

Aalborg Universitet



Miljøvurdering af vinduer

Krogh, Hanne; Johnsen, Kjeld; Aggerholm, Søren

Publication date:
2003

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Krogh, H., Johnsen, K., & Aggerholm, S. (2003). *Miljøvurdering af vinduer*. SBI forlag. By og Byg Dokumentation Nr. 046

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

By og Byg Dokumentation 046

Miljøvurdering af vinduer

Miljøvurdering af vinduer

Hanne Krogh
Kjeld Johnsen
Søren O. Aggerholm

Titel	Miljøvurdering af vinduer
Serietitel	By og Byg Dokumentation 046
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2003
Forfatter	Hanne Krogh, Kjeld Johnsen, Søren O. Aggerholm
Redaktion	Jørn Dinesen
Sprog	Dansk
Sidetæl	88
Litteratur-henvisninger	Side 82-84
Emneord	Vinduer, ruder, miljøvurdering, miljøvaredeklarering, nettovarmetab, dagslys, energi, renovering
ISBN	87-563-1182-6
ISSN	1600-8022
Pris	Kr. 195,00 inkl. 25 % moms
Tekstbehandling	Lizzie Søby
Udgiver	By og Byg Statens Byggeforskningsinstitut P.O. Box 119, DK-2970 Hørsholm E-post: by-og-byg@by-og-byg.dk www.by-og-byg.dk

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen: *By og Byg Dokumentation 046: Miljøvurdering af vinduer. (2003)*

Indhold

Forord	4
Sammenfatning og konklusion	5
Indledning	9
Miljøvurdering	12
Opgørelse	12
Omregning til miljøeffekter	12
Valg af produkter	13
Afgrænsning af systemet	14
Miljøvaredeklaration	16
Miljømærkning og miljøvaredeklarationer	16
Miljøvaredeklaration for vinduer	17
Forudsætninger ved udarbejdelse af miljøvaredeklarationer	19
Miljødata for trævindue	22
Miljøvaredeklaration	22
Beskrivelse af processer	24
Andre vinduestyper/-størrelser	27
Miljødata for PVC-vindue	29
Miljøvaredeklaration	29
Beskrivelse af processer	31
Andre vinduestyper/-størrelser	34
Miljødata for aluminium/trævindue	36
Miljøvaredeklaration	36
Beskrivelse af processer	38
Andre vinduestyper/-størrelser	40
Miljødata for renoveret trævindue med forsatsramme	43
Miljøvaredeklaration	43
Beskrivelse af processer	45
Andre vinduestyper/-størrelser	47
Ruder	48
Energirude	48
Belægninger	50
Kantkonstruktioner	52
Isoleringsgasser	52
Diskussion af beregningsforudsætninger	55
Forskellige energikilder	55
Levetid	56
Miljødata for produkter, herunder produktionsmetode og genbrug	57
Vinduernes nettovarmetab	61
Energi- og indeklimatektoniske konsekvenser ved valg af rudetype	72
Boliger	72
Kontorer	75
Dagslyskvalitet	79
Konklusioner	81
Litteratur	82
Bilag 1: Glasaffald	85
Bilag 2: Farlige stoffer i imprægneringsmidler, lim, fugemasser og maling	86

Forord

Med det formål at reducere CO₂-udslippet afsatte Staten i perioden 1998 - 2001 midler til støtte for udvikling, udbredelse og anvendelse af produkter, som er egnet til at fremme varmebesparelser, herunder vinduer, ventilationsanlæg, kedler og pumper. Da en ikke uvæsentlig andel af en bygnings varmetab sker gennem vinduerne, har Energistyrelsen iværksat 'Projekt Vindue' med det formål at fremme udviklingen af bedre og mere energieffektive vinduesløsninger.

Projektet 'Miljøvurdering af vinduer' (ENS journal nr. 75661/99-0002) har fået tilskud fra 'Projekt Vindue'. Formålet var at udvikle og afprøve metoder, som kan benyttes, når der skal gives en samlet oversigt over miljøbelastninger fra vinduer, set over hele livsforløbet. Projektet omfatter dels livscyklusvurderinger af materialerne, dels beregning af miljøbelastninger, der skyldes varmetab gennem vinduet samt beregninger af energiforhold for udvalgte bygninger. Miljøvurderingen tydeliggør således konsekvenserne af vinduers energimæssige egenskaber og dermed væsentligheden af energimærkning af ruder og vinduer.

Projektet er udført i samarbejde med en interessentgruppe bestående af følgende producenter og organisationer:

- DAFA A/S
- Fremtidens Vinduer og Døre A/S
- Floatglas Pilkington Danmark A/S
- Primo Danmark
- Raadvad-Centeret
- VELFAC A/S
- VSO Vinduesproducenternes SamarbejdsOrganisation.

Gruppen har bidraget til afgrænsning af projektet, indsamling af data for udvalgte vinduesløsninger og diskussion af rapporten. Projektet har været præsenteret på møder i netværksgruppen under 'Projekt Vindue' og senest på Rude- og vindueskongressen i Herning 2002.

Projektet har bidraget til arbejdet med miljøvurderingen af avancerede vinduesløsninger på internationale arbejdsgruppemøder under 'IEA SHC Task Group 27, Performance of Solar Facade Components, Subtask C Sustainability Project', hvor erfaringer udnyttes i 'Projekt C1 Environmental Impact Assessment'.

Der lægges op til en fase 2 af projektet, bl.a. med det formål at opstille benchmarks for en egentlig klassificering af vinduer for herved at bidrage til øget anvendelse af bedre vinduesløsninger. Projektet tænkes gennemført i nært samarbejde med rude- og vinduesproducenterne og med udgangspunkt i Energistirelsens 'Energispareredegørelse maj 2003' under punktet: 'Udfasning af traditionelle termoruder – frivillig aftale'.

By og Byg, Statens Byggeforskningsinstitut
Afdelingen for Energi og Indeklima
August 2003

Søren Aggerholm
Konstitueret forskningschef

Sammenfatning og konklusion

Der forekommer mange forskellige vinduesløsninger. Derfor er der behov for en oversigtlig information om miljø-, energi- og dagslysforhold for udvalgte vinduesløsninger.

Formålet med dette projekt har været:

- at koordinere metoder til beregning af miljøforhold (livscyklusvurderinger), energiforhold og dagslysforhold til et samlet koncept,
- at beregne eksempler for udvalgte vinduesløsninger, hvor disse metoder anvendes således, at der opnås en oversigt over miljøforhold for vinduerne set over hele deres livsforløb, deres indflydelse på bygningers driftsforhold og på dagslysforholdene i udvalgte rum,
- at angive resultaterne fra miljøvurderingen på en oversigtlig måde, fx i en miljøvaredeklaration.

Miljøvurdering

Til opgørelse og vurdering af vinduernes miljøforhold anvendes principperne for livscyklusvurderinger. Opgørelsen sker ved brug af Edb-værktøjet BEAT 2001 (Petersen 2001) med tilhørende database. Efter opgørelsen omregnes miljøpåvirkningerne til potentielle miljøeffekter, der normaliseres og vægtes efter principper beskrevet for UMIP-metoden (Wenzel, Hauschild & Rasmussen, 1996).

Til beregning af vinduernes nettovarmebehov er benyttet diagrammetoden til energimærkning af ruder samt metoden beskrevet i SBI-Anvisning 184: Bygningers energibehov.

De energi- og indeklimamæssige konsekvenser ved valg af forskellige rudetyper er for to typer bygninger (bolig og kontor) vurderet ved hjælp af programpakken BSim2002. Desuden beskriver rapporten kort resultaterne af en pilotundersøgelse, hvor dagslyskvaliteten for forskellige rudetyper blev vurderet i skalamodeller.

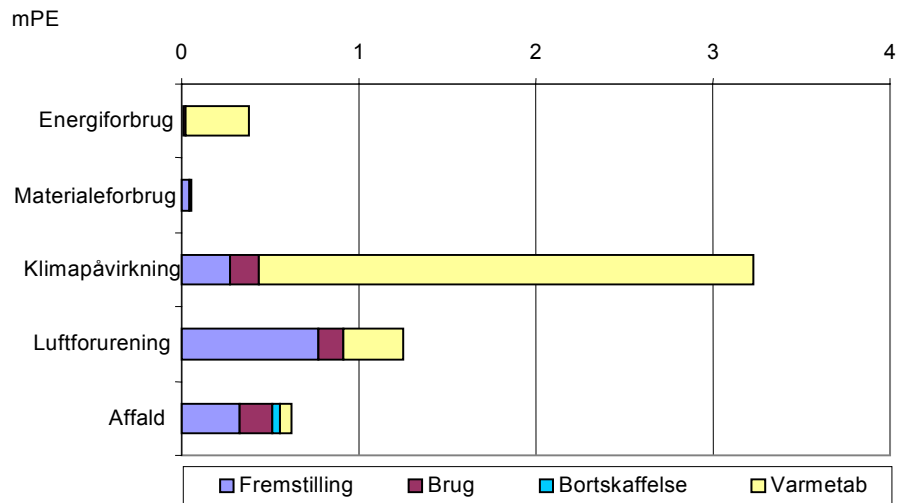
Miljøvaredeklaration

Resultaterne af en miljøvurdering kan gives i en miljøvaredeklaration. By og Byg har udarbejdet forslag til en sådan (Hansen, Fox, Haugaard, Krogh & Skovsende, 2001). På første side gives sammensætningen af vinduet (materialer, som udgør mindre end 2 % af det samlede materialeforbrug er dog udeladt) samt en miljøprofil for vinduet over hele dets livsforløb.

Miljøprofilen anvender fem indikatorer:

- Energiforbrug
- Materialeforbrug
- Klimapåvirkning
- Luftforurening
- Affald.

Miljøprofilen beregnes ud fra materialeforbruget samt varmetabet gennem vinduet.



Eksempel på en miljøprofil for et vindue. I miljøprofilen indgår der også miljøbelastninger, som skyldes varmetab gennem vinduet. (mPE = milli-personækvivalenter).

På side 2 i miljøvaredeklarationen gives en beskrivelse af de processer, der har en væsentlig indflydelse på miljøprofilen. På side 3 gives mere detaljerede oplysninger om miljøindikatorerne samt oplysninger om uønskede stoffer i de produkter, der bruges i vinduet.

Miljødata for forskellige vinduesløsninger

I samarbejde med interessentgruppen er der indsamlet data for et begrænset antal vinduesløsninger af forskellige vinduestyper og -størrelser og med forskellige ramme/karm-materialer. Der er også indsamlet oplysninger om de forskellige rudetyper.

På grundlag af de indsamlede data er der udarbejdet miljøvurderinger for et trævindue, et PVC-vindue, et vindue af træ og aluminium samt et renoveret trævindue med forsatsramme.

Levetid

De årlige miljøbelastninger for et produkt afhænger af produktets levetid. Der er regnet med en levetid på 20 år for ruder og 40 år for hele vinduer, dvs. at ruden udskiftes én gang i løbet af vinduets levetid. Der er tale om valgte, regningsmæssige levetider, som her anvendes for alle typer ruder og vinduer, idet der ikke på nuværende tidspunkt findes et grundlag, som kan anvendes til at differentiere mellem forskellige typer. Det er dog almindeligt kendt, at vinduer kan have yderst forskellige levetider. Problemet vil blive taget op i en forventet fortsættelse af projektet.

Uønskede stoffer

Der er et ønske om at reducere brugen af uønskede stoffer i produkter for at undgå miljø- og sundhedsskader fremover. Det er ikke muligt at beregne størrelsen af disse skader, da der mangler data for eksponeringer og til beregning af effekter. Der er derfor valgt at liste de uønskede stoffer i produkterne, der bruges til vinduerne (Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen, 2000). Der forekommer uønskede stoffer i vakuumimpregneringsmidler, spartelmasser, malinger og fugemasser til ruder.

Der anvendes ruder, hvor det inderste glas er belagt med en tynd belægning, som reducerer varmetabet gennem vinduet. Det har ikke været muligt

at få oplysninger fra alle producenter om sammensætningen af disse belægninger, men det er oplyst, at der ikke indgår bly, cadmium og kviksølv.

Genbrug af materialer

Polyvinylchlorid, glasaffald samt skrot af stål og aluminium genanvendes i vidt omfang. På grund af vinduernes lange levetid er der dog ikke i beregningerne taget hensyn til, at materialerne genanvendes efter udskiftning eller nedrivning, men i diskussionsafsnittet er der gennemført beregninger med varierende genanvendelse af stål og aluminium, se figur 31 og 32. Retningslinier på dette område er under udarbejdelse i et igangværende projekt om miljøvaredeklarering af byggevarer.

Der er ikke i dag konsensus om metoder for godskrivning ved genbrug af materialerne. En sådan godskrivning kan dels indebære, at en del af miljøbelastningerne fra fremstillingen af produkter fratrækkes produktets samlede miljøbelastning og overføres til den forventede genanvendelse af restprodukter, dels at anvendelsen af genanvendte restprodukter ved fremstillingen tilskrives en miljøbelastning. Ofte sker denne fordeling (allokering) af miljøbelastningerne mellem hovedprodukt og restprodukt ud fra økonomisk værdi af henholdsvis produkt og restprodukt. Polyvinylchlorid og glas har efter brug en lav værdi, medens dette ikke er tilfældet for skrot af stål og især af aluminium.

Glasset knuses efter brug og går til produktion af isoleringsmaterialer og flasker, men ud fra oplysninger om produktion af vinduer, spild ved produktion og brug af skår af planglas i Danmark synes der at være en stor mængde, som enten deponeres eller går til genanvendelse i udlandet. Med det nuværende forbrug af skår til fremstilling af isoleringsmaterialer eller glasflasker i Danmark er det ikke noget problem, at der er belægning på nogle glasskår.

Isoleringsgas i ruder

Varmetabet gennem ruden formindskes ved brug af isoleringsgas mellem de to glaslag i ruden. Normalt anvendes der argon, men krypton vil formindskes varmetabet gennem ruden yderligere. En miljøvurdering af ruder med krypton viser, at fremstilling af krypton ud fra atmosfærisk luft bruger så megen energi, at miljøbelastningerne for ruden med krypton er større end for ruden med argon. (Se afsnittet 'Isoleringsgasser' på side 52).

Vinduernes nettovarmetab

Små vinduer har et væsentligt højere nettovarmebehov (varmetab minus varmetilskud) end middelstore og store vinduer. De beregnede nettovarmetab afhænger noget af den anvendte metode. Således giver Bv98-metoden (med de valgte beregningsparametre) et lidt mindre nettovarmetab end diagrammetoden, der anvendes til energimærkning af ruder og vinduer.

Nettovarmetabet for dannebrogsvinduerne er mindre gunstig end for de tilsvarende tophængte, udadgående vinduer. Ved at anvende energiglas i en forsatsramme kan der opnås et nettovarmetab for ældre, renoverede dannebrogsvinduer, der er lavere end for nye dannebrogsvinduer med (små) 2-lagsenergiruder.

De beregnede nettovarmetab bliver noget større for vinduerne, når de anvendes i kontorer, skoler og institutioner, end når de anvendes i boliger. Dette skyldes, at der regnes med en lavere udnyttelse af solvarmen, fordi der i en større del af fyringssæsonen er overskud af varme i denne type bygninger. I praksis er behovet for solafskærmning i kontorer og institutioner

større end i boliger, og der anvendes ofte en form for solafskærmende ruder. For solafskærmende ruder er det beregnede nettovarmetab væsentligt ringere end for energiruder.

Energi- og indeklimamæssige konsekvenser af rudevalg

Med programpakken BSim2002 er der foretaget simuleringer af en bolig og et kontor for at undersøge, hvordan valg af rudetype influerer på energi- og indeklimaforhold. Simuleringsresultaterne viser, at ved anvendelse af energiruder i boliger reduceres varmebehovet med mindst 33 % i forhold til traditionelle termoruder. For de undersøgte typer af energiruder er det derimod ikke så afgørende, hvilken type der vælges. En høj isoleringsevne (lav U-værdi) og en høj soltransmittans er begge faktorer, som reducerer energibehovet i boliger. En 3-lagsenergirude reducerer varmebehovet mest, men øger behovet for kunstlys en smule, og giver tillige en ringere dagslyskvalitet (se nedenfor). Simuleringerne viser også, at solafskærmende ruder reducerer solindfaldet så meget, at energiforbruget til opvarmning og belysning er væsentligt højere end for energiruder. Med mindre specielle forhold taler for det, bør solafskærmende ruder derfor ikke anvendes i boliger.

I kontorrum har den anvendte rudetype større indflydelse på varmebehov, belysningsbehov og kølebehov. Såfremt der anvendes en simpel (variabel) solafskærmning, er der begrænset forskel i energibehov til opvarmning og belysning for de simulerede 2-lagsenergiruder med den typiske rude som den mest energiøkonomiske. Solafskærmende ruder giver i beregningseksemplet markant større varmebehov samt et større belysningsbehov end energiruderne. De solafskærmende ruder giver for kontorrummet et mere acceptabelt termisk indeklima, men dette kan også opnås med almindelige energiruder, blot de forsynes med en simpel solafskærmning. Herved bringes det samlede energibehov samtidig på et lavere niveau. I tilfældet med afskærmning og mekanisk køling giver de solafskærmende ruder sammen med ruden med jernfattigt glas (med høj soltransmittans) de største samlede energiforbrug.

Pilotprojektet vedrørende dagslyskvalitet viser, at glas- og belægningstypen har en signifikant betydning for opfattelsen af lysheden og farverne i et rum, en moderat effekt på opfattelsen af detaljer, en lille effekt på opfattelsen af blænding fra vinduet, men ingen effekt på opfattelsen af skygger på og omkring objekter i rummet. Resultaterne antyder således, at kraftigt solafskærmende ruder med en lystransmittans under 60-70 % bør anvendes med omtanke.

Indledning

I forbindelse med Danmarks tiltrædelse af Kyoto-aftalen er der et behov for at reducere energiforbruget, herunder varmetabet gennem vinduer. I Danmark er der ca. 3,5 mio. bygninger med ca. 60 mio. m² vinduesareal. Varmetabet gennem disse vinduer er ca. 60 PJ eller ca. 7 % af Danmarks bruttoenergiforbrug. Energistyrelsen iværksatte derfor 'Projekt Vindue', som har til formål at fremme udvikling af energieffektive vinduesløsninger.

Projektet har løbet over en treårig periode og har bl.a. medført et større kendskab til energiruder. Der er sket en videreudvikling af vinduesløsningerne, som medfører:

- at eksisterende termoruder udskiftes med energiruder,
- at der udskiftes til energiruder i forsatsrammen ved renovering af vinduer med enkeltglas, og at inderste glas i koblede rammer udskiftes med energiglas,
- at der fokuseres på energivinduer med tynd ramme/karm, isoleret ramme/karm mv.,
- at der fokuseres på multifunktionsvinduer, fx ventilationsvinduer, solvarmeakkumulerende vinduer mv.

Da der forekommer mange forskellige vinduesløsninger, er der behov for en oversigtlig information om disse. Energimærkning af ruder og vinduer angiver egenskaber som transmissionstab (U-værdi), solenergitransmittans (g-værdi) og lystransmittans (τ -værdi) og beregner det totale varmetab gennem ruden/vinduet ud fra nogle standardforudsætninger. Metoden er udviklet for boliger, og beregningen anvender et referencehus med en bestemt orientering af vinduer. For andre typer bygninger anvendes metoden, som er beskrevet i 'Bygningers energibehov', SBI-anvisning 184 (Aggerholm et al., 1995) og 'Småhuse', SBI-anvisning 189 (2. udgave, 1999). Denne metode bruges også i Bygningsreglementet og ved projektering. Metoden anvender pc-programmet Bv98.

Gennem livscyklusvurderinger beregnes miljøforhold for materialerne i vinduet fra vugge til grav, og disse miljøforhold angives i en miljøvaredeklaration. Der er udarbejdet et dansk forslag til miljøvaredeklaration af byggevarer (Hansen et al., 2001) som angiver miljøforholdene for et produkt på en overskuelig måde.

Formål

Formålet med dette projekt har været for udvalgte vinduesløsninger:

- at koordinere metoder for beregning af miljøforhold (livscyklusvurderinger), energiforhold og dagslysforhold til et samlet koncept,
- at etablere de nødvendige data for normalt anvendte og nyudviklede vinduesløsninger,
- at beregne eksempler, hvor disse metoder og data anvendes, således at der fås en oversigt over miljøforhold for vinduesløsningerne, deres indflydelse på bygningers driftsforhold afhængigt af bygningskategori (bolig, kontor etc.) og på dagslysforholdene i udvalgte rum,
- at udarbejde et forslag til, hvorledes miljøforhold for vinduesløsningerne kan angives på en oversigtlig måde, enten i form af miljøvaredeklaration eller miljødatablade for vinduer.

Projektet skal kortlægge og vurdere miljøforhold for et vindue under hele dets livsforløb og videregive de vigtigste resultater på en overskuelig måde, fx i en miljøvaredeklaration for vinduet. Formålet har således ikke været at lave en sammenlignende undersøgelse af vinduesløsninger, at miljøklassificere eller at give en anden form for rangorden af de enkelte vinduesløsninger.

I rapporten er der angivet miljøbelastninger set over hele livsforløbet, dvs. fremstilling, vedligeholdelse og bortskaffelse af hyppigt anvendte vinduer med forskellige ramme/karmmaterialer. Resultaterne er givet i en miljøvaredeklaration, som baserer sig på det danske forslag til miljøvaredeklaration af byggevarer. Interessentgruppen har leveret data for sammensætningen af vinduerne, og der er indsamlet miljødata for væsentlige materialer. Beregningerne er udført med miljøvurderingsværktøjet BEAT 2001 (Petersen, 2001) og tilhørende database. I vurderingen medtages også miljøbelastninger fra varmetabet gennem vinduer, som er beregnet efter diagrammetoden for energimærkning (www.energimarkning.dk). Der er beregnet miljøbelastninger for et trævindue, et plastvindue (PVC-vindue), et vindue af træ og aluminium samt et renoveret vindue med forsatsramme.

I bygninger sker der et varmetab gennem vægge og vinduer, men der tilføres også energi gennem vinduerne og ved aktiviteter i bygningerne. Beregningsprogrammet BSim2002 er anvendt til beregning af energiforholdene i udvalgte bygninger og dagslysforholdene i udvalgte rum.

Læsevejledning

I kapitlet 'Miljøvurdering' omtales afgrænsning af den anvendte model for miljøvurdering. Næste kapitel 'Miljøvaredeklaration' giver en oversigt over indholdet af eksisterende miljødeklarationer af vinduer og en mere detaljeret beskrivelse af indholdet i miljøvaredeklarationen for vinduer, der er anvendt i dette projekt. I de næste fem kapitler angives miljødata for henholdsvis et trævindue, et PVC-vindue, et aluminium/trævindue og et renoveret trævindue med forsatsramme, samt for forskellige typer ruder.

I det efterfølgende kapitel 'Diskussion af beregningsforudsætninger' diskuteres forhold, som har væsentlig betydning for miljøbelastningerne, såsom energikilde til opvarmning af bygningen, materialernes levetid samt anvendte regler i forbindelse med deres genanvendelse. I kapitlet 'Vinduernes nettovarmetab' angives de forskellige vinduestypers nettovarmetab beregnet ved hjælp af to forskellige metoder, metoden, som bruges ved energimærkning, og metoden, som benyttes i forbindelse med pc-programmet Bv98. Forskellen mellem de to anvendte metoder er beskrevet i kapitlet. I sidste kapitel 'Energi- og indeklimamæssige konsekvenser ved valg af rudetype' angives hovedresultaterne af vurderinger af dagslys- og energiforhold i udvalgte bygningstyper.

Forslag til en videreførelse af arbejdet i en projektfase 2

I henhold til Energistyrelsens 'Energispareredegørelse maj 2003' vil regeringen iværksætte et antal nye initiativer til styrkelse af energispareindsatsen. Et af disse initiativer er: 'Udfasning af traditionelle termoruder – frivillig aftale':

"I forbindelse med udskiftning mv. af termoruder i eksisterende bygninger anvendes der fortsat i betydelig udstrækning traditionelle termoruder til trods for, at de energieffektive energiruder er privatøkonomisk meget attraktive og medfører en væsentlig komfortforbedring. Ved anvendelse af energiruder kan der opnås betydelige energibesparelser. Samtidig kan der opnås væsentlige besparelser gennem anvendelse

af bedre vinduesløsninger, herunder forsatsløsninger. På denne baggrund satser regeringen på at indgå en aftale med Glasbranchen, der skal sikre, at salget af de traditionelle, ineffektive termoruder til normale formål reelt ophører. Samtidig skal aftalen fremme salget af energieffektive vinduesløsninger.”

I forbindelse med en sådan aftale er der behov for at kunne vurdere, hvilke udførelser af energiruder og hvilke vinduesløsninger, der er mest energieffektive, idet hele vinduets livscyklus bør inddrages, ligesom det også ville være ønskeligt at inddrage parametre vedrørende miljø, indeklima, støjdæmpning, vedligeholdelse mv.

I den sammenhæng kan resultaterne af projektet 'Miljøvurdering af vinduer' (fase 1) anvendes, idet der er udarbejdet en metode til miljøvurdering af vinduer og opstillet en model til miljøvaredeklarering, ligesom et mindre antal udvalgte vinduer er miljøvurderet og deklareret. Desuden er varmebalancen for forskellige vinduesløsninger og vinduernes indflydelse på dagslysforholdene i forskellige rum behandlet.

Med henblik på at kunne opstille benchmarks (referenceværdier) for en egentlig klassificering af vinduer fx i tre klasser er der brug for at gennemføre energi-/miljøvurderinger af et større antal vinduesløsninger for at opnå det nødvendige erfaringsgrundlag for fastlæggelse af miljøklasserne. Dette må ske i samarbejde med vindues- og rudefabrikanterne, som skal stille det nødvendige datagrundlag for deres produkter til rådighed.

Der foreslås derfor en fase 2 af projektet om miljødeklarering af vinduer, som bl.a. skal omfatte:

- Indsamling af data for vinduesløsninger i samarbejde med fabrikanten/brancheforeninger.
- Energi-/miljøvurderinger af vinduer.
- Opstilling af model for klassificering af vinduer.
- Opstilling af benchmarks (referenceværdier) for klassificeringsmodellen.

I forhold til fase 1 skal vinduernes levetid (om muligt) behandles mere detaljeret, herunder sammenhængen mellem vedligeholdelse og levetid. Evt. skal vinduernes lyddæmpning inddrages.

Der skal sikres kontakt til relateret EU-arbejde, arbejdet vedrørende miljøvaredeklarering af byggevarer, eksisterende energi- og miljømærkningsordninger mv.

Miljøvurdering

En miljøvurdering omfatter en opgørelse af alle miljøforhold over hele livsforløbet for vinduet og en omregning af disse til potentielle miljøeffekter. Opgørelsen sker ved brug af Edb-værktøjet BEAT 2001 (Petersen, 2001) med tilhørende database. Efter opgørelsen omregnes miljøpåvirkningerne til potentielle miljøeffekter, der normaliseres og vægtes efter principper beskrevet for UMIP-modellen (Wenzel et al., 1996).

Opgørelse

Miljøforhold over hele livsforløbet opgøres for følgende faser:

- Fremstilling af råmaterialer til vinduet.
- Fremstilling af vinduet (herunder imprægnering og overfladebehandling).
- Brug af vinduet (herunder vedligehold/udskiftning).
- Bortskaffelse af affald.

Der opgøres også miljøbelastninger under brug af vinduet, som skyldes varmetab gennem vinduet.

Der indsamles miljødata for hver enkelt proces i livsforløbet omfattende:

- Forbrug af energiråstoffer
- Forbrug af råmaterialer
- Emissioner til luft og vand
- Mængde af affald
- Mængde af restprodukter ¹⁾
- Indhold af farlige og uønskede stoffer.

Omregning til miljøeffekter

Efter opgørelse omregnes dataene til de maksimale miljøeffekter, miljøeffektpotentialer. De virkelige miljøeffekter vil afhænge af forholdene, under hvilke de enkelte stoffer udsendes. Miljøeffektpotentialer beregnes ved hjælp af effektfaktorer:

$$MP = Q \cdot EF$$

MP: Miljøeffektpotentiale

Q: Emission pr. år

EF: Effektfaktor.

Ved normalisering sættes de udregnede miljøeffekter i forhold til den totale miljøeffekt beregnet pr. person pr. år i et referenceår, sidstnævnte også kaldt normaliseringsreference. Der udregnes således først miljøeffekter pr. leveår af produktet, dvs. der divideres med den forventede levetid for produktet, og dernæst divideres miljøeffekterne med den tilhørende normaliseringsreference. Herved fås de normaliserede miljøeffektpotentialer.

¹⁾ Restprodukter er biprodukter, der har ingen eller en beskeden økonomisk værdi, og som opstår i én proces og udnyttes i en anden proces.

Tabel 1. Oversigt over normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer for udvalgte miljøeffekter (ressourcer). Normaliseringsreferencerne har 1990 som referenceår (Wenzel et al., 1996).

Miljøindikatorer	Ressourcer	Normaliseringsreference kg/person/år	Vægningsfaktor år
Energiforbrug	Olie	590	0,023
	Kul	570	0,0058
	Naturgas	310	0,016
Materialeforbrug/ metaller	Aluminium	3,4	0,0051
	Jern	100	0,0085
	Zink	1,4	0,050

Tabel 2. Oversigt over normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer for udvalgte miljøeffekter (ydre miljø) (Wenzel et al., 1996).

Miljøindikatorer	Miljøeffekt	Normaliseringsreference	Vægningsfaktor
<i>Global</i>			
Klimapåvirkning	Drivhuseffekt	8.700 kg CO ₂ -ækv./person/år	1,2
<i>Regional og lokal</i>			
Luftforurening	Fotokemisk ozondannelse	20 kg C ₂ H ₄ -ækv./person/år	1,2
	Forsuring	124 kg SO ₂ -ækv./person/år	1,3
	Næringssaltbelastning	298 kg NO ₃ -ækv./person/år	1,2
Affald	Volumenaffald	1.350 kg/person/år	1,1
	Slagge og aske	20,7 kg/person/år	1,1
	Farligt affald	350 kg/person/år	1,1
	Radioaktivt affald	0,035 kg/person/år	1,1

De normaliserede miljøeffekter multipliceres med en vægtningsfaktor, hvorved de får enheden personækvivalent (PE). Vægtningsfaktorerne beregnes ud fra henholdsvis forsyningshorisonten for ressourceforbruget og politisk fastsatte reduktionsmål for miljøeffektpotentialer vedr. det ydre miljø.

I dette projekt anvendes der et begrænset antal indikatorer som angivet i 'Miljøvaredeklarering af byggevarer' (Hansen et al., 2001) og i 'Miljødeklarering og -klassificering af bygninger' (Dinesen et al., 2001):

- Energiforbrug (energiressourcer)
- Materialeforbrug (her metaller)
- Klimapåvirkning (her drivhuseffekt)
- Luftforurening (her forsuring og dannelse af fotokemiske oxidanter)
- Affald (her affald, der deponeres).

De kemiske stoffer i imprægneringsmidler, fugemasser og malinger kan give sundhedsskader og miljøeffekter, men der er ikke opnået enighed om, hvorledes udslip af disse kemiske stoffer kan omregnes til toksiske effekter. Der angives derfor mængde af farlige og uønskede stoffer, der forekommer i produkterne.

Valg af produkter

Der er valgt at indsamle miljødata for et begrænset antal vinduesløsninger, herunder miljødata for de hyppigst anvendte ramme/karmmaterialer (træ, PVC og aluminium) og for vinduestyperne etrammede vinduer og dannebrogsvinduer med en gennemgående sprøse.

Tabel 3. Oversigt over valgte vinduesløsninger.

Vindustyper/ ramme/karmmateriale	Etrammet vindue 1,188 x 1,188	Etrammet vindue 1,230 x 1,480	Dannebrogsvindue 1,230 x 1,480
Træ, PVC, aluminium	X	X	X
Renoveret vindue med forsats			X

Etrammede vinduer udgør halvdelen af de producerede vinduer, og dannebrogsvinduer er meget brugt ved renoveringer.

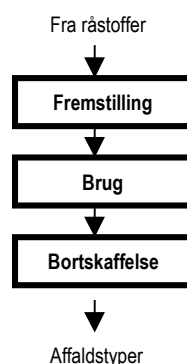
Tabel 4. Produktion i Danmark (ekskl. eksport) for 1999 (oplysning fra VSO).

Vindustyper	Nåletræ stk.	Tropisk træ stk.	Træ/Al stk.	Plast stk.	Aluminium stk.	Alle stk.
Etrammede vinduer	166.325	17.613	97.906	97.343	3.713	382.900
Flerrammede vinduer	166.883	16.226	107.473	27.000	2.350	319.932
Faste karme incl. sidepartier	83.828	8.110	15.824	27.205	2.080	134.967
I alt	417.036	41.949	221.203	151.548	8.143	837.799

Der indsamles også miljøoplysninger om de forskellige rudetyper, herunder energiruder og fremtidige rudetyper.

Afgrænsning af systemet

Miljøindikatorerne angives for de tre faser, fremstilling, brug og bortskaffelse. Brug omfatter varmetab gennem vinduet.



Figur 1. Der angives miljøindikatorer for tre faser for materialernes livsforløb. Fremstilling omfatter processerne fra vugge til fabriksport, brug omfatter processerne ved vedligehold, udskiftning og nedrivning samt varmetab gennem vinduet. Under bortskaffelse sker der en sortering i affaldstyper, og mængden af affaldstyper angives, men processerne for bortskaffelse medtages ikke.

Fremstilling

Under denne fase medtages processerne:

- Udvinning af råmaterialer.
- Fremstilling af materialer til vinduet.
- Fremstilling af ruden.
- Fremstilling af rammekarm.
- Fremstilling af vinduet, herunder vakuumimprægnering og overfladebehandling.

Fremstillingen dækker således livsforløbet fra vugge til fabriksport.

