet. Dersom simulering av visse skred endte med feil, får brukeren mulighet til å rette feilene manuelt før kartet genereres.

De hovedsakelige forskjellene mellom metodikken til det nåværende, landsdekkende aktsomhetskartet og NAKSIN er følgende:

- AKS2009 benytter utelukkende terrengegenskaper, mens NAKSIN tar hensyn til klima og vegetasjon gjennom utløsningssannsynligheten for snøskred, friksjonsparametere i utløpsberegningen og skogens bremseeffekt på snøskred i bevegelse.
- Den statistisk-topografiske utløpsmodellen  $\alpha$ - $\beta$  er erstattet med en dynamisk kvasi-3D modell, MoT-Voellmy. Friksjonsparametere i modellen avhenger bl.a. av klimaforholdene og skogegenskaper.

NAKSIN er i stor grad uavhengig av plattform (datamaskinens driftssystem kan være GNU/Linux, MS Windows eller MacOS X<sup>1</sup>) og GIS. Programmeringsspråket er Python 3, og det brukes kun programvare med åpen kildekode (med unntak av det grunnleggende C-biblioteket MSVCRTxy.dll for MS Windows-systemer. Dette er fritt nedlastbart fra Microsofts nettsted). Skredsimuleringsprogrammet MoT- Voellmy leveres som kjørbart fil som en del av NAKSIN. Til forberedelse av inngangsdata til NAKSIN og til

---

<sup>1</sup> Foreløpig ikke testet.

utarbeidelse av symbolisert aktsomhetskart med bakgrunnskart vil brukeren benytte seg av et GIS. NAKSIN leser og skriver rasterdata i publiserte formater (ESRI ASCII Grid eller BinaryTerrain 1.3), som kan behandles i de fleste kommersielle så vel som Open-Source GIS.

Arbeidsflyten til et aktsomhetskart for et avgrenset område består av følgende steg:

#### *Steg 0: Forberedelser (utenfor NAKSIN)*

- ↗ Tilrettelegging av området som skal kartlegges (polygon i ESRI shapefile-format)
- ↗ Avgjørelse om størrelsen av prosessområdet (omfatter alle skredbanene som muligens kan true kartleggingsområdet)
- ↗ Tilrettelegging av klimadata og tilstrekkelig store utsnitt av digital høydemodell (DTM) og skogsdata
- ↗ Valg av verdiene til en rekke parametere som skrives i en styringsfil (i rent tekstformat) etter en mal

#### *Steg 1: Innhenting av simuleringsparametere*

- ↗ De nødvendige bibliotekene og modulene lastes inn.
- ↗ Styringsfilen leses og kontrolleres.

#### *Steg 2: Prosessområde*

- ↗ Kartleggingsområdet leses inn.
- ↗ Terrengmodell, klimadata og skogsdata klippes ut for kartleggingsområdet med en buffersone som brukeren hadde valgt i Steg 0.
- ↗ Klimadata nedskaleres fra SeNorge-griddet (1 km<sup>2</sup>) til DTM-griddet (typisk 100 m<sup>2</sup>).

#### *Steg 3: Finne potensielle utløsningsområder*

- ↗ Alt terreng med helning og krumning mellom grenser valgt av brukeren
- ↗ Celler i utløsningsområdet der kronedekning er større enn en helningsavhengig grenseverdi utelukkes.
- ↗ “Utstikkere” og “flaskehals” elimineres i en iterativ prosess.
- ↗ Små “hull” i utløsningsområdene fylles.
- ↗ Sammenhengende arealer identifiseres og nummereres.
- ↗ Områder som er mindre enn en nedre terskelverdi valgt av brukeren elimineres.
- ↗ Områder som er større enn en øvre terskelverdi valgt av brukeren deles opp etter nedbørfelt.
- ↗ Sammenhengende arealer identifiseres og nummereres på nytt.

#### *Steg 4: Estimat av utløsningssannsynlighet og bruddhøyde for hvert utløsningsområde*

- ↗ Sannsynlighetsfordelingsfunksjoner (PDFer) for skjærstyrke i det svake laget, posisjon av det svake laget i snødekket, snøhøyde og nysnømengde på tre døgn settes opp, med parametere som avhenger av det regionale klimaet og høyde over havet.

- Et enkelt bruddkriterium basert på helning, skjærstyrke og last på det svake laget brukes for å finne utløsningssannsynlighet og bruddhøyde (for et skred med gitt frekvens – vanligvis 0,001 pr. år). Det brukes Monte Carlo-teknikker og parallell prosessering (dersom datamaskinen har flere prosessorkjerner) til å beregne disse verdiene.
- Alle utløsningsområdene med lavere frekvens enn nevnt terskelverdi elimineres.

#### *Steg 5: Simulering av skredutløp*

- For hvert utløsningsområde som er igjen etter Steg 4 settes det opp inngangsdata for simulering med MoT-Voellmy.
- Simuleringer med MoT-Voellmy utføres med parallell prosessering.

#### *Steg 6: Oppbygging av aktsomhetskart*

- For hver gridcelle i prosessområdet legges rasterfilene fra simuleringene med MoT-Voellmy over hverandre og telles det i hvor mange simuleringer den maksimale flyte- eller avsetningshøyden er større enn en terskelverdi (typisk 0,1 m) valgt av brukeren. Celler med summert verdi 0 treffes ikke av snøskred med den gitte årlige sannsynligheten. Celler med summert verdi større enn 1 kan treffes av skred fra flere utløsningsområder.
- En rasterfil med antall treff i hver celle skrives ut i ESRI ASCII Grid eller BinaryTerrain 1.3 format.

#### *Steg 7 (utenfor NASKIN): Ferdigstilling av aktsomhetskartet*

- Brukeren kombinerer rasterfilen fra NAKSIN med det foretrukne bakgrunnskartet og symboliserer kartet som ønsket.
- Brukeren kontrollerer utstrekningen av fareområdene kritisk på grunnlag av skredfaglig kompetanse og lokalkunnskap, særlig i lys av kjente skredhendelser i området. Ved behov korrigeres kartet. Om ønskelig kan resultatet ytterligere forbedres ved feltarbeid.

## **3 Klargjøring av data**

Før klargjøringen av data begynner, sett opp en ryddig og oversiktlig mappestruktur for området du skal kartlegge. Dette kan gjøres på ulike måter, det som er viktig er at alle potensielle brukere har god oversikt. I dette eksempelet er det *Tjoflotviki* som skal undersøkes, og en mappe med navn *Tjoflotviki* lages under mappen *Aktsomhetskart*. Under denne mappen skal brukeren lagre inputdata og skal NAKSIN lagre simuleringresultater. Selve NAKSIN programmet (naksin3.py) samt skredsimuleringsprogrammet MoT-Voellmy.2018-03-22.exe (for MS Windows) eller MoT-Voellmy.2018-03-21 (for Linux, MacOS X) ligger i mappen *NAKSIN\_3*.

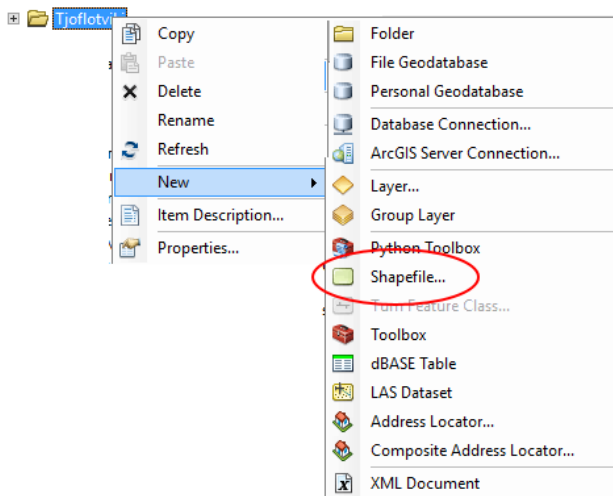
Data som skal brukes i NAKSIN må først klargjøres, og dette skjer enklest i GIS. For brukere av ESRI ArcMap gis det et sammendrag av hvordan dette kan gjøres. Alternative GIS-løsninger har tilsvarende metoder. Input-dataene inkluderer:

- **Kartleggingsområde** i form av en polygon lagret som shape-fil. I dette eksempelet heter den `HMA.shp`.
- **Digital terrengmodell** (DTM) som dekker et område på 1–3 km rundt kartleggingsområdet. Danner grunnlag for å finne mulige utløsningsområder og kjøring av snøskredmodell. I dette eksempelet heter filen `dem.asc`.
- **nd-raster** (tetthetsverdier for skog, landsdekkende). Brukes i utløpsberegninger. I dette eksempelet heter filen `nd.asc`.

