

METEOROLOGI

Bok 3



Michael Katz
Nedre Romerike Flyklubb
michael@katz.no
5. august 2009

Innhold

1	Trykk og temperatur	3
1.1	Trykkehøydemåleren	3
2	Stabilitetsforhold	3
3	Skyer	4
3.1	Skydannelse	4
3.2	Dannelsen av cumulonimbus/torden	5
3.3	Tordenværstyper	5
4	Tåke	6
5	Ising	6
5.1	Isingenintensitet	7
5.2	Faktorer som bestemmer flyets evne til å fange vanndråper	7
5.3	Isingstrukturer	7
5.4	Klassifikasjon av ising	7
6	Vind	8
6.1	Turbulens	8
7	Fronter	8
7.1	Varmfront	8
7.2	Kaldfront	9
7.3	Okklusjon	9
7.4	Flygeforhold i varme og kalde luftmasser	9
8	METAR/TAF	9

1 Trykk og temperatur

- **Lufttemperatur:** Faller med ca. $0,65^{\circ}\text{C}$ per 100 m eller 2°C per 1000 fot opp til tropopausen. Temperatur konstant på ca. -57°C fra tropopausen (-70 til -80°C ved høy troposfære og -40 til -45°C ved lav).
- **Vertikal trykkfordeling:** Trykket varierer raskere med høyden nær bakken enn i større høyde. F.eks. 1 hPa per 8 m ved bakken og 1 hPa per 16 m ved ca. 6700 m høyde.
- **Lufttrykk i Norge** ligger vanligvis mellom 950 og 1040 hPa.
- **Buys-Ballots vindlov:** Peker mot lavt trykk når venstre arm peker noe foran deg og til venstre, og mot høyt trykk når høyre arm noe bak og til høyre. Forutsetter at du har vinden i ryggen og er på nordlige halvkule.
- **Høytrykk** (antisyklon): Isobarer langt fra hverandre. Ofte svak vind med urviser ut fra sentrum. Synkende luftmasser med få skyer og som oftest bra VFR.
- **Høytrykkskil (høytrykksrygg):** Utvidelse av høytrykk mot en retning. Hurtig bevegelse. Ofte lite vind og skyer.

1.1 Trykkehøydemåleren

- **QNE:** Lufttrykk innstilt på standardtrykket 1013,25 hPa, og viser høyden over bakken i standardatmosfæren. Brukes ved flyging på flygenivå.
- **QFE:** Lufttrykk innstilt på flyplassens trykk, og viser høyden over flyplassen.
- **QNH:** Lufttrykk innstilt på flyplassens trykk ved havnivå etter standardatmosfæren, og viser høyden flyplassen ligger på. Brukes ved flyging nær flyplassen.
- **QFF:** Lufttrykk innstilt på lokalt trykk omregnet til havnivå. Brukes kun i meteorologisk sammenheng
- **Feilvisning pga. temperatur:** Sann høyde er *mindre* når kaldere enn 15°C , *større* når varmere enn 15°C . Legg inn sikkerhetsmargin ved flyging i kaldt vær.
- **Feilvisning pga. trykk:** Sann høyde er *mindre* når trykk er lavere enn 1013,25 hPa, *større* når trykk er høyere enn 1013 hPa. Still QNH eller QFE med jevne mellomrom under langvarig flyging.

2 Stabilitetsforhold

- **Tørradiabatisk temperaturforandring:** Umettet luft heves/senkes, 1°C per 100 m.
- **Fuktadiabatisk temperaturforandring:** Mettet luft heves/senkes, $0,5^{\circ}\text{C}$ per 100 m.
- **Absolutt stabilitet:** Temperaturfall i luftmassen *mindre* enn den fuktadiabatiske kurve (uansett fuktighet). Endringskurven ligger til høyre for fuktadiabaten. Luftmengde som heves/senkes, blir kaldere/varmere enn luften omkring.
- **Absolutt instabilitet:** Temperaturfall med høyden er *større* enn tørradiabaten (uansett fuktighet). Endringskurven ligger til venstre for tørradiabaten. Luftmengde som heves får mindre temperaturfall enn luften rundt, og stiger videre.
- **Betinget stabilitet:** Temperaturfall med høyden ligger mellom tørradiabaten og fuktadiabaten (*umettet*).
- **Betinget instabilitet:** Temperaturfall med høyden ligger mellom tørradiabaten og fuktadiabaten (*mettet*).