Der indsamles oplysninger om mængder af materialer, der indgår i vinduet samt oplysning om spild ved fremstilling af rammer og ruder. Ved fremstilling af rammerne er der ikke medtaget overfladebehandling af beslag, da der kun bruges en meget lille mængde materiale, som formodes at have en me-

get lille miljøeffekt. I beregningerne indgår der ikke miljødata for kalfaltringsfugematerialer, da det skønnes, at mængderne af disse er små, og at de kun påvirker de valgte miljøindikatorer i ringe grad. I miljødata indgår der også oplysninger om transport af materialerne.

Brug

Brug omfatter vedligehold og udskiftning af vinduet samt udtagning af vinduet ved nedrivning af bygningen. Desuden beregnes varmetab gennem vinduet efter diagrammetoden. Det forudsættes, at boligen opvarmes med naturgas, hvorudfra miljøeffekterne beregnes.

Bortskaffelse

Under bortskaffelse sorteres affaldet i affaldstyper, men selve bortskaffelsesprocesserne medtages ikke, idet der mangler data. Der opgøres således mængde af affaldstyper, der går til genanvendelse, forbrænding og deponering.

Miljøvaredeklaration

Formidling af resultaterne fra en miljøvurdering til den almindelige forbruger kan ske ved en miljømærkning af produktet, og til den professionelle bruger ved en miljøvaredeklaration. For vinduer er der etableret en nordisk miljømærkning af vinduer, og der eksisterer i øjeblikket miljøvaredeklarationer for vinduer i Sverige og Holland. I Danmark er en ordning til miljødeklarering af byggevarer under udarbejdelse.

Miljømærkning og miljøvaredeklarationer

I den nordiske miljømærkning (www.Svanen.nu) er der opstillet kriterier med krav til de energimæssige egenskaber af vinduet, forbud mod anvendelse af visse kemiske stoffer samt krav til bortskaffelse af materialerne efter brug. Fastsættelse af disse kriterier er sket ud fra en grov miljøvurdering af udvalgte vinduesløsninger.

Der eksisterer i dag to typer miljøvaredeklarationer, en tredjeparts kontrolleret (EPD environmental product declaration type III jf. ISO/TR 14025, 2000b) og en uden tredjeparts kontrol (type II, jf. ISO 14021, 1999). I Sverige er der ingen licenser for vinduer for miljøvaredeklarationer af type III, men der eksisterer to typer miljøvaredeklarationer af type II (Nordisk træindustri og Byggvarudeklarationer (www.byggstjanst.se)). I disse angives resultaterne fra opgørelsen af miljøforhold fra vugge til fabriksport, og hvorledes bortskaffelsen af materialerne kan ske. I 'Byggvarudeklarationer' angives desuden indhold af sundhedsskadelige og miljøfarlige stoffer.

I Holland er der etableret en ordning for miljøvaredeklarationer af byggevarer af type III (MRPI, 1998). Resultaterne er omregnet til miljøeffekter. Deklarationerne omfatter livsforløbet fra vugge til fabriksport, og der angives hvorledes materialerne bortskaffes. I dag findes der en miljøvaredeklaration for PVC-rammer og aluminiumsrammer.

Miljøvaredeklaration af byggevarer af type III er i Danmark under udarbejdelse. Deklarationen dækker livsforløbet fra vugge til grav. For bortskaffelsesfasen medtages mængde af forskellige affaldstyper, men ikke bortskaffelsesprocesserne. Der angives indhold af sundhedsskadelige og miljøfarlige stoffer. I dette projekt medtages desuden i miljøprofilen også miljøeffekter, der skyldes varmetab gennem vinduet.

Tabel 5. Oversigt over parametre i miljøvaredeklarationer for byggevarer.

Parametre	Nordisk miljømærkning	I Danmark	I Sverige	I Holland
Sammensætning	Forbud mod visse materialer	✓	✓	✓
Listning af stoffer	Forbud mod visse stoffer	✓	✓	
Livsforløb	Krav om bortskaffelse	Hele livsforløbet	Livsforløbet fra vugge til port, kvalitative oplysninger om bortskaffelse	Livsforløbet fra vugge til port, kvalitative oplysninger om bortskaffelse
Miljødata				
Fra opgørelse			✓	
Omregnet til miljøeffekter	Krav til drivhuseffekt for glas	✓		✓
Energimæssige egenskaber for vinduet	U, τ , g	U, τ , g	U, τ	

Miljøvaredeklaration for vinduer

De følgende kapitler viser miljøvaredeklarationer for:

- Et trævindue.
- Et PVC-vindue.
- Et vindue med ramme af træ og aluminium.
- Et renoveret trævindue med forsatsvindue.

Resultaterne er baseret på miljøvurderinger af de udvalgte vinduesløsninger. Udformningen af miljøvaredeklarationen bygger på forslaget i 'Miljøvaredeklaration af byggevarer' (Hansen et al., 2001).

Deklarationen består af tre sider:

- 1. side viser en tabel over sammensætning og en miljøprofil.
- 2. side beskriver processer med væsentlig indflydelse på miljøprofilen.
- 3. side giver tabeller over vigtige miljødata fra opgørelsen og over uønskede stoffer.

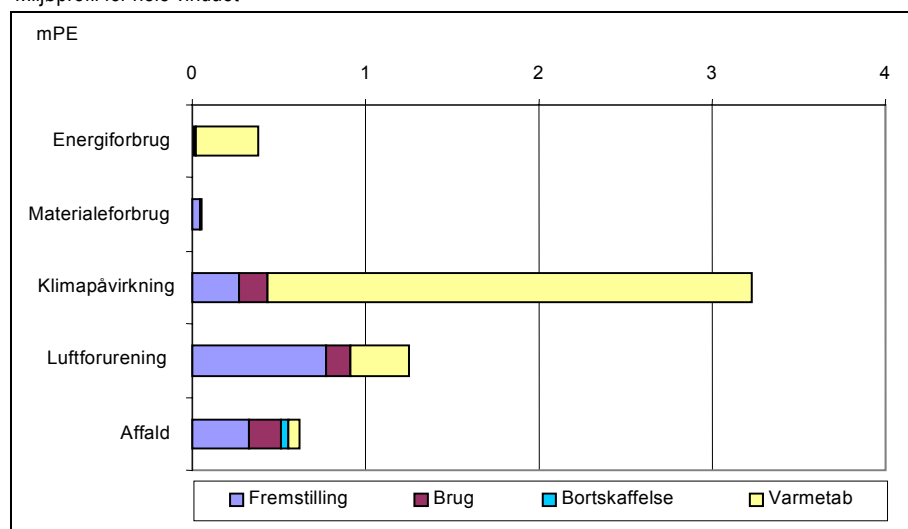
Se opstillingen på næste side.

1. side

Tabel. Sammensætning.

Materiale	Mængde i kg
-----------	-------------

Miljøprofil for hele vinduet



2. side:

Beskrivelse af de vigtigste processer.

Materialefremstilling

Brug

Bortskaffelse

Varmetab

3. side:

Tabel. Indikatorer og miljøpåvirkninger pr. leveår af vinduet.

Indikatorer	Enhed pr. år	Fremstilling	Brug	Bortskaffelse	Varmetab
<i>Ressourcer</i>					
Energiforbrug					
Materialeforbrug					
<i>Ydre miljøeffekter</i>					
Klimapåvirkning					
Luftforurening					
<i>Affald</i>					
<i>Andet</i>					
Restprodukter					

Tabel. Uønskede stoffer i produkter til vinduet.

Uønskede stoffer	Navn	CAS nr.	%	g pr. vindue	Klassificering	R-sætning	Mal-kode
------------------	------	---------	---	--------------	----------------	-----------	----------

Forudsætninger ved udarbejdelse af miljøvaredeklarationer

Resultaterne af en miljøvurdering afhænger af de forudsætninger, miljøvaredeklarationerne udarbejdes under, fx:

- Hvilke data, der indsamles.
- Den anvendte levetid af materialerne.
- Behandling af data i forbindelse med genanvendelse af materialerne.

Data

Materialesammensætningen af de enkelte vinduesløsninger samt miljødata for de vigtigste materialer er indsamlet. For små materialemængder (<2 %) er miljødataene i nogle tilfælde skønnet, da disse kun i ringe grad vil påvirke resultaterne. Det har ikke været muligt at indsamle produktspecifikke data for materialerne. Derfor anvendes generelle data. For vigtige data beskrives datakvaliteten ved repræsentativitet af dataene samt kilde og årstal for oplysningerne.

Der opstår affald ved opførelse, vedligehold og udskiftning af vinduer, men noget af affaldet fremkommer først efter lang tid, fx 20 eller 40 år. Der regnes derfor kun med, at materialerne genanvendes, hvis der eksisterer en ordning for indsamling af affald til genanvendelse, og at denne ordning udnyttes i stor udstrækning. I tabel 6 er der angivet, hvorledes forskelligt affald bortskaffes.

Tabel 6. Oversigt over bortskaffelse af de forskellige affaldstyper. Træ brændes, PVC går enten tilbage til processen eller sælges til genanvendelse, aluminium indsamles og omsmeltes, glas indsamles, knuses og bruges til fremstilling af andre produkter, spild af imprægneringsmiddel og maling går til deponering.

Materiale	Affald ved opførelse	Affald ved vedligehold, udskiftning og nedrivning
Træ	Brændes	Brændes
PVC	Genanvendes	Genanvendes
Aluminium	Genanvendes	Genanvendes
Glas	Genanvendes	Genanvendes
Imprægneringsmiddel og maling	Deponeres	Brændes sammen med rammen
Kantkonstruktion		Deponeres

I alle beregninger er der medtaget miljødata for transport af materialerne i livsforløbet fra vugge til fabriksport. Der er således ikke regnet med transport af materialer til genanvendelse, forbrænding eller depot.

Tabel 7. Transport af materialer, herunder transportmiddel og skønnet transportafstand.

Materialer	Transportmiddel	Transportafstand	Bemærkninger
Træ	Båd	800 km	Fra Sverige eller Norge
PVC	Lastbil	800 km	Fra Tyskland
Glas	Lastbil	800 km	Fra Sverige eller Tyskland
Aluminium	Lastbil	800 km	Fra Tyskland
Tætningsliste, fugematerialer	Lastbil	800 km	Fra Sverige eller Tyskland
Maling, imprægneringsmiddel	Lastbil	100 km	I Danmark
Ramme	Lastbil	100 km	I Danmark
Rude	Lastbil	100 km	I Danmark

Ved udskiftning af en rude udskiftes også glasbånd og tætningslister. Det meste af ruden går til genanvendelse, resten går sammen med kantkonstruktion til deponering. Glasskår bruges til fremstilling af beholderglass og isoleringsprodukter. Tætningslister går til forbrænding.

Ved selektiv nedrivning udtages hele vinduer. Erfaringer viser, at ca. 20 % af disse vinduer genbruges direkte; for den øvrige del anbefales det at udtage ruderne. Heraf går glasset til oparbejdning, og kantkonstruktionen går til deponering. Lister af aluminium fjernes fra trærammen, træet går til forbrænding og aluminium til genanvendelse. Rammer af PVC går tilbage til producenter, der videresender PVC-affald til produktion af nye PVC-produkter. Aluminium går til oparbejdning af nye produkter.

Levetid

Udskiftning af vinduer/ruder sker oftest på grund af svigtende holdbarhed af materialerne, fx af ramme/karmmaterialet eller ved svigt af forseglingen mellem de to lag glas.

Holdbarheden af vinduet afhænger således af:

- Materialernes egenskaber.
- Konstruktiv forebyggelse.
- Forhold, som vinduet udsættes for, såvel udvendigt som indvendigt.
- Forhold ved brug, fx slitage og vedligehold.

Vinduets levetid kan forlænges ved systematisk vedligehold.

Tabel 8. Udskiftning og vedligehold af trævinduer.

Førstegangsbehandling	Imprægnering, grund- og dækmaling én gang
Vedligehold	Maling hvert 5. år

Levetiden for termoruder afhænger af forseglingsmaterialerne. Termoruder bliver også udskiftet med energiruder, som har et lavere varmetab.

I dette projekt er der valgt for alle vinduer og ruder at benytte en levetid på:

- 40 år for vinduet
- 20 år for ruden.

Levetiden for vinduet er valgt således, at den ligger indenfor det interval for levetider, der er anført i litteraturen. Levetiden for ruder er ligeledes fastlagt ud fra erfaringer, men også ud fra, at der sandsynligvis om 20 år eksisterer ruder med betydeligt bedre egenskaber, fx ruder med varm kant. I afsnittet 'levetid' under kapitlet 'Diskussion af beregningsforudsætninger' er angivet levetider for vinduer og ruder hentet fra litteraturen. I kapitlet er angivet resultaterne fra beregninger med forskellige levetider. Resultaterne synliggør, hvor meget levetiden influerer på de samlede belastninger af et vindue.

Varmetab

Der er beregnet varmetab for vinduer forsynet med energirude. I en energirude har det inderste glas på udvendig side en belægning. Ruden har en kantkonstruktion af aluminium. Ud fra varmetabet beregnes bruttoenergiforbrug, idet der forudsættes, at der er anvendt naturgas til opvarmning af bygningen:

$$\text{Bruttoenergiforbrug pr. år} = \text{Areal} \cdot \text{Varmetab} / \text{energieffektivitet}.$$

- Arealet af vinduet
- Effektiviteten af energianlæg, $\eta = 0,9$.

Allokering

Materialerne kan efter nedrivning af bygningen sorteres og bruges til nye produkter. I en miljøvurdering kan der tages højde for dette, idet der ved genvinding af materialer kan fratrækkes en andel af miljøpåvirkningerne fra førstegangsbrug af materialet og tildele (allokere) denne del til næste produkt.

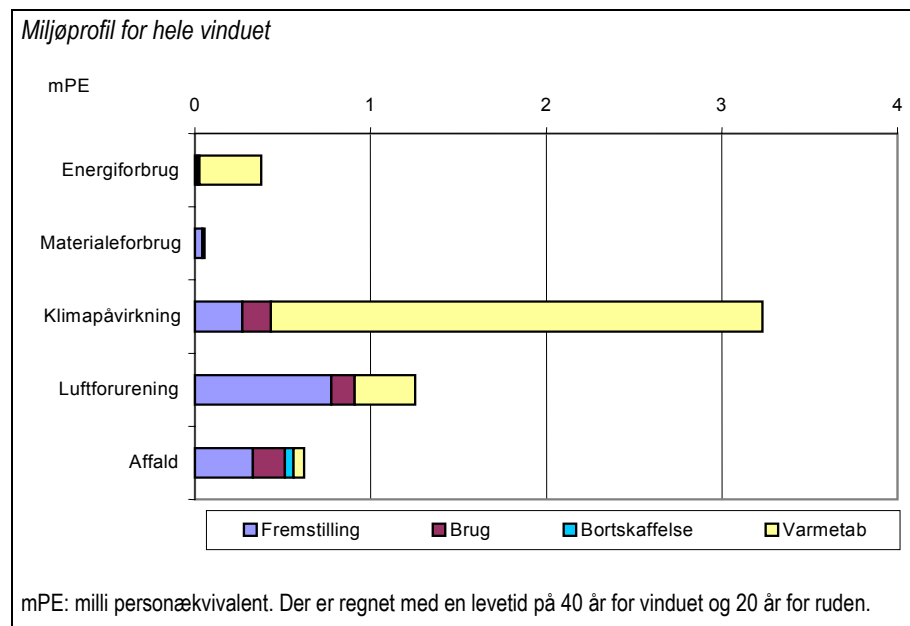
De lange levetider for bygninger medfører, at produkterne dækker en meget lang tidsperiode i løbet af hvilken, der kan være sket ændringer i behov og teknologisk udvikling, således at godskrivningen ikke dækker de faktiske forhold, når produkterne bortskaffes, og nye produkter skal fremstilles ud fra affaldet. Derfor er det valgt ikke at allokere nogen miljøbelastninger til næste produkt. Dette gør, at miljøvaredeklARATIONER bliver let gennemskuelige og adderbare, men medfører, at nogle produkter vil få meget store miljøbelastninger på grund af, at alle miljøbelastninger tildeles førstegangsbrug af materialet. I afsnittet 'Allokering' i kapitlet 'Diskussion af beregningsforudsætninger' er der synliggjort, hvorledes forskellige regler for allokering vil påvirke fx miljøprofilen for en ramme af aluminium.

Miljødata for trævindue

Miljøvaredeklaration

Produktoplysninger	Ordninger
Etrammet vindue: 1,230 x 1,480	EMAS, ISO 14001: Nej
Ramme/karmmateriale: Fyrretræ	Indeklimamærkning af vinduet: 20 døgn
Energirude med argon U/τ/g: 1,1/75/59	

Sammensætning				
Ramme/karm	Træ	30	kg	48 %
	Aluminium	0,2	kg	0,4 %
	Tætningsliste, glasbånd	0,5	kg	0,9 %
	Imprægneringsmiddel, maling	2,4	kg	4 %
Ruder	Glas	28	kg	45 %
	Aluminium	0,2	kg	0,3 %
	Argon	0,03	kg	<0,1 %
	Tørringsmiddel, forseglingsmateriale	1,2	kg	2 %
Beslag m.m.	Stål, rustfrit stål m.m.	0,5	kg	0,8 %
	Plast m.m.	0,02	kg	<0,1 %
I alt		63	kg	
Emballage, træ		1,2	kg	
Uønskede stoffer Imprægneringsmiddel: Naphtha (99%); grundingsmaling: Naphtha (1,1 %), dæk-maling: Naphtha (1,5 %); spartelmasse: solventnaphtha (1-5 %), butanonoxim (<0,5 %), for forseglingsmateriale se under rude.				



Beskrivelse af de vigtigste processer.

Materialefremstilling

Fremstilling omfatter processer ved fremstilling af råmaterialer og produktion af vinduet.

Glasset fremstilles ved float-processen, og der anvendes egne skår ved fremstillingen. Belægning af glas sker ved katodeforstøvningsproces. Stål, aluminium og zink er fremstillet ud fra malm.

Der er anvendt gennemsnitsdata for træ gældende for Norden, og producentspecifikke data for glas. For belægning af glas er der anvendt data for en on-line proces, selv om der anvendes en off-line proces. For øvrige materialer er der anvendt gennemsnitsdata. For små materialemængder som tætningsslister, glasbånd, tørringsmiddel og forseglingsmaterialer er data estimeret.

Vinduet vakuumimprægneres med et middel baseret på organisk opløsningsmiddel (naphtha). Opløsningsmidlet damper af og vil give bidrag til luftforurening samt toksicitet over for mennesker og miljø. Toksiciteten i miljøet er ikke vist i miljøprofilen, da der er stor usikkerhed på effektfaktorer, der benyttes til at beregne denne.

Spild af glas går til genanvendelse, spild af træ går til forbrænding og spild af maling deponeres.

Brug

Brugsfasen omfatter installation af vinduet og efterfølgende vedligehold samt udtagning af vinduet ved renovering og nedrivning. Ved installation af vinduet bruges der materialer til kalfaltringsfugen.

Det anbefales at vedligeholde vinduet i overensstemmelse med anbefalinger, der er givet af VSO-håndværkerbrugervejledning samt leverandørernes vejledning. Trævinduet males hvert femte år med et lag dækmaling.

Ruden udskiftes en gang i løbet af levetiden for vinduet. Der regnes med, at det meste glas kan oparbejdes til glasskår af en sådan renhed, at glasset kan indgå som råmaterialer i produktion af glasuld og flasker, kantkonstruktion deponeres med vedhængende glas.

Bortskaffelse

Kun materialer, som skal deponeres, deklarerer som affald.

Ruden bortskaffes som beskrevet under brug. Rammer af træ brændes.

Varmetab

Vinduet har en U-værdi på 1,5 og en g-værdi på 43 %. Energiberegningerne er foretaget efter energimærkningsordningen (energitablet 47 kWh/m²/år). Miljøbelastningerne fra energitablet er beregnet ud fra, at boligen er opvarmet med naturgas (virkningsgrad 0,9), andre energikilder vil give andre miljøbelastninger.

Indikatorer og miljøpåvirkninger pr. leveår af vinduet

Indikatorer		Enhed pr. år	Fremstilling	Brug	Bortskaffelse	Varmetab
Ressourcer						
Energiforbrug		MPE *)	0,015	0,010		0,35
Materialeforbrug		mPE *)	0,042	0,014		0
Ydre miljøeffekter						
Klimapåvirkning	Drivhuseffekt	kg CO ₂ ækv.	1,8	1,1		19
Luftforurening	Forsuring	g SO ₂ ækv.	16	9,2		31
	Fotokemisk ozon	g C ₂ H ₄ ækv.	10	0,62		0,40
Affald						
	Volumenaffald	Kg	0,27	0,17	0,059	0,064
	Farligt affald	g	0,39	0,22	0	0
Andet						
Restprodukter	Energiforbrug	MJ	29	15	0	370
	Brændværdi ind	MJ	31	0,90	0	0
	Brændværdi ud	MJ	15	0	15	0
	Glas	kg	0,13	0,79	0,67	0
	Træ	kg	0,28	0	0,74	0
	Aluminium	kg			0,0058	0

*) Data er givet normaliseret og vægtet.

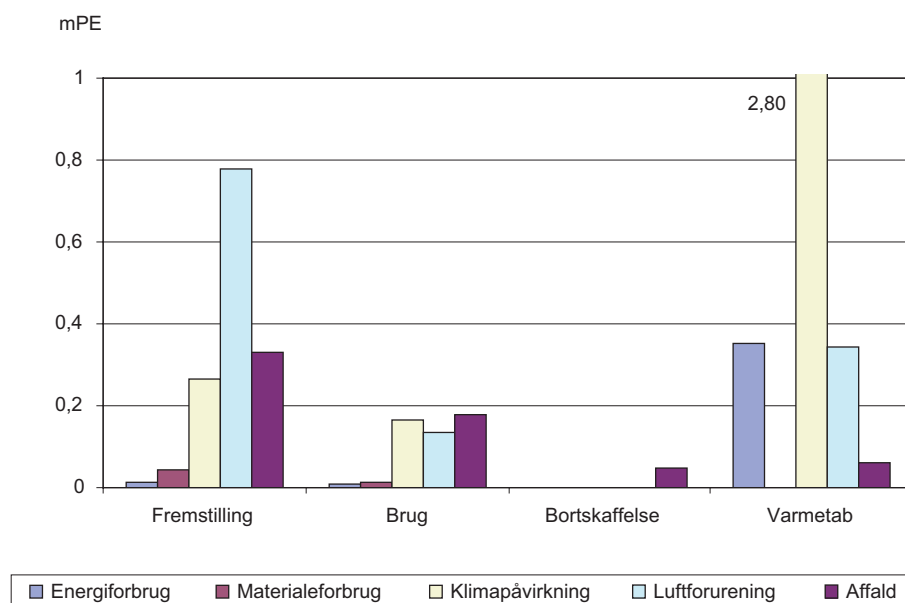
Uønskede stoffer i vinduet

Uønskede stoffer		CAS nr.	%	g pr. vindue	Klassificering	R-sætning	Mal-kode
Imprægneringsmiddel	Naphtha	64742-48-9	80-90	0,9	X _N	10- 65	3-1
	Naphtha	64742-82-1	10-20		X _N	10-51/55-65	
Lim							
Spartelmasse	Solvent-naphtha	64742-88-7	1-5		X _N	10-48/20-65-66	2-1
Urethan	2-butanonoxim	96-29-7	<0,5		X _i	36-43	
Grundmaling GORI 418	Naphtha	64742-48-9	<1,1	0,8	X _N	10-65	0-1
Dækmaling GORI 890	Naphtha	64742-48-9	<1,5	0,8	X _N	65	0-1

I appendiks 2 er givet en listning af farlige stoffer i kemiske produkter, der anvendes til vinduet.

Beskrivelse af processer

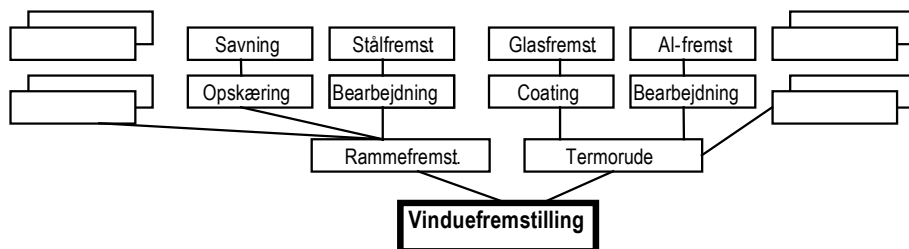
I figur 2 er vist de væsentligste miljøbelastninger for faserne i livsforløbet. Varmetab omfatter miljøbelastninger, der skyldes varmetab gennem vinduet.



Figur 2. Figuren viser, at varmetabet giver en stor klimapåvirkning, og at fremstillingen af vinduet giver en stor luftforurening. Dette skyldes, at vinduet vakuumimprægneres med et middel, der indeholder organiske opløsningsmidler.

Fremstilling

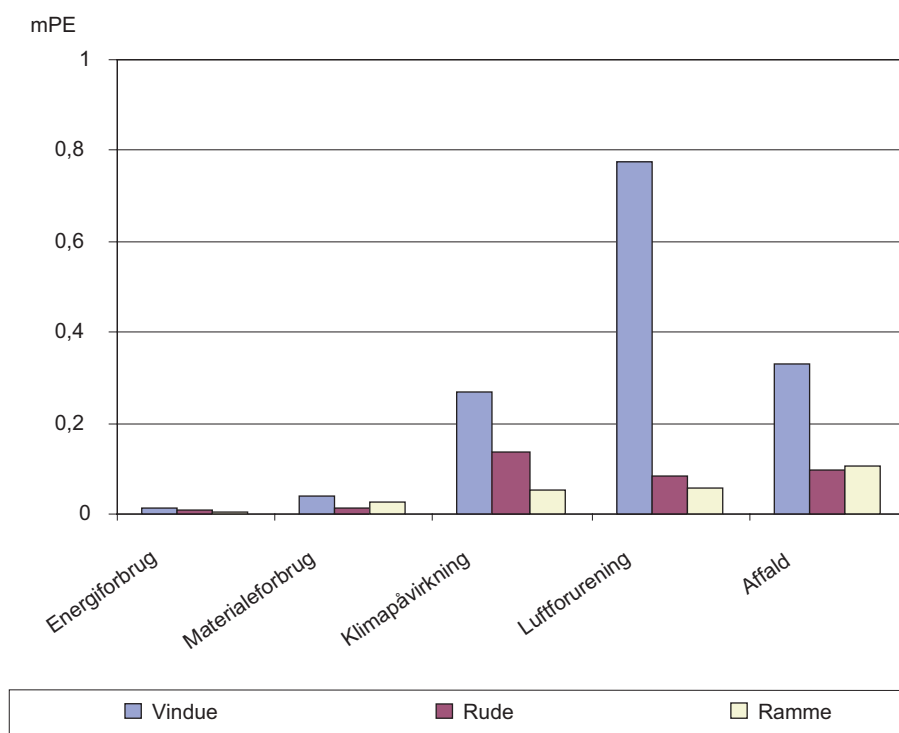
Vinduet består af en ramme af træ med beslag af stål og en rude med en kantkonstruktionen af aluminium, hvor den inderste rude har en lavemissionsbelægning.



Figur 3. Figuren viser de vigtigste procestrin for vinduet fra udvinding af materialerne til det færdige vindue.

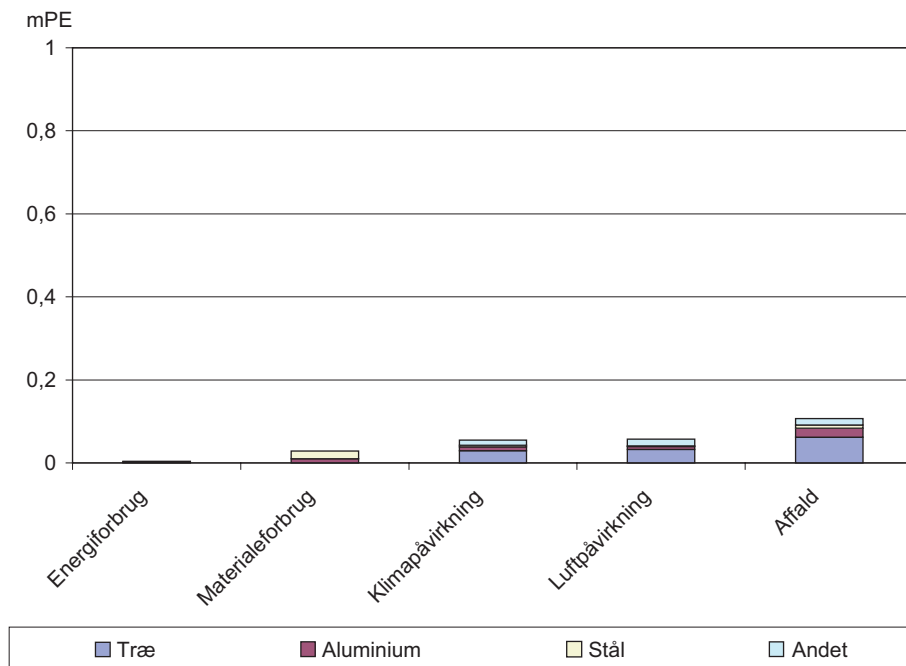
Under fremstilling af vinduet afkortes og bearbejdes planker og brædder af træ, som efterfølgende vakuumimprægneres med et middel, der indeholder flygtige opløsningsmidler, naphtha og konserveringsmidler. Ruden isættes, og vinduet males med en grundmaling og dækmaling på vandbasis. Miljøbelastninger for vindue, rude og ramme er vist i figur 4.

Miljøbelastninger for vinduet omfatter alle miljøbelastninger fra fremstilling af materialerne. I beregningerne er der også medtaget spild ved fremstilling af vinduet.



Figur 4. Miljøindikatorer for fremstilling af vindue, rude og ramme. Vindue inkluderer rude, ramme, spild, transport og maling.

I figur 5 er vist miljøindikatorer fra vigtige materialer, og i tabel 9 er angivet processer, der er medtaget i beregningerne samt dataenes oprindelse.



Figur 5. Miljøindikatorer for rammen fra råstofudvinding frem til delmaterialer til rammen. Bearbejdning af trælægter er således medtaget under vindue. Af figuren ses, at træ bidrager mest til miljøbelastningerne.

Tabel 9. I tabellen angives processer for de vigtigste materialer, der indgår i beregningerne.

Vigtige materialer		Processer medtaget	Dataenes oprindelse
Træ	30 kg	Energiforbrug til skovdrift, opskæring af træ til trælægter og tørring.	Repræsentativt for Norden, indsamlet i 1991-1996. Vurderet i 1998 (BPS-publikation, 2000).
Aluminiumsliste	0,2 kg	Udvinning af malm, elektrolyse, ekstrudering af profiler til vinduer.	Repræsentativ for europæiske aluminiumsprofiler, indsamlet i 1998. (European Aluminium Association, 2000).
Beslag af galvaniseret stål	0,5 kg	Udvinning af malm, fremstilling af råjern i højovn. Galvanisering af tyndplader.	Data for tyske producenter, publiceret i 1994 (Philipp, 1994). Aggregerede data i 1994 for galvaniseret plade fra Nordens største producent (Miljön, valsnings och beläggning, 1994).
Rustfrit stål		Smeltning og forarbejdning.	Estimeret data publiceret i 1995 (Hansen, 1995).
Andet: Tætningsliste og glasbånd *) af EPDM	0,5 kg	Fra råstof frem til råpolymeren EDPM, ekstrudering af profil.	Indsamlet af branchen, publiceret i 1997 (Boustead, 1997a).

*) Glasbånd er her regnet bestående af EPDM.

Brug

Der er regnet med, at ruden udskiftes efter 20 år sammen med glasbånd og tætningslister. Der foretages en systematisk vedligeholdelse med maling hvert femte år. Ved udtagning af vinduet fjernes ruden.

Bortskaffelse

Ruden knuses og går til genanvendelse, og kantkonstruktion med vedhængende glas går til deponering. Rammen går til forbrænding.

Varmetab

Der sker et varmetab, som omregnes til miljøindikatorer. Det antages, at der benyttes naturgas til opvarmning.

Andre vinduestyper/-størrelser

Forbruget af materialer til vinduet afhænger især af typen af vinduet, men også af størrelsen.

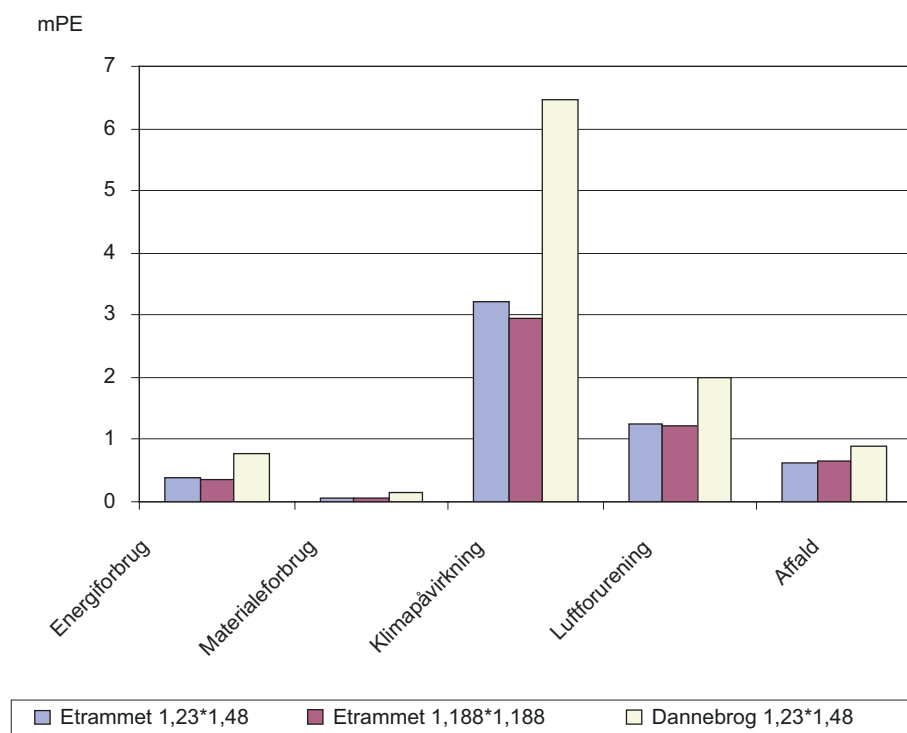
Tabel 10. Mængde af udvalgte materialer i tre vinduesløsninger. I tabellen er kun nævnt materialer, hvor mængden vil have væsentlig indflydelse på miljøbelastningerne af vinduet.

