

Vegard Andre Skagseth

Idannelse i nedløpssystemer fra kompakte tak

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Tore Kvande

Medveileder: Erlend Andenæs

Juni 2021

Vegard Andre Skagseth

Idannelse i nedløpssystemer fra kompakte tak

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Tore Kvande
Medveileder: Erlend Andenæs
Juni 2021

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



NTNU

Kunnskap for en bedre verden

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet i samarbeid med senter for forskningsdrevet innovasjon Klima 2050. Gjennom sitt arbeid vil Klima 2050 redusere samfunnsrisiko forbundet med klimaendringer og økt nedbør og eksponering for flomvann i det bygde miljø. Senteret er finansiert av Norges forskningsråd (stipendnummer 237859) og av partnerne i konsortiet.

Masteroppgaven bygger videre på funn fra en forberedende prosjektoppgave skrevet høsten 2020, som igjen er basert på en sommerjobb hos SINTEF Community i 2019. Prosjektoppgaven er utgitt som Klima 2050 Note 106. Rapporten fra sommerjobben er utgitt som Klima 2050 Note 85.

Tore Kvande har vært hovedveileder og fortjener en stor takk for gode råd og for alltid å finne tid i en fullstappet timeplan.

En stor takk til Erlend Andenæs, som har vært biveileder og supermenneske, for faglige, mindre faglige og ikkefaglige diskusjoner, mest av det siste egentlig, men det har bidratt til å lyse opp en pandemipreget masterhverdag.

Takk til Martin Berg for korrekturlesing og den store entusiasmen for arbeidet. Jeg ønsker han lykke til med videre arbeid med sin masteroppgave.

Ved siden av å skriver masteren har jeg fulgt kurset TDT4102 Objektorientert programmering. Denne kunnskapen er videre brukt til å analysere værdadataene som er hentet ned fra Meteorologisk institutt. Jeg vil rette en stor takk til Pavel Skipenes som har inspirert meg til å ta faget, bruke det i masteren og hjulpet meg når jeg har stått fast med kodingen i Python og C++.

Fra Meteorologisk institutt vil jeg takke Helga Therese Tilley Tajet for gode råd om nedhenting av værdadata. Hun skaffet listen over alle værstasjoner i Norge som måler snødybde på timesbasis og en gang i døgnet. Dette sparte mye tid.

Takk til alle jeg satt på kontoret med hos Klima 2050, både i det gamle slitte byggforsk-bygget og i det splitter nye ZEB-laboratoriet.

Vegard André Skagseth

Trondheim 2021

Sammendrag

Takflater kan utgjøre flere titalls prosent av arealet i byer og tettsteder. Regnvann fra flate tak blir i dag i stor grad ledet i innvendige taknedløp koblet rett på overvannsnett. Med klimaendringer som gir mer regn i Norge er det forventet at overvannsnett kan bli overbelastet ved store nedbørshendelser. En løsning som foreslås er å bygge takene med utvendig nedløp som leder takvannet til terreng og ikke til overvannsnett. Oppsamling og fordrøying av takvannet vil føre til redusert belastning på overvannsnett og kan samtidig benyttes som en livgivende ressurs til området rundt. Avkobling av takvannet fra overvannsnett vil være en utfordring fra kompakte tak hvis nedløpene blir trukket ut av bygningskroppen. Smeltevann fra snøen kan fryse til igjen ved lave uteluftstemperaturer og forårsake problemer som tette rør, farlige istapper og lekkasjer inn i bygningskroppen. Dette er utfordringer som primært oppstår i kaldt klima, men på enkelte steder i Norge antas det at løsningen kan fungere godt. Det er behov for mer kunnskap om utfordringer og muligheter ved bruk av utvendige taknedløp fra kompakte tak.

Opgaven presenterer en enkel modell for å beregne risiko for isdannelse på kompakte tak ved å undersøke forhold som gir snøsmelting nedenfra og samtidig gjenfrysing av smeltevann. Modellen viser hvilke kombinasjoner av snødybde og utetemperatur som kan være farlige. For å undersøke om utvendige nedløp kan være mulig i enkelte områder, er det satt opp en beregningsmodell som tar inn timesmålinger av klimadataene uteluftstemperatur og snødybde. Værdataene er hentet fra databasen til Meteorologisk Institutt, Frost API, og omfatter målinger fra 135 målestasjoner. Disse dataene er analysert gjennom et program skrevet i C++. Programmet returnerer et vektet risikotall basert på antall prosent av målingene hvor kombinasjonen av snødybde og utetemperatur gir risiko for snøsmelting og isdannelse. For å ta høyde for mengden tilgjengelige data fra hver værstasjon er det også utarbeidet et vekktall for datakvalitet. Dataene strekker seg fra 1996 til slutten av første kvartal 2021.

De innhentede dataene er dessverre ikke tilstrekkelig til å konkludere entydig hvor utvendige nedløp fra kompakte tak er mulig. Det mangler også grunnlag for å sammenligne modellens risikotall med empiriske data. Dermed kan det ikke settes grenser for hvor løsningen kan og ikke kan brukes. Steder der det antas at løsningen fungerer godt, mangler værstasjoner som måler snødybden hver time. Flere empiriske data fra områdene som har timesmåling på snødybde kunne vært til hjelp for å sette grensene.

For å kunne lage anbefalinger for hvor det er mulig å bygge utvendige nedløp fra kompakte tak, er det et behov for å analysere mer værdata. Dette omfatter også plasser hvor snødybden er lav eller ligger i kortere perioder. Disse plassene har ofte værstasjoner som måler døgndata på snødybde, så en metodikk som kan analysere disse dataene bør utvikles. Det bør også arbeides mer med å bestemme snøens oppførsel på kompakte tak gjennom praktiske målinger.

Abstract

Roof surfaces can make up tens of percent of the surface area of cities and towns. Currently, runoff from flat roofs is commonly led in internal roof drains connected directly to the stormwater network. With climate change causing an increased amount of rain in Norway, it is expected that the stormwater network may be overloaded during major rainfall events. A proposed solution is to build the roofs with external drainage that leads the roof runoff to the terrain instead of the stormwater network. Collection and detention of roof runoff will reduce the load on the stormwater network. The water can also be used as a landscaping resource for the surrounding area. Routing the downpipes outside of the building envelope may pose a challenge to compact roofs. Snowmelt can re-freeze at low outdoor air temperatures and cause problems such as pipe blockage, dangerous icicles, and leaks into the building envelope. These challenges primarily arise in cold climates. Some places in Norway it is assumed that the solution can work well. There is a need for more knowledge about challenges and opportunities when using external drainage from compact roofs.

The thesis presents a simple model for calculating the risk of ice formation on compact roofs by examining conditions that cause snow to melt from below at the same time as runoff water can re-freeze. The model shows which combinations of snow depth and outdoor temperature that may pose a risk. To investigate whether external drainage may be possible in certain areas, a calculation model has been set up. The model includes hourly measurements of outdoor air temperature and snow depth. The weather data is taken from the database of the Norwegian Meteorological Institute, Frost API, and includes measurements from 135 weather stations. This data is analysed through a program written in C++. The program returns a weighted risk figure based on the percentage of the measurements where the combination of snow depth and outdoor temperature yields a risk of snow melting and ice formation. To account for the availability of data from each weather station, a data quality index has also been prepared. The data ranges from 1996 to the end of the first quarter of 2021.

Unfortunately, the data obtained is not sufficient to conclude unambiguously where external drainage from compact roofs is feasible. There is also no basis for comparing the model's risk figures with empirical data. Thus, no limits can be set for where the solution can and cannot be used. Locations where it is assumed that the solution works well, lack weather stations that measure the snow depth hourly. More empirical data from the areas that have hourly measurements of snow depth could have been helpful in determining such boundaries.

To create recommendations for where it is feasible to build compact roofs with external drainage, there is a need to analyse more weather data. This also includes locations where the snow depth is low or only exists in shorter periods. These sites often have weather stations that measure snow depth daily, so a methodology for analysing this data should be developed. More work should also be done to determine the behaviour of the snow on compact roofs through practical measurements.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	iii
Abstract	v
Figurer	ix
Tabeller	xi
Forkortelser/Symboler	xii
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Utdringer i kaldt klima	2
1.3 Klima i Norge	3
1.4 Konsekvenser	4
1.5 Mål og omfang	4
1.6 Avgrensinger	5
2 Teori	7
2.1 Norske byggekrav og anbefalinger	7
2.2 Modeller for snøsmelting og gjenfrysing	9
2.3 Klima i Norge	15
2.4 Værstasjoner	17
2.5 Lokale værforhold	18
2.6 Andre faktorer	18
2.7 Kunnskapshull	19
3 Metode	21
3.1 Litteratursøk	21
3.2 Beregningsmodell	21
3.3 Værstasjoner	26
3.4 Bruk av databaser	30
3.5 Analyse av datasett	31
3.6 Kriterier for kategorisering	34
4 Resultat	37
4.1 Generelt om resultatene	37
4.2 Tabell	37

4.3	Kart	43
4.4	Plott	43
4.5	Andre analyser	47
5	Diskusjon	49
5.1	Fysiske forhold som forårsaker smelting av snø og gjenfrysing på kompakte tak med utvendig nedløp	49
5.2	Klima som gir risiko for isdannelse i nedløpssystemer fra kompakte tak i Norge . . .	51
5.3	Framtidige anbefalinger for utvendige nedløp fra kompakte tak i Norge	52
6	Konklusjon	55
6.1	Framtidig arbeid	56
	Referanser	57
A	Kode fra python	63
A.1	Hente værdata fra met.no via Frost API	63
B	Kode fra C++	67
B.1	.h-filer	67
B.2	.cpp-filer	68

Figurer

1	Illustrasjon over oppbyggingen av norske byggekav. Figuren er fra Stenstad (2014).	7
2	Kompakt tak med utvendig nedløp i Trondheim, en løsning som ofte blir brukt der parapet fjernes fra den ene siden til fordel for nedløpene. Uttørring av veggen hvor parapet fjernes vil bli en utfordring. Foto: Vegard A. Skagseth	9
3	Modell for energibalanse i snølagene. Figur fra Zhou et al. (2018)	12
4	Et enkelttilfelle hvor isdannelse på et luftet taket forekommer (a), kombinert med temperaturdata fra en nærliggende målestasjon (b)	13
5	Graf over forholdene som vil gi isdannelse når det er snø på tak, rødt område vil gi rask isdannelse som vil være problematisk, i følge Tobiasson et al. (1994) vil også noe isdannelse oppstå før uteluftstemperaturen er under $-5.6^{\circ}C$, men i et tregere tempo.	15
6	Klimasoner i Norden etter Köppen-Geiger systemet. Her er tre ulike klimasoner: Maritimt temperert klima, kontinentalklima og polart klima. Byer med flere innbyggere enn 100 000 er merket av på kartet. Figuren er fra Thodesen et al. (2018).	16
7	Figur a) viser midlere maksimal årlig snømengde i mm vannekvivalent og figur b) viser varighet (døgn/år) med snødekke for referanseperioden 1971-2000. Figuren er fra Hanssen-Bauer et al. (2015)	17
8	Viser enkelte plasseringer av målestasjoner for snødybde på sør-vestlandet. Utklipp fra www.senorge.no	18
9	Risikosoner for snøsmelting og isdannelse på TEK17-tak med U-verdi $0,18W/m^2K$. Innendørs temperatur er $22^{\circ}C$	22
10	Risiko for snøsmelting og isdannelse på TEK17-tak med U-verdi $0,18W/m^2K$. Innendørs temperatur er $22^{\circ}C$. Figuren illustrerer usikkerhet for risiko for isdannelse.	23
11	Risiko for snøsmelting og isdannelse på TEK17-tak med U-verdi $0,18W/m^2K$. λ_s er $0,06W/mK$ og $0,18W/mK$ for henholdsvis nederste og øverste skrå linje. Området mellom disse linjene illustrerer usikkerhet i risiko for snøsmelting. Innendørs temperatur er $22^{\circ}C$. Figuren er delt inn i soner forklart i Tabell 3	24

12	Risikomatrise for isdannelse. Hvis snøsmelting og gjenfrysing oppstår samtidig vil det være problematisk (merket rødt). I praksis er det utfordrende å bestemme nøyaktig hvilke forhold som gir snøsmelting og gjenfrysing, derfor brukes soner for usikkerhet (merket lyserødt - gult der usikkerhetene overlapper). Hvis enten snøsmelting eller gjenfrysing ikke forekommer, vil det heller ikke være noen problemer (merket grønt).	25
13	Endringer i de forskjellige sonene hvis bare U-verdien endres fra Figur 11	26
14	Kart over værstasjoner i Nord-Norge	28
15	Kart over værstasjoner i Sør-Norge	29
16	Eksempel på data som er hentet fra met.no og klargjort til å analyseres i C++. Hver linje kan leses fra venstre mot høyre: Linjenummer, tidspunkt, uteluftstemperatur ($^{\circ}C$) og snødybde (cm). Dataene er fra målestasjon SN18500 Bjørnholt i Oslo.	31
17	Eksempel på utskrift i terminal når analyseprogrammet kjøres for værstasjonen i Tromsø (SN90450:0).	34
18	Inndeling i kategori	36
19	Kart over værstasjoner som måler timesdata i Nord-Norge, ulike symboler angir hvor høy risikoen er ved stasjonene og farge angir datakvaliteten.	44
20	Kart over værstasjoner som måler timesdata i Sør-Norge, ulike symboler angir hvor høy risikoen er ved stasjonene og fargen angir datakvaliteten.	45
21	Plot som viser kategoriseringen av de ulike værstasjonene. Figuren er delt i to for bedre leselighet og risiko-aksene har litt forskjellig oppløsning.	46
22	De nitten datasettene med høyest datakvalitet er kjørt gjennom analysen to ganger til med forskjellig U-verdi. Blå punkt er for U-verdien $0,23 W/m^2K$, grønne punkter for $0,13 W/m^2K$ og de sorte for $0,18 W/m^2K$. Hvis det står om marginer kan løsningen være å isolere taket bedre, men en kan i hovedsak ikke isolere seg ut av dårlige klimatiske forutsetninger.	47
23	Risikosoner for snøsmelting og isdannelse på kompakte tak. Gjentakelse av Figur 11.	50

Tabeller

1	Parametre som påvirker snøsmelting på tak (Nielsen, 2019)	11
2	Parametrene brukt i Ligning 3. Parametrene beskrives matematisk i Zhou et al. (2018)	12
3	Liste over fysiske forhold som avgjør hvilke soner måledataene deles inn under. . . .	25
4	Resultatliste	38
5	Antall stasjoner innenfor hver rute i matrisen i Figur 18. Totalt er 135 værstasjoner analysert.	43
6	Resultater for de 19 stasjonene med størst datakvalitet, der U-verdien varierer. . . .	48

Forkortelser/Symboler

Symbol:	Forklaring:	Benevning:
λ	Varmekonduktivitet	W/Km
T_e	Utendørs lufttemperatur	$^{\circ}C$
T_i	Innendørs temperatur	$^{\circ}C$
moh	Høyde over havet	Meter
R-verdi	Isolasjonsevne, varmemotstand	m^2K/W
U-verdi	Isolasjonsevne, varmegjennomgangskoeffisient	W/m^2K
API	Application Programming Interface	
csv-fil	Fil med kommaseparerte verdier	

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Kompakte (varme) tak blir ofte valgt som løsning til bygg, særlig for flate tak som er vanskelige å bygge som luftet tak. Kompakte flate tak egner seg godt til større takflater hvor skrå luftede tak hadde gitt en urimelig stor byggehøyde. Andre grunner til at kompakte tak blir valgt er arkitektoniske uttrykk, at takene kan brukes som bruksareal, og at kompakte tak har god sikkerhet mot brann og inndrev av snø i takkonstruksjonen (Byggforskserien 525.207, 2018; Byggforskserien 525.002, 2018).

Klimaendringer vil i Norge føre til mer nedbør, mer nedbør vil komme som regn og de intense nedbørshendelsene kommer oftere (Hanssen-Bauer et al., 2015). Dette vil føre til økt belastning på overvannsnettene i byer og kan gi risiko for flom (Semadeni-Davies et al., 2008; Chen et al., 2015). Mange steder er overvannssystemer allerede underdimensjonert, samtidig som oppgraderinger er både dyrt og vanskelig å utføre (RIF, 2021). Derfor er det ønsket at overvann skal behandles på egen tomt, og involvere overvannsnett i minst mulig grad (Becker et al., 2016). En hyggelig bieffekt er at vannet kan fungere som en livgivende ressurs for nærområdet som planter og dyr kan benytte seg av, og brukes som et landskapsarkitektonisk element.

I byer kan takflater utgjøre flere titalls prosent av det bebygde arealet (Stovin et al., 2012) og potensialet for å avlaste overvannsnett ved å lede takvannet ut på egen tomt er stort. Av disse grunnene er det mange steder blitt forankret i byggregelverket at takvann skal ledes ut på terreng. Eksempler er Ringerike Kommune (2018); Oslo Kommune (2017); Lørenskog, Rælingen og Skedsmo kommune (2017).

Ideen om å lede takvannet ut på egen tomt har imidlertid stort sett blitt analysert kun i et hydrologi-perspektiv med fokus på styrtregn i de ”varme” årstidene. Løsningen vil medføre enkelte bygningsfysiske utfordringer om vinteren dersom smeltevann ledes til utvendige nedløp. Fra luftede tak er det nærmest problemfritt å koble nedløpene av overvannsnett, gitt at taket er tilstrekkelig luftet og godt nok isolert –det luftede taket gjør at snøen ikke smelter før det er plussgrader i luften. I kompakte tak kan varmemestrømmer fra oppvarmede rom smelte snø og smeltevannet fryse igjen når det renner av taket. Fra kompakte takflater oppstår det derfor utfordringer med isdannelse der takvannet renner ut, dersom det ledes til en kaldere sone. Dette er hovedgrunnen til at kompakte tak vanligvis blir utført med innvendige nedløp, der vannet alltid renner mot en varmere sone.

I Byggteknisk forskrift (TEK17) Lovdata (2017) finnes to paragrafer som omhandler nedbør og tak. Den første er § 12-13 ledd 2 (se tekstboks), som tar for seg at tak ikke skal skades av nedbør, snøsmelting og ising. I veiledningen til dette leddet (vTEK) beskrives en preakseptert ytelse som er sitert i tekstboksen under. Kravet om å unngå varmekabler er inkludert i den preaksepterte ytelsen

fordi varmekabler er veldig energikrevende, i en slik grad at det er vanskelig å oppnå energi-kravene i TEK17 når disse brukes (Skagseth and Bunkholt, 2019). Den andre paragrafen er § 15-8 ledd 1, som omhandler overvannshåndtering, der overvannet, inklusivt nedbør fra tak, i størst mulig grad skal håndteres lokalt. Veiledningen til paragrafen sier at hensikten er å unngå at overvann tilføres hovedledningen. I praksis betyr dette at innvendige taknedløp er uønsket. Når det kommer til kompakte tak vil de to paragrafene være noe motsigende. Å benytte utvendige nedløp gir en risiko for frostskaide i kalde klima.

Denne oppgaven vil ta for seg utfordringene knyttet til å benytte utvendig nedløp på kompakte tak og evaluere hvorvidt løsningen lar seg bruke i ulike norske klima.

TEK17 §13-12 (2):

”Tak skal prosjekteres og utføres med tilstrekkelig fall og avløp slik at regn og smeltevann renner av. Nedbør, snøsmelting og ising skal ikke føre til skader på byggverket.”

vTEK Veiledning til andre ledd Preakseptert ytelse punkt 6:

”På tak uten lufting (kompakte tak) må smeltevann ledes fra kaldere til varmere deler av taket, og dreneres bort i nedløp som er frostfritt uten bruk av varmekabler.”

TEK 17 § 15-8 (1):

”Overvann og drenevann skal i størst mulig grad infiltreres eller på annen måte håndteres lokalt for å sikre vannbalansen i området og unngå overbelastning på avløpsanleggene.”

(DiBK, 2017)

1.2 Utfordringer i kaldt klima

I Norge kan store mengder snø legge seg på takflater i vinterhalvåret –og visse steder kan det skje resten av året også. Temperaturforskjellen mellom innsiden og utsiden av taket vil gi en temperaturgradient gjennom hele takets tykkelse. Temperaturgradienten vil være kontinuerlig og jevn innad i materialer med jevn varmekonduktivitet (Hagentoft, 2001). Ulike materialer vil ha ulikt varmetap avhengig av varmekonduktiviteten. Når det er lavere temperaturer enn null grader ute og høyere temperatur enn null grader inne, vil temperaturen en plass i midten være null grader. Den såkalte nullisotermener en teoretisk linje langs konstruksjonen der temperaturen er null grader. Siden snø har en isolerende effekt, vil det i visse tilfeller skje at nullisotermen flyttes ut av taket og inn i snølaget. Når dette skjer vil snø som er under nullisotermen begynne å smelte og smeltevann renner av fra taket. Hvis dette smeltevannet renner til en plass som har lavere temperatur enn frysepunktet kan det fryse til igjen og skape problemer (Lstiburek, 2006, 2009, 2010). Problemene er nærmere

beskrevet i Kapittel 1.4.

1.3 Klima i Norge

Norge er et langstrakt land med variert klima. Grovt sett kan landet deles inn i tre klimasoner i Köppen-Geiger-klassifiseringen (Peel et al., 2007): Maritimt temperert klima, kontinentalt klima og polart klima (Thodesen et al., 2018). Sistnevnte forekommer stort sett i høyfjellet og svært langt nordpå der det er lite bebyggelse. Kystklimaet er mildt og kan gi vintre med lite eller ingen snø, se Figur 6. Samtidig vil klimaendringer gi enda mildere og våtere klima i fremtiden (Hanssen-Bauer et al., 2015).

Løsningen med utvendige nedløp fra kompakte tak kan vise seg gjennomførbart i Norge. Byggforskserien 525.207 (2018), som omhandler kompakte tak, nevner at for godt isolerte tak som befinner seg i et kystklima, hvor man vet sikkert at snølaget på taket har kort varighet, kan løsningen med utvendig nedløp forsvares. Begrepet "kystklima" er imidlertid ikke et entydig begrep i følge Store norske leksikon (2019). Ei heller beskriver Byggforskserien 525.207 (2018) nærmere ved hvilke forhold løsningen med utvendige taknedløp vil fungere. Enkelte steder er løsningen med kompakte tak og utvendig nedløp brukt med heldig resultat (Andenæs et al., 2020; Grynning et al., 2017), men det finnes ingen systematisk oversikt over tilfellene hvor det har gått bra og hvor det har oppstått skader.

Utdrag fra Byggforskserien til SINTEF Community

5.51 Tilstrekkelig fall og avrenning

"Tak skal ha tilstrekkelig fall slik at regn- og smeltevann renner av. Kompakte tak må ha innvendige nedløp og sluk som gjerne plasseres i en lokal forsøknings. Smeltevannet må ledes bort fra taket på en forsvarlig måte, og nedløpet må ikke ha så lav temperatur at vannet kan fryse.

Utvendig nedløp for godt isolerte kompakte tak kan være akseptabelt på steder med et kystklima der man vet sikkert at snølag på taket får meget kort varighet. Det må da aksepteres at bygningen i enkelte perioder kan få isdannelse ved takrenner og nedløp."

5.56 Skrå kompakte tak

"Kompakte, skrå tak over oppvarmede rom må vanligvis ha innvendige nedløp for å unngå isproblemer. [...].

Innvendige nedløp kan sløyfes på noen takformer og på steder med lite snø og is.[...]"

(Byggforskserien 525.207, 2018)

1.4 Konsekvenser

Isdannelse på tak og i nedløpssystemer kan ha flere uønskede konsekvenser, både bygningstekniske og helsemessige. De mest alvorlige konsekvensene er når liv og helse går tapt, som når istapper faller ned som omtalt i nyhetsartikkelen av Åstrand (2010) og av Nielsen (2005). Det finnes også eksempler der bygninger har kollapset som følge av vekten av is og smeltevann som samles på på taket (Piroglu and Ozakgul, 2016; Breuning, 2013). Heldigvis er konsekvensene som regel mindre dramatiske enn dette.