### 3.1 Kartleggingsområde

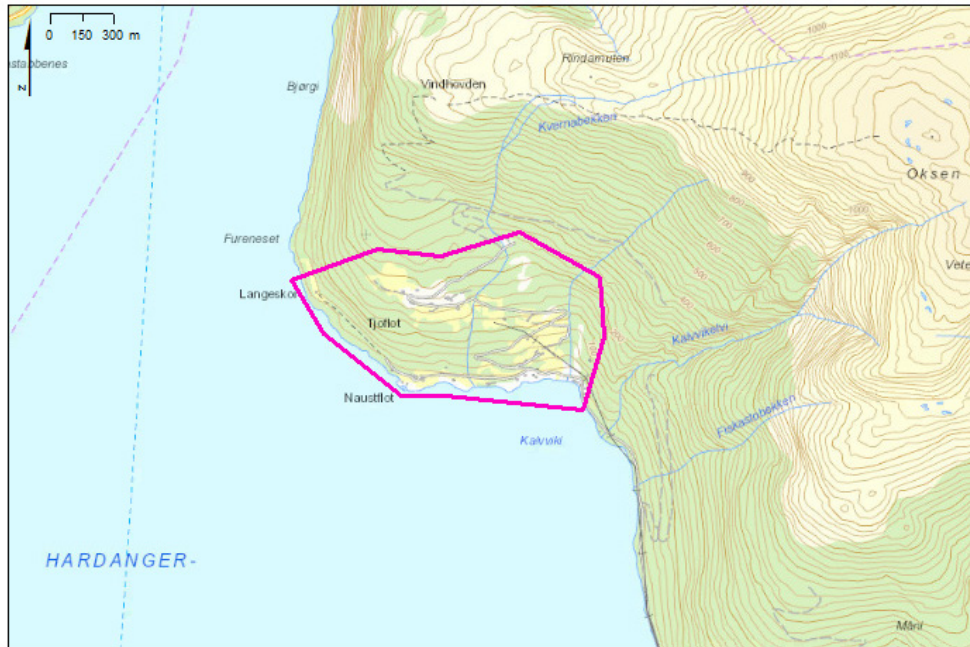
I første steg lages en polygon for området det skal lages aktsomhetskart for.

Opprett en ny shape-fil i prosjektmappen (her: *Tjoflotviki*). I ArcMap: Høyreklikk på den aktuelle mappen i Catalog-fanen. Velg “New” og “Shapefile” (figur 1) og pass på at det er huket av for polygon-shapefil.



Figur 1. Opprett en ny shape-fil i kartleggingsmappen

Høyreklikk på laget når det dukker opp i “Table of contents”-menyen til venstre (i GIS), og trykk “Start Editing”. Tegn så området det skal lages aktsomhetskart for (Figur 2).



Figur 2. Polygon rundt Tjoflotviki for å avgrense kartleggingsområdet. Polygonen lagres som en shape-fil

## 3.2 Tilrettelegging av raster-data

Det finnes ulike kilder til de dataene som NAKSIN trenger:

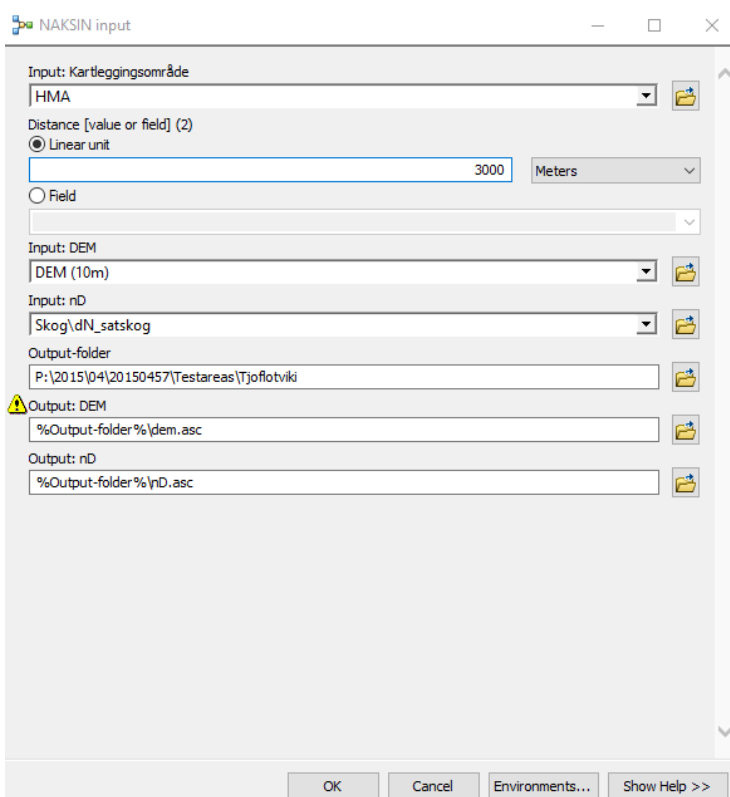
- Ulike terrengmodeller kan brukes, enten landsdekkende 10 m terrengmodell, eller terrengmodeller basert på LiDAR data for det aktuelle området.
- Landsdekkende skogdata (unntatt Finnmark) med oppløsning på 25 m × 25 m finnes i SAT-SKOG datasettet. Basert på dette, har NGI lagt til rette en rasterfil i ESRI ASCII Grid-format for variabelen nD (antall trær per m<sup>2</sup> × gjennomsnittlig stammediameter på brysthøyde i meter). SAT-SKOG dataene har imidlertid store usikkerhet og i tillegg er de utdatert. Data av mye bedre kvalitet finnes i SR-16 datasettet (oppløsning 16 m × 16 m), som i skrivende stund er tilgjengelig for Trøndelag og Østlandet og i sørlige deler av landet langs kysten. Datasettet utvides fortløpende (NIBIO). I dette datasettet finnes det også lag med gjennomsnittlig stammediameter. Det ble imidlertid funnet tilfeller der SR-16 dataene er i motstrid med aktuelle flyfoto.
- Klimadata for gjennomsnittlig lufttemperatur om vinteren (desember t.o.m. februar), statistikk for maksimal årlig snøhøyde (HSmax) og statistikk for tredøgns vannekvivalent av nysnø (HNW3d) ble tilrettelagt av NGI på grunnlag av SeNorge-datasettet.

NAKSIN kan ikke fange opp alle muligheter på hvordan disse dataene er tilgjengelige i brukernes systemer (enkle rasterfiler, lokal geodatabase, geodatabaseserver). Det forutsettes at rasterdataene er klippet og lagt til rette for området, og lagret som rasterfiler i ESRI ASCII Grid-format. For enklere utklipping i ArcMap/ArcGIS Pro har NGI tilrettelagt et enkelt ArcGIS-verktøy, **NAKSIN input**, der hele prosessen er integrert og beskrevet. Flytskjema for hele prosessen er vist i Figur 4. Tilsvarende verktøy kan lages for andre GIS.

Disse dataene klippes før modellkjøring, for et område (Area of Interest, AoI) som dekker kartleggingsområdet med en buffersone i alle fire retninger (**NAKSIN input**: Buffer (3000 m)). I utgangspunktet velges AoI så stor at man er sikker på at alle snøskredene som potensielt kan treffe kartleggingsområdet omfattes av buffersonen. Interpolering av klimadata fra SeNorge-oppløsning på 1 km til DEM-oppløsning (f.eks. 10 m) over hele AoI krever at terrengmodellen må dekke alle SeNorge-cellene som delvis ligger innenfor AoI. Derfor må utklippet være minst 1 km større i alle fire retninger enn AoI. For eksempel, hvis skred kan starte opp til 1400 m fra kartleggingsområdet, vil man velge buffersonen for AoI på 1500 m og klippe ut med en buffersone på 2500 m i **NAKSIN input** (se Figur 3).

Rasterfilene med selve klimadata har en oppløsning på 1 km<sup>2</sup> og er små nok for ikke å måtte tilretteklippes. Det kan være hensiktsmessig å lagre dem i den overordnede mappen som heter *Aktsomhetskart* i dette eksempelet, slik at de er tilgjengelige for alle områdene som skal vurderes (f.eks. *Aktsomhetskart\Tjoflotviki*, *Aktsomhetskart\Oslo*, ...).

