

Innholdsfortegnelse

	side
Sammendrag	3
1 Innledning	5
2 Praktiske erfaringer	6
2.1 Målinger i Borås	6
2.2 Visuelle observasjoner i Moi	8
3 Beregning av utvendig overflatetemperatur	9
3.1 Beregningsmodell	9
3.2 Dataprogram	10
3.3 Usikkerheter ved beregningsmodellen	11
4 Klimadata	12
4.1 Data fra Meteorologisk Institutt	12
4.2 Modell for himmeltemperatur	13
5 Grunnlagsdata for beregningene	15
6 Resultater og vurderinger	16
6.1 Klimadataenes betydning for resultatene	16
6.2 Superisolerende vinduer	18
6.3 Effekt av ulike U-verdier	19
6.4 Effekt av utvendig lavemisjonsbelegg	20
6.5 Effekt av avskjerming	20
6.6 Effekt av innetemperatur	22
6.7 Oppsummering	23
7 Sammenhenger mellom klima og kondensforekomst	24
7.1 Geografisk lokalisering	24
7.2 Årlige variasjoner i klima	24
7.3 Månedlige variasjoner i klima	25
7.4 Døgnvariasjoner i klima	25
7.5 Sammenheng mellom kondensforekomst og timesvise klimadata	25
8 Konklusjon	26
9 Referanser	28

Vedlegg

	side
1 Antall timer med kondens pr. måned med superisolerende ruter	v.1
2 Antall timer med kondens pr. år med ulike U-verdier for vindusrutene	v.4
3 Antall timer med kondens pr. år med varierende avskjerming og innnetemperatur	v.8
4 Månedsmiddeltemperaturer for de undersøkte stedene	v.9
5 Månedsmidler for uteluftens relative fuktighet	v.10
6 Sammenhengen mellom kondensforekomst og klimaparametre for Bergen	v.11
7 Dataprogram	v.15

Sammendrag

Betingelsene for kondensdannelse på utsiden av vindusruter avhenger av en kombinasjon av en rekke klimaforhold, bl.a uteluftens temperatur, omgivelsenes temperatur (landskap, bygninger, himmel), relativ luftfuktighet og vindhastighet. Det er ikke tilstrekkelig med en kald, klar og vindstille natt for at kondens skal kunne oppstå, uteluftens relative fuktighet må i tillegg være så høy at duggpunkt-temperaturen blir høyere enn den utvendige overflatetemperaturen på vindusruten. I tillegg innvirker vindusrutenes varmeisolasjonsevne og innetemperaturen på varmestrømmen gjennom ruten og dermed også på overflatetemperaturen.

Det er utviklet et dataprogram for beregning av kondensforekomst på utsiden av vindusruter for ulike klima i Norge. Beregningsmetoden er basert på en metode utarbeidet ved Sveriges Provnings- og Forskningsinstitut /1/. Vindusruter med tre ulike grader av varmeisolasjon er undersøkt, dvs U-verdi i senter av ruten på henholdsvis 0.8, 1.1 og 1.4 W/m²K. Det er også sett på innetemperaturen, avskjermings og den utvendige emisjonsfaktorens betydning med tanke på utvendig kondens. Dataprogrammet leser timesvise klimadata med utetemperaturer, relativ luftfuktighet, vindhastigheter og skydekkefaktorer. Klimadata for Kjevik, Blindern, Bergen, Røros, Trondheim, Rana og Tromsø er benyttet i analysen. Himmel-temperaturen beregnes på grunnlag av skydekkefaktorer. Det er ikke foretatt målinger eller feltanalyser i prosjektet.

Beregningene viser at forekomsten av utvendig kondens varierer mye fra år til år, dette gjelder både totalt antall kondens timer og fordelingen over året. I tillegg avhenger kondensforekomsten i stor grad av geografisk beliggenhet.

Naturlig nok viser resultatene at varmeisolasjonsevnen har svært stor betydning for risikoen for kondens. Så lav U-verdi som 0.8 W/m²K i senter av ruten gir relativt mye større antall kondens timer i forhold til en senter U-verdi lik 1.1 W/m²K, enn hva en reduksjon av senter U-verdien fra 1.4 W/m²K til 1.1 W/m²K medfører. Resultatene viser at selv vindusruter med en U-verdi i senter lik 1.4 W/m²K også kan få utvendig kondens.

Beregningsresultatene viser at innetemperaturen har en viss betydning for kondensforekomsten på vindusrutenes utside. Om natten og tidlig på morgenen er det ikke uvanlig at temperaturen settes lavere enn på dagtid, og det er derfor sett på hva en innetemperatur på 17 °C betyr i forhold til en innetemperatur på 20 °C. En temperaturreduksjon fra 20 °C til 17 °C medfører ca 50 timer mer med kondens i Røros (+ 23 %) og ca 20 timer mer i Tromsø (+ 22 %) for et helt år i tidsintervallet mellom kl. 21 og 07.

Avskjermingen har også avgjørende betydning for kondensdannelse på utsiden av vindusrutene. Det er gjort beregninger med to ulike grader av avskjerming, dvs med vinkelfaktor på henholdsvis 0.4 og 0.5. En vinkelfaktor på 0.4 innebærer at fri horisont eller vinduenes utsikt til himmelen utgjør 40 %, og at bebyggelse, vegetasjon m.m utgjør de resterende 60 % av vinduenes ”utsikt”. En økning av vinkelfaktoren fra

0.4 til 0.5 innebærer 10% mindre avskjerming, og for Røros vil dette medføre ca 170 flere timer med kondens (+ 77 %), tilsvarende for Tromsø ca 140 flere timer (+ 157 %). Dette viser at selv en liten reduksjon av avskjermingen har svært stor betydning for risikoen for kondens.

Med de forutsetningene som er gjort med hensyn til innetemperatur og avskjerming, viser beregningsresultatene at det aldri oppstår utvendig kondens på vindusruten når det ytterste glasset har et utvendig lavemisjonsbelegg ($\varepsilon = 0.12$). Dette gjelder for alle stedene som er undersøkt. For mindre avskjerming og lavere innetemperaturer kan muligens utvendig kondens oppstå, men dette er ikke undersøkt. Også praktiske erfaringer viser at utvendig lavemisjonsbelegg er effektivt med tanke på å unngå utvendig kondens på vindusruter. I et bolighus i Moi er et vindu med $U = 0.85$ W/m²K i rutens senter og med et ripefast lavemisjonsbelegg på rutens utside montert med tanke på reduksjon eller eliminering på utvendig kondens. Det har vist seg at utvendig kondens ikke har oppstått på dette vinduet, mens kondens flere ganger har oppstått på et tilsvarende vindu ved siden av, men uten det utvendige lavemisjonsbelegget.

Det er foretatt analyser av sammenhengen mellom kondensforekomst og ulike klimaparametre. Resultatene viser at klima med høy årlig gjennomsnittlig relativ luftfuktighet (RF) vil gi et høyere antall kondenstimer enn klima med lavere gjennomsnittlig RF. Dette gjelder både når geografisk plassering, årlige og månedlige variasjoner samt variasjoner over døgnet sammenlignes. For to klima, Bergen og Blindern, ble det også vist at uteluftens RF må være over 85 % før kondens inntreffer. I disse tilfellene intraff det ikke kondens ved vindhastigheter over 2.5 m/s.

1 Innledning

Inntil de fem siste årene var det sjelden snakk om bruk av andre ruter enn 2-lags ruter, koblede eller forseglede, og med eller uten lavemisjonsbelegg. U-verdien på disse vinduene ligger i området 1.8 - 2.8 W/m²K, avhengig av rutetype og karm- og rammematerialer. På grunn av relativt dårlig varmeisolasjonsevne, er det ikke unormalt å oppleve kondens på innsiden av disse rutene om vinteren. Kondensen oppstår i slike tilfeller først i rutens randsone (i bunnen), fordi den innvendige overflatetemperaturen er lavest her.

Etter den nordiske konkurransen (NUTEK) om utvikling av superisolerende vinduer i 1992, har det kommet adskillig bedre vinduer på markedet med tanke på varmeisolerende egenskaper. Forbedringen ligger hovedsakelig i bedre ruter. U-verdi i senter av ruten vil for en 3-lags rute med to lavemitterende belegg og argongassfylling i hulrommene og med de nye lavemisjonsbeleggene ligge rundt 0.8 W/m²K mot 1.4 til 2.8 W/m²K for 2-lags ruter (isolerruter med/uten lavemisjonsbelegg). Slike gode ruter reduserer varmetapet betraktelig og reduserer eller eliminerer samtidig problemene med kaldras og strålingstrekk på grunn av kalde vindusflater. Imidlertid oppstår det fra tid til annen kondens på utsiden av disse rutene. Dette har resultert i at kunder, som mener de har gjort et fornuftig valg ved å investere i slike vinduer, har blitt både overrasket og misfornøyd.