Udvalgte materialer	Etrammet vindue 1,230 x 1,480 i kg	Etrammet vindue 1,188 x 1,188 i kg	Dannebrogsvindue 1,230 x 1,480 i kg
Træ	30	29	50
Imprægneringsmiddel, maling	2,4	2,0	3,7
Glas	28	22	23
I alt	63	56	82

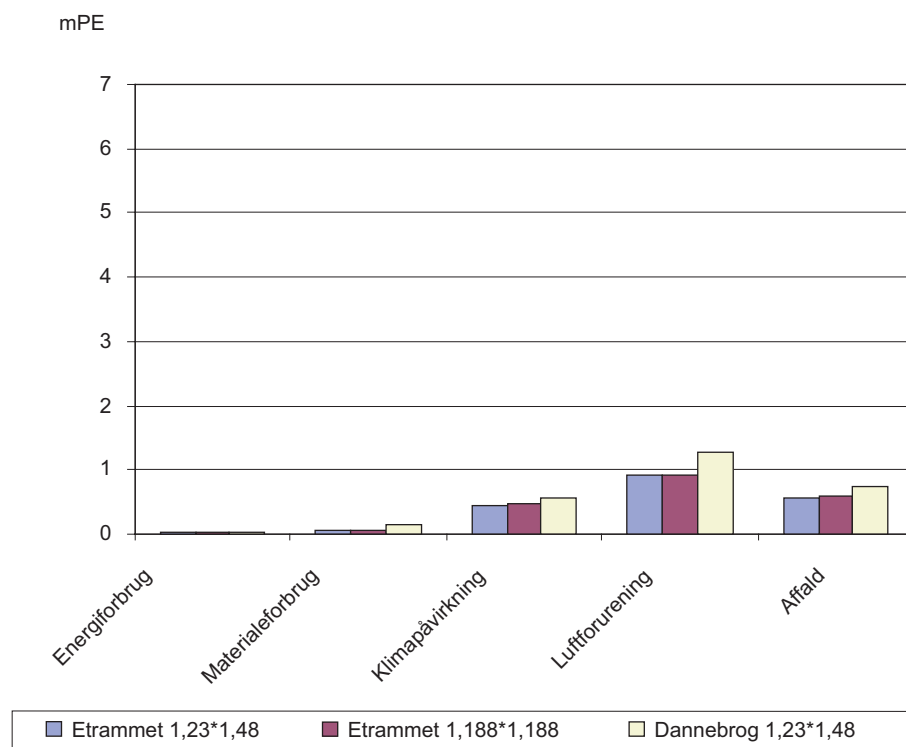
I tabel 11 er varmetabet udregnet, og miljøbelastningerne for vinduet inklusiv varmetab er vist i figur 6.

Tabel 11. Energิตabet i kWh/m²/år for et vindue af træ med energiruder beregnet efter metoden, der benyttes i energimærkningsordningen. I parentes er nævnt varmetabet beregnet efter metoden beskrevet i SBI-Anvisning 184 (Aggerholm, 1995).

Etrammet vindue 1,188 x 1,188 m	Etrammet vindue 1,230 x 1,480 m	Dannebrogsvindue 1,230 x 1,480 m
54 (41)	47 (33)	99 (94)



Figur 6. Miljøindikatorer for de tre vinduestyper inklusiv miljøbelastninger fra varmetabet. Dannebrogsvinduet har de største miljøindikatorer, især klimapåvirkning på grund af en dårligere isoleringsevne af vinduet.



Figur 7. Miljøindikatorer for de tre vinduestyper ekskl. miljøbelastninger fra varmetabet. Dannebrogsvinduet bruger en større mængde rammematerialer og dermed en større mængde imprægneringsmiddel, som igen bevirker en større lufforurening.

Miljødata for PVC-vindue

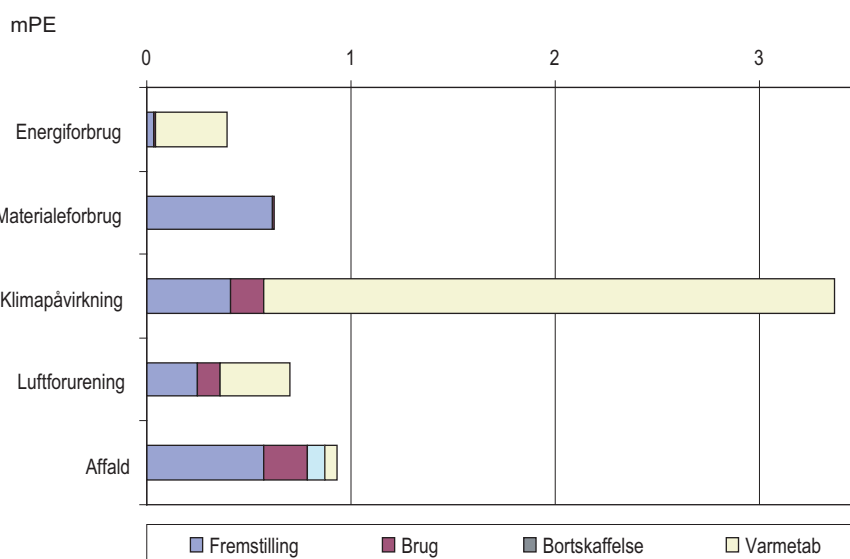
Miljøvaredeklaration

Produktoplysninger	Ordninger
Etrammet vindue: 1,230 x1,480 m	EMAS, ISO 14001: Nej
Ramme/karmmateriale: PVC	Indeklimamærkning af vinduet: 10 døgn
Energirude med argon U/τ/g: 1,1/75/59	

Sammensætning					
Ramme/karm	PVC	14	Kg	23	%
	Galvaniseret stål	10	Kg	17	%
	Tætningsliste, glasklodser af PVC	1,6	Kg	2	%
	Glasbånd	0,2	Kg	0,3	%
Ruder	Glas	28	Kg	47	%
	Aluminium	0,2	Kg	0,4	%
	Argon	0,03	Kg	< 0,1	%
	Tørringsmiddel, forseglingsmateriale	0,8	Kg	1	%
Beslag m.m.	Stål, chromatiseret	5,1	Kg	9	%
I alt		60	Kg		
Emballage, træ		-	(ikke oplyst)		
Uønskede stoffer		For forseglingsmateriale se under rude			

Miljøprofil for hele vinduet

I miljøprofilen er der regnet med opvarmning med naturgas, virkningsgrad 0,90.



mPE: milli personækvivalent.

Der er regnet med en levetid på 40 år for vinduet og 20 år for ruden.

Beskrivelse af vigtige processer

Materialefremstilling Fremstilling omfatter processer ved fremstilling af råmaterialer og produktion af vinduet. Glasset fremstilles ved float-processen, og der anvendes egne skår ved fremstillingen. Belægning af glas sker ved katodeforstøvningsproces. Stål og aluminium er fremstillet ud fra malm. Der er anvendt gennemsnitsdata for PVC gældende for Europa, og producentspecifikke data for glas. For belægning af glas er der anvendt data for en on-line proces, selv om der anvendes en off-line proces. For små mængder som glasbånd, tørringsmiddel og forseglingsmaterialer er dataene estimeret. Spild af glas går til genanvendelse, og spild af PVC ved produktion af rammer går retur i processen.
Brug Brugsfasen omfatter installation af vinduet og efterfølgende vedligehold samt udtagning af vinduet ved renovering og nedrivning. Ved installation af vinduet bruges der materialer til kalfaltringsfugen. Det anbefales at vedligeholde vinduet i overensstemmelse med anbefalinger, der er givet i VSO-håndværkerbrugervejledning samt leverandørens vejledning. Ruden udskiftes en gang i løbet af levetiden for vinduet. Der regnes med, at det meste glas kan oparbejdes til glasskår af en sådan renhed, at glasset kan indgå som råmaterialer i produktion af glasuld og flasker.
Bortskaffelse Kun materialer, som skal deponeres, deklarerer som affald. Ruden bortskaffes som beskrevet under brug, og ramme af PVC indsamles og eksporteres til Tyskland, hvor PVC benyttes i nye produkter.
Varmetab Vinduet har en U-værdi på 1,4 og en g-værdi på 41 %. Energiberegningerne er foretaget efter energimærkningsordningen for ruder (energitab 47 kWh/m²/år). Miljøbelastningerne fra varmetabet er beregnet ud fra antagelsen, at boligen er opvarmet med naturgas (virkningsgrad 0,9); andre energikilder vil give andre miljøbelastninger.

Indikatorer og miljøpåvirkninger pr. leveår af vinduet

Indikatorer		Enhed pr. år	Fremstilling	Brug	Bortskaffelse	Varmetab
Ressource						
Energiforbrug		MPE *)	0,031	0,012		0,35
Materialeforbrug		mPE *)	0,61	0,013		0
Ydre miljøeffekter						
Klimapåvirkning	Drivhuseffekt	Kg CO ₂ ækv.	2,8	1,1		19
Luftforurening	Forsuring	g SO ₂ ækv.	19	9,1		31
	Fotokemisk ozon.	g C ₂ H ₄ ækv.	0,93	0,17		0,38
Affald						
	Volumenaffald	Kg	0,40	0,20	0,10	0,064
	Farligt affald	g	2,5	0,36	0,006	0
Andet						
Restprodukter	Energiforbrug	MJ	39	15	0	370
	Brændværdi ind	MJ	8,7	1,4	0	0
	Brændværdi ud	MJ	0	0	0	0
	Glas	kg	0,13	0,79	0,67	0
	PVC	kg	0	0	0,48	0
	Stål	kg	0	0	0,24	0

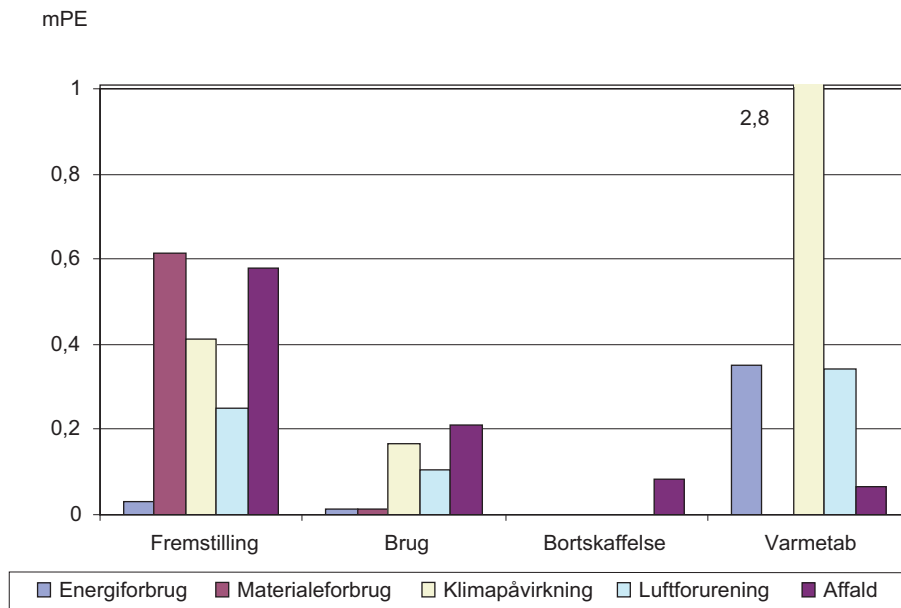
*) Data er givet normaliseret og vægtet.

Uønskede stoffer i vinduet

Uønskede stoffer	CAS nr.	%	g pr. vindue	Klassificering	R-sætning	Mal-kode
Ingen						

Beskrivelse af processer

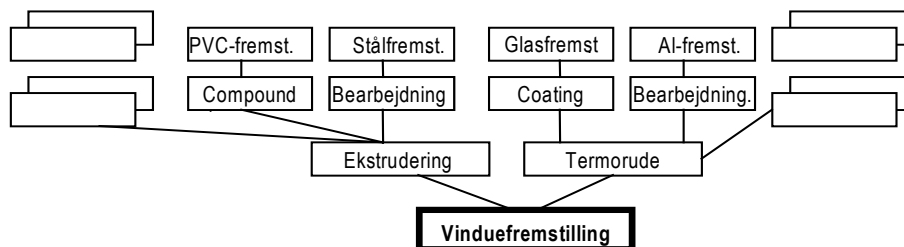
I figur 8 vises de væsentligste miljøbelastninger for faserne i livsforløbet. Varmetab omfatter miljøbelastninger, der skyldes energitab gennem vinduet.



Figur 8. Figuren viser, at varmetabet giver en stor klimapåvirkning, vinduet har et stort materialeforbrug (her forbrug af stål) og at fremstilling af dette stål giver en stor mængde affald.

Fremstilling

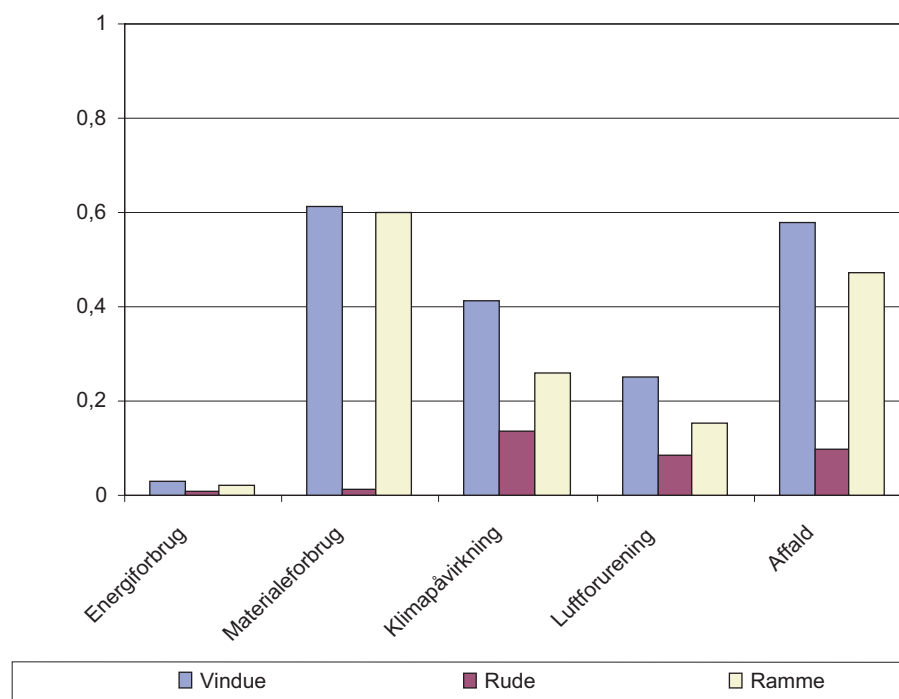
Vinduet består af en ramme af polyvinylchlorid (PVC) med indlagt stålprofil og en energirude.



Figur 9. Figuren viser de vigtigste processtrin for PVC-vinduet fra udvinding af materialerne til det færdige vindue.

Rammen fremstilles af PVC, som er polymeriseret ved suspensionspolymerisation. Additiver tilsættes polymeren for at forbedre egenskaberne af polymeren. Profilet ekstruderes, og stålprofilet sættes ind i PVC profilet. Miljøbelastninger for vindue, rude og ramme er vist i figur 10.

mPE



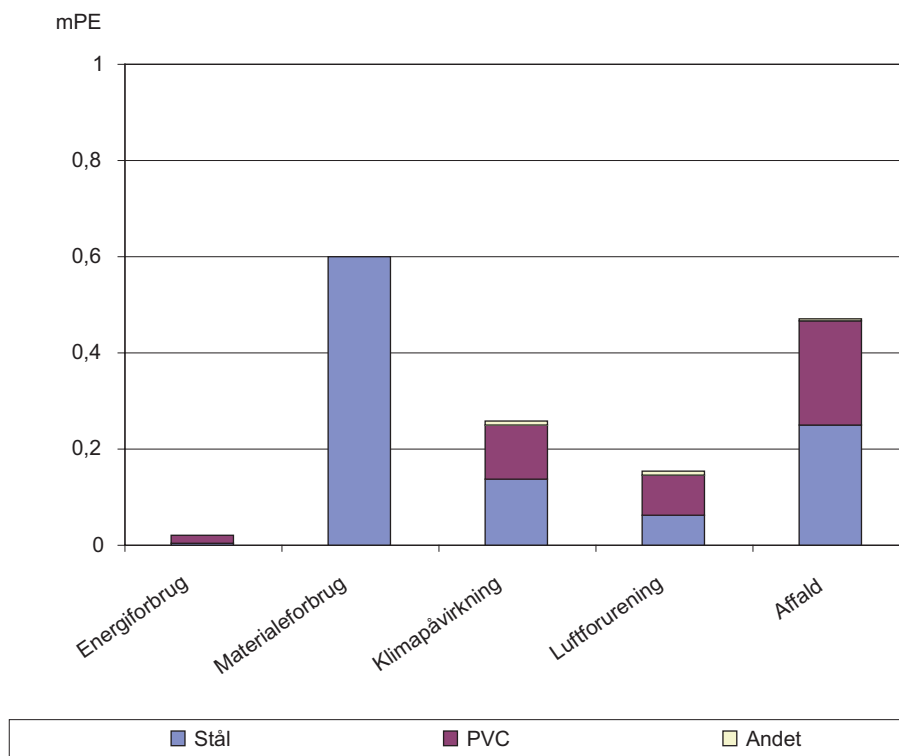
Figur 10. Miljøindikatorer for fremstilling af vindue, rude og ramme. Vindue inkluderer rude, ramme, spild og transport.

Ved fremstilling af rammen indgår der en PVC-compound og en stålprofil.

Tabel 12. Sammensætning af et vinduesprofil af PVC (Eyrer, 1999).

Komponenter	Materialer	kg/t
PVC-polymer	PVC	781
Stabilisator	Ca/Zn	55
Pigment	TiO ₂	34
Fyldmiddel	CaCO ₃	51
Modifiers	Acrylat	68
Andet	Glycolestre, voks af hydrocarboner	11

I figur 11 er vist miljøindikatorer for rammen opdelt på materialerne.



Figur 11. Figuren viser, at det er fremstilling af stål og PVC, der bevirker dannelse af affald og giver klimapåvirkning. Under andet er der medregnet miljødata for tilsætningsstoffer til PVC compound og miljødata for EPDM. Der antages her, at EPDM er benyttet til glasbånd.

Tabel 13. I tabellen angives processer, der indgår i dataene for de vigtigste materialer.

Vigtige materialer		Processer medtaget	Dataenes oprindelse
PVC polymer	14 kg	Fra råstofudvinding til færdig polymer Ekstrudering af PVC	Repræsentativ for europæisk produceret PVC i 1998 (Boustead, 1998). Data fra 1997 (Boustead, 1997b).
Beslag af galvaniseret stål	10 kg	Udvinding af malm, fremstilling af råjern i højovn. Galvanisering af tyndplader	Data for tyske producenter, publiceret i 1994 (Philipp, 1994). Aggregerede data i 1994 for galvaniseret plade fra Nordens største producent (Miljön, valsning och beläggning, 1994).
Andet:			
TiO ₂		Fra udvinding til færdigt materialer, sulfatmetoden.	Aggregerede data publiceret 1999 (Häkkinen, Ahola, Vanhatalo & Merra, 1999).
Acrylater		Processerne er ikke specificeret	Aggregerede data er publiceret i 1995 (Von Däniken & Chudacoff, 1995).
Øvrige additiver			Data mangler.

Brug

Der regnes med, at ruden med glasbånd og tætningslister udskiftes efter 20 år. Ved udtagning af vinduet fjernes ruden.

Bortskaffelse

Ruden knuses, glasset går til genanvendelse, og kantkonstruktion med vedhængende glas går til deponering. Rammen går til genanvendelse, idet producenter af PVC vinduer, der er tilsluttet Vinduesproducenternes Samarbejdsorganisation (VSO), har forpligtet sig til at indsamle rammer af PVC

(Wuppi-ordningen). Rammen eksporteres til Tyskland, hvor PVC og stål adskilles. PVC bruges til nye produkter, og stålet går til omsmelting.

Varmetab

Der sker et varmetab, og dette omregnes til miljøindikatorer, idet det antages, at der benyttes naturgas til opvarmningen.

Andre vinduestyper/-størrelser

Forbruget af materialer afhænger især af typen af vinduet, men også af størrelsen.

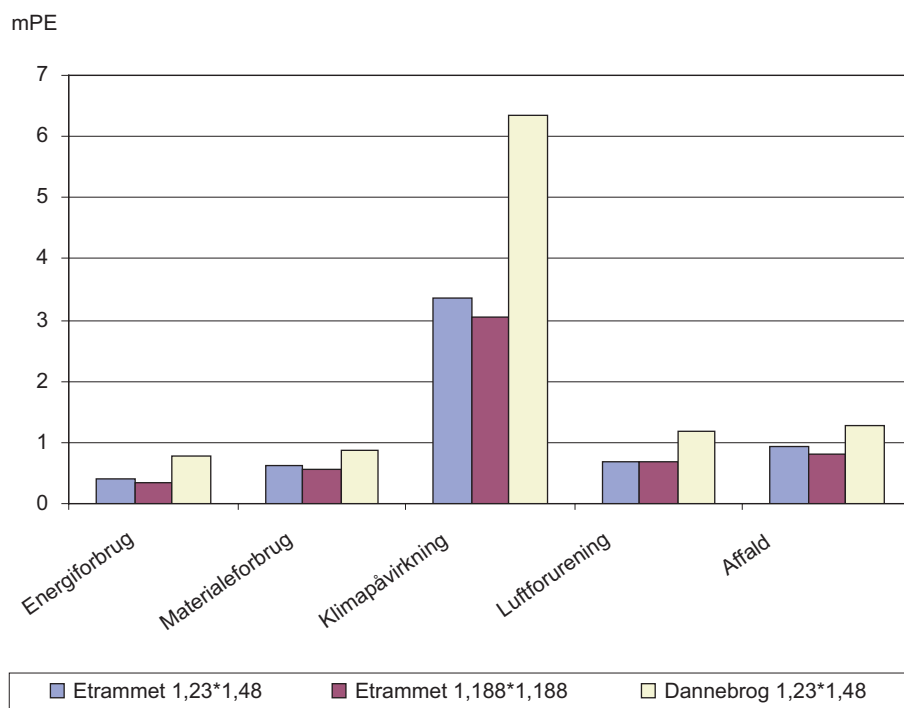
Tabel 14. Mængde af udvalgte materialer i tre vinduesløsninger. I tabellen er nævnt materialer, som især har betydning for miljøbelastningerne af vinduet.

Udvalgte materialer	Etrammet vindue - dreje/kip 1,230 x 1,480 m kg	Etrammet vindue - dreje/kip 1,188 x 1,188 m kg	Dannebrogsvindue 1,230 x 1,480 m kg
PVC	14	12	17
Galvaniseret stål	10	9	17
Glas	28	22	23
Stål, chromatiseret m.m.	5,1	4,5	3,6
I alt	60	50	66

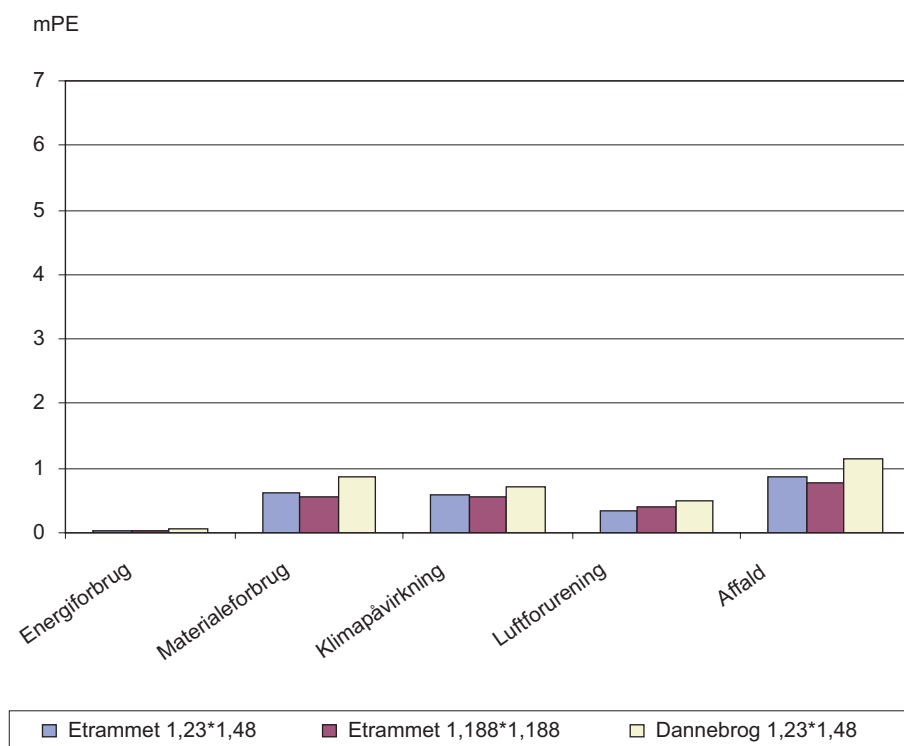
I tabel 15 angives energitabet, og figur 12 viser miljøbelastninger for vinduet inklusiv varmetabet. Figur 13 viser de miljøbelastninger, der kun vedrører materialerne (ekskl. varmetab).

Tabel 15. Energitabet i kWh /m²/år for et vindue af PVC med energiruder beregnet efter metoden, der benyttes i energimærkningsordningen. I parentes er nævnt varmetabet beregnet efter metoden beskrevet i SBI-Anvisning 184 (Aggerholm, 1995).

Etrammet vindue 1,188 x 1,188 m	Etrammet vindue 1,230 x 1,480 m	Dannebrogsvindue 1,230 x 1,480 m
54 (43)	47 (34)	95 (90)



Figur 12. Miljøindikatorer for de tre vinduestyper inklusiv miljøbelastninger fra varmetabet. Dannebrogsvinduet har en stor klimapåvirkning på grund af en dårligere isoleringsevne.



Figur 13. Miljøindikatorer for de tre vinduestyper ekskl. miljøbelastninger fra varmetabet. Figuren viser, at den større mængde materialer til rammen som stål og PVC i dannebrogsvinduet medfører større miljøindikatorer.

Miljødata for aluminium/trævindue

Miljøvaredeklaration

Produktoplysninger

Etrammet vindue, 1,230 x 1,480 m.
 Ramme/karmmateriale: Aluminium udvendigt og træ indvendigt.
 Energirude med argon U/τ/g: 1,1/75/59.

Ordninger

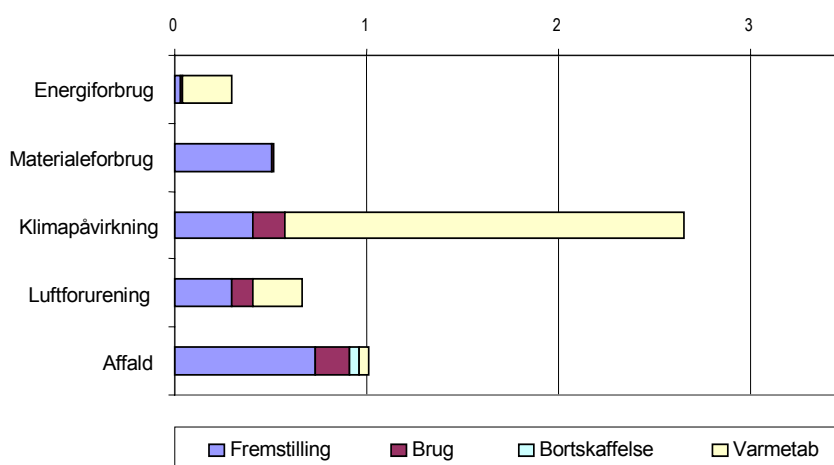
EMAS, ISO 14001: Nej.
 Indeklimamærkning af vinduet: 20 døgn.

Sammensætning

Ramme/karm	Træ	9,2	kg	20	%
	Aluminium	4,6	kg	9,9	%
	Tætningsliste, glasbånd	1,8	kg	3,8	%
	Imprægneringsmiddel, lak	0,4	kg	0,9	%
Ruder	Glas	28	kg	60	%
	Aluminium	0,2	kg	0,4	%
	Argon	0,03	kg	<0,1	%
	Tørningsmiddel, forseglingsmateriale	0,8	kg	1,7	%
Beslag m.m.	Stål, rustfrit stål, zink m.m.	1,2	kg	2,6	%
I alt		46	kg		
Emballage, PE		0,2	kg		
Uønskede stoffer	Spartelmasse: solventnaphtha (1-5%) og butanonoxim (<0,5%) Naphtha (1,0%).				

Miljøprofil for hele vinduet

mPE



mPE: milli personækvivalent.

Der er regnet med en levetid på 40 år for vinduet og 20 år for ruden.

Beskrivelse af vigtige processer

Materialerfremstilling

Fremstilling omfatter processer ved fremstilling af råmaterialer og produktion af vinduet.

Glasset fremstilles ved float-processen, og der anvendes egne skår ved fremstillingen. Belægning af glas sker ved katodeforstøvningsproces. Stål, aluminium og zink er fremstillet ud fra malm.

Der er anvendt gennemsnitsdata for træ gældende for Norden, og producentspecifikke data for glas. For belægning af glas er der anvendt data for en on-line proces, selv om der anvendes off-line. For øvrige materialer er der anvendt gennemsnitsdata, for små mængder er der data estimeret.

Træet imprægneres med et middel på vandbasis. Aluminium industrilakeres med en polyester pulverlak.

Brug

Brugsfasen omfatter installation af vinduet og efterfølgende vedligehold samt udtagning af vinduet ved renovering og nedrivning. Ved installation af vinduet bruges der materialer til kalfaltringsfugen.

Det anbefales at vedligeholde vinduet i overensstemmelse med anbefalinger, der er givet i VSO-håndværkerbrugervejledning samt leverandørernes vejledning.

Ruden udskiftes en gang i løbet af levetiden for vinduet. Der regnes med, at det meste glas kan oparbejdes til glasskår af en sådan renhed, at glasset kan indgå som råmaterialer i produktion af glasuld og flasker.

Bortskaffelse

Kun materialer, der skal deponeres, deklarerer som affald.

Ruden bortskaffes som nævnt under brug. Aluminium genanvendes, og træ fra ramme og karm brændes.

Varmetab

Vinduet har en U-værdi på 1,48 og en g-værdi på 51 %. Energiberegningerne er foretaget efter Energimærkningsordningen for ruder (energitab på 35 kWh/m²/år). Miljøbelastningerne fra varmetabet er beregnet ud fra, at boligen er opvarmet med naturgas (virkningsgrad 0,9). Andre energikilder vil give andre miljøbelastninger.

Indikatorer og miljøpåvirkninger pr. leveår af vinduet

Indikatorer		Enhed pr. år	Fremstilling	Brug	Bortskaffelse	Varmetab
Ressourcer						
Energiforbrug		mPE *)	0,026	0,012	0	0,26
Materialerforbrug		mPE *)	0,51	0,013	0	0
Ydre miljøeffekter						
Klimapåvirkning	Drivhuseffekt	kg CO ₂ ækv.	2,8	1,1	0	14
Luftforurening	Forsuring	g SO ₂ ækv.	24	9,1	0	23
	Fotokemisk ozon.	g C ₂ H ₄ ækv.	0,87	0,18	0	0,28
Affald	Volumenaffald	kg	0,51	0,16	0,61	0,047
	Farligt affald	g	3,6	0,32	0	0
Andet Restprodukter	Energiforbrug	MJ	41	15	0	270
	Brændværdi ind	MJ	15	1,8	0	0
	Brændværdi ud	MJ	5,2	0	4,6	0
	Glas	kg	0,13	0,79	0,67	0
	Træ	kg	0,26	0	0,23	0
	Aluminium	kg	0,009	0	0,11	0

*) Data er givet normaliseret og vægтет.

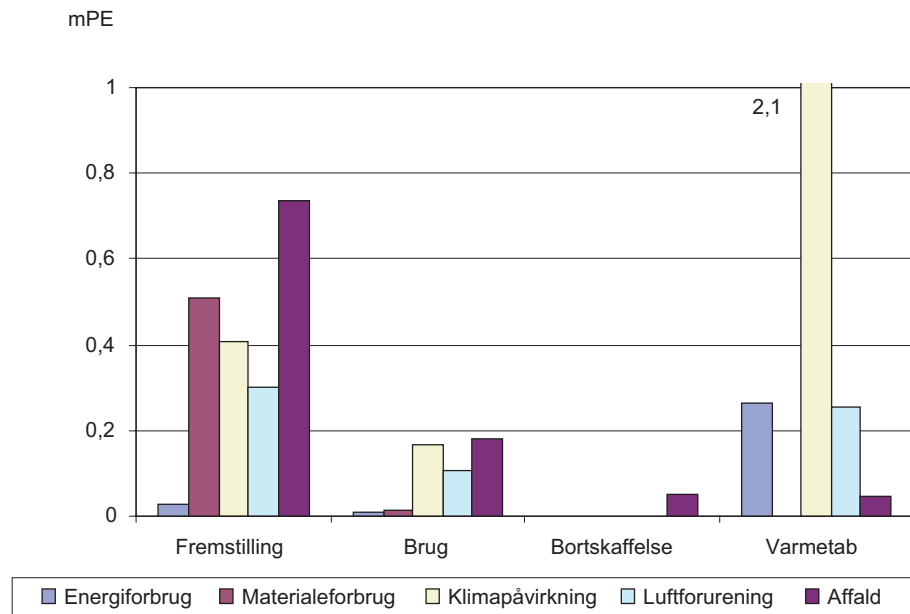
Uønskede stoffer i vinduet af træ og aluminium

Uønskede stoffer		CAS nr.	%	g pr. vindue	Klassificering	R-sætning	Mal-kode
Spartelmasse	Solventnaphtha ^{1) 2)}	64742-88-7	1-5	Ikke opl.	X _N	10-48/20-65-66	2-1
	2-butanonoxim ^{1) 2)}	96-29-7	<0,5		X _i	36-43	
GORI 875	Naphtha ^{1) 2)}	64742-48-9	<1,0	Ikke opl.	X _N	65-65	

I appendiks 2 gives en listning af farlige stoffer i kemiske produkter, der anvendes til vinduet.

