

Evaluering af overfladetemperaturkrav i bygningsreglementet

STEENSEN VARMING

København, 11. august 2014

Jørgen M. Schultz
Steensen & Varming ApS
joergen.schultz@steensenvarming.com

Henrik Sørensen
henrik-innovation ApS
hs@henrik-innovation.dk

Indholdsfortegnelse

1	Indledning.....	3
2	Resume.....	4
3	Kondens på vinduesrammer.....	6
3.1	Tekniske forhold	6
3.1.1	Hvad udløser kondens?	6
3.1.2	Hvad er sammenhængen til øvrige tekniske parametre for vinduet?	8
3.1.3	Hvor ofte optræder der kondens?	18
3.1.4	Kondenseret vandmængde	20
3.1.5	Kondensrisikovurdering for andre lande end Danmark	22
3.1.6	Hvad er den tekniske konsekvens af kondens?	23
3.2	Sundhedsmæssige forhold	23
4	Vurdering og dokumentation af vinduers kondensrisiko.....	25
4.1	Beregning	25
4.1.1	Facadevinduer.....	25
4.1.2	Tagvinduer/ovenlys	25
4.2	Måling.....	26
4.3	Kan andre krav erstatte temperaturkravet?	26
4.3.1	CE-mærkning.....	26
4.3.2	Eref	27
4.3.3	Andet	29
4.3.4	Opsummering	30
5	Kondensrelaterede krav i udlandet	31
6	Interessenters synspunkter mht. overfladetemperaturkrav	33
7	Diskussion	35
7.1	Er kondens på vinduesrammer et problem?	35
7.2	Bør der differentieres mellem udskiftning, renovering og nybyg?	35
7.3	Er det et problem som bygningsreglementet skal adressere?	36
8	Konklusion	38
9	Litteratur.....	41
9.1	Værktøjer, guider og lign.	41

1 Indledning

Denne rapport er udarbejdet på foranledning af Energistyrelsens ønske om at evaluere Bygningsreglementets krav til indvendig overfladetemperatur for vinduesrammer for at undgå kondensdannelse.

Opgaven blev udbudt som konsulentopgave, som blev vundet af henrik-innovation ApS i samarbejde med Steensen & Varming ApS, som indgik kontrakt på baggrund af opgaveformuleringen defineret af Energistyrelsen, med følgende punkter:

1. Hvad er problemet med kondens på vinduer?
2. Hvor stort er problemet i DK og EU?
3. På hvilke andre måder (end temperaturkrav) kan kondensdannelse undgås?
4. Er der i forbindelse med CE-mærkningen allerede metoder, som kan anvendes?
5. Er det muligt at lette firmaernes dokumentationskrav, hvis overfladetemperaturkrav forsvinder?
6. Vil der være nogen problematikker i forbindelse med at krav til overfladetemperaturkrav blev mandateret og dermed en del af CE-mærkning for vinduer og ovenlys?
7. Hvor meget dokumentation kræver det nuværende overfladetemperatur-krav i bygningsreglementet af virksomhederne for facade- og ovenlys-vinduer?
8. Hvor meget "værdi" ligger der i overfladetemperaturkravet i det eksisterende marked for facade- og ovenlys-vinduer ?
9. Hvor store kondensproblemer vil opstå med forskellige niveauer af overfladetemperaturkrav (eller ækvivalente krav)?
10. Skal krav differentieres mellem facadevinduer- og ovenlysvinduer?
11. Bør der differentieres mellem vinduesudskiftning, reovering og nybyggeri?
12. Bør der indføres overfladetemperaturkrav til konstruktionen mellem facade/vindue eller tag/ovenlys for at sikre mod "skjult" kondens i konstruktionen?

Punkt 1 behandles i rapportens kapitel 7, punkt 2, 9, 10 og 11 behandles i rapportens kapitel 3, punkt 3, 4, 5 og 7 behandles i rapportens kapitel 4, punkt 6 og 8 behandles i rapportens kapitel 6 og punkt 12 behandles i rapportens kapitel 5.

Rapporten er udarbejdet af Jørgen M. Schultz, Steensen Varming og Henrik Sørensen, henrik-innovation og består af en teknisk gennemgang illustreret med en række detaljerede bygningstekniske simuleringer, litteraturstudier og interviews med interessenter i vinduesbranchen.

Rapportens resultater er som udgangspunkt fortrolige, og må ikke offentliggøres uden forudgående aftale med Niels Bruus Varming, Energistyrelsen (nbv@ens.dk, 3392 6700).

2 Resume

Udredningsarbejdet omkring overfladetemperaturkrav til vinduer indeholder følgende elementer:

- en teknisk gennemgang af forhold, der har betydning for den resulterende overfladetemperatur
- en vurdering af betydningen af kondens på vinduer for indeklimaet baseret på litteraturstudier
- interviews af et bredt segment af interessenter

Den tekniske gennemgang er udført ved anvendelse af 2- og 3-dimensionale beregningsprogrammer samt overslagsværktøjer opbygget i Excel specielt tilrettet for opfyldelse af dette projekts målsætning.

Projektets hovedresultater er gengivet nedenstående, men der henvises til rapportens kapitel 8 "Konklusion" for yderligere resultater.

- **Indvendig kondens på vinduer er primært en brugsmæssig gene og en kilde til øgede vedligeholdelsesomkostninger. Skjult kondens i vindueskonstruktionen vil dog kunne udgøre en risiko for nedbrydning af vinduet og eventuelt de omkringliggende konstruktioner.** Undersøgelser har ikke kunnet påvise en sammenhæng mellem kondens på vinduer og forringet indeluftkvalitet. Derimod vil dårligt indeklima forårsaget af manglende ventilation kunne medføre kondensproblemer på vinduerne.
- Med normalt forekommende fugtproduktion og et luftskifte på $0,5 \text{ h}^{-1}$ vil der ved en reel overfladetemperatur på $9,3 \text{ °C}$ forekomme kondensdannelse mindre end 10 gange om året, og den kondenserede mængde vil ikke udgøre nogen risiko for konstruktioner eller indeklima. Kondens indvendigt på vinduer er ikke kun et dansk problem forårsaget af et særligt klima. **Beregninger udført med identiske værdier for luftskifte og fugtproduktion i boliger, viser at problemet teoretisk bør forekomme overalt i Europa.**
- **Minimum overfladetemperatur er det eneste krav, der direkte kan påvirke risikoen for kondensdannelse. Overfladetemperaturkrav giver producenterne frie muligheder for udvikling af produkter, der lever op til kravet. Dokumentationsbyrden vurderes minimal for producenter, der i forvejen dokumenterer vinduets U-værdi ved beregning.** Indholdet i den nuværende CE-mærkning har ikke oplysninger, der ved kravstilling gør det muligt at sikre mod lave overfladetemperaturer på vindueskonstruktioner.
- Krav kan/bør differentieres mellem facadevinduer og tagvinduer/ovenlys pga. forskelle i interne konvektionsmønstre i rudens hulrum, hvis dokumentation af overfladetemperatur sker ved beregning.
- **Krav til indvendig overfladetemperatur på vinduer bør præciseres til at gælde for alle indvendige overflader på vinduet, som er i kontakt med rumluften.**
- **Krav til minimum overfladetemperatur sikrer ikke mod kondens på vinduer, men øges kravet til minimumoverfladetemperatur, vil risikoen for kondens reduceres.**
- Interessentanalysen viser, at overfladetemperaturkravet har værdi for mange producenter i forbindelse med kunders klager over kondens på nye vinduer, hvor producenten kan referere til, at produktet overholder lovkravet. Det fremhæves også, at lovkravet betyder fair konkurrence på det danske marked, idet også udenlandske producenter og producenter uden for brancheforeningen skal opfylde kravet. Det

vurderes også bredt i branchen, at vinduets minimumoverfladetemperatur ikke er en selvstændig konkurrenceparameter, der kan kommunikeres ud til slutbrugeren, hvorfor markedskræfterne ikke på dette område vil regulere udbud og efterspørgsel.

- Det anbefales, at der indføres enslydende krav til minimum overfladetemperatur for vinduer ved udskiftning og ved nybyggeri, hvis overfladetemperaturkravet skal bibeholdes. Dette primært fordi, det vil skabe større konsistens mellem Bygningsreglementets forskellige afsnit. Vinduer til nybyggeri vil i stor udstrækning være A-mærkede, hvilket generelt overflødiggør overfladetemperaturkravet. Ved renovering af vinduer bør der ikke stilles krav til minimum overfladetemperatur, men der bør stilles krav om, at renoveringen ikke må føre til øget kondensrisiko.

3 Kondens på vinduesrammer

3.1 Tekniske forhold

3.1.1 Hvad udløser kondens?

Kondens på en overflade opstår overordnet set når overfladens temperatur bliver lavere end den omkringliggende lufts dugpunkt. Imidlertid har det vist sig, at kondensdannelsen i nogle tilfælde udebliver selvom de makroskopiske forhold for kondensdannelse (overfladetemperatur, dugpunktstemperatur) er tilstede.

Nedenstående figur 1 viser et eksempel, hvor den venstre og højre halvdel af ruden (adskillelse markeret med lodret lys tape) er rengjort med to forskellige rengøringsmidler. På højre del optræder tydelig kondensdannelse nederst til højre på billedet, mens der ikke er synlig kondens på den venstre halvdel.



Figur 1. Vinduesrude rengjort med 2 forskellige rengøringsmidler på hhv. venstre og højre halvdel (adskillelse markeret med lys lodret tape).

Foto venligst stillet til rådighed af DOVISTA A/S.

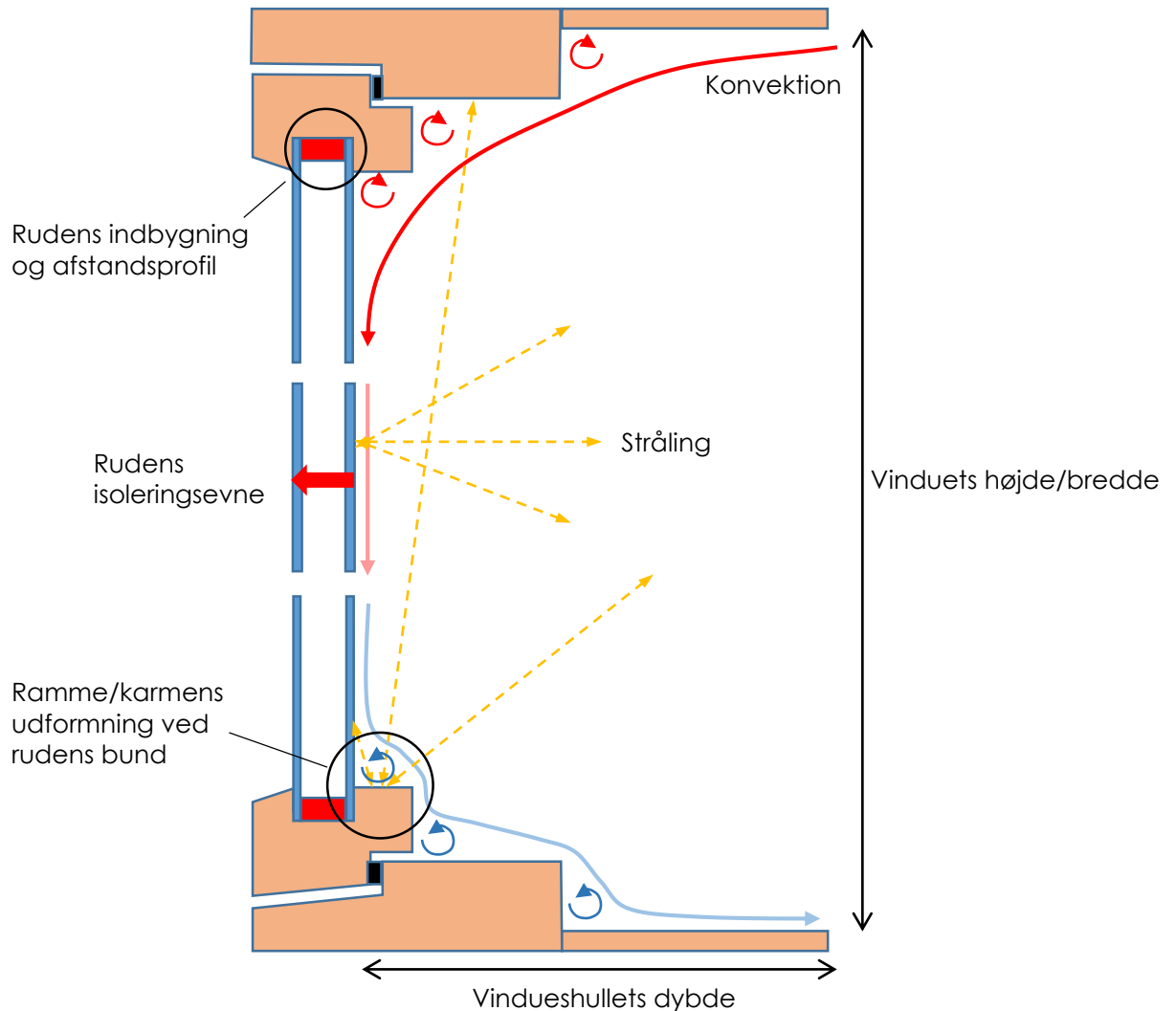
Kondensdannelse på vinduer er generelt kædet sammen med for ringe udluftning af boligen i forhold til den interne fugtproduktion. Til belysning af dette er der gennemført en undersøgelse af indeklima og ventilationsforhold i 8 forskellige enfamiliehuse, der alle har klaget over kondensproblemer på vinduerne [1]. Konklusionen er, at undersøgelsen ikke giver noget klart billede af, hvorfor der optræder kondens i de 8 huse.

Ovenstående forhold har været udgangspunktet for en erhvervs-Ph.d. på Aalborg Universitet med det formål at klarlægge de fysiske forhold, der udløser kondensdannelse. Projektet er udført af Kasper R. Jensen. Resultatet af Ph.d.-projektet viser, at der er en lang række faktorer, som har indflydelse på kondensdannelse på vinduer:

1. Rudens isoleringsevne
2. Rudens indbygning i ramme/karm
3. Isoleringsevnen af det anvendte afstandsprofil

4. Ramme/karmens udformning ved rudens bund
5. Vinduets indbygning i vægkonstruktionen
6. Emittansen af rudens indvendige glasoverflade
7. Glassets overflade – hydrofobisk/hydrofilisk/andre forhold

Punkterne 1 – 6 berører alle de termiske forhold for ruden i form af vinduets/rudens isoleringsevne, varmetransport ved stråling mellem rudens indvendige overflade og det omkransende rum. Derudover har de strømningsmæssige forhold langs ruden ved naturlig konvektion (luftstrømning) forårsaget af temperaturforskellen mellem glas og rumluft betydning.



Figur 2. Skematisk fremstilling af de forskellige forhold der indvirker på den resulterende overfladetemperatur på vinduer.

Punkt 7 berører ikke den resulterende overfladetemperatur, men derimod overfladestrukturen, der vil have indflydelse på, hvor let rumfugten har ved at udfælde som kondens på overfladen.

Hydrofile overflader vil sprede kondenserede vanddråber ud til en tynd film, der dermed gør kondensdannelsen meget mindre synlig. Derudover vil en hydrofil overflade modvirke, at mindre vanddråber samler sig til større, der efterhånden når en vægt, der får dem til at glide ned ad

ruden.

Hydrofobe overflader har den modsatte virkning, hvor kondenseret vand vil samle sig i bitte små dråber, og dermed gøre kondensdannelsen meget synlig.

Baseret på observationen vist i figur 1. var det forventeligt, at forskellige rengøringsmidler kunne bevirke, at glassets overflade på grund af rester af rengøringsmidlet ville opnå forskellige overfladestrukturer, hvilket dermed kunne forklare observationen. På trods af detaljerede undersøgelser af overfladestrukturerne på nanoskala-niveau har det dog ikke været muligt at eftervise dette videnskabeligt i det udførte erhvervs-ph.d.

Ligeledes har det i projektet heller ikke været muligt, at identificere de fysiske eller kemiske love, der initierer de allerførste faser af kondensdannelse.

De udførte forsøg har alle været med rengjorte ruder, men det kunne også være interessant at gennemføre en undersøgelse med upudsede ruder for at se, om normalt forekommende urenheder på rudens overflade kan danne kim for udfældning af kondens. Dette kunne være en supplerende årsag til, at der observeres en meget stor variation i kondensforhold mellem forskellige boliger.