Vi er godt kjent med at utvendig kondens og riming kan skje på godt isolerte yttervegger når utstrålingen mot nattehimmelen er stor på kalde og klare vinternetter. Etter slike netter kan vi se bindingsverket som mørke striper i rimlaget fordi kuldebrovirkningen her fører til at kondensfukten ikke fryser til rim. For vindusruter med lave U-verdier vil det samme kunne skje når værforholdene tilsier det.

På grunnlag av denne erfaringen er det blitt stilt spørsmål om slike vinduer helst bør unngås. En slik konsekvens ville være uheldig, siden bruk av slike vinduer medfører så mange positive effekter. Dette prosjektet har hatt til hensikt å finne en oversikt over hvor stort problemet med utvendig kondens for norske klima er. På grunnlag av dette vil det være mulig å kunne informere kundene om omfanget på forhånd. Dette vil kanskje kunne bidra til at holdningen til dette problemet endres. Det er også blitt sett på i hvilken grad et utvendig og ripefast lavemisjonsbelegg kan redusere kondensdannelsen.

Prosjektet er finansiert av NFR/NYTEK-programmet, Glassbransjeforbundet i Norge, Saint Gobain, Pilkington og Johs. Rasmussen A/S (Nordan).

2 Praktiske erfaringer

Det refereres her til to undersøkelser hvor det har vært foretatt systematiske registreringer eller observasjoner av utvendig kondens på vindusruter. Den ene undersøkelsen er referert i /1/, og er benyttet i forbindelse med evaluering av en teoretisk modell. Denne modellen er benyttet som grunnlag for beregningsmodellen i dette prosjektet. I den andre undersøkelsen, /2/, er registreringen av utvendig kondens skjedd ved visuelle observasjoner morgen og kveld i en to-årsperiode.

2.1 Målinger i Borås

Tre vinduer med ulike rutetyper ble montert i en nord-vestlig orientert vegg i Borås. U-verdi i senter av rutene, som alle var koblete ruter, var henholdsvis 0.92, 1.13 og 1.85 W/m²K. Målingene startet 15. mars 1994 og ble avsluttet 31. desember 1994. I måleperioden varierte utelufttemperaturen fra – 5 til +15 °C, og det ble registrert kun 19 dager med temperaturer under 0 °C.

Følgende parametre ble registrert; utelufttemperatur, vindhastighet, vindretning, relativ luftfuktighet, innelufttemperatur, overflatetemperatur på begge sider av vindusrutene, langbølget utstråling og differanse mellom utvendig overflatetemperatur og utelufttemperatur. En fuktindikator var i tillegg plassert på utsiden av vindusrutene.

For det aktuelle måleoppsettet fant man at utvendig kondens oppsto ved følgende klimatiske forhold;

- differansen mellom utelufttemperaturen og omgivelsenes temperatur (himmel, landskap, bebyggelse m.m) lå mellom 4 og 7 °C
- den relative luftfuktigheten var minimum 95 %
- utvendig kondens opptrådte ved en utelufttemperatur på ca 0 °C om våren og ved ca 10 °C om høsten
- utvendig kondens opptrådte spesielt ved lave vindhastigheter (0 – 3 m/s), kun et fåtall kondensstilfeller opptrådte ved vindhastigheter mellom 3 og 4 m/s
- vindretningen hadde minimal betydning for kondensforekomsten

Omfanget av kondens ble beregnet på bakgrunn av de registrerte klimaparametrene. Kondens oppstår generelt mange flere ganger på den nedre delen av rutene, noe som i stor grad kan tilskrives stor konveksjon i det ytterste hulrommet (koblete ruter).

Tabell 1 viser når utvendig kondens oppstår på vindusruten med laveste U-verdi, dvs 0.92 W/m²K i senter av ruten. Figur 1 viser fordelingen av kondensstimer over døgnet for det samme vinduet.

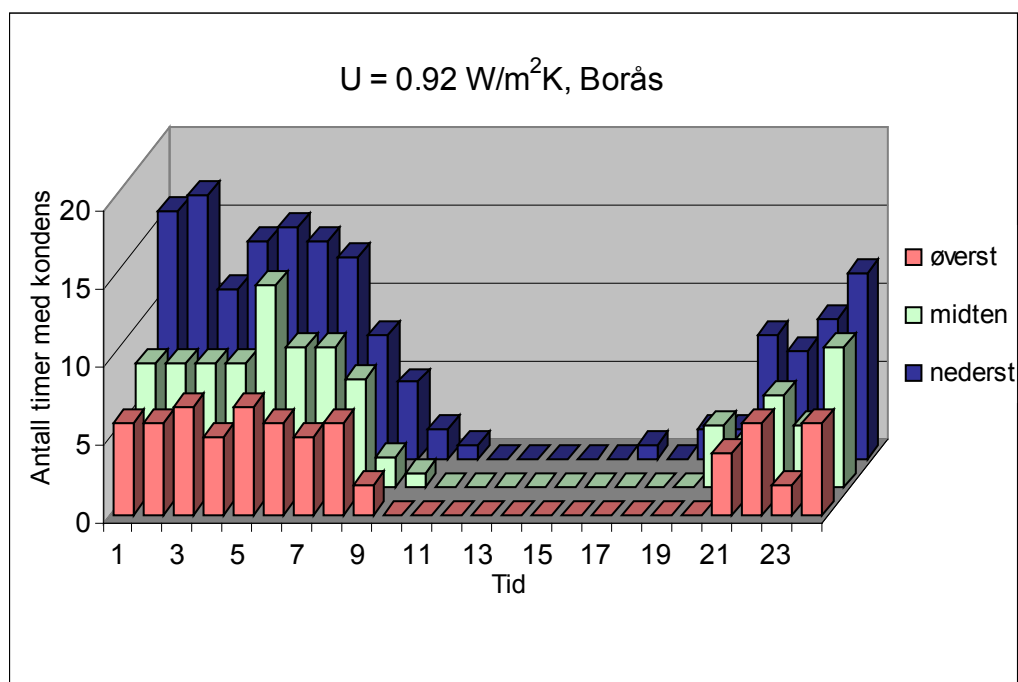
De teoretiske beregninger som ble gjennomført, viste seg å samsvare svært godt med målingene. For 95 % av natt-timene (21 – 06) lå avviket mellom beregnede og målte verdier for den utvendige overflatetemperaturen innenfor ± 0.6 °C. Den

regnemodellen som ble benyttet i Borås-studien danner grunnlaget for regnemodellen i dette prosjektet, se kapittel 3.

Tabell 1

Totalt antall timer og dagtimer med utvendig kondens på vindusrute med senter U-verdi lik $0.92 \text{ W/m}^2\text{K}$ i Borås i perioden 15. mars til 31. desember 1994.

Måned	Totalt antall timer med kondens			Antall dagtimer med kondens		
	nedre	midten	øvre	nedre	midten	øvre
Mars	4	1	0	0	0	0
April	4	0	0	0	0	0
Mai	0	0	0	0	0	0
Juni	9	2	0	1	1	0
Juli	3	2	1	0	0	0
August	30	27	17	4	3	2
September	43	32	24	3	1	1
Oktober	24	15	9	5	3	2
November	36	18	14	14	6	5
Desember	13	5	3	7	5	3
Sum	166	102	68	34	19	13



Figur 1

Totalt antall timer med kondens fra 15. mars til 31. desember 1994, fordelt over døgnet. Antall kondenster viser for henholdsvis nedre, midterste og øvre del av vindusruten.

2.2 Visuelle observasjoner i Moi

For et sørvendt vindu i en enebolig i Moi i Rogaland er det montert en 3-lags rute med $U = 0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$ i senter av ruten. For et annet vindu ved siden av er det benyttet en tilsvarende rute, i tillegg er det ytterste glasset utvendig belagt med et ripefast lavemisjonsbelegg av typen Kappa Energi Float ($M = 0.12$). Mens det flere ganger har vært observert utvendig kondens på den ordinære ruten uten utvendig lavemisjonsbelegg, har dette aldri vært tilfelle for ruten med dette belegget. I de tilfellene hvor utvendig kondens har oppstått på den ordinære ruten, har kondensen som oftest tørket ut mellom kl. 8 og 10. /2/.

3 Beregning av utvendig overflate-temperatur

3.1 Beregningsmodell

Rapporten "Utvändig kondens på fönster. Mätningar i Borås 1994", /1/, beskriver et større forskningsprosjekt ved Statens Provnings- och Forskningsinstitut i Sverige. Det har vært foretatt feltemålinger i Borås for flere rutetyper, hvor rutene har vært montert ved siden av hverandre i et kontorbygg.