Beskrivelse af processer

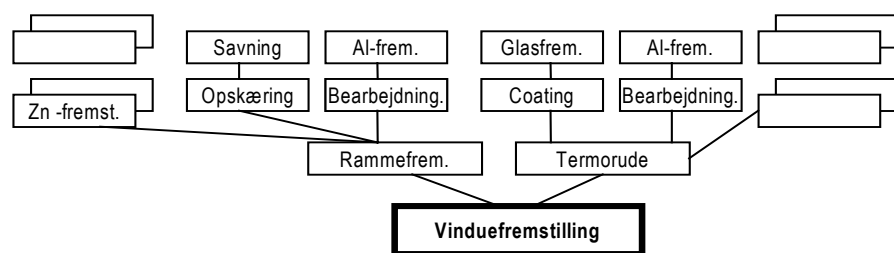
I figur 14 er vist de væsentligste miljøbelastninger for disse faser. Under varmetab angives miljøbelastninger fra energitab gennem vinduet.



Figur 14. Varmetabet giver en stor klimapåvirkning. Under materialeforbrug er angivet forbrug af metaller, her aluminium. Fremstilling af aluminium ud fra malm medfører en stor affaldsmængde.

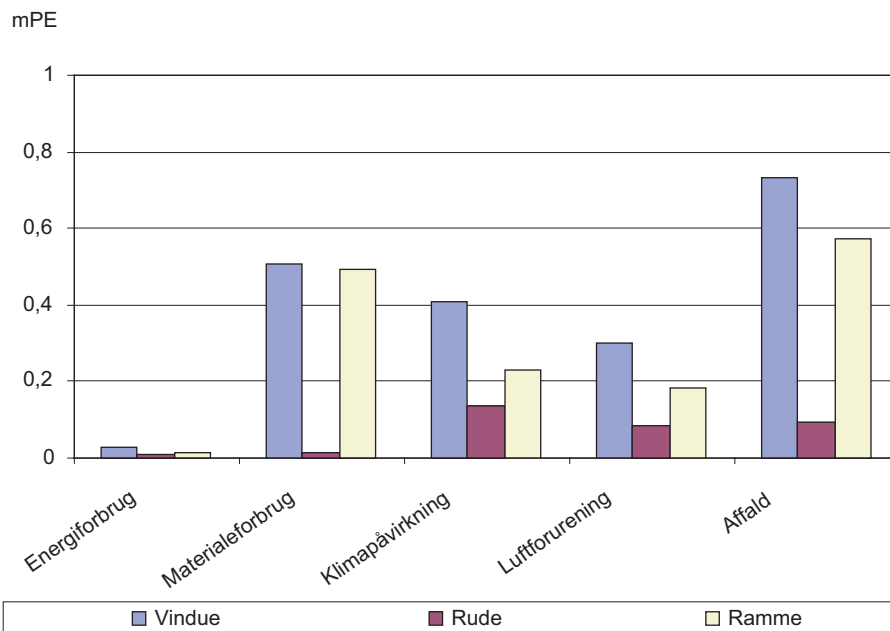
Fremstilling

Vinduet består af en ramme af træ indvendigt og aluminium udvendigt og en energirude.



Figur 15. Figuren viser de vigtigste processtrin for vinduet fra udvinding af materialerne til det færdige vindue.

Vinduet fremstilles af aluminiumprofiler, hvor der her forudsættes, at aluminium fremstilles af malm. Aluminiumprofiler fremstilles i dag både ud fra malm og skrot, men det er ikke muligt at få oplyst, om disse profiler stammer fra et værk, der udelukkende fremstiller profiler ud fra skrot. Under kapitlet 'Diskussion af beregningsforudsætninger' (se side 58), er det beregnet, hvilken betydning dette har for miljøprofilen af vinduet. Efter ekstruderingen lakeres profilerne med en polyesterlak. Planker og brædder af fyr afkortes, bearbejdes, imprægneres med et beskyttelsesmiddel på vandbasis og males.



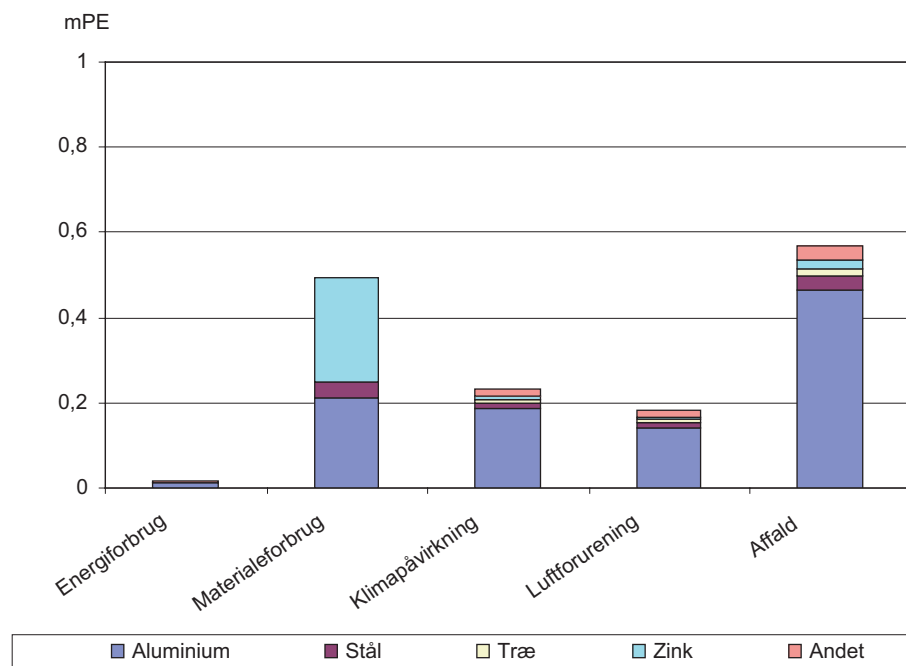
Figur 16. Miljøindikatorer for fremstilling af vindue, rude og ramme. Vindue inkluderer rude, ramme, spild og transport.

Tabel 16. I tabellen angives processer, der indgår i dataene for de vigtigste materialer.

Vigtige materialer		Processer medtaget i dataene	Dataenes oprindelse
Træ	9 kg	Energiforbrug til skovdrift, opskæring af træ til trælægter og tørring.	Repræsentativ for Norden, indsamlet i 1991-1996, vurderet i 1998 (BPS-publikation, 2000).
Aluminium	5 kg	Udvinding af malm, elektrolyse, ekstrudering af profiler til vinduer.	Repræsentativ for europæiske aluminiumsprofiler, indsamlet i 1998 (European Aluminium Association, 2000).
Fremstilling af polyesterlak (0,4 kg PET/kg lak)		Fremstilling af polyesterterephthalat, PET. Kun energiforbrug til blanding af lak.	Indsamlet af branchen, publiceret i 1995 (Boustead, 1995). Produktspecifik 1997.
Lakering af aluminiumforbrug (0,06 kg/kg lakeret aluminium)		Der er medtaget energiforbrug til lakering samt affaldsmængder opstået ved lakeringen.	Data oplyst af producent.
Beslag	0,5 kg		
Galvaniseret stål		Udvinding af malm, fremstilling af råjern i højovn. Galvanisering af tyndplader.	Data for tyske producenter, publiceret i 1994 (Philipp, 1994). Aggregerede data for galvaniseret plade fra Nordens største producent 1994 (Miljön, valsning och beläggning, 1994).
Rustfrit stål		Smeltning og forarbejdning.	Estimeret data publiceret i 1995 (Hansen, 1995).
Zink		Udvinding, sintring, smeltning, raffinering og legering.	Europæisk gennemsnitsdata, publiceret 1998 (Boustead, 1998).
Andet:	0,5 kg		
Tætningsliste og glasbånd *) af EPDM		Fra råstof frem til råpolymeren EDPM.	Indsamlet af branchen, publiceret i 1997 (Boustead, 1997a).
glasliste af PVC		Fremstilling og ekstrudering.	Europæisk gennemsnitsdata, indsamlet i 1997 (Boustead, 1997b).

*) Glasbånd er her regnet bestående af EPDM.

Under miljøbelastninger for rammen er der medtaget processer fra råstofudvinding til færdige profiler.



Figur 17. Figuren viser, at de vigtigste miljøbelastninger for rammen stammer fra fremstilling af aluminium. Kun metalforbruget regnes med under materialeforbrug. Her er forbruget af aluminium og zink væsentlige.

Brug

Der er regnet med, at ruden udskiftes efter 20 år sammen med glasbånd og tætningslister. Ved udtagning fjernes ruden.

Bortskaffelse

Ruden knuses, glasset går til genanvendelse, og kantkonstruktionen med vedhængende glas går til deponering. Aluminium fjernes fra rammen og går til genindvinding. Træet går til forbrænding.

Varmetab

Der sker et varmetab, og dette omregnes til miljøindikatorer, idet det antages, at der benyttes naturgas til opvarmningen.

Andre vinduestyper/-størrelser

Materialeforbruget afhænger af især typen af vinduet, men også af størrelsen.

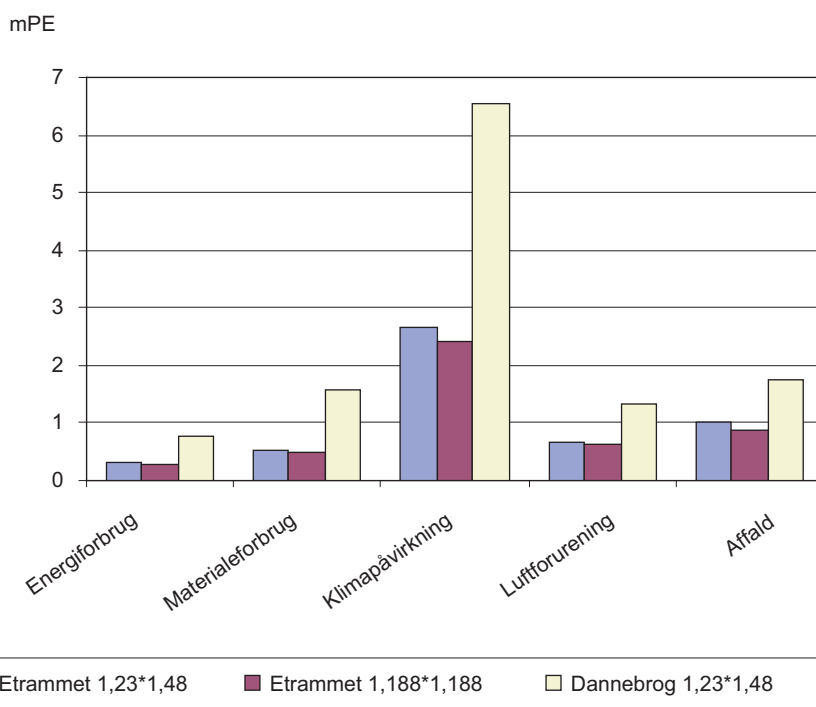
Tabel 17. Mængde af udvalgte materialer i tre vinduesløsninger. I tabellen nævnes kun materialer, hvor mængden har væsentlig indflydelse på miljøbelastningerne.

Udvalgte materialer	Etrammet vindue 1,230 x 1,480 m kg	Etrammet vindue 1,188 x 1,188 m kg	Dannebrogsvindue 1,230 x 1,480 m kg
Træ	9,2	7,9	13
Aluminium	4,6	4,0	8,5
Imprægnerings- middel, lak	0,4	0,4	0,7
Glas	28	22	23
Stål, rustfrit stål m.m.	1,2	1,2	4,8
I alt	46	38	56

I tabel 18 er angivet energitabet, og figur 18 viser miljøbelastninger for vinduet inklusiv varmetabet. I figur 19 er vist miljøbelastninger, der vedrører materialerne.

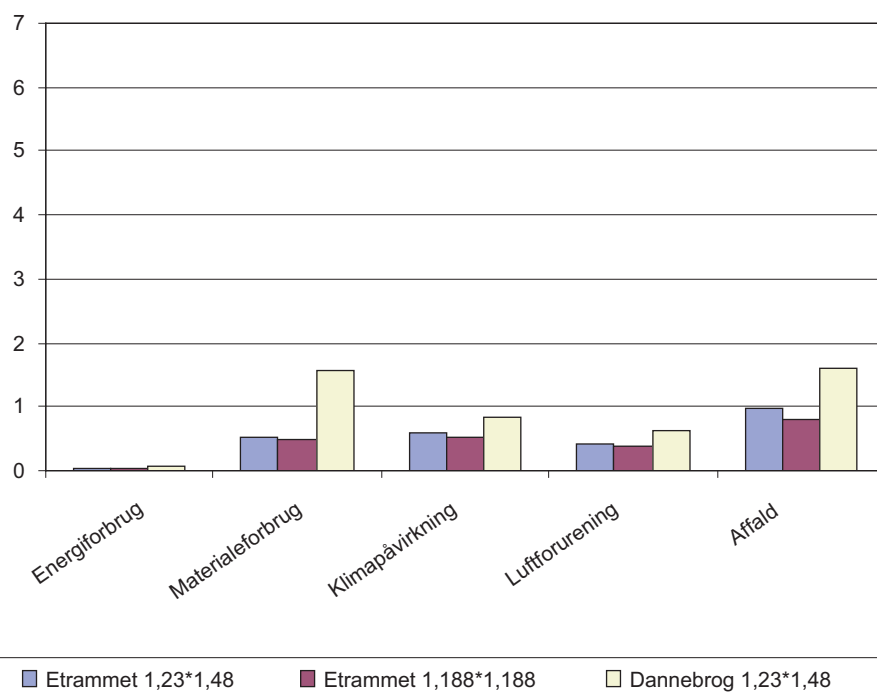
Tabel 18. Energitalet i kWh/m² år for et vindue af aluminium med energiruder, beregnet efter metoden, der benyttes i energimærkningsordningen. Tallet i parentes er beregnet efter metoden beskrevet i SBI-Anvisning 184 (Aggerholm, 1995).

Etrammet vindue 1,188 x 1,188 m	Etrammet vindue 1,230 x 1,480 m	Dannebrogsvindue 1,230 x 1,480 m
41 (23)	35 (16)	96 (87)



Figur 18. Miljøindikatorer for de forskellige vinduestyper inklusiv miljøbelastninger fra varmetabet. Dannebrogsvinduet har en stor klimapåvirkning på grund af en dårligere isoleringsevne.

mPE



Figur 19. Miljøindikatorer for de 3 vinduestyper ekskl. miljøbelastninger fra varmetabet. Figuren viser, at fremstilling, brug og bortskaffelse af dannebrogsvinduet medfører større miljøindikatorer på grund af en større mængde aluminium til ramme og karm.

Miljødata for renoveret trævindue med forsatsramme

I forbindelse med renovering af bygninger vil der ofte være tale om enten at renovere vinduerne eller udskifte dem med nye vinduer. I overvejelserne indgår der:

- Økonomiske beregninger for henholdsvis udskiftning eller renovering af gamle vinduer samt udgifter til vedligehold.
- De opnåede energibesparelser ved enten en udskiftning eller en renovering.
- Æstetiske hensyn.

Ofte er det nemmere at renovere eksisterende vinduer end at tilpasse nye. Dertil kommer, at oprindelige vinduer ofte passer bedre til facadens udseende. Der er derfor under 'Projekt vindue' arbejdet med at udvikle nye og forbedre eksisterende forsatsløsninger.

Resultaterne fra miljøvurdering af et renoveret dannebrogsvindue forsynet med forsatsramme er sammenstillet i en miljøvaredeklaration.

Miljøvaredeklaration

Produktoplysninger

Dannebrogsvindue med midtersprosse: 1,230 x 1,480 m. 4 mm glas.

Ramme/karmmateriale: Træ

Hardcoated rude (4 mm) i forsatsrammen: U/τ/g: 1,9/0, 76/0, 74

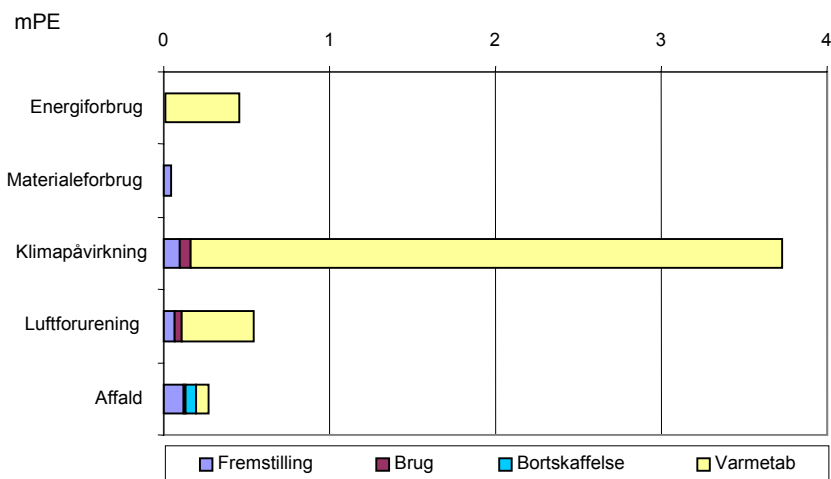
Forsatsramme

Ramme	Træ	2,4 kg	15 %
	Kit	1,1 kg	7 %
	Tætningsliste	0,3 kg	2 %
	Maling	0,4 kg	2 %
Glas	Glas	12 kg	73 %
Beslag m.m.	Stål, zink m.m.	0,2 kg	1 %
I alt		16 kg	
Uønskede stoffer		Ingen	

Miljøprofil for hele vinduet

Energiberegninger for en bolig giver et energitab på 60 kWh/m²/år.

I miljøprofilen er der regnet med opvarmning med naturgas, virkningsgrad 0,90.



mPE: milli personækvivalent.

Der er regnet med en levetid på 20 år for glasset i forsatsvinduet, og at vinduet renoveres efter 20 år.

Levetiden for vinduet er her sat til 40 år.

Beskrivelse af vigtige processer

Materialefremstilling

Fremstilling omfatter processer ved fremstilling af råmaterialer, renovering af gammelt vindue og produktion af forsatsvinduet.

Glasset fremstilles ved float-processen, og der anvendes egne skår ved fremstillingen. Der anvendes et hardcoated glas (emissivitet 0,15), hvor metaloxider afsættes på den varme glasoverflade (on-line proces). Stål og zink er fremstillet ud fra malm.

Der er anvendt gennemsnitsdata for træ gældende for Norden, og producentspecifikke data for glas og for belægningen af glas. For øvrige materialer er der anvendt gennemsnitsdata, for små mængder er data estimeret.

Træet grundes med rå linolie, knaster med shellak og males med linoliemaling. Glasset isættes med linoliekit.

Brug

Brugsfasen omfatter vedligehold, udskiftning af glasset efter 20 år, renovering af vinduet efter 20 år samt udtagning af vinduet ved renovering og nedrivning.

Det anbefales at vedligeholde vinduet med kogt linolie hvert 3. år, maling en gang hvert 10 år samt renovering efter 20 år.

Efter brug udtages og knuses glasset. Der regnes med, at det meste glas kan oparbejdes til glasskår af en sådan renhed, at glasset kan indgå som råmaterialer i produktion af glasuld og flasker.

Bortskaffelse

Kun materialer, som skal deponeres, deklarerer som affald.

Træ fra ramme og karm brændes. Glasset bortskaffes som angivet under brug.

Varmetab

Vinduet har en U-værdi på 1,6 og en g-værdi på 43 %. Energiberegningerne er foretaget efter energimærkningsordningen for vinduer. Miljøbelastningerne fra energitabet er beregnet ud fra, at boligen er opvarmet med naturgas. Andre energikilder vil give andre miljøbelastninger.

Indikatorer og miljøpåvirkninger pr. leveår af vinduet

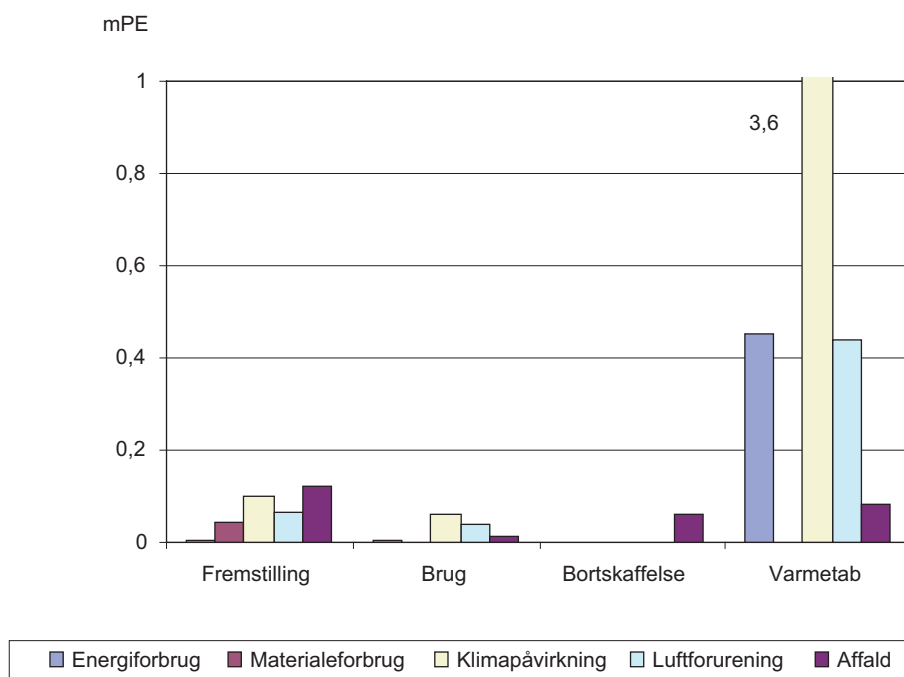
Indikatorer		Enhed pr. år	Fremstil- ling	Brug	Bortskaf- felse	Var- metab
<i>Ressourcer</i>						
Energiforbrug		mPE *)	0,0053	0,0035	0	0,45
Materialeforbrug		mPE *)	0,042	0	0	0
<i>Ydre miljøeffekter</i>						
Klimapåvirkning	Drivhuseffekt	kg CO ₂ ækv.	0,67	0,41	0	24
Luftforurening	Forsuring	g SO ₂ ækv.	5,9	3,6	0	39
	Fotokemisk ozon.	g C ₂ H ₄ ækv	0,094	0,032	0	0,49
<i>Affald</i>						
	Volumenaffald	Kg	0,10	0,055	0	0,082
	Farligt affald	g	0,022	0,012	0	0
<i>Andet</i>						
	Energiforbrug	MJ	12	9,8	0	470
Restprodukter	Brændværdi ind	MJ	2,2	0,38	0	0
	Brændværdi ud	MJ	0,68	2,0	11**)	0
	Glas	kg	0,061	0,30	0,40	0
	Træ	kg	0,032	0,005	0,65	0

*) Data er givet normaliseret og vægtet.

**) Brændværdien af ramme og karm i vinduet.

Beskrivelse af processer

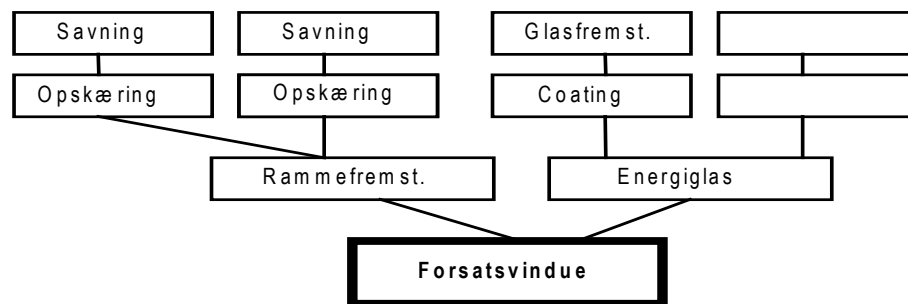
I figur 20 er vist de væsentligste miljøbelastninger for faserne i livsforløbet. Varmetab omfatter miljøbelastninger fra varmetab gennem vinduet.



Figur 20. Figuren viser, at varmetabet giver en stor klimapåvirkning. Under materialeforbrug er angivet forbrug af metaller.

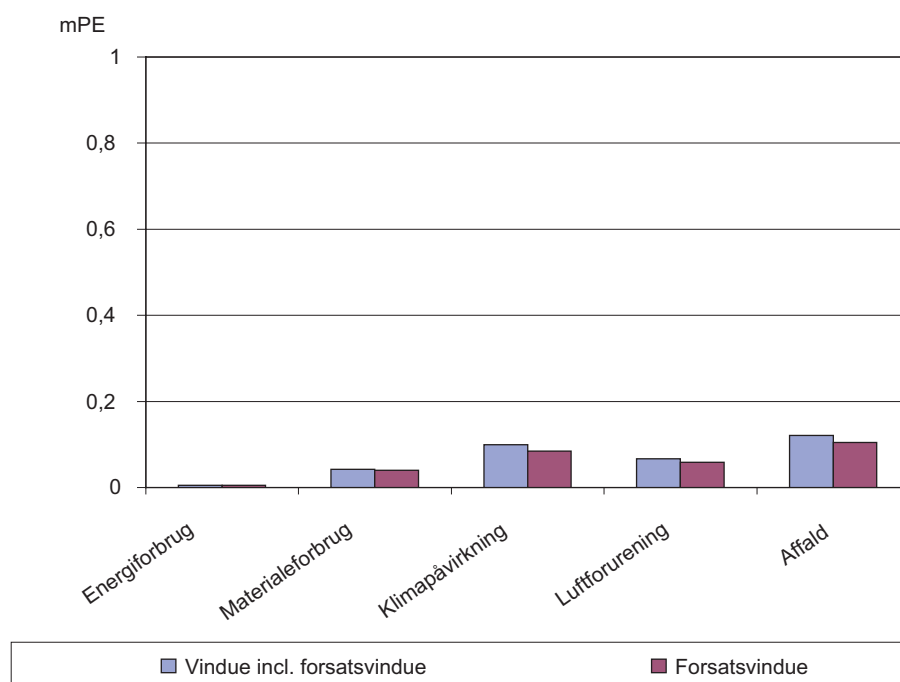
Fremstilling

Vinduet er et dannebrogsvindue, der er renoveret, idet en lille del af bundrammerne og en del af glasset er udskiftet, og ca. 1/3 af kittet fornyet. Forsatsvinduet består af 4 mm energiglas, der isættes en træramme med lino-liekit.



Figur 21. Figuren viser de vigtigste processtrin for vinduet fra udvinding af materialerne til det færdige forsatsvindue.

Nyt træ behandles med rå linolie, knaster med shellak og males derefter 3 gange med linoliemaling. Forsatsglasset har en hardcoated belægning af stannioxid.



Figur 22. Miljøindikatorer for renovering af eksisterende vindue og fremstilling af nyt forsatsvindue. Vindue inkluderer både renovering og fremstilling.

Tabel 19. I tabellen angives processer, der indgår i dataene for de vigtigste materialer.

Vigtige materialer	Processer medtaget i dataene	Dataenes oprindelse
Træ	2,4 kg Energiforbrug til skovdrift, opskæring af træ til trælægter og tørring.	Repræsentativ for Norden, indsamlet i 1991-1996, vurderet i 1998 (BPS-publikation, 2000).
Beslag galvaniseret stål	0,2 kg Udvinding af malm, fremstilling af råjern i højovn. Galvanisering af tyndplader.	Data for tyske producenter, publiceret i 1994 (Philipp, 1994). Aggregerede data for galvaniseret plade fra Nordens største producent i 1994 (Miljön, valsning och belægning, 1994).
Zink	Udvinding, sintring, smeltning, raffinering og legering.	Europæisk gennemsnitsdata, publiceret i 1998 (Boustead 1998).
Andet: Linolie*)	Fremstilling af linolie ud fra hør.	I aggregerede data fra Sverige i 1997 (Häkkinen et al., 1999).
Maling	Fremstilling af linolie ud fra hør. Fremstilling af TiO ₂ ved sulfatmetoden.	I aggregerede data fra Sverige i 1997 (Häkkinen et al., 1999). Aggregerede data publiceret i 1999 (Häkkinen et al., 1999).

*) Shellak regnet som linolie.

Brug

Der regnes med, at glasset efter 20 år udtages og erstattes med en ny type glas. Vinduet vedligeholdes med linolie hvert 3. år og med maling efter 10 år.

Bortskaffelse

Glasset knuses og går til genanvendelse, og en lille del går til deponering. Træet går til forbrænding.

Varmetab

Der sker et energitab, som omregnes til miljøindikatorer, idet det antages, at der benyttes naturgas til opvarmningen.

Andre vinduestyper/-størrelser

Der er iværksat en produktion af nye dannebrogsvinduer med forsatsrammer eller med koblede rammer (Rådvad-vinduet). Vinduerne kan leveres med energiglas eller energiruder i forsatsrammen/den koblede ramme. Disse vinduer har ikke indgået i projektet.

Tabel 20. Energitabet i kWh/m² år for et renoveret dannebrogsvindue med forsatsramme, beregnet efter metoden, der benyttes i energimærkningsordningen. Tallet i parentes er beregnet efter metoden beskrevet i SBI-Anvisning 184 (Aggerholm, 1995).

Dannebrogsvindue 1,230 x 1,480 m	Nyt dannebrogsvindue
68 (57)	(indgår ikke)

Ruder

Lavemissionsbelægningerne på energiruder er i de seneste år blevet udviklet sådan, at forholdet mellem lystransmittans (LT) og solvarmetransmittans (g-værdi) bedre kan optimeres til forskellige formål. For boliger ønskes normalt høje værdier for begge transmittanser, og her kan opnås værdier op til 0,78 / 0,63, dvs. LT = 0,78 og g = 0,63. For kontorer og institutioner ønsker man ofte høj lystransmittans og lav solvarmetransmittans, og her kan opnås værdier på op til fx 0,66 / 0,34 eller 0,50 / 0,26, alt efter hvor stor en lysreduktion, der kan accepteres. Solstrålingens spektrale sammensætning sætter en grænse for, hvor stort forholdet mellem lystransmittans og varmetransmittans kan blive, idet strålingen i den 'synlige' del af spektret udgør ca. 50 % af den samlede strålingsvarme.

Yderligere energimæssige forbedringer af ruderne kan derfor hovedsageligt opnås ved:

- Brug af glas med mindre jernindhold.
- Andre afstandsprofiler (i energiruden anvendes et afstandsprøfil af aluminium eller galvaniseret stål, men der er udviklet profiler af andre materialer).
- Anden isoleringsgas (i energiruden anvendes der argon, men der findes også ruder med krypton i stedet).

I dette kapitel vises miljøbelastninger for de forskellige typer ruder. Sidst i kapitlet angives data for udnyttelse af glasaffaldet til isoleringsmateriale og flasker.

Energirude

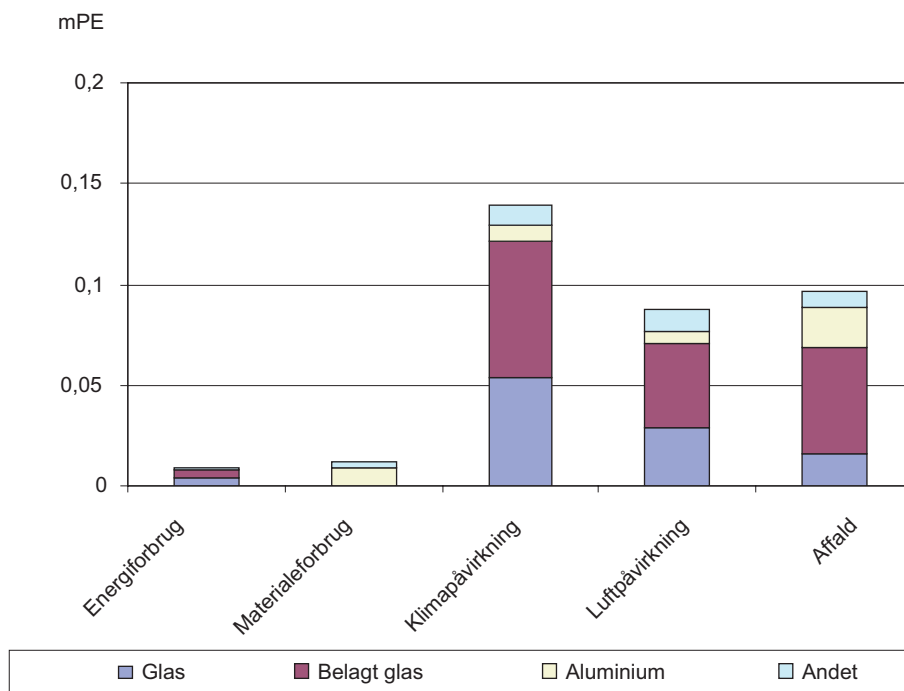
Ruden består af to lag glas adskilt af en afstandsprøfil af aluminium. Det inderste glas har en belægning, som øger transmittansen af sollys og derved formindsker varmetabet gennem ruden. Afstandsprøfilet kan have forskellige udformninger og indeholder et hulrum, som fyldes med et tørringsmiddel, fx aluminiumsilikat. Glasset klæbes til afstandsprøfilet med en butylklæber og forsegles med en fugemasse af polysulfid eller polyurethan (dobbeltforsøgling). Ruden har en gasfyldning af argon (90 vol % Ar og 10 vol % luft).

Tabel 21. Sammensætning af energirude: U/ τ /g: 1,1/75/59.

	Glas	14,00 kg
	Belagt glas	14,00 kg
	Argon	0,03 kg
Kantkonstruktion	Aluminiumprofil	0,21 kg
	Tørringsmiddel	0,29 kg
	Butylklæber	0,06 kg
	Fugemasse	0,43 kg
I alt		29,00 kg

I appendiks 2 er givet en listning af farlige stoffer i kemiske produkter, der anvendes i ruden.

Der er regnet med, at der i energiruden anvendes polysulfidfugemasse, som hidtil har været dominerende. I dag anvendes også tokomponent polyurethan-fugemasse, hvor den ene komponent indeholder et uønsket stof, og silikonefugemasse. I figur 23 er vist miljøbelastninger for energiruden.