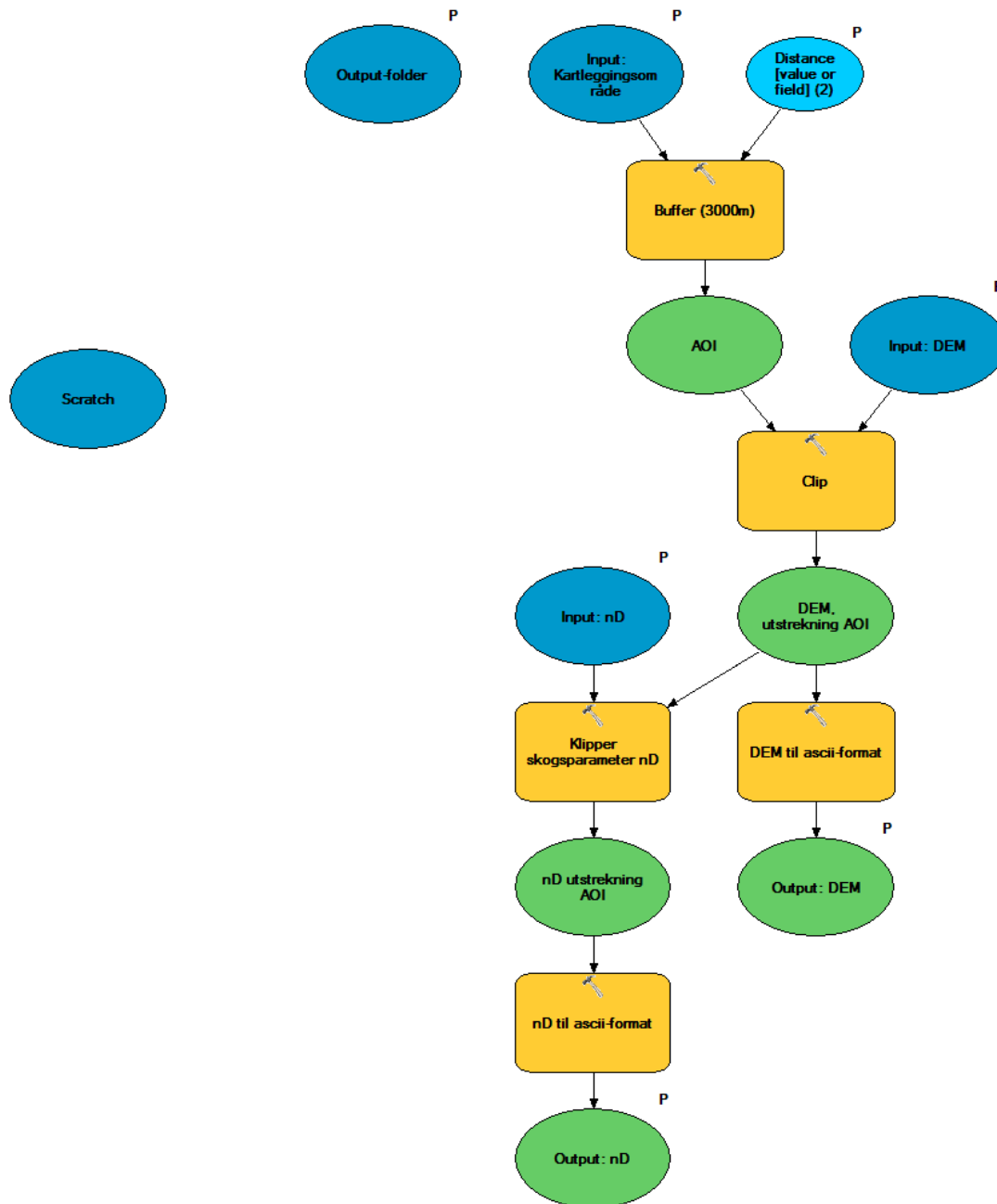
Til slutt eksporteres alle rasterdatasettene til den valgte prosjektmappen (her: *Tjoflotviki*), med standard filnavn. (ArcGIS-funksjon: **RasterToASCII**). Standard filnavn er *DEM.asc*, *nD.asc* (se Figur 3). Andre filnavn kan også brukes, men må angis tilsvarende i styringsfilen til NAKSIN (se avsnitt 4.2).



*Figur 3: DEM klippes til og rasterdatasettene eksporteres til valgt prosjektmappe. I ESRI ArcMap kan denne prosessen utføres med ArcGIS-verktøyet NAKSIN input*

Dersom man ønsker å kjøre en simulering uten skog i skredløpet må det lages et raster med verdi 0 for hele utstrekningen. I ArcMap kan dette gjøres ved å bruke “Raster Calculator” og multiplisere nD-rasteret med 0. Deretter eksporterer man som beskrevet over ved hjelp av funksjonen RasterToAscii.

**Obs.:** Skredsimuleringsmodellen MoT-Voellmy, som skal bruke disse dataene, er kompilert med punktum som desimalskilletegn. Det er viktig at man setter GIS til å bruke desimalpunktum også når man klargjør rasterfilene. Hvis dette ikke lar seg gjøre, er det nødvendig å erstatte komma med punktum i DEM.asc og nD.asc. Dette kan gjøres enkelt i et editorprogram som Notepad ved å bruke “Søk og erstatt”-funksjonen.



Figur 4: Flytskjema for ArcGIS-verktøyet NAKSIN input som tilrettelegger data for simulering med NAKSIN

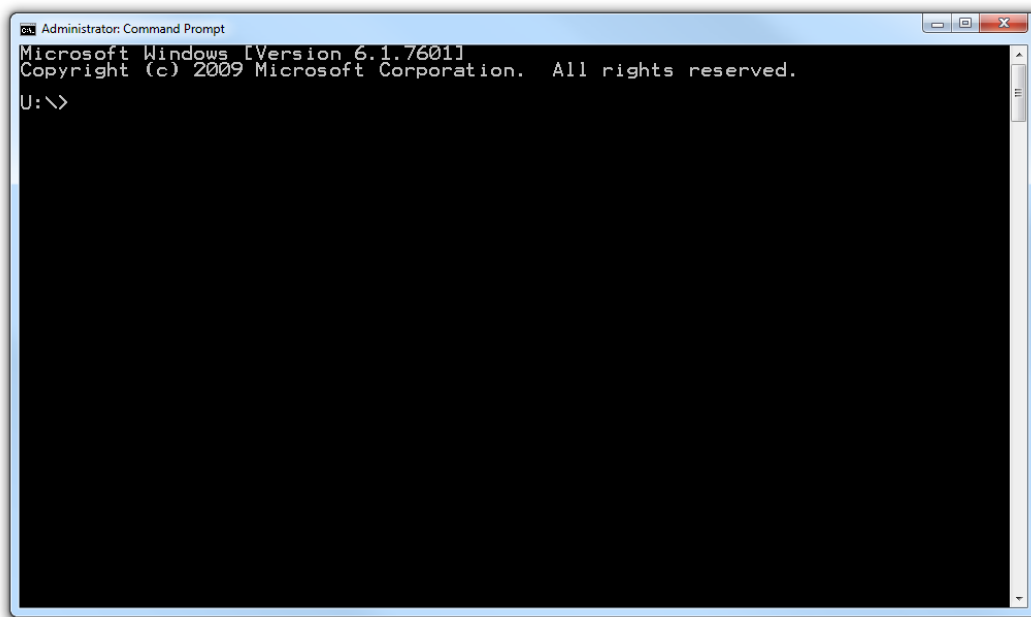


## 4 Hvordan sette opp en simulering i NAKSIN?

### 4.1 Klargjøring for programkjøring

Programmeringsspråket Python 3 må være installert for å kjøre NAKSIN. NAKSIN har blitt utviklet og testet under versjon 3.5, 3.6 og 3.7, men vil muligens også fungere med tidligere versjoner av Python 3 (men ikke med Python 2).

Python 3 installeres automatisk med alle populære distribusjonene av GNU-Linux (Ubuntu, Debian, Fedora, SUSE, ...) i en aktuell versjon. I de fleste tilfellene startes Python 3 med kommandoen `python3` i GNU/Linux. Under MS Windows er dette vanligvis ikke tilfellet. For å sjekke at Python er installert og hvilken versjon det er, skriv `python` i kommandovinduet. Python med medfølgende versjon vil da vises. Deretter bruk `quit()` for å komme ut av Python igjen. (Man kan åpne et kommandovindu f.eks. ved å gå til søkelinjen under "Start-menyen" og å skrive `cmd.exe`. Utgangspunktet skal nå se ut som i Figur 5, men en annen sti enn `U:\` kan stå foran promptet ('>').)