Byggskader som følge av isdannelse kan være dyre å reparere, men tar sjelden liv. Frysing og tining kan tære på materialer ved at smeltevann trekker inn i sprekker og utvider seg når det fryser. Takteknik og rør kan punkteres av is. Is kan også danne demninger på taket som holder tilbake store mengder smeltevann (Knight, 1980). Vannet kan tyngne ned taket eller trenge inn i konstruksjonen, der det fører til råte, korrosjon eller andre skader (Lisø, 2006). Slike skader kan være svært kostbare å utbedre.

1.5 Mål og omfang

Å bygge kompakte tak med utvendig nedløp er forbundet med en viss risiko, men de gunstige fordelene og strenge krav til overvannshåndtering gjør at mange likevel ønsker å bruke løsningen. Det er behov for en grundig analyse av frostrisiko ved slike løsninger og av klimaforhold for å vurdere hvor løsningen kan brukes.

Denne masteroppgaven har som mål å analysere under hvilke forhold det oppstår uønskede konsekvenser av isdannelse på kompakte tak med utvendig nedløp. Det er ønskelig å finne ut hvor, når og hvor ofte disse forholdene inntreffer. Et langsiktig mål er å lage et verktøy som kan benyttes i planlegging av tak for å vurdere når løsningen kan forsvares. Målet med oppgaven er å utvikle en metode som kan brukes til å vurdere egnetheten til løsningen ved hjelp av stedlige værdata. Med bakgrunn i dette skal følgende forskningsspørsmål adresseres:

1. Hvilke fysiske forhold forårsaker snøsmelting og gjenfrysing på kompakte tak med utvendig nedløp?
2. Hva slags klima gir risiko for isdannelse i nedløpssystemer fra kompakte tak i Norge?
3. Hvordan kan det vurderes hvor utvendige nedløp fra kompakte tak kan være aktuelt?

1.6 Avgrensinger

Følgende avgrensninger gjelder for oppgaven: Det forutsettes stasjonære forhold i bygningsfysiske beregninger. Dynamiske simuleringer vil være heftet med store usikkerheter grunnet manglende data om snøens termiske egenskaper. Oppgaven benytter seg av klimadata fra 135 værstasjoner i Norge der snø og temperatur måles hver time. Dataene omfatter stasjoner over hele landet, men danner ikke et fullstendig bilde av regionalt klima. De tilgjengelige dataseriene er forholdsvis korte og ofte ufullstendige. Arbeidet er begrenset av mangel på enkelte parametre og måldata. En forenklet beregningsmodell er benyttet for å kunne ta i bruk tilgjengelige data. Enkelte antagelser og forenklinger - spesielt med tanke på snøens egenskaper - er gjort for å fullføre beregningene. Antagelsene er redegjort for i metodekapitlet. Oppgaven er avgrenset til norske forhold, herunder klimadata og byggeregler. Hydrologiske spørsmål er ikke nærmere diskutert. Oppgaven er i hovedsak skrevet med et bygningsfysisk perspektiv, noe som kan påvirke forståelsen av risiko.

2 Teori

Dette kapitlet presenterer det teoretiske rammeverket som knytter seg til retningslinjer og bygge- regelverket i Norge, kompakte tak, snøens termiske egenskaper, snøsmelting og isdannelse. Mye av teorien ble avdekket i forstudiet i prosjektoppgaven, supplert med noe informasjon om for eksempel varmekonduktiviteten til snø som er en viktig del for å beskrive snøsmeltingen.

2.1 Norske byggekrav og anbefalinger

Norske byggekrav setter minimumskrav til hvordan bygg skal prestere for å kunne oppføres i Norge. Regelverket bygges opp i flere nivåer som illustrert i Figur 1. I prinsipp er regelverket todelt: en del som stiller juridiske krav til bygninger, og en del som støtter opp kravene og gir anvisning om hvordan de skal løses og hvordan løsningene dokumenteres (Stenstad, 2014). I Figur 1 er anvisninger vist som basen”i pyramiden, som tilrettelegger for at reglene i de øverste nivåene skal bli fulgt. Regelverket illustreres av noen med en pyramide der Plan- og bygningsloven ligger i bunn, for eksempel Lisø et al. (2017).



Figur 1: Illustrasjon over oppbyggingen av norske byggekrav. Figuren er fra Stenstad (2014).

Nærmere forklaring av de forskjellige nivåene i regelverket:

- Plan- og bygningsloven
Lovverk som må følges, setter overordnede føringer

- Teknisk forskrift (TEK)
Konkretiserer plan og bygningsloven gjennom å uttrykke funksjonskrav. Oppdateres jevnlig, nyeste versjon er TEK17 som kom ut i 2017.
- vTEK
Veiledning til teknisk forskrift, lister preaksepterte løsninger.
- Standarder
Felles forståelse på hvordan noe skal lages eller gjennomføres.
- Kommunale føringer
Føringer gitt på kommunenivå. Normer og reguleringsplaner. Et eksempel er den mye omtalte Leilighetsnormen i Oslo. En faktor som er relevant for denne oppgaven er at kommuner kan kreve at taknedløp skal frakobles overvannsnett. Dette er ikke et nasjonalt krav, men er fremmet i mange kommuner (Oslo Kommune, 2017; Ringerike Kommune, 2018; Lørenskog, Rælingen og Skedsmo kommune, 2017)
- Byggforskserien
Samling av preaksepterte løsninger for bygg, byggesak og byggforvaltning.
- Verifikasjon
For løsninger som viker fra preaksepterte må det gjennomføres en analyse for å dokumentere at kravene er oppfylt.

Anbefalinger fra byggforskserien

Anbefalinger for kompakte tak finnes i Byggforskserien 525.207 (2018). Anvisningen tar for seg ulike løsninger for hvordan taket skal bygges opp, hvilke materialer som brukes og løsninger på takfall slik at avrenningen til regnvann er tilstrekkelig. Kompakte tak er bygget opp lagvis og har lite eller ingen muligheter for uttørking, derfor er det ekstra viktig at taktekingen ikke har lekkasjer. Det frarådes å benytte organisk materiale mellom de tette lagene av hensyn på råteskade. Anvisningen sier at kompakte tak som hovedregel må ha innvendige nedløp (se tekstboks i Kapittel 1.3. Det åpnes for muligheten til å benytte utvendige nedløp fra kompakte tak i visse tilfeller ("*kystklima der man vet med sikkerhet at snølag vil ha kort varighet*") (Byggforskserien 525.207, 2018)) men veiledningen er uklar og det spesifiseres ikke hvordan slike løsninger bør utformes.

SINTEF Community har også en anvisning som omhandler takrenner og nedløp (Byggforskserien 525.921, 2017). Anvisningen behandler utvendige takrenner og taknedløp. I denne anvisningen blir ikke kompakte tak nevnt, hverken med utvendige eller innvendige nedløp. Det som blir sagt om nedløp gjelder kun utvendige nedløp fra luftede tak. Dette bidrar til å forsterke inntrykket av at å bygge flate tak med utvendige nedløp er "feil". Aktører som velger denne løsningen vil ikke ha mye faglitteratur å støtte seg på, noe som øker risikoen for byggefeil og defekter.

Byggforskserien 725.118 (2012) viser noen uheldige konsekvenser ved å benytte utvendige nedløp fra kompakte tak og foreslår løsninger for utbedring. Hvis takene er skrå kan det luftes, mens på flate tak bør nedløpene dras inn i bygningskroppen, hvis dette er en endring som må gjøres etter at taket er ferdig vil endringene bli kostbar og omfattende. Utvendige nedløp fra kompakte tak beskrives gjennomgående som en dårlig og ikke anbefalt løsning ("*...Velger man utvendig avrenningssystem, fryser smeltevannet til is på kalde takutstikk og i utvendige renner og nedløp.*") (Byggforskserien 725.118, 2012).

Byggforskserien åpner altså for at kompakte tak kan bygges med utvendig nedløp i visse tilfeller, men er generelt lite positiv til ideen og gir ingen retningslinjer for hvordan løsninger kan utformes.



Figur 2: Kompakt tak med utvendig nedløp i Trondheim, en løsning som ofte blir brukt der parapet fjernes fra den ene siden til fordel for nedløpene. Uttørring av vegg hvor parapet fjernes vil bli en utfordring. Foto: Vegard A. Skagseth

2.2 Modeller for snøsmelting og gjenfrysing

I resultatene fra litteraturstudiet i prosjektoppgaven framstilles to gode snøsmeltemodeller. Den ene er hentet fra Zhou et al. (2018) og den andre fra Nielsen and Claesson (2011). Litteraturstudiet frembrakte også noen erfaringer om isdannelse. I dette kapitlet drøftes de ulike modellene og hvorfor det er så vanskelig å bruke dem i praksis.

Varmekonduktivitet snø

Snøens varmekonduktivitet er sentral for termiske simuleringer. Dessverre er varmekonduktiviteten svært vanskelig å måle, den er sensitiv for flere faktorer, og den endrer seg når snøen smelter. Snø kan i stor grad sammenlignes med isolasjonsmaterialer som brukes i bygg, der tørr, ny snø med høyt luftinnhold isolerer godt og eldre våt snø har en høyere lambda-verdi som fører til at snøens isoleringsevne er redusert.

Snø er en blanding av is, vann og luft (Heilig et al., 2015). Varmekonduktiviteten avhenger av både porøsitet og vanninnhold, som også påvirker hverandre. Temperaturendringer og mekaniske påkjenninger vil påvirke begge parametre. Det er ikke kjent noen metoder for å måle snøens temperatur, vanninnhold og porøsitet samtidig, tross iherdige forsøk (Heilig et al., 2015). Snø er ikke et homogent materiale, selv om det kommer fra samme snøfall og tilhører samme snølag. Snøen nederst i snølaget vil komprimeres under vekten av snøen over. Til en viss grad vil snøen suges til seg sitt eget smeltevann gjennom kapillærkrefter. Smeltevannet kan også fryse igjen, dette endrer også snøens struktur. Pent sagt er det utfordrende å gjøre termiske beregninger på snø.

I forskningslitteraturen finnes en del artikler som omhandler varmekonduktiviteten i snø. En av de tidligste er Andrews (1886). I ettertid har mange forsøkt å modellere varmekonduktiviteten, uten særlig hell. Det har vært et stort fokus på å bestemme varmekonduktivitet utfra densitet. Sturm et al. (1997) har vist gjennom flere forsøk at varmekonduktiviteten kan variere stort også for snøprøver med samme densitet. Sturm et al. (1997) lister også opp tidligere forsøk på å bestemme varmekonduktiviteten gjennom et litteraturstudium. I senere tid har Schneebeli and Sokratov (2004) funnet ut at kornstrukturen har større innvirkning på varmekonduktiviteten til snø enn densiteten. Som Schneebeli skriver: *"The heat conductivity changed by as much as twice its initial value, caused by changes in structure and texture, but not due to changes in density."*

Anslagene til varmekonduktiviteten for snø varierer. Denne oppgaven går ut fra et konservativt estimat og et gjennomsnittlig estimat fra Sturm et al. (1997). Det konservative anslaget gjelder for helt tørr nysnø og er $\lambda_s = 0,06 \text{ W/mK}$. Det gjennomsnittlige anslaget er $\lambda_s = 0,18 \text{ W/mK}$. Varmekonduktiviteten til snø vil bevege seg mot varmekonduktiviteten til is ($\lambda_{is} = 2,2 \text{ W/mK}$, ifølge Bartelt et al. (2000)), etterhvert som snøen pakker seg tettere og går gjennom sykler med tining og frysing. For ordens skyld kan det nevnes at $\lambda_{vann} = 0,598 \text{ W/mK}$ og $\lambda_{luft} = 0,026 \text{ W/mK}$.

Snøsmelting

Snø kan smelte på tak, selv om uteluftstemperaturen er lavere enn frysetemperaturen til snø. På luftede tak vil snøen da smelte hvis taket er dårlig isolert eller utilstrekkelig luftet. I Figur 4a Nielsen and Claesson (2011) oppgir i Ligning 1 en formel for ved hvilke snødybder, D_m [m], snøsmelting

forekommer på skrå tak uten lufting.

$$D_m = \frac{\lambda_s(-T_e)}{U_r T_i} \quad (1)$$

Hvor λ_s er varmekonduktiviteten for snø [W/mK], U_r er U-verdien til taket [W/m^2K] og T_e og T_i er hhv. utendørs og innendørs temperatur [$^{\circ}C$]

Videre utvikler Nielsen and Claesson (2011) en formel som beregner hvor lang tid snøsmeltingen tar før snølaget er så tynt at nullisotermen er flyttet ned i takkonstruksjonen og snøen stopper å smelte. Ligning 2 benytter densiteten til snøen, som kan beskrives ut fra værdata i følge Meløysund et al. (2007), men som skrevet i Kapittel 2.2 er den mindre egnet til å beskrive snøens termiske egenskaper.

$$t_r = \frac{h_m \cdot \rho_s \cdot L \cdot D_0}{q_r} = \frac{h_m \cdot \rho_s \cdot D_0}{U_r \cdot T_i} \quad (2)$$

Hvor t_r [s] er smeltetiden fra initiell snødybde til smeltegrense, h_m [kJ/kg] er varmemengden som trengs for å smelte et kg snø, ρ_s [kg/m^3] er snøens densitet, L [m] er takets lengde, D_0 [m] er initiell snødybde og q_r [W/m^2] er varmemengde igjennom tak.

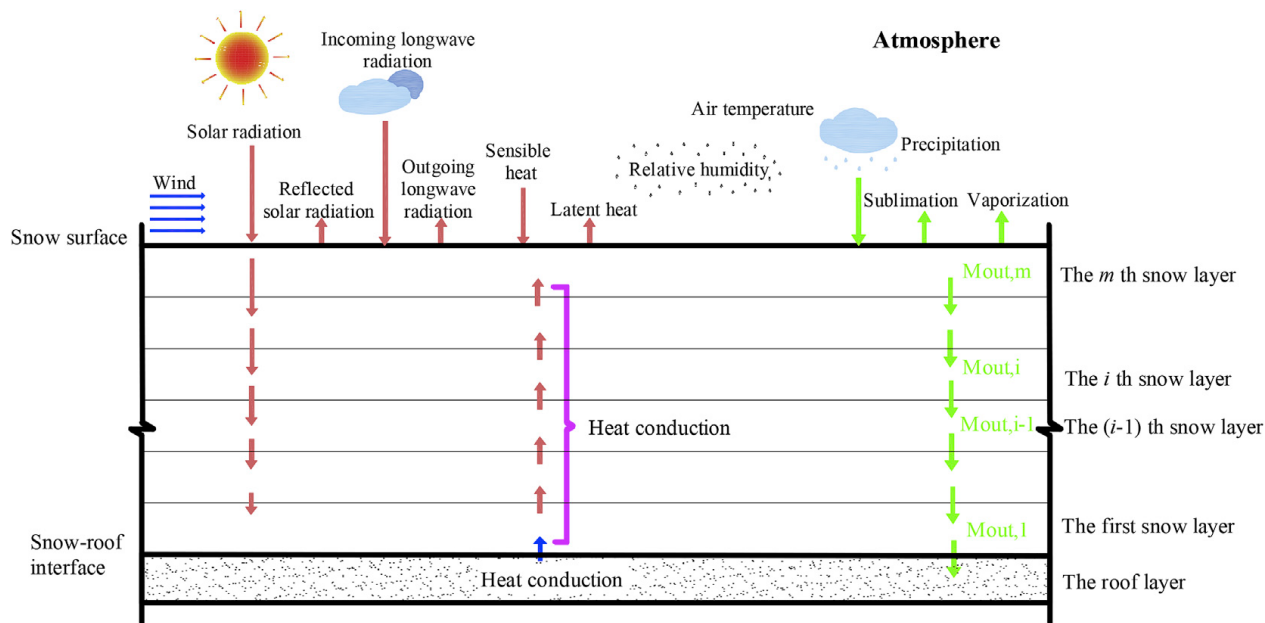
I Nielsen (2019) utforskes de forskjellige parametrene som bidrar til snøsmelting gjennom en sensitivitetsanalyse. Tabell 1 er en liste over parametrene som utforskes i sensitivitetsanalysen. Her viser det seg, i synkende rekkefølge, at U-verdi tak, innendørs temperatur og snøtykkelse er parametrene som påvirker mest. Nielsen and Claesson (2011) har også en modell for å beregne mengden smeltevann fra snøsmeltingen over tid. Den vil ikke benyttes videre i denne oppgaven, men kan være nyttig i dynamiske beregninger.

Tabell 1: Parametre som påvirker snøsmelting på tak (Nielsen, 2019)

Lengde på tak
Temperatur inne
Temperatur ute
U-verdi tak
Snødybde
Snøtetthet
Solstråler og langbølget stråling

En annen snøsmeltemodell er gitt av Zhou et al. (2018) som beskriver en modell for snøsmelting og en annen for snødriv som de prøver å kombinere slik at de kan forutse snøformasjon på taket. Smeltemodellen de beskriver tar inn mange parametre som er listet opp i Tabell 2, der noen parametre gir positive energibidrag til systemet og andre negative, den totale energibalansen er beskrevet i Ligning 3. Modellen beskriver en grundig metode, men illustrerer også hvor komplisert det er å få

tak i nok data til å benytte den i praksis. Metoden benytter seg av anslag for varmekonduktiviteten i flere snølag.



Figur 3: Modell for energibalanse i snølagene. Figur fra Zhou et al. (2018)

$$(\rho c)_s^i H_s^i \frac{\partial T_s^i}{\partial t} = L_a - L_t + S_n + H + E_l + Q_c + Q_p + Q_r \quad (3)$$

Tabell 2: Parametrene brukt i Ligning 3. Parametrene beskrives matematisk i Zhou et al. (2018)

$(\rho c)_s$	Snøens volumetriske varmekapasitet	H_s	Snølagets tykkelse
T_s	Snølagets temperatur	S_n	Kortbølget stråling
L_a	Atmosfærisk langbølget stråling	L_t	Utgående langbølget stråling
E_l	Varme fra snø til omgivelsene	H	Varme fra omgivelsene
Q_r	Energitalp fra taket	Q_c	Varmeledning
Q_p	Varme fremmet av nedbør		

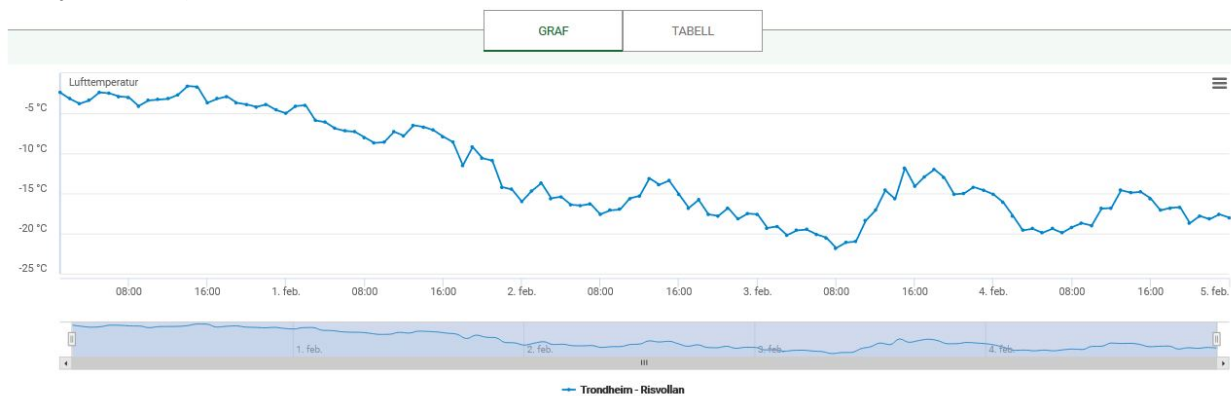
Isdannelse

Vann fryser til is ved 0°C (American Metrological Society, 2012). Utfordringer på tak som følge av isdannelse kan i hovedsak deles inn i tre kategorier avhengig av hvor vannet fryser til: isdemninger, istapper og frysing i rør. I prosjektoppgaven ble det funnet en del litteratur som omhandler alle tre kategoriene. De følgende avsnittene gir en oppsummering av resultatene derfra.

Isdemninger oppstår når smeltevann fryser til igjen på taket når smeltevannet renner fra en



(a) Tak som er dårlig isolert og/eller utilstrekkelig luftet som fører til isdammer på utstikk og istapper nedenfor. Merk at snødybden på taket er lav. Foto: Vegard A. Skagseth. Tidspunkt: 3. februar 2021 kl 12:19. Posisjon: Nardo, Trondheim



(b) Temperaturer på Risvollan målestasjon fra 31. januar til 4. februar 2021.

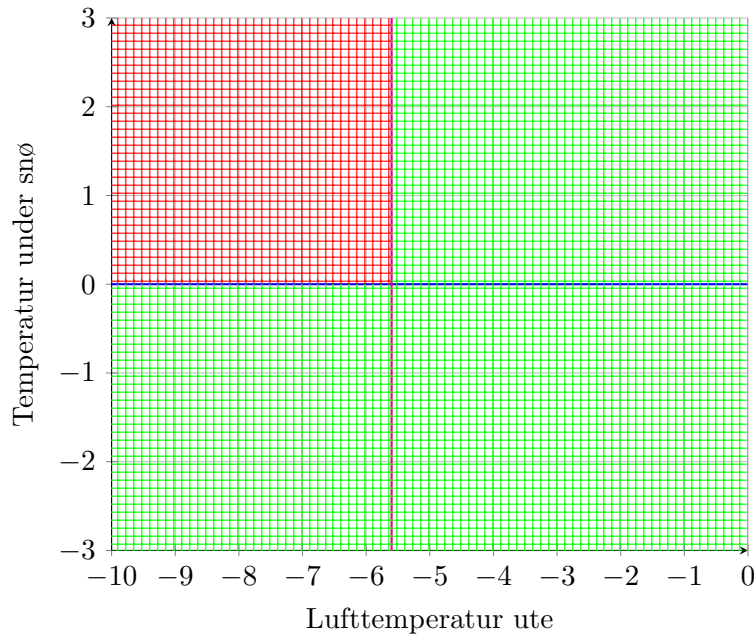
Figur 4: Et enkelttilfelle hvor isdannelse på et luftet taket forekommer (a), kombinert med temperaturdata fra en nærliggende målestasjon (b)

sone hvor snø smelter over til en kaldere sone hvor det fryser til is. Etterhvert vil det bygges opp en barriere av is som vil demme opp smeltevannet. Når vannet samles opp over en sone hvor snø også vil smelte vil ikke vannet fryse til igjen og et vanntrykk mot taktekkingen vil oppstå. Hull og utettheter i taktekkingen vil skape store problemer, spesielt hvor vann blir stående, og vann vil trenge inn i takkonstruksjonen med alle problemene det medfører. Hvis demningene blir veldig store kan det i verste fall føre til at taket kollapser (Piroglu and Ozakgul, 2016; Breuning, 2013).

Istapper oppstår når smeltevann drypper ned fra taket og den hengende dråpen fryser til is. Nielsen (2019) ser på smeltevann som ikke rekker å fryse til på taket og renner over kanten som potensiale til istappdannelse. Alternativet er at vannet drypper ned og danner en issvull på bakken eller renner vekk. Hvor mye som fryser til som istapper diskuterer ikke Nielsen videre, men det er i stor grad avhengig av uteluftstemperaturen. Istapper danner grunnlag for farlige forhold både for bygninger og mennesker, i nyhetsartikkelen til Åstrand (2010) skrives det om et dødsfall knyttet til at istapper faller ned. Issvuller på bakken kan også gi farlige forhold dersom folk kan skli på dem.

Is i rør kan også skape store problemer, men få studier skriver om isdannelse i nedløpsrør fra tak. I hovedsak fokuserer forskningen på kjemiske prosessanlegg når det snakkes om frysing i rør og isdannelse når et kaldt rør fylles med vann. Noen artikler som kan relateres til problemet er Gilpin (1981); Schneider (1980); Vigoureux and Vigoureux (2018), men akkurat dette problemet vil ikke bli videre behandlet i denne oppgaven.