Figur 23. Miljøbelastninger for en energirude på 1,230 x 1,480 m. Figuren viser, at fremstilling af glas, især af belagt glas, bidrager mest. Andet omfatter fremstilling glasbånd, fugemasse m.m. Samling af ruden medfører et så lille energiforbrug i forhold til fremstilling af glasset, at det ikke er medtaget her.

Tabel 22. I tabellen angives processer for de vigtigste materialer, der indgår i beregningerne for miljøpåvirkninger fra ruden.

Vigtige materialer		Processer medtaget	Dataenes oprindelse
Belagt glas (off-line)	14 kg	Belægning af glas (on-line).	Data for glasbelægning i Sverige i 1998, revideret i 2001 (oplysninger fra Pilkington Danmark). Data dækker én produktion. Der er på grund af manglende data anvendt data for belagt glas, der normalt belægges off-line.
Floatglas	14 kg	Smeltning af råmaterialer.	Data fra én produktion af floatglas i Sverige i 1998, revideret i 2001 (oplysninger fra Pilkington Danmark).
Afstandsprofil (aluminium)	0,2 kg	Udvinding af malm, elektrolyse, ekstrudering af profiler til vinduer.	Repræsentativ for europæiske aluminiumsprofiler indsamlet i 1998 (European Aluminium Association, 2000).
Andet: Argon	0,8 kg	Fremstilling af argon ud fra luft.	Produktion i Danmark i 2001 (oplysninger fra Hede Nielsen).
Polysulfid		Blanding af materialer til fugemassen.	Data fra litteratur i 1994 (Richter et al., 1996).
Butylgummi *)		Se tabel.	
Polysulfid		Se tabel.	
Aluminiumsilikat		Fremstilling af råmaterialer og fremstilling af aluminiumsilikat.	Data fra litteratur publiceret i 1996 (Richter et al., 1996).

*) Regnes som EPDM.

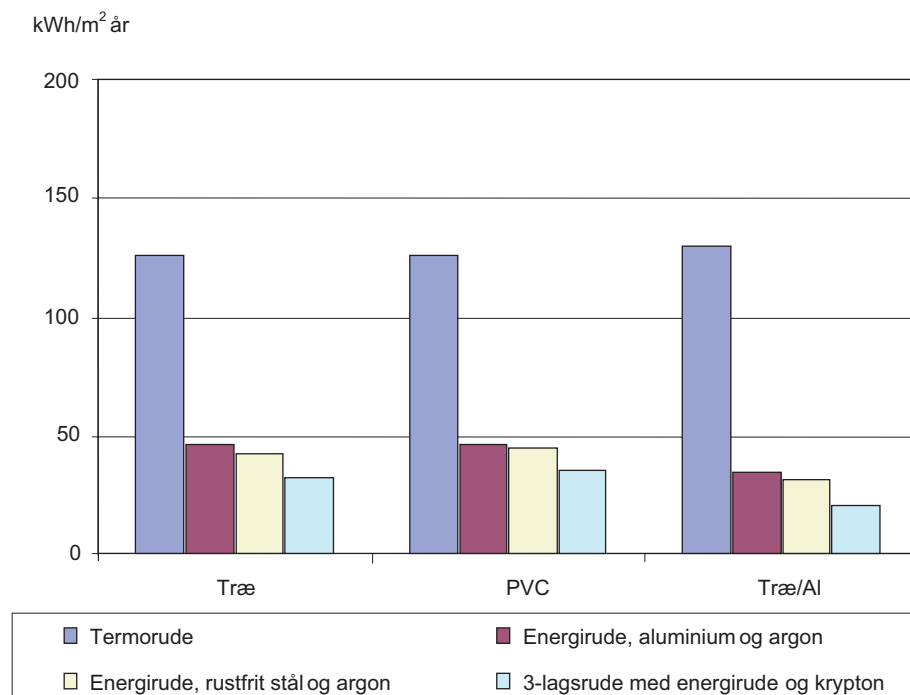
Belægninger

Rudebelægninger reducerer både sollystransmittansen (LT) og solvarmetransmittansen (g-værdi). Energibelægningers (lavemissionsbelægninger) hovedformål er at reducere varmetabet fra bygningen ud gennem ruden, som dog medfører en vis reduktion af solindstrålingen. Solafskærmende belægninger har som hovedformål at reducere solvarmetransmittansen ind gennem ruden, og i praksis er disse belægninger næsten altid kombineret med en energibelægning. Ved at anvende jernfattigt glas kan både lys- og varmetransmittansen gennem ruden forøges. Til gengæld bruger fremstillingen af glasset ca. 20 % mere energi end almindelig floatglas.

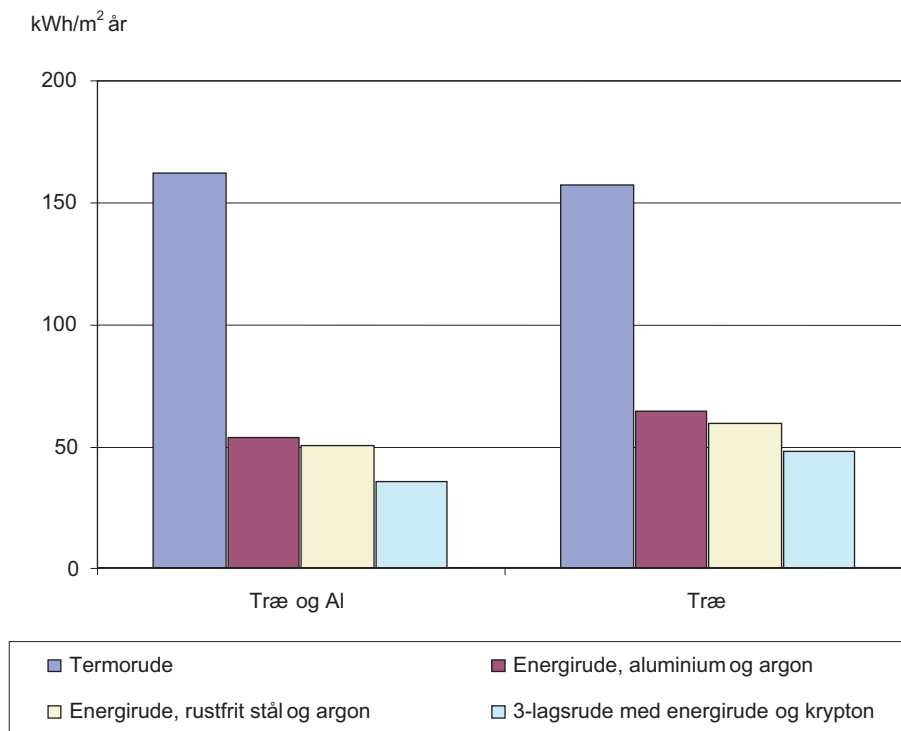
Tabel 23. Egenskaber for forskellige ruder og varmetab gennem etrammet trævindue (1,230 x 1,480 m) beregnet efter energimærkningens diagrammetode (oplysninger fra Pilkington Danmark og Aggerholm, 2001).

Rudetype	Data for ruden U/ τ /g	U-værdi kWh/m ² K	Energitab i kWh/m ² /år
Almindelig termorude	2,8/82/76	2,6	128
Energirude med kantkonstruktion af Al	1,1/75/59	1,5	47
Energirude med kantkonstruktion af rustfast stål (varm kant)	1,1/75/59	1,4	43
Energirude med ny belægning og kantkonstruktion af Al	1,1/79/63	1,5	41
Energirude med jernfattigt glas udvendigt, hardcoated glas indvendigt og kantkonstruktion af Al	1,5/77/78	1,7	42
3-lagsrude med en lavemissionsbelægning og krypton	0,8/68/52	1,2	33

I figur 24 vises varmetabet for udvalgte rudetyper i vinduer i boliger og i figur 25 i institutioner.



Figur 24. Figuren viser varmetabet for vinduer med forskellige rudetyper i boliger beregnet efter energimærkningsordningen. Varmetabet gennem vinduet er transmissionstab minus udnyttelig solindfald i varmesæsonen.



Figur 25. Figuren viser varmetabet for vinduer med forskellige rudetyper i institutioner beregnet med Bv98, hvor varmetabet er transmissionstab minus udnyttelig solindfald i varmesæsonen.

Figureerne viser, at langt den største ændring i varmetabet sker ved overgang fra termoruder til energiruder med en gasfyldning af argon. En mindre ændring af varmetabet opnås, når der anvendes 3-lagsrude med krypton, men til gengæld falder mængden af dagslys og solenergi.

Sammensætning

Der er udviklet to typer belægninger:

- Doped halvlederbelægninger (hardcoated glas, on-line-belagt).
- Flerlagsbelægninger, (super og ny belægning, off-line-belagt).

De doped halvlederbelægninger består af metaloxider, fx stannioxid, indiumoxid eller cadmiumstanniat. Hyppigste sammensætning er stannioxid eller antimonoxid. Belægningen sker ved, at metalforbindelser fordampes i en oxygenholdig atmosfære ved høj temperatur, oxideres og afsættes på den varme glasoverflade, som har en temperatur på 600 - 700°C. Processen sker i forbindelse med floatglasproduktionen (on-line).

Flerlagsbelægningerne består af et tyndt metallag omgivet på begge sider af et beskyttende lag af metaloxider. Metallaget kan bestå af sølv, kobber, guld eller aluminium. Sølv er mest anvendt og er ofte omgivet af fx nikkelchrom (INter Conel INC) for at undgå korrosion. Oxidlaget kan bestå af zinkoxid, bismuthoxid, titanoxid, indiumoxid, stannioxid eller et blandet lag af oxid af indium og tin (ITO). Belægningen sker ved katodeforstøvning, hvor en katode af det pågældende metal rammes af ioner af ædelgas med stor kraft. Herved fordampes metallet og lægger sig på glasoverfladen. Ionerne er fremkommet i et elektrisk spændingsfelt. Belægningen sker i en separat proces og ikke i selve floatglasproduktionen (off-line).

Tabel 24. Sammensætning af nogle anvendte rudebelægninger i Danmark (oplysninger fra Pilkington Danmark, dækker ca. 1/3 af markedet).

<i>Dopede belægninger</i>	Sammensætning	Emissivitet ϵ
Pilkington K Glas TM	400 nm SnO ₂ dopet med ammoniumfluorid	0,16
<i>Flerlagsbelægning</i>		
Pilkington Optitherm TM	40 nmSnO ₂ /1 nm INC/10nm Ag/1nm INC/40 nmSnO ₂	0,10
Pilkington Optitherm TM SN	TiO ₂ /Ag/Al/ SnO ₂	0,04

Der findes mange produkter på markedet, og det er vanskeligt at få oplysninger om belægningerne. Flere producenter oplyser, at der ikke anvendes bly, cadmium og kviksølv i belægningerne.

Kantkonstruktioner

Der bruges i dag overvejende kantkonstruktioner af aluminium eller galvaniseret stål, men der er en udvikling i gang med kantkonstruktioner af andre materialer, fx rustfrit stål eller plast, som har en bedre isoleringsevne, 'varme kanter'. Varme kanter vil give et mindre varmetab. Kantkonstruktionen skal være gastæt for at undgå, at ædelgassen (argon) siver ud, og at der opstår fugt mellem ruderne.

Tabel 25. Linjetabet for udvalgte (100 μ m) kantkonstruktioner for ramme/karmprofil af træ (Knudsen, 2001).

<i>Almindelig kant</i>	ψ W/m K
Galvaniseret stål	0,08
Aluminium	0,08
<i>Varme kanter</i>	
Rustfrit stål	0,050
SAN*) plast med glasfibre og aluminium (30 μ m) (Swisspacer)	0,032
PVC med rustfrit stål (100 μ m) (Thermix)	0,040
<i>Andre konstruktioner</i>	
Plast type (Inex)	
Celleplast	
Silikone med et tyndt lag metal på bagsiden (200 μ m)	
Butylgummi (TPS)	0,041

*) SAN: Styren-acryl-nitril copolymer.

Isoleringsgasser

Der benyttes i dag en gasfyldning i energiruder, som regel 90 vol % Ar og 10 % luft, for at formindske energitabet gennem ruden. En yderligere forbedring af ruden kan opnås ved at bruge krypton som isoleringsgas, se tabel 26.

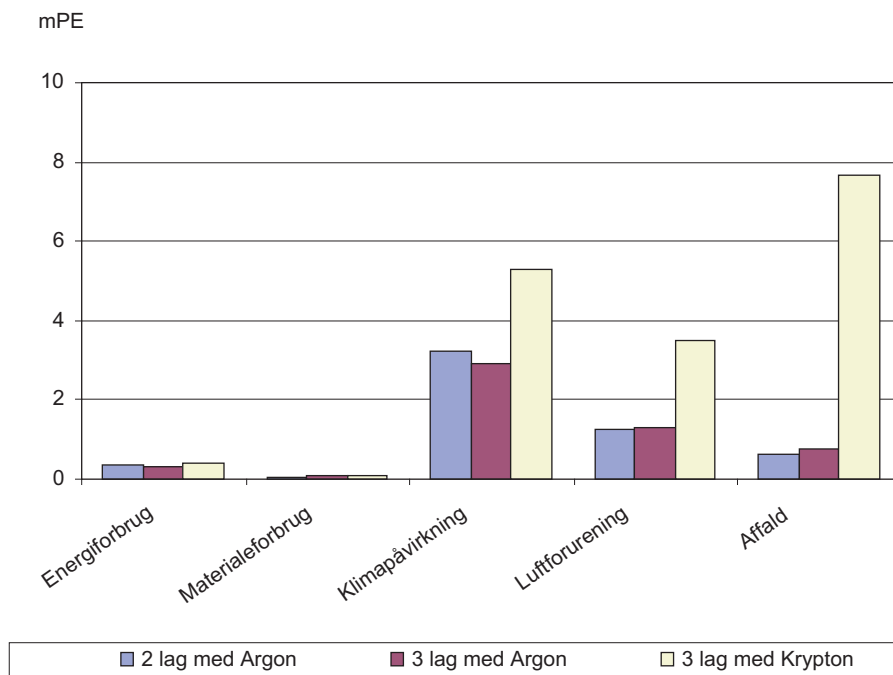
Argon og krypton findes i små mængder i atmosfærisk luft og fremstilles ved destillation af atmosfærisk luft efterfulgt af yderligere separeringsprocesser. Da begge gasser er til stede i små mængder, sker fremstilling altid i forbindelse med fremstilling af oxygen og nitrogen, og krypton fremstilles kun i meget store anlæg. Der bruges meget energi til fremstilling af krypton, hvilket betyder, at miljøbelastningerne for vinduet øges.

Tabel 26. Energiforbrug til fremstilling af Argon og Krypton (oplysninger fra Hede Nielsen, 2001 og Fernie, 1996).

	Vol % i luft	Energiforbrug (el) GJ/t
Argon	0,9	6,06 *)
Krypton	0,000108	10,300 **)

*) Energiforbruget kan variere afhængigt af, hvorledes der allokeres til biproduktet. En anden producent oplyser 0,69 GJ/t (oplysninger fra Hydrogas Danmark, 2001).

**) Energiforbruget er hentet fra litteraturen. Det er ikke muligt at fremskaffe andre oplysninger, da der kun få steder fremstilles krypton og kun på meget store anlæg.



Figur 26. Miljøindikatorer for trævinduet 1,230 x 1,480 m med 2 lag glas med argon (energirude), 3 lag glas med argon og 3 lag glas med krypton. Der ses, at de energirelaterede miljøindikatorer er større for vinduet med krypton end for vinduet med argon. Endvidere skaber elforbruget til fremstilling af krypton en stor mængde affald.

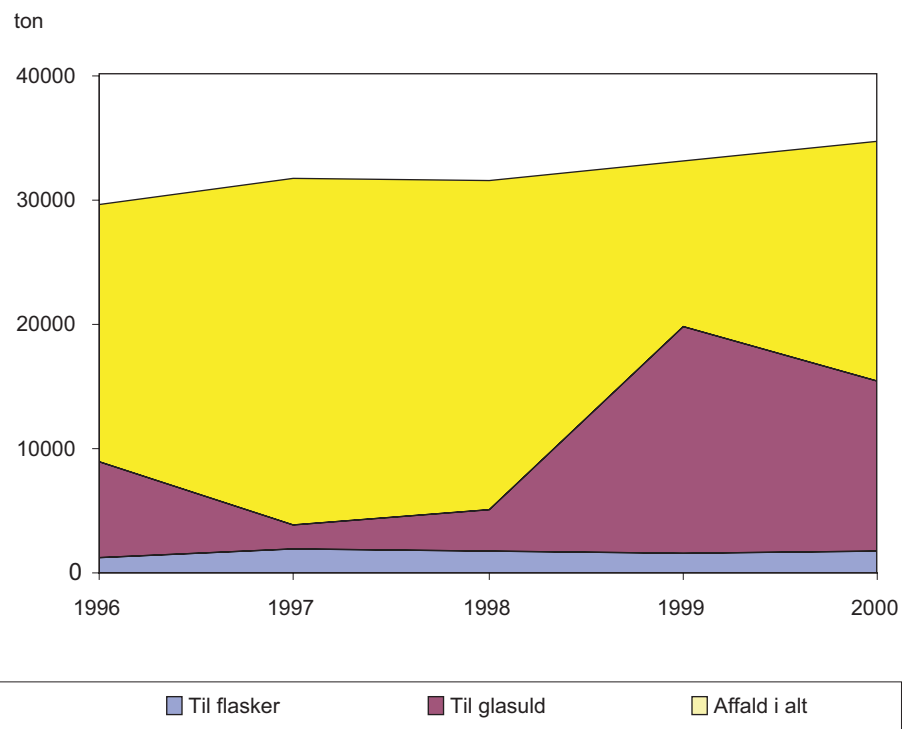
Glasaffald

Ruderne indeholder metal og metaloxider, men sammensætningen kan være forskellig fra produkt til produkt. Ruderne bortskaffes efter brug ved knusning. Glasskårene går til genanvendelse enten til fremstilling af glasuld eller glasflasker, og kantkonstruktion med glas går til deponering. Glasskårene går således ikke til fremstilling af nyt planglas, da der stilles meget præcise krav til sammensætningen af råmaterialer hertil.

Ruder med metalbelægning kan bruges til fremstilling af glasflasker og glasuld, men en stor mængde skår med metalbelægning kan volde problemer i produktionen af glasuld.

Tabel 27. Metalindhold i skår fra belagte ruder.

	SnO ₂ mg/kg	Ag mg/kg
Pilkington Optitherm TM 40 nm SnO ₂ /1 nm INC/10 nm Ag/1 nm INC/40 nm SnO ₂	60	11
Pilkington K Glass TM 400 nm SnO ₂	300	



Figur 27. Glasskår til genanvendelse i Danmark. Af figuren ses, at langt den største mængde anvendes til isoleringsmateriale (Isover 2002, Rexam Glass, 2002). I bilag 1 er givet en detaljeret tabel.

I alt udnyttes ca. 42 % af glasskårene til produktion af glasflasker og glasuld. Disse produktioner kan ikke fremover aftage mere glasaffald, hvorfor en del må deponeres eller eksporteres. Deponering sker mest på grund af manglende renhed.

Diskussion af beregningsforudsætninger

I de foregående kapitler er miljøbelastningerne for det enkelte vindue beregnet ud fra nogle bestemte forudsætninger. Resultaterne vil påvirkes betydeligt af andre forudsætninger, som fx:

- Andre energikilder til opvarmning af bygningen. I de foregående kapitler er der valgt opvarmning med naturgas.
- Anden levetid for vinduet. I de foregående kapitler er der benyttet en levetid for vinduet på 40 år og for ruden på 20 år.
- Fordeling af miljødata på første og andet produkt (allokering) i forbindelse med genindvinding af materialet. I de foregående kapitler er der ikke allokeret miljødata fra fremstilling af første produkt til andet produkt.

I dette kapitel anskueliggøres, hvorledes disse valg påvirker miljøindikatorerne for det enkelte vindue.

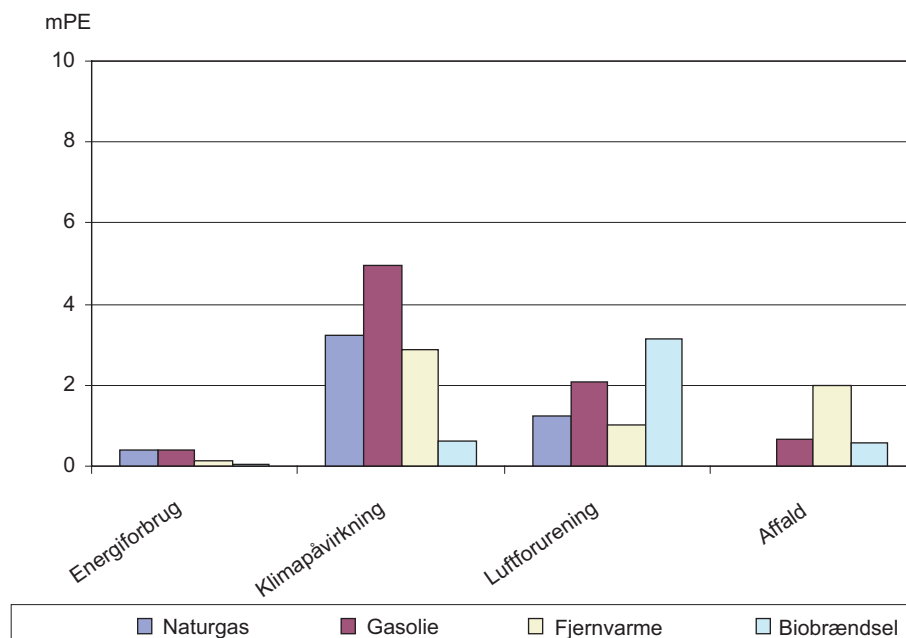
Forskellige energikilder

I de tidligere beregninger er der regnet med, at boligen opvarmes af naturgas. En anden energikilde vil påvirke resultaterne i miljøprofilen.

Tabel 28. Effektiviteten af de forskellige energianlæg og bruttoenergiforbruget på grund af varmetab gennem etrammet trævindue 1,230 x 1,480 m.

	Effektivitet	Bruttoenergitabet i MJ/m ² år ved et varmetab på 47 kWh/m ² år
Oliefyr	0,8	4380
Naturgasfyr	0,9	3800
Fjernvarme	1,3	3420
Fyr til biobrændsel	0,5	6850

Miljøindikatorer for et etrammet trævindue er vist i figur 28 ved anvendelse af forskellige energikilder.



Figur 28. Miljøindikatorer for et etrammet trævindue (1,230 x1,480 m). Figuren viser, at gasolie bidrager mest til klimapåvirkningen, biobrændsel mest til luftforurening, medens fjernvarme fra kraftvarmeværker mest til mængden af affald. På kraftvarmeværker produceres der både elektricitet og varme. Her er der regnet med, at elektriciteten bærer den største del af miljøbelastningerne.

Levetid

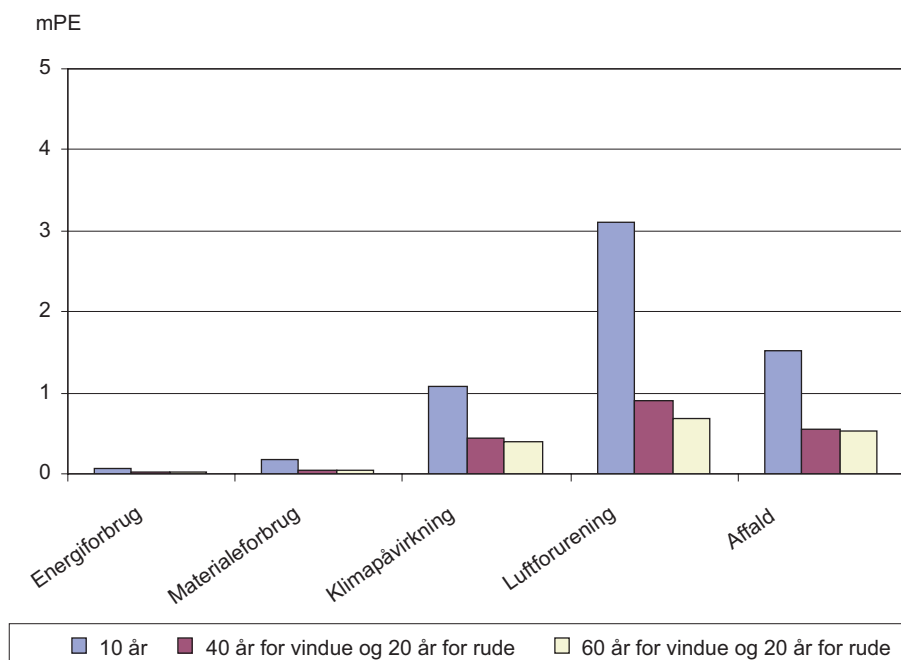
Levetiden for vinduet afhænger af materialernes egenskaber, de forhold, som materialerne udsættes for samt af den systematiske vedligehold. Den faktiske levetid for vinduer i bygningen vil også afhænge af helt andre forhold, fx vil udskiftning af ruder afhænge af, om der er udviklet nye rudetyper, som har meget bedre egenskaber.

Der indsamles nu erfaringer om materialernes holdbarhed i vinduer, og der udvikles modeller, der kan estimere levetiden ud fra en holdbarhedsmæssig synsvinkel (ISO 15686-1, 2000a og CSTB, 2002).

Tabel 29. Levetider for vinduer og ruder.

Ramme/ karmmateriale	Bemærkninger	Levetid år	Reference
alle typer		50-30	V&S Byggedata, 1998.
Træ	Beregnet	25-60	Eks. i ISO15686-1, 2000a.
	Almindelig vedligehold, mangelfuld vedligehold	55-10	Levetidstabeller, 1999.
	Vakuuminprægning, ikke vakuuminprægning.	35-10	HAPM, 1996 (Construction Audit, 1996).
	Vedligehold hvert 10. år	30	Richter et al., 1996.
	Data fra flere kilder	53-40	Oplysninger fra CSTB, 2002.
PVC	Forskel i rengøring	25-20	HAPM 1996 (Construction Audit, 1996).
		25	Oplysninger fra CSTB, 2002.
Træ/Aluminium		40	Oplysninger fra CSTB, 2002.
<i>Ruder</i>			
Afhængig af forseglingsmateriale		40-20	Eyrer, 1999.

Som det ses af tallene varierer levetiden for ramme/karmmaterialet, typen af forseglingsmateriale og af de forhold, som vinduet udsættes for. Levetiden for et trævindue ligger mellem 10 og 60 år og for en rude mellem 7 og 40 år. I figur 29 ses miljøindikatorer, der viser, hvorledes miljøindikatorer påvirkes af vinduets levetid.



Figur 29. Figuren viser miljøindikatorer for materialer for trævinduet 1,230 x 1,480 m (eksklusiv varmetab), når levetiden for vinduet er henholdsvis 10, 40 og 60 år og for ruden 20 år.

Miljødata for produkter, herunder produktionsmetode og genbrug

Miljødata for materialer, som fx metaller, afhænger af produktionsmetoden. Der er således stor forskel på miljøbelastningen afhængigt af, om metallet fremstilles ud fra malm eller skrot. Der findes dog ikke altid tilgængelige oplysninger om produktionsmetoden for det konkrete produkt.

Nogle produkter indsamles efter brug, og materialet bruges til fremstilling af nye produkter, fx træ, glas, PVC og produkter af metal. Ved genanvendelse kan det diskuteres, hvorledes miljøbelastningerne skal fordeles mellem første og andet produkt. Her er der valgt at tildele alle miljøbelastninger til første produkt, fordi materialet efter brug har en begrænset økonomisk værdi, og fordi levetiden af vinduer er lang. Men nøjere retningslinier herfor vil blive udarbejdet til brug for miljøvaredeklarering af byggevarer.

Tabel 30 viser, hvor meget stål og aluminium, der indgår i de tre vinduestyper.

Tabel 30. Metaller i rammer til etrammet vindue 1,230 x 1,480 m.

Rammemateriale	Aluminium - vægt %	Galvaniseret stål - vægt %
Træ	0,73	1,4
PVC	0	48
Aluminium og træ	27	5,3

Miljødata for stål

Stålprodukter fremstilles ud fra malm og/eller skrot, men det kan være vanskeligt at få oplysninger om fremstillingen. I dette projekt er der regnet med, at galvaniserede stålprofiler er fremstillet ud fra malm.

Stålprodukter ud fra jernmalm (jernoxider) fremstilles ved, at jernmalm sammen med koks og kalksten føres til en højovn. Ved forbrænding af koksene opstår der en reducerende gas, der reducerer jernoxider til jern. Kalksten

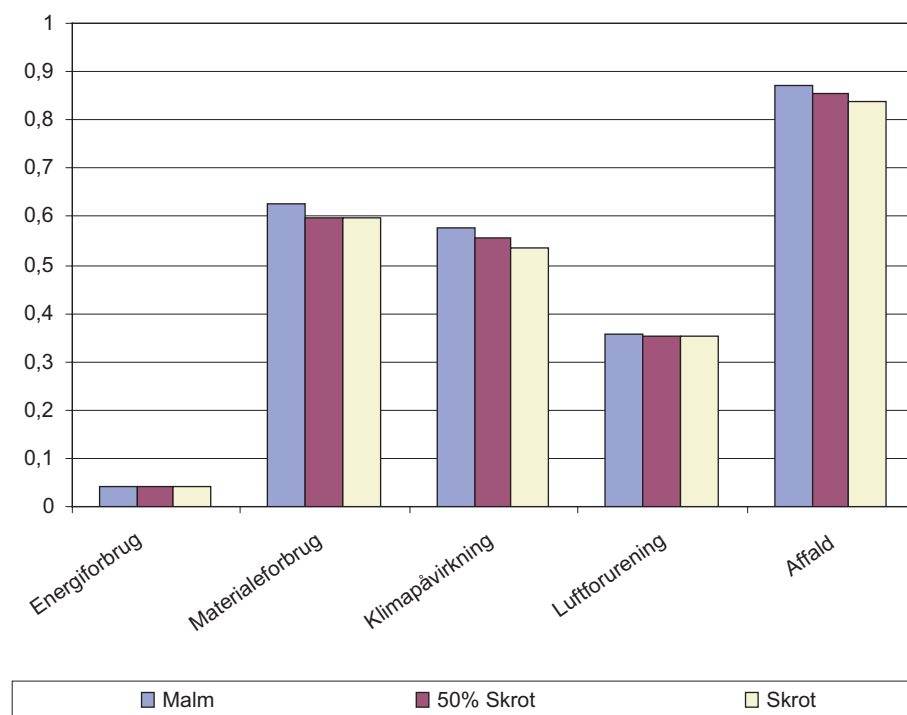
gør slaggen mere letflydende. Fra ovnen tappes det flydende jern, der udstøbes i blokke (slabs) og efterfølgende bearbejdes til færdige produkter.

Stålprodukter ud fra skrot fremstilles i en lysbueovn, hvor der dannes en lysbue mellem materialerne i ovnen og en grafitelektrode. Det smeltede jern tappes og udstøbes i blokke (slabs), der efterfølgende bearbejdes til færdige produkter.

Tabel 31. Energiforbruget til fremstilling af 1 t stål før bearbejdning og galvanisering.

	Energiforbrug GJ/t	CO ₂ t/t	Færdige produkter
Fra malm til råstål	20	1,7	Tyke plader
Fra skrot til råstål	16	1,0	Tyke plader
Bearbejdning og galvanisering	13	0,8	Galvaniserede produkter

Resultaterne for PVC-vinduet påvirkes således af, om stålet fremstilles ud fra malm eller skrot.



Figur 30. Miljødata for PVC-vindue beregnet under forudsætning af, at stål i vinduet produceres ud fra henholdsvis 0 %, 50 % og 100 % stålskrot.

Miljødata for aluminium

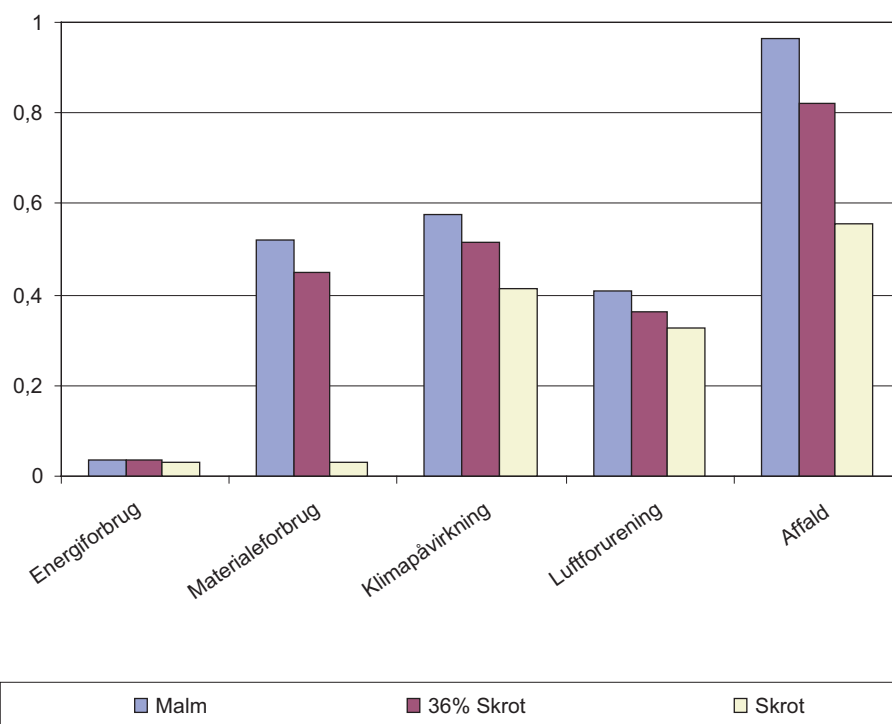
Produkter af aluminium kan nu fremstilles både ud fra malm og skrot, men det er ikke muligt at få oplysninger om det konkrete produkt. Der akkumuleres i dag en stor mængde aluminium i bygninger, som først er tilgængelig efter nedrivning af bygningen. I dag er det muligt at dække ca. 39 % af behovet med skrot, men forbruget af aluminiumsprodukter er stigende, og selv om der indsamles en øget mængde brugte aluminiumsprodukter, vil mængden af skrot ikke i fremtiden kunne dække behovet for aluminium til nye produkter. I dette projekt er der regnet med, at aluminiumsprodukter er fremstillet ud fra malm.