3.1.2 Hvad er sammenhængen til øvrige tekniske parametre for vinduet?

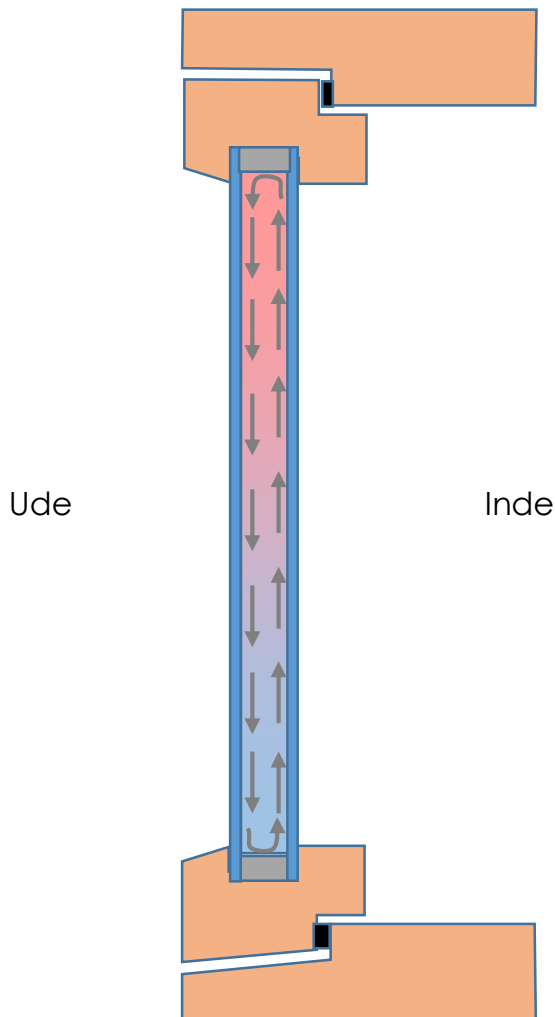
Betydning af intern konvektion i 2-lags lodret energirude

Minimumskravet til indvendig overfladetemperatur på vinduers karmkonstruktion ved udskiftning er i Bygningsreglement 2010 sat til 9,3 °C, hvilket svarer til dugpunktet ved en rumtemperatur på 20 °C og en relativ luftfugtighed i indeluften på 50 % RF.

Overfladetemperaturen skal ifølge Bygningsreglementet 2010 beregnes ved anvendelse af DS/EN ISO 10077-2 til beregning af vinduers U-værdi. Beregningen skal foretages ved en udetemperatur på 0 °C og en indetemperatur på 20 °C. Beregningsmetoden anvender standardværdier for udvendig og indvendig overgangsisolans på henholdsvis 0,04 og 0,13 m²K/W. Overgangsisolanserne er en kombineret værdi for varmeudvekslingen mellem overfladen og omgivelserne ved stråling, ledning og konvektion. I standarden erkendes det, at der i hjørnet, hvor ruden møder ramme/karmkonstruktionen, optræder væsentligt andre forhold end midt på ruden, hvorfor der i dette område specificeres en forøget indvendig overgangsisolans på 0,20 m²K/W. Dette skal tage højde for intern strålingsudveksling mellem rude og ramme/karm samt reduceret konvektion i dette område.

Beregning med DS/EN ISO 10077-2 giver en detaljeret beregning af varmestrømmene i vindueskonstruktionen, svarende til ovenstående punkt 1 – 3. Metoden fører til en god bestemmelse af vinduets U-værdi.

Ved beregningen anvendes en isolans for rudens gasfyldning, der er en gennemsnitlig værdi beregnet for hele rudens areal. Rudens glasafstand er typisk optimeret til at give størst mulig isolans for den anvendte gasfyldning, hvilket indebærer, at der internt i ruden er en svag cirkulation af gassen på grund af de termiske drivkræfter, figur 3. Gassen i kontakt med det kolde yderste lag glas synker nedad mens gassen i kontakt med det varme inderste lag glas stiger opad. Denne cirkulation bevirker en temperaturstratificering i ruden, hvor rudens bund er koldere end rudens top. Dette forhold indgår ikke i den anviste beregningsmetode.



Figur 3. Intern konvektion i gasfyldt rude. Ruden vil ved udetemperaturer lavere end indetemperaturen blive koldest i bunden og varmest i toppen.

Betydningen af den interne konvektion i ruden kan vurderes ved anvendelse af programmerne Therm og Window fra Lawrence Berkeley National Laboratories (LBNL), der indeholder en metode til analyse af kondensrisikoen iht. NFRC 500. Forskellen mellem U-værdi-beregning og kondensanalyse ligger i, hvordan gaslaget i ruden modelleres. Ved beregning af U-værdien modelleres gaslaget som et homogent materiale med en ækvivalent varmeledningsevne, der svarer til den arealvægtede middelværdi af hulrummets isoleringsevne. Ved beregning af kondensrisikoen modelleres gaslaget som et hulrum, med detaljerede modeller for intern strålingsudveksling og intern konvektion i hulrummet.

Nøjagtigheden af denne metode er undersøgt på DTU ved CFD-modellering af rudens gaslag under kendte standard grænsebetingelser på rudens yder- og inderside [2]. Undersøgelsen viser god overensstemmelse mellem beregnede overfladetemperaturer ved bunden af ruden med hhv. CFD-simulering og anvendelse af NFRC-500 metoden.

Therm 7.2 og Window 7.2 er derfor anvendt til vurdering af den interne konvektions betydning for overfladetemperaturen på vinduesrammer. Beregningerne er udført med en argonfyldt 2-lags rude med en beregnet center U-værdi på $1,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ – beregnet i Window 7.2. Ruden er

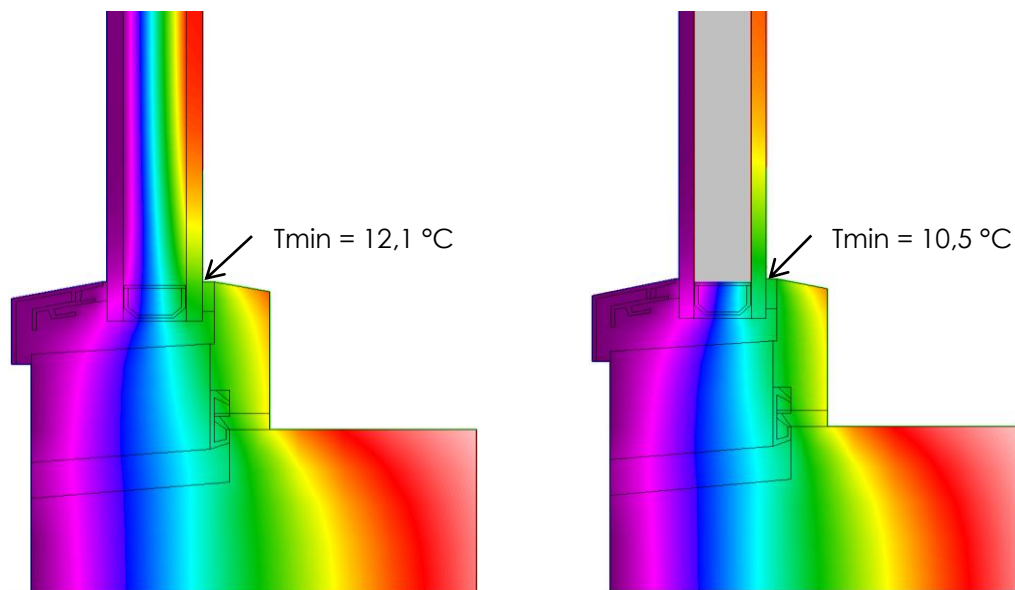
overført til Therm 7.2, hvor ruden indgår i modelleringen af den samlede vindueskonstruktion. Kantprofilen modelleres som en "varm kant løsning". Der er udført beregninger på 2 forskellige vinduesprofiler:

1. Et profil der netop opfylder kravene i Bygningsreglement 2010 på 9,3 °C som mindste overfladetemperatur på rammen
2. Et profil med en mindste overfladetemperatur på rammen på lige over 12 °C.

De opbyggede modeller er baseret på reelle produkter, men er ikke modelleret i samme detaljeringniveau, som der kræves ved certificering. Formålet med undersøgelsen er at kvantificere betydningen frem for at finde den korrekte værdi. Resultatet af beregningerne er vist i nedenstående tabel 1

Tabel 1. Beregnet mindste overfladetemperatur på vinduesramme ved anvendelse af hhv. DS EN/ISO 10077-2 og NFRC-500 metode til vurdering af kondensrisiko.

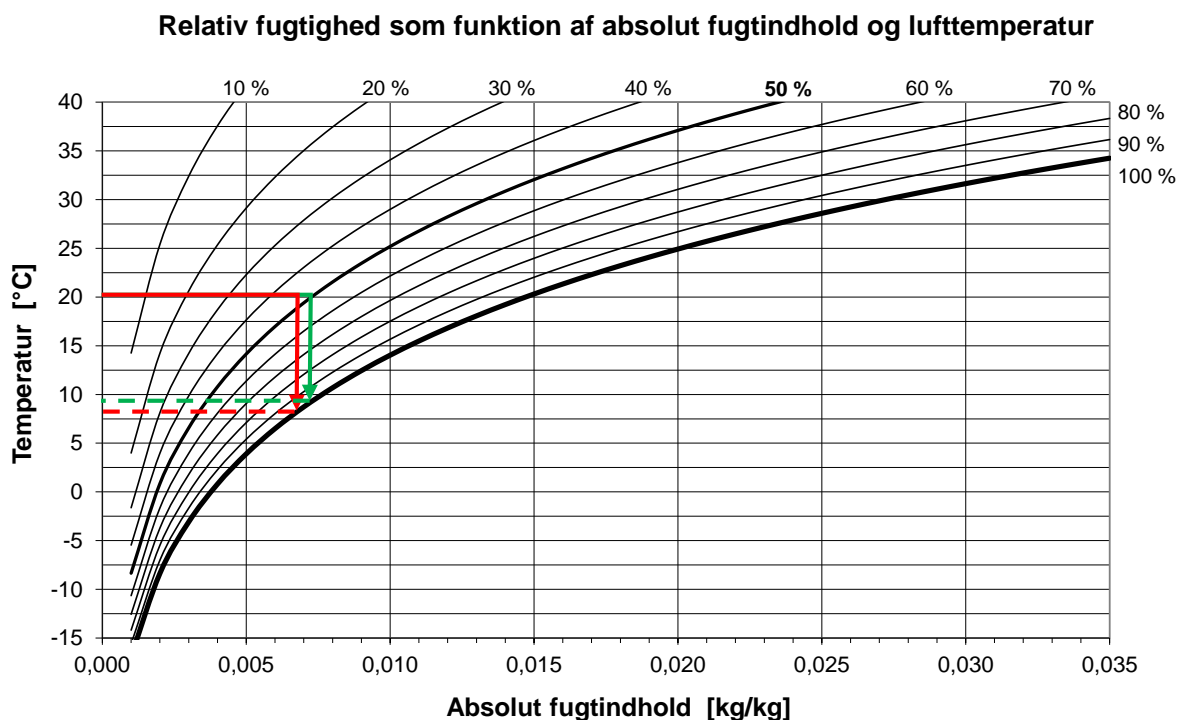
	Beregnet mindste overfladetemperatur		Forskell i beregnet overfladetemperatur
	DS EN/ISO 10077-2	NFRC-500	
	°C	°C	
Vindue 1	9,4	8,4	-1,0
Vindue 2	12,1	10,5	-1,6



Figur 4. Eksempel på temperaturfordeling i Vindue 2 beregnet med hhv. DS EN/ISO 10077-2 (venstre) og NFRC 500 (højre).

Beregningerne viser, at der ved bunden af ruden i praksis må forventes en overfladetemperatur, der er 1 – 1,5 °C lavere, end det beregnes ved anvendelse af DS EN/ISO 10077-2.

Den lavere overfladetemperatur medfører, at den relative fugtighed i rumluften skal være lavere for at undgå kondens. Tages der udgangspunkt i en reel minimum overfladetemperatur på 8 °C kræves det, at rumluftens fugtighed ikke må være højere end 46 %RF ved en inde-temperatur på 20 °C jf. nedenstående figur 5.



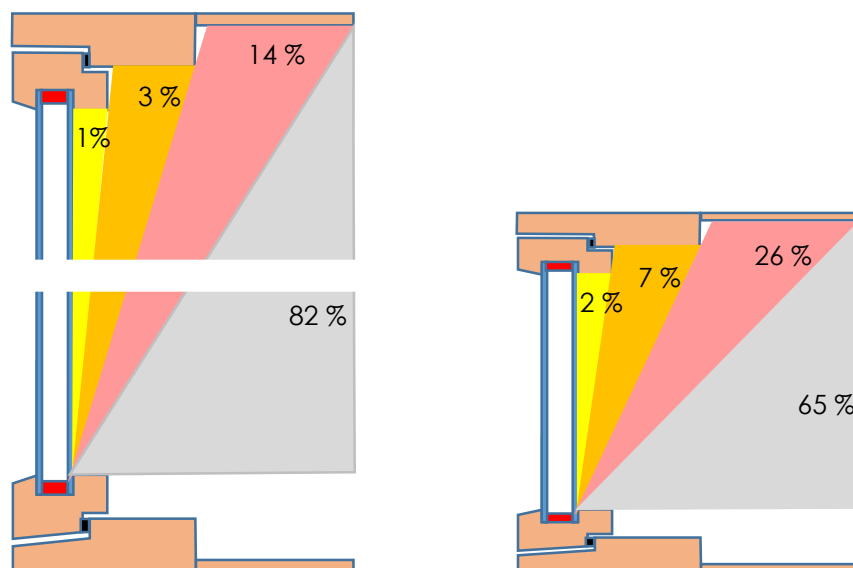
Figur 5. Sammenhæng mellem relativ fugtighed, rumtemperatur og dugpunkt. Grøn linje viser de gældende forhold som anført i Bygningsreglement 2010. Rød linje viser forholdene, som de vil se ud, når der tages hensyn til temperaturlagdelingen internt i ruden.

Beregningen viser, at DS/EN 10077-2 beregningen ikke giver den faktiske koldeste temperatur på vinduet. Hvis man ønsker at kondensniveauet begrænset til det der udløses ved 9,3 °C ved RF på 50%, som i BR 2010, bør kravet til minimumoverfladetemperatur skærpes til ca. 11 °C, idet det derved svarer til at der mindst bliver 9,3 °C på vinduets bundramme.

Betydning af strålingsudveksling

Varmestråling mellem vinduets forskellige elementer og rummets øvrige overflader har betydning for den resulterende overfladetemperatur. Forskelle i størrelsen og fordelingen af varmemstråling mellem elementer med forskellig overfladetemperatur og emittans kan måske forklare nogle af de variationer der observeres i praksis.

Der er lavet en parametervariation ved anvendelse af programmet Therm 7.2, hvor højden af vinduet er varieret fra 1,2 meter og ned til 0,6 meter. Dette medfører, at overramme/karm og lysning i toppen af vindueshullet vil udfylde mere af bundrammens synsfelt, hvorved varmeoverføringen ved varmemstråling ændres. Dette vil generelt føre til lavere overfladetemperaturer på bundrammen ved lavere vindueshøjder, idet ramme/karm og lysningens sider ofte vil have en lavere overfladetemperatur end rummets overflader.



Figur 6. Illustration af ændrede strålingsforhold ved variation af vindueshøjde. Illustrationen til venstre viser fordelingen af "synsfeltet" set fra et punkt på bundrammen nær ruden ved en vindueshøjde på 1200 mm. Det grå felt er den del af synsfeltet der udgøres af rummet. Illustrationen til højre viser fordelingen ved en vindueshøjde på 600 mm.

Simuleringen med Therm benytter en facilitet i programmet, hvor den simple beskrivelse af varmeoverføringen ved de indvendige overflader i form af en kombineret overgangsisolans erstattes af et "strålingsrum" plus angivelse af den konvektive varmeovergang ved overfladerne. Strålingsrummet tildeles en overfladetemperatur svarende til rumtemperaturen. Ved beregningen tager programmet nu hensyn til den interne strålingsudveksling mellem alle fladerne.

Lysningen er modelleret som en massiv murstensvæg uden lysningspaneler, hvilket giver en lav overfladetemperatur på lysningens overflade.

Resultatet af parameteranalysen viser en beskedent lavere minimum overfladetemperatur på 0,1 – 0,2 °C mellem tilfældet med et 1200 mm højt vindue og et 600 mm højt vindue. Ovenstående vurdering af de strålingsmæssige forhold belyser også, hvorledes indbygningen af vinduet influerer på varmeoverføringen ved ændret dybde af vindueshullet.

Overfladetemperaturen af rummet er sat til at have samme temperatur som indeluften, men afhængig af det aktuelle vindues placering i forhold til for vinduet "synlige" ydervægge eller vinduer, vil strålingstemperaturen kunne blive væsentlig lavere end indetemperaturen. Regnes der f.eks. med en temperatur af indvendige overflader i rummet på 18 °C i stedet for 20 °C falder minimum overfladetemperaturen med 0,7 °C.

