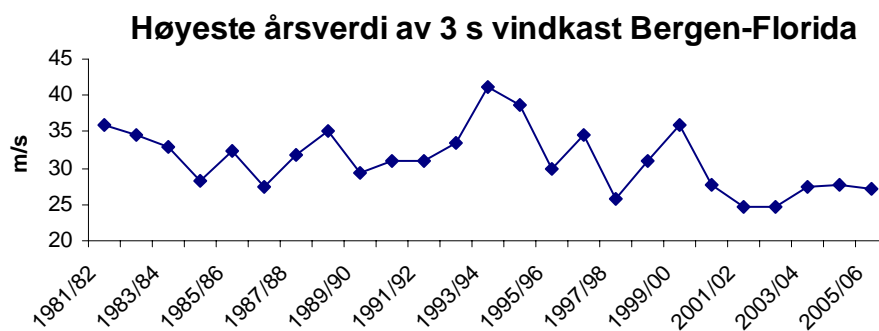
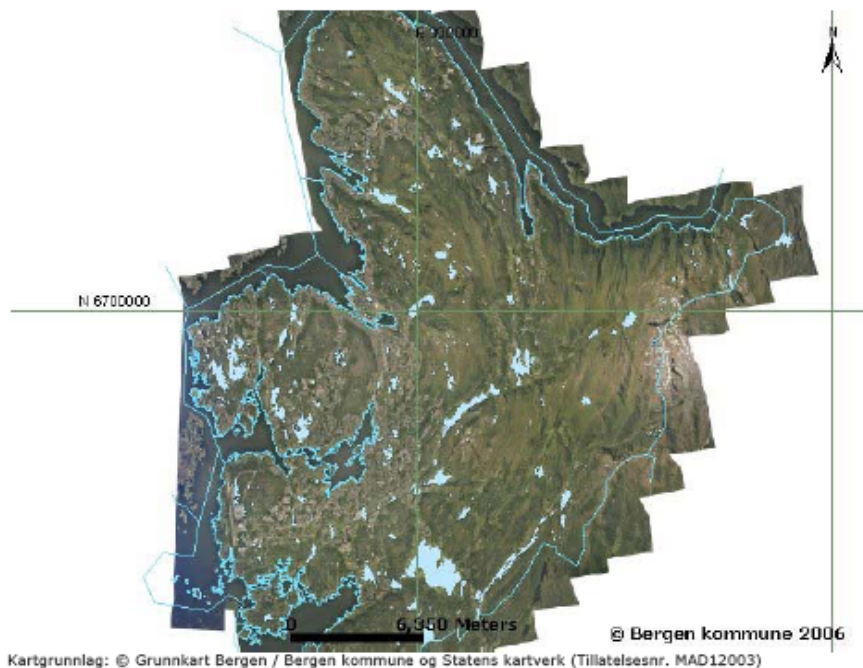




Kartlegging av ekstreme vindforhold i Bergen kommune

Knut Harstveit



Title Kartlegging av ekstreme vindforhold i Bergen	Date 23.05.2006
Section Klima	Report no. No. 03/06
Author(s) Knut Harstveit	Classification <input checked="" type="checkbox"/> Free <input type="checkbox"/> Restricted
	ISSN 1503-8025
	e-ISSN 1503
Client(s) met.no, Bergen kommune	Client's reference
<p>Abstract Målinger fra 4 stasjoner med langtidsdata (20-50 år) og 10 stasjoner med analyserte serier på 1 til 6 år koblet til langtidsdata er analysert. Gumbels metode er benyttet for langtidsdata. Dataene passer godt inn med det som kan forventes ved bruk av norsk standard for vindlaster, NS3491-4, når en effektiv ruhetslengde på 0.05 m er benyttet for fjordstrøkene og 0.3 m er benyttet for landområdene under skoggrensen.</p> <p>Det er laget et vindkart for 50-års verdier av 3 s vindkast i 10 m høyde over bakken, der referanseverdien er 40 m/s. Referanseverdien er beholdt i de fleste fjordstrøkene, samt de deler av kommunen der nærheten til fjordene eller bratte fjell medfører risiko for sterke vindkast. For noen få områder er denne risikoen spesielt stor, og disse sonene har fått 45 m/s som antatt 50-års verdi. I fjellstrøkene er det satt 45 m/s som typisk verdi over tregrensen, mens 50 m/s er benyttet i de høyeste delene. På særlig utsatte topper, for eksempel Ulriken, er 60 m/s anbefalt.</p> <p>For eksponerte steder på toppen av en bakketopp, er det anbefalt å øke verdien med 5 m/s, mens en tilsvarende skjerming kan gjøres i områder som er skjermet for alle dominerende vindretninger.</p>	
<p>Keywords Ekstremvindkart, 50-års vindkast, Gumbel, vindmålinger, vindstandard</p>	

<p>Disiplinary signature</p> <p>Eirik Førland</p> <hr/>	<p>Responsible signature</p> <p>Cecilie Mauritzen</p> <hr/>
------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------

INNHOLDSFORTEGNELSE

Sammendrag	6
1. Innledning	9
2. Datagrunnlag og metodikk	9
2.1 Norsk Standard for vindlaster, NS3491-4	9
2.1.1 Historikk.....	9
2.1.2 Beskrivelse av vinddelen i NS3491-4	9
2.2 Data fra vindstasjoner.....	13
2.2.1 Datafangst.....	13
2.2.2 Analyse av langtidsdata.....	16
2.2.3 Analyse av data fra kortere tidsserier	18
2.2.4 Samlet oversikt over beregnede ekstremverdier	20
3. Resultater	21
3.1 Sammenligning av data fra de analyserte vindstasjonene og NS3491-4	21
3.2 Vindkartlegging.....	23
3.2.1 Praktisk bruk av NS3491-4	23
3.2.2 Ruhetsbetraktninger i Bergen kommune.....	23
3.2.3 Vindkart.....	24
4. Trender og scenarier	26
5. Referanseliste	28
Appendiks	29
Appendiks 1 Beskrivelse av målesteder	29
Appendiks 2. Ekstremvindanalyse av langtidsserier.....	38
Appendiks 3 Ekstremvindberegninger av kortere vindserier ved hjelp av referansestasjon	48

Sammendrag

Det er analysert vindmålinger fra fire stasjoner med selvstendige langtidsdata med serier på 20 år eller mer, det er Florida, Flesland, Hellisøy fyr og Slåtterøy fyr. Det er dessuten analysert data fra kortere perioder, 1 til 6 år fra Fredriksberg, Skjold, Hanøytangen og målesteder ved Askøybrua, Salhusbrua og Kvisti bru samt fjellstasjoner på Ulriken og Rundemanen.

Ifølge Norsk standard for vindlaster er referansevinden for Bergen kommune satt til 26 m/s. Med referansevind menes 50-års verdien av 10 min middelvind i 10 m høyde på en stor flat og jevn overflate uten skog eller hus, en såkalt "flyplassflate". Med 50-års verdi menes den verdi som i gjennomsnitt blir overskredet en gang hvert 50. år. Det tilhørende maksimale vindkastet med 50-års returperiode er 40 m/s.

For å få vinden på det aktuelle bruksstedet (stedsvind) må det brukes omregningsfaktorer. Omregning til andre overflatetyper kan gjøres ved en koeffisient for å få aktuell vindhastighet på stedet. Denne koeffisienten er >1 for havflater og <1 for småhus, skog og bybebyggelse. Det er vist at når man tar hensyn til målehøyde og terrenget i omegnen rundt målestedene, så passer resultatene fra disse godt inn med en referansevind i Bergen kommune på 26 m/s med tilhørende vindkast på 40 m/s. Dette gjelder også fyrstasjonene der referanseverdiene ligger omkring 29 m/s.

Målinger fra brustedene (Salhusbrua og Askøybrua) viser at 50-års vinden i de større fjordene ved Bergen er nær 26 m/s, det vil si omtrent som referansevinden. Dette er et viktig resultat som er i overensstemmelse med målinger andre steder, for eksempel Trekantsambandet, og skyldes at innvirkning fra fjell og skogsterreng øker ruheten i forhold til en fri vannflate.

Ved overgang til småhusbebyggelse med skogholt og lignende, dvs. områder typisk for lavlandet i Bergen kommune, kan det antas at ruhetlengden er 0.3 m. Stedvindhastigheten kan da endres til 20 m/s med kast på 35 m/s, men dette er bare gyldig i områder som ikke er influert av vindkast fra nærliggende bratt terreng eller områder nær fjordstrøkene.

Dersom stedet som betraktes ikke ligger på et flatt område kan det legges til topografiskoeffisienter. På en bakketopp vil det alltid være større risiko for sterk vind, men nede på et mer forsenkningsmessig sted, vil det være skjerming. Det er likevel vanskelig å utføre en god analyse av koeffisientene i praksis, fordi det virkelige terrenget ofte avviker en del fra idealiserte terrengformasjoner. Som en forenkling kan det anbefales at for alle tydelige bakketopper, eller steder nær brattkanten av en li, økes stedsverdien med 5 m/s. En tilsvarende reduksjon på grunn av skjerming kan gjøres i forsenkninger. Sistnevnte må gjøres etter en nøye analyse, fordi skjermingen må gjelde alle viktige vindretninger.

Dersom betraktningstedet ligger i nærheten av bratte fjellsider, kan det være en økt risiko for sterke vindkast når vinden blåser over disse fjellene. Det er vist at Kvistein ved Kvisti bru har 10% vindkastforsterkning som følge av dette. En slik forsterkning må da kunne påventes flere steder nær bratt terreng i kommunen.

Dersom fjellet har en ugunstig form slik at vinden lett kommer over og rundt, kan det dannes kraftige virvler på le-siden. På slike steder anbefales det 20 % vindkastforsterkning. Det samme gjelder ved meget bratte fjellsider. Det er ikke målinger fra slike steder i Bergen, men

erfaringer fra andre steder kan brukes, som for eksempel nyttårsorkanen i 1992 på Nordvestlandet.

For fjellvidder over skoggrensen kan en effektiv ruhetslengde på 0.01 m være et fornuftig anslag. Dette medfører at 50-års vinden øker til 31 m/s med kast på 43 m/s. Det noe ujevne terrenget i forhold til en plan flate gjør at stedsvinden settes til 30 m/s med kast på 45 i disse områdene.

Målinger på Rundemanen (560 moh.) og Ulriken (640 moh.) er analysert og har gitt beregnede 50-års verdier på 37/45 m/s (10 min middel/3 s vindkast på Rundemanen) og 48/63 m/s (Ulriken). Dette er steder som ligger på fjelltopper, Ulriken ligger på et særdeles eksponert sted.

Følgende 50-års verdier for 3 s vindkast kan da anbefales:

Grunnverdien i kommunen settes til 40 m/s. Denne verdien bør økes til 45 m/s over 300 moh., over 200 moh. for fjellene vest for Bergen sentrum og for fjellområdet i ytre del av Åsane. Ved 600 moh. økes denne til 50 m/s. For alle tydelige topper i terrenget, eller steder nær brattkanten av en li, økes verdien med 5 m/s ifølge referanseverdien. For helt spesielle topper benyttes 60 m/s, men dette tallet benyttes kun helt oppe på toppen (Ulriken, Løvestakken, enkelte av de høyeste toppene på Gullfjellet).

Grunnverdien beholdes i fjordområdene (Salhusfjorden, Byfjorden, fjordområdet mellom Bergen og Sotra). Det kan antas at fjordverdiene er gyldige ca. 2 km innover en ruere landflate i fjordbunnen og ca. 500 m til hver side av fjordbredden. Vind fra Korsfjorden er sterk og gir vindkast på 45 m/s i ytre Fanafjorden inkludert områdene sør for Milde, vestre og sørlige Korsneset, holmer og nes sør for Krokeide. Ytre del av Sørfjorden er mer skjermet av landområdene, og risikoen for sterke vindkast er moderat. Mellom Ytre Arna og Steinestø settes derfor 50-års vindkast til 35 m/s.

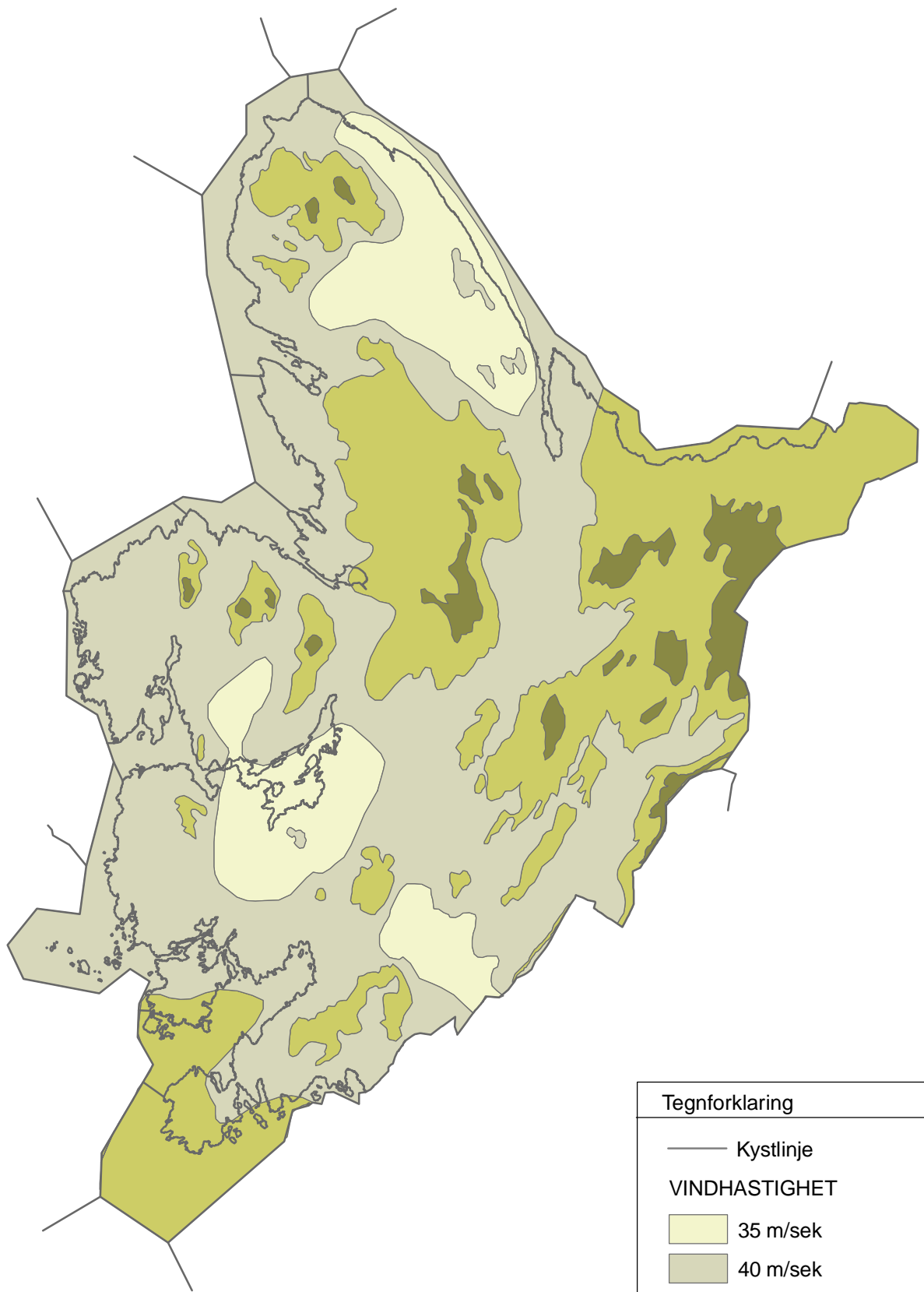
På flatområdene i Åsane (innenfor en trekant begrenset av Ulset – Ytre Arna – Steinestø), Fana (innenfor Sædal – Paradis – Straume – Birkeland) samt ytre Samdalen, og deler av Fyllingsdalen (Varden – Fyllingsdalen krk) kan det generelt benyttes 35 m/s.

Bergensdalen fra sentrum til Paradis beholder vindkast-verdier på 40 m/s. Her vil lokalterrenget egentlig tilsi lavere hastighet en del steder, men mulighet for kast fra de bratte fjellene gjør at det ikke anbefales lavere verdier enn 40 m/s. Dette gjelder også steder i dalføret mellom Nesttun og Arna og deler av Samdalen, nordre Fyllingsdalen over Melkeplassen, området mellom Damsgårdsfjellet og Lyderhorn og området vest for Lyderhorn.

En del områder får 45 m/s fordi effekten av vindkast fra bratt terreng er ekstra stor. Dette gjelder Jordalen, Svartediket med forgrening utover Store Lungegårdsvann og området mellom Landås og Mannsverk. Jordalen vil få effektene ved høydevind fra sør til nordvest, Svartediket – Fløen ved østlig vind og Landåsområdet ved sørøstlig høydevind. Sørfjorden mellom Tunes og Trengereid kan få kast på 45 m/s ved høydevind mellom øst og sørvest.

Det er ikke påvist noen endring i ekstremvindforholdene i Bergen i perioden 1957-05, og det er heller ikke ventet endring av betydning i årene framover.

Ekstremvindkartet viser de ulike vindsonene. For overgang fra 50-års vind til returperioder på 2, 10 og 100 år anbefales omregningskoeffisienter på 0.78, 0.90 og 1.04.



Kart over 50-års verdien av 3 sek vindkast for Bergen kommune, 10 m over bakken. Tydelige bakketopper innenfor sonene 35 og 40 m/s bør få et tillegg på 5 m/s.



Tegnforklaring

— Kystlinje

VINDHASTIGHET

35 m/sek

40 m/sek

45 m/sek

50 m/sek



BERGEN KOMMUNE
MILJØ OG BYUTVIKLING

1. Innledning

Høsten 2005 ble Bergen kommune rammet av to jordskred som ble utløst av ekstrem nedbør. Begge episodene medførte tap av liv og verdier. Selv om begge episodene ble godt varslet, illustrerte virkningene behovet for en kartlegging av ekstreme værhendelser i Bergen, og hvorledes disse kan forventes å fordele seg i kommunen. På denne bakgrunnen ble met.no bedt om å lage et kart over ekstremvindforholdene i kommunen.