Fremstillingsprocessen kan opdeles i tre hovedprocesser, fremstilling af aluminiumoxid ud fra malm (bauxit), elektrolyse af aluminiumoxid og støbning af aluminiumblokke (ingots) og til sidst en bearbejdning af de støbte blokke til færdige produkter. Den mest energikrævende proces er således elektrolyseprocessen.

Der fremstilles også produkter af skrot, hvor skrottet smeltes i en ovn ved hjælp af elektricitet. Det flydende metal støbes i blokke, der ligeledes efterfølgende bearbejdes.

Tabel 32. Energiforbruget til fremstilling af aluminiumsprodukt.

	Energiforbrug GJ/t	CO ₂ t/t	Bemærkninger
Fra malm til blokke	127	8,6	Uden godskrivning ved genbrug.
Fra skrot til blokke	13	0,2	Der regnes med, at alt aluminium er skrot.
Fra malm og skrot til blokke	86	5,7	I dag er der ikke skrot nok til udelukkende at dække behovet. Der regnes her med 36 %.
Fra blokke til færdigt produkt	20	1,0	



Figur 31. Miljødata for træ/aluminiumsvindue beregnet under forudsætning af, at aluminium i vinduet produceres ud fra henholdsvis 0 %, 36 % og 100 % aluminiumskrot.

Ved fremstilling af aluminium bruges en stor mængde elektricitet. Smeltere placeres derfor ofte tæt på billig elektricitet, fx i nærheden af kraftværker. Ved miljøvurderinger skal der derfor overvejes hvilken elprofil, der skal benyttes:

- Forsyning af elektricitet fra den nærmeste elproduktion.
- Forsyning baseret på oplysninger i kontrakter om levering af elektricitet til aluminiumsmeltere.
- Baseret på gennemsnit for EU (UCTE).

Tabel 33. Emission af CO₂ ved fremstilling af 1 t aluminium ved elektrolyse beregnet ved forskellige forudsætninger for elektricitet, kun elektrolyseprocessen (Koch, 2002).

	CO ₂ - kg/kg Al	Bemærkninger
Fra nærmeste elværk	5,6	Gennemsnit for europæiske smeltere.
Baseret på kontrakter	6,1	Gennemsnit for europæiske smeltere.
Gennemsnit for elektricitet i EU	7,8	
Produktion af 1 t Al fra vugge til råaluminium i dette projekt	8,6	Indeholder emission fra alle processer fra vugge til 1 t råaluminium. Der anvendes data for elektricitet i EU i 1990.

Vinduernes nettovarmetab

Som grundlag for vurdering af den miljømæssige betydning af varmetabet gennem vinduestyperne analyseret i de forrige kapitler, er der gennemført en simpel bestemmelse af vinduernes nettovarmetab (dvs. varmetransmissionskoefficient minus solindfald gennem vinduerne over hele opvarmningssæsonen. En negativ værdi er således udtryk for et nettovarmetilskud gennem vinduet.

Metoder til bestemmelse af nettovarmetabet

Nettovarmetabet er bestemt henholdsvis med *diagrammetoden* til energimærkning af ruder og vinduer samt efter metoden beskrevet i Bygningers energibehov, SBI-anvisning 184 (Aggerholm et al., 1995), i det følgende kaldt *Bv98-metoden*. I begge tilfælde er forudsat en rumtemperatur på 20°C, og vinduernes U-værdi er bestemt efter DS 418 (Dansk Standard, 2002).

Diagram-metoden

Ved bestemmelse af vinduernes nettovarmetab ved hjælp af diagrammetoden anvendes vejrdata fra det danske Design Reference Year, DRY. Varmetabet bestemmes ud fra antallet af gradtimer i opvarmningssæsonen (i DRY-året fra 24. september til 13. maj). Solindfaldet gennem vinduet i opvarmningssæsonen bestemmes under hensyn til glasarealets størrelse, solstrålingens indfaldsvinkel og den diffuse solstråling samt skygger. Der anvendes en skyggefaktor på 0,7 svarende til 10° horisontafskæring og lille tagudhæng. Nettovarmetabet bestemmes for et referencehus med 26 % af vinduesarealet mod nord, 33 % mod øst eller vest og 41 % mod syd. Det antages, at hele solindfaldet udnyttes til opvarmning af huset. Diagrammetoden anvendes principielt kun i forbindelse med boliger.

Bv98-metoden

Ved bestemmelse af vinduernes nettovarmetab efter metoden i SBI-anvisning 184 og SBI-anvisning 189 (Statens Byggeforskningsinstitut, 1999), som bygningsreglementerne BR 95 og BR-S 98 henviser til, og i pc-programmet Bv98 anvendes 15 års vejrdata. Efter Bv98-metoden bestemmes nettovarmetabet for en hel bygning måned for måned i den potentielle opvarmningssæson fra og med september til og med maj.

Metoden svarer til den, der anvendes i de internationale standarder EN 832 og prEN ISO 13790 (ISO, 2003). Solindfaldet gennem vinduerne bestemmes ud fra solindfaldet gennem en fritsiddende referencerude med to lag klart glas og forskellige orienteringer. I beregningen af nettovarmetabet indgår også, hvor stor en andel af solindfaldet, der udnyttes til opvarmning. Nettovarmetabet afhænger af detaljerne i vinduets udformning og den anvendte metode til bestemmelse af U-værdierne og linjetab. Der kan derfor være afvigelser mellem de her beregnede værdier og værdier, fx i den planlagte mærkningsordning for vinduer.

Da vinduernes nettovarmetab skal kunne bestemmes uden, at der kendes de specifikke karakteristika for en bygning, er der i stedet gennemført beregninger for typiske enfamiliehuse, etageboliger og kontorer for at bestemme størrelsen af udnyttelsesfaktoren for solindfaldet.

Ved beregningerne er der som et gennemsnit anvendt 90 % for boliger. For kontorer, skoler og institutioner afhænger udnyttelsen af solvarmetilskuddet meget af de øvrige varmetilskud fra personer, belysning, edb-udstyr

og andet apparatur. For disse typer bygninger er anvendt en værdi for solvarmeudnyttelsen på 70 %. Denne værdi er bestemt efter prEN 13790, som giver en lavere og mere reel værdi end SBI-anvisning 184 og SBI-anvisning 189, hvor der af historiske årsager ikke skelnes mellem boliger og andre bygninger.

Der regnes for alle bygningstyper med 20 % afskygning for nordvendte vinduer og 30 % for øst-, vest- og sydvendte vinduer. Dette svarer til 10 ° horisontvinkel, et lille tagudhæng i fx enfamiliehusene eller lidt skygge fra omliggende bygninger, fx i etageboliger og kontorer samt almindelig vinduesindbygning og ingen særlige afskærmninger eller beplantning. Bv98-metoden svarer til metoden i prEN ISO 14438 (ISO, 2002), idet der dog er set bort fra tilsmudsning af glasset. Metoden bruges både for boliger og kontorer mv. For kontorer, skoler og institutioner beregnes der et samlet nettovarmetab for vinduerne for en bygning med ensfordelte vinduer, dvs. med 25 % vinduer mod henholdsvis nord, øst, vest og syd.

Resultater

Tabel 34. U-værdier for vinduets dele. Hvor ikke andet er angivet, er U-værdien beregnet efter DS 418. Rammens bredde er bestemt som samlet bredde af karm og ramme minus karmens bredde. Lod- og tværpostes bredde er bestemt som samlet bredde af post og ramme minus rammernes bredde. Vedrørende ruder og afstandsprofiler, se tabel 40 og 41.

Vinduesdel	Dimension i mm (bredde x dybde)	U-værdi W/m ² K
<i>Udadgående, tophængt vindue af træ</i>		
Karm	44 x 110	1,4
Ramme	54 x 54	1,9
<i>Dannebrogsvindue af træ</i>		
Karm	44 x 110	1,4
Ramme	44 x 54	1,9
Poste	60 x 100	1,5
Sprosser	32 x 54	1,9
<i>Udadgående, tophængt vindue af træ med aluminiumsrammer</i>		
Karm	50 x 90	2,8 *)
Ramme	Flugter med karm	
<i>Dannebrogsvindue af træ med aluminiumsrammer</i>		
Karm	56 x 65	2,8 *)
Ramme	Flugter med karm	
Poste	96 x 35	2,8 *)
Sprosser	32 x 55	3,5 **)
<i>Udadgående, tophængt vindue af plast med metalforstærkning</i>		
Karm	60 x 70	1,7 *)
Ramme	53 x 70	1,7 *)
<i>Dannebrogsvindue af plast med metalforstærkning</i>		
Karm	60 x 70	1,7 *)
Ramme	41 x 55	1,7 *)
Poste	70 x 70	1,7 *)
Sprosser	70 x 70	1,7 *)

Ældre dannebrogsvindue af træ eksklusive forsatsramme

Karm	54 x 115	1,7 ***)
Ramme	40 x 28	2,3
Poste	54 x 100	1,5
Sprosser	24 x 28	2,3

Forsatsvindue af træ til ét lag glas

Karm	40 x 26	3,6 ****)
Ramme	35 x 32	2,3
Poste	54 x 26	2,4

*) U-værdier er fra: Thermal Characterisation of Edge Construction in Glazing. (Eriksen, Kragh & Svendsen. 2002).

**) Skøn for metal med brudt kuldebro.

***) Eksklusive indvendig overgangsisolans.

****) Eksklusive udvendig overgangsisolans.

Data for vinduerne, som indgår i analysen, fremgår af tabel 34-36. I tabel 34 er angivet dimensioner og U-værdier for karme, rammer, poste og sprosser, i tabel 35 er angivet data (U-værdi og g-værdi) for ruderne, og i tabel 36 er angivet linietab for afstandsprofilerne i afhængighed af rudetype og vindue-smateriale.

g-værdien i tabel 35 er den samme som rudens totale solvarmetransmittans ved solindfald vinkelret på ruden.

Tabel 35. Data for ruderne. For ruder med argon og krypton er forudsat 90 % gasfyldning.

Rudetype	Glastype og fyldning	U-værdi W/m ² K	g-værdi -
<i>Nye vinduer</i>			
Almindelig termorude	4 - 15 - 4	2,8	0,76
Energirude med argon	4 - 15ar - s4	1,1	0,59
Energirude med argon, ny type belægning	4 - 15ar - sn4	1,1	0,63
Jernfattigt glas + glas med hård lav-e, argon	4w-15ar - k4	1,5	0,78
3-lagsrude med 1 lav-e og argon	4 - 15ar - 4 - 15ar - 4s	0,9	0,52
3-lagsrude med 1 lav-e og krypton	4 - 12kr - 4 - 12kr - 4s	0,8	0,52
3-lagsrude med 2 lav-e og krypton	4s-12kr - 4 - 12kr - 4s	0,5	0,40
Solafskærmende energirude	6HPTitan - 15ar - 4	1,1	0,38
<i>Renovering af dannebrogsvinduer med forsatsvindue</i>			
1 lag almindeligt glas	4	5,8	0,86
+ 1 lag almindeligt glas	4 - 60 - 4	2,8	0,76
+ 1 lag glas med hård lav-e	4 - 60 - 4k	1,8	0,71

Tabel 36. Linietab for afstandsprofilerne i W/mK i afhængighed af materialer og rudetype. (Eriksen, Kragh & Svendsen, 2002).

Vinduesmateriale og rudetype	Almindelige afstandsprofiler i stål eller aluminium	Afstandsprofil i tyndt rustfast stål
<i>Vindue af træ</i>		
Ruder uden lavemissionsbelægning	0,05	0,04
Ruder med lavemissionsbelægning	0,08	0,06
<i>Vindue af træ med aluminiumsrammer</i>		
Ruder uden lavemissionsbelægning	0,02	0,02
Ruder med lavemissionsbelægning	0,05	0,04
<i>Vinduer af plast med metalforstærkning</i>		
Ruder uden lavemissionsbelægning	0,03	0,03
Ruder med lavemissionsbelægning	0,05	0,04

Tabel 37. Resulterende U-værdi og g-værdi for udadgående, tophængte vinduer af træ i afhængighed af rudetype, afstandsprofil og vinduesdimensionen.

Rude	0,588 x 0,588 m		1,188 x 1,188 m		1,230 x 1,480 m	
	U-værdi	g-værdi	U-værdi	g-værdi	U-værdi	g-værdi
	W/m ² K	-	W/m ² K	-	W/m ² K	-
Almindelig termorude	2,39	0,34	2,60	0,53	2,62	0,55
Energirude med argon	1,77	0,26	1,50	0,41	1,46	0,43
Do. + afstandsprofil i tynd rustfast stål	1,68	0,26	1,44	0,41	1,41	0,43
Energirude med ny type belægning	1,77	0,28	1,50	0,44	1,46	0,46
Jernfattigt glas + glas med hård lav-e	1,86	0,35	1,72	0,54	1,70	0,57
3-lagsrude med 1 lav-e	1,59	0,23	1,30	0,36	1,26	0,38
3-lagsrude med 1 lav-e og krypton	1,54	0,23	1,23	0,36	1,19	0,38
3-lagsrude med 2 lav-e og krypton	1,41	0,18	1,02	0,28	0,97	0,29

I tabel 37-39 er vist resulterende U-værdi og g-værdi for udadgående, tophængte vinduer af henholdsvis træ, træ med aluminiumsrammer og plast med metalforstærkning i afhængighed af vinduesdimension, rudetype og afstandsprofil, og i tabel 40 er det tilsvarende vist for dannebrogsvinduer med dimension 1,230 x 1,480 m. For de to første rudetyper, almindelig termorude og energirude med argon, er det antaget, at der anvendes almindelige afstandsprofiler i stål eller aluminium, mens det for de øvrige antages, at der anvendes afstands profiler i tyndt rustfast stål. I tabel 41 er vist resulterende U-værdi og g-værdi for ældre dannebrogsvinduer med forsatsvindue af træ til ét lag glas.

Tabel 38. Resulterende U-værdi og g-værdi for udadgående, tophængte vinduer af træ med aluminiumsrammer i afhængighed af rudetype, afstandsprofil og vinduesdimensionen.

Rude	0,588 x 0,588 m		1,188 x 1,188 m		1,230 x 1,480 m	
	U-værdi	g-værdi	U-værdi	g-værdi	U-værdi	g-værdi
	W/m ² K	-	W/m ² K	-	W/m ² K	-
Alm. termorude	2,91	0,52	2,86	0,64	2,86	0,65
Energirude med argon	1,91	0,41	1,53	0,49	1,48	0,51
Do. + afstandsprofil i tynd rustfast stål	1,85	0,41	1,50	0,49	1,45	0,51
Jernfattigt glas + glas med hård lav-e	2,13	0,54	1,83	0,65	1,80	0,67
3-lagsrude med 1 lav-e	1,72	0,36	1,33	0,44	1,28	0,45
3-lagsrude med 1 lav-e og krypton	1,65	0,36	1,25	0,44	1,20	0,45
3-lagsrude med 2 lav-e og krypton	1,44	0,28	0,99	0,34	0,94	0,34

Tabel 39. Resulterende U-værdi og g-værdi for udadgående, tophængte vinduer af plast med metalforstærkning i afhængighed af rudetype, afstandsprofil og vinduesdimensionen.

Rude	0,588 x 0,588 m		1,188 x 1,188 m		1,230 x 1,480 m	
	U-værdi	g-værdi	U-værdi	g-værdi	U-værdi	g-værdi
	W/m ² K	-	W/m ² K	-	W/m ² K	-
Alm. termorude	2,24	0,29	2,50	0,50	2,54	0,53
Energirude med argon	1,68	0,22	1,44	0,39	1,41	0,40
Do. + afstandsprofil i tynd rustfast stål	1,64	0,22	1,42	0,39	1,38	0,41
Jernfattigt glas + glas med hård lav-e	1,79	0,30	1,68	0,51	1,66	0,54
3-lagsrude med 1 lav-e	1,56	0,20	1,28	0,34	1,25	0,36
3-lagsrude med 1 lav-e og krypton	1,53	0,20	1,22	0,34	1,18	0,36
3-lagsrude med 2 lav-e og krypton	1,41	0,15	1,02	0,26	0,97	0,28

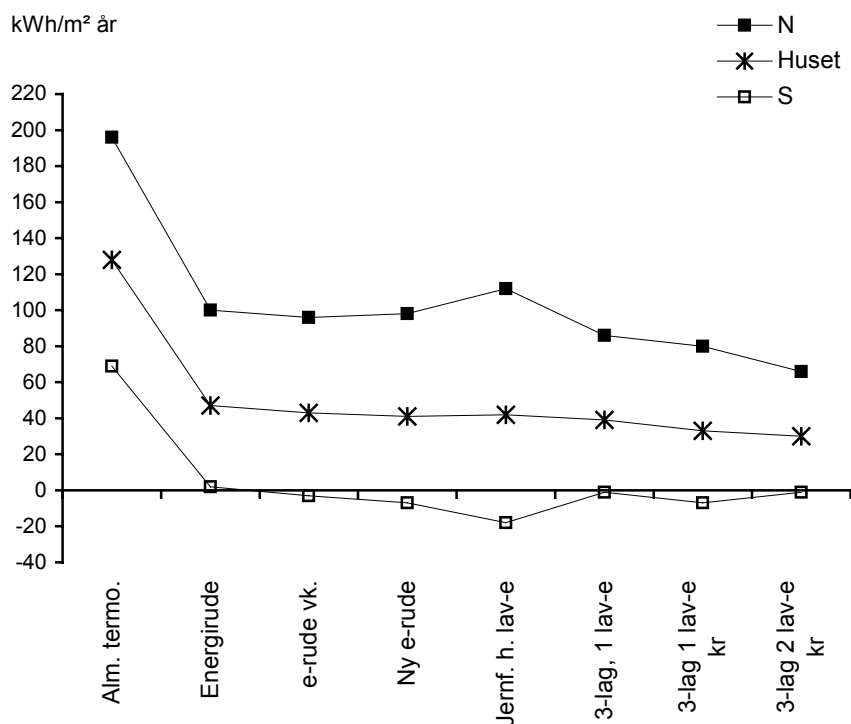
Tabel 40. Resulterende U-værdi og g-værdi for dannebrogsvinduer af træ, træ med aluminiumrammer og plast med metalforstærkning i afhængighed af rudetype og afstandsprofil. Vinduesdimensionen 1,230 x 1,480 m.

Rude	Træ		Træ m. aluramme		Plast m. metalfors.	
	U-værdi W/m ² K	g-værdi -	U-værdi W/m ² K	g-værdi -	U-værdi W/m ² K	g-værdi -
Alm. termorude	2,63	0,43	2,99	0,53	2,51	0,39
Energirude med argon	1,82	0,33	1,96	0,41	1,70	0,30
Do. + afstandsprofil i tynd rustfast stål	1,71	0,33	1,90	0,41	1,65	0,30
Jernfattigt glas + glas med hård lav-e	1,94	0,44	2,18	0,54	1,86	0,40
3-lagsrude med 1 lav-e	1,59	0,29	1,75	0,36	1,54	0,26
3-lagsrude med 1 lav-e og krypton	1,53	0,29	1,68	0,36	1,48	0,26
3-lagsrude med 2 lav-e og krypton	1,36	0,22	1,47	0,28	1,32	0,20

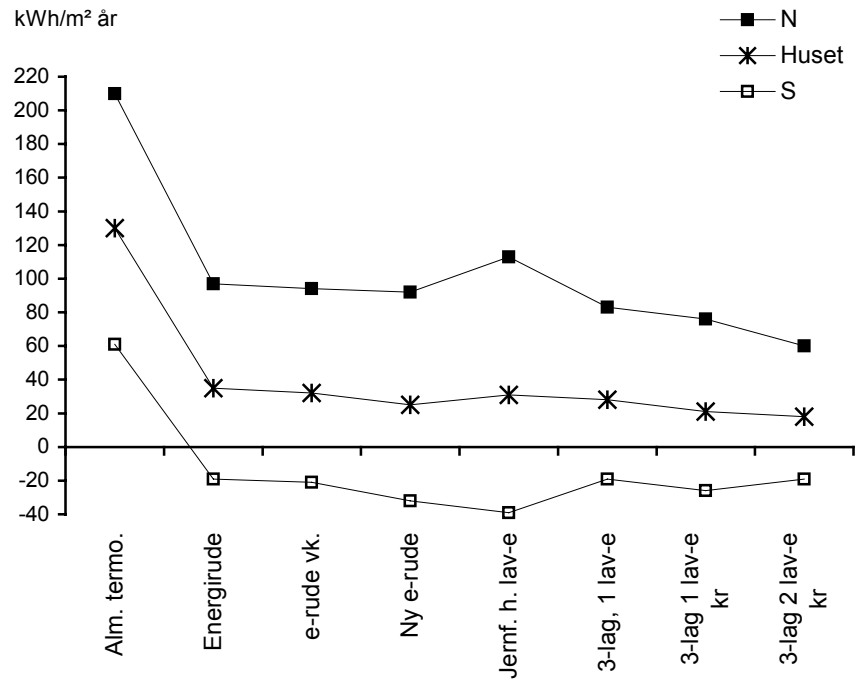
Tabel 41. Resulterende U-værdi og g-værdi for ældre dannebrogsvinduer med forsatsvindue af træ til ét lag glas glastype i forsatsrammen. Vinduesdimensionen 1,230 x 1,480 m.

Glas i forsatsramme	U-værdi W/m ² K	g-værdi -
Ét lag alm. glas	2,16	0,43
Ét lag glas med lav-e	1,62	0,40

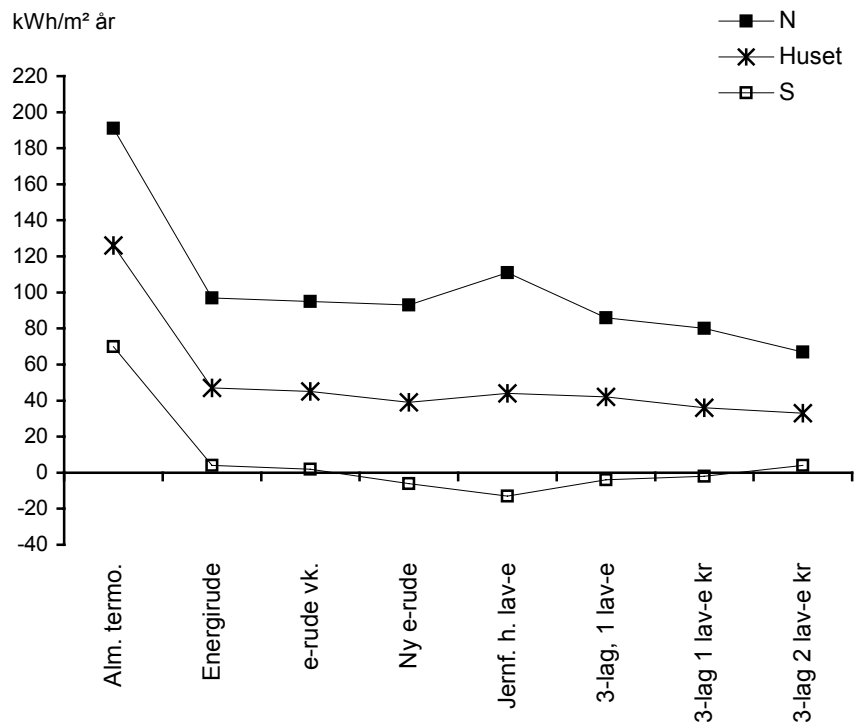
I figurene 32-36 er vist nettovarmetabet i kWh/m² år, beregnet med diagrammetoden for et udadgående, tophængt vindue af henholdsvis træ, træ med aluminiumsramme og plast med metalforstærkning med dimension 1,230 x 1,480 m og forskellige rudetyper. De tre 'kurver' viser nettovarmetabet for ruder mod henholdsvis nord (N), syd (S) samt for en tænkt bolig med en fordeling af vinduerne med 26 % mod nord, 33 % mod øst eller vest og 41 % mod syd (Huset). De negative værdier for sydvinduet er udtryk for et nettovarmetilskud gennem vinduet. Det ses, at anvendelsen af en energirude har stor betydning for vinduets nettovarmetab, mens typen af rude har en mere begrænset betydning.



Figur 32. Nettovarmetab i kWh/m² år for udadgående, tophængt vindue af træ med dimension 1,230 x 1,480 m og forskellige rudetyper, beregnet ved hjælp af diagrammetoden.

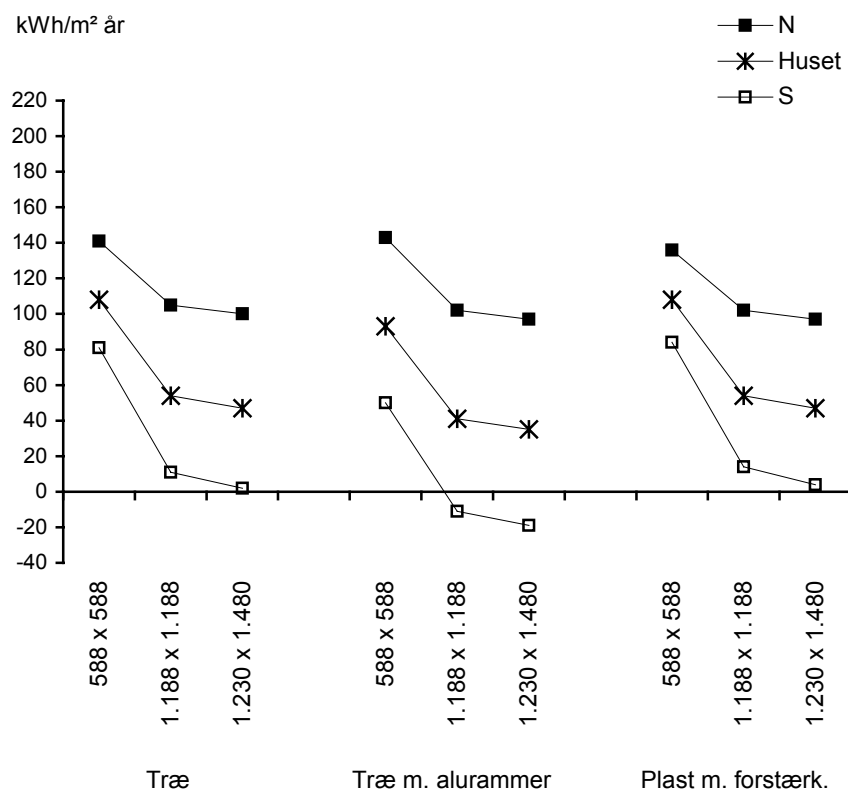


Figur 33. Nettovarmetab i kWh/m² år for udadgående, tophængt vindue af træ med aluminiumsrammer, dimension 1,230 x 1,480 m og forskellige rudetyper, beregnet ved hjælp af diagrammetoden.



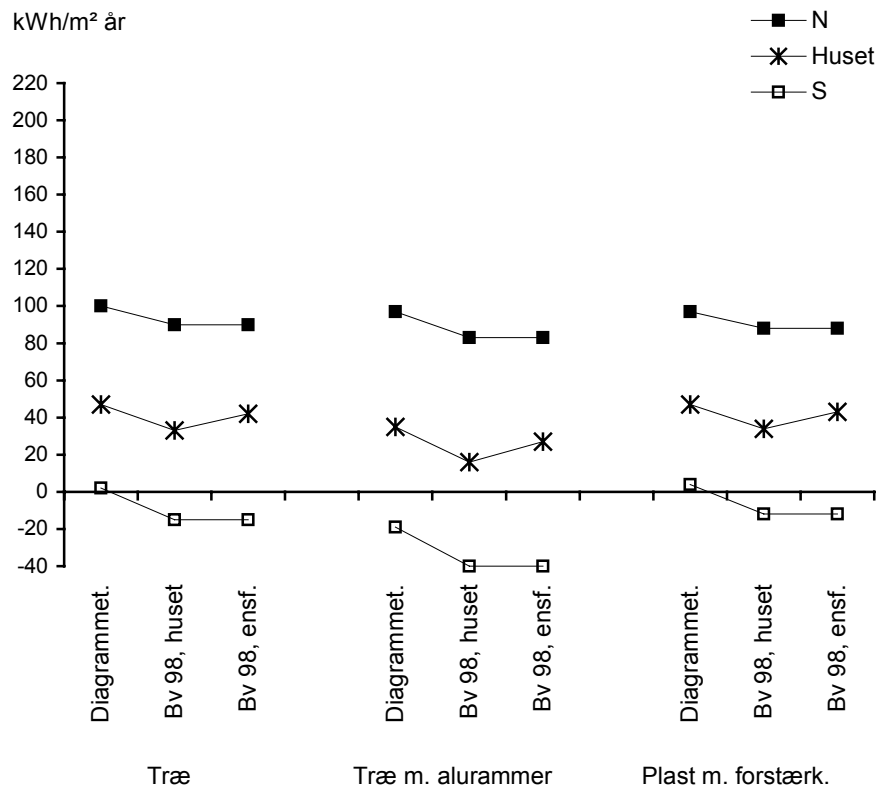
Figur 34. Nettovarmetab i kWh/m² år for udadgående, tophængt vindue af plast med metalforstærkning, dimension 1,230 x 1,480 m og forskellige rudetyper, beregnet ved hjælp af diagrammetoden.

I figur 35 er vist nettovarmetabet for forskellige dimensioner udadgående, tophængte vinduer. Det ses, at de små vinduer har et væsentlig dårligere nettovarmetab end de middelstore og store vinduer.



Figur 35. Nettovarmetab i kWh/m² år for forskellige dimensioner udadgående, tophængt vinduer henholdsvis af træ, træ med aluminiumsrammer og plast med metalforstærkning, beregnet ved hjælp af diagrammetoden. Ruden er i alle tilfælde en energirude med argon og almindelige afstandsprofiler i stål eller aluminium.

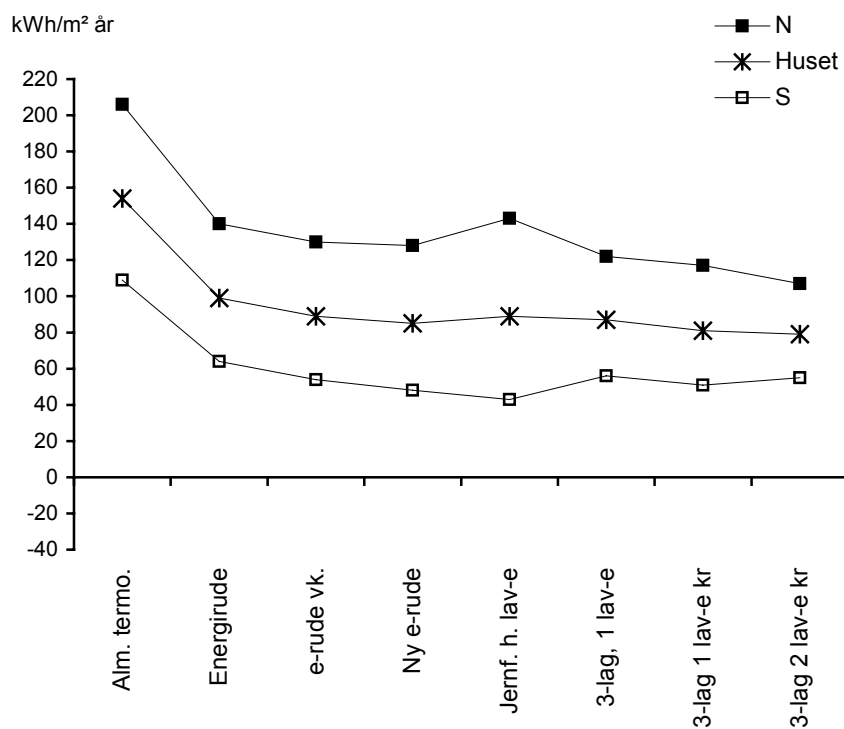
I figur 36 er vist beregningsmetodens indflydelse på det beregnede nettovarmetab for vinduerne. Det ses, at det beregnede nettovarmetab afhænger noget af den anvendte metode. Med de benyttede parametre beregner Bv98-metoden et lidt gunstigere nettovarmetab end diagrammetoden for huset anvendt i diagrammetoden. I begge tilfælde er beregningen for huse, der er forholdsvis frit eksponeret af solen. For huse, der ligger mere i skygge, vil vinduernes nettovarmetab være mindre gunstigt, og U-værdien vil i forhold til g-værdien have relativt større betydning. Det ses også, at der med den valgte fordeling af vinduerne i huset opnås et lidt gunstigere beregnet nettovarmetab, end hvis vinduerne var ensfordelt med 25 % af arealet mod henholdsvis nord, øst, vest og syd.



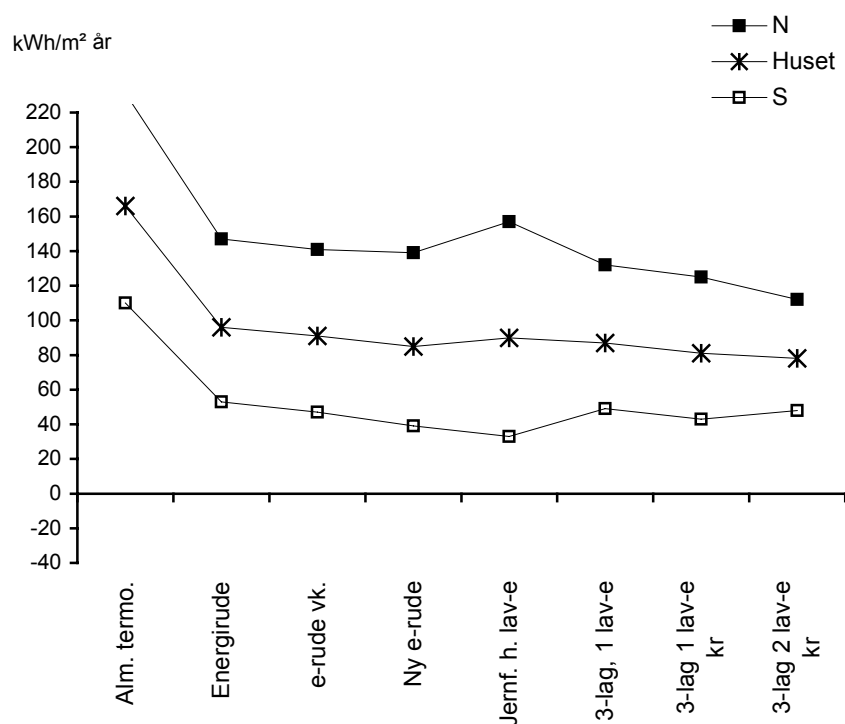
Figur 36. Beregningsmetodens indflydelse på nettovarmetab i kWh/m² år for udadgående, tophængt vindue af henholdsvis træ, træ med aluminiumsrammer og plast med metalforstærkning. Vinduesdimension 1,230 x 1,480 m. Ruden er i alle tilfælde en energirude med argon og almindelige afstandsprofiler i stål eller aluminium.