Figur 5. Standard visning i et kommando-vindu i MS Windows.

Dersom Python 3 mangler, kan programmet for MS Windows lastes ned fra denne siden: <https://www.python.org/downloads/> eller fra <https://www.anaconda.com/download/>. Dersom spørsmålet kommer opp under installeringen om stien til Python skal tilføyes omgivelsevariablen PATH, kryss av for det.

Under MS Windows er det også nødvendig å ha Microsoft Visual C++ Runtime Environment installert i en versjon som er tilpasset Windows-versjonen og Python-versjonen; den tilsvarende filen heter `MSVCRTxy.dll`, der `xy` er relatert til versjonen. Hvilken

versjon som er påkrevd, vil vises i feilmeldingen. Velg den riktige pakken på Microsofts nedlastingside: <https://support.microsoft.com/en-us/help/2977003/the-latest-supported-visual-c-downloads>. Nyttig informasjon finnes også på siden <https://stackoverflow.com/questions/41501636/how-to-install-pip3-on-windows>.

Deretter må nødvendige Python-pakker være installert, bl.a.:

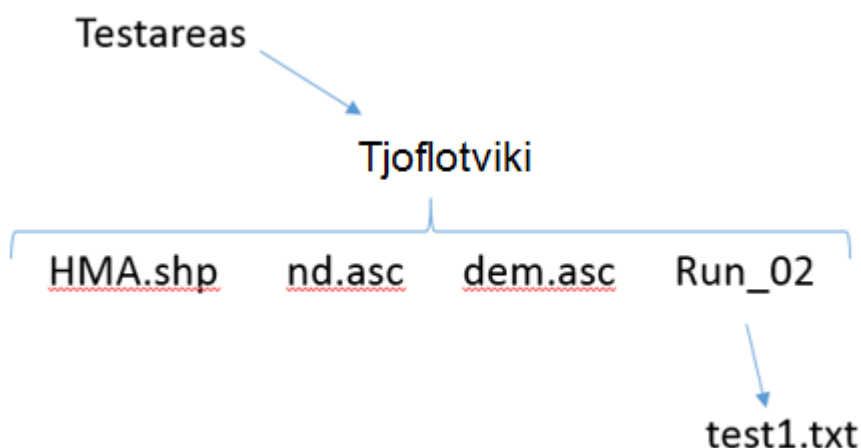
- ↗ NumPy
- ↗ SciPy
- ↗ GDAL (last ned riktig pakke for maskin og python-versjon. Dette kan være litt utfordrende i visse konstellasjoner. Dersom Python er lastet ned fra [www.python.org](http://www.python.org), kan en passende pakke lastes ned f.eks. fra <http://www.lfd.uci.edu/~gohlke/pythonlibs/#gdal>. Med Python fra Anaconda kan GDAL installeres via kommandoen  
`conda install -c conda-forge gdal`.
- ↗ math
- ↗ linecache
- ↗ multiprocessing

En enkel måte å installere programpakker på er ved å bruke `pip install`:  
Skriv f.eks.: `pip install numpy` eller `pip install GDAL-[etc.].whl`.

For å teste om pakken er installert, skriv f.eks. `import ogr` i et Python kommandovindu. Dette skal ikke returnere noe dersom pakken er riktig installert.

## 4.2 Klargjøring av prosjektinformasjon

I denne testkjøringen brukes det en mappestruktur på drive P: som vist i Figur 6.



Figur 6. Eksempel på mulig oppbygning av mappestruktur for en kjøring i NAKSIN

Input som DEM, skogdata, klima og kartleggingsområdet er allerede klargjort. Hvert kartleggingsområde er gitt en egen mappe (i dette tilfellet *Tjoflotviki*) under mappen *P:\Testareas*. I mappen *Tjoflotviki* ligger shape-filen med polygonen av kartleggingsområdet (*hazard mapping area*, HMA.shp), skogfilen (nd.asc) og den digitale terrengmodellen (dem.asc), som er felles for alle programkjøringer for dette området. Her skal det også lagres en tekstfil som definerer denne kjøringen (*run information file*, i dette tilfellet test1.rif), der de ulike parameterne blir definert. Klimadata i dette tilfellet er plassert utenfor mappen *P:\Testareas*, i mappen *P:\NAKSIN\_input*.

Parameterfilen ser ut som vist under, og kan editeres etter behovene for eksempel i en teksteditor som notepad eller notepad++. Vær OBS på at 1) rekkefølgen av linjene ikke må endres, 2) nøkkelordene til venstre for likhetstegnet ikke må forandres, 3) likhetstegnene ikke har mellomrom til venstre.

```
NAKSIN project information file format= 2018-09-17
File name=                               test1.txt
Encoding=                                 UTF-8
Last changes (YYYY-MM-DD)= 2018-09-18
Avalanche experts=                        XYZ
#
# Project file storage
Projectfolder=                            P:\Testareas
Map data folder=                          Tjoflotviki
Run folder=                               Run_02
#
# External data sources (relative to Run folder)
EPSG code=                                25833
DEM=                                       ../dem.asc
Climate data folder=                      ../../../../NAKSIN_input
Forest data folder=                       ..
Mapped area (shape file)=                 ../HMA.shp
#
# Data format of hazard map
Output format=                            BinaryTerrain
#
# Release area properties
Limit annual probability (1/y)=            0.001
Min. release angle (deg)=                 28.0
Max. release angle (deg)=                 60.0
Min. release area (m2)=                   400
Max. release area (m2)=                   1000000
Max. release area altitude extent (m)=    400
Max. release area curvature (1/m)=        0.0200
Max. release area extent ratio=           5
Default release probability (1/y)=        1.0
```

```

Default release depth (m)=          1.5
#
# Friction parameter calibration
Tiny avalanche volume (m3)=         5000
Small avalanche volume (m3)=        10000
Medium avalanche volume (m3)=       25000
Large avalanche volume (m3)=        60000
Low-temperature threshold (deg C)=   -4.0
High-temperature threshold (deg C)=  -2.0
Flat-slope curvature (1/m)=          0.0000
Open-slope curvature (1/m)=          0.0020
Channelized curvature (1/m)=         0.0100
Gully curvature (1/m)=               0.0500
#
# Parameters concerning the numerics
Comp. grid resolution (m)=           5.0
Min. timestep (s)=                   0.0010
Max. timestep (s)=                   0.2000
Min. deposit depth (m)=               0.10
Width of buffer zone (m)=             1000.0
Max. simulation time (s)=             90.0
Number of Monte Carlo trials=        1000000
Forest=                               2
  
```

Tabell 1: Forklaring av input verdier til simulering. Verdier i blått er eksempelverdier

Nr	Navn	Default Verdi	Forklaring
1	NAKSIN project information file format	2018-09-17	Dette tilsvarer den aktuelle versjonen
2	File name	—	<a href="#">test1.rif</a> Navn på filen. Endre den etter hva du lagrer filen som. Lurt å bruke standard navn for alle. Filen kan lagres for eksempel som en rif eller txt fil.
3	Encoding	UTF-8	<a href="#">UTF-8</a> . Til mulig fremtidig bruk.
4	Last changes	—	Sett inn dato simuleringen kjøres. I dette tilfellet <a href="#">2018-09-18</a> .
5	Avalanche experts	—	Sett inn navn på person som gjennomfører simulering.
8	Project folder	—	Sti til mappen for kartleggingsprosjektet.
9	Map data folder	—	Sti til området der kartdata (DTM) er lagret som input til NAKSIN, angis som relativ sti til <b>Project folder</b> . Kan være det samme som Project folder (betegnes med '.'), men ofte er det nyttig å bruke navnet til kartleggingsområdet.