2. Datagrunnlag og metodikk

2.1 Norsk Standard for vindlaster, NS3491-4

2.1.1 Historikk

I 1992 ble Nordvestlandet rammet av den mest ødeleggende og kraftigste stormen i forrige århundre. Det ble skrevet flere rapporter i etterkant av denne hendelsen, så som generell meteorologisk beskrivelse [1], klimatologisk beskrivelse [2], samt vindkartlegging i Møre og Romsdal [3] og Fræna kommune [4]. Etter et par sterke stormer i Nordland ble det også utført en ekstremvindkartlegging i Hadsel kommune [5]. Ved Klimaavdelingen ved met.no hadde man lenge vært klar over behovet for å kartlegge ekstremvinden i Norge. Et prosjekt med nødvendig digitalisering av episoder/årsmaksima av sterk vind fra ulike sektorer på våre vindstasjoner var derfor allerede i gang, og dette ble gitt større ressurser etter påtrykk fra Norges Byggstandardiseringsråd (NBR, nå Standard Norge).

Samtidig ble det arbeidet internasjonalt med en forbedring og standardisering av internasjonale vindlaster. I Norge ble en tilpasning til dette arbeidet ledet av NBR. Det ble satt ned en vindlastkomité som fikk i oppgave å revidere den gamle standarden, NS3479 [6]. Vinddelen i NS3479 var relativt lite utviklet. Det var angitt fire vindkurver, knyttet til vindutsatte kontra ikke-vindutsatte strøk, med og uten tettbebyggelse. Men det var ingen anvisning på hvilke områder som skulle regnes for vindutsatte, og topografiske effekter var lite beskrevet. Arbeidet med den nye standarden tok naturlig nok lang tid, og underveis ble NS3479 utvidet med tilleggsark for en del kystkommuner. I 2002 kom den offisielle nye norske standarden, NS3491-4 [7] ut. Bakgrunnen for topografibehandlingen i denne standarden er gitt i en egen rapport [8], mens bakgrunnen for vindlastene ute på havet er gitt i [9].

2.1.2 Beskrivelse av vinddelen i NS3491-4

50-års vind

Måleverdier fra en vindstasjon kan settes opp i dataserier og behandles ved statistiske metoder. Ekstremt sterk vind tilknyttes ofte såkalte returperioder, gjerne gitt som 2, 10, 50 og 100 år. En 50-års vindhastighet er da en vindhastighet som i en meget lang rekke vil bli overskredet i gjennomsnitt en gang hvert 50.år, eller sagt med andre ord, ha en årlig sannsynlighet, $p=1/50=0.02$. Ved større byggverk settes det krav om at byggverket skal tåle en 50-års vind, pluss ha en ekstra sikkerhetsmargin. Dersom bygningene skal ha lang eller

kort (byggeperiode) levetid er også 100 og 10-års vind benyttet. En måleserie bør dekke ca. 20 år eller mer for å gi grunnlag for beregning av 50-års verdier med god nøyaktighet. Kortere rekker kan kobles til en referansestasjon.

Referansevind

I NS3491-4 er det laget et nasjonalt vindkart over den såkalte referansevinden. Med referansevind menes 50-års verdien av 10 minutters middelvind, 10 m over et flatt og homogent terreng i åpent landskap i lavere strøk uten høy vegetasjon, et såkalt flyplasssterreng. Slikt terreng finnes bare få steder i Norge. Det er imidlertid måleserier på alle norske flyplasser. Sammen med målinger fra fyrstasjoner har dette gitt et godt utgangspunkt for å lage kartet over referansevind og tilordne en referansevindhastighet til alle norske kommuner. Generelt har den norske fjellrekken stor betydning for referansevinden. Lavtrykkene og de sterke vindfeltene har en tendens til å ligge ute i havet, og derfor faller referansevinden fra ca. 30 m/s ute på havet til 24 m/s på deler av indre Vestlandet og ned til 22 m/s på Østlandet. I Bergen er kommuneverdien satt til 26 m/s.

For å få tak i en vindverdi som skal gjelde i et spesielt punkt benyttes referanseverdien V_{REF} , samt en rekke koeffisienter:

$$V_S(z) = V_{REF} \cdot C_r(z) \cdot C_t(z) \cdot C_{RET} \cdot C_{\text{ÅRS}} \cdot C_{HOH} \cdot C_{SAN} \quad \text{lign. 1.}$$

Her er

V_{REF}
50 – års vind, dvs. den vindhastigheten som overskrides i gjennomsnitt én gang hvert 50.år på et stort, flatt område uten særlig innslag av høy vegetasjon (flyplassflate) i havnivå, 10 m over lokalt terreng og midlet over 10 minutter

$C_r(z)$
Overflatetypekoeffisient

$C_t(z)$
Topografikoeffisient

C_{RET}
Vindretningsreduksjonskoeffisient

$C_{\text{ÅRS}}$
Årstidsreduksjonskoeffisient

C_{HOH}
Koeffisient for høyde over havet

C_{SAN}
Omregning til andre returtider, for eksempel 10 og 100 år

C_r(z) – Overgangsfaktor til andre overflatetyper

Vindhastigheten på et sted avhenger ikke bare av styrken på bakgrunnsfeltet, men også i høy grad av beliggenheten. Dersom vi tenker oss et helt flatt underlag over flere ti-talls kilometer i alle retninger, vil vindhastigheten avhenge av underlagets beskaffenhet, den såkalte overflateruheten, z_0 . Over åpent hav er ruheten liten og vinden blir lite bremsset ved friksjon mot underlaget. I et landskap med kort gressvegetasjon, er ruheten større, følgelig også vindbremsingen. Ved overgang til småhusbebyggelse, vegetasjon med trær osv. øker ruheten ytterligere, og videre økning skjer i storbyer og i skogsområder.

I alle disse terrenntypene øker vinden med høyden, og WMO (World Meteorological Organization), som blant annet styrer internasjonal værvarsling, anbefaler at det skal måles i 10 m høyde over bakken. Unntakene fra dette er ofte nødvendig i by og skogsområder, der enkeltstående bygninger og trær hindrer vinden i 10 m høyde. Vindmåleren ved Værvarslinga på Vestlandet står derfor betydelig høyere, den er montert 41 m over bakken, mens måleren på Flesland er montert i den foreskrevne 10 m masten på et fritt sted nær rullebanen.

For å regne om til andre ruhetstyper benyttes formelen:

$$C_r(z) = k \ln \frac{z}{z_0} \quad \text{lign. 2}$$

der konstantsettene ($k; z_0$) er (0.16;0.003 m) for fritt hav, (0.17;0.01 m) for åpen sjø langs kysten og meget åpne vidder uten vegetasjon, (0.19;0.05 m) for åpne grassletter, flyplassområder o. l., (0.22;0.3 m) for småhusbebyggelse samt områder med trær, hekker, skogholt, og (0.24;1.0 m) for store skogsområder og storbykjerner. Formelen er gyldig opp til 200 m og ved stor ruhet settes gjerne vinden konstant under en viss minstehøyde, z_{\min} , ved $z_0=1.0$ m benyttes $z_{\min}=16$ m.

Lign.2 medfører en omregningsfaktor på 1.17 fra referanseterrenget til terrenget med åpne vidder uten vegetasjon ($z_0=0.01$ m) og 0.77 til den typiske ruheten i villastrøk ($z_0=0.3$ m), alt referert til 10 m høyde.

C_t(z) - topografiske koeffisienter

Dersom terrenget ikke er flatt eller homogent anbefales det å legge på topografikoeffisienter. Over en bakketopp blåser det mer enn på en flate, dette kan beregnes fra [7]. Den internasjonale standarden tar imidlertid ikke hensyn til spesielle fjell-land slik som Norge. Under utviklingen av den nasjonale standarden ble det derfor gjort en del spesialstudier i områder med bratt terreng. En fant for eksempel 80 % av de alvorlige vindskadene under orkanen i 1992 på steder der vinden hadde passert en bratt og ujevn fjellskrent. Trolig ble det flere steder satt opp en virvel som dro sterk vind ned fra stor høyde. De mest kjente skadestedene (Gjerdsvika, Rovde) lå på slike steder. I Fræna kommune fikk en bonde skade på sin driftsbygning for 5. gang siden bureisningen i 1979, og skaden i 1992 var fundamental. Driftsbygningen ble etter det gjenreist i betong. Stedet ligger rett øst for en fjellrygg som bryter opp Hustadsllettene. I Vindlastprosjektet ble det satt opp en vindmåler på stedet, sammen med en referansestasjon på et plant område lenger ut mot havet. Under blant annet en vestlig storm i 1995 ble det målt redusert middelvind på gården, men de sterkeste vindkastene gav 20% større hastighet enn på den åpne beliggenheten [10].

Slike erfaringer er gjort en rekke steder i Norge og har derfor gitt opphav til en spesiell terrengfaktor. Den angir to typer av bratt terreng som kan gi turbulens og vindkastøkning. Det bratte terrenget bør da være minst 30, hhv. 40° som snitt av større deler av fjellskråningen, og innenfor ca. 10 fjellhøyder ender vi opp med 10 og 20 % kastforsterkning. Flere detaljer er gitt i NS3491-4 [7] og i bakgrunnsrapporten for topografibehandlingen [8].

For steder som er skjermet ved at de ligger i et terrengsøkk, vil terrengfaktoren bli noe mindre enn 1. I [7] anbefales skjerming bak moderate terrenghelninger, svarende til 10% vindkast-reduksjon. Skjerming vil oftest komme til anvendelse ved sektoriell betraktning fordi det ofte er en eller flere retningssektorer som er mer åpne.

Vindkast og kastfaktor

Vindhastigheten på et sted er aldri helt jevn, og den er ujevnere dess ruere flaten er. WMOs anbefaling er derfor måling over 10 minutter og deretter midling. Dette danner også grunnlaget for Beauforttabellen, der for eksempel orkan er middelvind på 32.6 m/s eller mer, som har vedvart i minst 10 minutter. Som følge av denne definisjonen oppleves det ikke orkan i bebygde områder av Bergen kommune. Men siden vinden er ujevn, betyr dette at vindhastigheten også ved storms styrke vil overstige 32.6 m/s i kortere perioder. En slik kortvarig episode med sterk vind kan føre til store ødeleggelser i et byområde. På moderne vindstasjoner måles derfor også vindkast, definert som den sterkeste vinden midlet over 3 sekunder innenfor en 10 minutters periode. Forholdet mellom middelvinden og maksimalt vindkast kalles kastfaktoren. Kastfaktoren øker med terrengruheten, z_0 , og avtar med høyden. I 10 m høyde ligger den typisk på 1.35 på åpent hav ($z_0=0.003$ m), 1.5 på en flyplass ($z_0=0.05$ m), 1.75 i villastrøk ($z_0=0.3$ m) eller på steder med litt hus og skogholt. I byområder går kastfaktoren opp i over 2.0. Når bratte fjell blir vinden ofte svært ujevn og sterke kastevinder kan oppstå med kastfaktor betydelig over 2.0. Det kan da være svært svak vind mellom de sterke kastene.

Fra [7] har vi at kastfaktoren i høyde z ved ruhetslengde, z_0 ved homogent og flatt terreng kan beregnes ved:

$$Gf(z, z_0) = \sqrt{1 + \frac{7}{\ln \frac{z}{z_0}}} \quad \text{lign.3}$$

Kombineres lign. 2 og 3 får vi vindkast på 39.9 m/s for referanseterrenget, 34.7 m/s for småhusterrenget og 43.3 m/s for terrenget med åpne vidder. Det betyr at vi røft sett kan bruke 35, 40 og 45 m/s som 50-års verdi disse stedene. Alle utregningene er gjort i 10 m høyde.

Øvrige omregningsfaktorer

Referanseverdien i lign. (1) gjelder vilkårlig vindretning i lavlandsstrøk uansett årstid. For å korrigere for avvik fra slike forhold legges det inn omregningskoeffisienter. Generelt er det sterkere vind om høsten og vinteren enn i perioden mai – august, derfor kan det legges på en reduksjonskoeffisient ($C_{\text{ÅRS}}$) dersom bergningene kun skal benyttes for sommerformål. Det er også sterkere vind på høyfjellet enn i lavlandet, dette er ivaretatt gjennom en koeffisient som inntreffer ved 900 moh. i Sør-Norge (C_{HOH}). Det kan også legges på en koeffisient dersom bare en del av kompassrosa skal vurderes (C_{RET}). Betraktninger med andre gyldighetstider enn 50 år, slik som for eksempel en byggeperiode, skal kanskje ha andre returperioder. Dette kan

legges inn gjennom faktoren C_{SAN} . Ved overgang mellom to flatetyper, for eksempel fra hav til land, kan det beregnes overgangsfaktorer. Alle slike koeffisienter er gitt i standarden [7] og ved aktuelt bruk henvises til denne.

2. 2 Data fra vindstasjoner

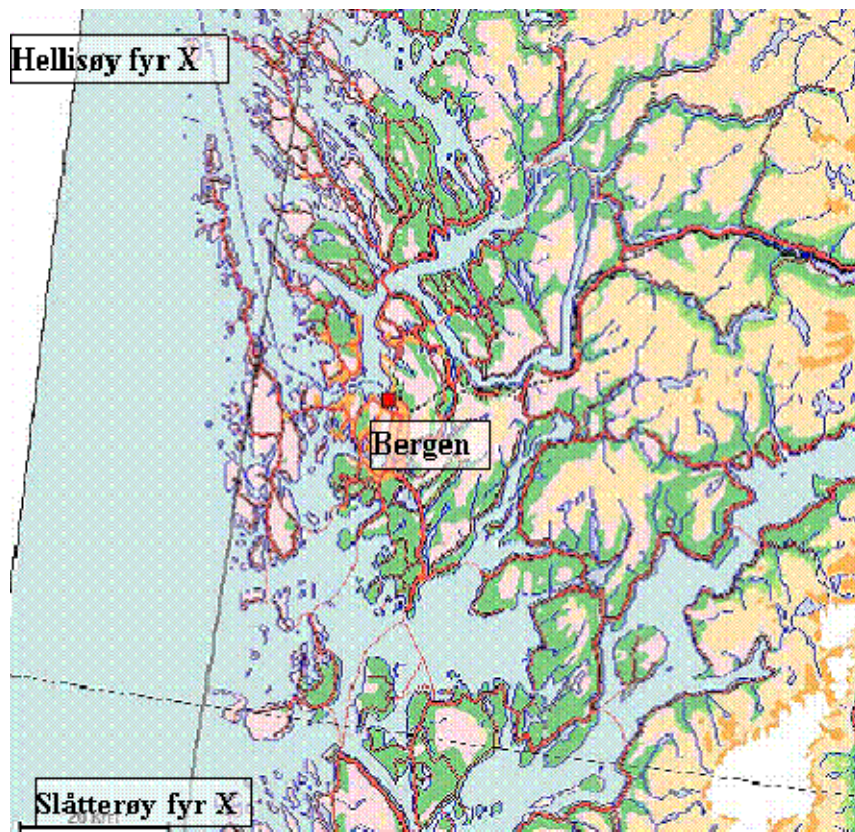
2.2.1 Datafangst

I denne rapporten er det tatt med data fra Bergen kommune, som har eller har hatt utstyr for å registrere vinden ved hjelp av et anemometer. Dette gjelder met.no's værstasjoner Flesland, Florida, Fredriksberg og Rundemanen. Fyrstasjonene Slåtterøy fyr og Hellisøy fyr ligger i noe større avstand fra kommunen, men er tatt med i analysen fordi de har en fri beliggenhet og representerer vinden ute på kysten.

Ved faste værstasjoner blir det observert vind. Noen værstasjoner observerer bare ved å se på sjøens tilstand, virkningen på vegetasjon, lyder osv. Slike observasjoner er gjort blant annet på Syfteland, Stend, samt på Slåtterøy fyr før stasjonen fikk vindmåler i 1986. Disse data kan ikke brukes til raffinerte vindanalyser, slik som ekstremvindanalyse.

Det er også vært målt vind i forbindelse med forskjellige prosjekter. Ved met.no har vi utført målinger for Statens Vegvesen i forbindelse med planlegging av Askøybrua [11]. I forbindelse med denne rapporten ble det tatt kontakt med Statens Vegvesen, NILU, Instrumenttjenesten ved Ås (ITAS), Kjeller Vindteknikk, Geofysisk Institutt ved UiB og Aanderaa Instruments. Alle institusjonene gav raske svar og dette var til stor hjelp. Fra Hordaland Vegkontor ved Statens Vegvesen fikk en tilgang til data fra Salhus og Flatøy [12] og beregnede ekstremverdier for Nordhordlandsbrua ved bruk av disse data. Data fra Kvistein (Kvisti bru) [13] ble framskaffet av Bruavdelingen ved Vegdirektoratet. NILU framskaffet data fra Skjold skole som var innsamlet på en 36 m høy mast i forbindelse med et forurensningsprosjekt i Bergen i 1982-83. Data fra Ulriken er samlet inn i et fellesprosjekt mellom Geofysisk Institutt og Aanderaa Instruments. Dette er beskrevet på hjemmesiden til Geofysisk Institutt [14] og data fra mai 2001 til februar 2006 ble framskaffet av de to aktørene. Alle disse data har tilfredsstillende eksponering slik at den vinden som blåser i omgivelsene, blir fanget opp.

Figur 1 til 3 viser beliggenheten av målestasjonene. Mer detaljer er vist i Appendiks 1.