Analysen af de strålingsmæssige forhold viser, at forskelle i indbygningsdybde og vindueshøjde/bredde giver en beskedent forskel i beregnet overfladetemperatur, mens overfladetemperaturen af de øvrige indvendige overflader kan sænke den beregnede overfladetemperatur med 0,5 – 1,0 °C.

Betydningen af konvektionsforhold

Betydning af konvektionsforhold kan kun vurderes ved gennemførelse af detaljerede CFD-beregninger eller eksperimentelt. I det tidligere nævnte erhvervs-Ph.d. er der udført forsøg med forskellige indbygningsforhold, hvor vinduets placering i vindueshullet er varieret og, hvor der er ændret på bundkarmens udformning.

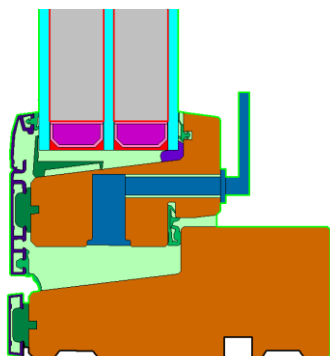
Etablering af en 45° skrå bundkarm sammenlignet med en traditionel vandret bundkarm øger lufthastigheden ved bunden af ruden. Øget indbygningsdybde reducerer lufthastigheden ved rudens bundkarm, men det er ikke entydigt ud fra forsøgene, hvordan ændringen af lufthastigheden indvirker på kondensdannelsen.

Teoretisk set bør en øget konvektion medføre øget overfladetemperatur og dermed reduceret risiko for kondensdannelse. Til gengæld må det også forventes, at hvis der på trods af den øgede lufthastighed optræder overfladetemperaturer under dugpunkttemperaturen, vil det medføre større kondensudfældelse end i tilfældet med lavere lufthastighed. Dette skyldes en større fugttilførsel til området ved større lufthastighed.

Betydningen af beslag

Beregning af vinduers U-værdi og dermed også beregning af minimum overfladetemperatur sker uden hensyntagen til beslag.

Lukkebeslag sidder typisk placeret i den kolde del af vindueskonstruktionen mellem ramme og karm og er forbundet til det indvendige betjeningsgreb via en kraftig stålspind.

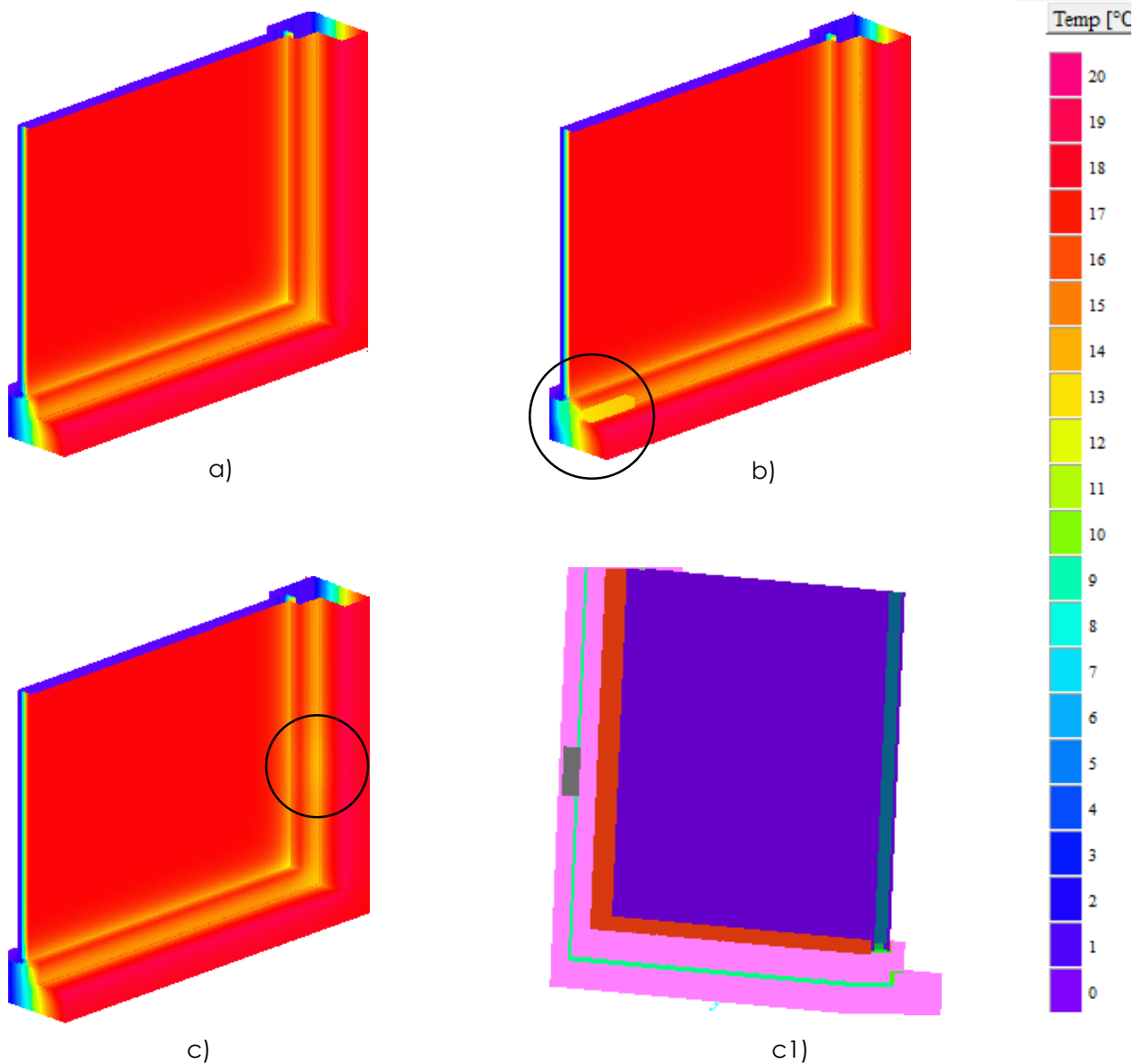


Figur 7. Therm simuleringsmodel, der viser et lodret snit i typisk ramme/karm i træ med lukkebeslag og greb (vist med mørkeblå farve).

Betjeningsgrebet i direkte forbindelse med lukkebeslaget giver anledning til en væsentlig kuldebro, der kan medføre kondens på det indvendige greb på kolde vinterdage. Kondens på greb, dørspioner etc. indgår ikke i vurdering af vinduers minimum overfladetemperatur, men kuldebroen kan have indflydelse på ramme/karmkonstruktionens overfladetemperaturer. Imidlertid betyder kuldebroen, at grebet leder varme ud i konstruktionen og fordeler denne i stålbeslaget placeret længere ude i rammen, hvorved kuldebroen medvirker til at øge temperaturen i rammekonstruktionen. Stålbeslaget placeret i hulrummet mellem ramme og karm har typisk en udstrækning, der svarer til vinduets bredde eller mere. Dermed kan ovenstående type af beslag ikke føre til øget kondensrisiko – nærmere tværtimod.

Eneste udbredte tilfælde, hvor beslagene kan medføre øget risiko for lavere indvendige overfladetemperaturer er de såkaldte bondehusvinduer med synlige hængsler. I denne type vinduer vil beslaget lede varme væk fra hulrummet mellem ramme og karm, og dermed potentielt medvirke til lokalt lavere indvendige overfladetemperaturer.

Ovenstående forhold er yderligere undersøgt ved 3D-modellering af et typisk trævindue. Resultatet af simuleringerne er vist i nedenstående figur 8, der viser de beregnede indvendige overfladetemperaturer på et udsnit af vinduet.



Figur 8. Resultat af HEAT 3 beregning på et 600 x 600 mm udsnit af et typisk trævindue med en 2-lags energirude.
a) vindue uden beslag
b) vindue med rullepaskvil, monteret i bundramme og sideramme
c) "bondehusvindue" med synligt beslag (c1: beregningsmodel set udefra)

Beregningerne viser, at beslag har meget lille indflydelse på den indvendige overfladetemperatur på vinduesramme og -karm.

I tilfældet med rullepaskvil, figur b) i ovenstående, ses grebet at få en temperatur på ca. 12 °C, og sammenlignes med referencevinduet uden beslag, figur a), ses det tydeligt, hvorledes kuldebroen i form af beslaget trækker varmen længere ud i rammekonstruktionen (se området markeret med den sorte cirkel).

Betragtes tilfældet med det synlige vindueshængsel, figur c), kan der anes en lille lokal reduktion i overfladetemperaturen ud for beslaget, men forskellen vurderes at være lavere end 0,3 °C.

Definition af "overflade"

Bygningsreglementet 2010's formulering af overfladetemperaturkravet ved udskiftning af vinduer lyder:

Overfladetemperaturen på vinduesrammer i ydervægge må ikke være lavere end 9,3°C.

Principielt gælder overfladetemperaturkravet således ikke vinduets karmkonstruktion og dermed heller ikke for faste vinduespartier, der pr. definition ikke har nogen ramme. Kravet gælder ikke vinduer ved nybyggeri. Der kan også stilles spørgsmålstegn ved, om kravet ifølge ovenstående skal opfyldes på rude, glasisætningsbånd og tætningslister. Egentlig står der heller ikke, at det er den indvendige overfladetemperatur, der stilles krav til!

Brancheorganisationen Vinduesindustrien har anført følgende krav i deres tekniske bestemmelser:

Til elementets indvendige overflader regnes foruden overfladen på ramme og karm også termorude, glasisætningsbånd og tætningsliste mellem karm og ramme. Dog således, at overfladen på tætningslister ikke medregnes, hvis luftens adgang til tætningslisten sker via en spalte med en bredde lig med eller mindre end 4 mm og en dybde lig med eller større end 5 mm.

Det ovenstående krav om mindste temperatur på indvendige overflader gælder ikke for vindues- og dørgreb, låsecylinder og dørtrin, men producenten skal til enhver tid sikre sig, at der ikke tilbageholdes kondens i konstruktionen. Det kan gøres ved at tætningsplanet er ubrudt og ved at anvende løsninger med indbyggede kuldebrosafbrydere.

Vinduesindustriens definition af indvendige overflader giver generelt god mening med henblik på at sikre en høj overfladetemperatur på alle vinduets dele. Undtagelsen vedr. greb, låsecylindre etc. er begrundet i krav til indbrudssikring og holdbarhed ved generelt brug.

Dog vurderes undtagelsen om, at overfladetemperaturkravet ikke gælder for tætningslister, der ligger mere end 5 mm ude i konstruktionen, hvis spaltebredden er mindre end eller lig med 4 mm, at være problematisk. Undtagelsen tillader således, at tætningslisten kan placeres langt ude i vindueskonstruktionen, hvor ikke kun tætningslisten er kold men også vindueskonstruktionen omkring den. Dermed er det ikke kun et spørgsmål om, om rumluften har adgang til selve den kolde tætningsliste, men mere alvorligt, at rumluften også får adgang til kolde dele af den øvrige vindueskonstruktion, der typisk vil udgøre et langt større areal, og potentiel langt større udfældelse af kondens på konstruktionen hvor det ikke umiddelbart ses.

Den lille spaltebredde minimerer dog luftbevægelser i spalten, og reducerer dermed fugttilførslen i spalten til at ske ved diffusion frem for konvektion. Diffusionsmodstanden i luft er dog lille, og praktiske erfaringer viser [9], at kondensdannelse ved dybtliggende tætningslister er et reelt problem. En kondensdannelse mellem ramme og karm indvendigt for tætningslisten vil typisk ikke leve op til kravet om "at der ikke tilbageholdes kondens i konstruktionen".

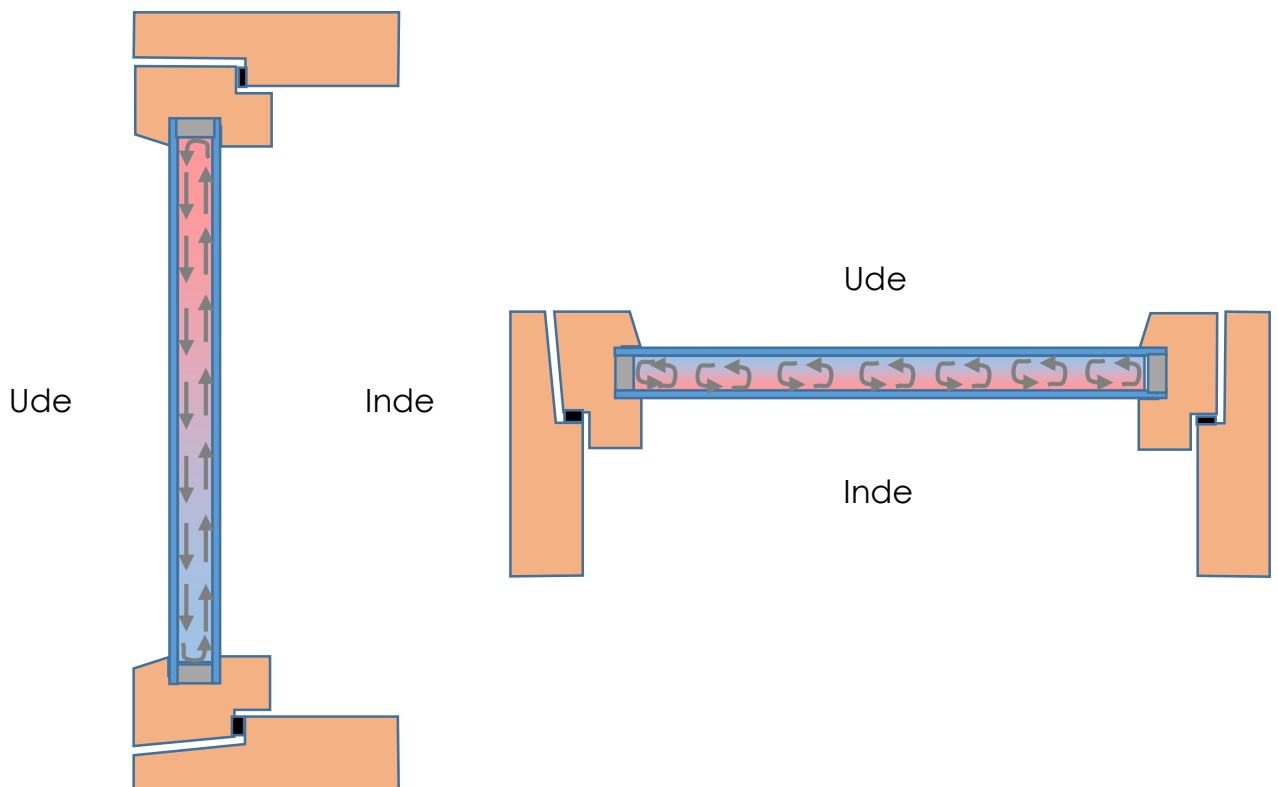
Det må derfor anbefales, at overfladetemperaturkravet skal gælde alle overflader i kontakt

med rumluften ekskl. greb, låsecylindre etc.

Tag- og ovenlysvinduer

Ovenlysvinduer adskiller sig fra facadevinduer ved blandt andet indbygningsforhold, rudens placering yderst i rammekonstruktionen og rudens hældning – alle forhold, der gør det vanskeligere at opnå høje overfladetemperaturer.

Specielt rudens hældning har stor indflydelse på rudens U-værdi og dermed på den indvendige overfladetemperatur af ruden. For en 2-lags energirude falder overfladetemperaturen midt på ruden med ca. 1 °C, hvis hældningen ændres fra lodret til vandret position. Til gengæld reduceres temperaturlagdelingen i ruden jo mere vandret ruden er, idet konvektionsstrømmene internt i ruden ændrer karakter, som vist i figur 9.



Figur 9. Illustration af konvektionsstrømme i lodret rude (venstre) og vandret rude (højre).

Samme forhold gør sig gældende på den indvendige side af ruden, hvor der generelt vil optræde større konvektion jo mindre hældning ruden har. Alt i alt vil den indvendige overfladetemperatur på ruden være mere homogen på en hældende rude end på en lodret rude.

Den større konvektion ved rudens indvendige overflade jo mere ruden ligger ned er et udtryk for en større tilførsel af rumluft. Dette betyder, at hvis der er områder med en overfladetemperatur der er lavere end rumluftens dugpunkt, vil mængden af kondensdannelse være kraftigere end for et facadevindue.

Typiske tagvinduer med en hældning på 30 - 45° vil have konvektive strømningsforhold, der ligger et sted mellem en vandret og lodret position.