En nøkkelkilde for denne oppgaven er Tobiasson et al. (1998). Tobiasson et al. har gjennom sitt studie målt lufttemperaturen utenfor og temperaturen på et kaldt loft som var utilstrekkelig luftet. Når uteluftstemperaturen var under $-5,6^{\circ}\text{C}$ og temperaturen på loftet var over $-1,1^{\circ}\text{C}$ smeltet snø på taket og det ble dannet en problematisk mengde is. På loftet ble målingen gjort midt på loftet og temperaturen var antageligvis høyere lenger opp. I Figur 5 illustreres det problematiske området som et rødt skravert felt, lengre tid innenfor rødt område vil føre til mer isdannelse. Grønt område i Figur 5 vil ikke nødvendigvis føre til at isen smelter, men heller ikke til mer isdannelse. Isen vil nok ikke smelte før uteluftstemperaturen er over null grader. Merk at grensen for temperaturen under snøen er satt til null grader istedenfor $-1,1^{\circ}\text{C}$, siden målingene ble gjort lenger nede hvor temperaturen antageligvis var lavere. Med utgangspunkt i Figur 5 vil derfor nøkkelspørsmålet være å finne ut ved hvilke værforhold temperaturer under snøen er høyere enn 0°C samtidig som lufttemperaturen er lavere enn $-5,6^{\circ}\text{C}$, og hvor ofte dette oppstår.



Figur 5: Graf over forholdene som vil gi isdannelse når det er snø på tak, rødt område vil gi rask isdannelse som vil være problematisk, i følge Tobiasson et al. (1994) vil også noe isdannelse oppstå før uteluftstemperaturen er under -5.6°C , men i et tregere tempo.

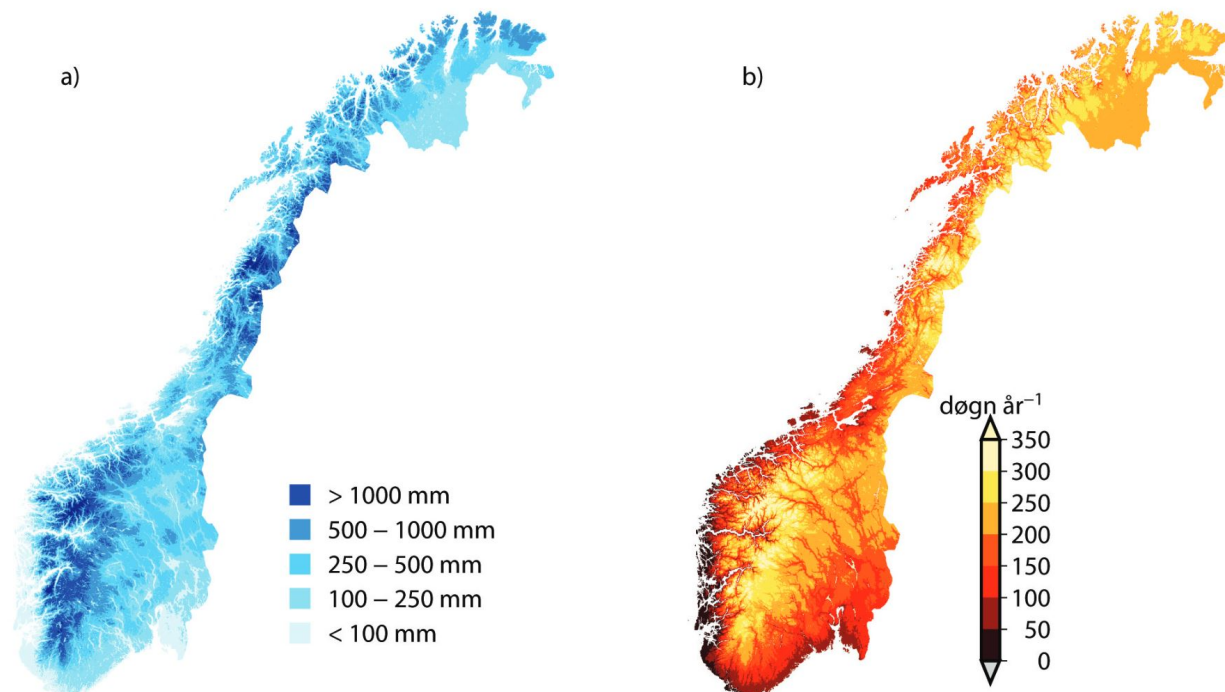
2.3 Klima i Norge

Thodesen et al. (2018) har gjennom sitt arbeid med å tilpasse blå-grønne tak til det nordiske klimaet laget et kart over klimasoner i Norden. De ulike sonene er klassifisert etter Köppen-Geiger systemet der det nordiske klimaet har tre ulike soner: Maritimt temperert klima, kontinentalklima og polart klima. Påvirkningen fra lokalt klima er stort og det vil oppstå mange forskjellige værforhold og et bredt spekter av temperaturer også innad i hver klimasone. Figur 6 fra Thodesen et al. (2018) viser klimasonene som en generell oversikt over hvor i Norge det kan forventes visse typer klima, men for å gjøre beregninger på en skala som er nyttig for individuelle tak må det brukes data med høyere oppløsning.



Figur 6: Klimasoner i Norden etter Köppen-Geiger systemet. Her er tre ulike klimasoner: Maritimt temperert klima, kontinentalklima og polart klima. Byer med flere innbyggere enn 100 000 er merket av på kartet. Figuren er fra Thodesen et al. (2018).

I Hanssen-Bauer et al. (2015) blir midlere maksimale snømengde og antall dager med snødekke per år i referanseperioden 1971-2000 illustrert. Analyse av måledata siden 1991 viser at flere steder endrer forventet snømengde seg, i områder over 1350 m ser de tendenser til en økning, men jevnt over blir lengden på periodene med snø kortere og snødybdene blir lavere. Kystnære strøk på vestlandet har lave midlerer maksimale snødybder og korte perioder med snødekke.



Figur 7: Figur a) viser midlere maksimal årlig snømengde i mm vannekvivalent og figur b) viser varighet (døgn/år) med snødekke for referanseperioden 1971-2000. Figuren er fra Hanssen-Bauer et al. (2015)

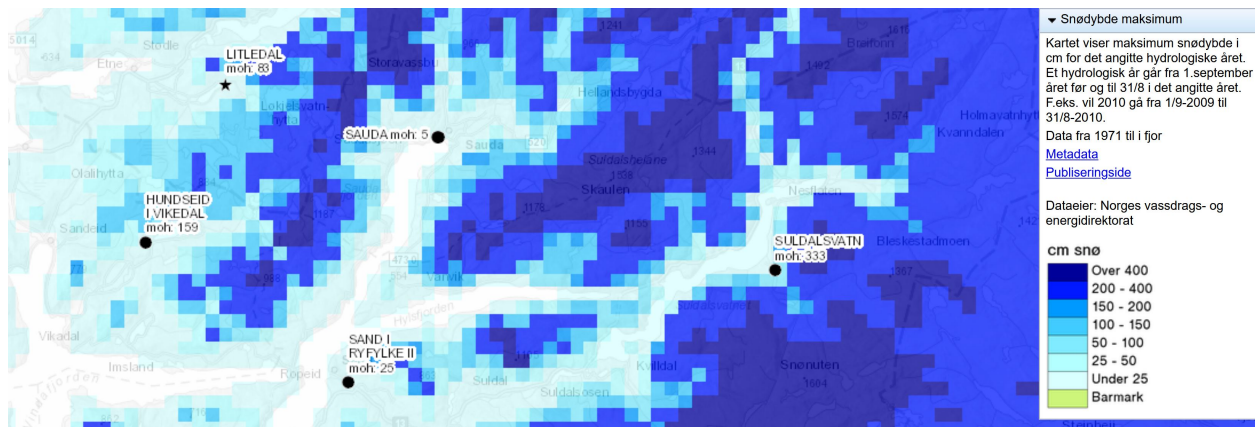
Figur 7 er basert på en analyse av værstasjoner og antagelig illustrert ved hjelp av verktøyet www.senorge.no, et prosjekt fra Meteorologisk Institutt, Statens Kartverk og Norges Vassdrags- og energidirektorat NVE. SeNorge viser vær i Norge med en oppløsning på 1 kvadratkilometer, men dataene er interpolerte verdier basert på målinger fra lokale værstasjoner. Dataene fra SeNorge lar seg ikke enkelt hente ut og oppløsningen på dataene er for lav for lokale beregninger. Derfor kan det være nyttigere å se på data fra enkelte målestasjoner for å teste en metodikk for å beregne snøsmelting og isdannelse på tak i forskjellige norske klima.

2.4 Værstasjoner

Krav til utforming og plassering av værstasjoner behandles i håndbok R613 fra Vegdirektoratet (2015) og Meteorologisk Institutt (n.d.c). Alle værstasjonene i denne oppgaven har eksponeringskategori 2 som vil si at plasseringskvaliteten er ukjent, men antatt god. Ytelsesklassen på værstasjonene angir sensorens kvalitet mht. målenøyaktighet, kalibrering og vedlikehold. Stasjonene analysert i oppgaven har ytelsesklasse A på noen og C på resten. I klasse A oppfyller sensortypen alle kravene fra WMO/CIMO til målenøyaktighet, kalibrering og vedlikehold. I klasse C antas at sensortypen oppfyller alle kravene fra WMO/CIMO, men det følges ikke opp gjennom kontrollmålinger, rutiner

for kalibrering eller vedlikehold (Meterologisk Institutt, n.d. b).

En værstasjon vil ikke nødvendigvis gi et representativt bilde av klimaet annet enn akkurat der stasjonen er plassert. Værstasjonene er typisk plassert ”nær folk” der det er enkelt å betjene stasjonen. Klimaet kan variere veldig innenfor relativt kort avstand fra stasjonen. Figur 8 viser en oversikt over stasjoner som måler snødybde på sør-vestlandet. I dette tilfellet ligger alle stasjonene nær bebyggelse i lavlandet og fanger ikke opp fjellklimaet mellom dalene. I figuren er snødybde mellom stasjonene utledet fra beregninger.



Figur 8: Viser enkelte plasseringer av målestasjoner for snødybde på sør-vestlandet. Utklipp fra www.senorge.no

2.5 Lokale værforhold

Lokale værforhold vil i stor grad påvirke snødybden lokalt på taket. I følge Mackinlay et al. (2000) er en tommelfinger-regel at snødybden på taket er 70 % av snødybden på flat mark. Mange parametre kan påvirke snøfordelingen på taket. Snødriv som følge av vind vil kunne endre snøfordelingen på taket mye (Buska and Tobiasson, 2001) og dette er særlig påvirket av formen/former på taket. På områder der det oppstår le vil snølaget øke og på lo side vil snølaget bli redusert. Plassering av bygget, skjerminger rundtbygget (for eksempel trær, nabobygg eller terreng) og plassering av teknisk utstyr på taket vil derfor ha en innvirkning. Varmetapet fra bygget vil gi en reduksjon i snølaget, det samme vil regn, atmosfærisk langbølget stråling, sol og utetemperaturer over 0°C . Figur 3 fra Zhou et al. (2018) gir en god oversikt over parametrene.

2.6 Andre faktorer

En rekke andre faktorer vil også påvirke fordelingen av snø på taket: Uvøren snørydding kan føre til at snøen ligger mye høyere enkelte steder enn andre (Dolhon and Ratakonda, 2011) og kan

dermed gi lokalt farlige forhold for isdannelse. I Dolhon and Ratakonda (2011) ble snø fjernet fra rennene på taket først, slik at smeltevann ble eksponert for åpen, kald luft ettersom det rant ut fra under snøen på taket. Andre former for drift og vedlikehold kan også gi lokale opphopninger av snø. Teknikere kan måke stier for å komme til teknisk utstyr og snø kan samles i hauger når det sklir av solcellepaneler (Borrebæk et al., 2019).

Dersom takets isolasjonsevne blir forringet, enten ved byggefeil eller ved vanninntrengning, kan snøsmelting oppstå lokalt på taket. Jo større varmestrøm gjennom taket, desto større risiko for snøsmelting.

Snø kan også smeltes av varme som stiger opp gjennom innvendige taknedløp eller andre installasjoner som går gjennom taket (Byggforskserien 525.207, 2018). Ved innvendige taknedløp er det ingen fare, ettersom smeltevannet renner ned i sluket til varmere sone, men ising kan oppstå dersom snøen smeltes på annen måte, for eksempel ved ventilasjonsutkast.

Taket vil oppleve en viss nedbøyning mellom bærende elementer. Store laster forsterker nedbøyningen, og kan endre fallforholdene på taket. Ved store nedbøyninger, enten i konstruksjonen eller på grunn av deformasjoner i isolasjonslaget, vil fallretningen på taket kunne gå vekk fra sluk og renner. Da vil smeltevann samles opp og kan fryse på taktekningen (Hoover, 1989).

2.7 Kunnskapshull

For å løse utfordringene med snøsmelting og isdannelse på tak må flere kunnskapshull utforskes. Størst av kunnskapshullene er antagelig de termiske egenskapene til snø, som er vanskelig å generalisere så de kan brukes i praktiske beregninger. Snøens isolasjonsverdi vil variere fra tilfelle til tilfelle, variere gjennom hele snødybden, og endres over tid, i tillegg til å bli påvirket av mange andre forhold.

Likevel kan kjente data benyttes til omtrentlige beregninger ved å innføre øvre og nedre grenser for de ukjente verdiene. Det må da aksepteres en viss usikkerhet i resultatene, som blir større jo mer komplekse beregningene er. Enkle modeller kan brukes sammen med klimadata for å vurdere *relativ* risiko under ulike forhold.

3 Metode

3.1 Litteratursøk

I prosjektoppgaven ble det gjennomført et litteratursøk for å belyse hvilke faktorer som påvirker isdannelse i nedløpssystemer fra kompakte tak. Mye av litteraturen som ble funnet i forbindelse med prosjektoppgaven er også brukt videre i masteren, men det ble også identifisert et punkt som måtte utdypes ytterligere gjennom mer spesifikke litteratursøk. I dette tilfellet er det snøens termiske egenskaper som måtte utforskes. Et lite litteratursøk ble utført for å finne informasjon om varmekonduktiviteten til snø. Metoden som ble brukt er "scoping study"-metoden beskrevet av Arksey and O'Malley (2005). Resultatene fra litteraturstudiet er benyttet i teoridelen av denne oppgaven, Kapittel 2.2.

Søkestrengene som ble brukt var "*Heat conductivity*" snow og "*Thermal conductivity of snow*" AND NOT "*Sea ice*". Det var nødvendig å ekskludere sjøis fra søkestrengen for å filtrere ut resultater som brukte saltinnhold som parameter – salt ble vurdert å være en lite aktuell parameter for beregninger på bygningstak. Søkene ble utført i databasene Scopus, Oria, Google Scholar og Science Direct. Totalt returnerte søkene 61 treff, hvorav 25 ble vurdert å være relevante. Sammendrag og konklusjon i de relevante artiklene ble lest og benyttet videre. Ikke alle de relevante artiklene ble analysert i dybden, da det tidlig ble klart at det ikke finnes en enkel referanseverdi for varmekonduktiviteten til snø. Det ble i stedet besluttet å bruke en øvre og nedre grense for et konservativt estimat. Disse ble funnet i (Sturm et al., 1997) som var den mest siterte artikkelen som ble funnet i litteratursøket.

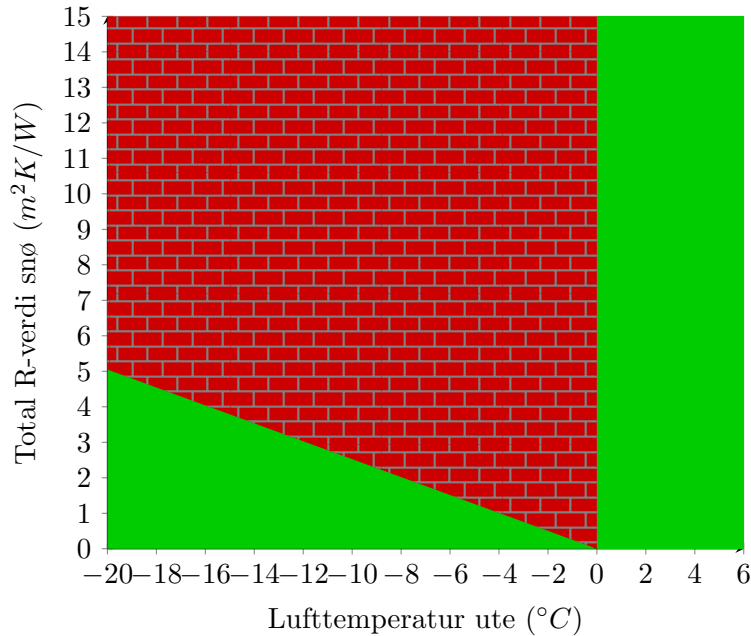
3.2 Beregningsmodell

Ligning 1 fra Nielsen and Claesson (2011) forteller ved hvilke snødybde snøen smelter når den ligger på kompakte tak (Ligning 1 er gjentatt som venstre del av Ligning 4. Ved å dele begge sider av ligningen på λ_s vil ligning gi en beskrivelse av snølagets kritiske R-verdi for at snøsmelting oppstår under stasjonære forhold, utfra utetemperatur, innetemperatur, og takets U-verdi. Innetemperatur og takets U-verdi kan forutsettes konstant. Dermed viser Ligning 4 hvilken R-verdi som er kritisk for snøsmelting, for hver utetemperatur.

Ut fra Ligning 4 kan Figur 9 presenteres. Figuren illustrerer for hvilke uteluftstemperaturer og varmemotstand for snø snøen smelter. Her er U-verdien til taket forutsatt å være $U = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$, som er minimumskravet i TEK17 i henhold til § 14-3. Innendørs temperatur er antatt å være konstant 22°C . Det røde skraverte feltet i Figur 9 viser hvor forholdene for snøsmelting nedenfra overlapper med forholdene for gjenfrysing av smeltevann. I utgangspunktet fryser vann når tem-

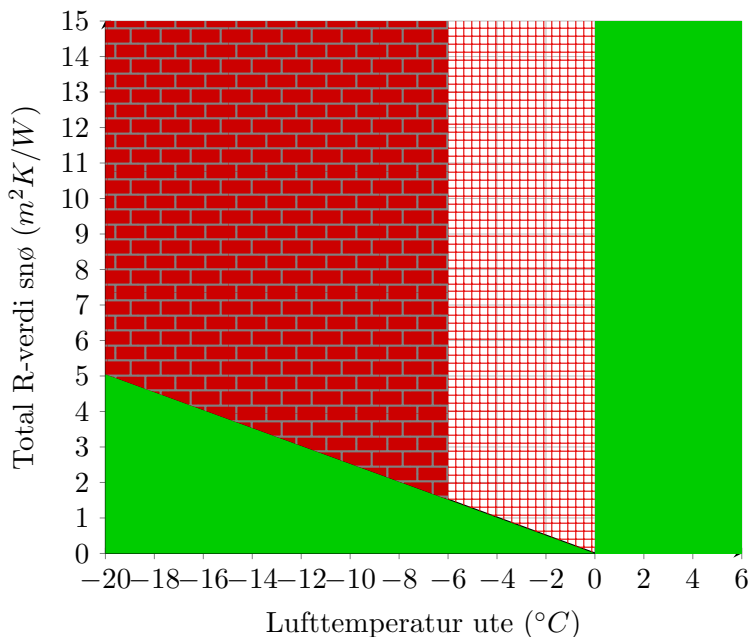
peraturen er under 0°C (American Metrological Society, 2012). Hvor hurtig smeltevannet fryser igjen er avhengig av hvor raskt temperaturen til smeltevannet senkes til frysepunktet, som igjen er avhengig av utetemperaturen. Jo lavere utetemperaturen er, jo raskere skjer varmeutvekslingen fra vannet til omgivelsene. Ved temperaturer over 0°C vil snø smelte i alle tilfelle.

$$D_m = \frac{\lambda_s(-T_e)}{U_r T_i} \quad \Leftrightarrow \quad R_m = \frac{(-T_e)}{T_i \cdot U_R} \quad (4)$$



Figur 9: Risikosoner for snøsmelting og isdannelse på TEK17-tak med U-verdi $0,18\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Innendørs temperatur er 22°C .

I arbeidet til Tobiasson et al. (1998) ble det gjort målinger av temperaturen på og utenfor kalde loft som ikke var tilstrekkelig luftet. Empiriske målinger viste at isdannelse ikke var et problem før utetemperaturen var under $-5,6^{\circ}\text{C}$. Ved temperaturer høyere enn $-5,6^{\circ}\text{C}$ rant mesteparten av smeltevannet vekk fra taket før det rakk å fryse igjen og kun en mindre mengde is ble dannet. I praksis vil det variere ut ifra takets utforming hvilken temperatur som er kritisk for isdannelse. Hvis taket bygges slik at smeltevannet befinner seg i kaldere sone over lengre perioder, kan det føre til mer isdannelse for alle temperaturer under 0°C . Denne oppgaven tar utgangspunkt i Tobiasson et al. (1998) og setter $-5,6^{\circ}\text{C}$ som kritisk temperatur for isdannelse. Området mellom 0 og $-5,6^{\circ}\text{C}$ antas å være usikkert. Noe isdannelse vil forekomme, men det er usikkert hvorvidt det vil være problematisk. Figur 10 er en videreutvikling av Figur 9 der temperaturområdet er skraveret lyserødt for å illustrere at det her er en risiko av usikker størrelse. Grensen på $-5,6^{\circ}\text{C}$ vil også være usikker, men brukes her som grense mellom to risikosoner. Over 0°C vil det ikke dannes is under stasjonære forhold.



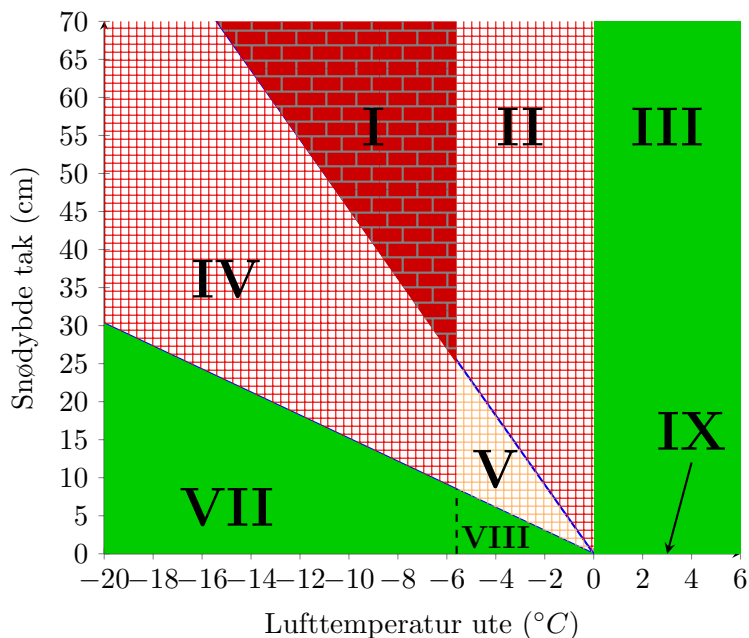
Figur 10: Risiko for snøsmelting og isdannelse på TEK17-tak med U-verdi $0,18W/m^2K$. Innendørs temperatur er $22^\circ C$. Figuren illustrerer usikkerhet for risiko for isdannelse.

Dersom den totale R-verdien til snølaget er kjent, vil grensen for snøsmelting kunne bestemmes med sikkerhet og Figur 10 beskriver et komplett risikobilde. I teorien vil det da være mulig å benytte seg av formelen $R = d/\lambda$ og regne ut en smeltegrense basert på snødybde. Dessverre, som beskrevet i Kapittel 2.2, er varmekonduktiviteten til snø vanskelig å bestemme og sterkt varierende utfra lokale forhold. Det finnes derfor ingen enkel λ_s som kan benyttes i beregninger, og dermed ingen entydig snødybde som kan anses som problematisk ved en gitt utetemperatur. Det er nødvendig å ta høyde for usikkerhet ved å benytte seg av en øvre og nedre grense for λ_s , på samme måte som det er gjort for isdannelse.