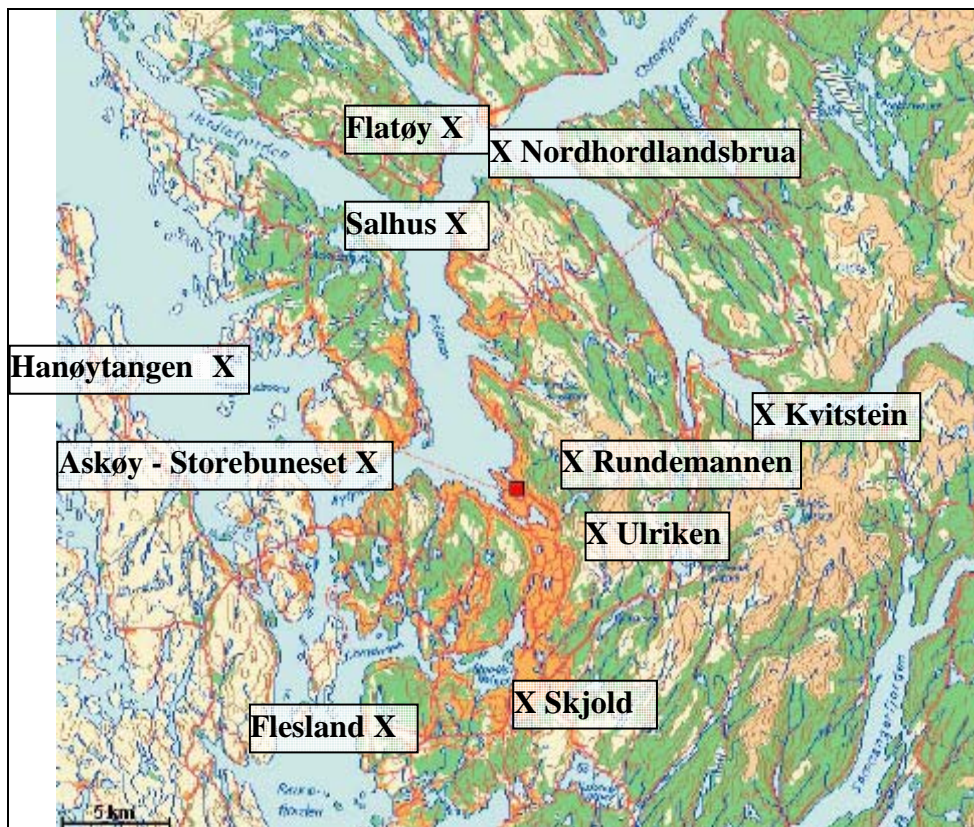


Figur 1

Oversiktskart over Bergen og fyrstasjonene Hellisøy og Slåtterøy.

I tillegg ble det gitt informasjon om en rekke forskjellige vindmålinger som ikke ble benyttet. Dette skyldes dels at de kun har indikatorer uten registrering (gjelder målinger på bruene), eller at de står på steder som ikke er eksponerte, dvs. de står på lave master som er forstyrret av nærliggende trær eller bygninger. Dette gjelder blant annet en del av stasjonene som Statens Vegvesen bruker for å drifte en del vegstrekninger. Disse data ble derfor ikke bestilt eller vurdert nærmere.

Det er mulig at det finnes noen registreringer fra Sotrabraua, eventuelt fra prosjekteringen, men det lyktes ikke å oppspore disse innefor rammen av denne rapporten.



Figur 2 Oversiktskart over Bergensområdet med målestasjoner inntegnet.



Figur 3 Oversiktskart over Bergen sentrum med stasjonene Florida og Fredriksberg.

2.2.2 Analyse av langtidsdata

Datagrunnlag

Ved met.no har vi langtids-vinddata fra Flesland, Florida og Fredriksberg. I tillegg benyttes også langtidsdata fra Hellisøy fyr som referansestasjon og Slåtterøy fyr som støtte for bakgrunnsvidden og vind inn Krossfjorden. Metodikken for analyse av langtidsdata er beskrevet i følgende avsnitt:

Det tas ut høyeste verdi av 10 minutter middelvind og høyeste vindkast hvert år i en lang serie, dette blir omtalt som et ekstremvinddatasett. Da det er flere og sterkere stormer om høsten og vinteren enn om sommeren, defineres et vind-år som perioden 1.9. til 31.08. Perioden 1.5. til 31.08 omtales som sommervinduet, da er det mindre sjanse for sterk vind. Det er laget egne ekstremdatasett for sommervinduet for referansestasjonene.

Ved datalageret til met.no finnes det digitale data fra og med 1957. Men høyeste middelvind er gitt som nærmeste Beaufortverdi før 1982. Dette er for grovt for en raffinert ekstremvindanalyse. Dessuten er det ikke digitale data for maksimum vindkast før 1982. Slike gamle registreringer finnes imidlertid på papir. Det har således vært nødvendig å gå gjennom gamle papirregistreringer for få fram årlige vindmaksima. I den forbindelse er også ekstremvind-episoder kontrollert. For Hellisøy fyr og Flesland flyplass ble dette arbeidet utført under utarbeidelsen av NS3491-4.

Papirregistreringene fra Florida og Fredriksberg ble ikke gått gjennom i forbindelse med standardiseringsarbeidet fordi flyplasser og fyrstasjoner ble prioritert. Dette er heller ikke prioritert i denne omgang. Årsaken til nedprioriteringen var følgende: Det eksisterer nå gode elektroniske data for perioden 1982 til februar 2006 (og målingene fortsetter). Da er serien lang nok til en selvstendig ekstremvindanalyse. Datarekken fra 1957-81 ble så benyttet for å se om ekstremvindnivået i denne perioden var forskjellig fra 1982 – 05. Det viste seg at nivåene var omtrent de samme i disse periodene (se Figur 7, kap. 4)

Fredriksberg ble nedlagt i 1985. Men siden Fredriksberg og Florida ligger nær hverandre, er data fra perioden med gode elektroniske data, 1982-85, tilstrekkelig til å etablere ekstremvind på Fredriksberg med Florida som referansestasjon.

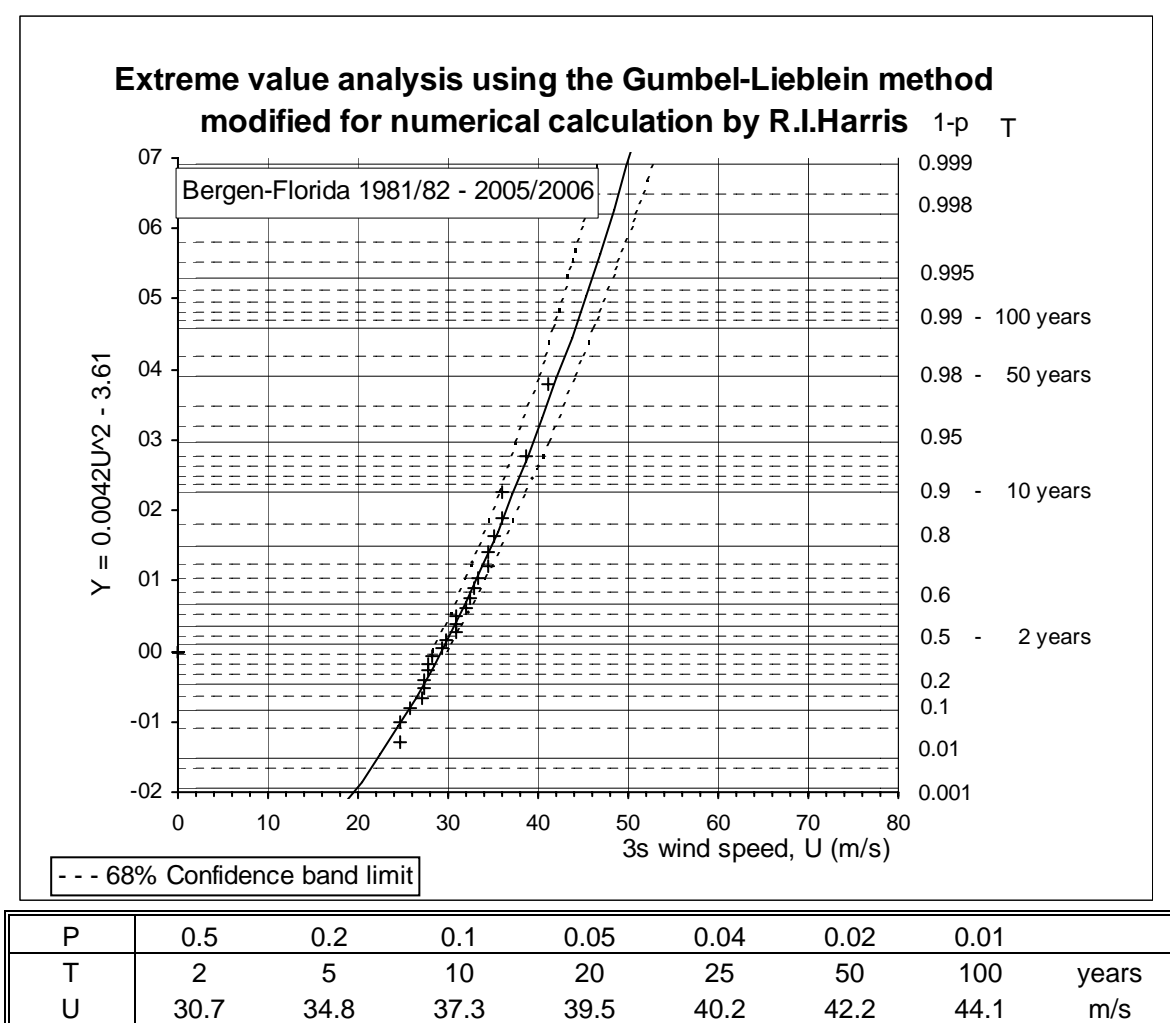
Det eksisterer også et godt og langt ekstremvinddatasett for Flesland (1957/58 – 2005/06). 2005/06-verdien er tatt med, selv om det gjenstår noe av dette vindåret, den statistisk mest vindfulle årstiden er passert (pr. rapportdato 15.03.). Hellisøy fyr er en meget gammel stasjon, men i perioden 1957 til 1975 var det dårlig kvalitet på vindmåleren og dataene ble forkastet. En periode med papirregistreringer fra 1931-36 er avlest av de tidligere statsmeteorologene Alv Sunde og Knut Strand i forbindelse med at gamle registreringer fra Rundemanen ble funnet i arkivet fra denne perioden. Da det er noe tvil omkring homogeniteten i forhold til dagens stasjon, det gjelder målertype og oppstilling på fyret, ble ikke denne perioden tatt med i ekstremvinddatasettet for Hellisøy. Slåtterøy fyr fikk vindmåler i 1986, og datarekken omfatter perioden 1986/87 – 2005/06. Ekstremvinddatasettene er gitt i Appendiks 1.

Hellisøy og Flesland er også avlest med høyeste vindhastighet i hver 45°-sektor for en del år, mens de øvrige stasjoner har en grovere retningsoppløsning. For Florida og Fredriksberg er det bare tatt ut fire sektorgrupper.

Ekstremvindanalyse

Ekstremdatasettene ble puttet inn i en såkalt ekstremstatistikk-fordeling. Det viser seg at fordelingen av en langtidsserie av årsektremer passer med en såkalt Gumbelfordeling. Den teoretiske fordelingen justeres inn mot datasettet ved hjelp av 2 parametre som bestemmes etter visse fastlagte prosedyrer. Denne er slik at tilpasningen skal være best der det er mye data, og samtidig være mindre følsom for tilfeldigheter. For eksempel, dersom perioden inneholder en meget sjelden begivenhet, slik som for eksempel Nyttårsorkanen i Møre og Romsdal, så skal denne alene ikke endre fordelingen. Det vil derimot være den store mengden av stormverdier i midten av fordelingen som bestemmer kurven. Den teoretiske fordelingen har et noe komplisert matematisk uttrykk, og det vises derfor til Appendiks 2. For spesielt interesserte henvises det til referanselitteratur.

Figur 4 viser resultatene fra en av kjøringene, det gjelder vindkast fra Bergen. Florida.



Figur 4

Ekstremvindanalyse av Bergen - Florida – 3 s vindkast

Her ser vi at observasjonene (+-verdier) følger den beregnede kurven (heltrukket kurve) meget godt. Vi ser at høyeste verdi i den 25 år lange perioden ligger på 41.2 m/s, mens 50-års verdien er beregnet til 42.2 m/s.

Kjøringer av vindkast og middelvind for stasjonene med lang rekke er vist i Appendiks. Resultatene er samlet i Tabell 2.

2.2.3 Analyse av data fra kortere tidsserier

For å utrede særlige formål (for eksempel utbygging av broer og annen anleggsvirksomhet) blir det ofte utført vindmålinger i en kortere periode, typisk 1 til 4 år. Slike data bør kobles til langtidsdata på en referansestasjon som er godt korrelert til prosjektstasjonen. Når det for eksempel er storm i Bergen, er det ganske sikkert storm også på fyrstasjonene i Hordaland. En periode med sterk vind det ene sted vil gi det også på det andre stedet. Derved kan man korrigere for avvik fra et langtidsmiddel, eller etablere overføringskoeffisienter mellom stormtopper på kysten og sterk vind på vurderingsstedet. Sistnevnte metode egner seg godt for ekstremvindanalyse. En tar da ut et knippe sterke vindverdier på begge stasjonene og etablerer overføringskoeffisienter som antas gyldige også ved ekstremtilfelle.

Det er viktig å poengtere at sammenhengen er statistisk. Vinden har elementer av stokastiske prosesser i seg. Som følge av tidsforsinkelser, variable stormbaner og annen innebygd variabilitet, vil overføringskoeffisienten variere fra storm til storm, selv om vindretningen måtte være den samme. Metodikken går derfor ut på å samle alle episoder med data på begge stasjonene, velge relevante retningssektorer på referansestasjonen og så lese av hver enkelt toppverdi i stormen på begge stasjonene. Er det godt med data, kreves det minimum 4 dager mellom hver stormtopp for å sikre uavhengighet. Ved lite data gjøres det kompromisser, det betyr økt usikkerhet i sluttresultatet. Sektorgrupper kan velges som ren matematisk inndeling av kompassrosen, men i mange tilfelle er det naturlig å se på terrenget og velge relevante sektorer utfra dette.

Når alle stormverdiene er avlest, sorteres vindhastigheten innenfor hver sektorgruppe på referansestasjonen. Men vindhastigheten på de to stasjonene skal sorteres uavhengig av hverandre, og vindkast skal sorteres uavhengig av middelvind. Derved lages det statistiske overføringskoeffisienter. En har etter hvert kommet fram til at middel av de 5 høyeste stormtoppene er et rimelig kompromiss mellom hensynstagen til datamengde og ønske om å betrakte sterkest mulig vind slik at ekstremrelevansen skal være stor. Merk at dersom det ikke blir sortert uavhengig vil vi få en overføringskoeffisient som avhenger av grenseverdiene som benyttes, og som kan gi systematiske feil, spesielt dersom stasjonene ikke er godt korrelerte. Lineær regresjon anbefales ikke, da dette medfører at mye støy trekkes inn og verdien av å ha en referansestasjon blir svekket.

Det gis her eksempel på en analyse (Tabell 1), for øvrig vises til Appendiks 3 for forklaring av utregninger og oppsett av øvrige relasjonstabeller. Resultatene er gtt i Tabell 2. I Tabell 1 er Florida benyttet som referansestasjon for Fredriksberg. Felles periode med digital informasjon av maksimum middelvind og vindkast er 1.1.1982 – 28.02.1986, mens langtidsperioden for Florida er 1981/82 – 2005/06. Det er valgt ut fire relevante sektorgrupper, 040 – 100° (øst), 110-170° (sørøst), 180 – 290° (sør til vest) og 300 – 030° (nordvest til nord).

Tabellen illustrerer at det er litt sterkere vind på Fredriksberg, 50-årsvinden ligger på 26.3 m/s (10 min middel) og 43.1 m/s (kast), mens tilsvarende på Florida er beregnet til 24.5 og 42.2 m/s. Merk at de sterke kastene på Fredriksberg kommer fra nordvest til nord, det er sterk vind fra fjorden som blir turbulent ved møte med bybebyggelsen på Nordnes. Sørøstvinden er

faktisk jevnere, denne vinden forsterkes og utjevnes når den strømmer opp over bakken fra sørøst til sør.

Tabell 1.

Analyse av Fredriksberg mot Florida.

Florida	Ø		SØ		S - V		NV	
01.01.82-28.02.85	040 - 100°		110 - 170°		180 - 290°		300 - 030°	
1	17.0		21.1		13.9		16.5	
2	16.5		18.5		13.9		14.9	
3	15.9		17.0		13.4		14.4	
4	15.4		16.5		12.9		14.4	
5	14.9		15.9		12.3		14.4	
U5(10 min)	15.9		17.8		13.3		14.9	
Sektorandel								
Langtidsmiddel	0.81		0.91		0.70		0.93	
Fredriksberg	Ø		SØ		S - V		NV	
01.01.82-28.02.85	U(10min)	U(3s)	U(10min)	U(3s)	U(10 min)	U(3s)	U(10 min)	U(3s)
1	15.4	23.7	21.6	30.4	17.5	26.2	19.0	33.4
2	14.4	22.6	20.6	29.8	17.0	25.2	17.0	28.3
3	14.4	21.1	19.0	27.8	15.4	24.7	16.5	26.2
4	13.4	20.6	19.0	27.3	14.9	24.2	15.9	26.2
5	13.4	20.6	19.0	26.8	14.9	23.7	15.4	26.2
U5	14.2	21.7	19.8	28.4	15.9	24.8	16.8	28.1
Gf	1.53		1.43		1.56		1.67	
Forholdstall, Fr/Fl	1		2		3		4	
U5(10 min/10 min)	0.89		1.11		1.20		1.12	
U5(3s/10 min)	1.36		1.60		1.87		1.88	
Sektorielle 50 – årsverdier	1		2		3		4	
50-år Florida	19.8		22.3		17.0		22.9	
50-år Fredriksb. 10 min	17.6		24.9		20.4		25.7	
50-år Fredriksb. 3s	26.9		35.6		31.8		43.0	
Resultat av ekstremverdberegninger, alle retninger medregnet							50-års verdi	
Florida (10 min middelvind basert på lang rekke):							24.5 m/s	
Fredriksberg (10m min middelvind med Florida som referansestasjon):							26.3 m/s	
Fredriksberg (3s vindkast med Florida som referansestasjon):							43.1 m/s	

2.2.4 Samlet oversikt over beregnede ekstremverdier

Tabell 2 viser en oversikt over beregnede ekstremverdier. For Hellisøy, Slåtterøy, Flesland og Florida er det kjørt selvstendige ekstremverdi-analyser, mens de øvrige verdiene er beregnet ved kobling til en av disse referansestasjonene.

Tabell 2

Beregnete ekstremvindverdier i eller ved Bergen kommune og kysten utenfor.