3 Skyer

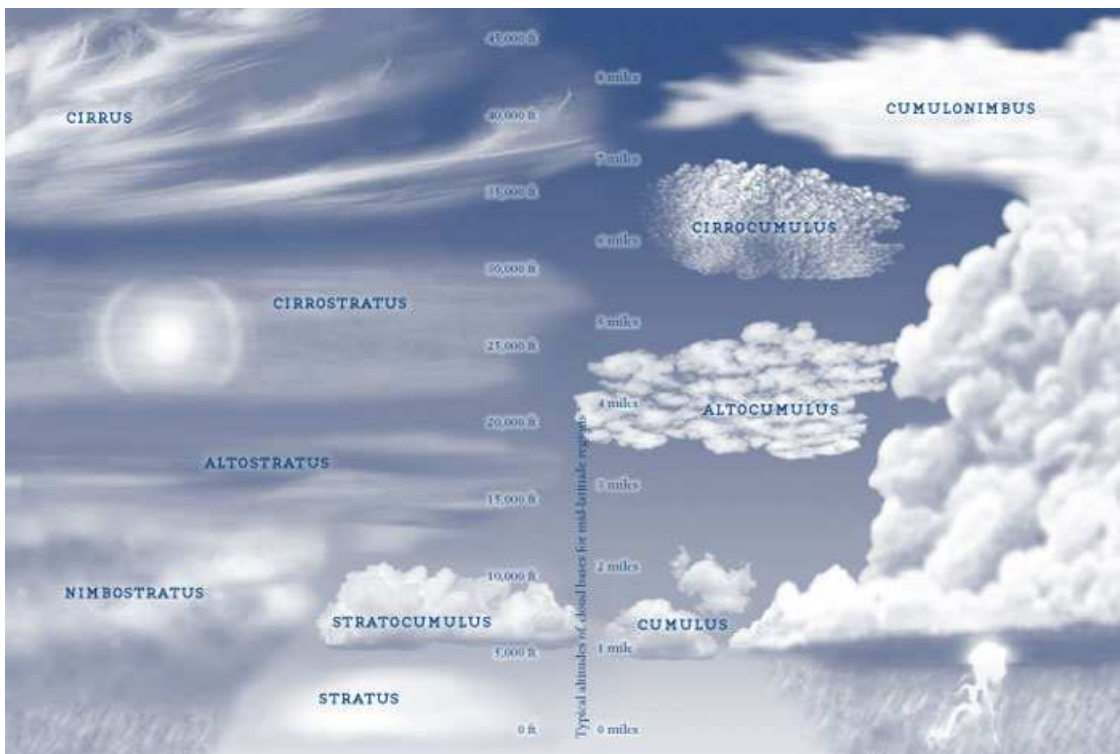
Vanndråper i skyer kan ha et tversnitt på 10-20 μm , med tilfeller opp til 100 μm . Hastigheten til vanndråper kan være opptil 8 m/s, og nydannede vanndråper kan ha temperatur ned mot -40°C .

- **Skymengde:** Few = $\frac{1}{8}$ til $\frac{2}{8}$, scattered = $\frac{3}{8}$ til $\frac{4}{8}$, broken = $\frac{5}{8}$ til $\frac{7}{8}$, overcast = $\frac{8}{8}$.
- **Skyhøyde:** Angis i intervaller på 30 m eller 100 fot. Skyhøyden til cumulusskyer kan regnes ut med

$$h_{\text{Cu}} = 125(T - T_{\text{dogg}})$$

hvor T er lufttemperaturen og T_{dogg} er doggpunktstemperaturen.

- **Skytyper:** Huskeregel: Skynavn som starter på *Cirr* ligger høyest, *Alto* ligger i mellomhøyde og *Strat* ligger lavest. *Cumu* og *Nimbostratus* ligger i alle høyder. Høye skyer inneholder iskrystaller, mens lave skyer inneholder vanndråper. Skyer som kan strekke seg lenger vertikalt og de som ligger i mellomhøyde, inneholder en blanding av begge. Cumulus og cumulonimbus er det eneste skyene som rapporteres i METAR. Sistnevnte fordi den er farlig å fly i, og førstnevnte fordi den kan utvikle seg til sistnevnte.
- **Metningspunkt:** Maksimalt vanddampinnhold luften kan ha før den overskytende vanddampen blir til vann/is. Metningspunktet er 1,1 g/m³ ved -20°C og 30,4 g/m³ ved 30°C .