I Figur 11 settes den nedre verdien for snøens varmekonduktivitet $\lambda_s = 0,06W/mK$. Dette er den laveste konduktiviteten for tørr nysnø ifølge Sturm et al. (1997). Verdien er meget konservativ og tar ikke høyde for at snøen komprimeres under egen vekt ved store snødybder. Den øverste verdien er $\lambda_s = 0,18W/mK$, som er gjennomsnitt av alle verdier målt av Sturm et al. (1997). De to linjene beskriver to ulike kritiske snødybder for snøsmelting for en gitt utetemperatur. Så lenge verdien for snødybden og uteluftstemperaturen havner under den nederste linjen vil snøen ikke smelte. Smeltevannet vil antageligvis fryse hvis temperaturer er under $-5,6^\circ C$, men så lenge snøen ikke smelter er det ingen smeltevann som fryser. Hvis snødybden er høyere enn den øverste linjen for gitt temperatur vil snøsmelting oppstå med rimelig sikkerhet. Igjen forutsettes stasjonære forhold. Det tas ikke høyde for at snødybden og snøens varmekonduktivitet vil endres når snøsmelting oppstår. Ligning 2 kan brukes for å beskrive dynamiske forhold, derimot vil flere parametre i ligningen være svært usikre i praksis og dermed blir resultatet enda mer usikkert. Derfor vil ikke denne oppgaven

forsøke å gå nærmere inn på temaet.

Figur 11 viser de overlappende sonene av risiko for snøsmelting (bestemt av de skrå linjene) og gjenfrysing av smeltevann (bestemt av de vertikale linjene). Der de usikre sonene overlapper antas en lav totalrisiko.



Figur 11: Risiko for snøsmelting og isdannelse på TEK17-tak med U -verdi $0,18W/m^2K$. λ_s er $0,06W/mK$ og $0,18W/mK$ for henholdsvis nederste og øverste skrå linje. Området mellom disse linjene illustrerer usikkerhet i risiko for snøsmelting. Innendørs temperatur er $22^\circ C$. Figuren er delt inn i soner forklart i Tabell 3

Figur 11 kan også tolkes som en 3×3 -matrise av ulike overlappende risikosoner for snøsmelting og gjenfrysing. Matrisen er illustrert i Figur 12. Romertallene i matrisen tilsvarer anvist område i Figur 11. Område VI vil i praksis ikke eksistere siden det beskriver et område mellom usikre grenser for snøsmelting ved utetemperaturer over $0^\circ C$. Da det antas stasjonære forhold vil smeltegrensene ikke eksistere for utetemperaturer over $0^\circ C$, ettersom en med sikkerhet kan si at snøen da vil smelte. De fysiske forholdene for hvert element i matrisen er videre beskrevet i Tabell 3.

		Gjenfrysing		
		Høy	Middels	Lav
Snøsmelting	Høy	I	II	III
	Middels	IV	V	(VI)
	Lav	VII	VIII	IX

Figur 12: Risikomatrix for isdannelse. Hvis snøsmelting og gjenfrysing oppstår samtidig vil det være problematisk (merket rødt). I praksis er det utfordrende å bestemme nøyaktig hvilke forhold som gir snøsmelting og gjenfrysing, derfor brukes soner for usikkerhet (merket lyserødt - gult der usikkerhetene overlapper). Hvis enten snøsmelting eller gjenfrysing ikke forekommer, vil det heller ikke være noen problemer (merket grønt).

Tabell 3: Liste over fysiske forhold som avgjør hvilke soner måledataene deles inn under.

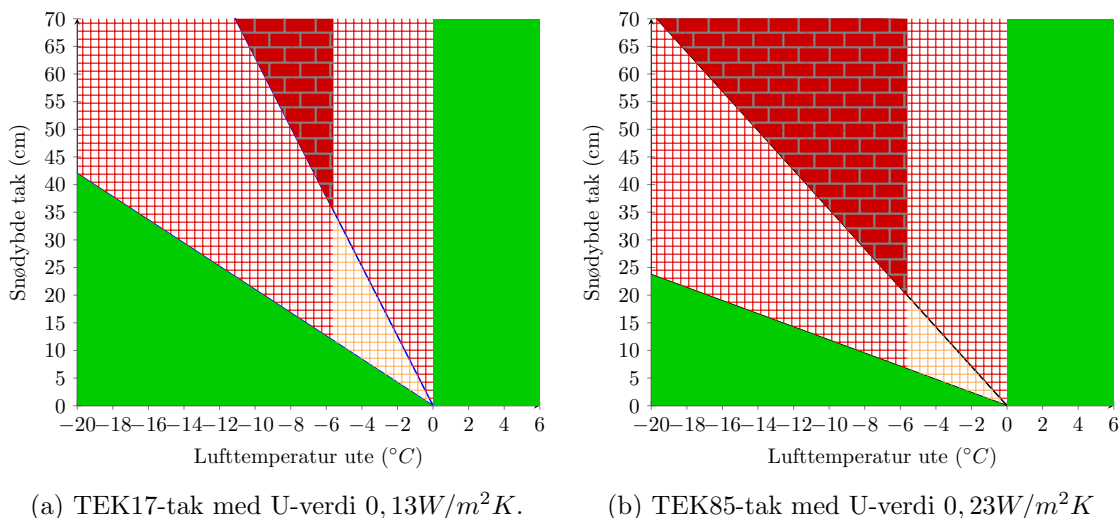
Sone: Beskrivelse av fysiske forhold:

I	Snødybde over øvre smeltegrense samtidig som uteluftstemperaturen er under $-5,6^{\circ}C$. Høy risiko for både snøsmelting og gjenfrysing.
II	Snødybde over øvre smeltegrense, uteluftstemperaturen er mellom $-5,6^{\circ}C$ og $0^{\circ}C$. Høy risiko for snøsmelting, men lav risiko for gjenfrysing.
III	Snødybde over null og uteluftstemperatur over $0^{\circ}C$. Snøsmelting forekommer ovenfra og nedenfra, risiko for gjenfrysing er null.
IV	Snødybde mellom øvre og nedre smeltegrense, uteluftstemperaturen er under $-5,6^{\circ}C$. Middels risiko for snøsmelting, men høy risiko for gjenfrysing.
V	Snødybde mellom øver og nedre smeltegrense, uteluftstemperatur mellom $-5,6^{\circ}C$ og $0^{\circ}C$. Middels risiko for snøsmelting og gjenfrysing.
VI	I praksis vil denne kategorien ikke eksistere. Ved utetemperatur over $0^{\circ}C$ vil det ikke finnes usikre grenser for snøsmelting uansett snødybde.
VII	Snødybde under nedre smeltegrense, uteluftstemperatur under $-5,6^{\circ}C$. Snøsmelting vil ikke forekomme.
VIII	Snødybde under nedre smeltegrense, uteluftstemperatur mellom $-5,6^{\circ}C$ og $0^{\circ}C$. Snøsmelting vil ikke forekomme.
IX	Snødybde lik null, uteluftstemperatur over $0^{\circ}C$. Ingen risiko for hverken snøsmelting eller gjenfrysing.

Figur 11 har utetemperatur og snødybde som akser. Serier med værddata kan plottes som et sett punkter i Figur 11 der koordinatene er temperatur og snødybde ved hvert tidspunkt. Antall punkter i hver sone, beskrevet i Figur 12 telles og printes som en 3x3-matrise som viser antall punkter i hver risikosone. Denne resultatmatrisen beskriver hvor ofte været på et gitt sted er risikabelt for

kompakte tak med utvendig nedløp.

Merk at Figur 11 forutsetter gitte verdier for innetemperatur og takets U -verdi. Figur 13 viser hvordan risikosonene endres ved andre verdier for takets U -verdi. Her er det benyttet $U = 0,13W/m^2K$, som er gjennomsnittlig minimumskrav i TEK17 og $U = 0,23W/m^2K$, som var isolasjonskravet i TEK85. TEK85 ble brukt som et eksempel for å representere et tidligere brukt byggekrav. Tilsvarende høy U -verdi kan oppnås dersom takets isoleringsevne er forringet på noen måte. Merk at U -verdien kan være forskjellig ulike steder på taket også, for eksempel på grunn av fall mot sluk og renner der isolasjonstykkelsen vil variere (Byggforskserien 525.207, 2018).



Figur 13: Endringer i de forskjellige sonene hvis bare U -verdien endres fra Figur 11

3.3 Værstasjoner

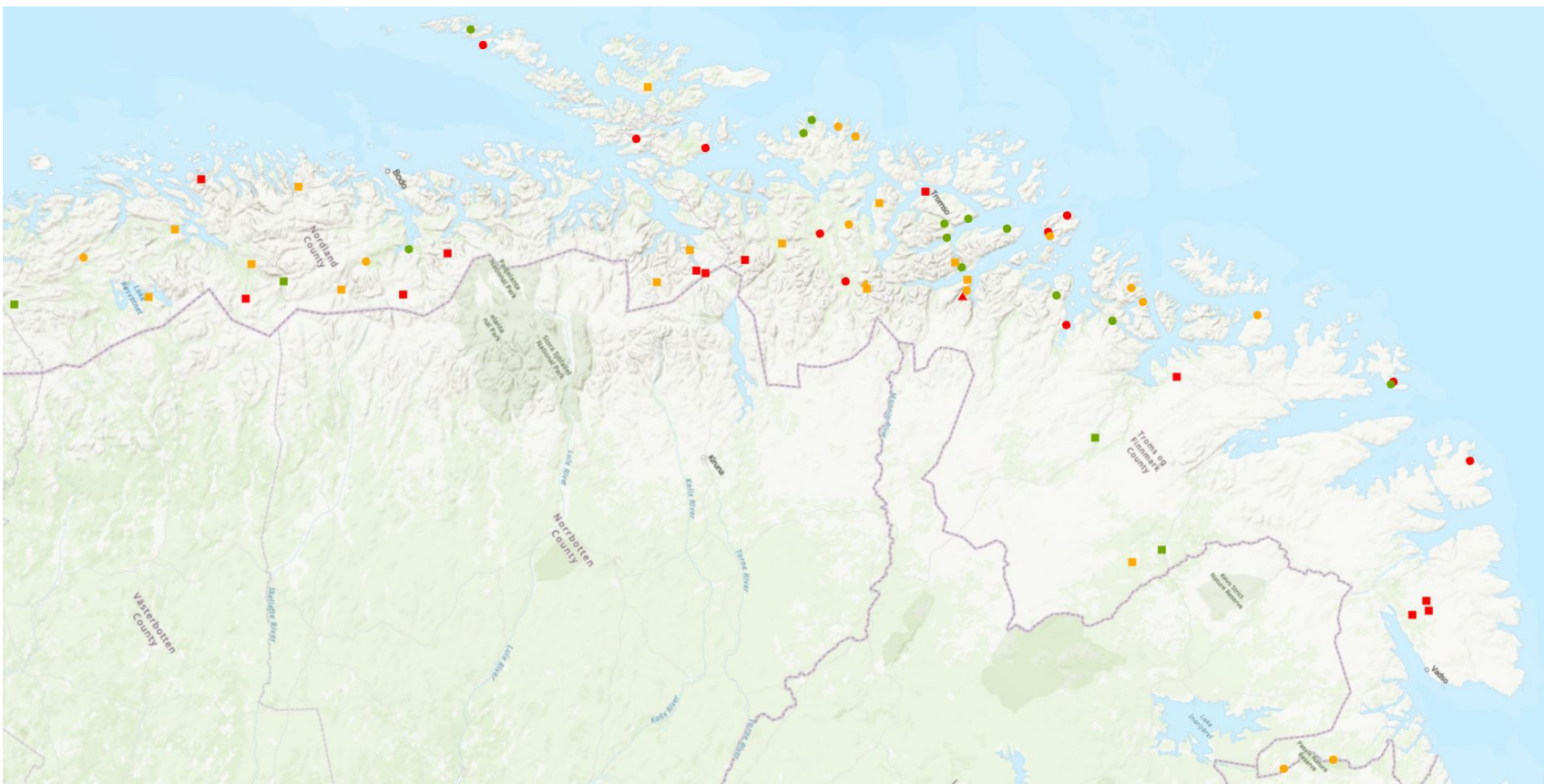
En liste over alle værstasjoner i Norge hvor snødybde og uteluftstemperatur måles hver time ble skaffet ved henvendelse til Meteorologisk Institutt. Det er i alt snakk om 246 værstasjoner over hele landet, inkludert Svalbard. 76 av disse stasjonene er blitt nedlagt og er utelatt fra analysen. 35 stasjoner målte kun snødybde og ikke uteluftstemperatur. Disse kunne ikke benyttes i analysen men er vist på Figur 14 og Figur 15. Totalt 135 værstasjoner ble undersøkt i videre analyse.

Stasjoner som måler snødybder en gang i døgnet er utelatt fra analysen. Arbeidet med å sette opp en metode og system for å analysere timesdata har tatt mye tid. Døgndataene blir ikke vurdert til å ha høy nok oppløsning for å kunne analyseres og gi et sikkert svar på om utvendige nedløp fra kompakte tak er mulig, blant annet fordi temperaturen endrer seg mye i løp av et døgn og mye snø kan legge seg på en gang og forsvinne igjen uten å bli fanget opp i døgnmålingen. Hvis døgndata skal analyseres må det settes opp en modell som kan predikere en gitt mengde snø for hver time i et døgn, basert på døgnmålingene før og etter denne timen og på temperaturendringen i løpet av

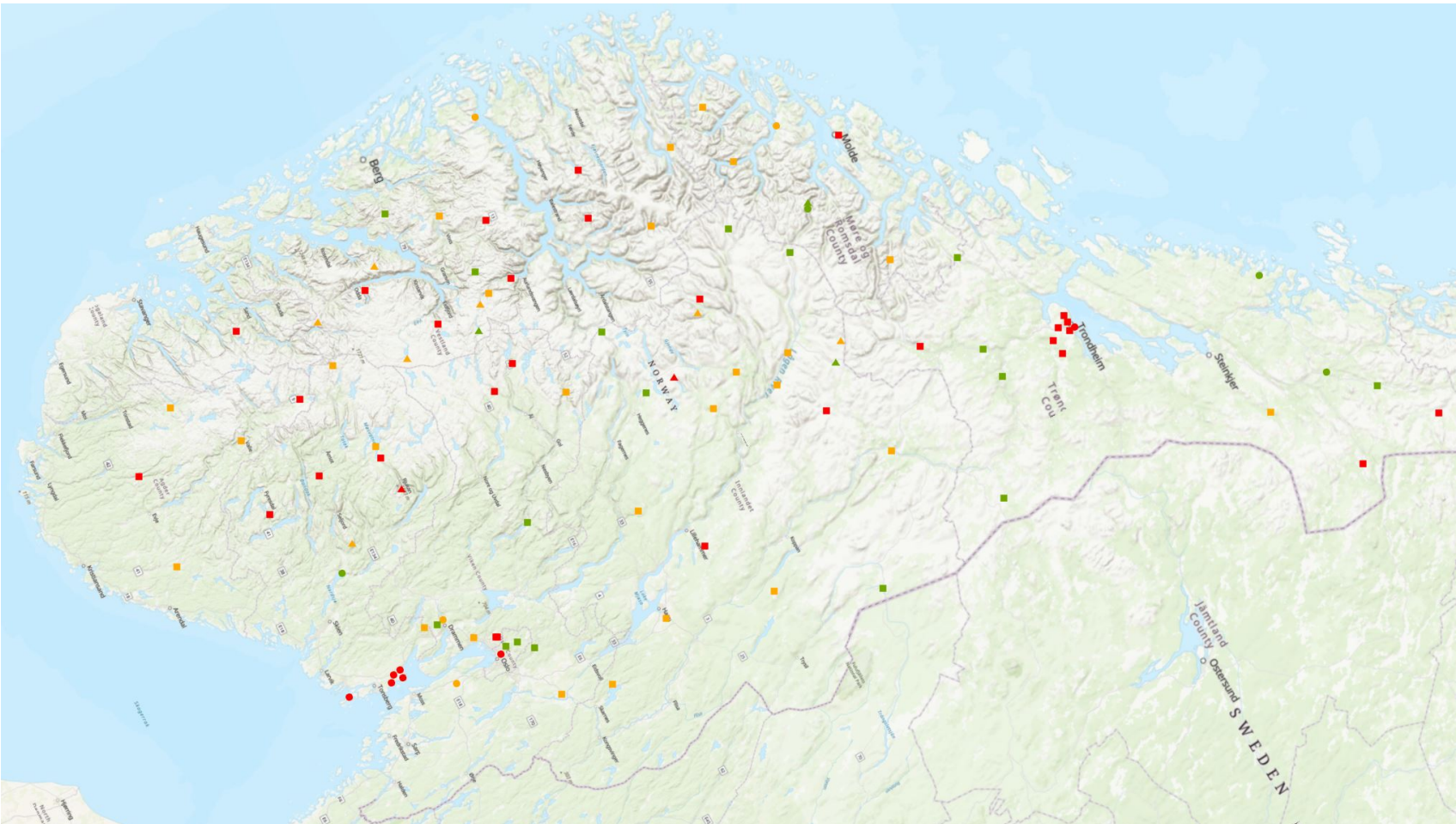
en dag som måles minimum hver time.

I Figur 14 og Figur 15 er værstasjoner avmerket med følgende symboler. Formen på symbolet viser stasjonens høyde over havet: stasjoner avmerket med sirkel befinner seg lavere enn 99 meter over havet; stasjoner avmerket med firkant står mellom 100 og 999 meter over havet; stasjoner merket med trekant står høyere enn 1000 moh. Fargen på symbolet viser hvor lenge stasjonen har vært operativ: rød farge betyr at stasjonen har stått i færre enn 5 år; oransje farge betyr mellom 5 og 10 år; grønn farge betyr at stasjonen er eldre enn 10 år. Det er ikke nødvendigvis gitt at stasjonen har foretatt målinger jevnlig så lenge den har stått, da den kan ha opplevd mye nedetid eller perioder der data har blitt målt sjeldnere enn i dag. Generelt kan det bemerkes at tilgangen på data er nokså begrenset. Den eldste stasjonen behandlet i oppgaven har logget data siden 1996, men måleserien er i perioder svært mangelfull.

Kartene i Figur 14, Figur 15, Figur 19 og Figur 20 er produsert i det grafiske informasjonsbehandlingsprogrammet ArcGIS Pro versjon 2.8.0. (© Esri 2021).



Figur 14: Kart over værstasjoner i Nord-Norge



Figur 15: Kart over værstasjoner i Sør-Norge

3.4 Bruk av databaser

Værdata er hentet fra databasen til Meteorologisk institutt (Met.no). På `seklima.met.no` kan observasjoner fra stasjoner i Norge hentes ned manuelt ved å oppgi tidsoppløsning, tidsrom, værelementer og stasjon. Målingene kan vises som graf eller listes opp i en tabell. Hvis valgt tidsrom ikke har målinger eller om perioden er for lang vil det oppstå en feilmelding. Kun en begrenset mengde datapunkter kan lastes ned på en gang og det å laste ned en ny tabell for hver forespørsel tar lang tid. For å hente dataene ned effektivt ble det benyttet et program som kommuniserte med Met.no sin Frost API.

En API (Application Programming Interface), eller et programmeringsgrensesnitt på Norsk, gjør at to forskjellige programvarer kan prate sammen. Det gjør at flere forskjellige programvarer har tilgang til å gjøre endringer, kjøre prosesser eller behandle data i større kontekst for eksempel i en database (Bell, 2018).

Frost API er en database fra met.no som lagrer værobservasjoner som JSON-dokumenter (JavaScript Object Notation). JSON er et format som både menneske og maskin kan lese. En av de store fordelene til JSON er at målingene raskt kan hentes ut siden dokumentene er lagret i en tabell som lagringsmotoren produserer. Et spesielt optimalisert binært format gir serveren rask tilgang til dataene istedenfor å analysere dataene hver gang de benyttes.

For å hente ut JSON-dokumentene ble det skrevet en kode i programmeringsspråket Python. Koden sender Frost API en forespørsel om værelementene snødybde (`surface_snow_thickness`) og minste lufttemperatur innenfor en time (`min(air_temperature PT1H)`). For hver time innenfor det bestemte tidsrommet henter koden ut et JSON-dokument for den aktuelle stasjonen. Et eksempel på et JSON-dokument som ble hentet ut finnes i Opplisting 1. Dokumentet i eksemplet inneholder to observasjoner for målt utelufttemperatur (målt to og ti meter over bakken) i tillegg til snødybden på bakken. Videre plukker koden ut elementene: "referenceTime", "elementId" og "value" for hver av JSON-dokumentene som returneres. Disse skrives ut som en linje i en midlertidig fil, der lufttemperaturen står i linjen over snødybden for det samme tidspunktet. Her er bare lufttemperaturen som er målt to meter over bakken lagt til i den midlertidige filen, siden dette er standard målehøyde for lufttemperatur (Meteorologisk Institutt, n.d.*d*). Måledata ble hentet til og med 31. mars 2021, altså til og med første kvartal 2021.

Den midlertidige filen blir igjen lest av programmet. Dersom "referenceTime" for to linjer etter hverandre er like, samtidig som "elementId" er forskjellig, printer programmet ut en linje i resultatfilen hvor første element er "referenceTime", neste element er verdien av målingen fra den øverste av de to linjene som er lufttemperaturen og det siste elementet er verdien fra linjen under som er snødybden. Ved noen stasjoner ble snødybden målt hvert tiende minutt, mens temperaturen ikke ble logget like ofte. Disse målingene ble ikke tatt med videre. For noen perioder ved noen av vær-

stasjonene ble snødybden kun målt en gang i døgnet. Disse målingene blir tatt med videre, siden de har en tilhørende temperaturmåling på samme tidspunkt. For telling av datakvalitet regnes disse døgnsvis målingene som en timesmåling, det vil si at en uke med døgnmålinger tilsvarer sju timer med data.

Frost API setter en grense på 100 000 observasjoner som kan hentes i hver forespørsel. Programmet måtte derfor kjøres for kortere tidsperioder for hver målestasjon. Dermed ble det skrevet ut flere resultatfiler for hver stasjon. Det ble skrevet et nytt program i Python for å sette resultatfilene for hver stasjon sammen til en enkel CSV-fil (kommaseparerte verdier). Her ble hvert element separert med et mellomrom som vist i Figur 16.

Et siste program ble skrevet for å kontrollere værdadataene og renske dem for feilmålinger. Hvis snødybden er oppgitt med verdien -1, er den egentlige snødybden null i følge Meteorologisk Institutt (n.d.a). Er snødybden mindre enn -1, er dette en feilmåling og linjen ble fjernet. Totalt utgjorde antall feilmålinger ikke så mye. De fleste stasjonene hadde ingen feilmålinger og bare fem stasjoner hadde over 1 000 feilmålinger. Disse dataene er luket ut før analyseprogrammet ble kjørt og vil ikke påvirke resultatet nevneverdig.

```
63014 2018-03-17T01:00:00.000Z -20.8 138.8
63015 2018-03-17T02:00:00.000Z -21.6 138.68
63016 2018-03-17T03:00:00.000Z -22.5 138.76
63017 2018-03-17T04:00:00.000Z -22.6 138.64
63018 2018-03-17T05:00:00.000Z -23.7 138.53
63019 2018-03-17T06:00:00.000Z -23.9 138.64
63020 2018-03-17T07:00:00.000Z -23.7 138.59
63021 2018-03-17T08:00:00.000Z -21.1 138.67
63022 2018-03-17T09:00:00.000Z -15.5 138.6
63023 2018-03-17T10:00:00.000Z -10.1 138.68
63024 2018-03-17T11:00:00.000Z -7.1 138.38
63025 2018-03-17T12:00:00.000Z -5.2 138.43
63026 2018-03-17T13:00:00.000Z -4.1 138.39
63027 2018-03-17T14:00:00.000Z -3.9 138.38
63028 2018-03-17T15:00:00.000Z -3.9 138.35
63029 2018-03-17T16:00:00.000Z -4.2 138.3
63030 2018-03-17T17:00:00.000Z -7.2 138.31
```

Figur 16: Eksempel på data som er hentet fra met.no og klargjort til å analyseres i C++. Hver linje kan leses fra venstre mot høyre: Linjenummer, tidspunkt, uteluftstemperatur ($^{\circ}C$) og snødybde (cm). Dataene er fra målestasjon SN18500 Bjørnholt i Oslo.