	P=0.5	p=0.2	p=0.1	p=0.05	p=0.04	p=0.02	p=0.01	
Sted	2 år	5 år	10 år	20 år	25 år	50 år	100 år	Midling
Hellisøy fyr	27.7	29.8	31.0	32.2	32.6	33.7	34.7	U10min [m/s]
Slåtterøy fyr	25.6	28.7	30.5	32.2	32.7	34.3	35.7	U10min [m/s]
Flesland	18.4	20.4	21.7	22.8	23.2	24.3	25.4	U10min [m/s]
Florida (41m)	18.1	20.3	21.7	22.9	23.3	24.5	25.7	U10min [m/s]
Fredriksberg (19m)						26.3		U10min [m/s]
Hanøytangen			25.3			27.7	28.6	U10min [m/s]
Storebuneset (10m)			22.5			24.4	25.1	U10min [m/s]
Storebuneset (30m)			23.6			26.4	27.6	U10min [m/s]
Salhus – Kirkeneset						26.7		U10min [m/s]
Flatøy-Krossneset						24.2		U10min [m/s]
Nordhord.flytebru*			24.8			26.3	27.1	U10min [m/s]
Skjold (36m)						22.0		U10min [m/s]
Kvistein (10m)						23.1		U10min [m/s]
Kvistein (40m)						31.3		U10min [m/s]
Rundemanen						37		U10min [m/s]
Ulriken (5m)						47.8		U10min [m/s]

*Beregnet av Henrik Rye; Det norske Veritas på grunnlag av målinger på Flatøy og Klauvaneset på Bergensiden

	p=0.5	p=0.2	p=0.1	p=0.05	p=0.04	p=0.02	p=0.01	
Sted	2 år	5 år	10 år	20 år	25 år	50 år	100 år	Midling
Hellisøy fyr	36.7	39.6	41.3	42.9	43.3	44.7	46.0	U3s [m/s]
Slåtterøy fyr	34.9	39.0	41.5	43.8	44.5	46.6	48.6	U3s [m/s]
Flesland	29.6	33.4	35.7	37.8	38.4	40.3	42.1	U3s [m/s]
Florida (41m)	30.7	34.8	37.3	39.5	40.2	42.2	44.1	U3s [m/s]
Fredriksberg (19m)						43.1		U3s [m/s]
Hanøytangen			37.8			41.5	42.7	U3s [m/s]
Storebuneset (10m)			34.9			37.8	38.9	U3s [m/s]
Storebuneset (30m)			36.1			40.5	42.3	U3s [m/s]
Salhus – Kirkeneset								U3s [m/s]
Flatøy-Krossneset								U3s [m/s]
Nordhord.flytebru								U3s [m/s]
Skjold (36m)						39.9		U3s [m/s]
Kvistein (10m)						44.0		U3s [m/s]
Kvistein (40m)						49.2		U3s [m/s]
Rundemanen						45		U3s [m/s]
Ulriken (5m)						63.0		U3s [m/s]

Stasjonene ved bruprojektene (Askøybrua, Nordhordlandsbrua og Kvisti bru) ligger alle på eksponerte nes nær land. Det samme gjelder Hanøytangen. Skjold ligger i søndre bydel,

Fredriksberg representerer Bergen havn. To stasjoner ligger på Byfjellene, det er Rundemanen og Ulriken. Ulriken ligger særdeles eksponert for vind omkring vestsørvest. Beskrivelser og analyser for stasjoner utenom Florida og Fredriksberg er gitt i Appendiks 3.

Tabell 2 gir også returverdier på 2 til 100 år for stasjoner med lange rekker. Gjennomsnittelige koeffisienter for de fire stasjonene er 0.77 (2år), 0.90 (10 år) og 1.04 (100 år) for middelvind. For vindkast gjelder 0.76 – 0.90 – 1.04. Fra Norsk Standard [7] anbefales tilsvarende omregningskoeffisienter for 10 min middelvind 0.78 – 0.90 – 1.04 dersom ikke annen informasjon er tilgjengelig. Det er altså god konsistens i anbefalinger og beregninger fra måledata.

3. Resultater

3.1 Sammenligning av data fra de analyserte vindstasjonene og NS3491-4

I NS3491-4 er referansevinden satt til 26 m/s for Bergen, mens Osterøy har 25, Meland 26, Askøy 26, kommunene på Sotra 28, Fedje 30.

Ut fra lign.2 skal en stasjon på kysten med ruhet $z_0=0.01$ m ha en basisvind på 1.17 ganger referansevinden, da passer både Hellisøy og Slåtterøy godt inn med 29 m/s som referansevind i følge vindkartet (Fig. A.1, NS3491-4).

I og ved Bergen har nå Flesland 24.3 m/s som stedvindhastighet, Skjold 22.0, Florida 24.5, Fredriksberg 26.3, Hanøytangen 27.7, Storebuneset 24.4, Salhus – Kirkeneset 26.7, Flatøy – Krossneset 24.2 og Nordhordlandsbrua 26.3 m/s.

I fjordstrøk der fjordene ikke har en meget åpen sektor direkte mot havet, kan overflate-ruheten byttes ut med en områderuhet. Innvirkning fra skog og høyereliggende terreng øker den lave ruheten som forventes over en vannflate. Ved bruene i Trekantsambandet ved Stord ble det gjort modellforsøk. Ut fra disse modellene ble det funnet en ruhet på 0.03 – 0.05 m for vind langs fjorden. Også målinger fra andre steder tyder på at en flyplassruhet ($z_0=0.05$ m) passer ganske godt i fjordstrøkene. Dette betyr at det kan forventes at referansevinden også er 50-års verdien i fjordstrøkene utenfor Bergen. Dataene viser at dette er tilfelle. Også på Fredriksberg i Bergen havn og utsatte nes (Salhus – Kirkeneset) passer dette godt. Det vil være litt lavere vindhastighet en del steder langs land der skjermingseffekter lett inntreer. Relativ god tilpasning finnes også på Hanøytangen, den noe høyere verdi kan tilskrives at denne lokaliteten ligger på vestsiden av Askøy med Sotra utenfor.

Flesland, Skjold og Florida har lavere verdier enn referanseverdien. En kastanalyse fra Flesland viser at kastfaktoren ligger på 1.66, hvilket indikerer noe mer turbulens enn for en flate med ruhet 0.05 m. Dette betyr noe bremsing av middelvind og relativt lite bremsing av vindkastene.

Florida ligger i et strøk med betydelig høyere ruhet enn 0.05 m. Der måles det i 41 m målehøyde. Dersom ruheten, z_0 settes til 0.3 m gir lign.2 en vindhastighet på 28.1 m/s og med $z_0 = 1$ m; 23.2 m/s, dersom referansevinden er 26 m/s. Tilsvarende kastfaktorer kan beregnes ved lign.3 til 1.56 og 1.70. Florida har 50-års middelvind på 24.5 m/s og kastfaktor, $gf=1.72$, dette passer noenlunde med en ruhet på mer enn 0.3 m, men noe mindre enn 1m. Det er mulig

at kastfaktoren kan være noe forhøyet på grunn av innvirkning fra bratte fjellsider for noen vindretninger.

På Skjold ble det målt i 36 m høyde, men måleren stod på et tun slik at effektiv høyde bør reduseres med 5m, dvs. til 31 m. Kastfaktoren $g_f=39.9/22.0=1.81$ på stedet, konsistent med at bremsingen er enda større enn for Florida. Med 1.0 m som ruhetslengde ville 26 m/s som referanseverdi gi 22.4 m/s som 50-årsverdi i 36 m høyde. Dataene fra Skjold tyder derfor på en meget høy ruhetslengde, omtrent 1.0 m. I tillegg til bebyggelsen rundt måleren kan dette også skyldes at det er høyereliggende terreng i alle retninger, til dels med skog, innen 0- 5km distanse.

Målinger fra Kvistein, 10m høyde, fører til en beregnet 50-års ekstremvind på 23 m/s (10 min) og 44 m/s (3s vindkast). Målingene er gjort på et nes i fjorden. Det er ikke lett å vurdere representativiteten av disse målingene, men de høye kastverdiene i forhold til middelvinden viser at det er en kastforsterkning på stedet. Dersom vi antar at de er gyldige på fjorden, antyder de 10% forsterkning av vindkastene og 10% reduksjon av middelvinden. Dette er konsistent med $C_t=0.9$; $c_{tt}=1.75$ (Tabell B.2, [7]), dvs. terreng med helningsgrad mellom 30 og 40° innenfor 10 fjellhøyder (5km).

Vi kan konkludere med at dataene som er tilgjengelige fra Bergen kommune og områdene nær, passer meget godt med den referansevinden som er gitt i NS3491-4, dvs. 26 m/s.

På Ulriken (640 moh.) har vi ekstreme forhold, her er 50-års verdiene beregnet til 48 og 63 m/s i 5 m høyde. Dette gjelder et punkt som ligger nær den bratte helningen mot Lægdene der sørvestlig til vestlig vind presses opp gjennom et slukt og over toppen med sterk "speed-up"-effekt som resultat. På Rundemanen (560 moh.) er tilsvarende tall 37 og 45 m/s, hvilket indikerer en rask dempning på mer "normale" fjelltopper i forhold til Ulriken.

NS3491-4 dekker ikke fjelltopper på mer enn 200 m over grunnterrenget, og er derfor ikke til hjelp for disse fjellområdene. Men vi kan gjøre en teoretisk beregning: Ulriken har fått en 50-års verdi på 47.8 m/s. Til sammenligning kan vi beregne gradientvinden ved referansevind 26 m/s og ruhet 0.05 m. Med gradientvinden menes den vinden som blåser fritt i høyere luftlag over det såkalte friksjonslaget. Formelen

$$u(z) = 0.285 \cdot V_G \cdot \left(\frac{V_G}{f \cdot z_0} \right)^{-0.065} \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad \text{lign 4}$$

er anerkjent. Her er f coriolisparameteren ($0.00012s^{-1}$), V_G gradientvinden. Her får vi $V_G=48.5$ m/s for $u(10)=26$ m/s. Dette illustrer at vinden på målestasjonen på Ulriken er meget nær gradientvinden, hvilket betyr at det må være en sterk "speed-up" på stedet. Sannsynligvis øker vinden lite med lokal høyde over målepunktet slik det er vanlig på plane flater, og vindkastprofilen er trolig helt flatt. Beregningen illustrerer også at vi er nær den teoretiske grensen for middelvind i området, og at det neppe er steder i kommunen som har høyere middelvind. Dette er også i tråd med dimensjoneringen for Ulriken fjernsynssender, der 50-års verdien av 10 min middelvind ble vurdert til 50 m/s i toppen av tårnet i forbindelse med økt antenneutrustning [15].

3.2 Vindkartlegging

3.2.1 Praktisk bruk av NS3491-4

Referansevinden (kommuneverdien) i Bergen kommune er i følge NS3491-4 [7] 26 m/s. Denne verdien er nå verifisert gjennom beregninger fra en rekke målesteder i området. Standardens mer sofistikerte verktøy er utmerket i et "idealisert terreng". Det norske landskapet, og i høy grad Bergen kommune, består imidlertid av et komplisert samspill av fjell, fjorder, skog og bebygde strøk, hvilket gjør en slavisk bruk av standarden vanskelig. Som hjelpemiddel er den likevel brukbar.

3.2.2 Ruhetsbetraktninger i Bergen kommune

Referanseverdien vil være gyldig i flyplasslignende områder, og ifølge resonnementene over, også i fjordområdene mellom Bergen og Sotra, Bergen og Askøy og Salhusfjorden ut mot Knarvik. Også Grimstadfjorden vil ligge i denne kategorien. Bruk av overgangregler fra [7] tyder på at en strømning av vind fra ruhetsområde 0.05 til 0.3 m tilpasser seg mesteparten av den nye ruhetssonen allerede etter 2 km. Derfor beholdes referanseverdiene 2 km innenfor fjordbunnen. Vinden blåser i stor grad langs fjordene og det er derfor tilstrekkelig med et mindre belte langs fjordbreddene, anslagsvis 500 m.

Fjorder med klar åpen sektor mot sjøen uten holmer og skjær som bremser, vil få spesielt sterk vind når vinden fra havet blåser inn slike fjorder. Dette er tilfelle for Korsfjorden mellom Sotra og Austevoll, der sterk vind inn fra sørvest til vest antas føle en ruhet på 0.01m.

Sørfjorden ligger mer skjernet og er en forholdsvis smal fjord med høyt terreng på begge sider. Derfor er nok ruheten noe høyere her enn 0.05 m og stedsvinden bremses noe. I indre del er det imidlertid en del bratt terreng som kan medføre sterke vindkast, slik målingene på Kvistein viser. Det kan således forventes vindkastforsterkning langs fjorden fra Arna til Trengereid.

For småhusbebyggelse og spredt bebyggelse med skogholt, vann og åpne områder kan det velges en ruhet på $z_0=0.3$ m. Dette vil være typisk for store deler av Bergen kommune utenom fjellstrøkene, fjordstrøkene og strandsonene. I bykjernen er ruheten høyere enn 0.3 m, men høyere ruhet enn 0.3 m anbefales likevel ikke brukt fordi det er kort avstand, innefor 500 m til 1 km, til områder med lavere ruhet (Figur 1).

Typiske fjellvidder har trolig $z_0=0.01$ m. Det er rimelig å beholde en slik ruhetsslengde for alle områder over skoggrensen, som kan være 200 – 500 moh., lavest i vest. Områder nær bratte fjell samt områder på fjelltopper og bakketopper skal i tillegg ha topografifaktorer, og områder i tydelige søkk i terrenget kan få reduksjon for en eller flere vindretninger.

3.2.3 Vindkart

Følgende 50-års verdier for 3 s vindkast kan da anbefales:

Grunnverdien i kommunen settes til 40 m/s. På fjellviddene er det lavere ruhet, men i mer komplekst fjellterreng er risikoen for sterke vindkast tilstede også ved lavere ruhetslengde. Derfor anbefales det å øke 50-års vindkastverdi til 45 m/s når vi beveger oss over skoggrensen, til dels også litt under denne. 45 m/s bør slik benyttes for alle områder over 300 moh., over 200 moh. for fjellene vest for Bergen sentrum og for fjellområdet i ytre del av Åsane. Ved 600 moh. økes denne til 50 m/s. For helt spesielle topper benyttes 60 m/s, men kun helt oppe på toppen (Ulriken, Løvstakken, enkelte av de høyeste toppene på Gullfjellet). For alle tydelige bakketopper, eller steder nær brattkanten av en li, økes stedsvinden med 5 m/s.

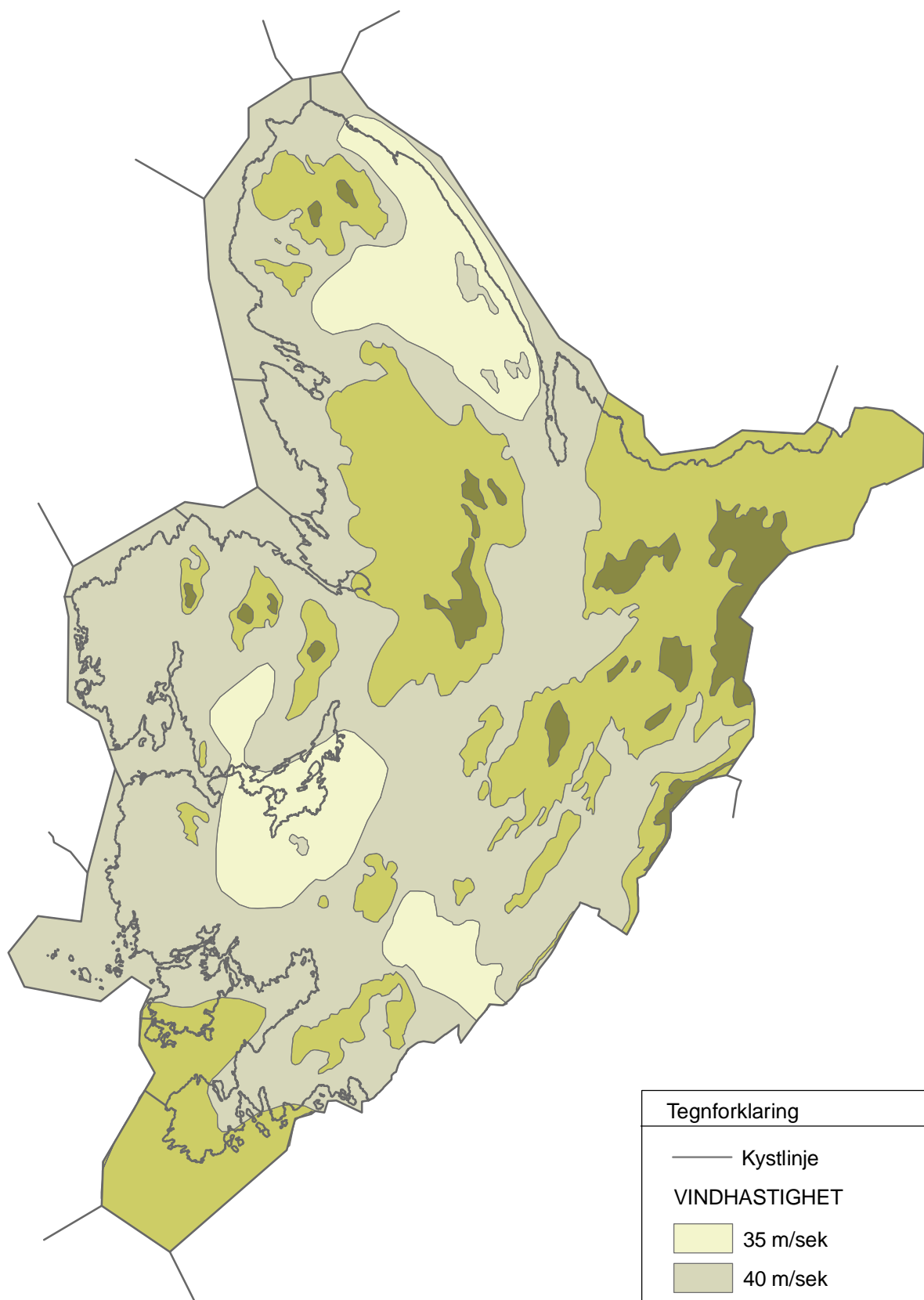
Grunnverdien beholdes i fjordområdene (Salhusfjorden, Byfjorden, fjordområdet mellom Bergen og Sotra). Det kan antas at fjordverdiene er gyldige ca. 2 km innover en ruere landflate i fjordbunnen og ca. 500 m til hver side av fjordbredden. Vind fra Korsfjorden er sterk og gir vindkast på 45 m/s i ytre Fanafjorden inkludert områdene sør for Milde, vestre og sørlige Korsneset, holmer og nes sør for Krokeide.