Figur 1: De ti skytypene. ©Anthony Haythornthwaite

3.1 Skydannelse

Betingelser for dannelse av skyer:

1. Kjøling av luften slik at den når duggpunktstemperatur (adiabatisk avkjøling, utstråling eller strømning fra varmt mot kaldt underlag).
2. Tilførsel av fuktighet og/eller blanding av luftmasser.

Måter skyer kan dannes på:

- **Konveksjonsskyer:** Dannes ved at ustabil luft beveger seg i uordnede opp- og nedgående luftstrømmer. Får *cumulusskyer* når bevegelsen oppover stanser pga. at temp.fall er mindre enn den fuktadiabatiske kurven, og får *cumulunimbus* når bevegelsen oppover aksellererer pga. at temp.fall er større.
- **Frontskyer:** Dannes ved at luft stiger langs en frontflate og kjøles adiabatisk. Stabil luft gir *stratiformede* skyer, og ustabil gir *cumulus* eller *cumulunimbus*.
- **Orografiske skyer:** Dannes når luft tvinges over hindringer, hvor mengden fuktighet i lufta bestemmer høyden der skyene dannes. Gir skyer av *stratustype* på loside, og *cumulus/cumulunimbus* ved ustabil luft og *altocumulus* ved stabil luft på leside.
- **Inversjonsskyer:** Dannes når luften har ulik hastighet i forskjellige høyder. Gir bølgefornede skyer, som *cirrocumulus*, *altocumulus* og *stratocumulus*.
- **Turbulensskyer:** Dersom det er vind nær ujevn overflate oppstår det gjerne turbulens, og den opp- og nedgående luften avkjøles/oppvarmes adiabatisk. Dette danner *stratus* eller *stratocumulus* om luften når metningspunktet

3.2 Dannelsen av cumulunimbus/torden

Betingelser for dannelse av cumulunimbus/torden:

1. Varm, fuktig luft
2. Instabilitet i tykke vertikale luftlag
3. En eller annen form for heving av luften

Cumulunimbus sitt liv foregår i tre stadier:

1. **Cumulusstadiet:** Cumulus vokser i høyden med sterk oppvind og svak dannelse av regndråper.
2. **Regnstadiet:** Byger fra deler av skyen danner fallvinder med turbulens, som er kraftigst i overgangen fra opp- til nedgående strømmer og foran skyen i bevegelsesretningen. Regndråper, iskrystaller, hagl og lyn oppstår inni skyen, og det forekommer vindrosser ved bakken.
3. **Oppløsningsstadiet:** Skyen er i ferd med å oppløses, en prosess som tar fra 1 til 1,5 time, og iskrystaller sprer seg i en vifteform øverst i skyen. Nedbøren er lettere og fallvindene har fordelt seg i hele skyen. Utbredelsen kan være 5-15 km på det meste.

3.3 Tordenværstyper

- **Konvektive tordenskyer:** Oppstår ved rolig vind og høy fuktighet, samt i svake lavtrykkssystemer, lavtrykksrenner eller tråg. Vanligst, spes. om sommer.
- **Orografiske tordenskyer:** Oppstår i ustabile luftmasser pga. heving, og dannes hurtig og beveger seg sakte.
- **Tordenskyer med høy basis:** Oppstår pga. instabilitet når luft avkjøles ved utstråling i toppen av fuktig luftlag. Skjer under sommeretter.

- **Tordenskyer i varmfronter:** Oppstår mens luften stiger langsomt langs varmfronten, og danner seg dermed på høyt nivå. Sjeldne, men er ikke lett å se siden de er skjult bak nimbostratus eller altostratus.
- **Tordenskyer i kaldfronter:** Oppstår ved heving av instabil og varm luft når kaldfront passerer. Kan ligge hundrevis av kilometer langs fronten og opptil 40000 fots høyde.
- **Tråg foran kaldfront:** Oppstår der varm og fuktig luft stiger 70-300 km foran kaldfront.

4 Tåke

Sikt under 1 km kalles tåke, ellers skyldes dårlig sikt andre fenomener (f.eks. dis).