10	Run folder	—	Mappen der output fra denne kjøringen lagres, Relativ til Map data folder, f.eks: <a href="#">Run_02</a> .
13	EPSG code	25833	EPSG = Geodetic Parameter Registry. I dette tilfellet ble koden 25833 brukt. Denne definerer UTM-sone 33N basert på referanseramma WGS84.
14	DEM		Her skal terrengmodellen som ble eksportert som ASCII fil settes inn. Lokasjon relativt til run-folder. F.eks. <a href="#">../DEM.asc</a>
15	Climate data folder		Lagringssted for klimadata (temperatur, snøhøyde og nysnøtilvekst), stien er relativ til run_folder. I eksempelet er klimadata lagret i en mappe som ligger tre trinn høyere i filhierarkiet enn run_folder, angitt som <a href="#">../../../../Naksin_input</a> . Hvert <a href="#">../</a> går et trinn opp i hierarkiet.
16	Forest data folder		Her skal laget for skogdata som ble eksportert som ASCII-fil angis. Stien er relativ til run-folder. I eksempelet ligger skogdata et trinn høyere i map_data folder, dvs. <a href="#">..</a>
17	Mapped area (shape file)		Her skal shape-filen over området som kartlegges angis. Lokasjon relativt til run-folder. I eksempelet skal kartleggingsområdet være det samme for alle kjøringer av NAKSIN, derfor legges filen i map_data folder: <a href="#">../HMA.shp</a>
20	Output format		Her kan en velge hvilket format resultatene skal skrives ut i, enten BinaryTerrain eller ESRI ASCII Grid. De fleste GIS støtter begge formater. Her er det blitt brukt <a href="#">BinaryTerrain</a> , som er mer kompakt.
23	Limit annual probability (1/y)	0.001	Gjentaksintervallet bestemmes her. I dette tilfellet er det satt til 0.001, tilsvarende en returperiode på 1000 år og grenseverdien for bygg i sikkerhetsklasse S2 jf. Plan- og bygningsloven.
24	Min. release angle (deg)	28	Minimum helning for løснеområder. Kan varieres mellom 27° og 30°.
25	Max. release angle (deg)	60	Maximal helning for løśnieområder. Kan varieres mellom 55° og 60°.
26	Min. release area (m2)	400.0	Minste inkluderte areal av løśnieområde.
27	Max. release area (m2)	300000.0	Største areal av løśnieområder før NAKSIN prøver å dele dem opp etter nedbørfelt.
28	Max. release area altitude extent (m)	400.0	Største utstrekning i høyde av release area. Utløsningsområder med større vertikale utstrekning begrenses fra nedsiden.
29	Max. release area curvature (1/m)	0.0200	Grense for plankurvatur i utløsningsområder. Kurvatur over dette ekskluderes.

30	Max. release area extent ratio (-)	5.0	Et tall mellom 1 og 10. Bestemmer at utløsningsområder ikke skal være for brede ift. høyden eller for høye ift. bredden. Ikke implementert i denne versjonen av NAKSIN.
31	Default release probability (1/y)	1.0	I tilfeller der klimadata ikke eksisterer for et utløsningsområde, så kan utløsningssannsynligheten ikke beregnes. Som default-verdi settes det at skredet er hyppig.
32	Default release depth (m)	1.5	I tilfellet hvor klimadata ikke eksisterer, settes denne verdien som default.
35	Tiny avalanche volume (m <sup>3</sup> )	5000.0	Maksimalt volum (m <sup>3</sup> ) for at et snøskred gjelder som <i>meget lite</i> . Verdien er viktig for valg av friksjonsparameterne og skal helst ikke endres!
36	Small avalanche volume (m <sup>3</sup> )	10000.0	Maksimalt volum av et <i>lite</i> snøskred. Verdien er viktig for valg av friksjonsparameterne og skal helst ikke endres!
37	Medium avalanche volume (m <sup>3</sup> )	25000.0	Maksimalt volum av et <i>middels stort</i> snøskred. Verdien er viktig for valg av friksjonsparameterne og skal helst ikke endres!
38	Large avalanche volume (m <sup>3</sup> )	60000.0	Minimalt volum (m <sup>3</sup> ) av <i>store</i> snøskred. Verdien er viktig for valg av friksjonsparameterne og skal helst ikke endres!
39	Low-temperature threshold (deg C)	-4	Nedre terskelverdi av gjennomsnittlig vintertemperatur (desember til februar, °C) er brukt til å interpolere friksjonsparameterne for temperaturer istedenfor å bruke høydesonegrenser. Verdien er viktig for valg av friksjonsparameterne og skal helst ikke endres!
40	High-temperature threshold (deg C)	-2	Øvre terskelverdi av gjennomsnittlig vintertemperatur (desember til februar, °C) er brukt til å interpolere friksjonsparameterne for temperaturer istedenfor å bruke høydesonegrenser. Verdien er viktig for valg av friksjonsparameterne og skal helst ikke endres!
41	Flat-slope curvature (1/m)	0.0	Maksimal krumning (1/m) av kotelinjene for at et utløsningsområde gjelder som plan eller konvekst. Verdien er viktig for valg av friksjonsparameterne og skal helst ikke endres!
42	Open slope curvature (1/m)	0.002	Typisk krumning (1/m) til kotelinjene av et svakt skålformet område. Verdien er viktig for valg av friksjonsparameterne og skal helst ikke endres!
43	Channelized curvature (1/m)	0.01	Typisk krumning (1/m) til kotelinjene i et kanalisert område. Verdien er viktig for valg av friksjonsparameterne og skal helst ikke endres!
44	Gully curvature (1/m)	0.05	Typisk krumning (1/m) til kotelinjene i et gjel. Verdien er viktig for valg av friksjonsparameterne og skal helst ikke endres!

47	Comp. grid resolution (m)	5.0	Størrelse (m) på cellene i skredsimuleringen, er uavhengig av terrengmodellens oppløsning. Kan forandres mellom 2 og 10 m, men 5 m er vanligvis best med mindre skredene er meget store.
48	Min. timestep (s)	0.001	Hvis det variable tidskrittet i simuleringen faller under denne terskelverdien, anses simuleringen som mislykket. Verdien skal vanligvis ikke endres her. (I enkelte tilfeller kan det være hensiktsmessig å kjøre manuelle simuleringer for spesielle skredløp med en lavere verdi.)
49	Max. Timestep (s)	0.2	Maksimalverdien til det variable tidskrittet som programmet får velge. Kan evt. tilpasses hvis Comp. grid resolution ikke er satt til 5 m.
50	Min. deposit depth (m)	0.1	Modellen inkluderer ikke kohesjon mellom snøpartiklene, derfor er 0.1m tykkelse satt som begrensning av arealet som er truffet av snøskredet.
51	Width of buffer zone (m)	—	Er sonen rundt kartleggingsområdet der utløsningsområder kan ligge i. Kartleggingsområdet pluss bufferen tilsvarer beregningsområdet. Derksom det er tydelig at det ikke er noen løsnedområder mer enn 1000 m fra kartleggingsområdet, kan bufferen settes lik 1000 m. Det er viktig å se på kartet for å velge en fornuftig størrelse for denne bufferen. Brukeren må imidlertid legge til rette et DTM som går minst 1 km utenfor beregningsområdet pga. av klimainterpolering.
52	Max. Simulation time (s)	—	Maksimal simuleringstid. Den aktuelle versjonen av NAKSIN velger dette tallet automatisk for hvert utløsningsområde.
53	Number of Monte Carlo trials	1000000	Antall Monte Carlo-forsøk per utløsningsområde for å beregne utløsnings sannsynligheten. Har stor betydning for simuleringstiden, men bør helst være ca. 1 000 000 for reproducerbare resultater ved returperiode 1000 år.
54	Forest	—	0 – ikke tar hensyn til skog; 1 – tar hensyn til skog; 2 – to simuleringer, med og uten skog Simuleringer uten skog har '_nf' i fil- og mappenavnene, simuleringer med skog er merket '_wf'.

### 4.3 Start programmet

0. I MS Windows: Start et kommandovindu (`cmd.exe`) og skriv inn **nettverkslokasjon** hvor programmet er lagret (f.eks. `C:`) og trykk `<Enter>`. *Eksempelet vist i Figur 7 er programmet lagret under P:*.
1. Skriv `cd <sti til NAKSIN>` (`cd` = change directory; `sti` = mappen der NAKSIN er lagret på maskinen, f.eks.: `cd 2015\04\20150457\NAKSIN` (se Figur 7). Trykk `<Enter>`.
2. Videre skal programmet vi skal åpne defineres i tillegg til hva vi vil kjøre det i. Vi skriver derfor inn `python.exe naksin3.py P:\Testareas\Tjoflotviki\Run_02\test1.rif`. Dette betyr at det er programmet **naksin3.py** vi vil kjøre i Python (se Figur 7), og at NAKSIN skal lese alle parameterverdiene fra filen **test1.rif**, som ligger i mappen `P:\Testareas\Tjoflotviki\Run_02`.
3. Ved å trykke `<Enter>` nå, vil programmet NAKSIN åpnes og simuleringen kjøres (se Figur 8).
4. Obs! Som siste argument i startlinjen til NAKSIN (etter `test1.rif`) kan antall parallelle prosesser velges. Det anbefales å velge 2 eller 3 på maskiner med én prosessor med to kjerner + hyperthreading (typiske laptop). Om maskinen har fire fysiske kjerner (ved noen high-end laptop og stasjonære PCer), kan 4 være det optimale valget. Ved kraftige arbeidsstasjoner med åtte-kjerners prosessor eller 2 fire-kjerners prosessorer og rikelig med minne (minst 16 GB RAM) kan man sette tallet til 7–8, avhengig av om maskinen skal brukes til annet arbeid mens NAKSIN kjøres.



```
Anaconda Prompt
<base> C:\>P:
<base> P:\>cd 2015\04\20150457\NAKSIN
<base> P:\2015\04\20150457\NAKSIN>python.exe naksin3.py ..\Testareas\Tjoflotviki\Run_02\test1.rif 7
```