Flere klimaparametre ble målt med tanke på å kunne beregne overgangsmotstanden på glassoverflaten, i tillegg ble forekomsten av kondens registrert. En modell for beregning av varmeutveksling mellom den utvendige glassoverflaten og omgivelsene ble utviklet og de beregnede overflatetemperaturene ble sammenlignet med de målte. Det konvektive bidraget i beregningsmodellen ble justert på grunnlag av denne sammenligningen, slik at de beregnede resultatene ble mest mulig lik de målte.

Beregningsmodellen som er beskrevet i /1/:

$$\theta_{se} = \frac{\theta_{si}/R_{ie} + M \cdot 22.68 + 10^{-8} + \theta_a + T_m^3 + (A + B + v) + \theta_e}{1/R_{ie} + M \cdot 22.68 + 10^{-8} \cdot T_m^3 + (A + B + v)}$$

hvor

θ_{se} = utvendig overflatetemperatur på glasset (°C)

θ_{si} = innvendig overflatetemperatur på glasset (°C)

θ_a = omgivende strålingstemperatur ute (°C)

θ_e = uteluftens temperatur (°C)

T_m = middel av den utvendige overflatetemperaturen på glasset og omgivelsenes temperatur (K)

M = rutens utvendige emisjonsfaktor (-)

v = vindhastighet (m/s)

R_{ie} = rutens varmemotstand (ekskl. overgangsmotstander) (m²K/W)

A, B = koeffisienter for konvektiv varmeovergangsmotstand (-)

Omgivelsenes strålingstemperatur ute (θ_a) er beregnet på følgende måte:

$$\theta_a = I \cdot \theta_h + (I - 1) \cdot \theta_l \quad (^\circ\text{C})$$

hvor

θ_h = himmeltemperatur (°C)

θ_l = temperatur på omkringliggende landskap og bygninger

I = vinkelfaktor (-)

θ_l antas å være lik θ_e (uteluftens temperatur). $I = 1$ når vinduet kun "ser" himmelen og 0 når vinduet kun "ser" landskap og/eller bygninger.

Middeltemperaturen:

$$T_m = (\theta_{se} + \theta_a)/2 + 273.1 \approx (\theta_e + \theta_a)/2 + 273.1 \text{ (K)}$$

A og B er i /1/ satt til henholdsvis 5.0 og 2.7, verdier som gjør at beregningene blir mest lik de målte verdiene ved små vindhastigheter. Det antas at det ved større vindhastigheter ikke oppstår kondens. Målingene i Borås viste at det omtrent ikke ble dannet utvendig kondens ved vindhastigheter over 4 m/s.

Innvendig overflatetemperatur θ_{si} :

$$\theta_{si} = \theta_i - U \cdot R_i + (\theta_i - \theta_e)$$

hvor

θ_i = innetemperatur (°C)

U = vindusrutens U-verdi i senter (W/m²K)

R_i = innvendig overgangsmotstand (0.13 m²K/W)

θ_e = uteluftens temperatur (°C)

Med verdier for A og B samt formelen for θ_{si} blir den endelige beregningsformelen:

$$\theta_{se} = \frac{(\theta_i - U \cdot R_i + (\theta_i - \theta_e))/R_{ie} + M \cdot 22.68 + 10^{-8} + \theta_a + T_m^3 + (5 + 2.7 + v) + \theta_e}{1/R_{ie} + M \cdot 22.68 + 10^{-8} \cdot T_m^3 + (5 + 2.7 + v)}$$

Den beregnede utvendige overflatetemperaturen sammenlignes med duggpunkttemperaturen, som framkommer på grunnlag av relativ luftfuktighet og lufttemperatur. Kondens oppstår når overflatetemperaturen er lavere enn duggpunkttemperaturen.

3.2 Dataprogram

For å kunne gjøre de nødvendige beregningene, er det laget et dataprogram som kan lese aktuelle klimadata. På grunnlag av beregningsmodellen som er beskrevet over, kan programmet beregne den utvendige overflatetemperaturen på glasset. Programmet sammenligner deretter overflatetemperaturen med duggpunkttemperaturen, som også beregnes, og kan på grunnlag av dette presentere en oversikt over når kondens oppstår for de undersøkte stedene. Utskrift av dataprogrammet er vist i vedlegg 7.

3.3 Usikkerheter ved beregningsmodellen

På bakgrunn av sammenligningen av de målte og beregnede resultatene i /1/, synes beregningsmetoden å være svært nøyaktig, på tross av at den inneholder noen forenklinger. Det ses bl.a bort fra vindretning og solstråling. Dette gir forholdsvis liten unøyaktighet, da størrelsen på disse klimaparametrene er ubetydelige i den perioden når utvendig kondens normalt oppstår. Dette er framkommet som følge av målingene i Borås.

Modellen gir ikke noe svar på hvor lang tid det tar før kondensen har tørket bort etter at vilkårene for kondensdannelse ikke lenger er til stede. Tørkingen skjer hurtigst om morgenen når solstrålene treffer vindusruten. Det er heller ikke tatt hensyn til at solstrålingen reduserer risikoen for dannelsen av kondens, noe som er spesielt viktig tidlig på morgenen og ellers midt på dagen hvor direkte eller diffus solstråling vil treffe glasset. I /1/, hvor beregnede antall kondenster er sammenlignet med målte, viste det seg at antall kondenster var svært sammenfallende i perioder når solstrålene ikke treffer vinduet. Dette betyr at antall timer med kondens på vinduene sannsynligvis vil være lavere om dagen enn det de beregnede resultatene viser. Dessuten vil innetemperaturen i både boliger og yrkesbygg normal ligge høyere enn 20 °C på dagtid, noe som ytterligere til en viss grad reduserer risikoen for kondens. Dette bør det tas hensyn til ved vurdering av beregningsresultatene for dagtid.

De valgte koeffisientene for konvektiv varmeovergangsmotstand, A og B, er framkommet ved tilpassing mellom beregninger og målinger av glassets overflatetemperatur i Borås, /1/. For andre klima kan det tenkes at A og B vil kunne være noe forskjellig fra disse valgte verdiene.

Metoden ser også bort fra faseovergangen (fordampnings-/kondensvarmens) innvirkning på overflatetemperaturen.

4 Klimadata

4.1 Data fra Meteorologisk Institutt

I forbindelse med forskningsprogrammet ”Fukt i bygningskonstruksjoner og materialer” ble det utviklet timesbaserte klimadata for en rekke steder i Norge for 20 år /3/. Disse klimadataene er benyttet i denne studien. Klimadataene er basert på hovedobservasjoner fra Det Norske Meteorologiske Institutt. Disse observasjonene er foretatt tre til fire ganger pr. døgn, og de timesbaserte klimadataene er utviklet ved hjelp av lineær interpolering mellom de observerte klimadataene. Nødvendige klimadata for å kunne beregne den utvendige overflatetemperaturen og risikoen for kondens på vindusruter er utetemperatur, himmeltemperatur, relativ luftfuktighet og vindhastighet. Alle disse klimadataene med unntak av himmeltemperaturen er tilgjengelige i disse datasettene. Himmeltemperaturen blir beregnet i dataprogrammet på grunnlag av bl.a skydekkefaktoren. De stedene som er undersøkt med hensyn til utvendig kondens på vindusruter er Kjevik, Blindern, Bergen, Røros, Trondheim, Rana og Tromsø. Månedsmidler for utetemperatur og uteluftens relative fuktighet er vist i vedlegg 4 og 5.

For å kunne finne et gjennomsnittår med tanke på totalt antall kondenster over året, er det foretatt beregninger av kondensforekomst for hver av de 20 årene for alle stedene. Disse beregningene er utført for en rutetype med U-verdi i senter lik $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$, utvendig emisjonsfaktor på 0.84, innelufttemperatur på 20°C og en vinkelfaktor på 0.4. På grunnlag av disse resultatene er det året som har antall kondenster nærmest gjennomsnittet for de 20 årene benyttet som klimaår for videre analyser. Variasjonen fra år til år viser seg å være svært stor, noe som tabell 2 viser.

Beregningsresultatene har også vist at variasjonen av kondensforekomst over året varierer mye. For superisolerende ruter (U-verdi i senter lik $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$) er det derfor utarbeidet et beregnet gjennomsnittår (kondenster) for de 10 årene med antall kondenster som ligger nærmest det virkelige gjennomsnittsåret i tabell 2.

Tabell 2

Beregnete antall timer med utvendig kondens på vindusruter med U-verdi 0.8 W/m²K i senter, avhengig av årstall. Tabellen viser antall kondenster i snitt pr. år for hvert klima samt hvilke verdier som ligger nærmest dette gjennomsnittet (uthevet).