- **Strålingståke** (tynn): Oppstår gjerne på klare netter (spes. høst/vinter) når varmeutstrålingen fra bakken er stor, slik at doggpunktstemperaturen nåes. Kan ligge i dagevis om vinteren, og dannes kun over land. Gunstige betingelser:
 1. Klart vær med hurtig nedkjøling av bakken
 2. Tilstrekkelig fuktig luft nede, helst tørt i høyden
 3. Lett vind nær bakken
- **Adveksjonståke** (tykk): Oppstår når varm og fuktig luft strømmer over et kaldt underlag, slik at doggpunktstemperaturen nåes. Dannes både på sjø og land, og oftest over land om høst/vinter når fuktig luft siger inn fra havet. Gunstige betingelser:
 1. Fuktig luft slik at det skal lite nedkjøling til før den når metning
 2. Luftstrømninger over et område som har en temperatur flere grader lavere enn doggpunktstemperaturen
 3. Ikke for sterk vind
- **Orografisk tåke:** Oppstår når stabil luft stiger langs terreng og avkjøles adiabatisk, slik at doggpunktstemperaturen nåes (ustabil luft/sterk vind danner skyer). Kan vedvare selv ved sterk vind over lengre perioder.
- **Fronttåke:** Oppstår kortvarig i belter foran varmfront eller bak kaldfront når nedbør fra varm luft faller gjennom kaldt luftlag, som dermed når doggpunktstemperaturen. Større i utstrekning ved varmfront enn kaldfront. Gunstige betingelser:
 1. Stor temperaturforskjell mellom varm og kald luft
 2. Svak vind
 3. Stabile forhold i den kalde luften
- **Frostrøyk:** Oppstår når svært kald luft beveger seg over fuktig og varmt underlag, som dermed varmes opp nedenfra og stiger med fuktigheten. Hvis temperaturforskjellen er stor nok vil doggpunktstemperaturen nåes når luftmassene blandes litt over bakken.
- **Frosttåke:** Oppstår når luften nær overflaten får tilført varme fra et vann, slik at kondensasjon motvirkes. Hvis det er liten endring i været og det er veldig kaldt, kan denne tåketypen holde seg i dagevis.

5 Ising

Ising kan forekomme ved

1. **Riming** i luft der det verken er vanndråper eller iskrystaller
2. **Frysing** i skyer og/eller nedbør, spesielt underkjølt vann eller våt snø

5.1 Isingenintensitet

Intensiteten av isingen og istypen som dannes avhenger av

1. Mengden flytende vann per kubikkmeter luft
2. Mengden snø og is per kubikkmeter luft
3. Dråpestørrelsen, evt. størrelsen av krystaller og snøstjerner
4. Temperaturen i luften

Størst fare for ising når det er underkjølt vann i lufta. Det kan skje med en mengde vann på rundt $0,5\text{-}1,0\text{ g/m}^3$ i friluft og $\frac{1}{10}\text{ g/m}^3$ i skyer, og $T_{\max} = 0^\circ\text{C}$ og $T_{\min} = -10^\circ\text{C}$. I tilfeller med raske avkjølingsprosesser (fronter/fjell) kan T_{\min} være nede i -20°C og -25°C .

5.2 Faktorer som bestemmer flyets evne til å fange vanndråper

Følgende påvirker et flys evne til å fange opp vanndråper:

1. Flyfarten
2. Temperatur på utsatte områder
3. Oppsamlingsevnen

Is samler seg lettest på skarpe kanter som vender mot luftstrømmen. Krumningsradiusen og flyfarten har størst betydning for vingen, og oppsamlingsevnen øker med økende dråpestørrelse. Økt flyfart kan også motvirke ising, siden kompresjon og friksjon varmer opp flyet. Temperaturforandringen (dersom $v > 200\text{ kt}$) er

$$\Delta T \sim \left(\frac{v}{100}\right)^2$$

utenfor skyer og

$$\Delta T \sim \frac{1}{2} \left(\frac{v}{100}\right)^2$$

innenfor skyer.

5.3 Isingstrukturer

- **Klaris** (hardt og glassaktig): Dannes av *store vanndråper* i temperaturer nær underkant av frysepunktet, dvs. $T_{\max} = 0^\circ\text{C}$ og $T_{\min} = -5^\circ\text{C}$. Forekommer i større grad ved *stor flyfart*, siden knusingen av vanndråpene blir kraftigere og vanndråpene får trekke seg lenger bakover på overflaten.
- **Rimis** (ru, hvitaktig, porøs): Dannes av *små vanndråper* ved lave temperaturer og *lav flyfart*. De knuses ikke, fryser oppå hverandre med luft i mellom og fryser hurtig.
- **Rim**: Dannes i klar luft når flyoverflaten er kaldere enn luften omkring ($T_{\max} = 0^\circ\text{C}$). Skjer f.eks. når flyet har vært parkert eller det har vært rask høydeforandring fra kald luft til varm luft.