Tag- og ovenlysvinduer udgør med udgangspunkt i ovenstående tekniske gennemgang et dokumentationsmæssigt vanskeligt område, hvor der principielt skal udarbejdes dokumentation for en bred vifte af hældninger. Der er derfor foretaget en analyse af minimum overfladetemperaturen på en vindueskonstruktion som funktion af vinduets hældning med vandret.

Analysen er foretaget ved anvendelse af programmerne Window 7.2 og Therm 7.2 analogt til analysen for facadevinduer. Beregningerne er udført på "Vindueskonstruktion 2" (se tabel 1), ved hældninger på hhv. 60°, 45°, 30°, 15°, og vandret. Resultatet af analysen er vist i nedenstående tabel 2.

Tabel 2. Beregnet mindste overfladetemperatur på vinduesramme ved forskellige hældninger af vinduet. Beregninger udført ved anvendelse af NFRC-500 metode til vurdering af kondensrisiko.

Hældning	Beregnet mindste overfladetemperatur	Beregnet temperatur midt på ruden
	°C	°C
Lodret vindue (tabel 1)	10,5	17,0
60° hældning med vandret	11,4	16,3
45° hældning med vandret	11,6	16,3
30° hældning med vandret	11,9	16,3
15° hældning med vandret	12,1	16,3
Vandret vindue	12,3	16,4

Resultatet af analysen viser, at den lodrette rudeposition er den mest kritiske med hensyn til rudens interne konvektions betydning for minimum overfladetemperatur. De viste forskelle mellem temperaturen midt på ruden og beregnet mindste overfladetemperatur (der i den aktuelle konstruktion optræder, hvor ruden møder glaslisten) skyldes udover den interne konvektion i ruden effekten af afstandsprofil og ramme/karmkonstruktion.

I ovenstående analyse er der fokuseret på konvektionsforholdene i ruden. Derudover er der korrigeret for de ændrede konvektionsforhold ved rudens indvendige overflade, således at den indvendige overgangsisolans er varieret mellem 0,10 m²K/W for en vandret rude og 0,13 m²K/W for en lodret rude. For ramme/karmdelen af vinduet er det kun den indvendige overgangsisolans der varierer med hældningen, hvor isolansen falder jo mere vinduet nærmere sig vandret.

Konklusionen på analysen er, at på trods af, at rudens U-værdi øges væsentligt jo mere vinduet nærmer sig vandret, opnås der en højere minimumtemperatur på ruden/glaslisten. Dette forhold taler teknisk set for, at overfladetemperaturkravet kan differentieres mellem facadevinduer og tagvinduer/ovenlys, således at kravet til facadevinduer bliver skarpere end kravet til ovenlys.

Ovenstående forhold betyder, at der ikke er behov for et tillæg til den beregnede minimumtemperatur pga. interne konvektionsstrømme for et vandret ovenlys som for et facadevindue for at sikre en opnået reel overfladetemperatur på 9,3 °C. Dette forudsat, at der regnes med den korrekte U-værdi for ruden under hensyn til dens hældning.

Tages der udgangspunkt i, at en overfladetemperatur på 9,3 °C sikrer mod kondens, og minimum overfladetemperatur beregnes uden hensyntagen til intern konvektion i lodrette ruder, bør kravet jf. den tekniske gennemgang sættes til 10,8 °C for facadevinduer, mens kravet for

tagvinduer/ovenlys kan sættes ca. 1 °C lavere pga. den mere jævne temperaturfordeling (baseret på 60° hældning med vandret). Tagvinduer/ovenlys beregnes som facadevinduer for større hældninger med vandret end 60°.

3.1.3 Hvor ofte optræder der kondens?

Minimum overfladetemperaturen på vinduesrammer er i Bygningsreglement 2010 sat til 9,3 °C, hvilket svarer til dugpunktet ved 20 °C og 50 % relativ fugtighed. Den relative fugtighed i rumluften er ikke konstant, men afhænger af fugttilførsel, ventilationsgrad af boligen samt udeklimaet. Overordnet set vil den relative luftfugtighed i rumluften falde med faldende udetemperatur under forudsætning af, at ventilationsgraden er konstant. Dette er i fase med at lavere udetemperatur også vil medføre lavere overfladetemperaturer på vinduesrammen.

De indvendige overflader af bygningens konstruktioner og inventar optræder som en fugtbuffer, der udjævner fugtvariationer i rumluften ved at adsorbere fugt fra luften, hvis den relative fugtighed stiger og afgive fugt, hvis den relative fugtighed falder. Indflydelsen af fugtbuffereffekten af konstruktioner og materialer kan overslagsmæssigt beregnes ved anvendelse af metoden beskrevet i [3].

Der er udført en overordnet vurdering af alle ovenstående parametre ved opstilling af fugtbalancen på timebasis for en én-zonemodel af et 150 m² énfamiliehus baseret på vejrdata i det danske Design Reference Year. Følgende parametre er anvendt i vurderingen:

- Intern fugttilførsel = 8,2 kg/døgn = 0,342 kg/time [4]
- Parametervariation af ventilationsgrad mellem 0,2 og 0,5 h⁻¹ (20,8 - 52,1 l/s)
- Indetemperatur = 20 °C
- Beregning med og uden fugtadsorption i konstruktioner og inventar

Det beregnede dugpunkt af rumluften sammenholdes med den beregnede minimum overfladetemperatur, der regnes lineær afhængig af temperaturforskellen mellem inde og ude efter følgende udtryk:

$$t_{min} = \frac{(9,3 - 0)}{(20 - 0)} \times (20 - t_{ude}) + t_{ude} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Resultatet af vurderingen er vist i nedenstående tabel 3.

Tabel 3. Beregnet antal timer, hvor rumluftens dugpunkt bliver lavere end minimum overfladetemperaturen på vinduesrammen (9,3 °C ved en indetemperatur på 20 °C og udetemperatur på 0 °C)

Luftskifte	Beregnet antal timer med kondensrisiko	
	Ingen fugtadsorption i materialer og inventar	Fugtadsorption i materialer og inventar
h ⁻¹		
0,2	5428 h	4238 h
0,3	360 h	728 h
0,4	28 h	116 h
0,5	2 h	24 h

I beregningerne er fugtadsorptionen i konstruktioner og inventar simuleret ved, at ydervægge og loft er regnet som ubehandlet gasbeton, mens øvrige flader er regnet som fugtmæssige inaktive. Selvom dette ikke er de faktiske forhold, vurderes det at give en rimelig repræsentation

af boligens samlede fugtbufferkapacitet.

Resultatet af beregningerne viser, at der er meget få timer med kondens ved et luftskifte på 0,5 gange i timen svarende til Bygningsreglementets ventilationskrav. Lidt overraskende er det måske, at antallet af timer med kondens er højere, når konstruktionernes og inventarets fugtbuffervirkning medtages i beregningerne. Årsagen er, at der ved pludselige udetemperaturændringer sker et hurtigt fald i overfladetemperaturen på vinduet, mens ændringen i relativ fugtighed i rumluften er mere træg.

Dette stemmer særdeles godt overens med observationer i praksis, hvor der specielt om efteråret efter sommerens opfugtning af konstruktioner og inventar sker et pludseligt skift i udetemperaturen. Beregningerne viser netop, at kondensdannelsen primært optræder i august og september måned.

Beregningerne anvender en ensartet fordeling af fugttilførslen over døgnet. Reelt set vil der være en langt mere ujævn fordeling af fugttilførslen, hvilket potentielt vil føre til flere perioder med kondensdannelse. I dette tilfælde vil fugtbuffervirkningen imidlertid dæmpe udsvingene i relativ fugtighed i rumluften, og dermed modvirke forøget kondensdannelse. Forskelle mellem forskellige boligers reelle fugtbufferkapacitet kan også forklare observerede forskelle i hyppigheden af kondensdannelse.

Resultaterne viser også, at reduceret luftskifte har stor indflydelse på antallet af timer med kondens.

Der er yderligere foretaget en parameteranalyse, hvor minimum overfladetemperaturen varieres mellem 5,0 °C og 11 °C. Luftskiftet er 0,5 h⁻¹. Yderligere er middellængden af hver periode med kondens registreret og divideret op i det samlede antal timer med kondens som et mål for antallet af perioder med kondens. Med disse betingelser bliver resultatet:

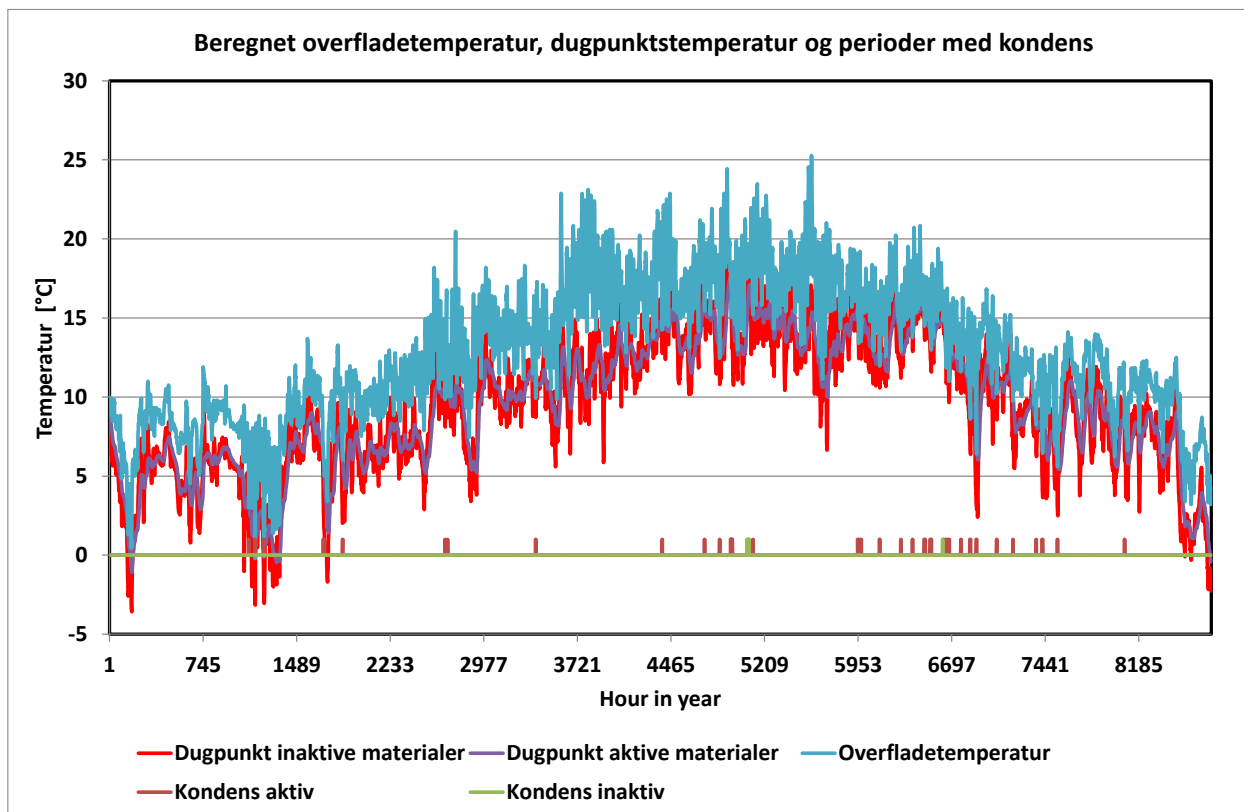
Tabel 4. Beregnet antal timer, hvor rumluftens dugpunkt bliver lavere end minimum overfladetemperaturen på vinduesrammen.

Luftskifte	Minimum overfladetemperatur	Beregnet antal timer med kondensrisiko			
		Ingen fugtadsorption i materialer og inventar		Fugtadsorption i materialer og inventar	
h ⁻¹	°C	Timer pr. år	Perioder pr. år	Timer pr. år	Perioder pr. år
0,5	5,0	2027 h	316	2310 h	241
	6,0	237 h	77	1166 h	180
	7,0	49 h	16	438 h	96
	8,0	10 h	4	153 h	36
	9,3	2 h	1	24 h	5
	10,0	1 h	1	13 h	4
	11,0	0 h	0	2 h	1

8 °C svarer til den forventelige faktiske minimumtemperatur for et lodret vindue, der netop opfylder Bygningsreglementets betingelser når der tages hensyn til intern konvektion i ruden jf. kapitel 3.1.2. 9,3 °C svarer til den forventelige faktiske minimumtemperatur for et vandret vindue, hvor der ikke er forskel på vinduets faktiske koldeste punkt og det beregnede iht. DS/EN 10077-2.

Nedenstående diagram viser resultatet af beregningen for minimumoverfladetemperaturen på

8 °C, hvoraf det fremgår af de forekomsten af kondensdannelse er spredt ud over året men dog koncentreret i efterårsmånederne. Antal timer med beregnet kondensdannelse udgør således ikke én sammenhængende periode, hvilket i givet fald ville udgøre en langt større risiko for vinduet og de omkringliggende konstruktioner end ved den mere spredte kondensdannelse med mulighed for udtørring mellem perioderne.



Figur 10. Resultat af årssimulering på timebasis af minimum overfladetemperatur, dugpunktstemperaturer og perioder med kondens. Luftsiftte 0,5 h⁻¹, overfladetemperatur 8 °C

I ovenstående tilfælde vil brugeren opleve kondens ca. 36 gange om året, når der regnes med fugtkapacitet i rummet. Resultaterne i tabel 4 udgør et beslutningsgrundlag for valg af temperaturgrænse alt efter hvor ofte det kan accepteres, at brugeren oplever kondens på sine vinduer. Det skal understreges, at den anførte minimumoverfladetemperatur i tabel 4 er den faktisk forekommende, hvorfor et eventuelt temperaturkrav baseret på beregningsmetoden specificeret i Bygningsreglement 2010 skal sættes ca. 1,5 °C højere for facadevinduer.

3.1.4 Kondenseret vandmængde

I ovenstående afsnit er der redegjort for hyppigheden af kondensdannelse under forskellige forhold, men mængden af kondensat er den mest betydende parameter med hensyn til risiko for skader på vinduet selv og omkringliggende konstruktioner. Der må dog skelnes mellem tilfælde, hvor kondensmængden er fordelt jævnt over et større areal som en tynd vandfilm, eller kondensmængden er koncentreret på et lille område, hvor der dannes større dråber, der kan løbe ned af vinduet og eventuelt ind i den omkringliggende konstruktion.

Det er yderst vanskeligt at beregne den kondenserede vandmængde på overflader, der er udsat for naturlig konvektion, som det vil være tilfældet med vinduer. Den kondenserede vandmængde vil afhænge af de lokale luftstrømninger omkring de områder, hvor overfladetemperaturen er lavere end luftens dugpunkt. Jo større lufthastighed jo større tilførsel af fugtig luft og dermed større kondensudfældelse.

Der er dog udført en overslagsmæssig analyse baseret på teorien om fugtudfældning på kolde overflader som funktion af den konvektive varmeovergang. Der er valgt at anvende en fast konvektiv varmeovergangskoefficient på $3 \text{ W/m}^2\text{K}$ svarende til den, der kan beregnes for en 2-lags energirude ved $20 \text{ }^\circ\text{C}$ inde og $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ude. Dermed kan kondensudfældelsen pr. arealenhed med minimumoverfladetemperaturer som anført i tabel 5 beregnes.

Tabel 5. Beregnet antal kondensperioder og associeret kondensmængde, hvor rumluftens dugpunkt bliver lavere end minimum overfladetemperaturen på vinduesrammen. Arealet i m^2 er det areal på vinduet der har en overfladetemperatur på $9,3 \text{ }^\circ\text{C}$ eller derunder, hvorpå der kommer kondens.

Luftskifte	Minimum overfladetemperatur	Beregnet antal timer med kondensrisiko			
		Ingen fugtadsorption i materialer og inventar		Fugtadsorption i materialer og inventar	
h^{-1}	$^\circ\text{C}$	Perioder pr. år	Kondensmængde	Perioder pr. år	Kondensmængde
0,5	5,0	316	27 $\text{g/m}^2/\text{periode}$	241	68 $\text{g/m}^2/\text{periode}$
	6,0	77	14 $\text{g/m}^2/\text{periode}$	180	41 $\text{g/m}^2/\text{periode}$
	7,0	16	14 $\text{g/m}^2/\text{periode}$	96	28 $\text{g/m}^2/\text{periode}$
	8,0	4	11 $\text{g/m}^2/\text{periode}$	36	23 $\text{g/m}^2/\text{periode}$
	9,3	1	5 $\text{g/m}^2/\text{periode}$	5	30 $\text{g/m}^2/\text{periode}$
	10,0	1	4 $\text{g/m}^2/\text{periode}$	4	18 $\text{g/m}^2/\text{periode}$
	11,0	0	-	1	13 $\text{g/m}^2/\text{periode}$

Den beregnede kondensmængde i tabel 5 udviser visse steder unaturlige udsving, hvilket tilskrives den forsimplede metode til opgørelse af antal perioder med kondens.