3.5 Analyse av datasett

Programmeringsspråket C++ ble benyttet til å skrive programmet som analyserer værdadataene hentet ned fra Meteorologisk institutt. Programmet starter med å åpne opp CSV-filen og leser inn hver linje som en vektor med tre elementer. Første element er tidspunkt for målingen som lest inn

```
1  {
2  "sourceId": "SN18700:0",
3  "referenceTime": "2019-08-21T08:00:00.000Z",
4  "observations":
5  [
6    {
7      "elementId": "surface_snow_thickness",
8      "value": -1,
9      "unit": "cm",
10     "timeOffset": "PT0H",
11     "timeResolution": "PT1H",
12     "timeSeriesId": 0,
13     "performanceCategory": "A",
14     "exposureCategory": "2",
15     "qualityCode": 6
16   },
17   {
18     "elementId": "min(air_temperature PT1H)",
19     "value": 16.5,
20     "unit": "degC",
21     "level":{"levelType":"height_above_ground","unit":"m","value":10},
22     "timeOffset": "PT0H",
23     "timeResolution": "PT1H",
24     "timeSeriesId": 0,
25     "performanceCategory": "C",
26     "exposureCategory": "1",
27     "qualityCode": 2
28   },
29   {
30     "elementId": "min(air_temperature PT1H)",
31     "value": 17.2,
32     "unit": "degC",
33     "level":{"levelType":"height_above_ground","unit":"m","value":2},
34     "timeOffset": "PT0H",
35     "timeResolution": "PT1H",
36     "timeSeriesId": 0,
37     "performanceCategory": "C",
38     "exposureCategory": "1",
39     "qualityCode": 0
40   }
41 ]
42 }
```

Listing 1: Eksempel på JSON-dokument for ett målepunkt

som en streng (string), andre element er utelufttemperaturen og tredje er snødybden. De to siste elementene er lest inn som datatypen double, som vil si at de kan behandle tall som desimaltall. Videre analyseres hver av vektorene som et sett koordinater av temperatur og snødybde som måles opp mot Figur 11. Hver vektor får dermed en "plassering" i Figur 11 og en tilhørende kategorisering i matrisen i Figur 12. Kriteriene som definerer de forskjellige feltene i matrisen er listet opp i Tabell 3. Hver vektor innenfor de forskjellige sonene telles. Totalt antall vektorer innenfor hver sone vises i en 3x3-matrise tilsvarende Figur 12. Funksjonen skriver også ut en matrise med antall prosent av alle vektorene fra værstasjonen som er innefor de forskjellige sonene. Denne matrisen blir også brukt til å finne risikotallet for værstasjonen som beskrevet i Kapittel 3.6.

Fordi mange av stasjonene har ufullstendige dataa og noen stasjoner har mange flere år med data enn andre, er det ønskelig å evaluere mengden datapunkter som er tilgjengelige fra hver stasjon. For å gjøre dette er det definert en funksjon som trekker ut årstall og måned fra den første strengen i vektoren for hvert målepunkt. Videre teller funksjonen hvor mange vektorer som er innenfor hvert år og deretter hvor mange av disse vektorene som er innenfor hvert kvartal. Data fra vinterhalvåret er mer attraktive for denne oppgaven enn data fra sommerhalvåret. Resultatene skrives ut som en tabell hvor første kolonne sier hvor mange vektorer som finnes for dette året og de fire neste kolonnene sier hvor mange vektorer som finnes for hvert kvartal. Funksjonen skriver samtidig ut en tabell som forteller hvor mange prosent av timene for hvert år og kvartal som er med i serien. Videre regner funksjonen ut en enkelt verdi for datakvalitet som er videre beskrevet i Kapittel 3.6.

Et eksempel på utskrift fra programmet som vises i terminalen når programmet har kjørt vises i Figur 17. Her er analyseprogrammet kjørt for værstasjonen i Tromsø (SN90450:0). Øverst til venstre vises det at værstasjonen kom i drift i fjerde kvartal 2016. Ingen data er tilgjengelige tidligere enn dette, dermed vises tidligere år ikke i utskriften. Stasjonen hadde få driftstimer i 2016-2020. I enkelte kvartal avga stasjonen bare en måling i døgnet. Først sent i 2020 avga stasjonen målinger hver time (100 % oppetid som vist i bolken til høyre i bildet). Totalt regnes stasjonen å ha 1,744 år med brukbare data, vist i midterste linje i figuren. De to nederste matrisene viser hvor mange datapunkter som befinner seg i hver sone, som definert i Figur 11 og Figur 12. Totalt 4,948 % av tiden var målingene innenfor Sone I, der risiko for snøsmelting og isdannelse begge er høye. Det vektete risikotallet for stasjonen er 12,89 %. Dette er omtrent som gjennomsnittet for alle stasjonene, –se Figur 21 for sammenligning.

```

vasmix@Nordlys:/mnt/c/Users/vegas/OneDrive/Documents/masterCode2.1$ ./PROGRAM RSN90450.csv
Year:   Total:  Q1    Q2    Q3    Q4    %Total  %Q1   %Q2   %Q3   %Q4
2016   1741    0     0     0    1741    19.82  0     0     0    78.85
2017   1007   835   77    0     95     11.5   38.66 3.526 0     4.303
2018   415    90    91    92    142    4.737  4.167 4.167 4.167 6.431
2019   452    176   92    92    92     5.16   8.148 4.212 4.167 4.167
2020   4108   91    1414  395   2208   46.77  4.167 64.74 17.89 100
2021   2160   2160  0     0     0     24.66  100   0     0     0

Datasikkerhet = 1.744

Result in numbers:
489    2311   2647
131    172    0
361    1080   2692

Result in percent:
4.948  23.38  26.78
1.326  1.74   0
3.653  10.93  27.24

Risiko = 12.89

```

Figur 17: Eksempel på utskrift i terminal når analyseprogrammet kjøres for værstasjonen i Tromsø (SN90450:0).

3.6 Kriterier for kategorisering

For å kategorisere de forskjellige stasjonene er dataene fra stasjonen kokt ned til to parametre som vil gi et grunnlag for å kunne avgjøre om løsningen med utvendige nedløp fra kompakte tak vil kunne brukes uten større risiko for skadelig isdannelse. Verdiene det kokes ned til er et vekttall for risiko og antall ekvivalente år komplette målinger.

Risikovekttallet beskriver antall prosent av målingene som er innenfor risikable og usikre soner i Figur 11 og Figur 12. Hver sone tildeles et vekttall for å ta høyde for ulik risiko i hver sone. Sone I har vekttall lik 1,00, da dette er sonen hvor høy risiko for snøsmelting og isdannelse overlapper. Sone II har vekttall lik 0,30, da det her er høy risiko for snøsmelting men kun middels for gjenfrysing - smeltevann vil sannsynligvis oppstå, men ikke nødvendigvis gjøre skade. Sone IV har vekttall 0,5, da det er høy risiko for gjenfrysing men middels risiko for snøsmelting - dersom smeltevann oppstår vil det sannsynligvis gjøre skade. Sone V har vekttall 0,15, altså vekttallene til soner II og IV multiplisert, da sone V er en overlapp av disse. Alle andre soner har vekttall 0, da disse ikke bidrar til risiko. Den endelige formelen for risikotallet er gitt i Ligning 5. En svakhet med utregningen av vektet risikotall, er at risikotallet påvirkes av antall målinger i hvert kvartal. Dersom stasjonen har mye nedetid om sommeren vil den ”miste” målinger i Sone IX som trekker ned risikotallet. Dette er synlig i eksempelet i Figur 17, hvor kun 50 % av målingene viser plussgrader og bakken er snøfri i bare 27 % av målingene. Forfatteren er fra Tromsø og kan bevitne at klimaet ikke er fullt

så vinterlig i byen.

$$\text{Risiko (\%)} = 1,00 * I\% + 0,30 * II\% + 0,50 * IV\% + 0,15 * V\% \quad (5)$$

Antall ekvivalente år med målinger beregnes ut ifra hvor komplette målingene er innenfor hvert kvartal i vinterhalvåret (kvartal 1 og 4 –oktober - mars) fra 1996 til 2021. Hvert kvartal merkes med en prosentverdi som viser hvor mange timer data som er logget fra den aktuelle stasjonen. Første kvartal har 2136 timer hvert år (2160 i skuddår). Fjerde kvartal har 2208 timer hvert år. Det tas ikke hensyn til sommertid.

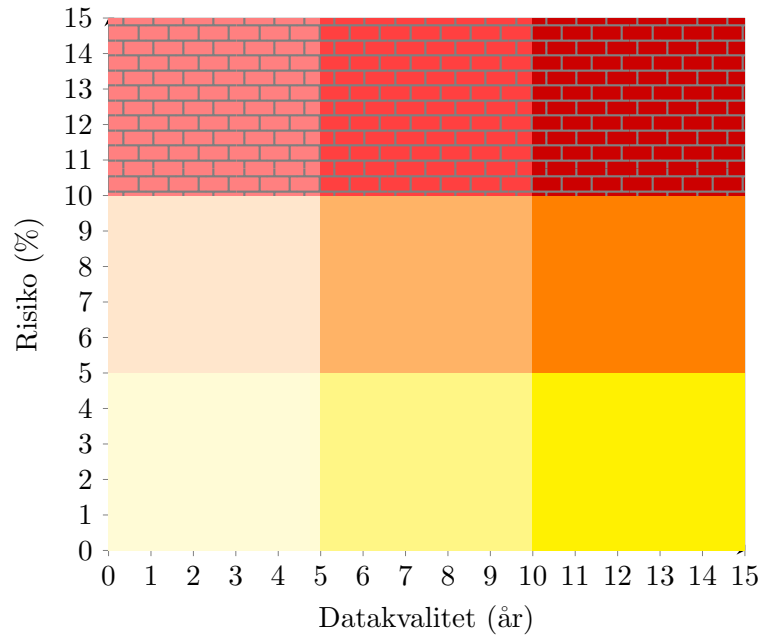
$$\text{Datakvalitet} = \sum_{year=1996}^{2021} \frac{Q1_{year} + Q4_{year}}{2} \quad (6)$$

hvor

$$Q_i = \frac{\#Målinger \text{ i kvartal } i}{\#Timer \text{ i kvartal } i} \quad (7)$$

Oppgaven presenterer en metode for å lage vektall for risiko og datakvalitet for hver enkelt værstasjon. Derimot har det ikke blitt funnet noe grunnlag for å bestemme hva som er ”høy risiko” eller ”gode data”, eller hvor grensen går mellom disse. For å skille stasjonene fra hverandre i ulike kategorier er grenser blitt definert som vist i Figur 18. Her anses ”lav risiko” for å omfatte alle stasjoner med et vektet risikotall under 5 %. ”Middels risiko” er mellom 5 og 10 %. ”Høy risiko” er fra 10 % og oppover. Merk at dette er *relative* kategorier ut ifra datasettet og ikke basert på bygningsfysiske vurderinger. En empirisk metode for å lage mer objektive kategorier kan innebære å finne steder der det erfaringsmessig har gått bra med utvendig nedløp fra kompakte tak og sammenligne med risikotallet fra værdata på stedet eller steder med tilsvarende klima. På samme måte kan ”høy risiko” bestemmes ut ifra værdata på steder der løsningen har ført til byggskader. En slik datavurdering krever god tilgang til skadesaker og kjennskap til lokal byggeskikk.

Tilsvarende har data blitt sortert ut ifra datakvalitet. Det vurderes at stasjoner med mer enn 10 år med data havner i høyeste kvalitetsklasse og stasjoner med færre enn 5 år havner i laveste kvalitetsklasse. Nok en gang er verdiene relative. Værstasjoner som måler timesmålinger for snødybde har ikke vært brukt i Norge så mange år og ingen av de undersøkte stasjonene hadde mer enn 15 år med datakvalitet. Mengden data som er nødvendig for å representativt beskrive klimaet ved en stasjon bør diskuteres med meteorologer. I denne oppgaven brukes inndelingen kun for å rangere stasjonene internt.



Figur 18: Inndeling i kategori

4 Resultat

4.1 Generelt om resultatene

Fra `frost.met.no` ble det hentet ned værdata fra 135 forskjellige stasjoner med snømåling hver time. Totalt ble det hentet ut i underkant av 5,9 millioner målepunkter med en observasjon av utetemperatur og en observasjon av snødybde. Dette utgjør i snitt 43660 målinger per stasjon. Hvis dataene hadde vært sammenhengende, ville det vært i underkant av 5 år med komplette data for hver stasjon. I praksis er dataene mer mangelfulle og mange måleserier er korte.

Dette kapitlet presenterer resultatene fra beregningene på tre forskjellige måter. Først listes alle værstasjonene og deres kategorisering (risiko og datakvalitet) i Tabell 4. Resultatene fremstilles grafisk i Figur 19 og Figur 20. Fordelingen av stasjonenes kategorisering vises i Figur 21 (antall innenfor hvert rute i Tabell 5). Kapittel 4.5 viser noen ekstra analyser av dataene med høyest datakvalitet.

4.2 Tabell

Tabell 4 viser samtlige værstasjoner det er hentet data fra, sortert etter fylke. Da mange av de nye fylkene etter fylkessammenslåingen av 2020 spenner over store områder med ulike klimasoner ble det vurdert hensiktsmessig å dele opp flere av fylkene etter tidligere fylkesgrenser. Kolonnen helt til høyre i tabellen viser hvor mange prosent av målingene som finnes i de mest alvorlige risikosonene, I og IV. Det kan observeres en generell trend i dataene at mange målinger om vinteren befinner seg i risikosone II, der snøsmelting kan antas sikkert å forekomme men skadelig gjenfrysing er usikkert.

Tabell 4: Resultatliste

StasjonsID:	Målt siden:	Stasjonsnavn:	Fylke:	moh:	Risiko (%):	Datakvalitet (år):	I + IV
SN38730:0	05.01.2012	Hynnekleiv	Agder	162	6,21	9,22	2,2 + 2,5
SN42940:0	30.10.2014	Sirdal - Sinnes	Agder	560	9,77	6,67	4,1 + 2,6
SN40250:0	31.07.2013	Valle	Agder	308	6,23	5,39	1,2 + 4,2
SN41480:0	18.10.2016	Åseral	Agder	268	4,44	4,77	1,5 + 1,2
SN40880:0	18.09.2019	Hovden - Lundane	Agder	841	16,87	2	5,7 + 8,3
SN4460:0	14.05.2007	Hakadal Jernbanestasjon	Akershus	170	12,4	12,5	5,1 + 6,0
SN19710:0	29.10.2012	Asker	Akershus	163	12,08	6,63	4,2 + 4,6
SN17850:0	11.06.2012	Ås	Akershus	92	4,37	4,71	0,2 + 3,0
SN4920:0	04.02.2013	Årnes	Akershus	160	9,77	4,05	2,3 + 5,8
SN24710:0	12.12.2007	Gulsvik II	Buskerud	142	12,53	11,37	4,5 + 8,1
SN27010:0	19.03.2010	Konnerud	Buskerud	193	15,66	8,62	7,1 + 6,2
SN26900:0	14.10.2014	Drammen - Berskog	Buskerud	8	4,24	6,61	0,9 + 2,3
SN25110:0	16.06.2014	Hemsedal - Høltø	Buskerud	648	15,67	6,55	6,4 + 7,8
SN25630:0	28.11.2018	Geilo - Oldebråten	Buskerud	772	17,04	2,52	4,1 + 12,1
SN93301:0	31.08.2004	Suolovuopmi - Lulit	Finnmark	381	29,2	12,65	14,6 + 18,4
SN99540:0	16.11.2012	Nyrud	Finnmark	56	20,74	8,25	7,9 + 15,3
SN96850:0	16.11.2012	Tana bru	Finnmark	55	20,86	7,67	9,5 + 12,5
SN97251:0	01.02.2008	Karasjok - Markannjarga	Finnmark	131	18,81	7,57	7,2 + 14,4
SN92650:0	23.09.2015	Nuvsvåg	Finnmark	27	17,47	5,96	8,5 + 1,2
SN97710:0	08.09.2014	Iskoras II	Finnmark	591	23,55	5,45	8,2 + 20,7
SN98976:0	06.10.2018	Torvhaugdalen	Finnmark	268	17,92	2,77	2,1 + 20,3
SN98974:0	06.10.2018	Bergebydalen	Finnmark	150	23,74	2,72	7,8 + 18,6
SN96310:0	24.10.2019	Mehamn Lufthavn	Finnmark	13	16,47	1,77	6,0 + 7,5
SN94680:0	25.10.2019	Honningdvåg Lufthavn	Finnmark	14	12,39	1,35	4,0 + 0,4
SN98978:0	12.10.2018	Reinhaugen	Finnmark	470	25,3	1,24	13,8 + 7,5
SN15890:0	03.10.2008	Grotli III	Innlandet	872	28,03	12,07	16,6 + 8,1
SN23550:0	28.08.2010	Beitostølen II	Innlandet	965	23,49	11,79	13,6 + 6,2

Tabellen fortsetter på neste side

Tabell 4 – Fortsettelse fra forrige side

StasjonsID:	Målt siden:	Stasjonsnavn:	Fylke:	moh:	Risiko (%):	Datakvalitet (år):	I + IV
SN9310:0	06.09.2010	Hjerkinn II	Innlandet	1012	11,26	10,78	2,6 + 10,1
SN61630:0	23.02.2010	Bjorli	Innlandet	579	19,99	10,73	11,0 + 6,0
SN54710:0	05.10.2010	Filefjell - Kyrkjestølane	Innlandet	956	22,38	10,09	10,4 + 10,5
SN13655:0	30.06.2011	Skåbu	Innlandet	928	25,47	9,66	15,3 + 7,4
SN14200:0	11.09.2012	Leirflaten	Innlandet	599	16,78	8,6	6,9 + 12,0
SN15270:0	13.10.2011	Juvvasshøe	Innlandet	1894	37,37	8,05	25,5 + 15,5
SN9580:0	18.08.2014	Tynset - Hansmoen	Innlandet	482	10,41	6,72	2,1 + 9,1
SN16271:0	26.09.2013	Høvringen II	Innlandet	940	9,44	6,69	0,2 + 10,0
SN16400:0	12.11.2014	Dovre - Iannem	Innlandet	560	6,79	6,58	0,3 + 6,2
SN5350:0	14.11.2014	Nord-odal	Innlandet	147	6,81	6,56	1,8 + 4,3
SN21680:0	21.11.2014	Vest-torpa II	Innlandet	542	21,91	6,33	11,1 + 7,9
SN9380:0	09.10.2014	Snøheim	Innlandet	1475	1	5,86	0,0 + 0,7
SN7420:0	17.02.2014	Rena - Ørnhaugen	Innlandet	872	35,6	4,86	24,2 + 2,1
SN12180:0	06.02.2013	Ilseng	Innlandet	182	13,42	3,17	2,9 + 12,5
SN15430:0	07.12.2018	Bøverdalen	Innlandet	700	8,03	2,56	0,7 + 8,2
SN12960:0	14.11.2019	Sjusjøen - Storåsen	Innlandet	930	36,31	1,74	24,5 + 0,1
SN700:0	24.09.2003	Drevsjø	Innlandet	672	14,42	1,54	4,4 + 11,9
SN64870:0	21.11.2007	Tågdalen	Møre og romsdal	410	15,25	11,55	7,3 + 2,5
SN61420:0	23.02.2010	Marstein	Møre og romsdal	67	6,66	9,56	18 + 2,4
SN61410:0	12.03.2010	Mannen	Møre og romsdal	1294	33,8	9,2	24,7 + 2,6
SN64700:0	13.10.2014	Innerdalen	Møre og romsdal	405	13,2	6,55	5,6 + 2,1
SN60800:0	17.11.2014	Ørskog	Møre og romsdal	5	1,93	5,74	0,2 + 1,0
SN59695:0	24.09.2015	Ørsta -Eitrefjell	Møre og romsdal	690	18,18	4,99	7,7 + 0,6
SN62295:0	03.11.2016	Molde - Hindalsrøra	Møre og romsdal	258	8,69	4,7	3,4 + 1,4
SN60240:0	04.11.2011	Åkerneset	Møre og romsdal	900	17,26	2,89	2,3 + 10,7
SN77425:0	19.12.2007	Majavatn V	Nordland	319	20,59	11,91	10,6 + 6,9
SN79764:0	08.02.2009	Hjartåsen	Nordland	251	19,07	10,9	10,5 + 6,6
SN84500:0	27.01.2011	Straumsnes	Nordland	200	17,64	9,78	7,8 + 6,1

Tabellen fortsetter på neste side

Tabell 4 – Fortsettelse fra forrige side

StasjonsID:	Målt siden:	Stasjonsnavn:	Fylke:	moh:	Risiko (%):	Datakvalitet (år):	I + IV
SN79700:0	09.06.2011	Storforshei	Nordland	110	15,83	8,92	8,1 + 6,2
SN77280:0	20.11.2011	Laksfors	Nordland	50	7,97	8,91	2,0 + 5,6
SN78360:0	29.11.2011	Seljelia	Nordland	126	12,63	8,28	5,1 + 4,9
SN81650:0	04.10.2012	Saltdal - Nordnes	Nordland	39	13,73	7,79	4,1 + 8,5
SN78800:0	12.10.2012	Varntresk	Nordland	406	15,42	7,13	3,6 + 10,2
SN82000:0	08.02.2009	Setså	Nordland	7	7	7	0,3 + 5,7
SN81775:0	29.10.2014	Lønsdal Stasjon	Nordland	520	13,46	6,15	2,4 + 10,7
SN80705:0	27.11.2014	Glomfjord - Skihytta	Nordland	520	10,1	6,09	1,7 + 2,9
SN87000:0	01.01.2015	Ånstadblåheia	Nordland	500	18,12	5,62	8,7 + 2,8
SN84210:0	01.10.2014	Losistua	Nordland	740	23,41	5,33	13,3 + 7,8
SN84880:0	13.10.2016	Katterat	Nordland	365	24,09	4,87	12,7 + 7,3
SN84900:0	21.10.2016	Bjørnfjell	Nordland	512	29,7	3,96	17,2 + 12,0
SN82720:0	22.12.2016	Sisovatnet	Nordland	665	30,63	3,79	19,8 + 4,6
SN80200:0	02.01.2018	Lurøy	Nordland	115	3,57	3,48	0,7 + 0,9
SN85080:0	01.01.2018	Kanstadbotn	Nordland	6	23,07	2,95	15,3 + 4,4
SN18500:0	01.10.2007	Bjørnholt	Oslo	360	17,13	12,64	8,6 + 5,7
SN18950:0	01.12.1997	Tryvannshøgda	Oslo	514	16,24	8,41	7,2 + 3,1
SN18700:0	05.08.2016	Oslo - Blindern	Oslo	94	4,05	4,94	1,0 + 1,0
SN46220:0	06.02.2018	Gullingen Skisenter	Rogaland	639	9,55	3,29	2,7 + 2,8
SN99910:0	06.10.1997	Ny-Ålesund	Svalbard	8	23,09	8,11	6,2 + 22,4
SN99870:0	21.11.2016	Adventdalen	Svalbard	15	5,59	4,49	0,1 + 6,7
SN99843:0	03.02.2018	Platåberget III	Svalbard	450	9,59	3,1	3,9 + 5,2
SN99763:0	28.09.2019	Reindalspasset	Svalbard	181	28	1,88	4,7 + 38,2
SN99874:0	28.09.2019	Janssonhaugen Vest	Svalbard	250	20,31	1,65	0,3 + 31,4
SN32060:0	29.11.2009	Gvarv - Nes	Telemark	93	6,18	10,79	1,3 + 3,6
SN31620:0	06.11.2013	Møsstrand II	Telemark	977	18,31	7,63	9,2 + 5,6
SN33950:0	16.03.2015	Haukeliseter Testfelt	Telemark	990	27,71	5,36	18,5 + 1,5
SN31400:0	31.12.2016	Fyriegg	Telemark	1008	15,17	4,37	3,1 + 11,5