År	Antall timer med kondens, U = 0.8 W/m ² K						
	Kjevik	Blindern	Bergen	Røros	Værnes	Rana	Tromsø
1969						232	
1970						70	
1971						60	
1972						38	
1973						19	
1974						7	
1975	252	252	200	303	39	43	51
1976	58	125	169	168	110	128	114
1977	84	64	22	187	54	21	63
1978	41	43	22	372	56	134	24
1979	54	45	30	157	108	222	88
1980	108	117	83	222	141	193	89
1981	59	214	148	181	171	128	151
1982	140	81	71	443	305	55	116
1983	160	68	114	293	179	78	148
1984	135	49	141	266	226	163	161
1985	53	37	175	309	203	195	29
1986	34	24	102	401	240		28
1987	53	89	239	114	318		102
1988	143	29	161	164	426	92	48
1989	178	57	284	200	459		96
1990	42	63	287	148	574		86
1991	246	136	306	104	265		96
1992	411	209	229	175	75		107
1993	154	103	364	186	64		82
1994	172	220	459	70	42		168
Middel	129	101	180	223	202	104	92
Middelår	1984	1993	1985	1980	1985	1988	1980

4.2 Modell for himmeltemperatur

I modellen for beregning av rutens utvendige overflatetemperatur inngår himmeltemperaturen. Siden klimadataene som benyttes i beregningene ikke inneholder måleverdier for langbølget avstråling til himmel, må himmeltemperaturen estimeres fra andre klimadata, i dette tilfellet lufttemperaturen og skydekkefaktor.

Nedadrettet langbølget stråling (ϕ) ved en horisontal flate kan gis som:

$$\phi = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4$$

hvor

ε = såkalt atmosfærisk emmitans (-)

σ = Stefan-Boltzmanns konstant = $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

T_s = utvendig overflatetemperatur (K)

Det bør bemerkes at atmosfærisk emmitans ikke har noen sammenheng med bakkens emmitans, men er kun en faktor fremkommet empirisk for å finne himmelstråling ut fra lufttemperatur og skydekkefaktor.

Som en tilnærming settes $T_s = T_e$, der T_e er uteluftens temperatur (K). Hvis det forutsettes at himmelen oppfører seg som et svart legeme får vi et annet uttrykk for ϕ :

$$\phi = \sigma \cdot T_h^4$$

hvor

T_h = himmeltemperaturen (K)

Dette gir følgende uttrykk for himmeltemperaturen:

$$T_h = (\varepsilon \cdot T_e^4)^{0.25}$$

Det eksisterer mange forskjellige empiriske uttrykk for atmosfærisk emmitans ε . I dette tilfellet benyttes et uttrykk for ε for overskyet himmel /4/:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + 0,84 \cdot (1 - \varepsilon_0) \cdot n$$

hvor

ε_0 = atmosfærisk emmitans ved klar himmel (-)

n = skydekkefaktor (0-1)

ε_0 gis ved følgende uttrykk /4/:

$$\varepsilon_0 = 1,06 - \frac{119}{\sigma \cdot T_e^4}$$

5 Grunnlagsdata for beregningene

Det er foretatt beregninger for en rekke alternativer hvor vindusrutens U-verdi i senter (U_s), utvendig emisjonsfaktor, skjermingsgrad samt innnetemperatur er variert, se tabell 3.

Det er foretatt beregninger for tre ulike rutetyper;

1. 2-lags isolerrute med et lavemisjonsbelegg ($M = 0.05$, dvs "energi super") og 15 mm luft (4-15-E4): $U_s = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$
2. 2-lags isolerrute med et lavemisjonsbelegg og 15 mm argon (4-15Arg-E4): $U_s = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$
2. 3-lags isolerrute med to lavemisjonsbelegg og 12 mm argon (4E-12Arg-4-12Arg-E4): $U_s = 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$

For vanlig glass er emisjonsfaktoren 0.84 benyttet. Det er undersøkt hvordan et lavemisjonsbelegg ($M = 0.12$) på utsiden av det ytterste glasset påvirker dannelsen av kondens.

Innetemperaturen i beregningene er satt til 20 °C. Om natten, når det er størst risiko for kondens, vil imidlertid innnetemperaturen ofte være redusert. Det er derfor også foretatt beregninger med en innnetemperatur på 17 °C (hele døgnet).

Som utgangspunkt er skjermingsgraden eller vinkelfaktoren i beregningene satt til 0.4, dvs at av vinduets totale "synsfelt" på 180° utgjør himmelen 40 % og landskap, bebyggelse, takutstikk osv det resterende. Det er også foretatt beregninger med en vinkelfaktor på 0.5, dvs mindre avskjerming.

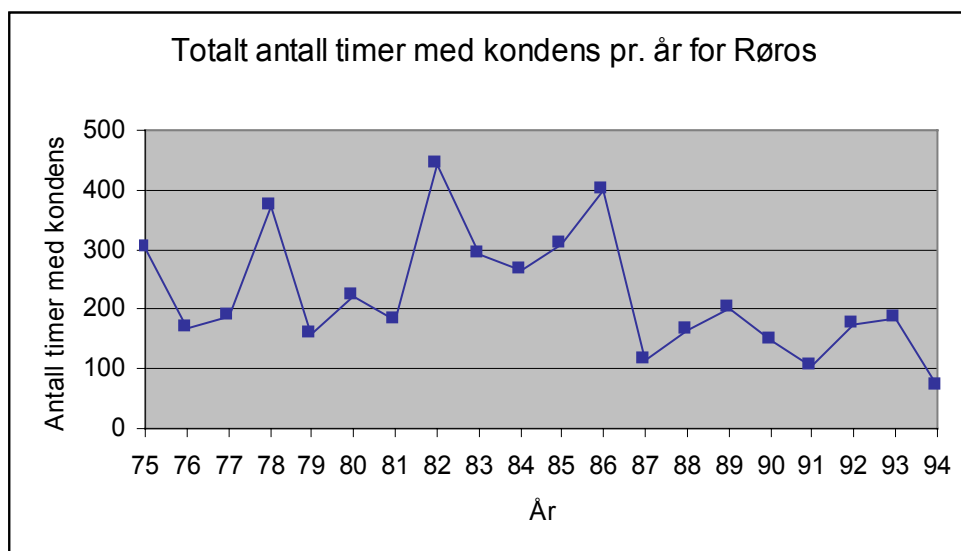
Tabell 3

Valgte inngangsverdier for ulike beregningsalternativer.

Alternativ nr.	U-verdi (U_s) ($\text{W/m}^2\text{K}$)			Emmisivitet (M) (-)		Vinkelfaktor (I) (-)		Innetemp., θ_i (°C)	
	0.8	1.1	1.4	0.84	0.12	0.4	0.5	20	17
1	x			x		x		x	
2		x		x		x		x	
3			x	x		x		x	
4	x				x	x		x	
5	x			x			x	x	
6	x			x		x			x

6 Resultater og vurderinger

Beregningene viser at forekomsten av utvendig kondens varierer mye fra år til år, dette gjelder både totalt antall kondenstimer samt variasjon av kondensforekomsten over året. I tillegg avhenger kondensforekomsten i stor grad av geografisk beliggenhet. I tabell 2 i kapittel 4.1 er variasjonen mht totalt antall kondenstimer pr. år for ulike klima over en 20-årsperiode vist. Dataene i tabell 2 for Røros er vist grafisk i figur 2.



Figur 2

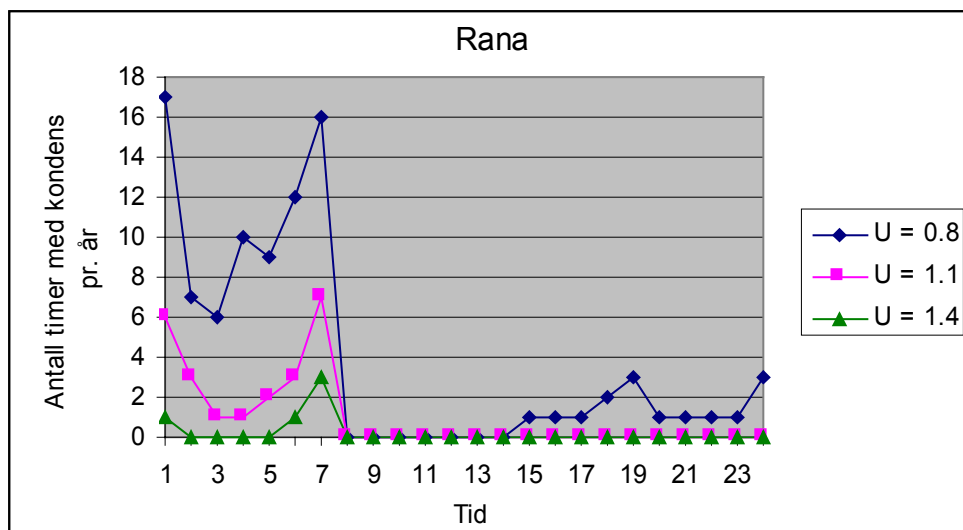
Totalt antall timer pr. år med utvendig kondens for vindusruter med $U = 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ i senter (beregningalternativ 1) for Rørosklima.