Figur 7: Hvilket program vi vil kjøre, samt hvilken mappe filen ligger i er nå definert



```
(base) P:\2015\04\20150457\NAKSIN>python.exe naksin.py ..\Testareas\Tjoflotviki\
Run_02\test1.rif 7

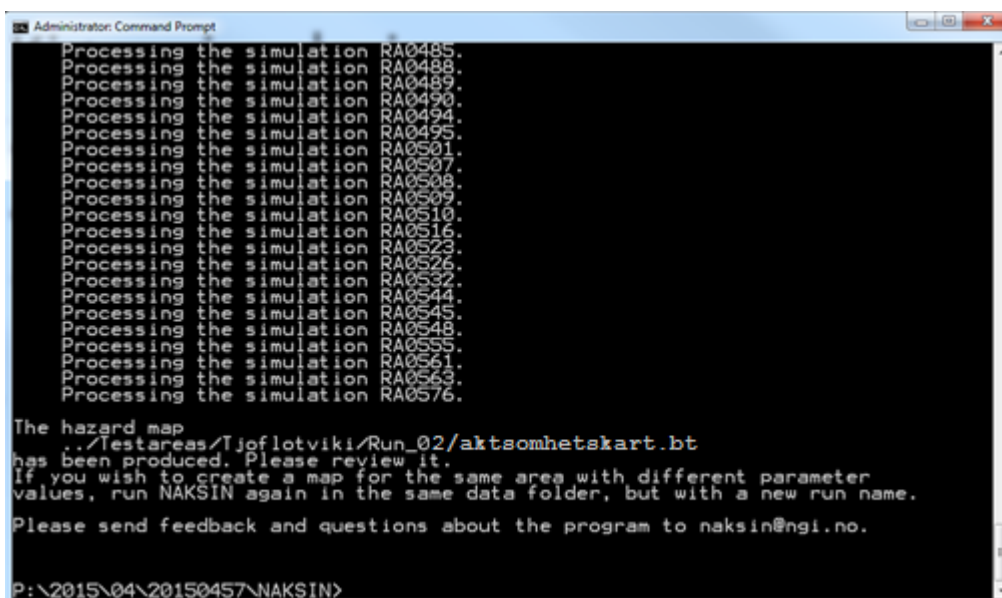
-----
NAKSIN (Nye AktsomhetsKart for Snoskred I Norge) v.2018-09-30
-----

Step 1: Project set-up

All external modules successfully imported.
All NAKSIN modules successfully imported.
Reading run information from file
```

Figur 8: NAKSIN er nå åpnet og simuleringene kjører

5. Når simuleringen er gjennomført, vil meldingen være som i Figur 9. Resultatfilene fra simuleringen skal nå ligge i resultatmappen, i dette eksempelet *P:\Testareas\Tjoflotviki\Run\_02*. **Aktsomhetskart.bt** er aktsomhetskartet for området, mens **allrel.asc** er en oversikt over alle løsneområder som er brukt i simuleringen. Nå kan filen med aktsomhetskartet åpnes i ArcMap eller andre GIS-programmer for visualisering og symbolisering.
6. Nyttig informasjon om alle potensielle utløsningsområdene (størrelse, helning, høyde over havnivå, utløsningssannsynlighet, bruddhøyde for skred med valgt returperiode) er samlet i filen **release\_area\_properties.txt**, som kan vises i en teksteditor. Det anbefales å sjekke denne filen for å se om utløsningssannsynlighetene og bruddhøydene samsvarer med forventningene eller observasjoner.
7. For alle utløsningsområdene som er simulert, finnes det mapper RA0001, RA0002, osv., som inneholder styringsfilen for MoT-Voellmy og rasterfiler med start-, slutt- og maksimalverdier av flythøyde og hastighet.



```
Administrator: Command Prompt
Processing the simulation RA0485.
Processing the simulation RA0488.
Processing the simulation RA0489.
Processing the simulation RA0490.
Processing the simulation RA0494.
Processing the simulation RA0495.
Processing the simulation RA0501.
Processing the simulation RA0507.
Processing the simulation RA0508.
Processing the simulation RA0509.
Processing the simulation RA0510.
Processing the simulation RA0516.
Processing the simulation RA0523.
Processing the simulation RA0526.
Processing the simulation RA0532.
Processing the simulation RA0544.
Processing the simulation RA0545.
Processing the simulation RA0548.
Processing the simulation RA0555.
Processing the simulation RA0561.
Processing the simulation RA0563.
Processing the simulation RA0576.

The hazard map
..\Testareas\Tjoflotviki\Run_02\aktsomhetskart.bt
has been produced. Please review it.
If you wish to create a map for the same area with different parameter
values, run NAKSIN again in the same data folder, but with a new run name.
Please send feedback and questions about the program to naksin@ngi.no.

P:\2015\04\20150457\NAKSIN>
```

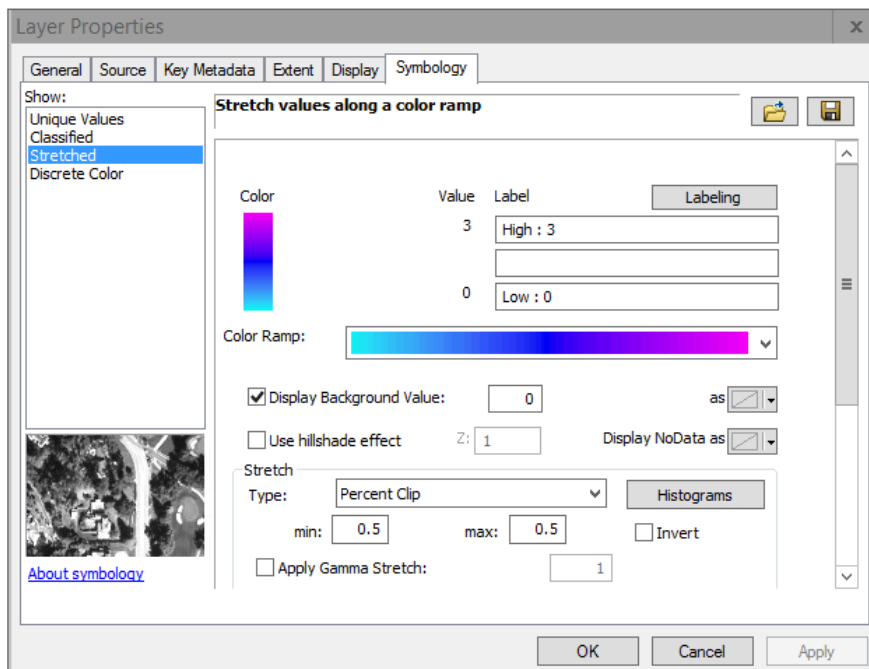
Figur 9. Aktsomhetskartet er ferdig og resultatfiler kan nå åpnes i GIS

## 5 Visualisering av data i ArcGIS

Aktsomhetskartet fra NAKSIN-kjøringen kan åpnes direkte i ArcMap (bruk Add Data eller bare dra det inn fra "Catalog").

For å få en bedre visualisering av laget, høyreklikk på kartet, velg Properties → Symbolology.