Kondensdannelsen ses typisk på oversiden af den indvendige glasliste og bunden af ruden. Regnes med en bredde af glaslisten på 15 mm, og antages at kondensdannelsen på ruden strækker sig 15 mm op fra glaslisten i hele rudens bredde svarer det til et areal på $0,03 \text{ m}^2$ pr. meter rudebredde. Dermed bliver kondensmængden ved en minimumoverfladetemperatur på $8 \text{ }^\circ\text{C}$ ca. 1 gram pr. meter rudebredde pr. periode eller 25 gram pr. år pr. meter rudebredde (ved hensyntagen til fugtkapacitet i rummet).

Det er således relativt små mængder vand, der med de givne forudsætninger kondenserer på vinduet. Det skal understreges at beregningerne er overslagsværdier. Væsentlige større mængder kondensat må forventes at forekomme i virkeligheden, hvor fugttilførslen indendørs ikke er homogent fordelt, men vil variere meget over døgnet.

Det skal også bemærkes at hvis minimumoverfladetemperaturen er mindre end $8 \text{ }^\circ\text{C}$ øges både antallet af perioder og kondensatmængden pr. periode. Således vil der ved $8 \text{ }^\circ\text{C}$ årligt udfældes $0,025$ liter vand pr. meter rudebredde, mens der ved $5 \text{ }^\circ\text{C}$ vil der kondensere ca. $0,5$ liter vand pr. meter rudebredde pr. år forudsat uændret kondensationsareal. Det må antages, at hvis der optræder områder med meget lave overfladetemperaturer, vil kondensarealet også

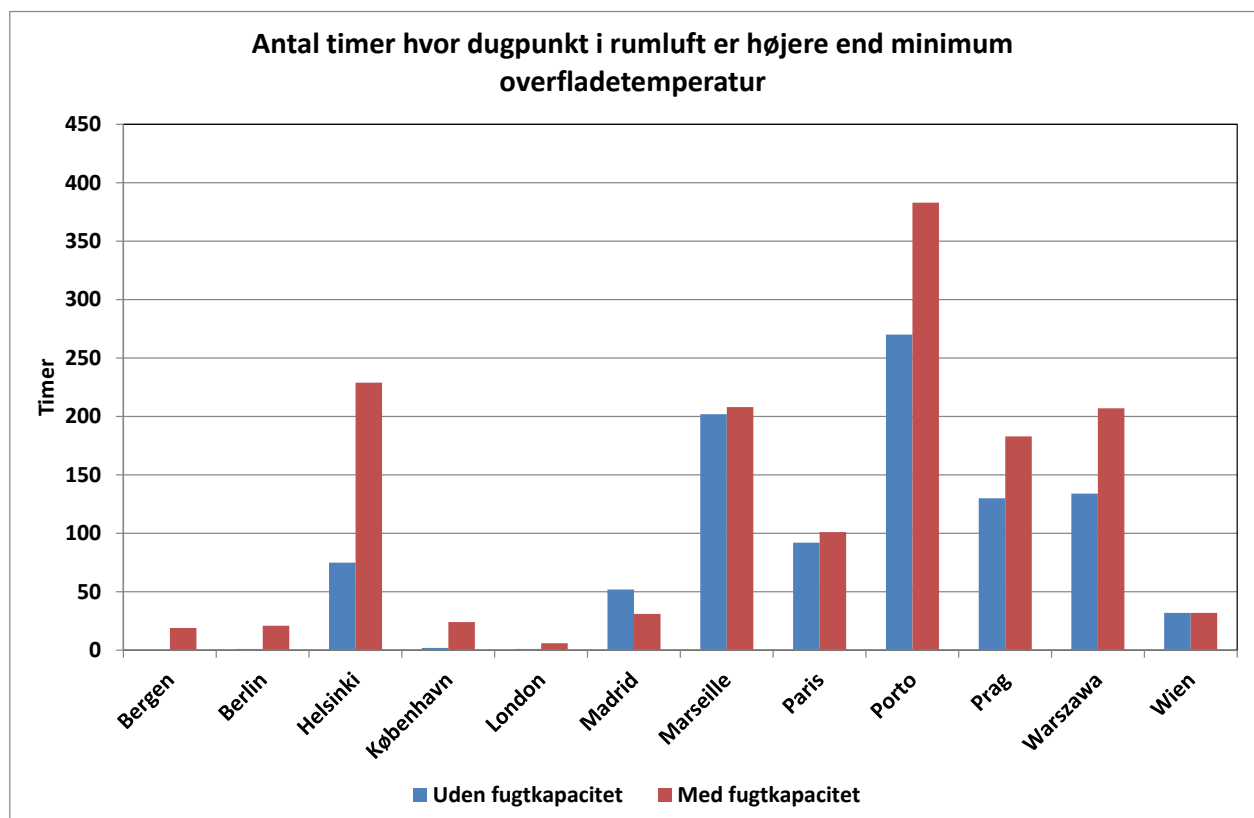
blive udvidet, hvilket yderligere øger kondensmængden.

3.1.5 Kondensrisikovurdering for andre lande end Danmark

Danmark er det eneste land, der har indført et krav om minimumoverfladetemperatur på vinduesrammer. Det er derfor undersøgt, om det skyldes, at det danske klima er specielt kritisk for kondensdannelse. Undersøgelsen er udført ved anvendelse af klimadata for en række forskellige lokaliteter i Europa. Klimadata er hentet ud af IESVE's klimadatabase. I undersøgelsen er der anvendt samme fugtproduktionen som ved undersøgelse af de danske forhold, ligesom luftskiftet på 0,5 gange i timen er fastholdt. Antal timer med kondens beregnes ud fra en minimumoverfladetemperatur på 9,3 °C ved 20 °C inde og 0 °C ude.

Idet der inddrages lande i undersøgelsen, hvor udetemperaturen i lange perioder overstiger 20 °C, regnes indetemperaturen ikke mere konstant hele året, men sættes lig med udetemperaturen, når denne overstiger 20 °C, da der ellers vil beregnes kondens i sommermånederne, hvor udeluftens dugpunkt bliver højere end 20 °C.

Resultatet af undersøgelsen fremgår af nedenstående diagram (figur 11)



Figur 11. Beregnet antal timer, hvor rumluftens dugpunkt bliver lavere end minimum overfladetemperaturen på vinduesrammen (9,3 °C ved en indetemperatur på 20 °C og udetemperatur på 0 °C)

Resultatet af undersøgelsen viser en meget stor variation afhængig af geografisk lokalitet. En af årsagerne er naturligvis den anvendte forudsætning om, at luftskiftet er 0,5 gange pr. time, hvor

der i varme perioder generelt må forventes et langt større naturligt luftskifte. Dermed må det forventes, at resultaterne for Marseille, Paris, Porto, Prag og Warszawa i praksis vil ligge noget lavere. De fleste af timerne for disse lande ligger om sommeren efter midnat, hvor udetemperaturen hurtigt falder. Hvis det havde været muligt at medtage konstruktionernes termiske inert i den udviklede model, ville dette sandsynligvis reducere antallet af timer med kondensrisiko yderligere.

Men ovenstående undersøgelse viser, at det danske klima ikke er specielt kritisk med hensyn til kondensrisiko på vinduer – nærmere tværtimod. Årsagen til, at overfladetemperaturkravet kun er indført i Danmark må derfor tilskrives en stor medieomtale af kondensproblematikken, der forekom i Danmark forud for udarbejdelsen af Bygningsreglementet 2010. Derudover kan byggeskikken i de forskellige lande specielt med hensyn til bygningernes tæthed, hvor Danmark har relativt høj krav til tæthed, have stor betydning for, om kondens på vinduerne optræder med den hyppighed, som er vist i figur 11.

3.1.6 Hvad er den tekniske konsekvens af kondens?

Hyppig kondensdannelse medfører skimmelvækst på tætningslister og vinduesrammer og i grølle tilfælde nedbrydning af vindueskonstruktionen.

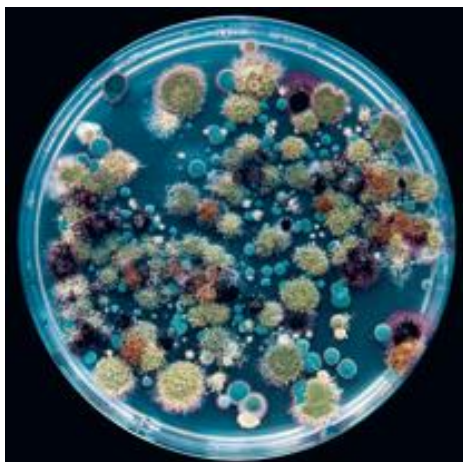
I tilfælde, hvor kondensdannelsen sker på ikke synlige steder i vindueskonstruktionen, f.eks. mellem ramme og karm, vil der være en betydelig risiko for, at større dele af vindueskonstruktionen kan blive nedbrudt, idet kondensdannelsen sker i områder, hvor der typisk ikke sker en udtørring om dagen fra opvarmning på grund af solindfald. I uheldige tilfælde vil kondensdannelsen i disse områder kunne sprede sig til de omkringliggende konstruktioner.

Der er ikke nogen direkte sammenhæng mellem minimum overfladetemperatur på vinduet og vinduets samlede isoleringsevne, idet lave overfladetemperaturer typisk er begrænset til et meget lille areal forårsaget af lokale kuldebroer.

3.2 Sundhedsmæssige forhold

I vurderingen af om dannelse af kondens indebærer nogle sundhedsmæssige aspekter, er det risikoen for vækst af skimmelsvamp, som er i fokus. Skimmelsvamp i byggeriet har været et tiltagende problem i en årrække, hvor opgradering af bygningers klimaskærm med risikable konstruktioner, manglende udtørring af nyopført byggeri og tætning af bygninger uden forbedring af ventilationsforholdene gav flere og flere personer helbredsmæssige problemer.

Sundhedsstyrelsen [5] anviser i deres vejledning til praktiserende læger om udredning af årsager til indeklima-relaterede diagnoser, herunder overfølsomhed for skimmelsvamp, at spørge ind til forekomsten af kondens på termoruder og energiruder, fordi dette ses som potentiel indikator for kombination af stor fugtbelastning og/eller for lidt ventilation. Fra samme publikation er også en kort introduktion til skimmelsvampe:



Sporer fra skimmelsvampe findes overalt. Svampene vokser i kolonier som tynde hyfer, der tilsammen danner et såkaldt mycelium. Skimmelsvampe udskiller forskellige enzymer, der kan nedbryde det, de vokser på, samt en række andre biologisk aktive stoffer. Blandt disse er mykotoksiner (svampegiftstoffer), der beskytter svampen mod konkurrenter i nærmiljøet. Skimmelsvampe spreder sig ved at frigive millioner af sporer til luften, og derfor findes sporerne overalt i bygninger. Når de rette vækstbetingelser er til stede, vil sporerne spire og danne nyt mycelium. Små fragmenter af mycelium kan ligeledes frigives til luften, hvorved nye kolonier kan etableres, [5].

Der har i Danmark kørt et stort forskningsprogram "Skimmelsvampe i bygninger", [7], som har bestået af et stort antal delprojekter, som både sundhedsmæssigt og byggeteknisk har kortlagt udbredelsen af skimmelsvamp, undersøgt de skader der har været samt opstillet retningslinjer for undgåelse af skimmelsvamp samt anvisninger på udbedring. Vinduer og vinduesrammer er ikke identificeret som kilde til nogen problemer. En af de væsentlige konklusioner af arbejdet var påvisningen af en klar sammenhæng mellem skimmelsvampeniveauet i gulvstøv og irritationssymptomer fra øjne og øvre luftveje samt almensymptomerne hovedpine, svimmelhed og koncentrationsproblemer. Jo højere skimmelsvampeniveau desto flere personer med symptomer.

Det er således ikke muligt at undgå skimmelsvampe-sporer i luften, men det handler i stedet at tilstræbe, at der ikke sker vækst af skimmelsvampe i bygningen og at rengøring specielt med hensyn til fjernelse af gulvstøv gennemføres jævnligt. Idet vinduesrammernes relative areal i forhold til det samlede luftvolumen er meget lille og selv om der måtte optræde skimmelsvampe nogle steder på vinduesrammen, vurderes det at give en ubetydelig effekt på indeklimaet og på generering af gener af skimmelsvamp, i forhold til alle de sporer der i forvejen er i luften både inde og ude [6].

Vækst af skimmelsvampe optræder, hvis der er sket en opfugtning og fugtbalance mellem materialer og luft svarende til en relativ luftfugtighed på 75-80%, [5]. I de situationer, hvor der konstateres vækst af skimmelsvampe, anbefales at rengøre og desinficere i 20 min. med Klorin eller Rodalon, [5].

I en undersøgelse af Pawel Wargocki [6], vedr. betydningen af kondens på vinduer (både glas og ramme) for indeklimaet konkluderes, at der ikke er fundet litteratur omkring sammenhængen mellem kondens på vinduer og evt. helbreds-mæssige problemer, men at der omvendt er mange eksempler på sammenhængen mellem dårligt indeklima (typisk som følge af manglende ventilation) og konstatering af kondens på vinduerne.

4 Vurdering og dokumentation af vinduers kondensrisiko

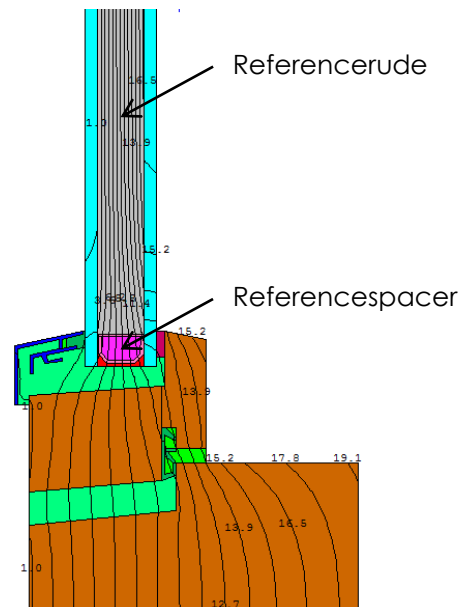
4.1 Beregning

I foregående afsnit er der detaljeret redegjort for de tekniske forhold med betydning for den resulterende minimumoverfladetemperatur for både facadevinduer og tag-/ovenlysvinduer.

4.1.1 Facadevinduer

I Bygningsreglementet 2010 er der indført et temperaturkrav på minimum 9,3 °C på vinduesrammer, men skal i praksis tolkes at gælde alle overflader iht. de tekniske bestemmelser formuleret af Vinduesindustrien.

Dokumentation af temperaturkrav sker ved beregning iht. DS EN/ISO 10077-2 ved en indetemperatur på 20 °C og en udetemperatur på 0 °C. Det er den samme beregning, der indgår i bestemmelse af linjetabet ψ_g til beregning af vinduets U-værdi:



Figur 12. Eksempel på beregnet isothermforløb som led i U-værdiberegning for vinduet.

Bestemmelse af mindste indvendige overfladetemperatur begrænser sig dermed til at betragte det beregnede isothermforløb i ovenstående figur 12 og lokalisere det område med direkte kontakt til rumluften, der er koldest. De kendte simuleringværktøjer indeholder en facilitet, der viser temperaturen ved cursorpositionen, hvorved det er hurtigt, at finde frem til den aktuelle minimumtemperatur.

En fjernelse af temperaturkravet vil derfor ikke lette fabrikanternes dokumentationsbyrde i nævneværdig grad. Det skal i den forbindelse nævnes, at dokumentationskravet heller ikke er blevet nævnt af de interessenter, der har været inddraget i undersøgelsen.

4.1.2 Tagvinduer/ovenlys

For tagvinduer og ovenlys gennemføres principielt de samme beregninger for bestemmelse af tagvinduets/ovenlysets U-værdi, dog med den komplikation, at rudens U-værdi ændrer sig som funktion af rudens hældning.

Dokumentationsmæssigt indebærer dette, at der ideelt set bør udføres en beregning af mindste overfladetemperatur for enhver mulig hældning af vinduet.

Med henblik på at lette dokumentationsbyrden foreslås det, at minimum overfladetemperaturkravet kan dokumenteres ved beregning på en valgfri hældning med vandret under 60°. Eftervisningen skal udføres med den faktisk forekommende U-værdi for ruden ved den anvendte hældning.

For hældninger over 60° foreslås at tagvinduer beregnes som facadevinduer, og skal opfylde krav svarende til disse.