6.1 Klimadataenes betydning for resultatene

Profilen for totalt antall timer med kondens fordelt etter kondens tidspunkt over døgnet er ganske konstant fra år til år. For alle stedene når kondensforekomsten en topp mellom kl. 06 og 07 og mellom kl. 18 og 19. For Bergen, Røros, Værnes og Rana oppstår i tillegg en topp mellom kl. 24 og 01. Disse toppene skyldes at klimadataene er interpolerte data fra observasjoner kl. 01, 07, 13 og 19 (som er måletidspunktene for Det Norske Meteorologiske Institutt). Med virkelige timesverdier for utetemperatur og luftens RF på de andre tidspunktene, ville trolig kurvene, vist i figur 3 og 4 samt vedlegg 2, ikke hatt så skarpe topper kl. 01 og kl. 07, men vært mer avrundet. Det betyr også at en i virkeligheten kan ha hatt vilkår for kondens flere timer enn det som er beregnet. Det vil si at hvis beregningene for et døgn viser vilkår for kondens kl. 06 og 07, så hadde det kanskje med korrekte klimadata også oppstått kondens kl. 05 og kl 08.

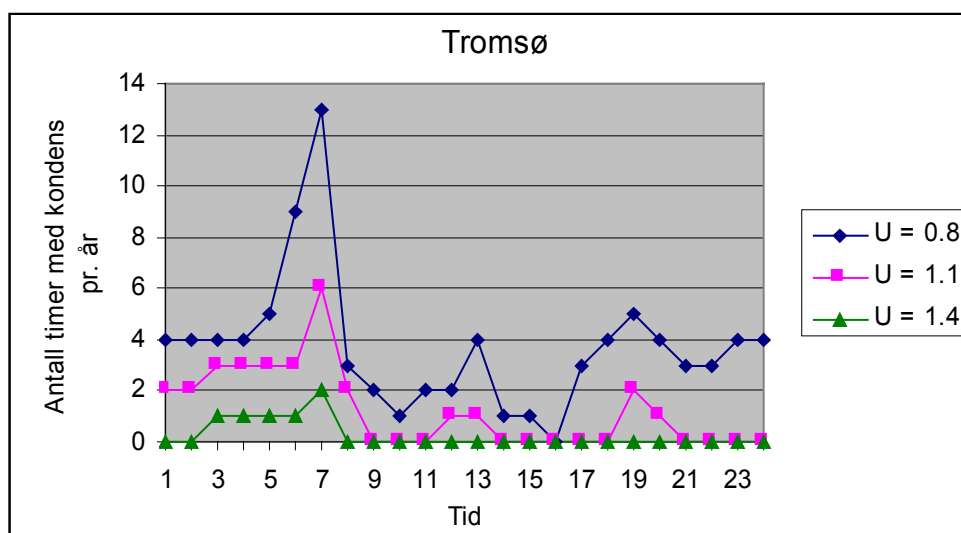
For Kjevik, Blindern og Tromsø eksisterer ikke måleverdier kl. 01. Klimadataene som er benyttet mellom kl. 19 og kl. 07 er da fremkommet ved lineær interpolasjon

mellem de to tidspunktene. Det betyr at beregnet kondensforekomst tidlig på natten (rundt kl. 01) trolig blir mindre enn i virkeligheten, siden den interpolerte verdien for RF kl. 01 trolig vil ligge lavere enn i virkeligheten. For disse stedene får man kun en markert topp i kondensforekomst om natten (kl. 06-07), mens for Bergen, Røros, Værnes og Rana får man i tillegg en topp ca kl. 01.



Figur 3

Antall timer med kondens i løpet av et år i Rana for ulike senter U-verdier, fordelt over døgnet. Observasjonstidspunkter: 01, 07, 13 og 19.



Figur 4

Antall timer med kondens i løpet av et år i Tromsø for ulike senter U-verdier, fordelt over døgnet. Observasjonstidspunkter: 07, 13 og 19.

6.2 Superisolerende ruter

Beregningsalternativ 1;

$U_s = 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$, utvendig emisjonsfaktor 0.84, inntetemperatur 20°C , vinkelfaktor 0.4

For beregningsalternativ 1 er det laget et beregnet gjennomsnittsår med hensyn til antall kondenster, basert på de 10 årene med kondensforekomst liggende nærmest gjennomsnittlig antall kondenster over 20 år, se forøvrig tabell 2. Dette er gjort fordi variasjonen over året for de ulike årene har vist seg å være svært stor. Tabell 4 viser antall timer med kondens pr. måned.

Tabell 4

Antall timer med kondens for ulike klima og for vindusruter med U-verdi i senter lik $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Verdiene er vist grafisk i vedlegg 1

Måned	$U_s = 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$						
	Kjevik	Blindern	Bergen	Røros	Værnes	Rana	Tromsø
1	10	9	9	7	6	15	15
2	8	6	11	12	5	7	5
3	3	3	5	8	2	4	3
4	7	2	8	15	5	3	0
5	3	3	10	24	6	6	0
6	2	3	11	22	5	6	0
7	5	4	13	37	10	12	1
8	15	11	33	35	23	15	5
9	12	16	24	29	22	14	15
10	21	12	32	20	11	5	19
11	16	20	29	13	12	14	21
12	31	31	21	5	10	15	8
Sum	132	121	206	228	115	117	92

6.3 Effekt av ulike U-verdier

Beregningsalternativ 1, 2 og 3;

Vindusrutenes U-verdi i senter henholdsvis 0.8, 1.1 og 1.4 W/m²K, utvendig emisjonsfaktor 0.84, innetemp. 20 °C, vinkelfaktor 0.4

Tabell 5 viser hvor stor betydning vindusrutens senter U-verdi har på risikoen for kondensdannelse. For disse resultatene er gjennomsnittsåret med tanke på antall kondenster pr. år, se tabell 2, benyttet. Resultatene viser at selv ruter med senter U-verdi lik 1.4 W/m²K, også kan få utvendig kondens i perioder. Verdiene i tabell 5 er vist grafisk i vedlegg 2. Det bør bemerkes at antall kondenster for henholdsvis Kjevik, Blindern og Tromsø ikke bør sammenlignes direkte med resultatene for de andre stedene. Dette fordi disse stedene mangler klimaobservasjoner kl. 01 og dermed får mindre (beregnet) risiko for kondens tidlig om natten. Dvs at Kjevik, Blindern og Tromsø får mindre antall beregnede kondenster enn det som sannsynligvis oppstår i virkeligheten.

Tabell 5

Antall timer med kondens i løpet av et år, avhengig av tid på døgnet og antall døgn disse kondensterne ligger innenfor (i parentes). Beregnet for ulike senter U-verdier og med klimadata fra år med gjennomsnittlig antall kondenster, se tabell 2.

Sted (år)	U _s = 0.8 W/m ² K			
	01-08	09-20	21-24	Sum
Kjevik (1984)	102 (35)	18 (8)	15 (4)	135 (41)
Blindern (1993)	84 (29)	12 (3)	7 (2)	103 (33)
Bergen (1985)	146 (36)	10 (4)	19 (9)	175 (42)
Røros (1980)	183 (46)	25 (8)	14 (11)	222 (62)
Værnes (1985)	145 (49)	21 (11)	37 (14)	203 (64)
Rana (1988)	77 (29)	9 (3)	6 (3)	92 (32)
Tromsø (1980)	46 (13)	29 (9)	14 (5)	89 (21)
	U _s = 1.1 W/m ² K			
	01-08	09-20	21-24	Sum
Kjevik (1984)	48 (35)	8 (8)	5 (4)	61 (27)
Blindern (1993)	29 (14)	2 (1)	0 (0)	31 (15)
Bergen (1985)	63 (19)	0 (0)	3 (3)	66 (22)
Røros (1980)	97 (32)	8 (2)	3 (3)	108 (36)
Værnes (1985)	59 (20)	3 (2)	12 (6)	74 (27)
Rana (1988)	23 (12)	0 (0)	0 (0)	23 (12)
Tromsø (1980)	24 (6)	5 (3)	0 (0)	29 (9)
	U _s = 1.4 W/m ² K			
	01-08	09-20	21-24	Sum
Kjevik (1984)	25 (14)	1 (1)	0 (0)	27 (15)
Blindern (1993)	10 (8)	0 (0)	0 (0)	10 (8)
Bergen (1985)	30 (8)	0 (0)	0 (0)	30 (8)
Røros (1980)	42 (17)	4 (1)	1 (1)	47 (19)
Værnes (1985)	37 (12)	0 (0)	8 (4)	45 (16)
Rana (1988)	5 (4)	0 (0)	0 (0)	5 (4)
Tromsø (1980)	6 (2)	0 (0)	0 (0)	6 (2)

6.4 Effekt av utvendig lavemisjonsbelegg

Beregningsalternativ 4;

$U_s = 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$, innetemperatur 20°C , avskjerming 0.4, utvendig emisjonsfaktor 0.12 (lavemisjonsbelegg)

Med de forutsetningene som er gjort med hensyn til innetemperatur og avskjerming, viser beregningsresultatene at det aldri oppstår utvendig kondens på vindusruter når de utvendige glassene har et lavemisjonsbelegg ($\varepsilon = 0.12$) på utsiden. Dette gjelder for alle de stedene som er undersøkt. For mindre avskjerming og lavere innetemperature kan muligens utvendig kondens oppstå, men dette er ikke undersøkt.