I figurerne 37-39 er nettovarmetabet vist for nye dannebrogsvinduer af henholdsvis træ, træ med aluminiumsramme og plast med metalforstærkning med dimension 1,230 x 1,480 m og forskellige rudetyper. Det ses, at nettovarmetabet for dannebrogsvinduerne er mindre gunstig end for de tilsvarende tophængte, udadgående vinduer.

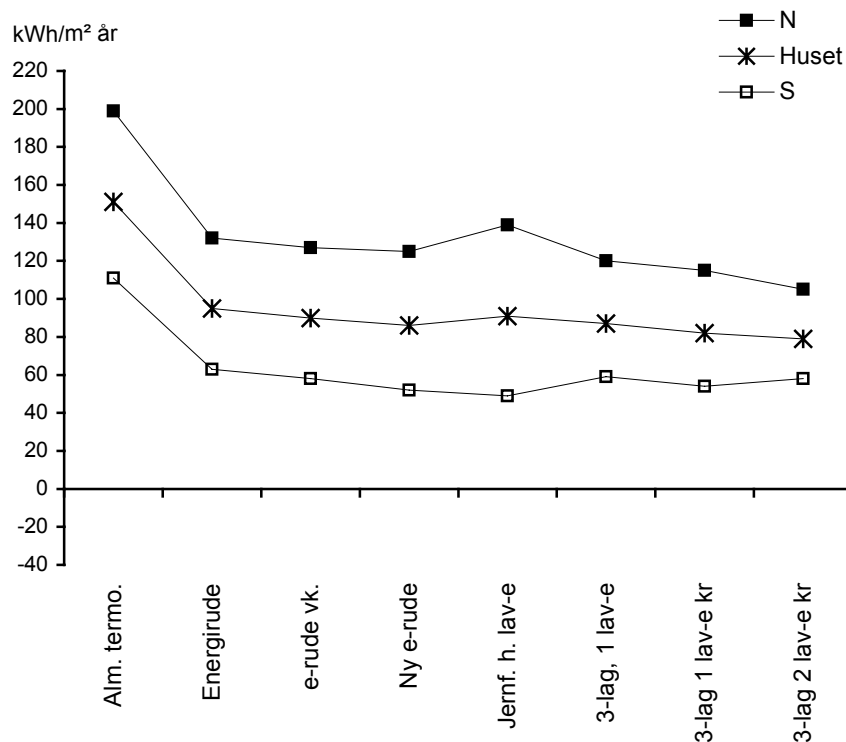
I figur 40 er på tilsvarende måde vist nettovarmetabet for ældre dannebrogsvinduer af træ renoveret med en forsatsramme af træ til et lag glas. Det ses, at der ved at anvende energiglas i forsatsrammen kan opnås et nettovarmetab for ældre, renoverede dannebrogsvinduer, der er lidt gunstiger end for nye dannebrogsvinduer med 2-lagsenergiruder.



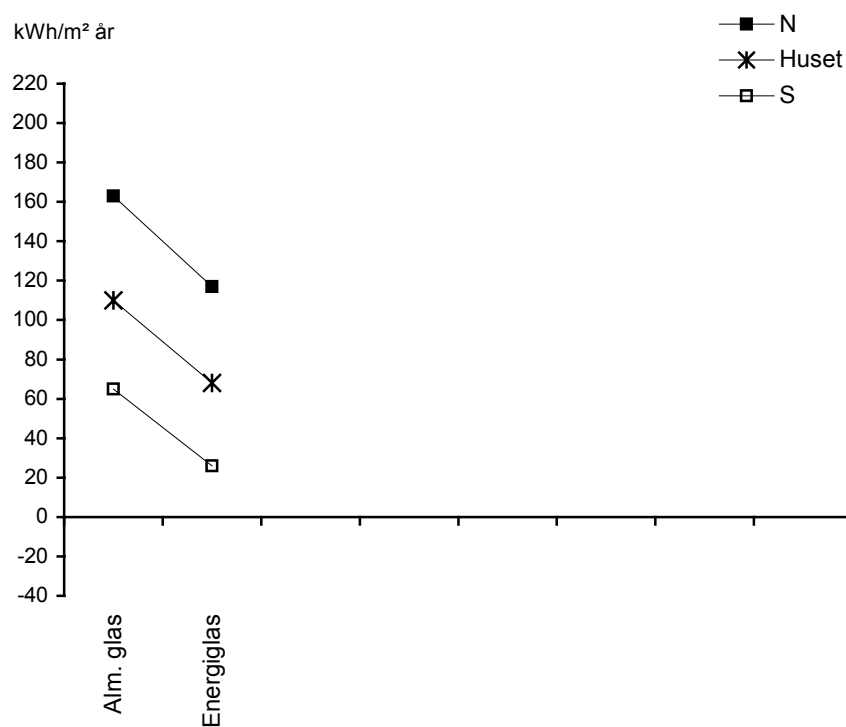
Figur 37. Nettovarmetab i kWh/m² år for dannebrogsvindue af træ med dimension 1,230 x 1,480 m og forskellige rudetyper, beregnet ved hjælp af diagrammetoden.



Figur 38. Nettovarmetab i kWh/m² år for dannebrogsvindue af træ med aluminiumsrammer, dimension 1,230 x 1,480 m og forskellige rudetyper, beregnet ved hjælp af diagrammetoden.

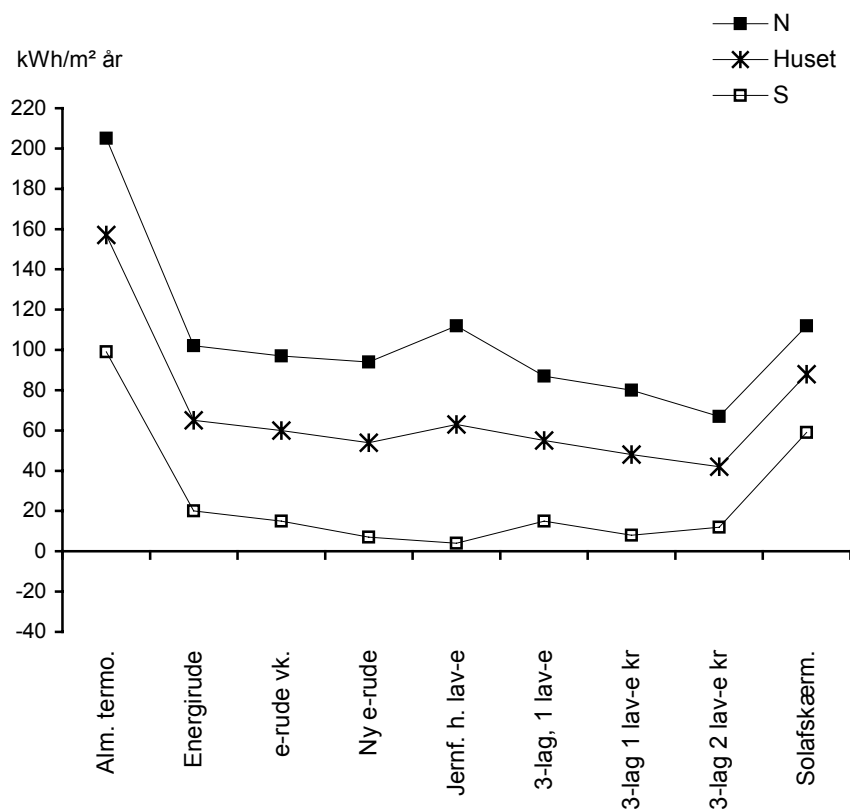


Figur 39. Nettovarmetab i kWh/m² år for dannebrogsvindue af plast med metalforstærkning, dimension 1,230 x 1,480 m og forskellige rudetyper, beregnet ved hjælp af diagrammetoden.

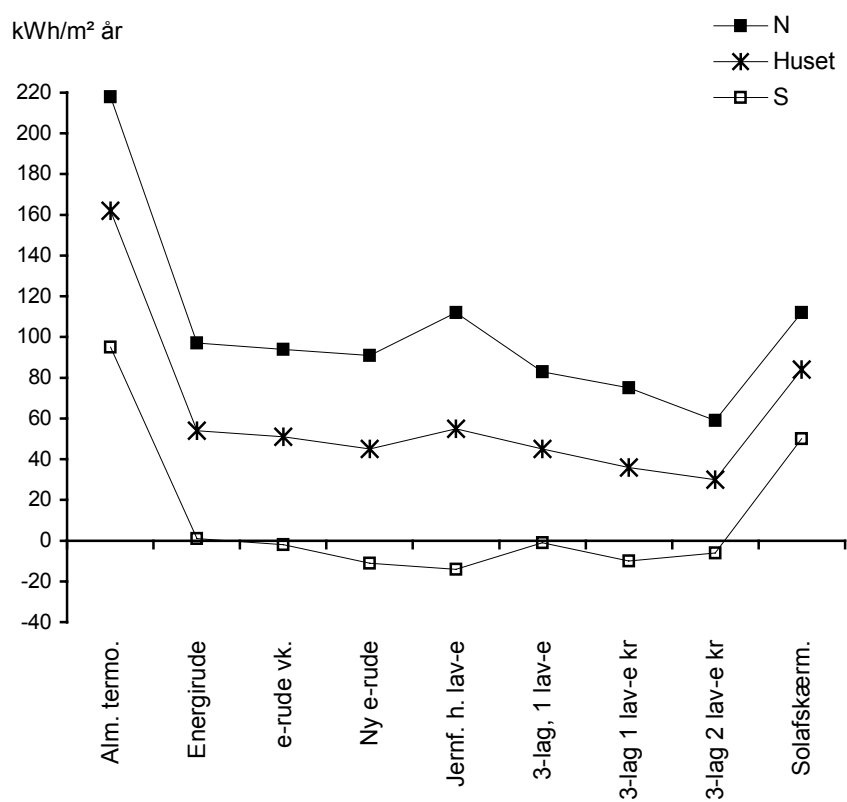


Figur 40. Nettovarmetab i kWh/m² år for ældre dannebrogsvindue af træ med forsatsramme til 1-lagsglas, dimension 1,230 x 1,480 m, beregnet ved hjælp af diagrammetoden.

I figurene 41 og 42 er vist nettovarmetabet for udadgående, tophængte vinduer af henholdsvis træ og træ med aluminiumsrammer anvendt i kontorer, skoler og institutioner. Det ses, at nettovarmetabet for vinduerne er mindre gunstig, når de anvendes i kontorer, skoler og institutioner, end når de anvendes i boliger. Det ses også, at anvendelsen af solafskærmende ruder forringer vinduernes nettovarmetab væsentligt.



Figur 41. Nettovarmetab i kWh/m² år for udadgående, tophængt vindue af træ med dimension 1,230 x 1,480 m og forskellige rudetyper. Kontorer, skoler og institutioner beregnet med Bv98-metoden.



Figur 42. Nettovarmetab i kWh/m² år for udadgående, tophængt vindue af træ med aluminiumsrammer, dimension 1,230 x 1,480 m og forskellige rudetyper. Kontorer, skoler og institutioner beregnet med Bv98-metoden.

Energi- og indeklimamæssige konsekvenser ved valg af rudetype

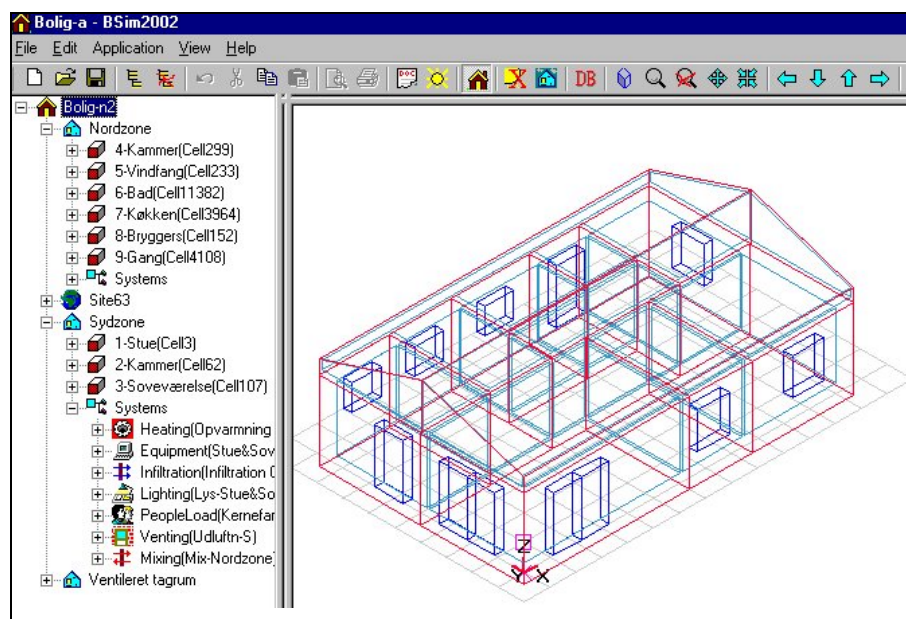
Ved hjælp af diagrammetoden eller Bv98-metoden kan man få en hurtig, overslagsmæssig vurdering af, hvordan energibalancen eller nettovarmetabet over opvarmningssæsonen vil være for et enkelt vindue i en tænkt bygning. Som det fremgår af kapitlet 'Vinduernes nettovarmetab' afhænger nettovarmetabet dog af, hvilken bygningstype vinduet anvendes i, især fordi udnyttelsen af solindfaldet er forskellig for forskellige bygninger. I en kontorbygning, hvor der er store interne varmebelastninger i arbejdstiden, er udnyttelsen mindre end i en bolig, hvor de interne varmebelastninger typisk er små om dagen og større om aftenen.

Valg af vindues- og rudetype har imidlertid også betydning for det termiske og det visuelle indeklima i bygningen. Varmetilskuddet, der i fyringssæsonen betragtes som noget positivt, bliver om sommeren til et varmeoverskud, som kræver solafskærmning og ventilation samt i kontorbygninger tillige ofte mekanisk køling. Rudernes lystransmittans har også betydning for hvor meget dagslys, der er i bygningen, hvor meget behov der vil være for at bruge solafskærmning for at beskytte brugerne mod blænding fra vinduerne, og dermed også for, hvor stort behovet vil være for supplerende elektrisk lys.

Disse forhold kan ikke belyses med de simple metoder, men kræver langt mere detaljerede beregninger med et beregningsværktøj, som kan tage hensyn til de dynamiske variationer i varmetilskud og varmetransport i bygningskonstruktionerne. I dette kapitel gengives resultaterne af beregninger foretaget med programpakken BSim2002 (Wittchen, Johnsen og Grau, 2000-2002) dels for et enfamiliehus, dels for et kontor.

Boliger

Figur 43 viser et skærbillede af enfamiliehuset, som er simuleret i BSim2002. Huset svarer til det eksempel, som anvendes i DS 418 (Dansk Standard. 2002), og er i simuleringerne opdelt i en nordzone og en sydzone.



Figur 43. Skærbillede fra BSim2002 af enfamiliehuset, som er simuleret for at analysere betydningen af rudevalg for varmebehov, lysbehov samt indeklimaforhold.

Der er foretaget simuleringer for syv forskellige rudetyper, som vist i tabel 42. Da simuleringerne bl.a. tjener til at analysere rudevalgets betydning for dagslysfald og kunstlysbehov, er der medtaget to solafskærmende ruder med en noget lavere lystransmittans end normale energiruder, henholdsvis 0,66 og 0,50. Alle ruderne har tillige indgået i en undersøgelse af, hvordan brugerne oplever dagslyset ved forskellige rudetyper. Hovedresultaterne af denne undersøgelse beskrives sidst i dette kapitel.

Tabel 42. Oversigt over rudetyper i BSim2002 simuleringer. Vinduesrammerne antages i alle tilfælde at være trærammer. Data er aflæst fra (Pilkington Danmark, 1998) og (Pilkington Danmark, 2002).

Betegnelse	Rudebeskrivelse	Center U-værdi	LT (lys- transmittans)	g (total sol- transmittans)
O	Traditionel 2-lags termorude	2,76	0,82	0,76
A	4-15Ar-K4, Energirude med én hård belægning og argon fyldning	1,48	0,76	0,72
B	4w-15Ar-K4, Energirude med ét jernfattigt glas, én hård belægning og argon fyldning	1,48	0,77	0,78
C	4-15Ar-SN4, Energirude med én blød belægning og argon fyldning	1,15	0,79	0,63
D	4SN-15Ar-4-15Ar-SN4, 3-lagsenergirude med to bløde belægninger og argon fyldninger	0,63	0,70	0,46
E	6Ht-15Ar-4, Solafskærmende energirude med argonfyldning	1,12	0,66	0,42
F	6Hbm-15Ar-6, Solafskærmende energirude med argonfyldning	1,07	0,50	0,26

Med BSim2002 beregnes energi- og temperaturforhold time for time gennem hele den valgte simuleringsperiode, fx et helt år. Herudfra opstilles en komplet energibalance måned for måned og for hele simuleringsperioden. Ved de forenklede metoder til bestemmelse af nettovarmetab eller 'energibalancen' for den enkelte rude eller det enkelte vindue tages kun hensyn til varmetab og varmetilskud inden for fyringssæsonen.

Ved BSim-simuleringerne, hvor der også ønskes en vurdering af de termiske forhold og behovet for ventilation og køling, betragtes hele året, og derfor kan de to typer metoder ikke direkte sammenlignes. Ved BSim-beregningerne opstilles energibalancen for hele bygningen og for hver af de termiske zoner, som bygningen inddeles i.

Et eksempel på det resulterende nettovarmetab er vist i tabel 43. Ved vurdering af rudevalgets betydning er det især størrelserne af varmebehov (qHeating), solindfald (qSunRad) samt størrelsen af belysningen (qLighting), der har interesse. I modellen for simulering af belysning tages der hensyn til variationen i lysindfald time for time, ligesom rudetypens lystransmittans og evt. brug af solafskærmning indregnes.

Foruden de enkelte bidrag til nettovarmetabet giver BSim2002 også en oversigt over middelforhold af den operative temperaturen (tOp mean), luftskiftet (AirChange), fugtigheden (RelMoist), zonen CO₂-indhold (CO₂) samt den oplevede indeklimakvalitet (PAQ). Endelig gives der en udskrift af antallet af timer over valgte temperaturgrænser, fx viser tabel 43, at temperaturen 26 °C overskrides med 268 timer fordelt i månederne juni-august.

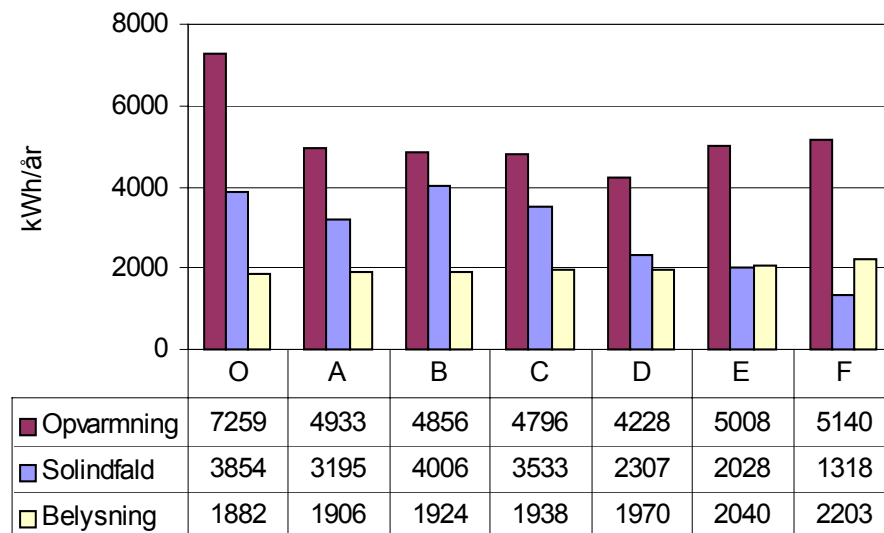
Tabel 43. Gengivelse af energibalance beregnet med BSim2002, her for den termiske zone 'Sydzone'. Betegnelserne qHeating, qCooling etc. angiver de enkelte bidrag til zonens energibalance over den valgte periode (her hele året). Linie 2 angiver valgte simuleringsparametre i BSim2002.

Nettovarmetab for bolig A, enfamiliehus med rudetype A

<i>Year 2003 Tstep=6, Options: optimized xsun longwsky longwave latheat</i>													
Sydzone	Sum/ Mean	Jan 1	Feb 2	Mar 3	Apr 4	May 5	Jun 6	Jul 7	Aug 8	Sep 9	Octr 10	Nov 11	Dec 12
qHeating	2485	517	442	353	200	38	0	0	0	34	140	296	464
qCooling	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
qInfiltration	-1559	-204	-189	-183	-142	-98	-74	-70	-70	-82	-113	-148	-185
qVenting	-1537	-17	-35	-53	-125	-206	-237	-246	-246	-195	-110	-46	-20
qSunRad	2790	99	159	232	301	346	342	347	336	259	189	113	67
qPeople	947	80	73	80	78	80	78	80	80	78	80	78	80
qEquipment	1314	112	101	112	108	112	108	112	112	108	112	108	112
qLighting	1005	122	97	89	65	57	48	51	61	76	102	114	124
qTransmission	-5410	-707	-648	-630	-485	-328	-260	-262	-256	-280	-399	-515	-640
qMixing	-37	-1	-1	-1	-1	-1	-4	-12	-16	2	0	0	-1
qVentilation	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
tOutdoor mean	7,7	-0,5	-1	1,7	5,6	11,3	15	16,4	16,2	12,5	9,1	4,8	1,5
tOp mean	21,8	21	21	21	21,1	21,8	23,2	23,9	23,8	21,5	21,1	21	21
AirChange/h	2	1,4	1,4	1,5	1,8	2,3	2,6	2,8	2,7	2,3	1,8	1,5	1,4
Rel. Moist.(%)	40,3	29,3	27,2	30,1	34,7	42	49,9	52,9	50,4	54	43,7	39	30,4
Co2(ppm)	651,1	732	730,8	724,1	687,4	609,7	551,4	528,2	529,7	606,3	673,8	711,7	728
PAQ	0,4	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6
Hours > 22	2137	0	3	7	36	237	457	612	608	150	26	1	0
Hours > 24	935	0	0	0	0	37	207	333	345	13	0	0	0
Hours > 26	268	0	0	0	0	0	106	99	63	0	0	0	0
Hours < 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Resultater

Simuleringsresultaterne viser, at ved anvendelse af energiruder i boliger reduceres varmebehovet med mindst 33 % i forhold til traditionelle termoruder. For de undersøgte typer af energiruder er det derimod ikke så afgørende, hvilken type der vælges. En høj isoleringsevne (lav U-værdi) og en høj soltransmittans er begge faktorer, som reducerer energibehovet i boliger. Resultaterne viser således, at der er stor forskel på solindfaldet i boligen med de forskellige rudetyper, jf. figur , og at en høj soltransmittans delvist kompenserer for et øget varmetab.



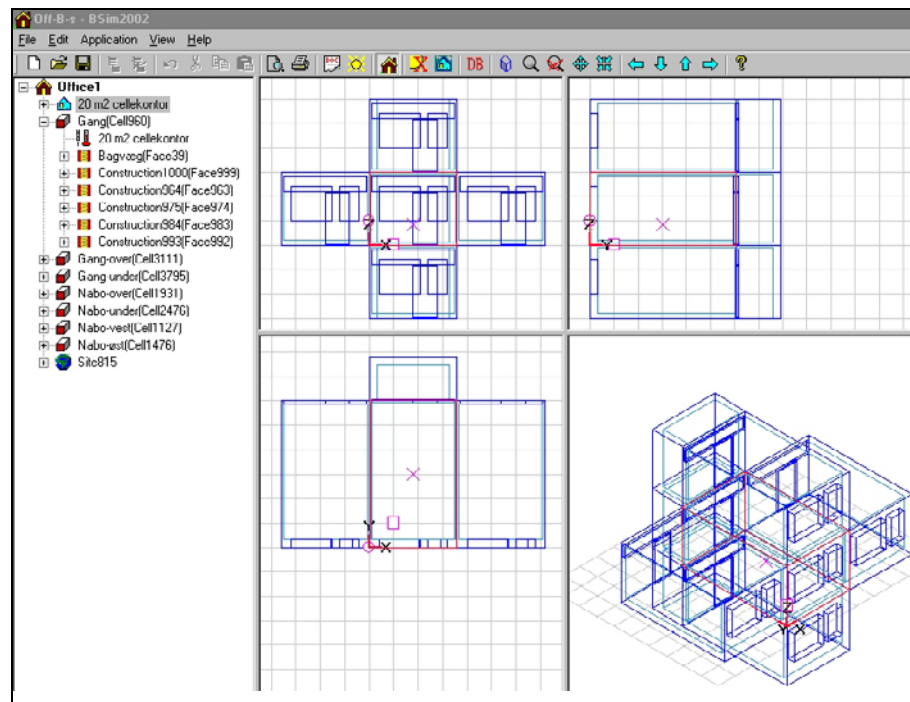
Figur 44. Uddrag af års-energibalancer for en bolig med 7 rudetyper. Mens der er store variationer varmebehov og solindfald, har rudevalget begrænset betydning for behovet for kunstig belysning.

Bortset fra den traditionelle termorude (type O), er forskellen i varmebehov således ret beskeden, ca. 19 % mellem største og mindste. Forskellen i belysningsbehov er ligeledes ret begrænset, ca. 14 % mellem største og mindste. Når den store forskel i solindfald ikke influerer mere på belysningsbehovet, hænger det sammen med, at der er antaget et typisk brugsprofil for boligen, hvor familien ikke er meget hjemme på hverdage i dagtimerne, og hvor solen kunne bidrage til belysningen (især tidlig formiddag og sen eftermiddag).

Ser man på summen af energiforbrug til opvarmning og belysning, viser figur 44, at 3-lagsruden (type D) giver det laveste energiforbrug. Dette gælder også, selvom man omregner energibehovene til primære energikilder. De to solafskærmende ruder (E og F) giver de højeste energiforbrug til belysning, og bortset fra den traditionelle termorude giver de solafskærmende ruder også de højeste forbrug til opvarmning.

Kontorer

Kontoret, der regnes på, er et cellekontor på 20 m². Det antages, at der på 4 sider findes tilsvarende kontorrum, mens bagvæggen vender ud mod et gangareal, se figur 45.

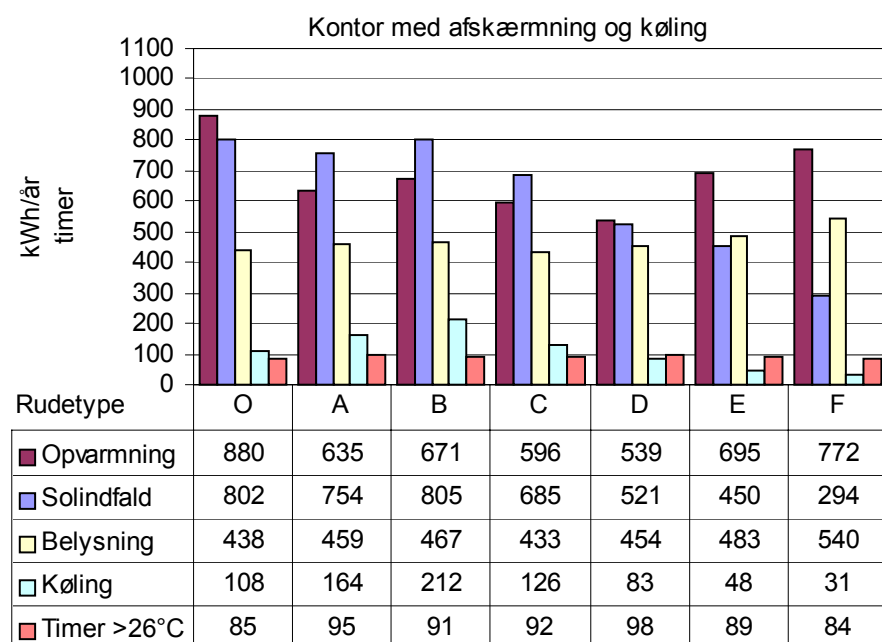
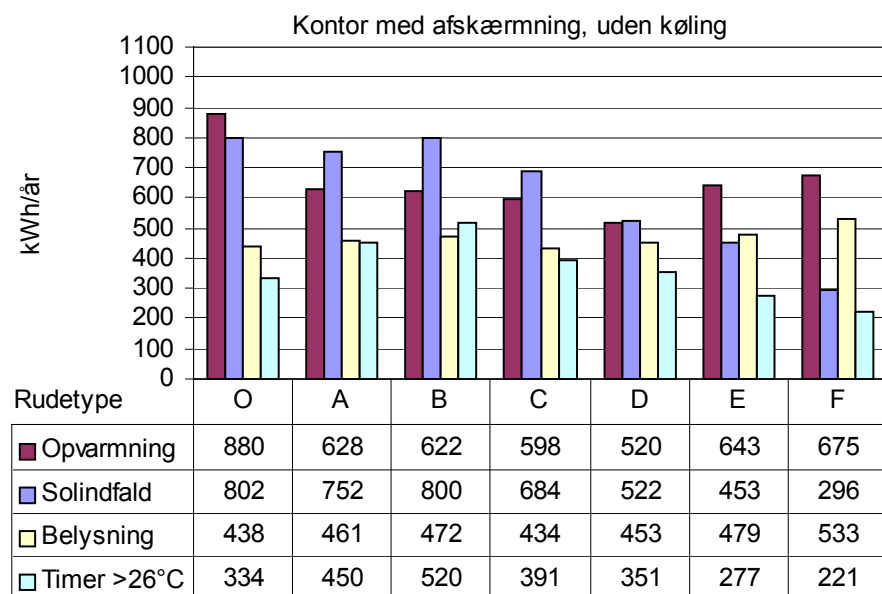
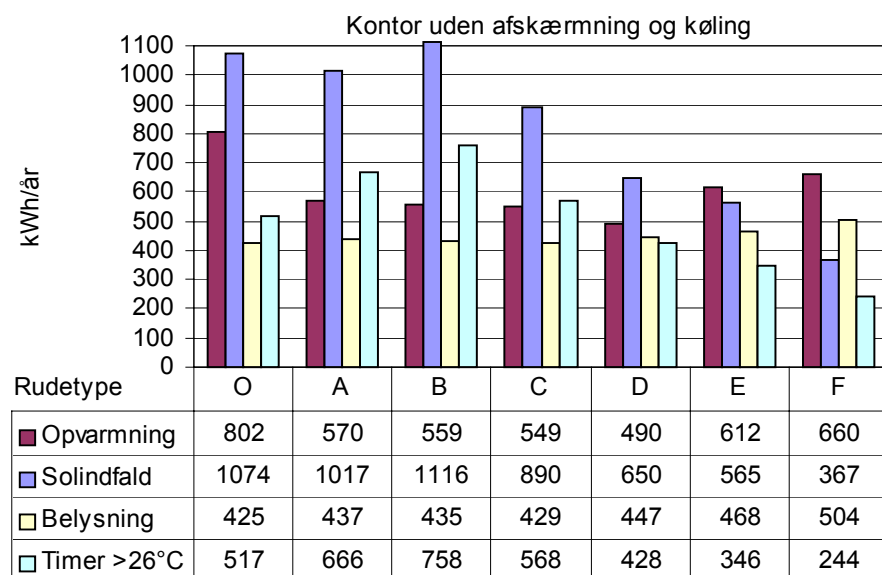


Figur45. Skærmbillede af kontoret, der er simuleret med BSim2002. Kontoret som simuleres er fremhævet med rødt, mens der antages at være samme termiske forhold i rummene omkring det aktuelle.

Kontoret er simuleret med de samme rudetyper som boligen, vist i tabel 42. Da kontorer ofte har høje interne varmebelastninger fra belysning og udstyr (pc'er m.m.), vil højt solindfald resultere i høje overtemperaturer i sommermånederne, såfremt der ikke afskærmes effektivt eller ventileres og køles mekanisk. Der er derfor gennemført tre sæt beregninger, ét sæt uden afskærmning og køling, ét med afskærmning alene og ét med både afskærmning og køling.

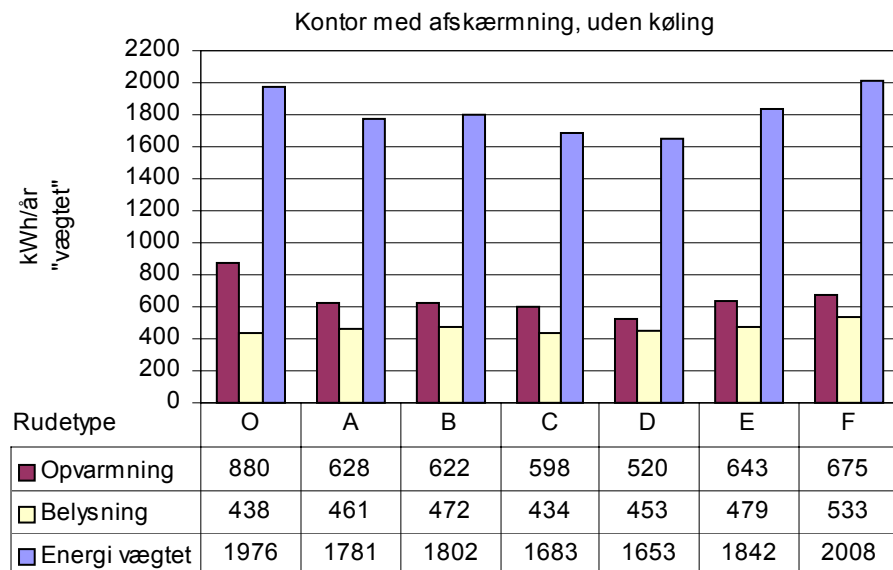
Resultater

Figur 46 viser en grafisk sammenstilling af hovedresultaterne. Figuren viser, at det ikke har megen mening at se på de energimæssige konsekvenser af rudevalget isoleret. Både opvarmningsbehov og behov for kunstlys er markant større for de to solafskærmende ruder, rude E og F i forhold til energiruderne A-D. Når der ikke regnes med brug af solafskærmning (øverste diagram), er varmebehovet markant lavere ved 3-lagsenergiruden (med en U-værdi på 0,63) i forhold til de øvrige. De to solafskærmende ruder E og F, som også har lave U-værdier, har derimod de højeste varmebehov på grund af den lave soltransmittans. Det høje solindfald har imidlertid den konsekvens, at indetemperaturen bliver uacceptabel høj, hvilket fremgår af tallene for antal timer over 26 °C (for hele året).