Sørfjorden er smal og mer skjermet av landområdene. I indre del er fjellsidene bratte og risikoen for sterke vindkast stor. I ytre del er fjellsidene, spesielt på Bergenssiden mer moderat og bidrar mer til skjerming. Mellom Ytre Arna og Steinestø settes derfor 50-års vindkast til 35 m/s. En slik reduksjon kan også gjøres flere steder, men det vanligste er at reduksjonen bare gjelder for delsektorer. Det skal en nøye analyse til for å dokumentere en generell reduksjon.

For områder som ikke ligger nær bratt terreng og som har ca. 2 km avstand til vind som kan komme rett inn fra en fjord, vil den økte ruheten medføre tilpasning til 0.3 m som ruhet og vindkastreduksjon til 35 m/s. 0.3 m vil da være områderuheten, og det tas ikke hensyn til grovere områder (skog, høyhus) eller glattere områder (vannflater) innenfor disse sonene. Derimot bør tydelige bakketopper ikke få slik reduksjon. Vi kan sette opp noen hovedområder i kommunen der dette gjelder: På flatområdene i Åsane (innenfor en trekant begrenset av Ulset – Gaupås – Steinestø), Fana (innenfor Sædal – Paradis – Straume – Birkeland) samt ytre Samdalen, og deler av Fyllingsdalen (Varden – Fyllingsdalen krk) kan det generelt benyttes 35 m/s.

Bergensdalen fra sentrum til Paradis beholder vindkast-verdier på 40 m/s. Her vil lokal terrenget egentlig tilsi lavere hastighet en del steder, men mulighet for kast fra de bratte fjellene gjør at det ikke anbefales lavere verdier enn 40 m/s. Dette gjelder også steder i dalføret mellom Nesttun og Arna og deler av Samdalen, nordre Fyllingsdalen over Melkeplassen, området mellom Damsgårdsfjellet og Lyderhorn og området vest for Lyderhorn.

En del områder får 45 m/s fordi effekten av vindkast fra bratt terreng er ekstra stor. Dette gjelder Jordalen, Svartediket med forgrening utover Store Lungegårdsvann og området mellom Landås og Mannsverk. Jordalen vil få effektene ved høydevind fra sør til nordvest, Svartediket – Fløen ved østlig vind og Landåsområdet ved sørøstlig høydevind. Sørfjorden mellom Tunes og Trengereid kan få kast på 45 m/s ved høydevind mellom øst og sørvest.



Tegnforklaring

— Kystlinje

VINDHASTIGHET

35 m/sek

40 m/sek

45 m/sek

50 m/sek

Figur 5

Kart over 50-års verdien av 3 sek vindkast for Bergen kommune, 10 m over bakken.

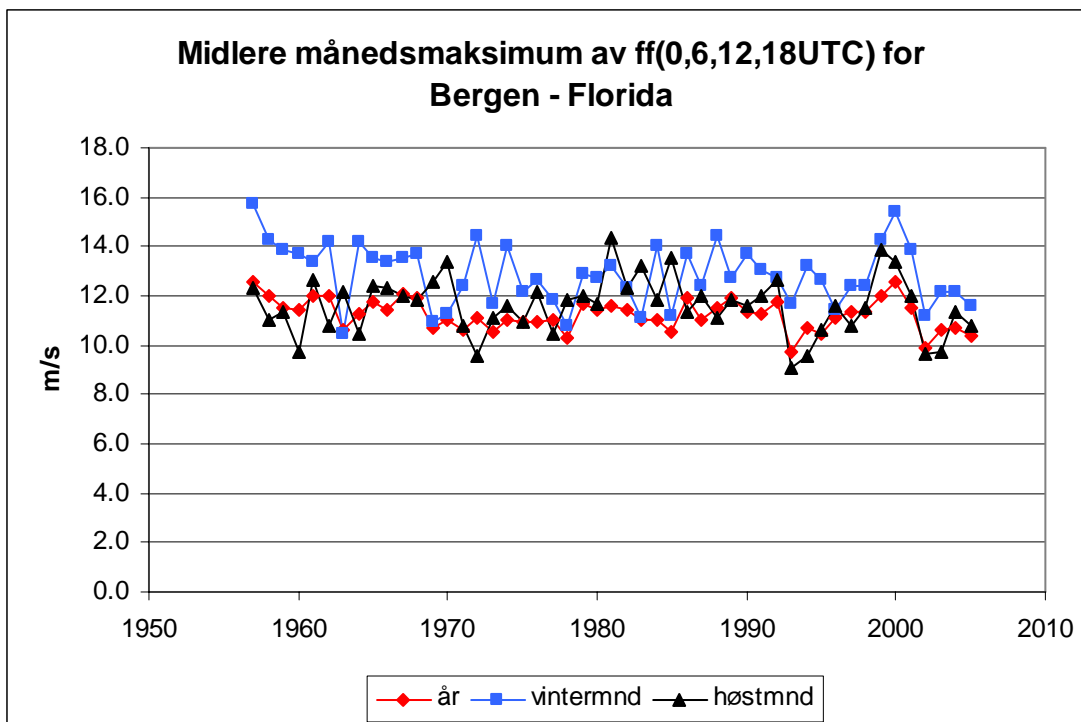


BERGEN KOMMUNE
MILJØ OG BYUTVIKLING

4. Trender og scenarier

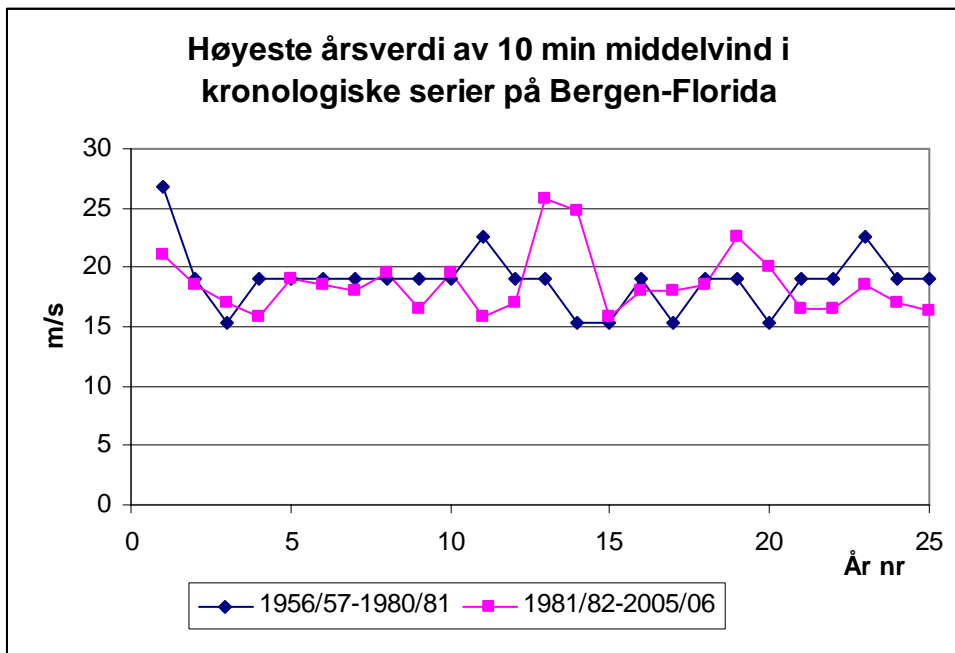
Figur 6 viser midlere månedsmaksimum av 10 minutters middelvind ved observasjonstiden (0, 6, 12 og 18 UTC) i hver av de tre høstmånedene, vintermånedene, og alle 12 månedene. Figuren viser ingen klar trend fra 1957 til 2005, men angir at det har vært noe svakere maksimalvinder siden 2001. I Appendiks 2 (Figur A.14) er det angitt årsekstremer fra Florida og Flesland. For Florida er det er noe grovere skala før 1982. Figuren viser likevel at Flesland og Florida går pent i takt, hvilket indikerer at stasjonene har homogene data. De indikerer også at det ikke har vært noen endring i ekstremvindnivået mellom 1957 og 2005.

Heller ikke de klimascenarier som i dag er tilgjengelige angir noen tydelig trend. Figur 8, hentet fra [16], viser forventet endring i døgn med vind sterkere enn 15 m/s. For Vestlandet ligger en slik endring på ca. 2 døgn pr. år. Dette svarer til at prosentilgrensen flyttes 0.5 m/s. En tilsvarende økning av ekstremverdiene er liten i forhold til øvrige usikkerheter ved denne analysen. Med dagens informasjon kan det derfor sies at de framstilte resultatene også har gyldighet i årene framover.



Figur 6

Tidsserie over midlere månedsmaksimum for Florida 1957-2005.



Figur 7
 Tidsserie over årlig maksimum av 10 min middelvind for Florida 1957-2005.



Figur 8
 Forventet økning i antall døgn per år med vind sterkere enn 15 m/s. Fra Regclim [16].

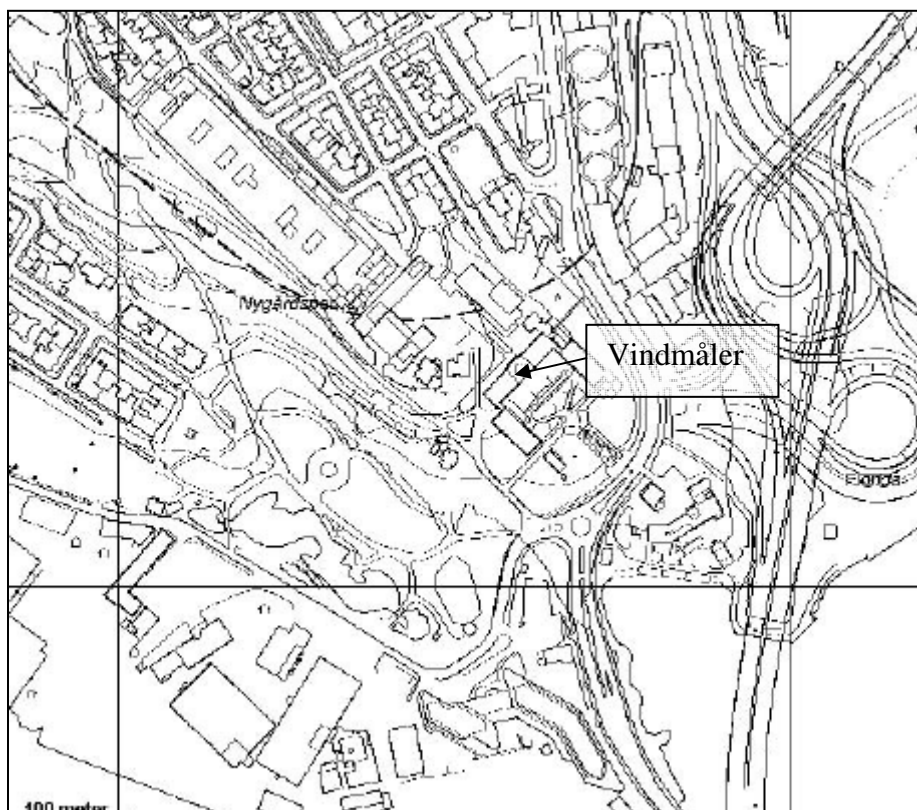
5. Referanseliste

1. Breivik, L.A., Kristjánsson, J.E., Midtbø, K.H., Røsting, B., and Sunde, J.: 1992, *Simulations of the 1 January 1992 North Atlantic Storm*. Norwegian Meteorological Institute, Techn. Rep. no.99, Oslo 1992
2. Aune, B. og Harstveit, K.: 1992, *The storm of January 1. 1992*. DNMI KLIMA 23/92. Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo.
3. Andresen, L. og Harstveit, K.: 1993, *Ekstremvindanalyse for Møre og Romsdal*, DNMI Klima, 07/93. Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo.
4. Andresen, L. og Harstveit, K.: 1993, *Fræna kommune. Kartlegging av vindhastigheter*, DNMI Klima, 06/93. Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo.
5. Harstveit, K., Andresen, L., og Sandvik, R.:1995, *Lokal vindforsterkning i le av bratt terreng. Befaring av steder med vindskader i Hadsel kommune i Vesterålen*, NBRs vindprosjekt, rapport nr 4.
6. NS 3479, 3.utg. 1990. *Prosjektering av bygningskonstruksjoner. Dimensjonerende laster*. Norges Byggstandardiseringsråd, NBR, Oslo.
7. NS 3491-4., 2001: *Prosjektering av konstruksjoner – Dimensjonerende laster – Del 4 Vindlaster*. Norges Byggstandardiseringsråd, NBR, Oslo.
8. Harstveit, K., og Sandvik, R.:2001, *L Behandling av topografi i ny norsk standard for vindlaster, NS3491-4*, DNMI Klima, 11/01. Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo.
9. Harstveit, K.: 2005, *Extreme value analysis of hindcast wind data from the maritime areas surrounding Norway*. met.no report no. 17/2005. Oslo 2005
10. Sandvik, R.: 1997, *Vindforsterkning på leside av bratt terreng. Analyse av vindmålinger i Fræna*, NBRs vindprosjekt, rapport nr 8.
11. Harstveit, K.: 1990, *Askøy bro. Sluttrapport for vindmålinger på Storebuneset 23.10.87 - 30.04.90*. Oppdragsrapport for Statens vegvesen. DNMI KLIMA 23/90. Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo.
12. Rye, H.: 1989, *Flytebru over Salhusfjorden. En vurdering av ekstreme vindhastigheter*. A/S Miljøplan, Trondheim 1989. Oppdragsrapport for Hordaland Vegkontor.
13. Schjølberg, P.: 1991, *Kvisti – Sammendrag og vindmålinger*. Oceanor, OCN-R91060, Trondheim 1991. Oppdragsrapport for Statens vegvesen.
14. <http://web.gfi.uib.no/veret/>
15. Harstveit, K.: 1990 *Ulriken FM/TV – sender. Klimalaster*. Notat 20.08.1991, DNMI. Utført for Teledirektoratet. Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo.
16. Regclim, 2005. *Norges klima om 100 år. Usikkerheter og risiko*. Tilgjengelig på <http://regclim.met.no/>

Appendiks

Appendiks 1 Beskrivelse av målesteder

Florida



Figur A.1 Geofysisk Institutt på Florida (bilde hentet fra <http://web.gfi.uib.no/>)

Måleren har alltid stått på taket av Geofysisk institutt (Figur A.1), men høyden er stor i forhold til bygningen slik at dette i praksis betyr at den står 41 m over marken, som igjen ligger 18 moh.

Flesland

Flesland flyplass ligger på et platå ut mot fjorden, ca. 50 moh., men med noe skog på vestsiden av rullebanen. Vindmåleren sto sentralt på flyplassen, vest for rullebanen i første del av perioden, men ble flyttet 1500 m til nordlige banes endepunkt i 1987. Figuren illustrerer at dette neppe betyr mye for ekstremvindforholdene, dataene (Figur A.1) tyder heller ikke på dette.



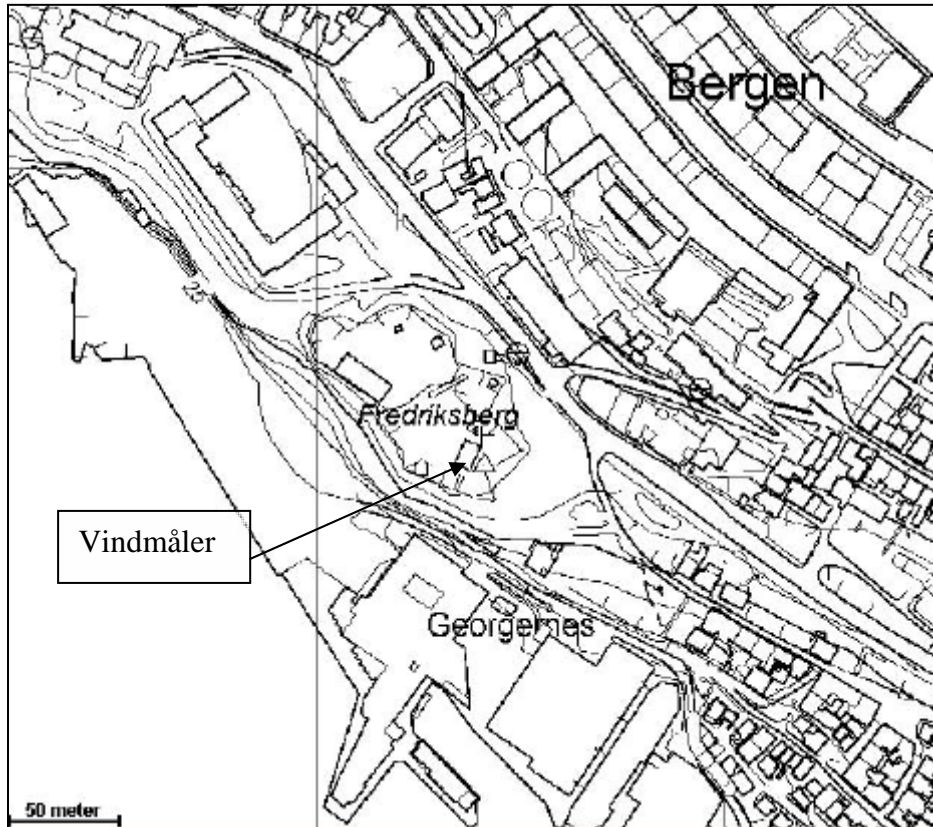
Figur A.2 Måleroppstilling på Flesland flyplass

Hellisøy fyr

Målermasten har stått på taket av fyrmesterboligen som ligger 22 moh., men har vært plassert slik at den trolig går fri av selve husene og har effektiv høyde på 10 m over terreng. Stasjonen hadde en lite tilfredsstillende anemograf i perioden 1957-1975 og disse data er ikke tatt med i analysen. Stasjonen ble automatisert i 1992, men hadde en del mangler de første årene. Stasjonen ble nedlagt i 2005, og ny stasjon er opprettet på Fedje.