Tabellen fortsetter på neste side

Tabell 4 – Fortsettelse fra forrige side

StasjonsID:	Målt siden:	Stasjonsnavn:	Fylke:	moh:	Risiko (%):	Datakvalitet (år):	I + IV
SN32220:0	09.08.2013	Lifjell - Øysteinatten	Telemark	1102	18,83	4,07	11,2 + 1,5
SN32890:0	28.11.2018	Høydalsmo II	Telemark	560	22,04	2,62	11,9 + 6,8
SN31520:0	29.11.2019	Groset	Telemark	949	37,85	1,13	22,3 + 7,1
SN91130:0	24.11.2011	Lyngen - Gjerdvassbu	Troms	710	35,05	9,08	26,5 + 2,1
SN91500:0	31.12.2011	Nordnesfjellet	Troms	697	13,51	8,82	8,4 + 2,7
SN89980:0	10.10.2014	Tamokdalen	Troms	230	24,97	6,92	15,2 + 7,9
SN90100:0	02.10.2015	Malangen - Pålfinnmoen	Troms	124	23,1	5,66	14,4 + 3,1
SN89985:0	06.01.2015	Sjufjellet	Troms	1074	41,79	5,1	33,7 + 3,2
SN89350:0	06.02.2016	Bardufoss	Troms	76	23,36	4,75	9,2 + 16,7
SN91180:0	27.12.2008	Lenangsstraumen	Troms	45	11,16	4,66	2,0 + 4,0
SN92350:0	12.10.2018	Nordstraum I Kvæningen	Troms	20	6,41	2,94	0,3 + 2,7
SN88100:0	22.10.2018	Bones I Bardu	Troms	230	19,6	2,88	11,3 + 4,0
SN91530:0	09.10.2017	Gamanjuni	Troms	1237	52,14	1,96	41,2 + 10,1
SN87640:0	04.10.2019	Harstad Stadion	Troms	45	8,75	1,81	1,2 + 1,8
SN90450:0	20.10.2016	Tromsø	Troms	100	12,89	1,74	4,9 + 1,3
SN73550:0	15.12.2007	Gartland	Trøndelag	95	10,81	12,97	3,4 + 6,4
SN67560:0	27.11.2007	Kotsøy	Trøndelag	127	12,34	12,31	4,6 + 5,7
SN67280:0	20.12.2007	Soknedal	Trøndelag	299	13,12	12,23	5,0 + 5,1
SN10800:0	01.10.2007	Sørlandet	Trøndelag	747	22,31	11,11	11,5 + 7,5
SN70850:0	11.01.2013	Snåsa - Kjevlia	Trøndelag	195	11,68	5,74	3,6 + 5,3
SN69100:0	18.08.2007	Værnes	Trøndelag	12	2,18	5,2	0,0 + 1,3
SN68125:0	26.01.2018	Sverresborg	Trøndelag	156	10,9	3,31	2,7 + 5,5
SN68050:0	26.01.2018	Lade	Trøndelag	13	4,11	3,25	0,1 + 3,1
SN68120:0	29.01.2018	Saupstad	Trøndelag	135	12,33	3,2	3,3 + 5,8
SN68863:0	29.01.2018	Trondheim - Voll Plu	Trøndelag	127	6,69	2,91	0,1 + 4,7
SN74350:0	01.02.2008	Namsskogan	Trøndelag	140	7,13	2,21	2,5 + 2,5
SN68262:0	17.10.2019	Klæbu II	Trøndelag	143	2,91	1,91	0 + 1,0
SN68110:0	19.09.2019	Skistua	Trøndelag	451	14,46	1,9	5,5 + 1,4

Tabellen fortsetter på neste side

Tabell 4 – Fortsettelse fra forrige side

StasjonsID:	Målt siden:	Stasjonsnavn:	Fylke:	moh:	Risiko (%):	Datakvalitet (år):	I + IV
SN73466:0	30.09.2019	Nordli - Sandvika	Trøndelag	420	12,29	1,76	3,9 + 4,8
SN26996:0	15.09.2014	Sande - Lauvkollmyr	Vestfold	437	14,68	6,34	7,7 + 2,7
SN27420:0	24.08.2016	Tjøme	Vestfold	32	2,16	2,9	0,0 + 0,4
SN27160:0	03.08.2018	Horten II	Vestfold	95	2,53	2,68	0,2 + 0,6
SN27162:0	27.09.2018	Åsgårdstrand	Vestfold	61	1,86	2,59	0,1 + 0,5
SN27120:0	07.01.2019	Horten - Nykirke	Vestfold	70	4,36	2,34	0,7 + 2,2
SN27161:0	27.09.2018	Horten - Skoppum	Vestfold	40	5,72	2,15	0,7 + 3,7
SN25830:0	02.06.1996	Finsevåtn	Vestland	1210	27,78	13,58	18,7 + 3,9
SN51800:0	19.10.2009	Mjøfjell Uh	Vestland	695	13,35	10,31	5,9 + 3,4
SN53530:0	23.11.2011	Midstova	Vestland	1162	25,45	8,76	14,9 + 6,2
SN58900:0	22.10.2013	Stryn -Kroken	Vestland	208	5,06	7,7	1,3 + 2,0
SN46430:0	01.11.2013	Røldalsfjellet	Vestland	1010	23,33	7,28	12,9 + 0,7
SN29400:0	01.11.2013	Sandhaug	Vestland	1250	29,82	6,68	21,2 + 3,8
SN51470:0	05.06.2014	Bulken	Vestland	328	6,27	6,53	1,7 + 2,2
SN53480:0	28.11.2013	Klevavatnet	Vestland	960	14,8	6,24	4,9 + 5,3
SN49085:0	30.09.2015	Følgefonna Skisenter	Vestland	1212	23,96	5,26	15,2 + 0,8
SN55420:0	09.10.2015	Jostedalen - Breheimsenteret	Vestland	243	14,02	5,16	7,5 + 3,2
SN52860:0	17.09.2014	Takle	Vestland	38	0,61	4,42	0 + 0,3
SN50310:0	01.02.2008	Kvamskogen - Jonshøgdi	Vestland	455	9,65	3,86	3,4 + 1,7
SN49420:0	16.02.2017	Sjeggedal	Vestland	470	7,52	3,61	1,4 + 3,1
SN56960:0	30.11.2017	Haukedal	Vestland	311	11,51	3,29	4,7 + 3,1
SN53680:0	25.08.2018	Flåm - Joasetbegi	Vestland	860	14,81	2,9	4,5 + 5,1
SN51990:0	23.10.2019	Myrkdalen - vetlebotn	Vestland	700	17,66	1,88	7,2 + 2,3
SN49800:0	16.09.2019	Fed I Eidfjord	Vestland	735	0	0,65	0 + 0

4.3 Kart

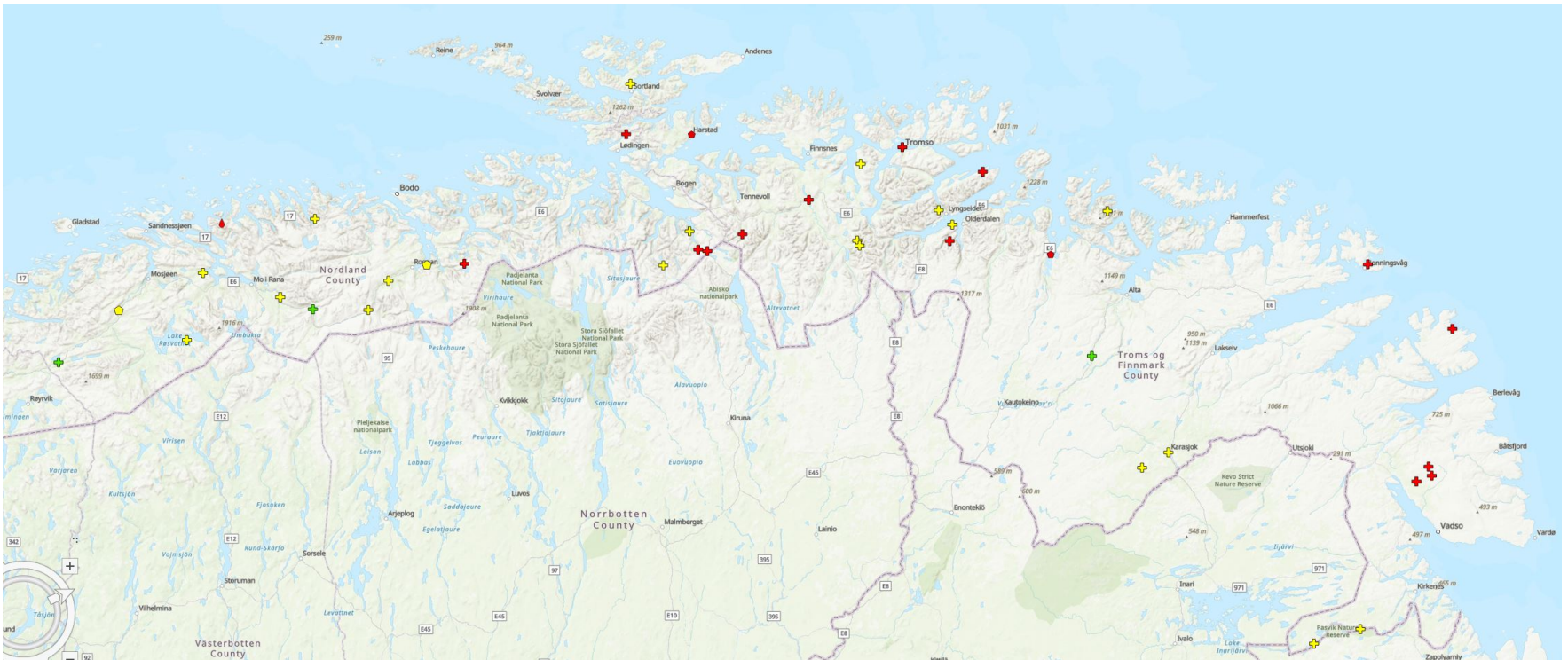
Figur 19 og Figur 20 er kart som viser hvor i landet de forskjellige værstasjonene befinner seg. Fargen på markørene angir datasikkerheten til stasjonen og fasongen angir risiko. Røde markører viser stasjoner som har datasikkerhet under 5 år, gule har mellom 5 og 10 år og grønne har mer enn 10 år. Markører formet som kryss har risiko over 10 %, femkanter har risiko mellom 5 % og 10 % og dråper har under 5 %. Merk at de fem målestasjonene på Svalbard ikke er med på kartet, men deres kategorisering kan leses i Tabell 4.

4.4 Plott

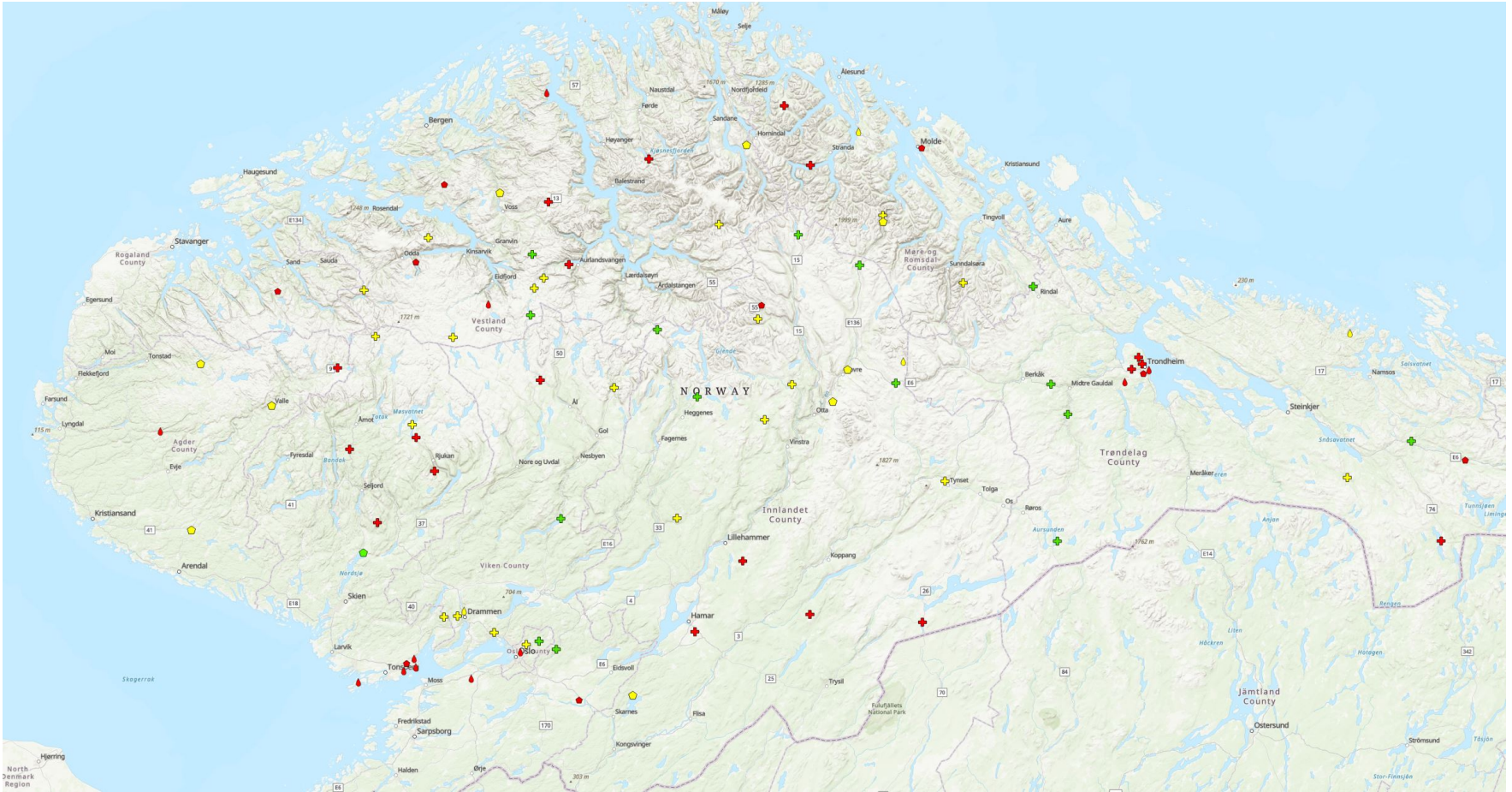
I Figur 21a og Figur 21b er resultatene fra Tabell 4 plottet i et diagram ut ifra deres datakvalitet og risiko. Individuelle stasjoner kan ikke identifiseres direkte i figuren, den brukes kun for å vise trender i materialet. Ettersom en stor andel av dataene er i høyeste risikoklasse, er figuren delt i to for bedre leselighet. Figur 21a er en fortsettelse av Figur 21b med en litt lavere oppløsning på risiko-aksen. Av alle stasjonene har 94 stasjoner et vektet risikotall over 10 % og 19 av stasjonene har over 10 år ekvivalent datakvalitet. Ingen av målestasjonene med høyere datakvalitet enn 10 år hadde lavere risiko enn 5 %. Antall stasjoner innenfor hver kategori er listet opp i Tabell 5.

Tabell 5: Antall stasjoner innenfor hver rute i matrisen i Figur 18. Totalt er 135 værstasjoner analysert.

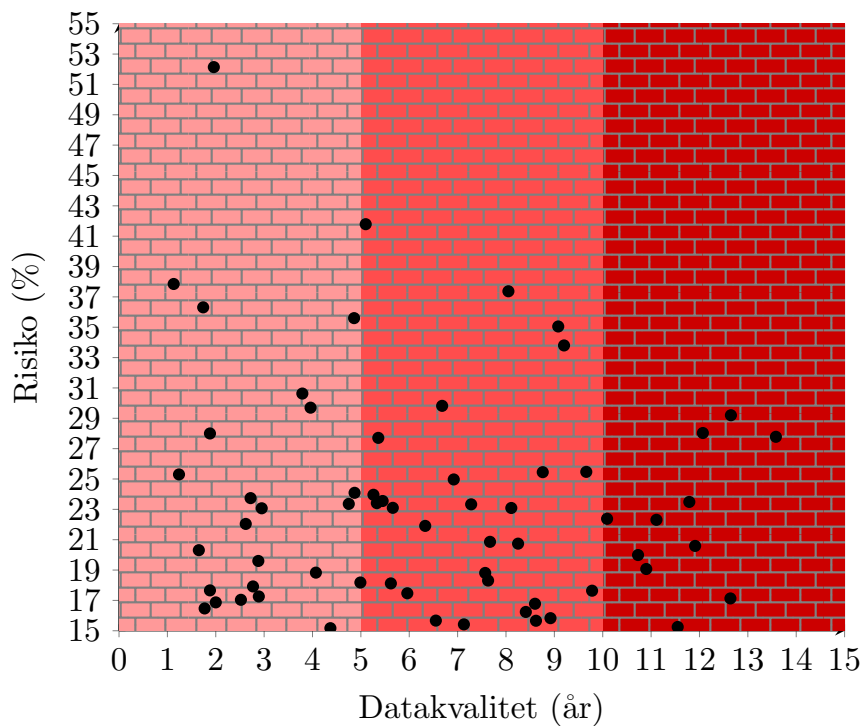
Risiko:	Datasikkerhet:		
	<5 år	5 år<og >10 år	>10 år
>10 %	35	41	18
>5 % og <10 %	13	11	1
<5 %	12	4	0



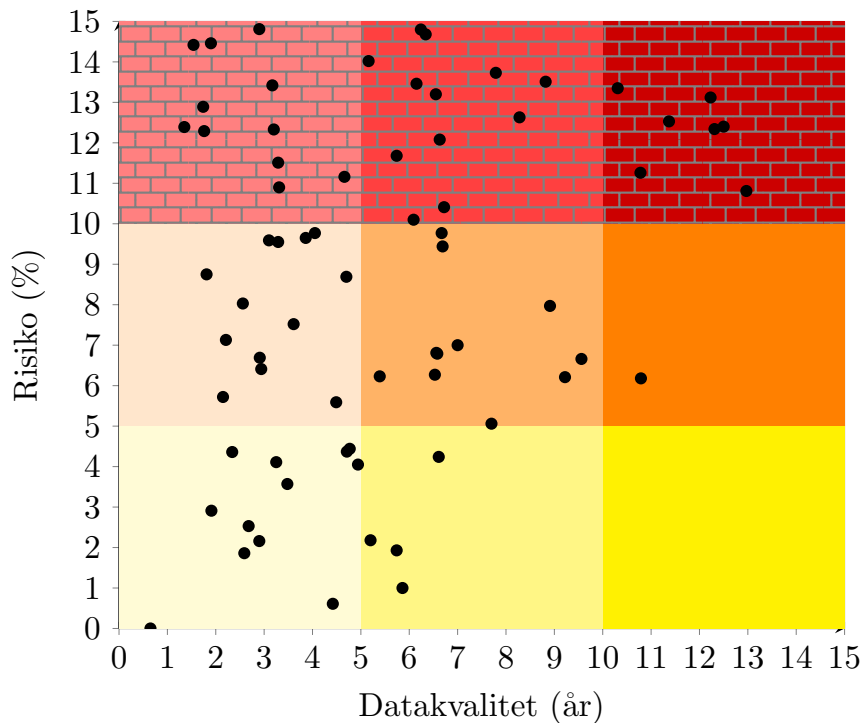
Figur 19: Kart over værstasjoner som måler timesdata i Nord-Norge, ulike symboler angir hvor høy risikoen er ved stasjonene og farge angir datakvaliteten.



Figur 20: Kart over værstasjoner som måler timesdata i Sør-Norge, ulike symboler angir hvor høy risikoen er ved stasjonene og fargen angir datakvaliteten.



(a) Plot over alle stasjoner med risiko mellom 15 % og 55 %



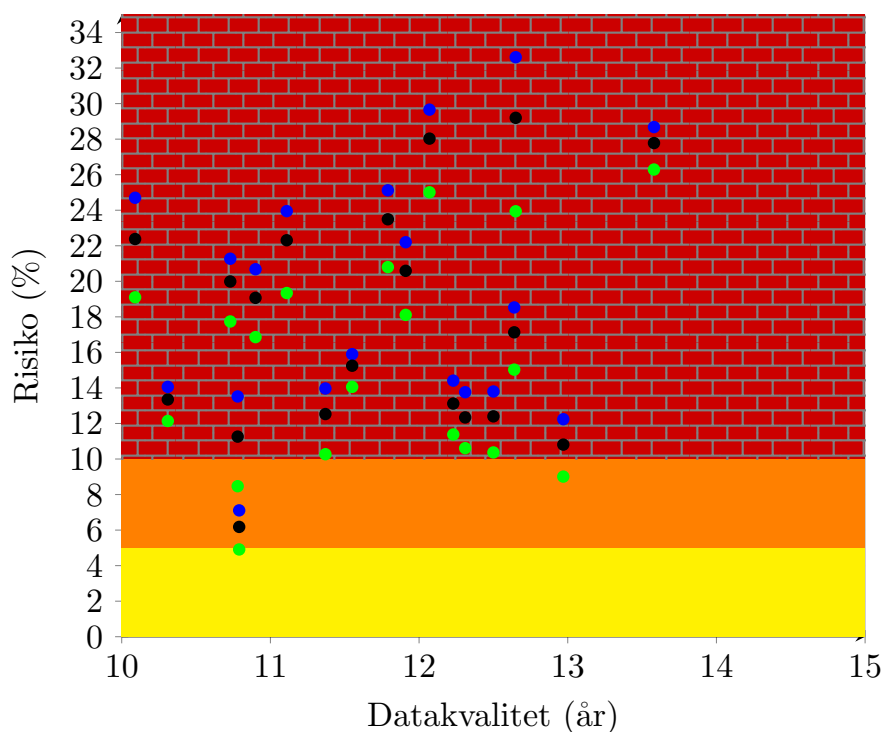
(b) Plot over alle stasjoner med risiko mellom 0 % og 15 %

Figur 21: Plot som viser kategoriseringen av de ulike værstasjonene. Figuren er delt i to for bedre leselighet og risiko-aksene har litt forskjellig oppløsning.

4.5 Andre analyser

Risikokategoriseringen av værstasjoner tidligere i dette kapitlet er basert på beregninger som forutsetter én statisk verdi for takets U-verdi. Det ble besluttet å analysere et utvalg av værstasjonene gjennom nye beregninger der U-verdien endres. Med endret U-verdi endres også risikokategoriseringen. Utvalget består av de 19 stasjonene med en datakvalitet høyere enn 10 år.

Figur 22 viser hvordan risikovektallet for værstasjoner endrer seg når U-verdien endres. Hver værstasjon er her representert ved tre punkter som ligger på linje over hverandre (siden datakvaliteten ikke endrer seg i disse beregningene). Den øverste, blå prikken viser risiko når taket forutsettes bygd etter Byggteknisk forskrift av 1985 (TEK85) med en U-verdi på $U = 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$. Den nederste, grønne prikken viser risiko dersom taket bygges etter anbefalt isolasjonsverdi i TEK17, $U = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Figur 22: De nitten datasettene med høyest datakvalitet er kjørt gjennom analysen to ganger til med forskjellig U-verdi. Blå punkt er for U-verdien $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$, grønne punkter for $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ og de sorte for $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$. Hvis det står om marginer kan løsningen være å isolere taket bedre, men en kan i hovedsak ikke isolere seg ut av dårlige klimatiske forutsetninger.

Tabell 6 lister opp hvilke 19 stasjoner som ble brukt i en utvidet analyse og viser nye risikovektall for hver av stasjonene dersom U-verdien endres. Risikoen reduseres ved lavere U-verdi i hovedsak fordi færre målinger er innenfor område I. Område IV får i flere tilfeller en høyere andel målinger. Hvordan områdene endres kan leses av i Figur 13.