4.2 Måling

Bestemmelse af overfladetemperatur ved måling kan ske ved placering af temperaturfølere på konstruktionen eller ved anvendelse af termovision. Begge dele er vanskelige at gennemføre.

Placering af temperaturfølere kræver forudgående kendskab til, hvor den minimale overfladetemperatur vil forekomme eller placering af et uhensigtsmæssigt stort antal følere med deraf følgende stor risiko for, at man påvirker måleresultatet.

Termovision giver et totalbillede af alle overflader synlige for kameraet, men de aflæste temperaturer er følsomme overfor de forskellige materials strålingsmæssige egenskaber. Termovision vil således ikke vise temperaturer på overflader der ikke er synlige for kameraet, og de viste temperaturer på termovisionsbilledet skal efterfølgende korrigeres for den aktuelle overflades emittans.

Overfladetemperaturkravet dokumenteret ved måling skal sammenlignes med den faktiske ønskede minimumtemperatur (nuværende 9,3 °C).



















4.3 Kan andre krav erstatte temperaturkravet?

Danmark er det eneste land i Europa, der har stillet krav om en minimumoverfladetemperatur på vinduesrammen. Der er endnu ikke specificeret en metode til CE-mærkning af denne størrelse, hvorfor der stilles spørgsmål til, om kravet f.eks. kan erstattes af en kombination af eksisterende krav.

4.3.1 CE-mærkning

CE-mærkningen for vinduer kan omfatte følgende parametre (figur 13), hvoraf de enkelte medlemslande kan vælge, hvilke værdier, der som minimum skal deklarerer. I Danmark skal der som minimum deklarerer for U-værdier for et referencevindue, styrken af sikkerhedsbeslag samt g- og LT-værdi for producentens standardrude.

Table 1: Essential characteristics according to EN 14351-1

Characteristic		W	D	RW	Characteristic		W	D	RW
External fire performance		N	N	Y	Impact resistance		N ^b	Y ^a	Y
Reaction to fire		N ^b	N ^b	Y	Load-bearing capacity of safety devices		Y	Y	Y
Resistance to fire (E + EI)		Y	Y	Y	Height and width		N	Y	N
Smoke leakage (S)		Y	Y	N	Ability to release (locked doors in escape routes only)		N	Y	N
Self-closing (C) (self-closing fire doors only)		N	Y	N	Operating forces (only for automatic devices)		N	Y	N
Watertightness		Y	Y	Y	Acoustic performance		Y	Y	Y
Dangerous substances (indoor impact only)		Y	Y	N	Thermal transmittance		Y	Y	Y
Resistance to wind load		Y	Y	Y	Radiation properties		N ^b	N ^b	Y
Resistance to snow and permanent load		N	N	Y	Air permeability		Y	Y	Y

W = Window
D = Door
RW = Roof window

Y = mandated characteristic
N = voluntary characteristic or not applicable
^a = only for glazed doors with injury risks ^b = may change to mandated

Figur 13. Oversigt over parametre, der kan indgå i CE-mærkningen af vinduer [8]

De eneste parametre, der implicit kan have betydning for vinduets indvendige overfladetemperatur er U-værdien og til dels rudens g- og LT-værdi, der indirekte siger noget om rudens opbygning. Men en lav U-værdi kan fremkomme på mange måder ved forskellige kombinationer af UA-værdien for hhv. ramme/karm og rude, samt linjetabet ved rudens kant. Derfor ligger der ikke i den gældende CE-mærkning en mulighed for specifikation af krav, der implicit kan give samme kondensrisikominimering, som der ligger i et overfladetemperaturkrav.

4.3.2 Eref

Bygningsreglementets krav til vinduets Eref giver større mulighed for at styre vinduets samlede energimæssige egenskaber ved at kombinere vinduets U-værdi og vinduets g-værdi henført til vinduets totalareal.

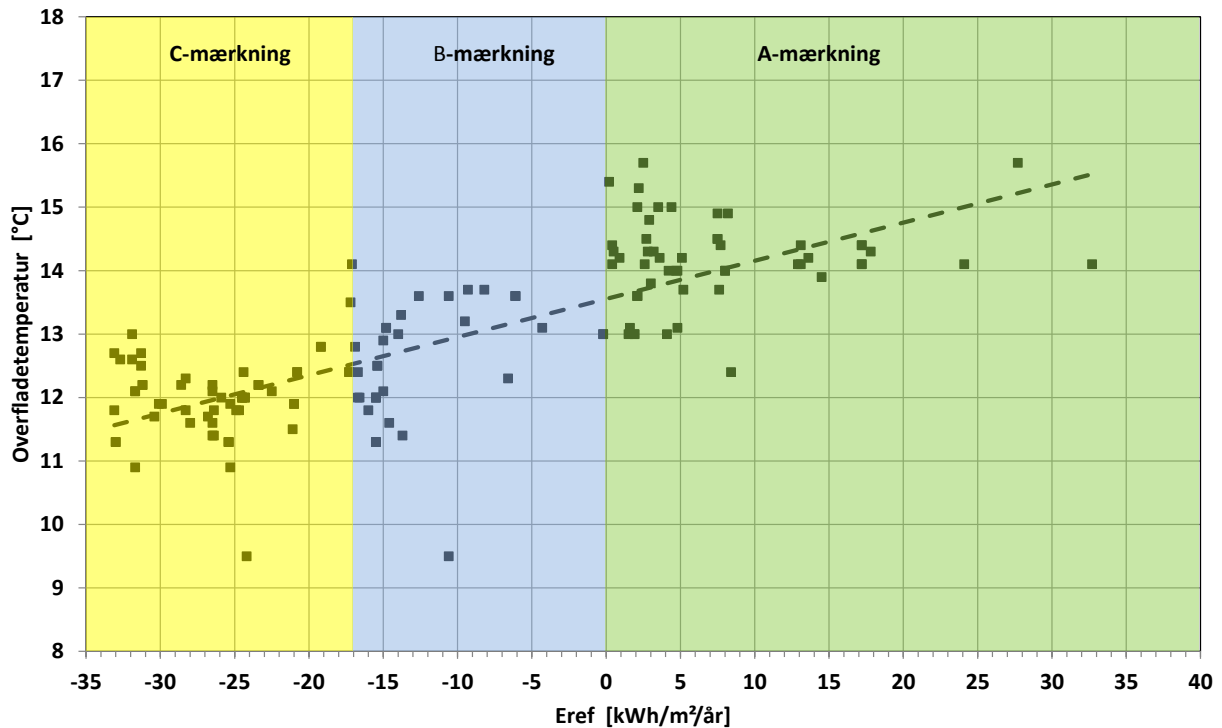
Vægtningen af U-værdi og g-værdi ved beregning af Eref medfører overordnet set til udvikling af vinduer med bedre isolerende ramme/karmkonstruktioner, og dermed overordnet set også konstruktioner med højere overfladetemperaturer. Men Eref-kravet sikrer ikke mod, at vindueskonstruktionen kan have indbyggede kuldebroer ud over betjeningsgreb, der vil medføre større eller mindre områder med lave overfladetemperaturer.

Samtidig tilskynder Eref til udvikling af slankere profiler, der medfører større g-værdi for vinduet og dermed højere Eref-værdi. Risikoen for lave overfladetemperaturer stiger typisk jo slankere en ramme/karmkonstruktionen bliver pga. øgede styrkekrav til de materialer, der anvendes.

Det vurderes derfor, at Eref kravet i sig selv ikke giver den fornødne sikkerhed for, at minimumtemperaturen på konstruktionen vil være så høj, at det svarer til nuværende eller evt.

førøget krav til minimumoverfladetemperatur. Dette afspejles også i listen over vinduer på Energivinduer.dk, hvorfra data for nedenstående diagram (figur 14) er hentet.

Minimum overfladetemperatur som funktion af Eref



Figur 14. Minimumoverfladetemperatur som funktion af Eref for vinduer på positivlisten på Energivinduer.dk

Diagrammet viser, at tendensen er, at minimumoverfladetemperaturen generelt stiger med stigende Eref, men diagrammet viser også, at der er meget stor spredning omkring tendenslinjen. Dette understreger, at et Eref-krav i sig selv ikke er tilstrækkeligt til at sikre en høj overfladetemperatur, selvom kun nogle få af konstruktionerne ligger nede omkring den nuværende grænse på 9,3 °C. Diagrammet indeholder kun værdier for producenter, der frivilligt har indgivet deres oplysninger, hvorfor der ikke er sikkerhed for, at diagrammet vil være repræsentativt for det samlede vinduessalg i Danmark.

Fastholder brancheorganisationen Vinduesindustrien sit krav til minimum overfladetemperatur i deres tekniske betingelser, vil det naturligvis betyde, at alle medlemmer af Vinduesindustrien skal overholde dette, men der vil ikke være noget krav til vinduesfabrikanter uden for foreningen.

Hvis kravet ikke stilles i Bygningsreglementet, kunne der være forhandlere som ville introducere billige vinduer på markedet på bekostning af kondensrisikoen, og det vil efterfølgende kunne give problemer for slutbrugeren, idet denne ikke ville kunne reklamere pga. kondens på vinduerne.

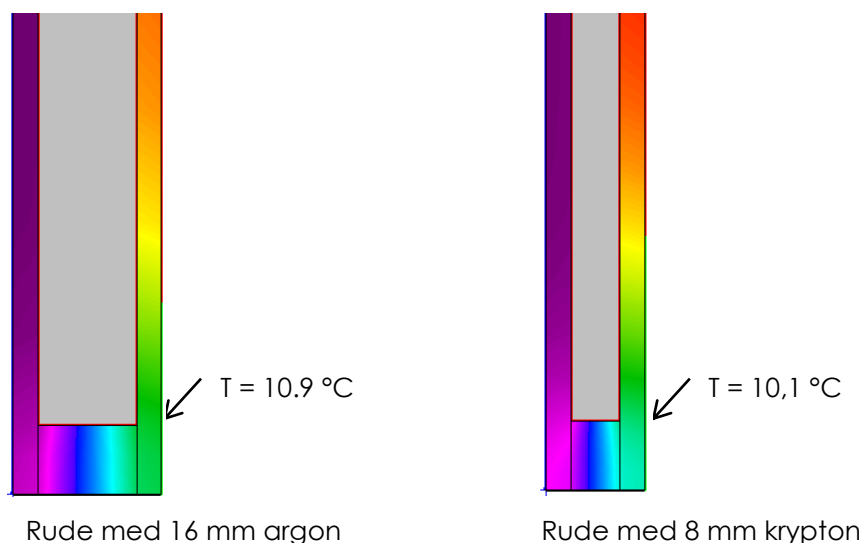


4.3.3 Andet

Alternativ til et overfladetemperaturkrav kan være at stille specifikke krav til vinduets enkelte elementer - rude, ramme/karm og afstandsprofil parallelt med Eref-kravet.

Krav til ruden kunne være et simpelt U-værdikrav kombineret med krav om anvendelse af "varm kant".

Rudens center U-værdi opnås som funktion af glasafstand, anvendt gasfyldning og lavemissionsbelægninger, hvilket imidlertid også har betydning for linjetabet ved rudens kant. Eksempelvis vil anvendelse af kryptonfyldning ofte være kædet sammen med en glasafstand på 8 – 12 mm, mens en argonfyldning typisk vil være knyttet til en glasafstand på 15 – 18 mm. Dermed vil linjetabet alt andet lige blive højere for kryptonruden end for argonruden på grund af den mindre glasafstand. Dette er illustreret i nedenstående figur 15.



Figur 15 Beregnet temperaturer i bund af lodret rude beregnet med Window / Therm 7.2 ved anvendelse af NFRC 500 metode. Afstandsprofil er identisk i de to rudeeksempler (silicone foam, varmeledningsevne = 0,17 W/mK). Rudernes U-værdier er hhv. 1,15 W/m²K og 1,06 W/m²K.

Beregningerne er foretaget med en indvendig overgangsisolans på 0,20 m²K/W op til 30 mm over afstandsprofilen for at tage hensyn til den generelle øgede overgangsisolans i hjørnet mellem ramme/karm og rude. Derover er der regnet med en indvendig overgangsisolans på 0,13 m²K/W. Den udvendige overgangsisolans er sat til 0,04 m²K/W over hele rudens højde.

Resultatet vist i figur 15 viser en forskel i overfladetemperatur på ca. 0,8 °C mellem overfladetemperaturerne ved overkant af afstandsprofil. Minimumtemperaturen på ruden uden ramme/karm er over det nuværende temperaturkrav på 9,3 °C for de to rudetyper med en center U-værdi på hhv. 1,15 W/m²K og 1,06 W/m²K.

Ovenstående rudetype kunne specificeres generelt som et krav til center U-værdi og varm kant med en ækvivalent varmeledningsevne mindre end 0,17 W/mK.

Dermed kræves det, at ramme/karmkonstruktionen ikke må medføre ændringer af minimumtemperaturen på ruden og i sig selv ikke indeholder kuldebroer, der giver anledning til lave overfladetemperaturer.

Der kræves som udgangspunkt, at indvendig glasliste skal have en 1-dimensional isolans på mindre end 0,2 m²K/W og udvendig glasliste skal have en 1-dimensional isolans på over 0,04 m²K/W. Derudover må ramme/karmprofilet og luftspalter ikke trække kulde ind under ruden eller rammen i et omfang, der kan medføre en sænkning af rudens, glaslistens og ramme/karmens indvendige overfladetemperaturer.

Sidstnævnte kunne formuleres som et krav til maksimal varmeledningsevne af materialer, der ligger inden for området begrænset af planerne parallelt med hhv. rudens yderside og inderside. Dette vil imidlertid betyde, at nogle vinduer, der i dag opfylder overfladetemperaturkravet ikke vil kunne opfylde materialeværdikravet.

Alternativt kunne der også stilles krav til ramme/karmprofilets maksimale U-værdi, hvilket dog ikke sikrer mod, at der kan trækkes kulde ind lokalt under ruden og forplante sig op gennem det inderste glas og give kolde overfladetemperaturer ved samlingen mellem glasliste og rude.

4.3.4 Opsummering

Indholdet i den nuværende CE-mærkning har ikke oplysninger, der ved kravstillelse gør det muligt at sikre mod lave overfladetemperaturer på vindueskonstruktioner.

Stramning af kravet til Eref vil generelt medføre en forøgelse af de indvendige overfladetemperaturer, men en analyse viser også, at Eref-krav kan opfyldes uden nødvendigvis at sikre en høj overfladetemperatur.

Der er set på en løsningsmulighed, hvor der stilles krav til vinduets forskellige komponenter – rude, afstandsprofil og ramme/karm parallelt med Eref-kravet. Vurderingen er, at mens der forholdsvis let kan stilles krav til rudens center U-værdi og afstandsprofilets ækvivalente varmeledningsevne, vil det være umuligt at opstille krav til ramme/karmkonstruktionen, uden at det vil udelukke vindueskonstruktioner, der opfylder de nuværende regler til minimumoverfladetemperatur. Alternativt skal der udformes meget detaljerede og komplicerede regler, der evt. vil føre til misforståelser og åbne for regeltolkninger.

Derfor vurderes det, at krav til minimumoverfladetemperaturkrav er det mest entydige og letforståelige krav, hvis der ønskes en beskyttelse af brugeren mod konstruktioner med stor kondensrisiko. Kravet kræver derudover ikke væsentlig ekstra dokumentation fra producenternes side, og stiller producenterne meget frit med hensyn til produktudvikling.



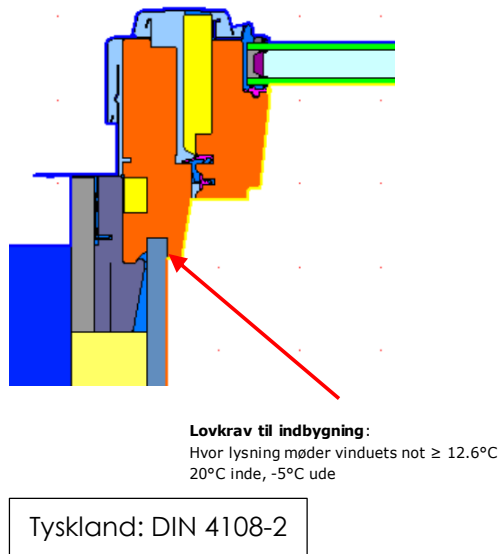
5 Kondensrelaterede krav i udlandet

På trods af, at der ikke findes et krav til minimumoverfladetemperatur på vinduer i de øvrige europæiske lande, foreskriver det tyske bygningsreglement, at minimumoverfladetemperaturen på øvrige konstruktioner ikke må være lavere end 12,6 °C ved 20 °C inde og -5 °C ude. Kravet er indført for at minimere risikoen for skimmelvækst på kolde indvendige overflader, og svarer til, at der vil være 80 % relativ fugtighed på overfladen ved 50 % relativ fugtighed i rumluften.