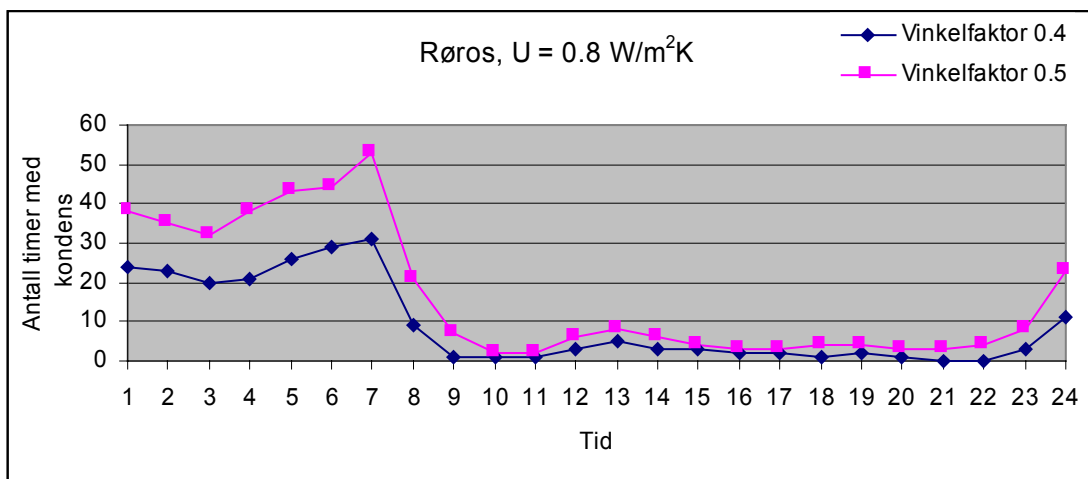
6.5 Effekt av avskjerming

Beregningsalternativ 1 og 5;

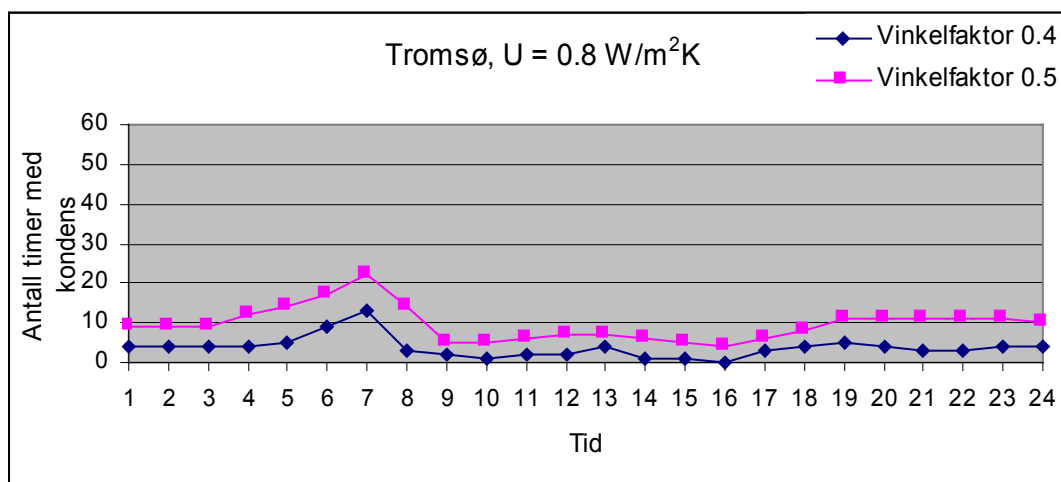
$U_s = 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$, utvendig emisjonsfaktor 0.84, innetemperatur 20°C , vinkelfaktor henholdsvis 0.4 og 0.5

Avskjermingen har avgjørende betydning for kondensdannelse på utsiden av vinduene. Det er gjort beregninger med to ulike grader av avskjerming, dvs vinkelfaktor på henholdsvis 0.4 og 0.5. En vinkelfaktor på 0.4 innebærer at fri horisont eller vinduenes utsikt til himmelen utgjør 40 %, og at bygningsutspring, annen bebyggelse, vegetasjon m.m utgjør de resterende 60 % av vinduenes ”utsikt”. En vinkelfaktor på 0.4 til 0.5 antas å være representativt for normal avskjerming for vinduer montert i vegger. For Røros vil redusert avskjerming, dvs vinkelfaktor fra 0.4 til 0.5, medføre ca 170 flere timer med kondens (+ 76 %), tilsvarende for Tromsø ca 140 flere timer (+ 157 %). Dette viser at selv 10% mindre avskjerming har svært stor betydning for risikoen for kondens.

Effekten av varierende avskjerming eller vinkelfaktor er vist for Røros og Tromsø, som representerer ytterkantene med hensyn til kondensforekomst, i figur 5 og 6 ved antall timer med kondens pr. år, fordelt over døgnet. Verdiene er vist i tabellform i vedlegg 3.



Figur 5,
Effekten av ulik grad av avskjerming i Røros (beregningalternativ 1 og 5). Klimaår 1980 er benyttet, se tabell 2.



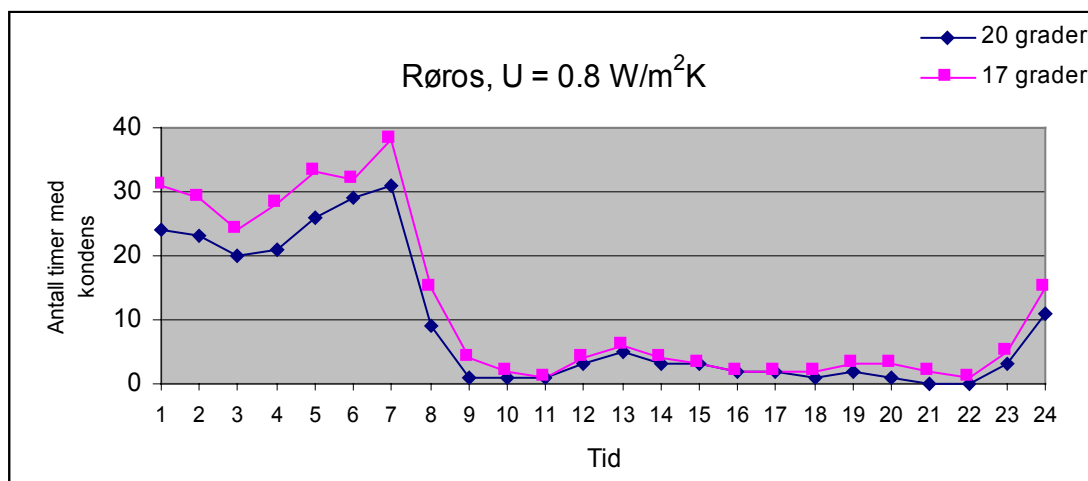
Figur 6
Effekten av ulik grad av avskjerming i Tromsø (beregningalternativ 1 og 5). Klimaår 1980 er benyttet, se tabell 2.