5.4 Klassifikasjon av ising

Ising klassiferes slik:

- **Lett ising**: Forekommer i nesten alle skyer ved minusgrader, men spesielt Altostratus, Stratus og Stratocumulus.

- **Moderat ising:** Forekommer vanligvis i skyer som får tilført vann fra område med varmere luft. Eksempler er Stratus og Stratocumulus ved temperatur mellom -5 og -10°C . Ellers forekommer slik ising i cumulus, cumulonimbus og nimbostratus som inneholder veldig mye vann.
- **Sterk ising:** Forekommer i skyer (nimbostratus, cumulus, cumulonimbus) hvor det foregår tilførsel av mye varm og fuktig luft, som gjerne skjer ved heving mot terreng eller regn som faller ned i et område med kuldegrader (varmfront i vinterlandskap).

6 Vind

- **Vindkast:** Vind klassifiseres som vindkast når vindstyrke siste 10 min avviker 10 kt eller mer fra middelverdien i tidsrommet.
- **Måling av vindstyrke** gjøres i 6-10 meters høyde på flyplasser.
- **Dreining av vinden ved bakken** er $20-45^{\circ}$ større enn i høyden, og vindstyrken er 30 til 50 % større enn i høyden pga. friksjon.
- **Geostrofisk vind:** Når trykkraften balanserer corioliskraften, blåser vinden langs høydekotene med lavtrykk til venstre. Vindhastigheten er omtrent proporsjonal med koteavstanden.

6.1 Turbulens

- **Mekanisk turbulens:** Oppstår når hindringer forstyrrer luftstrømmen (trær, hus, terreng, etc.). Avtar med høyden.
- **Termisk turbulens:** Oppstår ved uregelmessigheter i opp- og nedgående instabile luftstrømmer og virvler i overgangen mellom dem. I alle høyder, men mest i lav høyde.
- **Vindskjær:** Oppstår pga. vertikale og horisontale endringer i vindretning/vindstyrke.
- **Vingetippvirvler:** Oppstår fra vingetippene til større fly.

7 Fronter

En front er overgangssonen mellom varme og kalde luftmasser. Alle fronter ligger i et tråg med lavt trykk, og ved en frontpassering vil vinden dreie mot høyre på den nordlige halvkule.

7.1 Varmfront

- **Skråning:** Liten helning (1:150).
- **Fart:** Bevegelsen er 60-80 % av den geostrofiske vindkomponenten vinkelrett på fronten.
- **Skyer og vær:** *Stabil* luft gir stratiformede skyer, *ustabil* luft gir vertikale skyer med byger
- **Flygeforhold:** Stort skysystem, så mye flyging inni skyer. Lite turbulens. Om vinteren er det stor risiko for frysende regn.
- **Terreng:** Hindrer videre fremdrift av fronten, slik at det blir økt nedbør på loside og skyfritt på leside.

7.2 Kaldfront

- **Skråning:** Bratt helning (fra 1:50 til 1:500). Hurtiggående kaldfront er brattere pga. friksjon.
- **Fart:** Kaldfronter beveger seg fortere enn varmfronter, og bevegelsen er 80-100 % av den geostrofiske vindkomponenten vinkelrett på fronten.
- **Skyer og vær:** Været varierer veldig, og er avhengig av fuktighetsinnholdet i den varme luften, stabiliteten i den varme luften og farten til kaldfronten og skråningen på frontflaten. Saktegående kaldfront gir varm luft som glir langs frontflate, og skydekke som i en varmfront med omvendt rekkefølge. Brå heving gir byger i hundrevis av kilometer. Hurtiggående kaldfront gir varm luft som heves brått, og dermed kraftig nedbør som oppklares raskt.
- **Flygeforhold:** Flygeforholdene varierer som været.
- **Terreng:** Varmluften i fronten heves mye, slik at frontaktiviteten øker kraftig. Hvis luften på lesiden er kaldere enn frontforsiden, vil kaldfronten bevege seg på toppen av det kalde luftlaget (frysende regn om vinteren). Hvis luften på leside er varmere, vil kald luft skyve bort den varme luften (sterkere frontaktivitet).