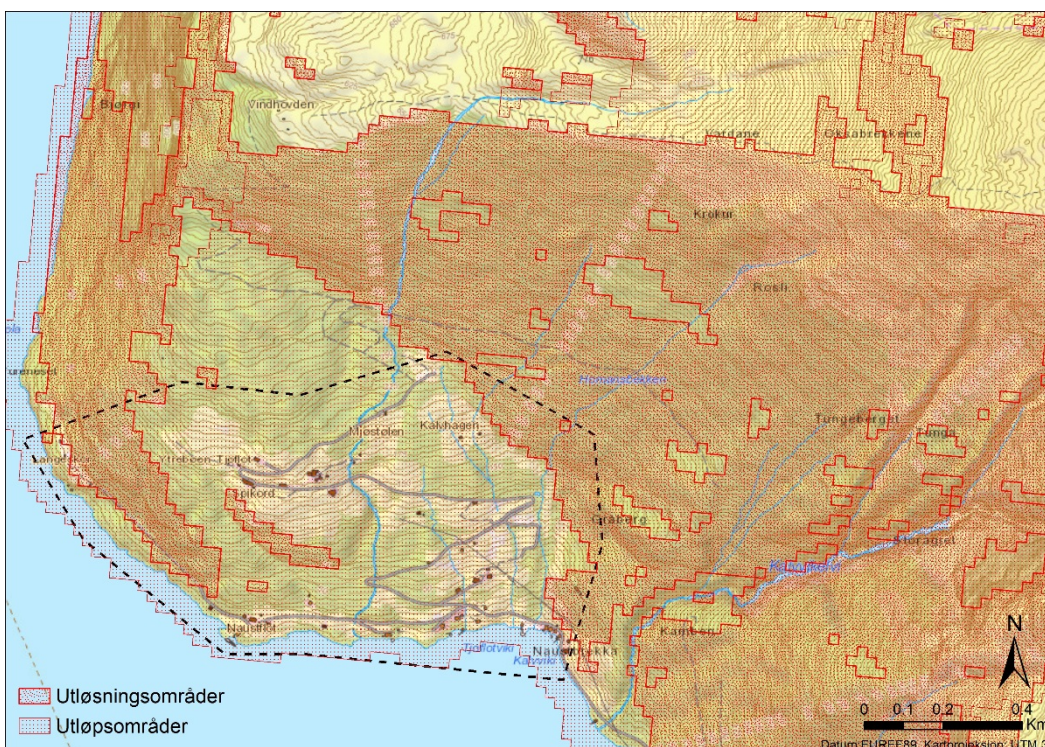
1. Skru av bakgrunnsfargen ved å huke av i feltet "Display Background Value" (Figur 10).
2. Aktsomhetskartet vil vises i sort/hvitt når det legges inn. Bytt farge på kartet til en farge som er mer representativ for en aktsomhetssone.
3. Alternativt velg "Unique Values", og man vil få at ulike områder har verdier fra 1 til N. Dette viser hvor mange skredbaner fra ulike utløsningsområder som går inn i samme område. Dersom ett skred passerer vil verdien være 1. Markér verdi 0 og velg så "Remove". Dette er alle områdene hvor det ikke passerer skred.
4. Under fanen "Display" kan man sette hvor transparent kartlaget skal være. Ved å sette for eksempel 40–60 % transparent vil det være enklere å sammenligne resultatet med tidligere aktsomhetskart og å se hvilke hus som ligger innenfor aktsomhetssonen.



Figur 10. Huk av for "Display background value", og endre fargene.

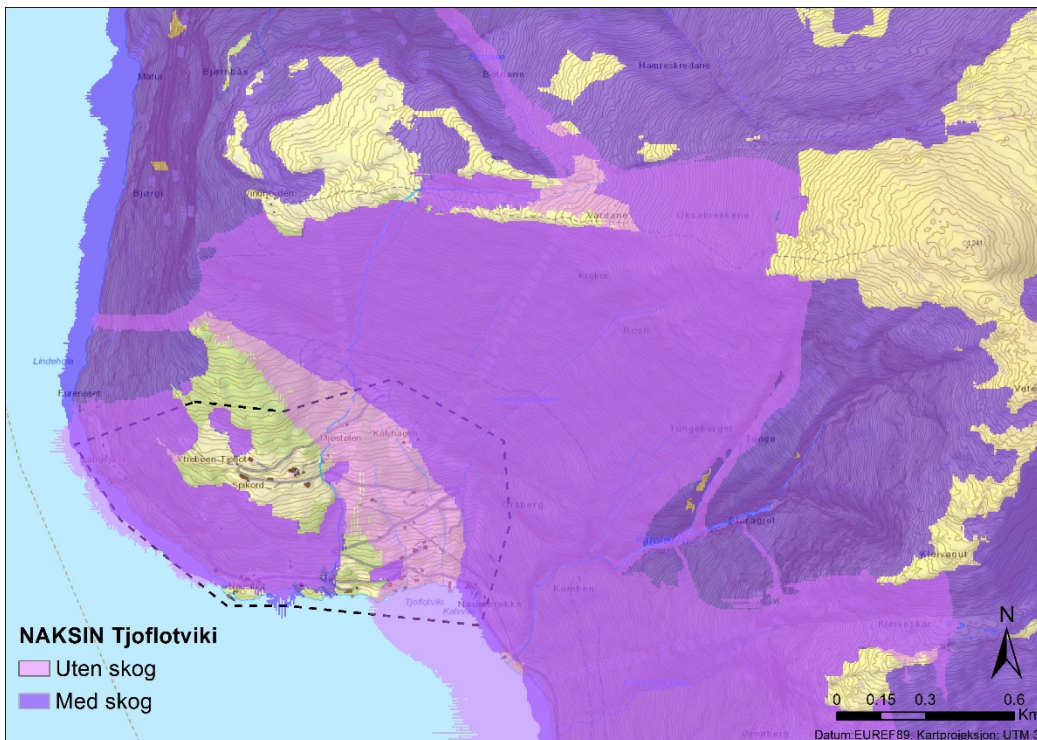
- Når det kommer til potensielle utløsningsområder 'allrel.asc' vil det være en fordel å endre fra sort/hvitt som det legges inn med, til å dele det inn i "Unique Values". Ved å gjøre dette får de ulike utløsningsområdene (1 til N) ulike farger. Tallene 1 til N tilsvarer mappene RA0001, RA0002 osv. som ligger under simuleringsmappen (Run\_02 i dette tilfellet). Merk at mappene lages kun hvis områdets utløsningssannsynlighet er høyere enn terskelen. For eksempel kan mappene RA0007, RA0009 og RA0011 mangle grunnet for lav utløsningssannsynlighet.) Husk å markere verdi 0 og velg så "Remove".

På dette stadiet er det viktig å kontrollere simuleringsresultatene kritisk. Et første trinn er å sammenligne med det eksisterende aktsomhetskartet (Figur 11 og Figur 12). Kan det begrunnes hvorfor noen potensielle utløsningsområder har lavere utløsningssannsynlighet enn terskelverdien (vanligvis 0,001 pr. år)? Hvis noen av skredene går lenger i NAKSIN enn i det eksisterende kartet: er dette plausibelt? Der skredene går kortere ifølge NAKSIN: Er dette i motstrid med observasjoner? Finnes det skredbaner der snøskyen kan være en fare for personer og bygg? Det kan være nødvendig at eksperten modifierer kartet som NAKSIN har produsert, for å ta høyde for slike vurderinger og foreliggende observasjoner. Det anbefales imidlertid at endringene dokumenteres og begrunnes.



Figur 11: Eksisterende aktsomhetskart viser at hele Tjøflovik er dekket av utløpsområder





Figur 12: Forslag til aktsomhetskart beregnet med NAKSIN kan gjøre at flere områder blir vurdert som trygge. (Merk at dette eksempelet ikke kan oppfattes som det endelige resultatet fra NAKSIN!)

## 6 Når ting ikke går som de skal

I dette kapitlet gis det noen tips om hva som kan gå galt i en kjøring av NAKSIN 3 og hvordan problemet muligens kan løses. Merk imidlertid at mange feil som har oppstått tidligere, ble rettet i koden fortløpende, så det er en ikke liten sannsynlighet at den feilen som brukeren nettopp har havnet i, ikke er kjent for utviklerne ennå. I dette tilfellet bes det å kontakte utviklerne gjennom e-post til [naksin@ngi.no](mailto:naksin@ngi.no). Ikke slett filene fra den mislykkede kjøringen, de kan være viktige for å identifisere feilen.

### Python starter ikke

Windows 7, Python 3 fra python.org: Sjekk om Python 3 er installert ved å åpne Control Panel – Programs – Uninstall programs og lete etter Python 3.x. Hvis den finnes (ikke avinstallér den!), er stien til Python 3 ikke satt i systemvariabelen PATH. Den kan tilføyes manuelt (veiledning finnes på Internett), eller man kan gjenta installeringen av Python 3 og huke av for "Set PATH variable" i starten av prosessen.

Windows 7, Python 3 fra Anaconda/Conda: Python startes fra et spesielt kommandovindu som setter bl.a. stien til Python 3. Dette vinduet åpnes fra Start-menyen av Windows (let etter Python 3 eller Anaconda eller Conda).