6.6 Effekt av innetemperatur

Beregningsalternativ 1 og 6;

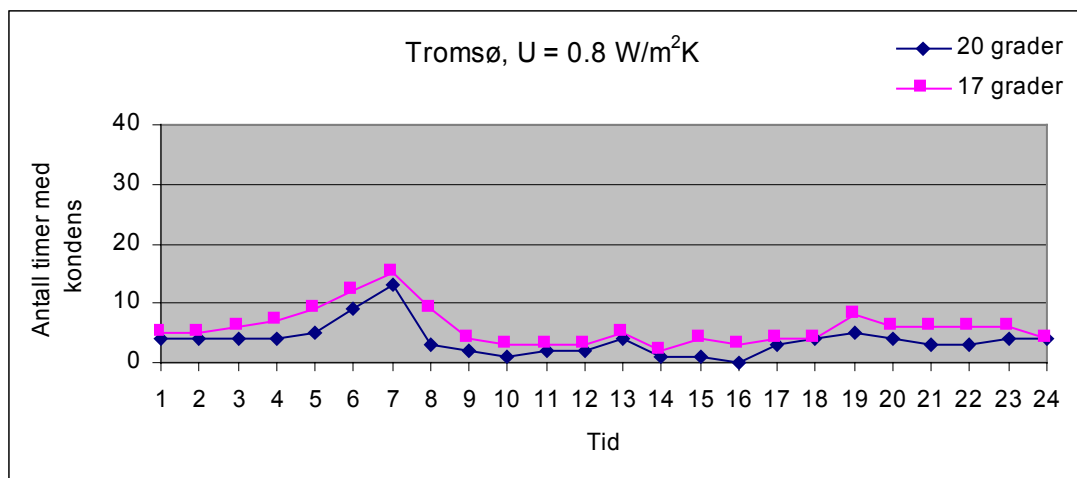
$U_s = 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$, utvendig emisjonsfaktor 0.84, vinkelfaktor 0.4, innetemperatur henholdsvis 20°C og 17°C

Om natten og tidlig på morgenen er det ikke uvanlig at temperaturen settes lavere enn på dagtid, og det er derfor sett på hva en innetemperatur på 17°C betyr i forhold til en innetemperatur på 20°C . Ikke uventet vil lavere innetemperatur medføre mer utvendig kondens; ca 50 timer mer i Røros (+23 %) og ca 20 timer mer i Tromsø (+ 22 %) for et helt år i perioden mellom kl. 21 og 07. Effekten av varierende innetemperatur for Røros og Tromsø er vist i figur 7 og 8 ved antall timer med kondens pr. år, fordelt over døgnet. Verdiene er vist i tabell i vedlegg 3.



Figur 7

Effekten av ulike innetemperaturer i Røros (beregningalternativ 1 og 6). Klimaår 1980 er benyttet, se tabell 2.



Figur 8

Effekten av ulike innetemperaturer i Tromsø (beregningalternativ 1 og 6). Klimaår 1980 er benyttet, se tabell 2.

6.7 Oppsummering av beregningsresultatene

U-verdiens betydning for utvendig kondens

Naturlig nok viser resultatene at vindusrutenes varmeisolasjonsevne har svært stor betydning for risikoen for kondens. Så lav senter U-verdi som $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ gir relativt mye større antall kondenster i forhold til senter U-verdi lik $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$, enn hva en reduksjon av senter U-verdi fra $1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ til $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ medfører. Resultatene viser at selv vindusruter med en senter U-verdi lik $1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ også kan få utvendig kondens. Tabell 6 viser en oversikt over antall timer med kondens for de tre ulike rutetypene i løpet av et år.

Tabell 6

Antall timer med kondens pr. år samt antall døgn med kondens i løpet av året (i parantes) for ulike klima og for vindusruter med ulik varmeisolasjon. Verdiene er vist grafisk i vedlegg 2.

Sted	Årstall	U _s (W/m ² K)		
		0,8	1,1	1,4
Kjevik	1984	135 (41)	61 (27)	27 (15)
Blindern	1993	103 (33)	31 (15)	10 (8)
Bergen	1985	175 (42)	66 (22)	30 (8)
Røros	1980	222 (62)	108 (36)	47 (19)
Værnes	1985	203 (64)	74 (27)	45 (16)
Rana	1988	92 (32)	23 (12)	5 (4)
Tromsø	1980	89 (21)	29 (9)	6 (2)

Betydningen av utvendig lavemisjonsbelegg for utvendig kondens

For de undersøkte beregningstilfellene fant vi at et lavemisjonsbelegg på utsiden av rutene eliminerer risikoen for dannelsen av utvendig kondens, selv for ruter med U-verdi i senter lik $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Avskjermingens betydning for utvendig kondens

Avskjermingen har betydelig innvirkning på dannelsen av utvendig kondens. En reduksjon av avskjermingen på 10 %, f.eks ved at himmelen utgjør 50 % av vinduenes ”utsikt” istedet for 40%, vil for et gjennomsnittsårlig resultere i ca 170 flere kondenster for Rørosklima (+ 76 %) og ca 140 flere timer for Tromsøklima (+ 157 %). Disse tallene representerer henholdsvis minste og største økning for de klimaene som er undersøkt.

Innetemperaturens betydning for utvendig kondens

Innetemperaturen har en viss betydning for dannelsen av utvendig kondens. I forhold til avskjermingens betydning for kondensdannelsen er allikevel innetemperaturens innvirkning relativt liten. En reduksjon av innetemperaturen fra $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ til $17 \text{ }^{\circ}\text{C}$ hele døgnet vil for et gjennomsnittsårlig medføre ca 50 flere kondenster for Rørosklima (+ 23 %) og ca 20 flere timer for Tromsøklima (+ 22 %) i perioden 21 til 07 på døgnet.

7 Sammenhenger mellom klima og kondensforekomst

Det er foretatt analyser av sammenhengen mellom kondensforekomst og ulike klimaparametre. Vedlegg 6 viser grafisk en del av resultatene fra denne analysen.

7.1 Geografisk lokalisering

Korrelasjonen mellom årlig antall kondenster og årlig gjennomsnittlig RF til utelufta er undersøkt for alle midlere klimaår for beregningsalternativ 1. Korrelasjonskoeffisienten mellom årlig antall kondenster og årlig gjennomsnittlig RF var 0.81 for Kjevik, Blindern og Tromsø og 0.77 for de andre stedene. Korrelasjonskoeffisienten er et mål for sammenhengen mellom to variable x og y . Koeffisienten varierer mellom -1 og $+1$. Korrelasjonskoeffisienten er positiv hvis y øker når x øker, og negativ hvis y reduseres og x øker. Jo nærmere et plott av x og y ligger en rett linje, jo nærmere vil korrelasjonskoeffisienten ligge nær 0. De relativt høye korrelasjonskoeffisientene som framkommer fra undersøkelsene indikerer at ved en geografisk lokalisering der årlig gjennomsnittlig RF er høy (f.eks. for Røros), vil trolig også antall kondenster over året være høyt.

7.2 Årlige variasjoner i klima

Korrelasjonen mellom årlig antall kondenster og årlig gjennomsnittlig RF til utelufta er undersøkt for alle steder med årsverdier fra 1975 til 1994 (Rana 1969-1988). Korrelasjonskoeffisienten er vist i tabell 7. Vi ser at korrelasjonskoeffisienten er forholdsvis høy, noe som indikerer at for et enkelt sted vil et klimaår med høy gjennomsnittlig årlig RF gi et høyt antall kondenster. Det ble ikke funnet noen klar sammenheng mellom årlig antall kondenster og årlig gjennomsnittlig utetemperatur.

Tabell 7

Korrelasjonskoeffisienten mellom årlig antall kondenster og årlig gjennomsnittlig RF til utelufta for forskjellige steder.

Klima	Korrelasjonskoeffisient
Kjevik (1975-94)	0.74
Blindern (1975-94)	0.67
Bergen (1975-94)	0.70
Røros (1975-94)	0.68
Værnes (1975-94)	0.78

Rana (1969-85, 1988)	0.49
Tromsø (1975-94)	0.50

7.3 Månedlige variasjoner i klima

For Bergen og Blindern ble korrelasjonen mellom månedlig antall kondensterimer og månedlig gjennomsnitt av RF undersøkt for beregningsalternativ 1.

Korrelasjonskoeffisienten for Bergen og Blindern var på henholdsvis 0.71 og 0.58. Det indikerer at i måneder med høy RF vil antall kondensterimer være større enn i måneder med lav RF. Dette kan man også lese ut av figurene i vedlegg 1, hvor kondensforekomsten er størst på høsten og midtvinters og lavest om våren, noe som samsvarer godt med årssyklusen til uteluftas RF.

7.4 Døgnvariasjoner i klima

Resultatene viser at kondensforekomsten er størst om natten, se vedlegg 2. Det skal imidlertid bemerkes at siden figurene i vedlegg 2 viser kondensforekomsten summert over et år, behøver ikke kurvene være typiske for et enkelt døgn. Ofte opptrer kondens kun en eller to timer pr døgn, og da gjerne mellom kl. 01 og 02 eller mellom kl. 06 og 07. Andre ganger varer kondensen lenger, f.eks fra kl. 23 til kl. 07. De døgnmessige variasjonene vi ser i kondensforekomst samsvarer godt med typisk variasjon i uteluftas temperatur og RF. Om natten er vanligvis temperaturen på sitt laveste og dermed den relative luftfuktigheten på sitt høyeste, noe som gir gode forhold for kondens. I tillegg er ofte vindhastigheten relativt lav om natten i forhold til midt på dagen.