7.3 Okklusjon

- **Varmfrontokklusjon:** Kald luft *foran* fronten kaldere enn bak.
- **Kaldfrontokklusjon:** Kald luft *bak* fronten kaldere enn foran.
- **Skråning, fart, skyer og vær:** Kombinasjon av været i kaldfront og varmfront, og dårligst i starfasen av okklusjonsutviklingen. Skyene er cumuli- og stratiformede.
- **Flygeforhold:** Skysystem ser ut som varmfront når fronten sees forfra, og ser ut som kaldfront når sett bakfra.
- **Terreng:** Tilsvarende som i varmfront og kaldfront, men turbulens avhenger av okklusjonstypen.

7.4 Flygeforhold i varme og kalde luftmasser

- **Maritime varmluftmasser:** Fuktig luft gir rask kondensasjon, og dermed tåke eller lav stratus ved bakken med dårlig sikt. Inversjon holder støv, dis, etc. ved bakken. Over inversjonen (1000-2000 m) er det lite skyer og bra sikt. Altså: Dårlig sikt ved avgang/landing. Vinden er jevn ved bakken.
- **Kontinentale varmluftmasser:** Som *oftest* tørr luft gir stabilt vær. Altså: God sikt overall. Unntak ved kyst hvor det kan forekomme tåke, eller når luften blir ustabil og gir torden.
- **Maritime kaldluftmasser:** Varmes opp nedenfra, slik at fuktigheten stiger. Dette kan danne Cumulus og Cumulonimbus. Støv, dis, etc. føres også oppover, og fordeles i dype lag. Altså: God sikt, med unntak hvor skyer og nedbør er dannet. Kastevind ved bakken.
- **Kontinentale kaldluftmasser:** Tørr luft gir få skyer og lite nedbør. Altså: God sikt.

8 METAR/TAF

METAR hentes ut hvert 30. til 60. min., og TAF hentes ut hver 3. time.

- **Variabel vind (VRB)** rapporteres når vindhastigheten er lavere enn 3 knop og når det er umulig å bestemme vindretningen over 3 knop.

- **Rullebanesikt (RVR)**: Distansen en flyger i et fly på senterlinjen kan se oppmerkinger/lys på siden av rullebanen eller langs senterlinjen. Rapporteres som P1500 når den er mer enn 1500 m eller som M0050 når den er mindre enn 50 m. Ved nylig variasjon i RVR legges til en U ved økning og D ved minking.
- **Vicinity (VC)**: Brukes om værphenomener utenfor flyplass, men nærmere enn 8 km.
- **Støv-, sand- og snøfokk** ikke høyere enn 2 meter over bakken og med vind opp til 20 knop betegnes med DR, ellers med BL hvor vinden kan være mellom 30 og 40 knop.
- **Torden** som er observert de siste 10 min. betegnes med TS.
- **Hagl** større enn 5 mm betegnes med GR, og hagl/snøkorn mindre enn 5 mm betegnes med GS.
- **Dis** betegnes med BR, og brukes når sikt er mindre enn 1000 m og ikke mer enn 5000 m.
- **Vindbyger** (squalls) betegnes med SQ, og brukes ved plutselig vindøkning på minst 16 knop med varighet på mer enn 1 min. de siste 10 min.
- **Vertikalsikt** betegnes med VV, og rapporteres som VV000 når mindre enn 100 fot.
- **TREND**-varsel kan gis som tillegg til METAR eller SPECI, og inneholder et varsel for en kortere periode (2 timer fremover). CAVOK, NOSIG, TEMPO og BECMG kan være del av et TREND-varsel.
- **CAVOK** (Ceiling and visibility OK) brukes når sikten er 10 km eller mer, det er ingen skyer under 5000 fot og det er ingen nedbør, torden, sand-/støvstorm, lav tåke eller lav støv-/sand-/snøfokk.
- **NOSIG** (no significant weather changes) brukes når det ikke er forventet endringer av betydning de neste 2 timene.
- **TEMPO** brukes om midlertidige endringer i været som varer mindre enn 1 time, og til sammen ikke er mer enn halvparten av oppgitt tidsrom i TAF.
- **BECMG** brukes om endringer i været som varer mer enn 1 time med FM og tidspunkt fra tiden det gjelder.