Temperaturkravet på 12,6 °C svarer til en kondensmodstandsfaktor, som udtrykker forskellen mellem indvendig overfladetemperatur og udeluften, ift. temperaturforskellen mellem inde og ude. Jo højere værdi, desto mindre risiko for kondens:

$$F_{Rsi} = \frac{(T_{\text{indvendig overflade}} - T_{\text{ude}})}{(T_{\text{inde}} - T_{\text{ude}})} = \frac{(12,6 - (-5))}{(20 - (-5))} = 0,7$$

Dette krav gælder også på vindueslysninger, hvor mest kritiske punkt ofte vil være samlingen mellem vindueskarm og lysningspanel. Dette forhold er specielt kritisk for tagvinduer/ovenlys, hvor store dele af karmen ofte er placeret udenfor tagkonstruktionens isoleringslag af hensyn til afvanding.



Figur 16. Simuleringsmodel for beregning af tagvindue. Figur venligst stillet til rådighed af Velux A/S.

I Tjekket indeholder bygningsreglementet anbefalinger til en minimum kondensmodstandsfaktor.

Kravet om en minimum kondensmodstandsfaktor giver god mening af med henblik på at mindske risikoen for skimmelvækst, der potentielt kan udgøre meget større arealer, end det vil være tilfældet på vinduesrammer/karme. Dokumentationsmæssigt stiller det store krav, idet hver enkelt konstruktionsdetalje skal gennemregnes med 2- eller 3-D simuleringsprogrammer for fastlæggelse af minimumoverfladetemperaturen eller kondensmodstandsfaktoren. Dette har man i Tyskland "løst" ved at opbygge omfangsrige kataloger med konstruktionsdetaljer og tilhørende linjetab og kondensmodstandsfaktorer.

Det bør imidlertid vurderes, om kravet retteligt burde gælde på den varme side af fugtspærren fremfor på konstruktionernes overflader. I en typisk let konstruktion vil fugtspærren ofte være placeret et stykke inde i konstruktionen, hvorved de fugtmæssige forhold kan blive langt mere kritiske end på overfladen.

I Bygningsreglementet 2010 er der stillet krav til maksimalt linjetab for samlingen mellem vindue/dør og væg på 0,06 W/mK, hvilket indirekte reducerer risikoen for kolde overflader på lysningen. En gennemregning af en række af eksemplerne for indbygningsforhold i DS 418, der netop opfylder linjetabskravet, udviser overfladetemperaturer væsentligt over 12,6 °C.

Maksimumkravet til linjetabet for tagvinduer/ovenlyskupler er 0,20 W/mK i Bygningsreglement 2010. Det mindre restriktive krav tager hensyn til, at vinduet ved indbygning skal sidde så langt ude i konstruktionen at det kan afvande. Dermed bliver transmissionsarealet af indbygningen større. Beregning på typisk indbygning, der netop opfylder linjetabskravet, viser, at overfladetemperaturen i dette tilfælde nærmer sig de 12,6 °C.

Generelt vurderes det ikke at være et typisk problem, at indbygningen af vinduer i ydervægge og tag medfører forøget risiko for skimmelvækst, hvis maksimumkravet til linjetabskoefficient overholdes.

Passivhuscertificerede vinduer skal opfylde et kriterie om maksimal relativ fugtighed på vinduets overflade på 80 % RF. Randbetingelserne er givet i nedenstående tabel som funktion af klimatisk område, hvor Danmark ligger i region "Cool-temperate". Ifølge tabellen kræves der for passivhuscertificering en minimum overfladetemperatur på 13 °C ved en udetemperatur på -5 °C og en relativ fugtighed af indeluften på 50 % RF. Dette svarer til de tyske krav for F_{Rsi} for øvrige konstruktioner.

Region No.	Name	Boundary condition for hygiene criterion		Hygiene criterion	
		θ_a	rHi	$\theta_{Si,min}$	f_{Rsi}
1	Arctic	-34	0.40	9	0.80
2	Cold	-16	0.45	11	0.75
3	Cool-temperate	-5	0.50	13	0.70
4	Warm-temperate	5	0.55	14	0.60
5	Warm	10	0.70	16	0.55
6	Hot	not relevant		not defined	
7	Extremely hot, often humid	not relevant		not defined	

http://www.passiv.de/downloads/03_certification_criteria_transparent_components_en.pdf

6 Interessenters synspunkter mht. overfladetemperaturkrav

I forbindelse med denne evaluering er en række interessenter blevet interviewet om deres synspunkter vedrørende Bygningsreglementets krav til minimum overfladetemperatur.

Følgende interessenter, der dækker et bredt spektrum af den danske vinduesindustri, har været hørt:

- Eirik Bjørn og Peter Grønlund, DOVISTA A/S
- Pia Thomsen og Karsten Duer, VELUX A/S
- Mogens Ringgaard, Outrup Vinduer og Døre A/S
- Per Møller Sørensen, Idealcombi A/S
- Claus Arberg, Hvidbjerg Vinduet A/S
- Uffe Dalmose, UD Vinduer A/S
- Lasse Sørensen, Bøjsø Døre og Vinduer A/S
- Bjarke Fjeldsted, Dansk Industri
- Per Thomas Dahl, Danske Byggematerialer
- Johnny Jensen, Dansk Vinduesindustri

Derudover har der været afholdt et møde på Aalborg Universitet med Lektor og Ph.d.-vejleder Rasmus Lund Jensen samt Eirik Bjørn og Peter Grønlund fra DOVISTA med fokus på de opnåede resultater fra erhvervs-Ph.d.-projektet udført af Kasper R. Jensen omkring kondensdannelse.

Interessentinddragelsen har givet en række forskellige synspunkter vedr. spørgsmålet om det nuværende overfladetemperaturkrav i Bygningsreglementet og ønsker til indholdet i det kommende bygningsreglements krav på området.

I Dansk Vinduesindustri tekniske bestemmelser har der siden år 2000 været krav til minimum indvendig overfladetemperatur på vinduer. Kravet var i 2000 på 7,0 °C. I 2009 blev kravet hævet til 8,5 °C og i forbindelse med introduktion af kravet i Bygningsreglementet 2010 blev kravet hævet til de nuværende 9,3 °C.

Alle er enige om, at kravet om en minimum indvendige overfladetemperatur på vinduer kom ind i Bygningsreglementet som en reaktion på en fjernsynsudsendelse, hvor en række forbrugere kom med meget hård kritik af hyppig og heftig kondensdannelse efter at have installeret nye vinduer. Kravet i Bygningsreglementet 2010 er således indført til beskyttelse af forbrugerne.

Der er også udbredt enighed om, at opfyldelse af kravet til en minimum overfladetemperatur ikke nødvendigvis forhindrer kondens på vinduets indvendige side, idet dette afhænger af en lang række faktorer knyttet til de aktuelle indbygningsforhold, udnyttelse af vinduespladen, anvendelse af gardiner og fugtforholdene i rumluften. Imidlertid erkender alle også, at jo højere beregnet overfladetemperatur jo mindre risiko for kondens.

Indførelse af kravet var imod gældende EU-lovgivning, idet der ikke findes procedurer for CE-mærkning af overfladetemperaturen på vinduer og døre. Efterfølgende er problematikken sendt til høring/behandling i CEN/TC 33, hvor spørgsmålet om overfladetemperaturvurdering er afvist på grund af en fejlagtig formulering af kondensspørgsmålet. Imidlertid drøftes det i andre lande, om der skal indføres et krav til minimum overfladetemperatur i deres respektive bygningsreglementer.

I interessentgruppen er der hos nogle producenter en frygt for, at en udbredt indførelse af et overfladetemperaturkrav i de forskellige bygningsreglementer rundt omkring i Europa vil kunne føre til lokale krav, der indirekte udgør en teknisk handelshindring. Dette forstået på den måde, at opfyldelse af lokale krav vil stride mod den danske tradition for at lave designmæssigt

gennemførte og gennemprøvede konstruktioner, hvor ydeevnen er reel og ikke baseret på uhensigtsmæssige løsninger for opnåelse af en bestemt designværdi. Blandt andet derfor ønskes kravet til minimum overfladetemperatur taget ud af bygningsreglementet, og godkendelse af proceduren for CE-mærkning af overfladetemperaturer kaldt tilbage. Ønsket underbygges videre med, at alle danske vinduer opfylder kravet og, at den generelle vinduesudvikling vil medføre en implicit forøgelse af den indvendige overfladetemperatur. Dermed er der ikke et behov for "forbrugerbeskyttelsesparagraffen" i Bygningsreglementet.

Andre producenter mener derimod, at overfladetemperaturkravet er vigtigt at have i Bygningsreglementet. Dette begrundes i, at forbrugeren har krav på gode produkter, der ikke påfører dem gener eller øgede vedligeholdelsesomkostninger. Vinduer betragtes af brugerne som et højniveauprodukt på linje med inventar, hvor man heller ikke vil acceptere "fej", der generer brugeren. Derudover er kravet i Bygningsreglementet også en beskyttelse af vinduesfabrikanterne, der ved eventuelle klager over kondens, kan henvise til, at deres produkter lever op til lovens krav.

Interessenterne er også blevet spurgt om overfladetemperaturen er en reel konkurrenceparameter. Baggrunden for spørgsmålet er, om de normale markeds kræfter ville kunne regulere markedet. Det generelle svar er, at overfladetemperaturer og tilhørende kondensrisiko er svært at forklare over for forbrugeren. Specielt er det vanskeligt ved renovering, hvor vinduerne ofte vælges i samråd med den lokale tømrer, som i givet fald også skal være klædt på til at forklare og vejlede omkring kondens.

De interessenter, der er positive over for kravets placering i Bygningsreglementet, ser generelt også positivt på en realistisk stramning af kravet, hvilket vil øge forbrugerens tilfredshed med deres vinduer og medføre færre klagesager. Producenter med produkter med høj overfladetemperatur oplever sjældent kondensrelaterede klager.

Der er også stillet spørgsmål til, om Bygningsreglementet er det rigtige sted at have et overfladetemperaturkrav eller det kunne være en frivillig mærkningsordning, hvor f.eks. alle medlemmer af Dansk Vinduesindustri forpligter sig til at leve op til et minimumskrav og i øvrigt oplyse, hvilken beregnet overfladetemperatur produktet har. Der er imidlertid en frygt for, at det vil føre til produkter på markedet fra producenter uden for brancheorganisationen, der vil kunne konkurrere urimeligt på prisen – netop fordi markeds kræfterne ikke kan slå igennem vedr. kondensrisikoen.

Ovenstående synspunkter afspejler de to modsatte holdninger i branchen:

1. Kravet skal væk fra Bygningsreglementet af hensyn til risiko for indirekte tekniske handelshindringer i visse lande. Overfladetemperaturkravet er ikke nødvendigt, idet alle produkter der opfylder Eref-kravene implicit giver god sikkerhed mod indvendig kondens. Et overfladetemperaturkrav sikrer ikke mod kondens, idet kondensdannelse afhænger af en lang række forskellige faktorer hos den enkelte bruger.
2. Kravet skal forblive i Bygningsreglementet, hvor det så vil gælde alle vinduer der sælges på det danske marked. Placeringen af kravet i Bygningsreglementet giver en god forbrugerbeskyttelse og simplificerer eventuelle klagesager, idet der kan henvises til, at vinduet opfylder lovens krav. En realistisk stramning af det nuværende krav vurderes positivt for forbrugeren og vil mindske antallet af klager over kondens.

7 Diskussion

7.1 Er kondens på vinduesrammer et problem?

Kondens på vinduesrammer og ruder opfattes som et stort irritationsmoment for brugerne og udgør et vedligeholdelsesproblem. Hyppig kondensdannelse medfører skimmelvækst på tætningslister og vinduesrammer og i grelle tilfælde nedbrydning af vindueskonstruktionen og påfører brugeren øgede vedligeholdelsesomkostninger.

I tilfælde, hvor kondensdannelsen sker på ikke synlige steder i vindueskonstruktionen, f.eks. mellem ramme og karm, vil der være en betydelig risiko for, at større dele af vindueskonstruktionen kan blive nedbrudt, idet kondensdannelsen sker i områder, hvor der typisk ikke sker en udtørring om dagen fra opvarmning på grund af solindfald. I uheldige tilfælde vil kondensdannelsen i disse områder kunne sprede sig til de omkringliggende konstruktioner.

Der er ikke nogen direkte sammenhæng mellem minimumoverfladetemperatur på vinduet og vinduets samlede isoleringsevne, idet lave overfladetemperaturer typisk er begrænset til et meget lille areal forårsaget af lokale kuldebroer.

Udfældning af kondens på vinduernes indvendige overflader sker på et synligt og tilgængeligt område, hvilket giver gode muligheder for at fjerne kondens og evt. skimmelsvamp.

Der er i litteraturen ikke fundet nogen undersøgelser, der kan påvise, at kondens på vindueskonstruktioner medfører dårligt indeklima i form af kritisk koncentration af skimmelsvampesporer i rumluften. Derimod vil bygninger, med dårlig luftkvalitet forårsaget af for ringe ventilation ofte medføre, at der også er kondens på vinduerne.

Hyppig kondens på vinduer uden alvorlige kuldebroer og med overfladetemperaturer, der opfylder mindstekravet i Bygningsreglement 2010 eller bedre, er et tegn på for høj luftfugtighed i rumluften, og kan/skal anvendes af brugeren som en indikator for, at rummets/boligens/bygningens ventilationsgrad er for lav i forhold til den indendørs fugtproduktion. Reageres der på dette, kan det forhindre fugtskader i svært tilgængelige konstruktioner og mindske risikoen for skimmelvækst bag inventar placeret op ad ydervæggene.

Sammenfattende må det konkluderes, at indvendig kondens på vinduer primært er en brugsmæssig gene og en kilde til øgede vedligeholdelsesomkostninger. Skjult kondens i vindueskonstruktionen vil dog kunne udgøre en risiko for nedbrydning af vinduet og eventuelt de omkringliggende konstruktioner.

7.2 Bør der differentieres mellem udskiftning, renovering og nybyg?

Nuværende krav til minimumoverfladetemperatur gælder principielt kun ved udskiftning og renovering af eksisterende vinduer (rudeudskiftning, etablering af forsatsrammer). Der er ingen krav til minimumoverfladetemperatur for vinduer i nybyggeri.

Specielt ved udskiftning og renovering af vinduer i den eksisterende bygningsmasse opnås der ofte en væsentlig forøget lufttæthed af klimaskærmen, hvilket medfører potentielt højere relativ fugtighed i rumluften. Dette vil øge risikoen for kondensdannelse på vinduerne, hvorfor et krav om minimumoverfladetemperatur er naturligt. Det er imidlertid vigtigt, at kravet ikke sættes højere end at vinduerne vil fungere som "udluftningsindikator", så risikoen for fugtskader andre steder minimeres.

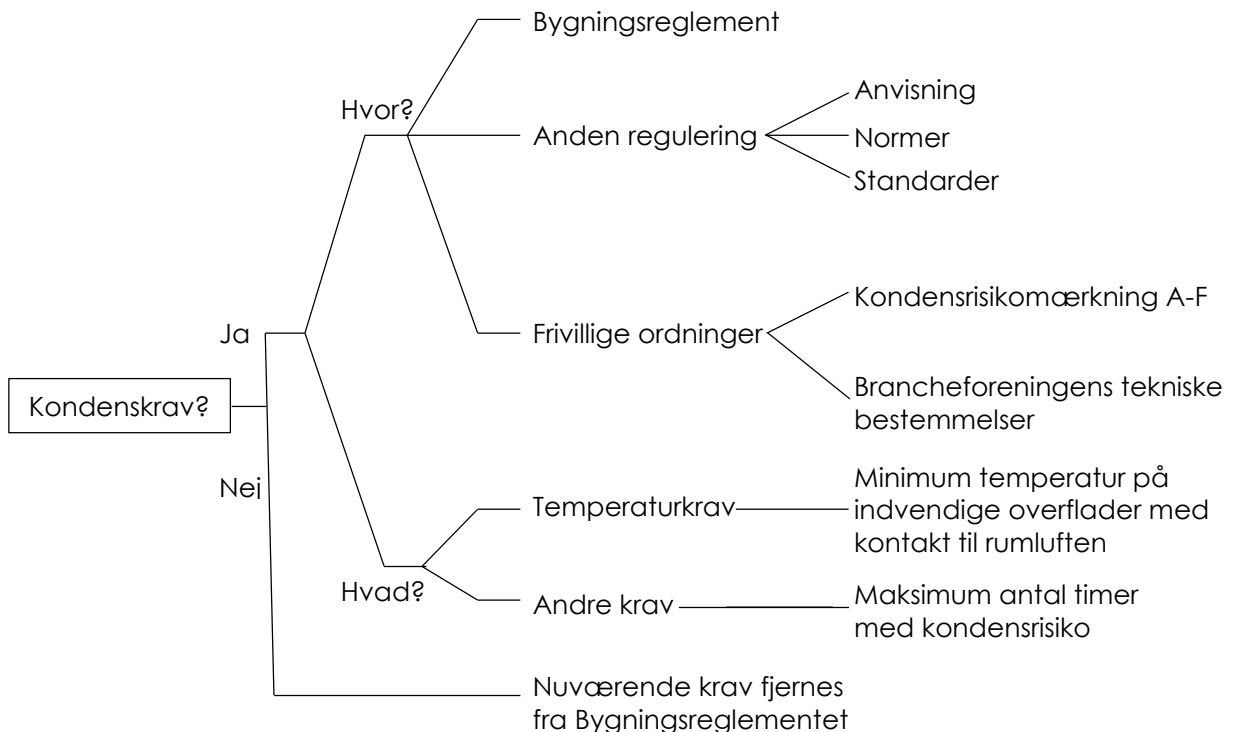
Ved renovering af eksisterende vinduer i form af rudeudskiftning eller etablering af forsatsrammer, hvor eksisterende ramme/karmkonstruktion bibeholdes bør det overvejes om overfladetemperaturkravet skal kunne fraviges, hvis årsagen til de lavere temperaturer ligger i de eksisterende konstruktioner, idet alternativet ligger i en fuld vinduesudskiftning.