Slåtterøy ble utrustet med vindmåler i 1986, måleren står på en høyde, 19 moh., litt ovenfor selve fyret. Stasjonen hadde ikke kastregistreringer før automatiseringen i 1997.

Fredriksberg



Figur A.5 Målested på Fredriksberg

Fredriksberg var offisiell værstasjon i Bergen fram til 1986. Stasjonen ligger 41 moh., og vindmåleren er hevet til 19 m over terreng for å komme fri av nærliggende bygninger.

Ulriken

Ulriken, 640 moh., er en del av et utstillingsvindu for Aandera Instruments. Stasjonen måler flere værparametre, blant annet vindkast, middelvind og vindretning. Stasjonen er utsatt for ising i form av underkjølte regndråper, og leverer ikke data i slike perioder. Dataene lar seg analysere gjennom en sammenligning med referansestasjon i perioder med temperatur over 0°C.



Figur A.6 Ulriken (bilde hentet fra <http://web.gfi.uib.no/>)

Rundemanen



Figur A.7 Kart over Rundemanen

Rundemanen (560 moh.) var værstasjon i værvarslingsnettet fra 1912 til 1936. Det er uklart hvor høy målemasten var, men siden det er en værvarslingsstasjon, og det ikke var store bygningsforstyrrelser på stedet, var den trolig ca. 10 m høy.

Skjold

Stasjonen lå i et bebyggd område 55 moh. med en del småhusbebyggelse tett inntil masten. Vindmålingene i 36 m høyde ble benyttet i denne analysen fordi 10 m nivået er for mye forstyrret av lokale bygninger.



Figur A.8 Plassering av Skjold målestasjon

Askøy - Storebuneset

I forbindelse med prosjekteringen av Askøybrua ble det i 1987-90 målt i en 30 m høy mast på Storebuneset, 14 moh. Målemasten var plassert på dette neset for mest mulig å fange opp sørvestlig til vestlig vind inn mot brua. Måleren var godt utrustet som automatstasjon med måling i tre nivåer av kontinuerlige 10 min midler, vindkast med varighet 1, 3, 5 og 60 s, turbulens intensitet og temperaturprofiler. Målingene ble utført i regi av Meteorologisk Institutt.



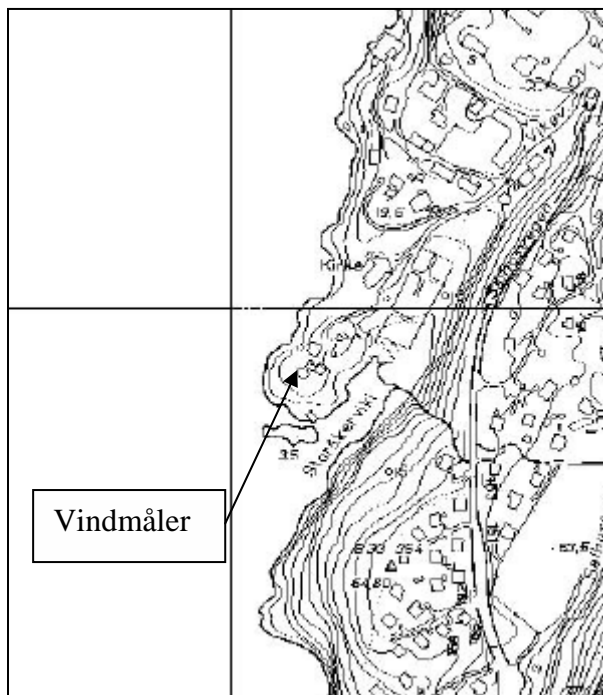
Figur A.9 Storebuneset ved Askøybrua

Nordhordlandsbrua

Målestedene Salhus – Kirkeneset (11 moh.), Klauvaneset (19 moh.) og Flatøy – Krossneset (1 moh.) Klauvaneset er ikke med direkte i analysene, men er indirekte med fordi den er en del av grunnlaget for samlet 50-års vind for brua.



Figur A.10 Nordhordlandsbrua med målesteder



Figur A.11 Salhus - Kirkeneset

Appendiks 2. Ekstremvindanalyse av langtidsserier

Vindhastigheten på en stasjon fordeles etter en Weibullfordeling, gitt ved

$$W(\alpha; \beta) = \alpha \beta^{-\alpha} U^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{U}{\beta}\right)^\alpha} \quad \text{lign. A1}$$

Her er U vindhastigheten og W sannsynlighetstettheten. For store U vil eksponentialleddet overta og $W \rightarrow 0$. β kalles skalaparameteren og avgjør nivået på vindhastigheten, mens α kalles formparameteren og avgjør hvor lang fordelingen er i halen i forhold til middelvinden. For fyrstasjoner ligger typisk $\alpha = 2$, mens innlandsstasjoner kan ha lav middelvind, men være lengre i halen fordi bare sporadiske stormtilfelle slår til. Da er $\alpha < 2$. Den ble funnet til 1.5 på Flesland og Bergen-Florida og 1.9 på Slåtterøy fyr og 2.4 på Hellisøy fyr ved statistisk tilpasning av alle vinddata på stasjonene.

Ved Gumbelanalyse [A1] legges det til grunn at halen til vindfordelingen kan skrives som:

$$p(X > X_0) = 1 - p(X \leq X_0) = 1 - F(X) = 1 - e^{-e^{-a(X-b)}} = 1 - e^{-e^{-y}} \quad \text{lign. A2}$$

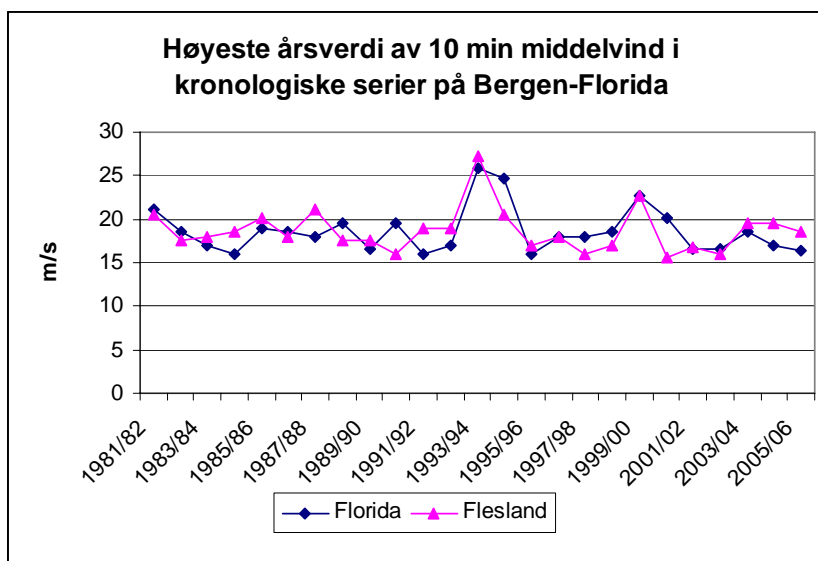
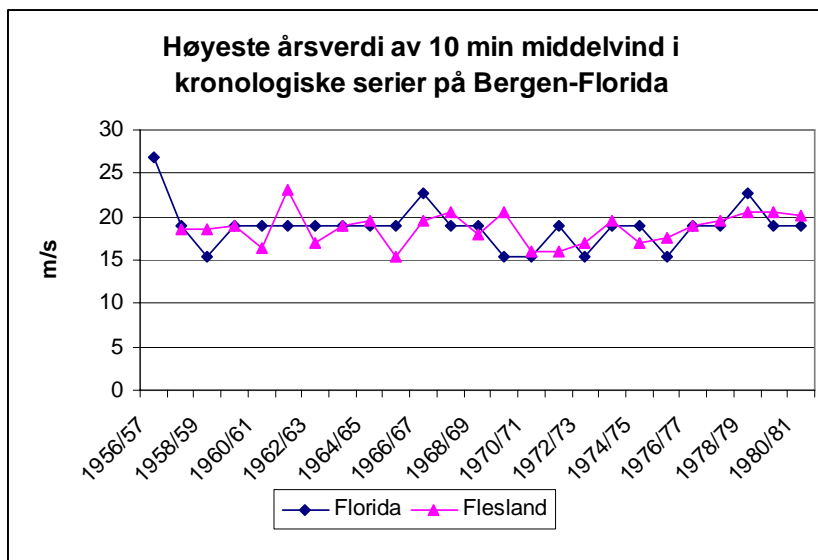
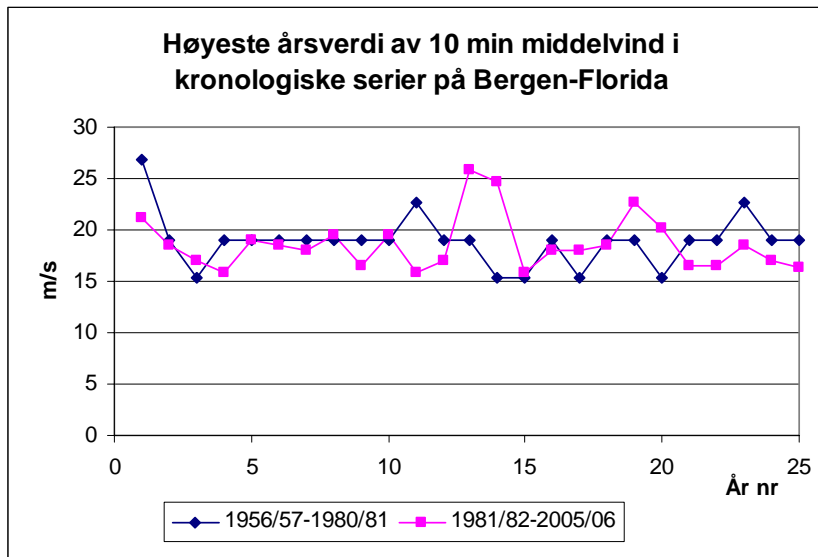
Her er P sannsynligheten for at en større, X , i et enkelt år skal overstige en gitt verdi, X_0 . $F(X)$ er da frekvensfordelingen for ikke-overstigelse. Den har form av en dobbelt eksponentiell funksjon med to parametre, a og b , som bestemmer fordelingen. Datamaterialet er en serie med årlige maksimalverdier og parameterne bestemmes ut fra tilpasning til den teoretiske fordelingen. Det er flere måter å gjøre dette på, bl.a., en grafisk metode, momentmetoden, minste kvadraters metode, sannsynlighetsmaksimeringsmetoden og Liebleins metode [A2]. Liebleins metode er av mange sett på som den beste, idet observasjonene vektet slik at kurven får størst vekt der den kan bestemmes best. Liebleins metode er mindre følsom for ”outliere”, som kan være feilregistreringer eller spesielt sjeldne begivenheter som tilfeldigvis har forekommet i tidsserien. Liebleins metode er lagt til rette for programmering av Harris [A3], og er lagt inn som EXCEL-makrofunksjon av Harstveit.

I denne rapporten er Liebleins metode benyttet. I tillegg er det benyttet en parameter som tar hensyn til konvergens av halen. Ved $a=2.0$ anbefales $X=U^2$ i lign. A2. For $a=1.5$ kan det da anbefales å bruke $X=U^{1.5}$. Derved er 1.5 benyttet på Bergen-stasjonene og 2.0 benyttet på fyrstasjonene. Dette gav også det beste visuelle inntrykket. For vindkastene, ble imidlertid 2.0 benyttet for alle stasjonene, her gav 1.5 dårlig visuelt inntrykk på Bergensstasjonene. Det er også rimelig å tro at kastene har en noe mer utpreget omnifordeling enn middelvinden, og at dette er årsaken til at fordelingen er mindre skjev på innlandstasjonene.

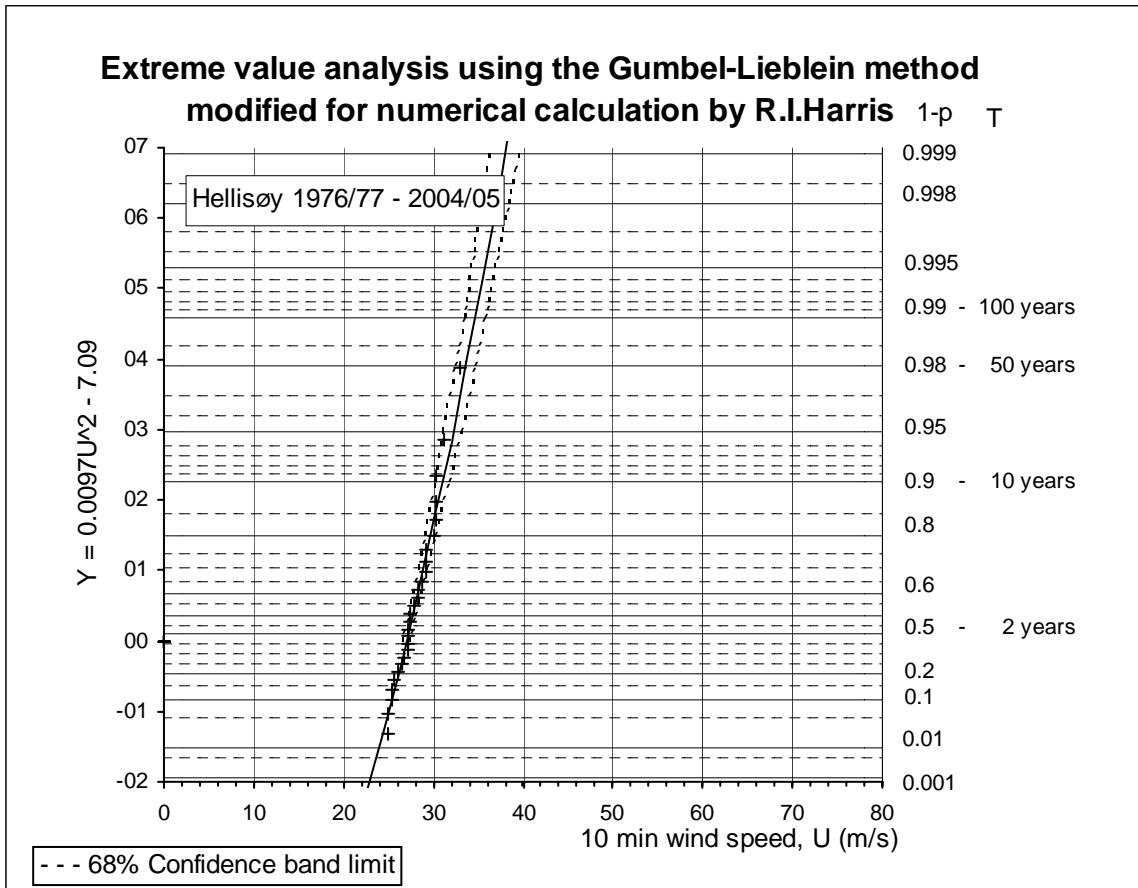
Figur A1 til A8 viser plott av disse kjøringene. Figurene gir sannsynlighet for årlig overskridelse, p og tilsvarende returperiode, $p=1/T$ som resultat. Kurvene viser hvorledes den statistiske tilpasningen er til dataene.

Tabell A.1 Tidsserier for godkjente årsmaksima av 10 min middelvind på fire stasjoner i perioden 1957/58 – 2005/06

	10 min middelvind				3 s vindkast			
	Hellisøy	Slåtterøy	Flesland	Florida	Hellisøy	Slåtterøy	Flesland	Florida
1957/58	x	x	18.5	x	x	x	31.4	x
1958/59	x	x	18.5	x	x	x	30.9	x
1959/60	x	x	19.0	x	x	x	29.3	x
1960/61	x	x	16.5	x	x	x	28.3	x
1961/62	x	x	23.1	x	x	x	37.0	x
1962/63	x	x	17.0	x	x	x	29.3	x
1963/64	x	x	19.0	x	x	x	33.4	x
1964/65	x	x	19.5	x	x	x	37.0	x
1965/66	x	x	15.4	x	x	x	25.2	x
1966/67	x	x	19.5	x	x	x	34.0	x
1967/68	x	x	20.6	x	x	x	35.0	x
1968/69	x	x	18.0	x	x	x	32.4	x
1969/70	x	x	20.6	x	x	x	34.5	x
1970/71	x	x	15.9	x	x	x	26.7	x
1971/72	x	x	15.9	x	x	x	25.2	x
1972/73	x	x	17.0	x	x	x	28.3	x
1973/74	x	x	19.5	x	x	x	28.3	x
1974/75	x	x	17.0	x	x	x	26.2	x
1975/76	x	x	17.5	x	x	x	28.8	x
1976/77	30.0	x	19.0	x	38.5	x	32.4	x
1977/78	27.5	x	19.5	x	37.0	x	35.0	x
1978/79	26.7	x	20.6	x	35.5	x	30.9	x
1979/80	28.3	x	20.6	x	38.0	x	29.3	x
1980/81	29.2	x	20.1	x	36.5	x	32.4	x
1981/82	28.8	x	20.6	21.1	40.6	x	32.9	36.0
1982/83	27.3	x	17.5	18.5	36.0	x	27.3	34.5
1983/84	27.8	x	18.0	17.0	36.0	x	32.9	32.9
1984/85	27.3	x	18.5	15.9	37.6	x	25.2	28.3
1985/86	27.3	x	20.1	19.0	37.0	x	29.8	32.4
1986/87	25.7	31.4	18.0	18.5	34.5	x	25.7	27.3
1987/88	30.3	26.7	21.1	18.0	41.2	x	31.9	31.9
1988/89	30.4	27.8	17.5	19.5	x	x	27.8	35.0
1989/90	29.3	27.3	17.5	16.5	x	x	25.7	29.3
1990/91	27.3	24.7	15.9	19.5	37.6	x	25.7	30.9
1991/92	30.3	25.7	19.0	15.9	42.7	x	30.9	30.9
1992/93	x	27.8	19.0	17.0	x	x	30.9	33.4
1993/94	x	35.0	27.3	25.8	x	x	41.2	41.2
1994/95	32.9	26.2	20.6	24.7	43.0	x	32.9	38.6
1995/96	24.9	21.1	17.0	15.9	38.5	x	22.6	29.8
1996/97	31.3	27.3	18.0	18.0	38.8	x	31.4	34.5
1997/98	25.5	21.6	15.9	18.0	31.7	x	23.2	25.7
1998/99	25.4	24.1	17.0	18.5	34.8	32.1	30.9	30.9
1999/00	29.1	22.5	22.6	22.6	36.8	38.6	33.6	36.0
2000/01	26.0	22.1	15.5	20.1	32.3	33.9	24.3	27.8
2001/02	26.5	26.7	16.8	16.5	33.1	35.8	25.6	24.7
2002/03	24.9	28.0	15.9	16.5	31.2	34.1	24.7	24.7
2003/04	27.3	24.2	19.5	18.5	35.5	33.3	29.8	27.3
2004/05	28.4	26.1	19.5	17.0	36.9	32.2	29.3	27.8
2005/06	x	23.3	18.5	16.3	x	32.3	26.8	27.1