Figur 46. Årlige energiforbrug til opvarmning, belysning og køling samt solindfald og antal timer over 26 °C for kontorrum med syv forskellige rudetyper, som vist i tabel 42. Simuleringerne er foretaget for tre tilfælde: Uden afskærmning og køling, med afskærmning samt med både afskærmning og køling.

I praksis vil det derfor være nødvendigt at bruge en solafskærmning i en stor del af året. Ved det andet sæt BSim-simuleringer er det antaget, at solafskærmningen trækkes for, når solindfaldet på facaden overstiger en vis grænse (ca. 200 W/m²) eller når indetemperaturen overstiger 23,5 °C, midterste og nederste diagram i figur 46. Solafskærmningen reducerer solindfaldet med 20-25 %, og øger varmebehovet med op til 10 % mest i de tilfælde, hvor ruden har høj soltransmittans. Antallet af timer over 26 °C er reduceret væsentligt, men er næsten dobbelt så højt (391 timer) ved den typiske energirude (rude C) som ved den kraftigt solafskærmende rude (rude F, 221 timer). Bortset fra termoruden (rude O) er det samlede energiforbrug til opvarmning og belysning størst ved de to solafskærmende ruder (E og F) og lavest ved 3-lagsruden (D) og den typiske energirude (C). Såfremt der foretages en pris- eller miljømæssig vægtning af elenergi, fx med en faktor 2,5 i forhold til varmeenergi, fås relative energiforhold, som vist i figur 47.

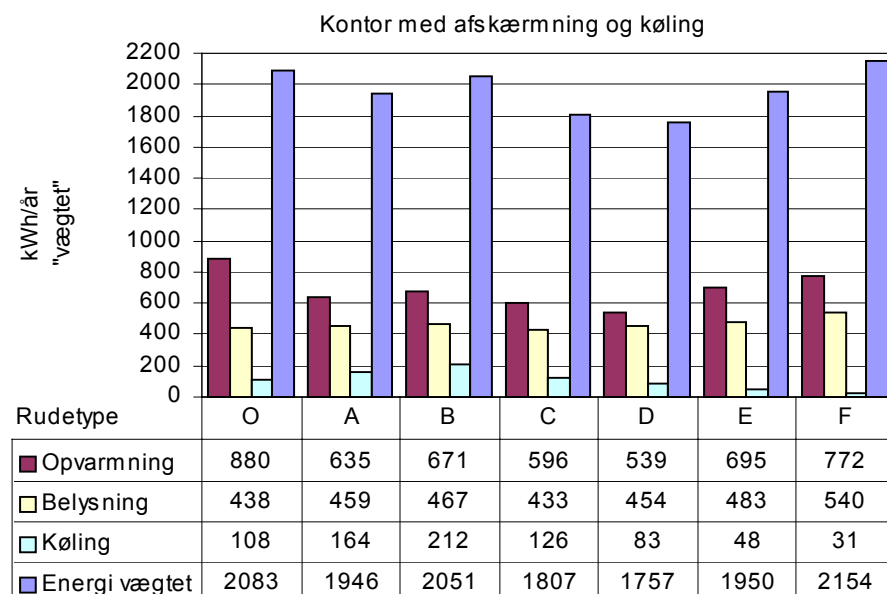


Figur 47. Energibehov i kontoret med de 7 rudetyper, når der anvendes solafskærmning. Elenergi er vægtet med en faktor 2,5 i forhold til varmeenergi.

Såfremt det skønnes nødvendigt at have mekanisk køling i kontorbygningen, kan forholdet mellem energibehovene yderligere forskyde sig. Nederste diagram i figur 46 viser energibehovene i kontoret, når der både anvendes solafskærmning og mekanisk køling. Kølebehovet er tilpasset således, at antallet af timer over 26 °C bringes på nogenlunde samme niveau ved de 7 rudetyper. Summen (uvægtet) af energibehov er størst ved termoruden (rude O), hvorefter følger den kraftigt solafskærmende rude (F) samt energirude B med jernfattigt glas, der har den højeste soltransmittans (g-værdi = 0,78). Rude D med 3 lag glas samt den typiske energirude (C) ligger lavest i energibehov. Såfremt energibehovene vægtes, med faktoren 2,5 på elenergi og faktoren 1,0 på køleenergi i forhold til varmeenergi, fås energiforhold som vist i figur 48.

Faktorerne, der vægtes med, vil afhænge af mange forhold, bl.a. den aktuelle lokalitet, men også tidsperioderne for de konkrete varme- og elforbrug. Elforbruget til belysning falder typisk uden for spidsbelastningsperioder på kraftværkerne, mens kølebehov ofte falder sammen med spidsbelastningen. Prisen på køleenergi afhænger af den praktiske effektfaktor for køleanlægget (se fx Kjerulf-Jensen, Danig og Nielsen. 2002).

Når energibehovene vægtes, har den kraftigt solafskærmende rude (F) den absolut højeste 'energibelastning', mens rude D og C fortsat ligger lavest.



Figur 48. Energibehov i kontoret med de 7 rudetyper, når der anvendes både solafskærmning og mekanisk køling. Elenergi til belysning er vægtet med en faktor 2,5 i forhold til varmeenergi, mens køleenergi antages at have samme pris som varmeenergi.

Dagslyskvalitet

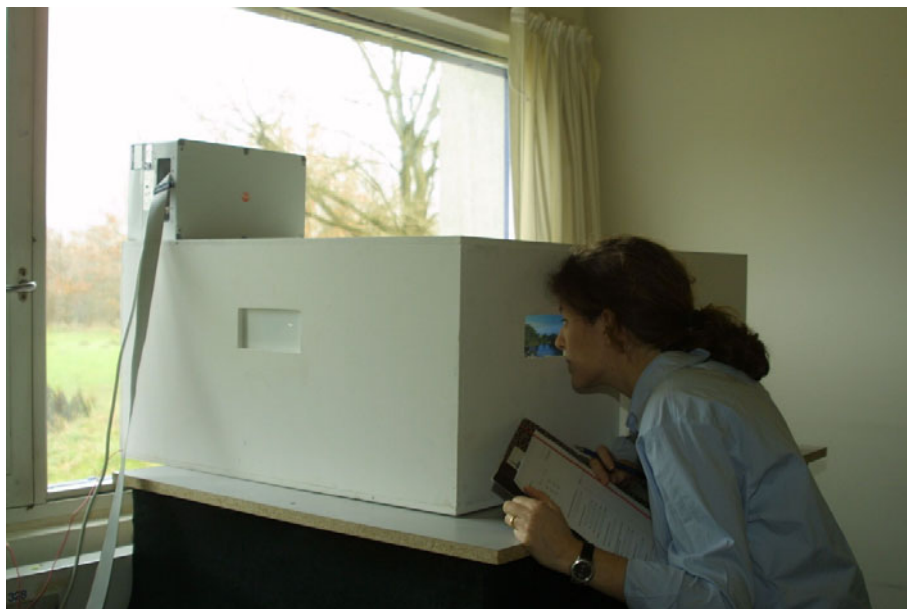
Bygningsreglementets krav om en varmeisoleringssevne for vinduer, udtrykt ved en U-værdi på ikke over 1,8 W/m²K, kan i praksis kun opfyldes ved anvendelse af 2-lags (eller 3-lags) ruder med mindst én lav-emissionsbelægning. Bygningsreglementet stiller også krav om, at der 'ved valg af materialer, vinduesarealer, orientering og solafskærmning skal sikres, at der opnås hensigtsmæssige temperaturforhold også i sommerperioden, og at gener ved direkte solstråling skal undgås'.

For bygninger med store vinduesarealer kan dette temperaturkrav kun opfyldes, hvis der anvendes en effektiv solafskærmning. For at reducere solindfaldet tilstrækkeligt er arkitekten derfor ofte fristet til at anvende ruder med en solafskærmende belægning, hvorved solindstrålingen kan reduceres til under halvdelen af det, som passerer en 2-lags rude uden belægning. Men denne reduktion opnås imidlertid ikke uden ulemper.

Som påvist i de foregående afsnit, kan belægningernes reduktion af sol- og lysindfald influere kraftigt på bygningens energibalance og medfører øget energiforbrug til opvarmning og belysning. En anden og måske mere alvorlig ulempe ved belægningerne er, at de ændrer spektralfordelingen og forvrænger farverne på dagslyset i rummet og på det, som ses gennem vinduet (udsigten). Desuden kan disse ændringer påvirke oplevelsen af rummets kvaliteter i form af lysfordeling, luminansforhold, farvegengivelse og synlighed af detaljer.

For at undersøge hvordan rudebelægningerne kan påvirke brugernes opfattelse af rummet og lyset i rummet m.m., har Statens Byggeforskningsinstitut gennemført en serie undersøgelser med forsøgspersoner og anvendelse af skalamodeller. Undersøgelserne er et mindre pilotprojekt under Energistyrelsens 'Projekt Vindue' (se www.projekt-vindue.dk).

Forsøgssopstillingen er vist i figur 49. Ved at bruge skalamodeller, er det muligt at afprøve mange rudetyper i forsøget. Hver af skalamodellerne var møbleret med objekter med forskellig farve, form og tekstur. Den ene af skalamodellerne blev benyttet som 'referencerum' og var udstyret med en 2-lags rude med ét lag jernfattigt glas og ét lag glas med (hård) lavemissionsbelægning (rudetype B).



Figur 49. Forsøgspersonen vurderer dagslysf forholdene i skalamodel, som kan isættes rude med forskellige typer belægning.

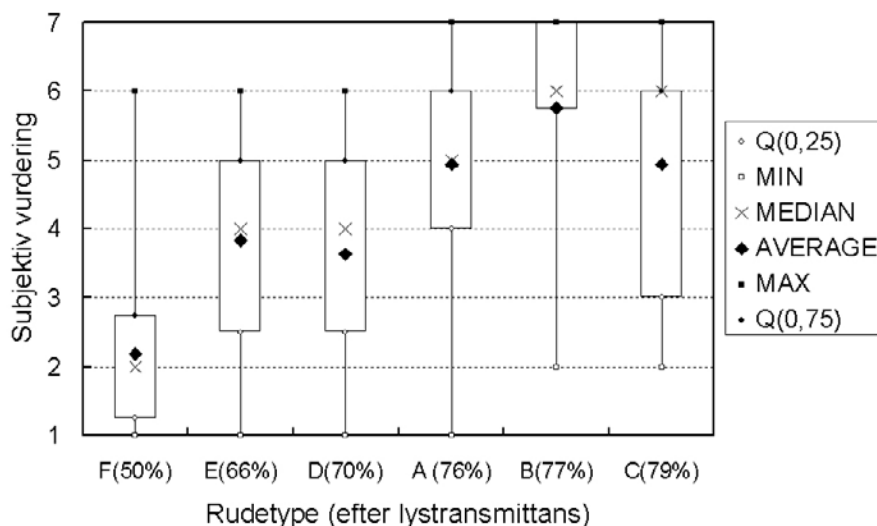
I forsøgene blev 18 forsøgspersoner (alle under 45 år og med normalt farvesyn) bedt om først at se ind i referencerummet og udfylde et 2-siders spørgeskema. For alle spørgsmål skulle deltagerne foretage en vurdering på en såkaldt bipolar skala med 7 trin (fx sløret/skarpt fra 1 til 7). Dernæst blev forsøgspersonerne bedt om at se ind i testrummet og udfylde et spørgeskema magen til det første. Så snart det andet spørgeskema var blevet udfyldt, blev ruden i test rummet udskiftet, og forsøgspersonen blev bedt om at vurdere forholdene i testrummet på ny og udfylde et tredje spørgeskema magen til de to første. Dette sidste trin blev gentaget en gang til, således at der i hver forsøgsrunde blev vurderet 3 testruder ud over ruden i referencerummet.

Hele proceduren blev gentaget, hver gang forsøgspersonen var i laboratoriet. Det var nødvendigt med 3 forsøgsrunder for at fuldende vurderingen. Spørgsmålene omfattede lyset i rummet, farver, detaljer og skygger på genstande, læsbarhed af en tekst, opfattelsen af vejret og farverne udenfor m.m.

Resultater

På spørgsmålet: Hvordan opfatter du dagslyset i dette rum? får rudetyperne A, B og C klart de mest positive bedømmelser. Generelt er forskellene i den subjektive vurdering af disse tre rudetyper små. Vurderingerne af de solafskærmende ruder (E og F) ligger ofte i den negative ende af skalaen (under 4). Rudetype D med 3 lag glas bliver vurderet en smule mere positivt end rudetype E, hvilket vil sige, at dagslyset og farverne inde og ude opfattes en smule klarere, skarpere, mere behageligt og naturligt samt mindre farvet og blændende. Forskellen i den subjektive vurdering mellem disse to rudetyper forekommer større end forventet, når man tager den lille difference i ruderens lystransmittans i betragtning (4 %).

Endelig får rudetype F den mest negative vurdering af alle de testede rudetyper, og forsøgspersonerne synes, at denne rude farver dagslyset i en sådan grad, at det betragtes som ubehageligt og uacceptabelt af de fleste, se figur . For mere detaljeret diskussion af resultaterne, henvises til rapporten Dubois, M-C. & Johnsen, K., 2003).



Figur 50. Forsøgspersonernes vurderinger vedr. spørgsmålet: Finder du dagslysets farve acceptabel? Ruderne er ordnet efter stigende lystransmittans mod højre. Den lodrette akse angiver forsøgspersonernes vurderinger med 1 som den mest negative og 7 som den mest positive vurdering. Diagrammerne viser minimum (MIN), median, gennemsnit, maksimum (MAX) samt den interkvartile vurdering (mellem $Q(0,25)$ og $Q(0,75)$) angivet ved vurderingerne. Den interkvartile vurdering er et gennemsnit af vurderinger fra 50 % ($n=9$) af forsøgspersonerne.

Konklusioner

BSim-simuleringerne viser, at for forskellige typer af 2-lagsenergiruder, som anvendes i en bolig, er forskellen i varmebehov og belysningsbehov meget beskeden (under 2 % på summen af disse energibehov) for de valgte eksempler. Simuleringerne viser også, at solafskærmende ruder reducerer solindfaldet så meget, at energiforbruget til opvarmning og belysning er væsentligt højere end for energiruder. Med mindre specielle forhold taler for det, bør solafskærmende ruder derfor ikke anvendes i boliger.

I kontorrum har den anvendte rudetype større indflydelse på varmebehov, belysningsbehov og kølebehov. Såfremt der anvendes en simpel (variabel) solafskærmning, er der begrænset forskel i energibehov til opvarmning og belysning for de simulerede 2-lagsenergiruder, med den typiske rude (C) som den mest energioekonomiske.

De solafskærmende ruder (E og F) giver i beregningseksemplet markant større varmebehov samt et større belysningsbehov end energiruderne A-D. De solafskærmende ruder giver for kontorrummet et mere acceptabelt termisk indeklima, men blot en simpel afskærmning kan kompensere væsentligt for dette og bringe det samlede energibehov på et lavere niveau. I tilfældet med afskærmning og mekanisk køling giver de to solafskærmende ruder (E og F) sammen med ruden med jernfattigt glas (rude B med den høje g-værdi på 0,79) de største samlede energiforbrug.

Pilotprojektet vedrørende dagslyskvalitet viser, at glas- og belægningstypen har en signifikant betydning for opfattelsen af lysheden (engelsk: brightness) og farverne i et rum, en moderat effekt på opfattelsen af detaljer, en lille effekt på opfattelsen af blænding fra vinduet, men ingen effekt på opfattelsen af skygger på og omkring objekter i rummet. Resultaterne antyder således, at kraftigt solafskærmende ruder med en lystransmittans under 60-70 % bør anvendes med omtanke. Resultaterne tyder også på, at opfattelsen af lyshed og andre visuelle aspekter såsom skarphed, detaljer, egen-skaber etc. synes at være et komplekst samspil mellem intensitet og farve i det transmitterede lys og ikke udelukkende afhængigt af rudens lystransmittans.

Litteratur

AB Svenska Miljöstyrningsrådet. (2000). *Bestämmelser för certifierade miljövarudeklarationer, EPD: Svensk tillämpning av ISO TR 14025 typ III miljödeklarationer* (MSR 1999:2). Stockholm.

Aggerholm, S., et al. (1995). *Bygningers energibehov: Varmeisolering. Konstruktionseksempler. Ventilation. Belysning* (SBI-anvisning 184). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Boustead, I. (1995). *Eco-profiles of the European plastics industry: Polyethylene terephthalate (PET)* (Report 8). Brussels: Association of Plastics Manufacturers in Europe, APME.

Boustead, I. (1997a). *Ecoprofiles of EPDM*. Houston, TX: The International Institute of Synthetic Rubber Producers, IISRP.

Boustead, I. (1997b). *Eco-profiles of the European plastics industry: Polymer conversion* (Report 10). Brussels: Association of Plastics Manufacturers in Europe, APME.

Boustead, I. (1998). *Eco-profiles of the European plastics industry: Polyvinyl chloride* (Report 6). Brussels: Association of Plastics Manufacturers in Europe, APME.

Boustead, I., & Dove, W. T. (1998). *Ecoprofile of primary zinc production*. Brussels: International Zinc Association.

BPS-centret. (2000). *Håndbog i miljørigtig projektering*. (BPS-publikation 121-1). Taastrup.

Construction Audit. (1996). *HAPM component life manual*. London: E & FN Spon.

Danmarks Statistik. (2000). *Byggeri og boligforhold* (Statistiske efterretninger 2000:02). København.

Danmarks Statistik. (2002). *Byggeri og boligforhold* (Statistiske efterretninger 2002:17). København.

Dansk Standard. (2002). *Beregning af bygningers varmetab* (6. udg.) (DS 418:2002). Charlottenlund.

Dinesen, J., Hansen, A., & Trelldal, J. (2001). *Miljødeklarering og -klassificering af bygninger: Forslag til fremgangsmåde* (By og Byg Dokumentation 014). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Dubois, M.-C., & Johnsen, K. (2003). *Impact of coated windows on visual perception: A pilot study in scale models* (By og Byg Dokumentation). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

European Aluminium Association. (2000). *Environmental profile report for the European aluminium industry*. Brussels.

- Eyerer, P. (1999). *Integrated lifecycle assessment (LCA) of windows and curtain walls*. Part of collaborative project: Integrated lifecycle assessment of construction materials and buildings. Stuttgart: University of Stuttgart.
- Fernie, D., & Muneer, T. (1996). *Monetary, energy and environmental implications for infill gases used in high-performance windows*. *Building Services Engineering Research and Technology*, 17(1), 43-46.
- Glasindustrien. (2002). *Rudeproduktion i 1000 m² i perioden 1996-2000*. Glostrup. Upubliceret.
- Hansen, E. (1995). *Miljøprioritering af industriprodukter* (Miljøprojekt nr. 281). København: Miljøstyrelsen.
- Hansen, K., Fox, M., Haugaard, M., Krogh, H., & Skovsende, S. (2001). *Miljøvaredeklarering af byggevarer*. Upubliceret.
- Hanssen, J. O., et al. (2001). *Nordic co-ordinating system for environmental product declarations. (Type III)* (Draft version 3.0). Fredrikstad: Stiftelsen Østfoldforskning.
- Häkkinen, T., Ahola, P., Vanhatalo, L., & Merra, A. (1999). *Environmental impact of coated exterior wooden cladding*. Espoo: VTT Building Technology.
- International Organization for Standardization, ISO. (1996). *Environmental management systems: Specification with guidance for use* (ISO 14001:1996). Geneva.
- International Organization for Standardization, ISO. (1999). *Environmental labels and declarations: Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling)* (ISO 14021:1999). Geneva.
- International Organization for Standardization, ISO. (2000a). *Buildings and constructed assets - service life planning: Part 1 - General principles* (ISO 15686-1:2000). Geneva.
- International Organization for Standardization, ISO. (2000b). *Environmental labels and declarations: Type III environmental declarations* (ISO/TR 14025:2000). Geneva.
- International Organization for Standardization, ISO. (2002a). *Glass in building: Determination of energy balance value: Calculation method* (ISO 14438:2002). Geneva.
- International Organization for Standardization, ISO. (2002b). *Thermal performance of buildings - Calculation of energy use for space heating* (PrEN ISO 13790). Geneva.
- Isover. (2002). *Mængder af modtaget planglas i perioden 1996-2001*. Vamdrup. Upubliceret.
- Kjerulf-Jensen P., Danig P., & Nielsen, J. S. R. (2002). Køleenergi er ikke dyrere end varmeenergi. *Danvak Magasinet*, (8), 30-32.
- Knudsen, R., Nielsen, B. N., & Jensen, C. T. (2001). *Energiforbedringer af termoruder, fase 1*. Taastrup. Upubliceret.
- Koch, M., & Harnisch, J. (2002). CO₂ emissions related to the electricity consumption in the European primary aluminium production: A comparison of

electricity supply approaches. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 7(5), 283-289.

Kragh, J., Eriksen, S., & Svendsen, S. (2002). Thermal Characterisation of Edge Construction in Glazing. In A. Gustavsen, & J. V. Thue (Eds.), *Proceedings of the 6th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, Trondheim, June 17-19, 2002* (Vol. 1, pp. 127-134). Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige Universitet, NTNU.

Levetidstabeller: Bygningsforsikring for 1- og 2-familiehuse samt fritidshuse. Vejledning. (1999). København: Forlaget Forsikring.

Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen. (2000). *Listen over uønskede stoffer* (Orientering nr. 9, 2000). København.

Miljön, valsning och beläggning. (1994). (Miljörapport). Borlänge.

MRPI. (1998). *Manual for compiling environmentally relevant product information: Version 1.1*. Arnhem: Stichting MRPI.

Petersen, E. H. (2001). *BEAT 2001: Building environmental assessment tool: Et edb-værktøj til miljøvurdering af byggevarer, bygningsdele og bygninger*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Philipp, J. A., et al. (1994). Ökobilanzen für Stahlprodukte, Sachstand und Perspektiven. *Stahl und Eisen*, 114(11), 71-78.

Pilkington Danmark A/S. (1998). *Glasfakta 1998*. København.

Pilkington Danmark A/S. (2002). *Glasfakta 2002*. København.

Rexam Glass Holmegaard A/S. (2002). *Mængder af modtaget planglas i perioden 1996-2000*. Holmegaard. Upubliceret.

Richter, K., Brunner, K., & Bertschinger, H. (1996). *Ökologische Bewertung von Wärmeschutzgläsern: Integraler Vergleich verschiedener Verglasungsvarianten*. Dübendorf: EMPA.

Richter, K., Künniger T., & Brunner, K. (1996). *Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen verschiedener Rahmenmaterialien*. Dübendorf: EMPA.

Statens Byggeforskningsinstitut. (1999). *Småhuse* (2. udg.) (SBI-anvisning 189). Hørsholm.

Vinduesproducenternes Samarbejdsorganisation, VSO. (2002). *Vinduesproduktion i perioden 1996-2000*. Århus. Upubliceret.

Von Däniken, A., & Chudacoff, M. (1995). *Vergleichende ökologische Bewertung von Anstrichstoffen im Baubereich: Band 2. Daten*. (Umweltgefährdende Stoffe. Schriftenreihe Umwelt nr. 232). Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL.

Wenzel, H., Hauschild, M., & Rasmussen, E. (1996). *Miljøvurdering af produkter: UMIP - udvikling af miljøvenlige industri produkter*. Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Produktudvikling. København: Miljøstyrelsen, & Dansk Industri.

Wittchen, K. B., Johnsen, K., & Grau, K. (2000-2002). *BSim brugervejledning*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Bilag 1: Glasaffald

Tabel 42. Beregnet mængde af glasaffald i perioden 1996-2000.

		1996	1997	1998	1999	2000
Etageareal ¹⁾	Mio. m ²	512	515		525	530
Vinduesproduktion ²⁾	1000 stk.	948,8	1071,2	1052,2	1064,9	1085,9
Rudeproduktion ³⁾	1000 m ²	2306	2489	2475	2591	2713
<i>Glasaffald:</i>						
Spild ⁴⁾		8302	8960	8910	9328	9767
Vinduer ⁵⁾	T	10930	12340	12121	13268	12510
Ruder ⁶⁾	T	9397	9465	9598	10575	11493
Nedrivning ⁷⁾	T	2458	2472	2500	2520	2544
I alt	T	31087	33237	33129	34691	36414

1) Etageareal fra Danmarks Statistik nr. 17 (Danmarks Statistik, 2002).

2) Vinduesproduktion fra VSO Statistik (2001).

3) Rudeproduktion fra Glasindustrien (2002).

4) Spild: 8% ved produktion, 5% ved transport, 5% ved isætning.

5) Vinduer: Udskiftning 50 % og heraf ender 80 % i affaldet.

6) Ruder: Udskiftning 50 %.

7) Nedrivning: 0,3 % af bygningsmassen nedrives, (1 m² vindue pr. 10 m² etageareal).

Bilag 2: Farlige stoffer i imprægneringsmidler, lim, fugemasser og maling

Tabel 43. Farlige stoffer og uønskede stoffer i materialer i kantkonstruktion vurderet ud fra sikkerhedsdatablade (oplysninger fra Le Joint Francais).

Farlige stoffer		CAS nr.	%	g pr. vindue	Klassificering	R-sætning	Mal-kode
Butylklæber	Ingen			0,06			
Silikone	Komponent B						
Tokomponent	3-(2-aminoethylamino)propyltriethoxysilan	5089-72-5	<10		X _i	41	
	Bis(triethoxysilansilyl)methan	16068-37-4	>25		X _n	21/22	
	Ethanol ved hærdning	64-17-5				21/22-36	
PUR	Komponent A						
	Komponent B						
Tokomponent (00-3)	Diphenylmethan-4,4'-diisocyanat ²⁾	101-68-8	30-60		X _n	20-36/37/38-42/43	1-3
Polysulfid	Komponent A ¹⁾						
	0,43						
Tokomponent	Polysulfid copolymer	611-50-7	25-50			52/53	
	Komponent b ¹⁾						
	Mangandioxid	1313-13-9	25-50		X _n	20/22	
	Zinkdiethyldithiocarbamate	14324-55-1	1,0-2,5		X _n N;	22-36/37/38-43-50/53	
Polysulfid	Mangandioxid	1313-13-9	25-50		X _n	20/22	
Enkomponent	Thiram	1137-26-8	0-2,5		X _n	20722-36/37-40	

1) Blødgjort med phthalsyreestre.

2) Uønskede stoffer.

Tabel 44. Farlige stoffer i kemiske produkter anvendt i trævinduet.

Farlige stoffer		CAS nr.	%	g pr. vindue	Klassificering	R-sætning	Mal- kode
Imprægnerings- middel	Naphtha ^{1) 2)}	64742-48-9	80-90	0,9	X _N	10- 65	3-1
	Naphtha ^{1) 2)}	64742-82-1	10-20		X _N	10-51/55-65	
	Propiconazol ¹⁾	60207-90-1	0,37		X _{N,N}	22-51/53	
	Tebuconazol ¹⁾	107534-96-3	0,37		X _{N,N}	22-51/53	
	3-iodo-2-propynylbutylcarbamate ¹⁾	55406-53-6	0,20		X _{N,N}	20/22-41-51	
Spartelmasse	Mineralsk terpentin ¹⁾	8052-41-3	5-10	lille	X _N	10-48/20-65-66	2-1
Urethan	Solventnaphtha ^{1) 2)}	64742-88-7	1-5		X _N	10-48/20-65-66	
	2-butanonoxim ^{1) 2)}	96-29-7	<0,5		X _i	36-43	
	Organisk coboltforbindelse		<0,5		-		
Lim, knastlim				lille			00-3
Polyamid							
Grundmaling	Naphtha ^{1) 2)}	64742-48-9	<1,1	0,8	X _N	10-65	0-1
GORI 418	1-Methoxy-2-propanol ¹⁾	107-98-2	<0,5			10	
	Butylglycol ¹⁾	111-76-2	<0,5		X _N	20/21/22-37	
	1-Butoxy-2-propanol ¹⁾	5131-66-8	<1,0		X _i	36/38	
	Di-propylenglycol-methylether	34590-94-8	<1,0		-	-	
	3-iodo-2-propynylbutylcarbamate	55406-53-6	<0,3		X _{N,N}	20/22-41-50	
	Cobalt (II) salte af forgrenede fedtsyrer	68409-81-4	<0,2		X _i	38-43	
Dækmaling	Naphtha ¹⁾	64742-48-9	<1,5	0,8	X _N	65	0-1
GORI 890	1-Methoxy-2-propanol ¹⁾	107-98-2	<1,0			10	
	Butylglycol ¹⁾	111-76-2	<0,5		X _N	20/21/22-37	
	1-Butoxy-2-propanol ¹⁾	5131-66-8	<0,5		X _i	36/38	
	Metyl-3-(3-2H-Benzotriazol-2-yl)-5-ter	104810-48-2/	<1,0		X _{N,N}	43-48/22-51/53	
	Butyl-4-hydroxyphenyl)-propionat-derivat	104810-47-1					
		25322-68-3					
	3-iodo-2-propynylbutylcarbamate	55406-53-6	<0,5		X _{N,N}	20/22-41-50	

1) Flygtige komponenter.

2) Uønskede stoffer.

Tabel 45. Farlige stoffer i kemiske produkter anvendt i vinduet af træ og aluminium.

Farlige stoffer		CAS nr.	%	g pr. vindue	Klassifice- ring	R-sætning	Mal- kode
Spartelmasse	Mineralisk terpentin ¹⁾	8052-41-3	5-10	lille	X _N	10-48/20-65-66	2-1
Urethan	Solventnaphtha ¹⁾ ²⁾	64742-88-7	1-5		X _N	10-48/20-65-66	
	2-butanonoxim ¹⁾ ²⁾	96-29-7	<0,5		X _i	36-43	
	Organisk coboltforbindelse		<0,5		-		
Lim til hjørner	Viinylacetat	108-05-4	<0,1	lille			
Polyvinylacetat	Kathon LX	26172-55-4 2282-20-4	<20 ppm		F, V, C	11 20/21/22-41-43	
Lim til laminering tokomponent	Hærder.Aluminiumnitrat polyvinylacetat	7784-27-2 108-05-4	>50 <1		X _i , O F	8-36/38 11	
GORI 356	1-Methoxy-2-propanol ¹⁾	107-98-2	<0,5			10	0-3
	1-Butoxy-2-propanol ¹⁾	5131-66-8	<0,5		X _i	36/38	
	Di-propylenglycol-methylether	34590-94-8	<1,0		-	-	
	Propiconazol ¹⁾	60207-90-1	1,0		X _N , N	22-51/53	
	Tebuconazol ¹⁾	107534-96-3	0,5		X _N , N	22-51/53	
	3-iodo-2-propynylbutylcarbamate	55406-53-6	<0,5		X _N , N	20/22-41-50	
GORI 875	Hydroxyphenylbenzotriazol- derivater	104810-48-2 1104810-47-1 25322-68-3	<1,0		X _N , N	43-48/22-51/63	0-1
	1-Methoxy-2-propanol ¹⁾	107-98-2	<1,0			10	
	Butylglycol ¹⁾	111-76-2	<0,5		X _N	20/21/22-37	
	1-Butoxy-2-propanol ¹⁾	5131-66-8	<0,5		X _i	36/38	
	Naphtha ¹⁾ ²⁾	64742-48-9	<1,0		X _N	65-65	
	3-iodo-2-propynylbutylcarbamate	55406-53-6	<1,05		X _N , N	20/22-41-50	
Grunder							00-1
Polyvinylacetat emulsion							
Sealer 5000	1-Butoxy-2-propanol ¹⁾	5131-66-8	2,5-10		X _i	36/38	00-3
	1-Butoxy-2-propylacetat	85-409-76-3	2,5-10		X _i	36/38	
	Butylglycol ¹⁾	111-76-2	<0,5		X _N	20/21/22-37	
Pigmenteret maling	1-Butoxy-2-propanol ¹⁾	5131-66-8	2,5-10		X _i	36/38	00-1
Acryllak	1-Butoxy-2-propanol ¹⁾	5131-66-8	1- 2,5		X _i	36/38	00-1
	1-Butoxy-2-propylacetat	85-409-76-3	2,5-10		X _i	36/38	

1) Flygtige komponenter.

2) Uønskede stoffer.

Tabel 46. Farlige stoffer i kemiske produkter anvendt i vinduet med forsatsvindue.

Farlige stoffer		CAS nr.	%	g pr. vindue	Klassifice- ring	R-sætning	Mal- kode
Lim							0-1
Polyvinylacetat			<50				
Linolie	Med fungicid						00-1
Grundmaling							00-1
Linolie							
Dækmaling	Med fungicid						00-1
Linolie							

Rapporten beskriver en metode til miljøvurdering af vinduer, opstilling af en model til miljøvaredeklarering af vinduer samt miljøvurdering og -deklarering af et antal udvalgte vinduer. Desuden er nettovarmetabet for forskellige vindues-løsninger og vinduernes indflydelse på dagslysforholdene i forskellige rum behandlet. Rapporten er udarbejdet som et led i Energistyrelsens "Projekt Vindue" som har til formål at fremme udviklingen af bedre og mere energieffektive vinduesløsninger.

1. udgave, 2003

ISBN 87-563-1182-6

ISSN 1600-8022