### En ekstern modul finnes ikke

Når Python 3 installeres på maskinen, følger ikke alle eksterne moduler med som NAKSIN 3 trenger og disse må installeres manuelt.

Hvis Python 3 er installert fra python.org, følger et lite program med som kan installere, fjerne eller oppdatere Python-moduler. Gjennom

```
pip install <modul-navn>
```

kan man installere de fleste modulene på en enkel, automatisert måte. GDAL-biblioteket kan imidlertid by på problemer på Windows. Det finnes nettsteder som tilbyr ferdig kompilerte moduler i ulike versjoner og for ulike datamaskin-arkitekturer (32-bit eller 64-bit). Det er vanskelig å gi en oppskrift som passer alle systemer, men det finnes nyttig informasjon på Internett.

### En NAKSIN-modul, MoT-Voellmy.exe eller tabell over friksjonsparametere finnes ikke

Dersom NAKSIN 3 starter, men slutter snart med denne typen feilmelding, er NAKSIN 3 ikke installert fullstendig. I mappen med NAKSIN 3 bør det ligge følgende filer:

```
naksin3.py,  
open_project.py,  
prepare_data.py,  
release_area.py,  
release_prob.py,  
runout.py,  
synthesize_map.py,  
MoT-Voellmy.2018-03-22.exe eller MoT-Voellmy.2018-03-22,  
fric_coeffs_RAMMS_10-300y.txt,  
template_NAKSIN_test.rif
```

### NAKSIN 3 venter på svar fra bruker

NAKSIN 3 kjører simuleringer med MoT-Voellmy, men stopper deretter, viser en liste over mislykkede simuleringer og spør brukeren om man ønsker å stoppe (0), kjøre videre uten hensyn til de mislykkede simuleringene (1) eller rette opp manuelt (2).

Denne situasjonen oppstår dersom MoT-Voellmy avbrøt en eller flere simuleringer av en eller annen grunn. Dersom lista over avbrutte simuleringer er lang, er den mest sannsynlige årsaken en feil i styringsfilen (f.eks. feil filsti e.l.) eller i en av inndatafilene. I sammenheng med datatilrettelegging i GIS kan det skje at tallene er skrevet med desimalkomma istedenfor desimalpunktum. I dette tilfellet bør GIS (eller driftsystemet) konfigureres til å bruke desimalpunktum. Alternativt kan man erstatte komma med punktum i alle inndatafilene manuelt ved å bruke f.eks. en teksteditor.

Dersom lista over avbrutte simuleringer er kort, er grunnen numerisk instabilitet i visse tilfeller. Årsaken til den kan være bl.a. at et skredløp har meget brå svinger, eller flere skredarmer kolliderer, eller helningen endrer seg brått (stor krumning). Ofte oppstår

slike situasjoner etter at hovedmassen av skredet allerede har stoppet og kryper hakkvis nedover når nok masse har stuert seg opp bak fronten til at den kan presse fronten videre.

Dersom brukeren ikke har erfaring med numerisk simulering av skred, er det tryggest å velge opsjon 0, som avslutter simuleringen uten å lage en resultatfil. Deretter endrer man verdien av minimalt tidsskritt (Min. timestep (s)) fra 0,001 s til 0,0001 s (se nr. 48 i Tabell 1), lagrer filen og kjører NAKSIN 3 en gang til. I mange tilfeller vil dette løse problemet. (Man kunne valgt denne lave verdien av tidsskrittet fra starten for å unngå denne situasjonen, men vanligvis burde MoT-Voellmy stadig bruke tidsskritt  $> 0,01$  s. Med minimum satt til 0,001 s får man avbrudd kun under spesielle forhold, og det er verdifullt å få denne informasjonen for å kunne vurdere påliteligheten av simuleringene.

Alternativt kan man velge opsjon 1, som lager en rasterfil for aktsomhetssonen med de avbrutte simuleringene. Dette betyr at aktsomhetssonen kan være for kort i noen av skredløpene. Bruker kan laste resultatfilen i GIS og kontrollere hvilke skredløp det gjelder og enten korrigere sonegrensen manuelt etter skjønn eller gjenta beregningen som beskrevet ovenfor.

Til brukere med et minimum av kunnskap om skreddynamikk og bruk av simuleringer-modeller som MoT-Voellmy, RAMMS eller Titan2D anbefales det følgende fremgangsmåte:

1. For hvert skredløp med avbrudd simulering, last de tilsvarende filene `Ran_(wf/nf)_s_max.(asc/bt)` i GIS, der  $n$  er det firesifrede nummeret av skredløpet, 'wf' står for "med skog" og 'nf' betyr "uten skog". På denne måten ser man om simuleringen ble avbrudd i slutfasen og viser korrekt utløp, eller om problemet oppsto i en tidligere fase og simuleringen må gjentas med modifiserte numeriske parametere. Det sistnevnte er tilfelle dersom den maksimale hastigheten (`s_max`) viser høye verdier (mer enn ca. 10 m/s) hele veien til fronten av skredet.
2. Dersom avbruddet skjedde i slutfasen, kan simuleringresultatet brukes likevel. Hvis dette gjelder alle simuleringene med avbrudd, kan man velge opsjon 1 og la NAKSIN fullføre kjøringen.
3. Dersom avbruddet skjedde tidlig i minst ett tilfelle, modifiserer man filen `Ran_(wf/nf).cmd` i en teksteditor. Følgende valg (i prioritert rekkefølge) vil ofte forbedre den numeriske stabiliteten betydelig:

Simulation time (s)	[reduseres med ca. 20 %]
Minimum time step (s)	0.0001
Centrifugal effects	no
Passive earth-pressure coeff. (-)	0.7

Hvis nødvendig, kan disse endringene også kombineres. Deretter kjøres MoT-Voellmy fra kommandolinjen som

```
MoT-Voellmy.2018-03-22 <sti/filnavn.cmd>
```

MoT-Voellmy skriver mye informasjon på skjermen, som kan hjelpe til å forstå hva som fører til de numeriske problemene.

Når alle simuleringene med problemer er gjennomført på tilfredsstillende måte, velges det opsjon 2 på spørsmålet fra NAKSIN, og NAKSIN bruker de nye simuleringsfilene til å lage aktsomhetssonen

<b>Dokumentinformasjon/Document information</b>		
<b>Dokumenttittel/Document title</b> Brukermanual for NAKSIN versjon 3 2019-08-09		<b>Dokumentnr./Document no.</b> 20150457-07-TN
<b>Dokumenttype/Type of document</b> Teknisk notat / Technical note	<b>Oppdragsgiver/Client</b> Norges Vassdrags- og Energidirektorat	<b>Dato/Date</b> 2018-10-01
<b>Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/Proprietary rights to the document according to contract</b> NGI		<b>Rev.nr. &amp; dato/Rev.no. &amp; date</b> 1 / 2019-08-29
<b>Distribusjon/Distribution</b> BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
<b>Emneord/Keywords</b> NAKSIN, aktsomhetskart snøskred		

<b>Stedfesting/Geographical information</b>	
<b>Land, fylke/Country</b> —	<b>Havområde/Offshore area</b> —
<b>Kommune/Municipality</b> —	<b>Felt navn/Field name</b> —
<b>Sted/Location</b> —	<b>Sted/Location</b> —
<b>Kartblad/Map</b> —	<b>Felt, blokknr./Field, Block No.</b> —
<b>UTM-koordinater/UTM-coordinates</b> Sone: — Øst: — Nord: —	<b>Koordinater/Coordinates</b> Projeksjon, datum: — Øst: — Nord: —

<b>Dokumentkontroll/Document control</b>					
<b>Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001</b>					
<b>Rev/Rev.</b>	<b>Revisjonsgrunnlag/Reason for revision</b>	<b>Egenkontroll av/Self review by:</b>	<b>Sidemanns-kontroll av/Colleague review by:</b>	<b>Uavhengig kontroll av/Independent review by:</b>	<b>Tverrfaglig kontroll av/Interdisciplinary review by:</b>
0	Originaldokument	2018-10-01 Dieter Issler	2018-10-01 Ulrik Domaas		
1	Oppdatering til versjon 3 samt utvidelser av NAKSIN	2019-08-16 Dieter Issler	2019-08-29 Ulrik Domaas		

<b>Dokument godkjent for utsendelse/Document approved for release</b>	<b>Dato/Date</b> 29. august 2019	<b>Prosjektleder/Project Manager</b> Ulrik Domaas
---	-------------------------------------	--



NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

[www.ngi.no](http://www.ngi.no)

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.