Tabell 6: Resultater for de 19 stasjonene med størst datakvalitet, der U-verdien varierer.

StasjonID:	Stasjonsnavn:	Fylke:	U-verdi (W/m^2K):						Datakv.:
			0,23		0,18		0,13		
			Risiko:	I + IV	Risiko:	I + IV	Risiko:	I + IV	
SN54710:0	Filefjell - Kyrkjestølane	Innlandet	24,7	13,1 + 9,5	22,38	10,4 + 10,5	19,1	6,9 + 11,4	10,09
SN54710:0	Mjøfjell Uh	Vestland	14,06	6,7 + 2,9	13,35	5,9 + 3,4	12,14	4,5 + 4,0	10,31
SN61630:0	Bjorli	Innlandet	21,27	12,7 + 5,2	19,99	11,0 + 6,0	17,74	8,2 + 7,3	10,73
SN9310:0	Hjerkinn II	Innlandet	13,52	4,2 + 10,9	11,26	2,6 + 10,1	8,47	1,0 + 8,5	10,78
SN32060:0	Gvarv - Nes	Telemark	7,11	2,1 + 3,4	6,18	1,3 + 3,6	4,91	0,4 + 3,5	10,79
SN79764:0	Hjartåsen	Nordland	20,68	12,8 + 5,1	19,07	10,5 + 6,6	16,86	7,5 + 8,4	10,9
SN10800:0	Sørlendet	Trøndelag	23,95	13,8 + 5,9	22,31	11,5 + 7,5	19,34	7,5 + 10,1	11,11
SN24710:0	Gulsvik II	Buskerud	13,97	6,2 + 7,1	12,53	4,5 + 8,1	10,27	2,4 + 8,2	11,37
SN64870:0	Tågdalen	Møre og romsdal	15,9	8,1 + 2,1	15,25	7,3 + 2,5	14,06	5,6 + 3,6	11,55
SN23550:0	Beitostølen II	Innlandet	25,12	12,9 + 4,8	23,49	13,6 + 6,2	20,8	9,8 + 9,1	11,79
SN77425:0	Majavatn V	Nordland	22,2	12,6 + 5,8	20,59	10,6 + 6,9	18,11	7,5 + 8,4	11,91
SN15890:0	Grotli III	Innlandet	29,66	18,9 + 6,6	28,03	16,6 + 8,1	25,01	12,8 + 9,9	12,07
SN67280:0	Soknedal	Trøndelag	14,41	6,7 + 4,2	13,12	5,0 + 5,1	11,38	3,0 + 6,2	12,23
SN67560:0	Kotsøy	Trøndelag	13,76	6,5 + 4,5	12,34	4,6 + 5,7	10,61	2,5 + 6,8	12,31
SN4460:0	Hakadal Jernbanestasjon	Akershus	13,8	6,4 + 5,8	12,4	5,1 + 6,0	10,37	3,2 + 6,2	12,5
SN18500:0	Bjørnholt	Oslo	18,53	10,3 + 4,8	17,13	8,6 + 5,7	15,03	6,1 + 7,0	12,64
SN93301:0	Suolovuopmi - Lulit	Finnmark	32,61	19,1 + 16,1	29,2	14,6 + 18,4	23,94	9,1 + 19,4	12,65
SN73550:0	Gartland	Trøndelag	12,24	5,1 + 5,6	10,81	3,4 + 6,4	9,01	1,6 + 6,8	12,97
SN25830:0	Finsevatn	Vestland	28,68	19,6 + 3,6	27,78	18,7 + 3,9	26,29	17,1 + 4,4	13,58

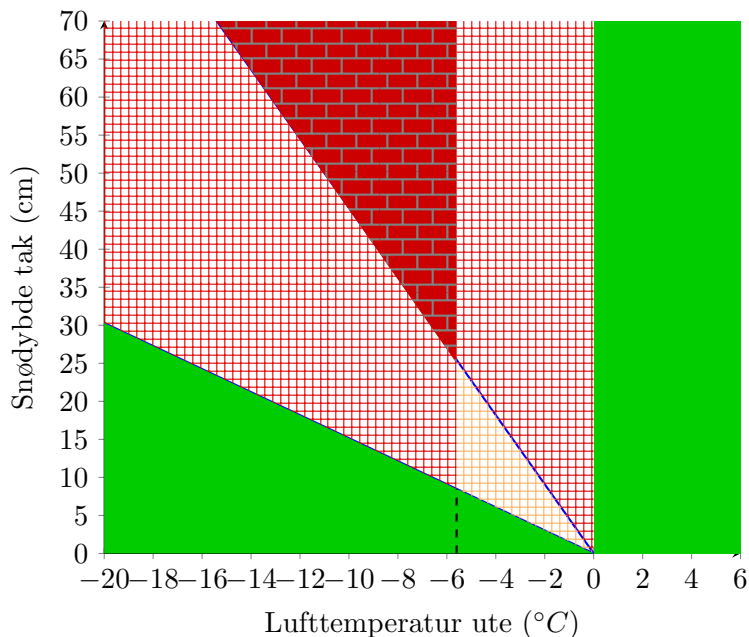
5 Diskusjon

Følgende forskningsspørsmål er tatt for seg i denne oppgaven: Hvilke fysiske forhold forårsaker snøsmelting og gjenfrysing på kompakte tak med utvendig nedløp? Hva slags klima gir risiko for isdannelse i nedløpssystemer fra kompakte tak i Norge? Og hvordan kan det vurderes hvor utvendige nedløp fra kompakte tak kan være aktuelt? Disse spørsmålene er diskutert videre i dette kapitlet.

5.1 Fysiske forhold som forårsaker smelting av snø og gjenfrysing på kompakte tak med utvendig nedløp

Modellen vist i Figur 23 viser et forenklet bilde av snøsmelting og gjenfrysing under stasjonære forhold, med snødybde og utetemperatur som parametre. Beregningsmodellen er utarbeidet fra Nielsen and Claesson (2011) og Tobiasson et al. (1998). I de grønne sonene vil det ikke dannes is, enten fordi snøen ikke smelter eller fordi smeltevannet ikke fryser igjen. I den røde sonen vil snøsmelting og isdannelse oppstå samtidig med stor sannsynlighet. Flere parametre i modellen er heftet med stor usikkerhet, spesielt varmekonduktiviteten til snø og temperaturen der smeltevann fryser raskt nok til å skape problemer på taket. For å ta høyde for denne usikkerheten er øvre og nedre verdier for varmekonduktivitet benyttet. De skraverter lyserøde sonene viser hvor snøsmelting og gjenfrysing *kan* oppstå, avhengig av verdien på de usikre parametrene.

Beregningsmodellen forutsetter en rekke faktorer som ikke nødvendigvis vil være gjeldende i realiteten. I praksis vil de skrå linjene kurve svakt oppover som følge av at snøens varmekonduktivitet synker når snøen klemmes sammen under egen vekt. Det er usikkert hvor stor denne effekten vil være. Snødybden vil også endre seg så lenge snøen smelter, og forholdene vil da aldri egentlig være stasjonære. Ved et tidspunkt vil snøsmeltingen stoppe når snølagets varmemotstand blir så lav at nullisotermen går ned i takkonstruksjonen igjen. Nysnø vil ikke ha samme varmekonduktivitet som eldre snø. Snøen vil legge seg i flere lag med ulik varmemotstand som beskrevet i Zhou et al. (2018). Det er praktisk talt umulig å forutse den totale varmemotstanden nøyaktig siden den er avhengig av flere parametre som må måles samtidig over tid.



Figur 23: Risikosoner for snøsmelting og isdannelse på kompakte tak. Gjentakelse av Figur 11.

For å gå videre med dynamiske beregninger er det nødvendig med en modell som beskriver snøens varmekonduktivitet godt. Da kan det lages en modell som tar høyde for endringer i snødybden ved værstasjoner (snøfall, komprimering og smelting utenfra kan antas å utvikles likt på tak som på terreng) og deretter legger til at snøen smelter på grunn av varmestrømmen innenfra. Dette forutsetter at det finnes sammenhengende dataserier for snødybde og temperatur som dekker lange nok perioder til å kunne gi sikkert grunnlag til en anbefaling. Videre kan også mengden smeltevann innenfor perioder med en kjent temperatur forutsi mengden isdannelse. Modeller bør inkludere simuleringer i to eller tre dimensjoner for å ta høyde for variasjoner i varmestrøm gjennom tak (kuldebroer, gjennomføringer, skråningsisolasjon for å skape fall, osv.).

Modellen presentert i denne oppgaven kan ikke gi en nøyaktig gjengivelse av snøsmelting og gjenfrysing på tak, men det betyr ikke at den er unyttig. Den kan benyttes til å vurdere *relativ* risiko for isdannelse for ulike løsninger og ulike klimatiske forhold. Det bør inngå i videre arbeid å bestemme grenser for akseptabel risiko. Verdiene presentert i denne oppgaven er mest nyttige for å demonstrere metodikken.

Det fremkommer av resultatene at en stor del av målingene på mange stasjoner havner i Sone II som vist i Figur 11, altså der det er ukjent risiko for isdannelse men høy risiko for snøsmelting. Ved temperaturfall eller dersom smeltevannet bruker lang tid på å renne av taket, vil det lett kunne oppstå ising under disse forholdene. For å gi inntrykk av hvor stor andelen målinger i hver sone er, er det i Tabell 4 oppgitt hvor mange prosent av målingene som finnes i Sone I og IV, som er de to farligste sonene.

En faktor som kan virke i en positiv retning for at løsningen med utvendige nedløp fra kompakte tak skal fungere er at lange perioder med værforhold i Sone I er usannsynlig i praksis. Så lenge temperaturen er stabil og det ikke kommer ny snø, vil snøens totale varmemotstand synke over tid ettersom snøen smelter og blir mer kompakt. Da vil sonegrensene endre seg og snøsmelting stanse tross stabilt vær. Det vil ikke komme en konstant strøm smeltevann som danner ny is, da det tross alt er begrenset hvor mye snø som ligger på taket og at snødybden på taket oftest er lavere enn på terreng der dybden måles.

5.2 Klima som gir risiko for isdannelse i nedløpssystemer fra kompakte tak i Norge

Modellen har blitt benyttet på 135 værstasjoner over hele Norge. På mange av stasjonene var måleseriene både korte og mangelfulle, noe som gir et relativt tynt grunnlag for å fastslå anbefalinger for kompakte tak med utvendig nedløp. Byggforskeren 525.207 (2018) nevner at løsningen kan benyttes ”[...]på steder med et kystklima der man vet sikkert at snølag på taket får meget kort varighet.”. Svakheterne i datagrunnlaget illustreres godt ved at modellen påstår (som sett i Tabell 4) at et av de ”tryggeste” stedene for denne løsningen er Snøheim på Dovrefjell. Det ligger litt i navnet at dette stedet neppe lå i tankene da Byggforsk sin anbefaling ble skrevet. Med et klima som generelt er kaldt og snørikt, er Snøheim lite egnet for utvendige nedløp fra kompakte tak, selv om noen år med ”heldige” målinger kan gi et inntrykk av at det er det. Resultatene kan således ikke benyttes direkte til å konkludere hvor i landet løsningen er mest egnet. Med bedre tilgang på data og mer komplette måleserier antas metoden å være god, men dette datagrunnlaget er litt for tynt for å gi endelige konklusjoner.

En annen forutsetning for å bruke metoden til å undersøke egnetheten til utvendige nedløp fra kompakte tak, er å fastslå hvilke verdier som utgjør akseptabel risiko. Kategoriseringen av klimaet ved de undersøkte værstasjonene viser et vektet risikotall som spenner mellom 0 og 52 prosent. Grensen mellom laveste og middels kategori er satt til 5 %, men dette er gjort mest for å grafisk skille de laveste verdiene fra de høyeste i kartfigurene. 5 % av året utgjør i overkant av 18 døgn. Dersom en stasjon har værforhold i kategori I alle disse timene sammenhengende uten temperaturer over 0°C , vil det være betydelig fare for byggskade. Hvis derimot disse 5 % oppnås ved mange korte opphold i mindre risikable soner kan det gå bra å benytte løsningen. Med andre ord er det fortsatt behov for å forbedre metoden for å bestemme risikovektallet og de tilhørende risikokategoriene.

De presenterte dataene kan imidlertid brukes til å vurdere, med en viss grad av sikkerhet, den relative egnetheten til løsningen på ulike steder i Norge. Det kan ikke fastslås sikkert hvorvidt det vil forekomme isdannelse f.eks. på Blindern, men dataene viser at risikoen er lavere der enn på Finse. Igjen er sikkerheten i dataene en viktig variabel, derfor er datakvaliteten oppgitt for hver målestasjon.

Det bør også nevnes at det mye omtalte ”Kystklimaet” nevnt i Byggforskserien (Byggforskserien 525.207, 2018) ikke er spesielt godt dokumentert gjennom værstasjoner med snømålinger. Denne oppgaven ser kun på stasjoner der snødybde er målt time for time. Disse værstasjonene er det relativt få av i Norge og de er fortrinnsvis satt opp på steder med mye snø. Figur 15 viser at ingen slike værstasjoner er plassert langs kysten av Sør- og Vestlandet mellom Færder og Sognefjorden. Antagelig er det så lite snø der at det ikke oppfattes som et behov å dokumentere snødybde hver time. Når dataene i Figur 21 viser at nesten alle værstasjonene ligger i høyeste risikokategori, kan det være en konsekvens av prøvetakingsskjevhet: på steder der det er så mye snø at det er interessant å måle snødybden hver time, er det antagelig for mye snø til å bygge kompakte tak med utvendig nedløp uansett.

Klimaendringer kan gi visse fordeler for løsningen med kompakte tak med utvendig nedløp. Hanssen-Bauer et al. (2015) nevner at fremtidig klima i Norge vil innebære mindre snø enkelte steder og et generelt mildere klima. Dette er ”godt nytt” for utvendige nedløp, selv om det er dårlig for skiføret. Derimot vil enkelte steder oppleve økte snømengder, som er mindre gunstig. Denne oppgaven har kun tatt for seg historiske værdata fra nyere tid, men det hadde vært interessant å undersøke løsningen i lys av forventet fremtidig klima.

5.3 Framtidige anbefalinger for utvendige nedløp fra kompakte tak i Norge

Data brukt i denne oppgaven er ikke tilstrekkelige til å fortelle med sikkerhet hvor det er trygt eller risikabelt å bygge kompakte tak med utvendige nedløp. Det finnes ikke nok værstasjoner til å dekke alle steder og alle klima. Eksisterende måleserier er for korte til å fastslå med sikkerhet hvorvidt løsningen vil være utsatt for uakseptable skader.

Resultatene demonstrerer likevel en metode som kan ha stor praktisk nytteverdi. Dersom værforholdene er kjent på et sted der det vurderes utvendige nedløp fra kompakte tak, kan metoden brukes til å analysere forhold for isdannelse og gi et beslutningsgrunnlag. Riktignok er det demonstrert visse problemer med å få tak i nok data, men lokal værkjennskap kan i teorien benyttes til å lage referanseår eller andre datasett som gir utgangspunkt for simuleringer.

Det er noe usikkert hvor stor risiko som faktisk er dokumentert ved de undersøkte målestasjonene, da akseptkriterier for risiko ikke er bestemt. Konsekvensene av eksponering for risikable forhold er ikke kjent. Enkelte løsninger kan tåle isdannelse bedre enn andre. En fremtidig analyse bør undersøke hvor ofte og hvor lenge en gitt løsning kan stå under risikable forhold før det oppstår problemer.

I Figur 22 vises det at endringer i isolasjonsmengde sjelden har dramatisk innvirkning på risikovektallet. Med andre ord kan man som regel ikke øke mengden isolasjon for å overkomme dårlige klimatiske forutsetninger. Nielsen (2019) sier derimot at isolasjonstykkelse er en viktig parameter for snøsmelting. Betydningen av isolasjonstykkelse kan være interessant å undersøke i videre studier.

Antagelig er det mye risikoreduksjon å hente gjennom riktig utforming av tak og nedløpssystemer. Takrenner og nedløp som tåler frost bør undersøkes. Det er også foreslått hybridløsninger for nedløp der smeltevann om vinteren føres i innvendige nedløp mens store regnmengder om sommeren ledes i utvendige nedløp (Andenæs et al., 2020). Slike løsninger er fortsatt på prøvestadiet.

Det kan også presiseres at TEK17 ikke nødvendigvis krever at takvann skal ledes i utvendige nedløp. Formålet i veiledningen til § 15-8 (1) er bare at takvannet ikke skal føres til hovedledningen. Det kan tenkes løsninger med innvendige taknedløp og infiltrasjon av vann direkte i grunnen under bygningen. Dette er mildt sagt en utradisjonell måte å bygge på som antagelig bør undersøkes mer før den eventuelt tas i bruk.

6 Konklusjon

Opgaven har gjort rede for noen av de vanlige utfordringene med isdannelse som kan oppstå dersom kompakte tak bygges med utvendige nedløp. Det finnes lite litteratur om løsningen og den er ikke spesielt anbefalt i Byggforskserien, selv om den nevnes som en mulig løsning under visse forutsetninger.

Skadelig isdannelse oppstår ved ugunstige kombinasjoner av temperatur og snødybde. Det viser seg å være vanskelig i praksis å modellere den termiske oppførselen til snø på tak. En stor usikkerhetsfaktor er snøens varmekonduktivitet, som varierer avhengig av faktorer som porøsitet, vanninnhold og kornstruktur. Varmekonduktiviteten vil endres over tid og er på ingen måte homogen gjennom hele snølaget. Tørr nysnø har lavere konduktivitet enn eldre snø. Konduktiviteten kan være så lav som $0,06W/mK$. Denne verdien er brukt som et konservativt anslag i beregninger, sammen med et gjennomsnittlig anslag på $0,18W/mK$. Isdannelse er forutsatt å bli problematisk ved temperaturer under $-5,6^{\circ}C$, men kan oppstå ved alle temperaturer under $0^{\circ}C$. Utfra disse verdiene er det laget en enkel modell som analyserer risiko for isdannelse under stasjonære forhold. Modellen kan samhandle med værdata for temperatur og snødybde og brukes til en forenklet analyse av risiko for isdannelse i utvendige nedløp fra kompakte tak på det aktuelle stedet.

Data fra 135 værstasjoner over hele Norge er analysert ved bruk av modellen. Dessverre er måledataene ganske mangelfulle med korte og ufullstendige måleserier. Resultatene for hver værstasjon er presentert gjennom et vektet tall for risiko for isdannelse og et tall som forteller hvor mye data som kan hentes fra stasjonen. Et komplett risikobilde krever mange år med fullstendige data og en god forståelse av vektet risiko. Mangler kan til en viss grad fylles ut med empiriske data, men dette er ikke utforsket i denne oppgaven.

Fra analysene av timesdata kan det ikke trekkes noen entydige konklusjoner om kompakte tak med utvendige nedløp. Det savnes en referanseindeks som forteller hvor mye risiko som kan aksepteres. Forenklete analyser viser generelt ganske høy risiko på de fleste målestasjonene. Den høye risikoen kan skyldes flere faktorer: Mangel på referanserisiko, mangel på data eller plasseringen av stasjonene. Stasjoner som måler snødybden hver time er oftest plassert i områder hvor snømengdene er ganske store. Dermed er risiko for skadelige isdannelse stor ved disse stasjonene. Steder som typisk har lite nok snø til at kompakte tak med utvendige nedløp er mulig har ihvertfall ikke dokumentert dette ved timesdata på snødybden i lang nok tid.

6.1 Framtidig arbeid

Videre arbeid bør søke å videreutvikle metoden og teste den på nye datasett, som for eksempel døgnmålinger av snødybde og temperatur. Antagelig hadde det vært til stor nytte å samarbeide med en meteorolog/meteorologistudent som har erfaring med å skaffe og tolke værdata og modellere snødybde.

Det er også ønskelig å finne mer kunnskap om isdannelse på tak ved å undersøke snøsmelting og gjenfrysing i praksis. Feltmålinger eller laboratorieforsøk vil kunne vise hvilke forhold som er farlige, og hvor lenge de må foregå for at uønskede konsekvenser kan inntreffe. Det vil gjøre det lettere å bestemme "faregrensene" og dermed foreta bedre analyser av værdata.

Referanser

American Metrological Society (2012), ‘Water - Glossary of Meteorology’.

URL: <https://glossary.ametsoc.org/wiki/Water>

Andenæs, E., Skagseth, V., Bunkholt, N., Kvande, T. and Lohne, J. (2020), Experiences with external drainage systems from compact roofs in Norwegian climates, in ‘NSB2020’, Vol. 172, NSB 2020: 12th Symposium on Building Physics, Tallinn, Estonia.

Andrews, T. (1886), ‘XII. Observations on pure ice and snow’, *Proceedings of the Royal Society of London* **40**(242-245), 544–549. Publisher: Royal Society.

URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rspl.1886.0079>

Arksey, H. and O’Malley, L. (2005), ‘Scoping studies: towards a methodological framework’, *International Journal of Social Research Methodology* **8**(1), 19–32.

URL: <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>

Bartelt, P., Christen, M. and Wittwer, S. (2000), Program Haefeli - Two-dimensional numerical simulation of the creeping deformation and temperature distribution in a phase changing snowpack, in ‘Snow Engineering Recent Advances and Developments’, Routledge. Num Pages: 10.

Becker, M. A., Muthanna, T. and Braskerud, B. C. (2016), ‘Trinn 1: Reduser overvannet i avløpsnettene ved å frakoble taknedløp’, *Vann* **4**(4), 359–369.

Bell, C. (2018), JSON Documents, in C. Bell, ed., ‘Introducing the MySQL 8 Document Store’, Apress, Berkeley, CA, pp. 73–133.

URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2725-1_3

Borrebæk, P.-O. A., Jelle, B. P. and Zhang, Z. (2019), ‘Avoiding snow and ice accretion on building integrated photovoltaics – challenges, strategies, and opportunities’, *Solar Energy Materials and Solar Cells* p. 110306.

URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024819306348>

Breuning, J. (2013), ‘Green Roofs: Fixer-Upper or Lawsuit? Sloped Extensive Green Roofs. Green roof technology’.

URL: http://www.greenrooftechnology.com/Modern%20Technology/Benefits/green_roofs_fixer_upper_or_lawsuit

Buska, J. and Tobiasson, W. (2001), Minimizing the adverse effects of snow and ice on roofs, Vol. 2, Institute for Research in Construction, Ottawa, Ottawa, Canada, pp. 339–346.

Byggforskserien 525.002 (2018), ‘525.002 Takformer, taktyper og oppbygning - Byggforskserien SINTEF Community’.

URL: https://www.byggforsk.no/dokument/381/takformer_taktyper_og_oppbygning

Byggforskserien 525.207 (2018), ‘525.207 Kompakte tak - Byggforskserien SINTEF Community’.

URL: https://www.byggforsk.no/dokument/387/kompakte_tak

Byggforskserien 525.921 (2017), ‘525.921 Takrenner og nedløp - Byggforskserien SINTEF Community’.

URL: https://www.byggforsk.no/dokument/411/takrenner_og_nedloep

Byggforskserien 725.118 (2012), ‘725.118 Skader i kompakte tak. Årsaker og utbedring - Byggforskserien SINTEF Community’.

URL: https://www.byggforsk.no/dokument/687/skader_i_kompakte_tak_aarsaker_og_utbedring

Chen, Y., Zhou, H., Zhang, H., Du, G. and Zhou, J. (2015), ‘Urban flood risk warning under rapid urbanization’, *Environmental Research* **139**, 3–10.

URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935115000626>

DiBK (2017), ‘Byggteknisk Forskrift, §13-12’.

URL: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/13/vi/13-12/>

Dolhon, A. M. and Ratakonda, R. (2011), Snow Removal Strategies of Lightweight, Flat Roof Structures.

URL: <https://trid.trb.org/view/1109796>

Gilpin, R. (1981), ‘Modes of ice formation and flow blockage that occur while filling a cold pipe’, *Cold Regions Science and Technology* **5**(2), 163–171.

URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0165232X81900513>

Grynning, S., Gaarder, J. E. and Lohne, J. (2017), ‘Climate Adaptation of School Buildings through MOM – A Case Study’, *Procedia Engineering* **196**, 864–871.

URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817331387>

Hagentoft, C.-E. (2001), *Introduction to Building Physics*, 10 edn, Studentlitteratur, Gothenburg, Sweden.

Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J. E. , Sandven, S., Sandø, A. B., Sorteberg, A. and Ådlandsvik, B. (2015), Klima i Norge 2100 - Miljødirektoratet, Oppdragsrapport M-406, Norsk klimaservicesenter.

URL: <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2015/september-2015/klima-i-norge-2100/>

Heilig, A., Mitterer, C., Schmid, L., Wever, N., Schweizer, J., Marshall, H.-P. and Eisen, O. (2015), ‘Seasonal and diurnal cycles of liquid water in snow—Measurements and modeling’, *Journal of Geophysical Research: Earth Surface* **120**(10), 2139–2154. eprint: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/2015JF003593>.

URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2015JF003593>

- Hoover, S. R. (1989), ‘Roof ponding and how to prevent it. The Peril behind the Parapet’, *Construction Specifier* **42**(11), 76–82.
- Knight, C. A. (1980), ‘Icicles as crystallization phenomena’, *Journal of Crystal Growth* **49**(1), 193–198.
URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022024880900822>
- Lisø, K. R. (2006), Building Envelope Performance Assessments in Harsh Climates: Methods for Geographically Dependent Design, Doctoral thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway. Accepted: 2014-12-19T11:26:03Z.
URL: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/231348>
- Lisø, K. R., Kvande, T. and Time, B. (2017), ‘Climate Adaptation Framework for Moisture-resilient Buildings in Norway’, *Energy Procedia* **132**, 628–633.
URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217348452>
- Lovdata (2017), ‘Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift) - Lovdata’.
URL: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840>
- Lstiburek, J. (2006), ‘Understanding Attic Ventilation’, *ASHRAE Journal; New York* **48**(4), 36–38,40,42–45.
URL: <https://search.proquest.com/docview/220461788/abstract/1FDDDC5841240DOPQ/1>
- Lstiburek, J. W. (2009), ‘Building in Extreme Cold’, *ASHRAE Journal; New York* **51**(2), 56–59.
URL: <https://search.proquest.com/docview/220458516/abstract/80C9EFAE8F774412PQ/1>
- Lstiburek, J. W. (2010), ‘Dam Ice Dam’, *ASHRAE Journal; New York* **52**(6), 49–50,52,54,56.
URL: <https://search.proquest.com/docview/507894029/abstract/42CE2BBEC60D4E42PQ/1>
- Lørenskog, Rælingen og Skedsmo kommune (2017), ‘Retningslinjer for overvannshåndtering for kommunene Lørenskog, Rælingen og Skedsmo’.
URL: https://www.lorenskog.kommune.no/_f/p11/i3cc789c6-8622-40f4-a418-285ecc76b136/retningslinjer-overvannshandtering.pdf
- Mackinlay, I., Flood, R. and Heidrich, A. (2000), Roof design in regions of snow and cold, in ‘Snow Engineering 2000: Recent Advances and Developments’, pp. 213–224.
- Meløysund, V., Leira, B., Høiset, K. V. and Lisø, K. R. (2007), ‘Predicting snow density using meteorological data’, *Meteorological Applications* **14**(4), 413–423. eprint: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/met.40>
URL: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/met.40>

Meteorologisk Institutt (n.d.a), ‘Frost API’.

URL: <https://frost.met.no/dataclarifications.html>

Meteorologisk Institutt (n.d.b), ‘Norsk Klimaservicesenter’.

URL: <https://seklima.met.no/stations/>

Meteorologisk Institutt (n.d.c), ‘Værstasjoner i norske kommuner - veiledning for kommuner som ønsker å samarbeide med Meteorologisk institutt om datalagring, varsling- og klimaprodukter.’.

Meteorologisk Institutt (n.d.d), ‘Weather and Climate Elements’.

URL: <https://frost.met.no/elementtable>

Nielsen, A. (2005), ‘Istappar på tak – se opp!’, *Bygg & teknik* **4**, 40–42.

URL: <http://www.ankernielsen.dk/faglig/pdf/Istappar.pdf>

Nielsen, A. (2019), Sensitivity Analysis of Melting and Freezing of Snow on Roofs, in D. Johansson, H. Bagge and Wahlström, eds, ‘Cold Climate HVAC 2018’, Springer Proceedings in Energy, Springer International Publishing, Cham, pp. 1019–1029.

Nielsen, A. and Claesson, J. (2011), Melting of snow on a roof: Mathematical report, Technical report, Chalmers tekniska högskola. Publisher: Chalmers tekniska högskola.

URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/60456362.pdf>

Oslo Kommune (2017), ‘VA-Norm, Avsnitt 7.0’.

URL: <https://www.va-norm.no/dokument/7-transportssystem-overvann/7-0-generelle-bestemmelser/>

Peel, M. C., Finlayson, B. L. and McMahon, T. A. (2007), ‘Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification’, *Hydrology and Earth System Sciences* **11**(5), 1633–1644. Number: 5 Publisher: Copernicus GmbH.

URL: <https://hess.copernicus.org/articles/11/1633/2007/>

Piroglu, F. and Ozakgul, K. (2016), ‘Partial collapses experienced for a steel space truss roof structure induced by ice ponds’, *Engineering Failure Analysis* **60**, 155–165.

URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630715301588>

RIF (2021), State of the Nation - Norges tilstand 2021, Technical report, Rådgivende Ingeniørers Forening, Oslo, Norge.

URL: https://rif.no/wp-content/uploads/2021/05/210518_State-of-the-Nation-2021.pdf

Ringerike Kommune (2018), ‘Retningslinjer for overvannshåndtering i Ringerike kommune’.

URL: <https://www.ringerike.kommune.no/globalassets/bilder-blokker-og-filarkiv/bilder-og-dokumenter/samfunn/teknisk-forvaltning/retningslinjer-overvann-ringerike.pdf>

- Schneebeli, M. and Sokratov, S. (2004), 'Tomography of temperature gradient metamorphism of snow and associated changes in heat conductivity', *Hydrological Processes* **18**(18), 3655–3665.
- Schneider, W. (1980), 'Transient solidification of a flowing liquid at a heat conducting wall', *International Journal of Heat and Mass Transfer* **23**(10), 1377–1383.
URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0017931080902124>
- Semadeni-Davies, A., Hernebring, C., Svensson, G. and Gustafsson, L.-G. (2008), 'The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Combined sewer system', *Journal of Hydrology* **350**(1), 100–113.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169407002910>
- Skagseth, V. and Bunkholt, N. S. (2019), 'Kompakte tak med utvendig nedløp. Klima 2050 Note 85. Trondheim 2019'.
- Stenstad, V. (2014), 'Krav til byggverk og kommunens rolle'. Archive Location: World Last Modified: 2014-05-02T12:00+00:00 Publisher: Direktoratet for byggkvalitet.
URL: <https://dibk.no/om-oss/Nyhetsarkiv/Fagartikkel-om-krav-til-byggverk-og-kommunens-rolle>
- Store norske leksikon (2019), 'kystklima'.
URL: <http://snl.no/kystklima>
- Stovin, V., Vesuviano, G. and Kasmin, H. (2012), 'The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions', *Journal of Hydrology* **414-415**, 148–161.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169411007347>
- Sturm, M., Holmgren, J., König, M. and Morris, K. (1997), 'The thermal conductivity of seasonal snow', *Journal of Glaciology* **43**(143), 26–41.
- Thodesen, B., Kvande, T., Tajet, H. T. T., Time, B. and Lohne, J. (2018), 'Adapting Green-Blue Roofs to Nordic Climate', *Nordisk arkitekturforskning* **30**(2). Accepted: 2018-10-17T12:45:32Z Publisher: SINTEF akademisk forlag.
URL: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlii/handle/11250/2568506>
- Tobiasson, W., Buska, J. and Greatorex, A. (1994), 'Ventilating attics to minimize icings at eaves', *Energy and Buildings* **21**(3), 229–234.
URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378778894900388>
- Tobiasson, W., Buska, J. and Greatorex, A. (1998), 'Attic ventilation guidelines to minimize icings at eaves', *Interface (Raleigh, North Carolina)* **16**(1), 17–18, 21.
- Vegdirektoratet (2015), 'Håndbok R613 Værstasjoner', p. 41.
URL: https://www.vegvesen.no/_attachment/69919/binary/1124382

Vigoureux, D. and Vigoureux, J.-M. (2018), ‘How can freezing water burst pipes and containers?’, *European Journal of Physics* **39**(4).

Zhou, X., Zhang, Y. and Gu, M. (2018), ‘Coupling a snowmelt model with a snowdrift model for the study of snow distribution on roofs’, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* **182**, 235–251.

URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167610518305038>

Åstrand, Y. (2010), ‘Rekordmånga samtal till istappsjouren. SVT Nyheter’.

URL: <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/stockholm/rekordmanga-samtal-till-istappsjouren>

A Kode fra python

I dette kapitlet presenteres koden som ble benyttet for å hente ned værdata fra met.no via Frost API, kompilere de forskjellige filene og forberede csv-filene til analyse.

A.1 Hente værdata fra met.no via Frost API

Listing 1: Python-kode som henter data fra met.no. Filnavn: getdata.py

```
1 import requests
2 import pandas as pd
3 import csv
4 import sys
5
6
7 client_id = '# sett inn Client-ID fra met.no her '
8 station = input('Enter station: ')
9 start_date = input('Enter start date: ')
10 end_date = input('Enter end date: ')
11 filenumber = input('Enter filenumber: ')
12
13 endpoint = 'https://frost.met.no/observations/v0.jsonld '
14 parameters = {
15     'sources': station ,
16     'elements': 'min(air_temperature PT1H), surface_snow_thickness ',
17     'referencetime': start_date + '/' + end_date + 'T23:01 '
18 }
19
20 r = requests.get(endpoint , parameters , auth=(client_id , ''))
21 json = r.json()
22
23 if r.status_code != 200:
24     print('Error! Returned status code %s' % r.status_code)
25     print('Message: %s' % json['error']['message'])
26     print('Reason: %s' % json['error']['reason'])
27     sys.exit(1)
28
29 data = json['data']
30 print('Data retrieved from frost.met.no!')
```

```
31
32
33 with open('testtemp.csv', 'w') as new_file:
34     for line in data:
35         for i in line["observations"]:
36
37             try:
38                 if str(i["level"]["value"]) != '10':
39                     new_file.write(line["referenceTime"] + ', ' +
40                                     i["elementId"] + ', ' +
41                                     str(i["value"]) + ', ' +
42                                     i["timeOffset"] + ', ' +
43                                     str(i["level"]["value"]) + "\n")
44             except KeyError:
45                 #if i["timeOffset"] != "PT6H":
46                     new_file.write(line["referenceTime"] + ', ' +
47                                     i["elementId"] + ', ' +
48                                     str(i["value"]) + ', ' +
49                                     i["timeOffset"] + "\n")
50
51 new_file.close()
52 last_row = ["time", "element"]
53 with open('testtemp.csv', 'r') as read_file:
54     csv_reader = csv.reader(read_file, delimiter=',')
55     with open(station + '.' + filename + '.csv', 'w') as write_file:
56         for row in csv_reader:
57             if str(row[0]) == str(last_row[0]):
58                 if str(row[1]) != str(last_row[1]):
59                     write_file.write(row[0] + ', ' +
60                                       last_row[2] + ', ' +
61                                       row[2] + '\n')
62                     last_row = row
63             else:
64                 last_row = row
65
66 read_file.close()
67 write_file.close()
68
69 sys.exit(0)
```

Listing 2: Python-kode som setter sammen csv-filer fra samme stasjon til en. Filnavn: compilefile.py

```
1 import requests
2 import pandas as pd
3 import csv
4 import sys
5
6 main_file = input('Station code: ')
7 n = int(input('How many files to compile: '))
8 with open(main_file + '.csv', 'w') as endfile:
9     for i in range(1, n + 1):
10         read_file = main_file + '.' + str(i) + '.csv'
11         with open(read_file, 'r') as tempfile:
12             csv_reader = csv.reader(tempfile, delimiter=',')
13             for row in csv_reader:
14                 endfile.write(row[0] + ' ' +
15                               row[1] + ' ' +
16                               row[2] + '\n')
17         tempfile.close()
18 endfile.close()
19 sys.exit(0)
```

Listing 3: Python-kode som fjerner feilmålinger og setter -1 til 0. Filnavn: clean.py

```
1 import pandas as pd
2 import csv
3 import sys
4
5 with open('result.csv', 'w') as resultat:
6     with open('sta.csv', 'r') as stasjon:
7         reader = csv.reader(stasjon)
8         for line in reader:
9             with open(line[0] + '.csv', 'r') as file:
10                with open('R' + line[0] + '.csv', 'w') as new_file:
11                    csv_reader = csv.reader(file, delimiter=' ')
12                    remove = 0
13                    for row in csv_reader:
14                        if float(row[2]) < -1:
15                            remove = remove + 1
16                        else:
17                            if float(row[2]) < 0:
18                                row[2] = 0
19                                new_file.write(row[0] + ' ' +
20                                    str(row[1]) + ' ' +
21                                    str(row[2]) + '\n')
22                    resultat.write(line[0] + '\t' +
23                        str(remove) + '\n')
24                    new_file.close()
25                file.close()
26        stasjon.close()
27 resultat.close()
28 sys.exit(0)
```

B Kode fra C++

I dette kapitlet presenteres koden som ble benyttet til å analysere værdata som ble hentet fra met.no.

B.1 .h-filer

Listing 4: code.h

```
1 #pragma once
2 #include <iostream>
3 class Sample
4 {
5 public:
6     std::string time;
7     std::string temp;
8     std::string snow;
9     double get_temp();
10    double get_snow();
11    std::string get_time();
12 };
13
14 void read(char *, std::vector<Sample> &samples);
15 void analyzeData(std::vector<Sample> &samples);
16 void checkData(std::vector<Sample> &samples);
17 std::string get_year(std::string input);
18 std::string get_month(std::string input);
19 void reformat(Sample &sample);
```

B.2 .cpp-filer

Listing 5: main.cpp

```
1 #include <vector>
2 #include "code.h"
3
4 int main(int argc, char *argv[])
5 {
6     (void) argc;
7     std::vector<Sample> samples;
8     read(argv[1], samples);
9     checkData(samples);
10    analyzeData(samples);
11 }
```

Listing 6: code.cpp

```
1 #include <iostream>
2 #include <fstream>
3 #include <sstream>
4 #include <vector>
5 #include <iterator>
6 #include "code.h"
7
8 double Sample::get_temp()
9 {
10     return stod(this->temp);
11 }
12 double Sample::get_snow()
13 {
14     return stod(this->snow);
15 }
16
17 std::string Sample::get_time()
18 {
19     return this->time;
20 }
21
22 void read(char *filename, std::vector<Sample> &samples)
23 {
24     std::fstream newfile;
25     newfile.open(filename);
26     if (!newfile.is_open())
27     {
28         std::cerr << "Could not open file\n";
29         return;
30     }
31
32     std::string line;
33     while (std::getline(newfile, line))
34     {
35         std::istringstream ss(line);
36         std::istream_iterator<std::string> begin(ss), end;
37         std::vector<std::string> words(begin, end);
38
```

```
39     int n = words.size() - 1;
40     Sample s{words[0], words[1], words[2]};
41     for (int i = 0; i < n; i++)
42         s.time += ", " + words[i + 1];
43     samples.push_back(s);
44 }
45 newfile.close();
46 }
47
48 enum State
49 {
50     SQ_R,
51     SQ_RF,
52     SQ_GF2,
53     SQ_RS,
54     SQ_O,
55     SQ_GF1,
56     SQ_GS2,
57     SQ_GS1,
58     SQ_G
59 };
60 static double snowMeltLow(double T_e)
61 {
62     double lambda_s = 0.06;
63     double U_r = 0.13;
64     double T_i = 22;
65     double Dml = -100 * (lambda_s * T_e) / (U_r * T_i);
66     return Dml;
67 }
68
69 static double snowMeltHigh(double T_e)
70 {
71     double lambda_s = 0.18;
72     double U_r = 0.13;
73     double T_i = 22;
74     double Dmh = -100 * (lambda_s * T_e) / (U_r * T_i);
75     return Dmh;
76 }
77 State getState(double temp, double snowDepth)
```

```
78 {
79     if (temp <= -5.6)
80     {
81         if (snowDepth >= snowMeltHigh(temp))
82         {
83             return SQ_R;
84         }
85         if (snowDepth >= snowMeltLow(temp))
86         {
87             return SQ_RF;
88         }
89         else
90         {
91             return SQ_GF2;
92         }
93     }
94     if (temp >= 0)
95     {
96         if (snowDepth == 0)
97         {
98             return SQ_G;
99         }
100        else
101        {
102            return SQ_GS2;
103        }
104    }
105    else
106    {
107        if (snowDepth >= snowMeltHigh(temp))
108        {
109            return SQ_RS;
110        }
111        if (snowDepth <= snowMeltLow(temp))
112        {
113            return SQ_GF1;
114        }
115        else
116        {
```

```
117         return SQ_O;
118     }
119 }
120 }
121
122 void analyzeData(std::vector<Sample> &samples)
123 {
124
125     int sq_r = 0;
126     int sq_rf = 0;
127     int sq_gf2 = 0;
128     int sq_rs = 0;
129     int sq_o = 0;
130     int sq_gf1 = 0;
131     int sq_gs2 = 0;
132     int sq_gs1 = 0;
133     int sq_g = 0;
134     for (size_t i = 0; i < samples.size(); i++)
135     {
136         switch (getState(samples.at(i).get_temp(),
137                         samples.at(i).get_snow()))
138         {
139
140             case SQ_R:
141                 sq_r++;
142                 break;
143             case SQ_RF:
144                 sq_rf++;
145                 break;
146             case SQ_GF2:
147                 sq_gf2++;
148                 break;
149             case SQ_RS:
150                 sq_rs++;
151                 break;
152             case SQ_O:
153                 sq_o++;
154                 break;
155             case SQ_GF1:
```



```
156         sq_gf1++;
157         break;
158     case SQ_GS2:
159         sq_gs2++;
160         break;
161     case SQ_GS1:
162         sq_gs1++;
163         break;
164     case SQ_G:
165         sq_g++;
166         break;
167     default:
168         break;
169 }
170 }
171 std::cout << "Result in numbers: " << '\n'
172         << sq_r << "\t" << sq_rs << "\t" << sq_gs2 << "\n"
173         << sq_rf << "\t" << sq_o << "\t" << sq_gs1 << "\n"
174         << sq_gf2 << "\t" << sq_gf1 << "\t" << sq_g << "\n"
175         << "\n";
176
177 int all = sq_r + sq_rs + sq_gs2 + sq_rf
178         + sq_o + sq_gs1 + sq_gf2 + sq_gf1 + sq_g;
179 double dsq_r = (double)sq_r * 100 / all;
180 double dsq_rs = (double)sq_rs * 100 / all;
181 double dsq_gs2 = (double)sq_gs2 * 100 / all;
182 double dsq_rf = (double)sq_rf * 100 / all;
183 double dsq_o = (double)sq_o * 100 / all;
184 double dsq_gs1 = (double)sq_gs1 * 100 / all;
185 double dsq_gf2 = (double)sq_gf2 * 100 / all;
186 double dsq_gf1 = (double)sq_gf1 * 100 / all;
187 double dsq_g = (double)sq_g * 100 / all;
188 double vpro = dsq_r + dsq_rs * 0.3 + dsq_rf * 0.5 + dsq_o * 0.15;
189 std::cout << "Result in percent: " << '\n'
190         << dsq_r << "\t" << dsq_rs << "\t" << dsq_gs2 << "\n"
191         << dsq_rf << "\t" << dsq_o << "\t" << dsq_gs1 << "\n"
192         << dsq_gf2 << "\t" << dsq_gf1 << "\t" << dsq_g << "\n"
193         << "\n";
194 std::cout << "Risiko = " << vpro << '\n';
```

```
195 }
196
197 std::string get_year(std::string input)
198 {
199     std::string year = input.substr(0, 4);
200     return year;
201 }
202
203 std::string get_month(std::string input)
204 {
205     std::string month = input.substr(5, 7);
206     return month;
207 }
208
209 enum Quarter
210 {
211     q1,
212     q2,
213     q3,
214     q4,
215 };
216
217 Quarter get_quarter(std::string monthnumber)
218 {
219     int month = stoi(monthnumber);
220     if (month <= 3)
221     {
222         return q1;
223     }
224     if (month > 3 && month <= 6)
225     {
226         return q2;
227     }
228     if (month > 6 && month <= 9)
229     {
230         return q3;
231     }
232     else
233     {
```

```
234     return q4;
235 }
236 }
237
238 void checkData(std::vector<Sample> &samples)
239 {
240     std::vector<double> listQ1;
241     std::vector<double> listQ4;
242     std::cout << "Year:" << '\t'
243               << "Total:" << '\t'
244               << "Q1" << '\t'
245               << "Q2" << '\t'
246               << "Q3" << '\t'
247               << "Q4" << '\t' << '\t'
248               << "%Total" << '\t'
249               << "%Q1" << '\t'
250               << "%Q2" << '\t'
251               << "%Q3" << '\t'
252               << "%Q4" << '\n';
253     for (int j = 1996; j < 2022; j++)
254     {
255         int counter = 0;
256         int counterQ1 = 0;
257         int counterQ2 = 0;
258         int counterQ3 = 0;
259         int counterQ4 = 0;
260         for (size_t i = 0; i < samples.size(); i++)
261         {
262             int year = stoi(get_year(samples.at(i).get_time()));
263             if (year == j)
264             {
265                 counter++;
266                 int quarter =
267                     get_quarter(get_month(samples.at(i).get_time()));
268                 switch (quarter)
269                 {
270                     case q1:
271                         counterQ1++;
272                     break;
```

```
273         case q2:
274             counterQ2++;
275             break;
276         case q3:
277             counterQ3++;
278             break;
279         case q4:
280             counterQ4++;
281             break;
282         default:
283             break;
284     }
285 }
286 }
287 double devQ1 = 2160;
288 double devQ2 = 2184;
289 double devQ3 = 2208;
290 double devQ4 = devQ3;
291 if (j % 4 == 0)
292 {
293     devQ1 = devQ2;
294 }
295 double devT = devQ1 + devQ2 + devQ3 + devQ4;
296 double pTot = (double)counter / devT;
297 double pQ1 = (double)counterQ1 / devQ1;
298 double pQ2 = (double)counterQ2 / devQ2;
299 double pQ3 = (double)counterQ3 / devQ3;
300 double pQ4 = (double)counterQ4 / devQ4;
301 listQ1.push_back(pQ1);
302 listQ4.push_back(pQ4);
303 if (counter != 0)
304 {
305     std::cout.precision(4);
306     std::cout << j << '\t'
307         << counter << '\t'
308         << counterQ1 << '\t'
309         << counterQ2 << '\t'
310         << counterQ3 << '\t'
311         << counterQ4 << '\t' << '\t'
```

```
312         << pTot * 100 << '\\t'
313         << pQ1 * 100 << '\\t'
314         << pQ2 * 100 << '\\t'
315         << pQ3 * 100 << '\\t'
316         << pQ4 * 100 << '\\n';
317     }
318 }
319 double tpQ1 = 0;
320 double tpQ4 = 0;
321 for (int i = 0; i < (int)listQ1.size(); i++)
322 {
323     tpQ4 += listQ4[i];
324 }
325 for (int i = 0; i < (int)listQ4.size(); i++)
326 {
327     tpQ1 += listQ1[i];
328 }
329 std::cout << '\\n'
330         << "Datasikkerhet = " << (tpQ1 + tpQ4) / 2 << '\\n'
331         << '\\n';
332 listQ1.clear();
333 listQ4.clear();
334 }
```