7.5 Sammenhengen mellom kondensforekomst og timesvise klimadata

For Bergen og Blindern ble klimaparametrene ved kondensetidspunktene (timer hvor kondens inntraff) undersøkt for hele beregningsåret, se tabell 2, for beregningsalternativ 1. Resultatene er oppsummert i tabell 8. For disse to tilfellene fant vi at RF måtte være over ca 85 % før kondens inntraff. Kondens inntraff ikke ved vindhastigheter over 2.5 m/s. Ved lave RF-verdier var samtidig gjerne skydekkefaktoren og vindhastigheten forholdsvis lave.

Tabell 8

Klimaparametre ved kondensetidspunktene over hele året for beregningsalternativ 1 for Bergen og Blindern. En skydekkefaktor lik 0 betyr at det er helt klar himmel.

Klimaparametre	Bergen		Blindern	
	Gj. snitt	Min./max	Gj. snitt	Min./max
RF (%)	92	86 / 99	95	88 / 99

Vindhastighet (m/s)	0.3	0 / 2.5	0.9	0 / 2.5
Skydekkefaktor (0-8)	1.0	0 / 5	2.3	0 / 7

8 Konklusjon

Beregningene viser at forekomsten av utvendig kondens varierer mye fra år til år, dette gjelder både totalt antall kondens timer og fordelingen over året. I tillegg avhenger forekomsten av kondens i stor grad av geografisk beliggenhet.

Naturlig nok viser resultatene at vindusrutenes varmeisolasjonsevne har svært stor betydning for risikoen for kondens. Så lav senter U-verdi som $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ gir relativt mye større antall kondens timer i forhold til en senter U-verdi lik $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$, enn hva en økning fra senter U-verdi lik $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ til $1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ medfører. Resultatene viser at vindusruter med en senter U-verdi lik $1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$, også kan få utvendig kondens. Tabell 9 viser en oversikt over antall timer med kondens i løpet av et år, fordelt på tre tidsrom i løpet av døgnet, samt hvor mange antall døgn (i parentes) disse kondens timene ligger innenfor.

Tabell 9

Antall timer og dager (i parentes) med kondens, avhengig av tid på døgnet og rutens senter U-verdi

Sted	$U_s = 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$				$U_s = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$				$U_s = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$			
	01-08	09-20	21-24	Sum	01-08	09-20	21-24	Sum	01-08	09-20	21-24	Sum
Kjevik	102 (35)	18 (8)	15 (4)	135	48 (35)	8 (8)	5 (4)	61	25 (14)	1 (1)	0 (0)	27
Blindern	84 (29)	12 (3)	7 (2)	103	29 (14)	2 (1)	0 (0)	31	10 (8)	0 (0)	0 (0)	10
Bergen	146 (36)	10 (4)	19 (9)	175	63 (19)	0 (0)	3 (3)	66	30 (8)	0 (0)	0 (0)	30
Røros	183 (46)	25 (8)	14 (11)	222	97 (32)	8 (2)	3 (3)	108	42 (17)	4 (1)	1 (1)	47
Værnes	145 (49)	21 (11)	37 (14)	203	59 (20)	3 (2)	12 (6)	74	37 (12)	0 (0)	8 (4)	45
Rana	77 (29)	9 (3)	6 (3)	92	23 (12)	0 (0)	0 (0)	23	5 (4)	0 (0)	0 (0)	5
Tromsø	46 (13)	29 (9)	14 (5)	89	24 (6)	5 (3)	0 (0)	29	6 (2)	0 (0)	0 (0)	6

Beregningsresultatene viser at innnetemperaturen har en viss betydning for kondensforekomsten på vinduenes utside. Om natten og tidlig på morgenen er det ikke uvanlig at temperaturen settes lavere enn på dagtid, og det er derfor sett på hva en innnetemperatur på 17°C betyr i forhold til en innnetemperatur på 20°C . En temperaturreduksjon fra 20°C til 17°C medfører ca 50 timer mer med kondens i Røros (+ 23 %) og ca 20 timer mer i Tromsø (+ 22 %) for et helt år i perioden mellom kl. 21 og 07.

Avskjermingen har en svært avgjørende betydning for kondensdannelse på utsiden av vinduene. Det er gjort beregninger med to ulike grader av avskjerming, dvs vinkelfaktor lik 0.4 og 0.5. For Røros vil redusert avskjerming, dvs en økning av vinkelfaktoren fra 0.4 til 0.5, medføre ca 170 flere timer med kondens (+ 77 %), tilsvarende for Tromsø ca 140 flere timer (+157 %). Dette viser at selv 10% mindre avskjerming har svært stor betydning for risikoen for kondens.

Med de forutsetningene som er gjort med hensyn til innetemperatur og avskjerming, viser beregningsresultatene at det aldri oppstår utvendig kondens på vindusruter med utvendig lavemisjonsbelegg ($\epsilon = 0.12$). Dette gjelder for alle de stedene som er undersøkt. For mindre avskjerming og lavere innetemperature kan muligens utvendig kondens oppstå, men dette er ikke undersøkt. I et bolighus i Moi er et vindu med $U = 0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$ i rutens senter og med et røpefast lavemisjonsbelegg på det ytterste glassets utside montert med tanke reduksjon eller eliminering av utvendig kondens. Det har vist seg at utvendig kondens ikke har oppstått for dette glasset, mens kondens flere ganger har oppstått på et tilsvarende vindu ved siden av, men uten det utvendige lavemisjonsbelegget.

Det er foretatt analyser av sammenhengen mellom kondensforekomst og ulike klimaparametre. Resultatene viser at klima med høy årlig gjennomsnittlig relativ luftfuktighet (RF) vil gi et høyere antall kondensterimer enn klima med lavere gjennomsnittlig RF. Dette gjelder når både geografisk plassering, årlige og månedlige variasjoner samt variasjoner over døgnet sammenlignes. For to klima, Bergen og Blindern, ble det også vist at uteluftens RF må være over 85 % før kondens inntreffer. I disse tilfellene intraff det ikke kondens ved vindhastigheter over 2.5 m/s.

På bakgrunn av sammenligningen av de målte og beregnede resultatene i /1/, synes beregningsmetoden å være svært nøyaktig, på tross av at den inneholder noen forenklinger. Det ses bl.a bort fra vindretning og solstråling. Dette gir forholdsvis liten unøyaktighet, da størrelsen på disse klimaparametrene er ubetydelige i den perioden når utvendig kondens normalt oppstår. Dette er framkommet som følge av målingene i Borås. Modellen gir derimot ikke noe svar på hvor lang tid det tar før kondensen har tørket bort etter at vilkårene for kondensdannelse ikke lenger er til stede. Tørkingen skjer hurtigst om morgenen når solstrålene treffer vindusruten. Det er heller ikke tatt hensyn til at solstrålingen reduserer risikoen for dannelsen av kondens, noe som er spesielt viktig tidlig på morgenen og ellers midt på dagen hvor direkte eller diffus solstråling vil treffe glasset. I /1/, hvor beregnede antall kondensterimer er sammenlignet med målte, viste det seg at antall kondensterimer var svært sammenfallende i perioder når solstrålene ikke treffer vinduet. Dette betyr at antall timer med kondens på vinduene sannsynligvis vil være lavere om dagen enn det de beregnede resultatene viser. Dessuten vil innetemperaturen i både boliger og yrkesbygg normal ligge høyere enn 20 °C på dagtid, noe som ytterligere til en viss grad reduserer risikoen for kondens. Dette bør det tas hensyn til ved vurdering av beregningsresultatene for dagtid.

9 Referanser

- 1 B. Jonsson; "Uvändig kondens på fönster. Mätningar i Borås 1994". Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Energiteknik, Byggnadsfysik. SP rapport 1995:01.
- 2 J. O. Rasmussen; "Glass – observasjoner", notat 1994.
- 3 S. Geving; "Norske klimadata. Oversikt over klimadata tilgjengelig ved Byggforsk og Institutt for bygg og anleggsteknikk". Arbedisrapport 10, Fukt i bygningsmaterialer og konstruksjoner, Norges Byggforskningsinstitut, Trondheim, 1997.
- 4 M.H. Unsworth, J.L. Monteith; "Long Wave radiation at the ground. I. Angular distribution of incoming radiation". Quart. J. R. Met. Soc., Vol 101, pp. 13-24, 1975.