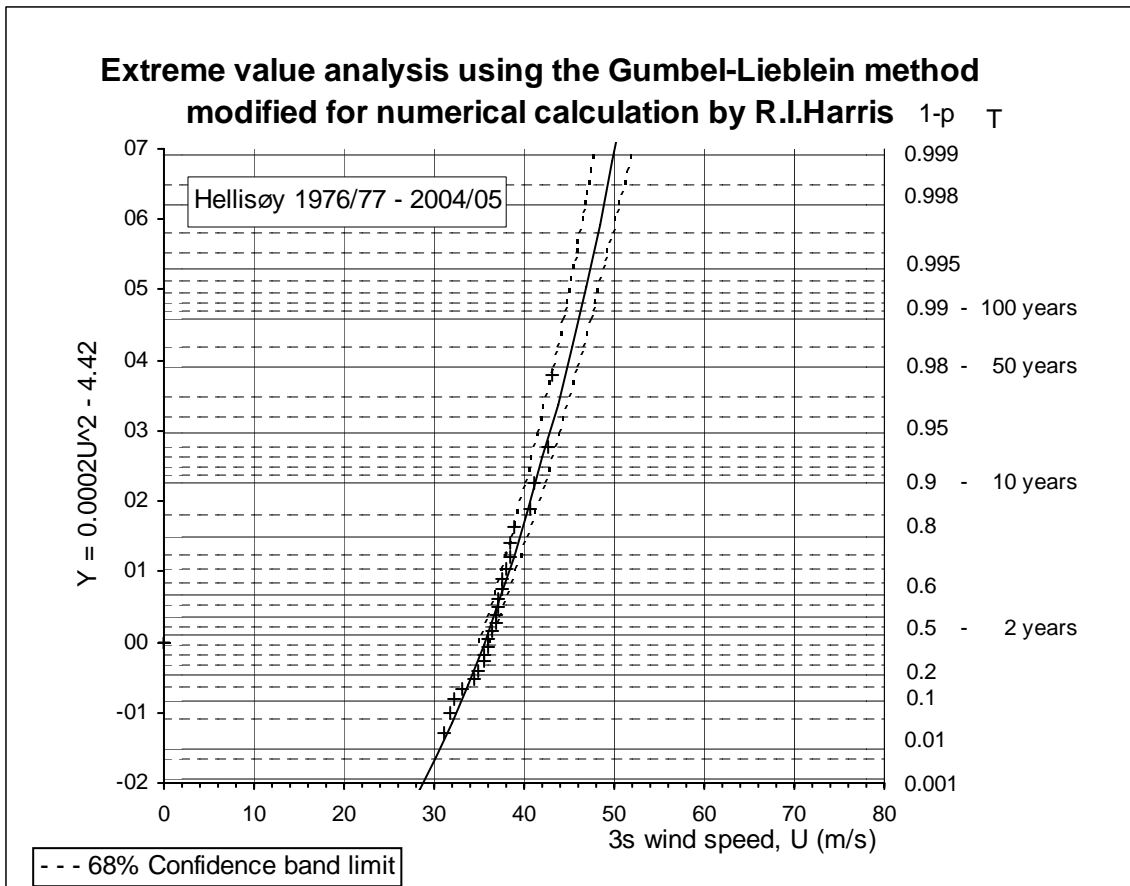


Figur A.14
 Årsekstremer fra Flesland og Florida



p	0.5	0.2	0.1	0.05	0.04	0.02	0.01	
T	2	5	10	20	25	50	100	years
U	27.7	29.8	31.0	32.2	32.6	33.7	34.7	m/s

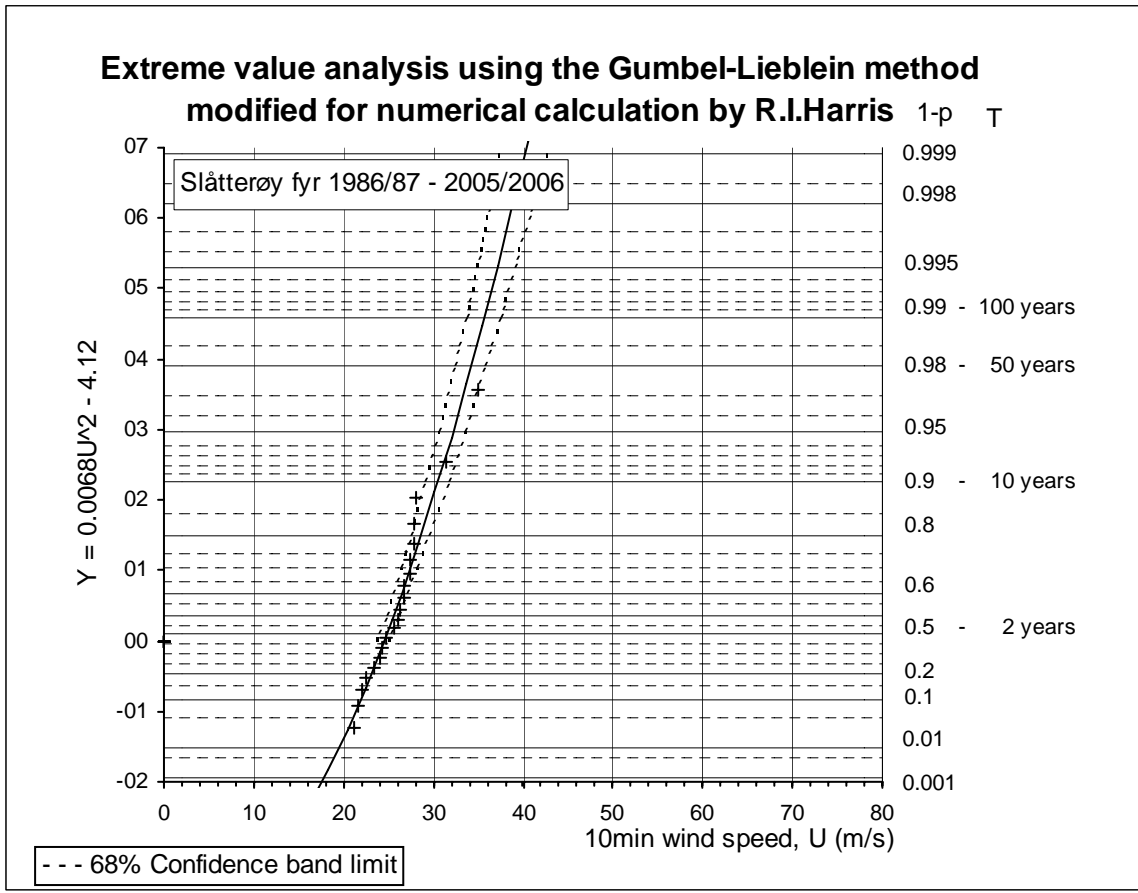
Figur A.15
Ekstremvindanalyse av Hellisøy fyr – 10 min middelvind



p	0.5	0.2	0.1	0.05	0.04	0.02	0.01	
T	2	5	10	20	25	50	100	Years
U	36.7	39.6	41.3	42.9	43.3	44.7	46.0	m/s

Figur A.16

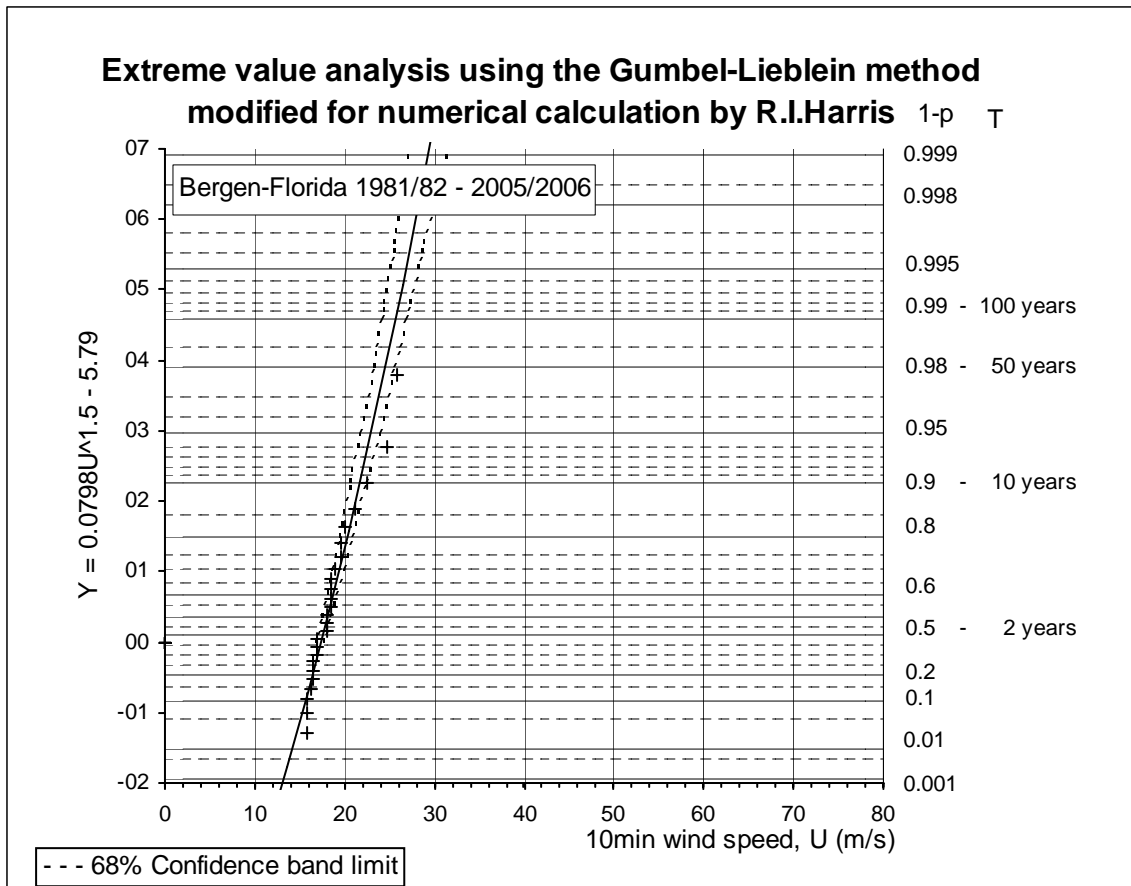
Ekstremvindanalyse av Hellisøy fyr – 3 s vindkast



p	0.5	0.2	0.1	0.05	0.04	0.02	0.01	
T	2	5	10	20	25	50	100	Years
U	25.6	28.7	30.5	32.2	32.7	34.3	35.7	m/s

Figur A.17

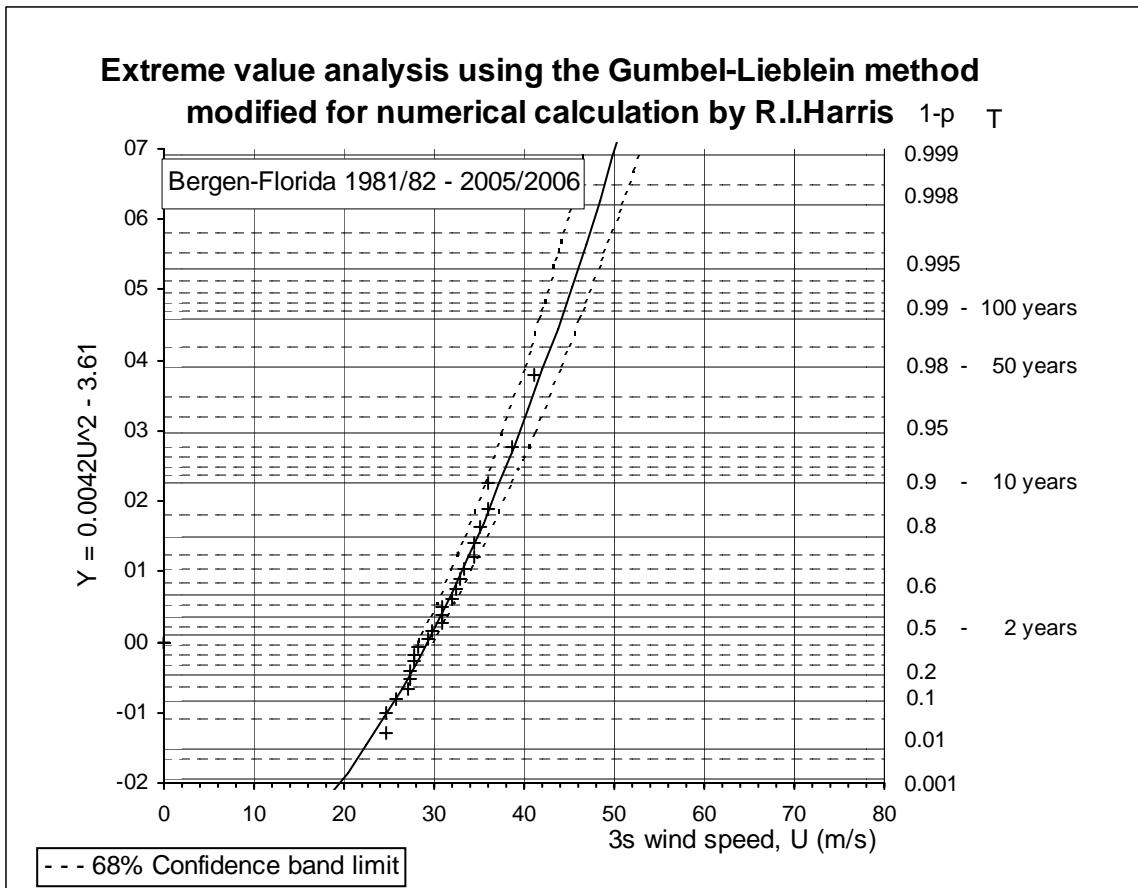
Ekstremvindanalyse av Slåtterøy fyr – 10 min middelvind



p	0.5	0.2	0.1	0.05	0.04	0.02	0.01	
T	2	5	10	20	25	50	100	Years
U	18.1	20.3	21.7	22.9	23.3	24.5	25.7	m/s

Figur A.18

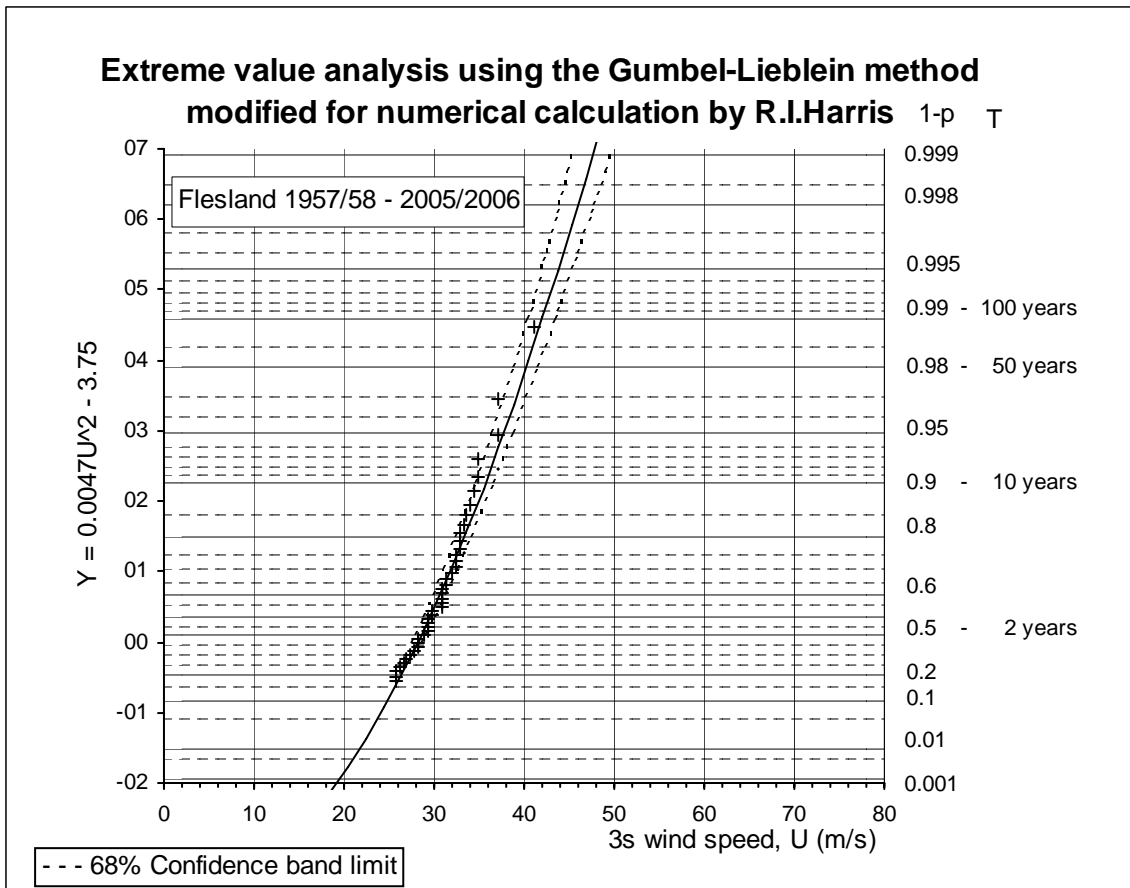
Ekstremvindanalyse av Bergen - Florida – 10 min middelvind



p	0.5	0.2	0.1	0.05	0.04	0.02	0.01	
T	2	5	10	20	25	50	100	Years
U	30.7	34.8	37.3	39.5	40.2	42.2	44.1	m/s