Nybyggeri vil i stor udstrækning være forsynet med mekanisk ventilation, der sikrer et kontinuert og tilstrækkeligt luftskifte. Ydermere vil opfyldelse af energirammekravene til nybyggeri i vid udstrækning medføre anvendelse af A-mærkede vinduer, der generelt vil have overfladetemperaturer væsentligt over kondensgrænsen. Dermed kan et krav til minimumoverfladetemperatur virke overflødig. Imidlertid produceres der ikke vinduer, der varmeteknisk er specifikt rettet mod hhv. udskiftning og nybyggeri. Derfor vil indførelse af et krav til minimum overfladetemperatur ved nybyggeri ikke pålægge producenterne øgede dokumentationsbyrder, og det vil skabe konsistens i bygningsreglementets formuleringer.

Det anbefales derfor, at der indføres enslydende krav til minimum overfladetemperatur for vinduer ved udskiftning og ved nybyggeri, hvis overfladetemperaturkravet skal bibeholdes. Ved renovering af vinduer stilles ikke krav til minimum overfladetemperatur, men der stilles krav om, at renoveringen ikke må føre til øget kondensrisiko.

7.3 Er det et problem som bygningsreglementet skal adressere?

Overfladetemperaturkravet til vinduer i Bygningsreglementet er specielt i den henseende, at det er et komponentkrav, der ikke har sikkerheds-, sundheds- eller energimæssig betydning, hvilket ellers er kendetegnende for øvrige krav i Bygningsreglementet. Det er derfor naturligt at stille spørgsmålet, om kravet hører til i Bygningsreglementet. I nedenstående diagram er vist de forskellige muligheder for en fremtidig håndtering af kravet, som projektteamet har identificeret.



Overfladetemperaturkravet kan tolkes som en præcisering af Bygningsreglementets § 4.6 stk. 1 - 2:

Stk. 1

Bygninger skal udføres så vand og fugt ikke medfører skader eller brugsmæssige gener, herunder forringet holdbarhed og utilfredsstillende sundhedsmæssige forhold, se også kapitel 6, Indeklima.

Stk 2.

Bygninger skal sikres mod skadelig akkumulering af kondensfugt som følge af fugttransport fra indeluften. Bygninger skal desuden sikres mod opsugning af fugt fra undergrunden.

Udviklingen på vinduesområdet betyder endvidere, at der implicit opnås højere indvendige overfladetemperaturer. Der kan derfor argumenteres for, at krav til indvendig overfladetemperatur på vinduer i fremtiden er overflødig, hvorfor det bør tages ud af Bygningsreglementet.

I følge interessentanalysen er der dog en del vinduesfabrikanter, der ser det som en væsentlig faktor for at sikre brugerne vinduer, der ikke giver gener i form af kondensdannelse og øget vedligehold.

Tages der derfor udgangspunkt i, at der bør være krav til vinduers indvendige overfladetemperatur foreligger der forskellige muligheder:

1. Kravet forbliver en bestemmelse i Bygningsreglementet, hvilket stiller alle vinduesleverandører på det danske marked lige. Et tydeligt og veldefineret lovkrav giver også gode muligheder for klare afgørelser i eventuelle klagesager.
2. Kravet tages ud af Bygningsreglementet, men implementeres i Anvisninger, normer og standarder til hvilke, der kan henvises til i det enkelte projekt. Dette vil typisk finde anvendelse i nybyggeriet og ved større renoveringsopgaver, men vil næppe slå igennem hos den enkelte husejer, der kontakter sin lokale tømrer eller byggemarked.
3. Analogt til Energimærkningsordningen udarbejdes en A-F skala for kondensrisikofaktoren, så vinduer fremover både har et energimærke og et kondensrisikomærke.

Vedrørende ovenstående punkt 3, vil ordningen være frivillig, og dermed sikres der ikke imod, at vinduesleverandører, der ikke ønsker at deltage, fortsat kan markedsføre vinduer på det danske marked, som ikke lever op til kravene.

Udarbejdelse af en frivillig kondensrisikoskala fra A-F anses for en løsning, der er let at kommunikere ud til tømrermestre og den private forbruger, og vil dermed kunne gøre vinduets overfladetemperatur til en markedsføringsparameter.

Basis for kondensrisikovurderingen kan være mindste overfladetemperatur af alle flader på vinduet, der er i kontakt med rumluften eller evt. en kondenshyppighedsvurdering analogt til de accepterede krav til termisk indeklima, hvor der sættes grænser for, hvor mange timer der må være lavere end en bestemt temperaturgrænse.

Der er bevidst ikke givet anbefalinger til, hvilken af de skitserede muligheder, der bør vælges, idet det som sådan ikke ligger inden for det aktuelle opdrag.

8 Konklusion

- Indvendig kondens på vinduer er primært en brugsmæssig gene og en kilde til øgede vedligeholdelsesomkostninger. Skjult kondens i vindueskonstruktionen vil dog kunne udgøre en risiko for nedbrydning af vinduet og eventuelt de omkringliggende konstruktioner.
- Undersøgelser har ikke kunnet påvise en sammenhæng mellem kondens på vinduer og forringet indeluftkvalitet. Derimod vil dårligt indeklima forårsaget af manglende ventilation kunne medføre kondensproblemer på vinduerne.
- Med normalt forekommende fugtproduktion og et luftskifte på $0,5 \text{ h}^{-1}$ vil der ved en reel overfladetemperatur på $9,3 \text{ }^\circ\text{C}$ forekomme kondensdannelse mindre end 10 gange om året, og den kondenserede mængde vil ikke udgøre nogen risiko for konstruktioner eller indeklima.
- Minimumoverfladetemperaturen vil for facadevinduer i praksis være op til $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ koldere ved bunden af ruden end overfladetemperaturen beregnet iht. anvisningen i Bygningsreglement 2010 pga. intern konvektion i rudens gaslag. For tagvinduer og ovenlys med hældninger under 60° med vandret, vil dette dog ikke være tilfældet. En reel minimumoverfladetemperatur på ca. $8 \text{ }^\circ\text{C}$ vil medføre kondensdannelse 30 – 40 gange om året. Den kondenserede fugtmængde vurderes at være lille og vil ikke udgøre nogen risiko for konstruktioner eller indeklima.
- Øvrige forhold, som strålingsudveksling med overflader koldere end rumtemperaturen og reduceret konvektion som følge af geometriske forhold eller genstande på vinduespladen, kan medføre overfladetemperaturer væsentligt under $9,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Ved en faktisk overfladetemperatur på $5 \text{ }^\circ\text{C}$ på glasliste og 15 mm af rudens bund vil der årligt kunne kondensere ca. 0,5 liter vand pr. meter rudebredde og dermed være kritisk.
- Krav til minimum overfladetemperatur sikrer ikke mod kondens på vinduer, men øges kravet til minimumoverfladetemperatur, vil risikoen for kondens reduceres
- Kondens indvendigt på vinduer er ikke kun et dansk problem forårsaget af et særligt klima. Beregninger udført med identiske værdier for luftskifte og fugtproduktion i boliger, viser at problemet teoretisk bør forekomme overalt i Europa. Det har ikke været muligt at inddrage variationer i brugsmønstre (fugtproduktion) og klimaskærmens lufttæthed landende imellem i undersøgelsen.
- Minimum overfladetemperatur er det eneste krav, der direkte kan påvirke risikoen for kondensdannelse. Overfladetemperaturkrav giver producenterne frie muligheder for udvikling af produkter, der lever op til kravet. Alternativt skal der parallelt med Eref-kravet f.eks. stilles krav til maksimal varmeledningsevne for anvendte materialer i ramme/karm, krav til afstandsprofil i ruden og krav til selve ruden, hvis kondensrisikoen skal kunne styres. Dermed vil nuværende produkter, der opfylder reglerne i dag, blive udelukket.
- Krav til indvendig overfladetemperatur på vinduer bør præciseres til at gælde for alle indvendige overflader på vinduet, som er i kontakt med rumluften.
- Stramning af Eref-kravet til vinduer vil generelt medføre højere indvendige overfladetemperaturer, men giver ikke en sikkerhed mod lancering af produkter på markedet, med uheldige kondensmæssige egenskaber. I den danske vinduesbranche er

der generelt en vilje til at levere produkter som kunderne er tilfredse med - ikke mindst set i lyset af den mediestorm, der medvirkede til indførelse af det nuværende krav.

- Indholdet i den nuværende CE-mærkning har ikke oplysninger, der ved kravstillelse gør det muligt at sikre mod lave overfladetemperaturer på vindueskonstruktioner.
- Mandatering af minimumoverfladetemperaturkrav som del af CE-mærkning vil åbne for indførelse af krav i samtlige lande i EU. Hos enkelte producenter er der udtrykt frygt for, at det i nogle lande vil blive anvendt kreativt til beskyttelse af nationale interesser. Inkludering i CE-mærkning skal derfor sammenkædes med en detaljeret beskrivelse/definition af hvilke overflader, der skal betragtes som "i kontakt med rumluften" – eksempelvis alle overflader, der er beliggende på den varme side af klemte eller limede tætningslister eller forseglinger.
- **Udredning af minimal overfladetemperatur er en minimalt ekstra dokumentationsbyrde, for producenter, der deklarerer deres U-værdi baseret på beregninger.**
- Sker dokumentationen af vinduers U-værdi udelukkende ved måling, påfører overfladetemperaturkravet producenten en væsentlig ekstra byrde enten via en iterativ måleproces for lokalisering af koldeste overfladetemperatur eller i form af en parallel beregning.
- Dokumentationsbyrden har ikke været nævnt som et problem i nogen af de interessentinterviews, der har været gennemført.
- Krav til minimumoverfladetemperatur bør differentieres mellem facadevinduer og tagvinduer/ovenlys pga. forskelle i det interne kondensmønster mellem lodrette og hældende ruder.
- **Det anbefales, at beregningsmetoden DS EN/ISO 10077-2 fastholdes som dokumentationsmetode for ikke at forøge dokumentationsbyrden, men at overfladetemperaturkravet for facadevinduer sættes 1,0-1,5 °C højere end for tagvinduer/ovenlys med en hældning under 60° med vandret for at tage hensyn til betydningen af den interne konvektion i facadevinduer.**
- Dokumentation af opfyldelse af overfladetemperaturkrav ved måling, skal opfylde krav svarende til værdi gældende for tagvinduer/ovenlys med en hældning under 60° med vandret.
- Niveaueet for et minimumoverfladetemperaturkrav bør vurderes på basis af, hvor stor sikkerhed mod kondensdannelse der ønskes eller, hvor ofte der under givne standardbetingelser, må forventes at optræde kondens.
- **Interessentanalysen viser, at overfladetemperaturkravet har værdi for mange producenter i forbindelse med kundeklager over kondens på nye vinduer, hvor producenten kan referere til, at produktet overholder lovkravet. Det fremhæves også, at lovkravet betyder fair konkurrence på det danske marked, idet også udenlandske producenter og producenter uden for brancheforeningen skal opfylde kravet. Det vurderes også bredt i branchen, at vinduets minimumoverfladetemperatur ikke er en selvstændig konkurrenceparameter, der kan kommunikeres ud til slutbrugeren, hvorfor markedskræfterne ikke på dette område vil regulere udbud og efterspørgsel. Det er i øvrigt vigtigt at bemærke, at brancheforeningen selv var de første til at formulere et krav til overfladetemperaturen, før det kom med i selve Bygningsreglementet, og det må som**

udgangspunkt antages, at et brancheforeningen ikke selv introducerer krav, som ikke vurderes at tilføre branchen en værdi.

- Det vurderes, at vinduers kondensrisikoforhold kan gøres til en konkurrenceparameter ved indførelse af en frivillig A – F mærkningsordning for kondensrisiko sideløbende med Energimærkningsordningen. Parallelle mærkningsordninger findes allerede på en lang række produkter som f.eks. vaskemaskiner (energi, vaskeevne) og dæk (energi, vejgreb, støj), hvorfor forbrugeren er bekendt med sådanne ordninger.
- Det anbefales, at der indføres enslydende krav til minimum overfladetemperatur for vinduer ved udskiftning og ved nybyggeri, hvis overfladetemperaturkravet skal bibeholdes. Dette primært fordi, det vil skabe større konsistens mellem Bygningsreglementets forskellige afsnit. Vinduer til nybyggeri vil i stor udstrækning være A-mærkede, hvilket generelt overflødiggør overfladetemperaturkravet. Ved renovering af vinduer bør der ikke stilles krav til minimum overfladetemperatur, men der bør stilles krav om, at renoveringen ikke må føre til øget kondensrisiko.
- I Tyskland er der krav om en minimumoverfladetemperatur på 12,6 °C ved -5 °C ude og 20 °C inde for alle indvendige overflader. Undtaget er specifikke komponenter som vinduer. Kravet skal sikre mod skimmelvækst. Mest kritiske områder er overgangen mellem lysning og vindueskarm. Baseret på gennemregning af udvalgte eksempler vurderes det ikke at være et typisk problem i Danmark, hvis maksimumkravet til linjetabskoefficient for samling mellem vindue og væg/tag fastsat i Bygningsreglementet overholdes.

9 Litteratur

- [1] Jensen, K.R; Jensen, R.L; Nørgaard, J; Justesten, R.O; Bergsøe, N.C. Investigation of moisture and indoor environment in eight Danish houses. Proceedings of 9th Nordic Symposium on Building Physics NSB 2011, pp. 1127 – 1134.
- [2] Vendelboe, M.V.; Svendsen, S; Nielsen, T.R. CFD modelling of 2-D heat transfer in a window construction including glazing and frame. Proceedings of 8th Nordic Symposium on Building Physics 2008, pp. 135 – 142.
- [3] Rode, C; Peuhkuri, R. Modelling the Hygrothermal Interaction Between Materials and the Indoor Climate. Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark.
- [4] Jensen R.L; Nørgaard, J; Daniels, O; Justesten; R.O. Person- og forbrugsprofiler. Bygningsintegreret energiforsyning. DCE Technical Report No. 69, Institut for Byggeri og Anlæg, Aalborg Universitet, 2011.
- [5] "Helbredsproblemer ved fugt og skimmelsvampe i bygninger – om udredning og diagnostik hos alment praktiserende læger", Sundhedsstyrelsen 2005
- [6] Wargocki, P., "Does condensation on a window contribute to poor indoor climate", DTU May 3., 2011
- [7] Gravesen, S., Nielsen, P.A., Valbjørn, O., "Skimmelsvampe I bygninger – formidling af forskningsprogrammets resultater", Byg og Byg Resultater 020, Statens Byggeforskningsinstitut 2002.
- [8] Euro Window Guidance sheet http://www.femib.eu/uploads/media/CE02_1305_EN_EPW-FEMIB-UEMV_01.pdf
- [9] Korrespondance mellem Prof. Svend Svendsen, BYG-DTU og Energistyrelsen, hvori anbefales at have skærpet opmærksomhed på skjult kondensdannelse i vinduesprodukter, som slutbrugere har konstateret i konkrete produkter på markedet.

9.1 Værktøjer, guider og lign.

www.energivinduer.dk giver en oversigt over vinduer, deres egenskaber og herunder risikoen for kondens afhængig af indeklimamæssige betingelser. Hjemmesiden drives af Teknologisk Institut.