Figur A.19

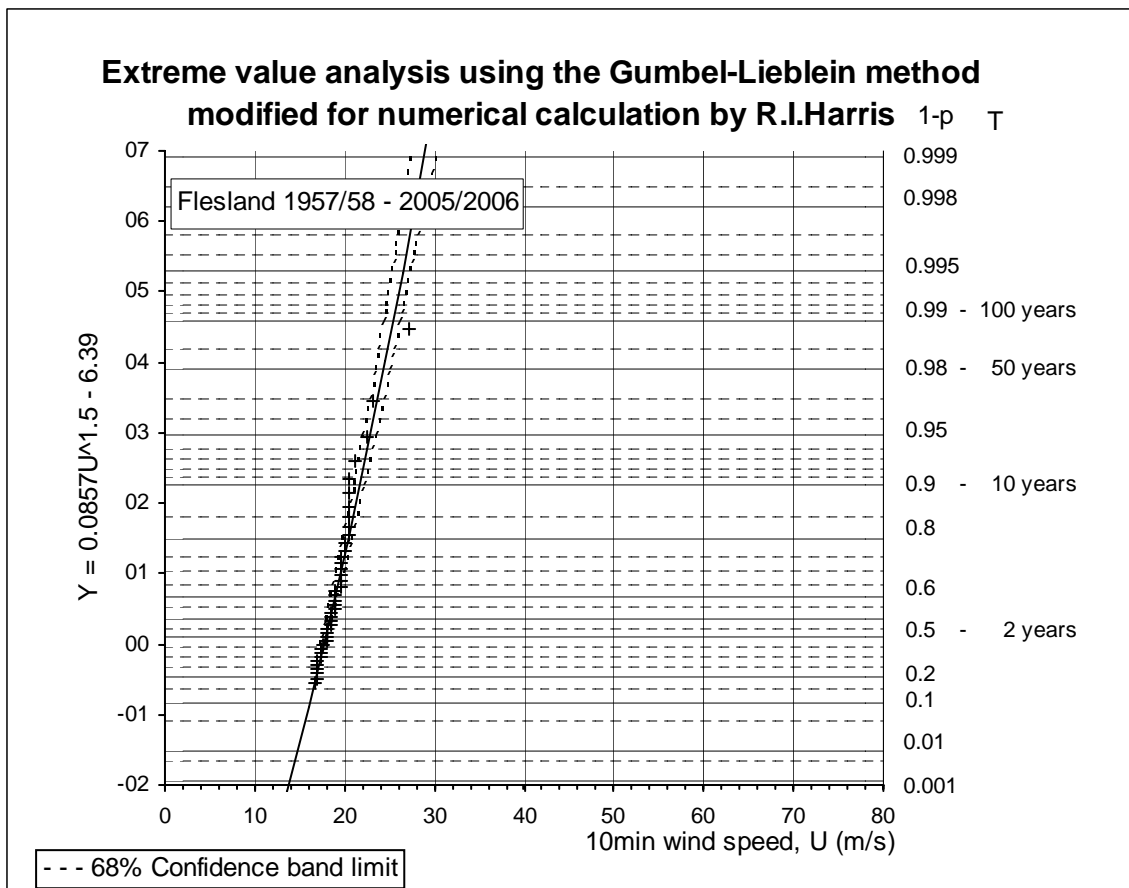
Ekstremvindanalyse av Bergen - Florida – 3 s vindkast



p	0.5	0.2	0.1	0.05	0.04	0.02	0.01	
T	2	5	10	20	25	50	100	years
U	29.6	33.4	35.7	37.8	38.4	40.3	42.1	m/s

Figur A.20

Ekstremvindanalyse av Flesland – 10 min middelvind



p	0.5	0.2	0.1	0.05	0.04	0.02	0.01	
T	2	5	10	20	25	50	100	years
U	18.4	20.4	21.7	22.8	23.2	24.3	25.4	m/s

Figur A.21

Ekstremvindanalyse av Flesland – 3 s vindkast

Referanser

- A1.Gumbel, E.J., 1958: *Statistics of extremes*, Colombia University Press, New York, 1958.
- A2.Lieblein, J., 1974: *Efficient Methods of Extreme-Value Methodology*, National Bureau of Standards, NBSIR 74-602, Washington, 1974.
- A3.Harris, R.I., 1996: *Gumbel re-visited - a new look at extreme value statistics applied to wind speeds*, Journal of Industrial Aerodynamics, 59. p.1-22, 1996.

Appendiks 3 Ekstremvindberegninger av kortere vindserier ved hjelp av referansestasjon

Eksempel. Sammenligning Hellisøy fyr – Rundemanen

Fra tidligere analyser har vi beregnet ekstremvindforholdene på Hellisøy fyr ut fra avleste årsmaksima fra 1976/77 til 2004/05. Samtidig er de høyeste årlige verdier i 8 sektorer avlest. Fra disse tas det ut vind i sektor sør og sørvest som er sektorene som gir sterk vind på Rundemanen.

Episodene er uavhengig sortert i synkende rekkefølge innenfor hver sektorgruppe, og for kast og middelvind hver for seg. Alle episoder som ikke har data fra begge stasjonene blir automatisk strøket også på den stasjonen som da måtte ha data. Med uavhengig sortering menes at samme storm kan gi forskjellig nummerrekkefølge på stasjonene.

I analysen beregnes middel av de 5, 10 og 30 høyeste verdier av 10 min middelvind på begge stasjonene innenfor hver sektorgruppe, s. Deretter dannes det overføringskoeffisienter, $k_{HR}(s)$ fra Hellisøy til Rundemanen ved å dividere middelverdiene på hverandre. Tilsvarende omregning til 3 s vindkast på Rundemanen gir faktorer fra 10 min middelvind på Hellisøy til 3 s vindkast i Rundemanen.

$$k_{HR}(s) = \frac{U_R(s)}{U_H(s)} \quad \text{lign. A4}$$

Referansestasjonen har utfra lang rekke fått beregnet 50 -årsverdi av 10 min middelvind, U_{50H} . Årsekstremene for hver av sektorgruppene er plukket ut fra avlest serie og det er dannet et middel av de 5, 10 og 30 høyeste årsekstremene. Uavhengig av dette, men på tilsvarende måte, er midler dannet av totalekstremene. Deretter er det dannet overføringstall fra totalekstremen på Hellisøy til sektorgruppeekstremene ved å dividere disse midler på hverandre.

$$U_{50H}(s) = s_H(s) \cdot U_{50H} \quad \text{lign. A5}$$

Ved nå å anta at forholdstallet mellom stasjonene i hver sektor er det samme for kort rekke som for lange rekke, har vi:

$$U_{50R}(s) = U_{50H}(s) \cdot k_{HR}(s) = s_H(s) \cdot k_{HR}(s) \cdot U_{50H} \quad \text{lign. A6}$$

Til slutt går man gjennom en prosedyre for å beregne sektoruavhengig 50-års verdi på Rundemanen, U_{50R} ved

$$U_{50R} = f(U_{50R}(s_1), U_{50R}(s_2), \dots) \quad \text{lign. A7}$$

For å finne U_{50R} benyttes en iterasjonsteknikk der man gjetter på 50-årsverdien ($p=0.02$). Hver sektorgruppe får da sin delsannsynlighet. Ved å anta uavhengighet (ved korrelerte

sektorer er dette en konservativ antagelse) summeres delsannsynlighetene og summen skal være 0.02.

Tabell A2 viser sammenligning av data fra Rundemanen med Hellisøy som referansestasjon der nevnte prosedyre er fulgt. Tabellen gir 47 m/s og 37 m/s som 50-års ekstremverdier av henholdsvis 3 s vindkast og 10 min middelvind. De øvrige analysene er gitt i Tabell A.3 til A.8.

Tabell A.2

Ekstremvindanalyse av kortidsdata fra Rundemanen med Hellisøy som referansestasjon

Hellisøy fyr 1931 – 37	S 160 - 200°		SV 210 - 250°			
1	33		23			
2	31		23			
3	30		22			
4	29		22			
5	29		22			
U5(10 min)	30.4		22.4			
Sektorandel - langtidsmiddel	0.98		0.88			
Rundemanen 1931 – 37	S		SV			
	U(10min)	U(3s)	U(10min)	U(3s)		
1	35	43	28	33		
2	35	42	27	32		
3	32	39	26	32		
4	31	39	25	32		
5	31	38	24	31		
U5	32.8	40.2	26.0	32.0		
Gf	1.23		1.23			
Forholdstall, R/H	1		2			
U5(10 min/10 min)	1.08		1.16			
U5(3s/10 min)	1.32		1.43			
Sektorielle 50 - årsverdier	1		2			
50-år Hellisøy fyr	33.3		29.9			
50-år Rundeman. 10 min	35.9		34.7			
50-år Rundeman. 3s	44.0		42.7			
Resultat av ekstremverdiberegninger, alle retninger medregnet						50-års verdi
Hellisøy fyr (10 min middelvind basert på lang rekke):						33.8 m/s
Rundemanen (10m min middelvind med Hellisøy fyr som referansestasjon):						37 m/s
Rundemanen (3s vindkast med Hellisøy fyr som referansestasjon):						45 m/s

Tabell A.3

Ekstremvindanalyse av kortidsdata fra Fredriksberg med Florida som referansestasjon

Florida	Ø		SØ		S - V		NV	
01.01.82-28.02.85	040 - 100°		110 - 170°		180 - 290°		300 - 030°	
1	17.0		21.1		13.9		16.5	
2	16.5		18.5		13.9		14.9	
3	15.9		17.0		13.4		14.4	
4	15.4		16.5		12.9		14.4	
5	14.9		15.9		12.3		14.4	
U5(10 min)	15.9		17.8		13.3		14.9	
Sektorandel - Langtidsmiddel	0.81		0.91		0.70		0.93	
Fredriksberg	Ø		SØ		S - V		NV	
01.01.82-28.02.85	U(10min)	U(3s)	U(10min)	U(3s)	U(10 min)	U(3s)	U(10 min)	U(3s)
1	15.4	23.7	21.6	30.4	17.5	26.2	19.0	33.4
2	14.4	22.6	20.6	29.8	17.0	25.2	17.0	28.3
3	14.4	21.1	19.0	27.8	15.4	24.7	16.5	26.2
4	13.4	20.6	19.0	27.3	14.9	24.2	15.9	26.2
5	13.4	20.6	19.0	26.8	14.9	23.7	15.4	26.2
U5	14.2	21.7	19.8	28.4	15.9	24.8	16.8	28.1
Gf	1.53		1.43		1.56		1.67	
Forholdstall, Fr/Fl	1		2		3		4	
U5(10 min/10 min)	0.89		1.11		1.20		1.12	
U5(3s/10 min)	1.36		1.60		1.87		1.88	
Sektorielle 50 - årsverdier	1		2		3		4	
50-år Florida	19.8		22.3		17.0		22.9	
50-år Fredriksb. 10 min	17.6		24.9		20.4		25.7	
50-år Fredriksb. 3s	26.9		35.6		31.8		43.0	
Resultat av ekstremverdiberegninger, alle retninger medregnet							50-års verdi	
Florida (10 min middelvind basert på lang rekke):							24.5 m/s	
Fredriksberg (10m min middelvind med Florida som referansestasjon):							26.3 m/s	
Fredriksberg (3s vindkast med Florida som referansestasjon):							43.1 m/s	

Tabell A.4

Ekstremvindanalyse av kortidsdata fra Skjold med Flesland som referansestasjon

Flesland	SØ		S		SV - V		NV	
28.01.83-19.03.84	110 - 150°		160 - 200°		200 - 290°		300 - 340°	
1	17.5		17.0		14.9		18.0	
2	16.5		15.9		13.9		15.9	
3	12.9		15.9		13.4		14.9	
4	12.9		14.9		13.4		13.9	
5	12.9		14.9		12.9		13.9	
U5(10 min)	14.5		15.7		13.7		15.3	
Sektorandel - Langtidsmiddel	0.86		0.90		0.92		0.97	
Skjold	SØ		S		SV - V		NV	
28.01.83-19.03.84	U(1time)	U(3s)	U(1time)	U(3s)	U(1time)	U(3s)	U(1time)	U(3s)
1	11.7	22.6	13.8	25.8	10.7	24.2	15.2	29.4
2	11.7	21.6	13.2	24.8	10.6	22.6	14.3	26.6
3	11.4	20.8	13.1	23.8	9.1	22.4	12.7	24.2
4	10.8	20.2	11.7	23.0	8.8	21.6	12.1	24.0
5	10.1	18.6	11.4	22.4	7.5	21.0	12.0	24.0
U5	11.1	20.8	12.6	24.0	9.3	22.4	13.3	25.6
Gf	1.86		1.90		2.39		1.93	
Forholdstall, S/F	1		2		3		4	
U5(1time/10 min)	0.77		0.80		0.68		0.87	
U5(3s/10 min)	1.43		1.52		1.63		1.67	
Sektorielle 50 - årsverdier	1		2		3		4	
50-år Flesland	21.0		21.8		22.4		23.5	
50-år Skjold 10 min	17.3		18.9		16.4		21.9	
50-år Skjold 3s	29.9		33.3		36.5		39.4	
Resultat av ekstremverdberegninger, alle retninger medregnet							50-års verdi	
Flesland (10 min middelvind basert på lang rekke):							24.3 m/s	
Skjold (10m min middelvind med Flesland som referansestasjon):							22.0 m/s	
Skjold (3s vindkast med Flesland som referansestasjon):							39.9 m/s	

Tabell A.5

Ekstremvindanalyse av kortidsdata fra Ulriken med Florida som referansestasjon

Florida 01.01.04-28.02.06	Alle 0 - 360°			
1	16.9			
2	16.8			
3	16.3			
4	16.2			
5	15.8			
U5(10 min)	16.4			
Sektorandel - langtidsmiddel	1.00			
Ulriken 01.01.04-28.02.06	Alle U(10min) U(3s)			
1	36.5 46.0	Interpolert kastverdi		
2	35.5 44.7			
3	30.4 41.0			
4	29.1 39.5			
5	28.4 39.5			
U5	32.0 42.1			
Gf	1.32			
Forholdstall, U/F	1			
U5(10 min/10 min)	1.95			
U5(3s/10 min)	2.57			
Sektorielle 50 - årsverdier	1			
50-år Florida	24.5			
50-år Ulriken 10 min	47.8			
50-år Ulriken 3s	63.0			
Resultat av ekstremverdberegninger, alle retninger medregnet				50-års verdi
Florida (10 min middelvind basert på lang rekke):				24.5 m/s
Ulriken (10m min middelvind med Florida som referansestasjon):				48.0 m/s
Ulriken (3s vindkast med Florida som referansestasjon):				63.0 m/s

Tabell A.6

Ekstremvindanalyse av kortidsdata fra Salhus med Hellisøy som referansestasjon

Hellisøy fyr 12.1972 - 01.1974	S 160 - 200°			
1	23			
2	26			
3	25			
4	28			
5				
U5(10 min)	20.4			
Sektorandel - langtidsmiddel	0.98			
Sahus - Kirkeneset 12.1972 - 01.1974	S U(1time)			
1	21			
2	18			
3	18			
4	20			
5				
U5	15.3			
Gf				
Forholdstall, S/H	1			
U5(1 time/10 min)	0.75			
U5(3s/10 min)				
Sektorielle 50 - årsverdier	1			
50-år Hellisøy fyr	33.3			
50-år Sahus – Kirk.nes. 10min	26.8			
50-år Sahus – Kirk.nes. 3s				
Resultat av ekstremverdiberegninger, alle retninger medregnet				50-års verdi
Hellisøy fyr (10 min middelvind basert på lang rekke):				33.8 m/s
Sahus - Kirkeneset (10m min middelvind med Hellisøy fyr som referansestasjon):				26.8 m/s
Sahus - Kirkeneset (3s vindkast med Hellisøy fyr som referansestasjon):				

Tabell A.7

Ekstremvindanalyse av kortidsdata fra Flatøy med Hellisøy som referansestasjon

Hellisøy fyr 09.1982 - 03.1983	S 160 - 200°			
1	26			
2	24			
3	23			
4	23			
5				
U5(10 min)	19.0			
Sektorandel - Langtidsmiddel	0.98			
Flatøy - Krossneset 09.1982 - 03.1983	S U(1/2time)			
1	18			
2	18			
3	15			
4	15			
5				
U5	13.1			
Gf				
Forholdstall, F/H	1			
U5(1/2 time/10 min)	0.69			
U5(3s/10 min)				
Sektorielle 50 - årsverdier	1			
50-år Hellisøy fyr	33.3			
50-år Flatøy – Kross. 10 min	24.2			
50-år Flatøy – Kross. 3s				
Resultat av ekstremverdberegninger, alle retninger medregnet				50-års verdi
Hellisøy fyr (10 min middelvind basert på lang rekke):				33.8 m/s
Flatøy - Krossneset (10m min middelvind med Hellisøy fyr som referansestasjon):				24.2 m/s
Flatøy - Krossneset (3s vindkast med Hellisøy fyr som referansestasjon):				

Tabell A.8*Ekstremvindanalyse av kortidsdata fra Kvistein med Hellisøy som referansestasjon*

Hellisøy			SØ	S - SV	
09.1989 - 04.1981			110 - 160°	170 - 230°	
1			19.0	24.7	
2			16.5	20.6	
3			15.4	20.6	
4			15.4	20.6	
5			13.4	18.0	
U5(10 min)			15.9	20.9	
Sektorandel - langtidsmiddel			0.94	0.98	
Kvistein			SØ	S - SV	
09.1989 - 04.1981			U(10 min)	U(10 min)	U(3s)
1			14.1	16.1	29.3
2			11.0	14.5	27.1
3			10.4	14.0	26.0
4			10.4	13.0	25.7
5			10.1	12.4	24.3
U5			11.2	14.0	26.5
Gf				1.89	
Forholdstall, K/H			3	4	
U5(10 min/10 min)			0.70	0.67	
U5(3s/10 min)				1.27	
Sektorielle 50 - årsverdier			3	4	
50-år Hellisøy			31.8	33.1	
50-år Kvistein 10 min			22.3	22.2	
50-år Kvistein 3s			42.7	42.0	
Resultat av ekstremverdberegninger, alle retninger medregnet				50-års verdi	
Hellisøy (10 min middelvind basert på lang rekke):				33.8 m/s	
Kvistein (10m min middelvind med Hellisøy som referansestasjon):				23.1 m/s	
Kvistein (3s vindkast med Hellisøy som referansestasjon):				44.0 m/s	