

Vinduers samlede miljøbelastning

Livscyklusanalyse af fire vinduestyper - eller hvordan man billigt og bekvemt begrænser CO₂ udslippet mærkbart!

Af Thomas Kampmann, cand. polyt., arkitekt maa.,
tk@byggningsbevaring.dk



Artiklen fortolker en rapport fra BY og BYG, Miljøvurdering af vinduer, der undersøgte de fire mest almindelige vinduestypers samlede miljøbelastning.^[1] Vinduerne i denne artikel omhandler dog kun dannebrogsvinduer som anvendes i den ældre boligmasse. Undersøgelsen viser, at langt den vigtigste parameter for den samlede miljøbelastning er varmetabet gennem vinduerne imedens de er i brug i bygningen, og ikke selve produktionen af vinduet. Da et renoveret vindue med et lag energiglas er det bedst isolerende vindue i undersøgelsen, er det derfor dette vindue der har den laveste miljøbelastning. Ser man kun på miljøbelastningen under renovering/fremstilling, er det renoverede vindue også klart det mindst forurenende.

Da varmetabet gennem hele vinduet er den mest betydende enkeltfaktor for den samlede miljøbelastning, forklares dette nærmere.

Baggrund for undersøgelsen, Energistyrelsens "Projekt vindue":

I Danmark er der omkring 3,5 mio. bygninger med et samlet vinduesareal på ca. 60 mio. m². Varmetabet gennem disse vinduer udgør omkring 7 % af Danmarks samlede energiforbrug eller omkring en tredjedel af energiforbruget til boligopvarmning. For at reducere CO₂-udslippet iværksatte Energistyrelsen derfor i perioden 1998 - 2003 "Projekt Vindue", som havde til formål at fremme udvikling af energieffektive vinduesløsninger. Energieffektive vinduer er ikke alene en billig og effektiv måde at gøre noget for at reducere CO₂-udslippet, og dermed gøre noget ved de globale klimaproblemer samt opfylde Kyoto-aftalen, det sparer også borgerne for store beløb til opvarmning samt øger komforten for den enkelte hjemme i stuerne (der kommer mindre kuldenedfald/træk). Under "Projekt Vindue" fik BY og BYG (Statens Byggeforsknings Institut) til opgave at foretage en miljøvurdering af fire almindeligt forekommende vinduestyper, medens Raadvad Centret fik foretaget beregninger af varmetabet hos BYG DTU for de mest almindelige vinduestyper til den ældre boligmasse. Disse varmetabs beregninger er her inkorporeret ved vurdering af vinduers samlede miljøbelastning.^[2]

Hvad er en livscyklusanalyse:

Da der forekommer mange forskellige vinduesløsninger af vidt forskellig konstruktion og materialer, er der behov for en oversigtlig information om disse. Ved en livscyklusanalyse forsøger man at sammenligne et vindues samlede miljøbelastning gennem hele livsforløbet, fra fremstilling over brugen til den endelige skrotning. Svagheden ved metoden er at man sammenligner "pærer og æbler – og oksestege"! Er miljøbelastningen ved at producere f.eks. 1 kg aluminium større end 5 kg stål, og hvordan sammenligner man miljøbelastningen fra lastbiltransport af vindues træ med en energibelægning af en energirude? På den anden side er det vigtigt at skabe sådant et værktøj så det

er muligt at foretage denne sammenligning, for at bedømme hvor man bedst kan sætte ind for at begrænse forureningen. Analysen er som nævnt udført hos BY og BYG hvor der er udviklet værktøjer til sådanne beregninger. For at begrænse antallet af parametre er der sket en udvælgelse, dels udfra hvor store mængder forskellige materialer optræder med, dels efter hvor skadelige de er. Udover at undersøge materialerne der indgår i vinduet til fremstilling og vedligeholdelse, er der også beregnet på miljøbelastningen der skyldes varmetabet medens vinduet sidder på plads i bygningen – og som er langt den vigtigste enkeltfaktor.

Miljøvurderingen tydeliggør således konsekvenserne af vinduers energimæssige egenskaber, og dermed væsentligheden af at indføre en energimærkning af vinduer.

Helt nye træ/alu vinduer med en gennemgående sprosse og energirude. Sådanne vinduer opfylder ikke bygningsreglementet da de isolerer for dårligt. Dette giver tillige en kraftig miljøbelastning pga. det høje energitab.



Varmetab gennem hele vinduet

Termo- og energiruder:

Betegnelsen termorude dækker over en rude der består af to lag glas, sammenholdt af et afstandsprofil, forsejlet og med luft i hulrummet. Tilsvarende dækker energirude over en termorude, hvor der er pålagt en lavemissionsbelægning på det ene glas og med en isolerende gas i hulrummet. Alle nye vinduer i denne undersøgelse er forsynet med disse godt isolerende energiruder med en center U-værdi på 1,1 W/m²K.

Forskel mellem rude og hele vinduets U-værdi:

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 store energibesparelser. Samtidig kan der opnås væsentlige besparelser gennem anvendelse af bedre vinduesløsninger, herunder forsatsløsninger. Undersøgelsen understreger vigtigheden af at der indføres en energimærkning af vinduer. Der er tidligere indført energimærkning af selve ruderne og af forsatsvinduer på eksisterende vinduer, men endnu mangler der energimærkning for nye hele vinduer.

Det er meget vigtigt at være opmærksom på forskellen rude- og vinduets U-værdi, da selv vinduer med gode, energibesparende ruder kan være så dårligt varmebesparende, at de end ikke opfylder Bygningsreglementet fra 1995! Desværre har der ikke været den store opmærksomhed på problemet, og der findes utallige eksempler på helt nye vinduer med både de dårligt isolerende termoruder, og vinduer med energiruder der ikke opfylder loven, forøger forureningen og mindsker komforten. Energistyrelsen har afsat 20 millioner kroner over de næste tre år til glas- og vinduesbranchen for frivilligt at udfase termoruder og lave en mærkningsordning for hele vinduet.

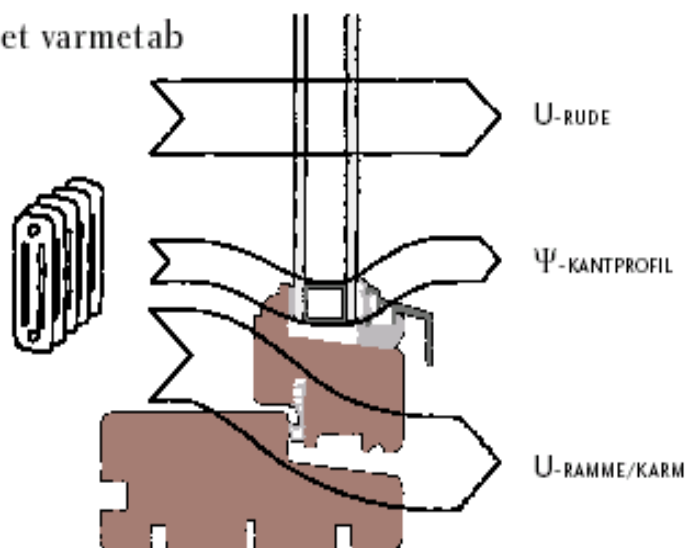
Energitab fra vinduer

Pilene, der angiver varmestrømmene gennem et vindue i fyringssæsonen, er tegnet så tykkelsen svarer til forholdene for et træ energirude vindue med en 1,1 energirude^[2]

Varmetab gennem hele vinduet

Som det fremgår af figuren sker varmetabet både gennem ruden, kantkonstruktionen og ramme/karm. Alt for mange vinduesfabrikanter oplyser kun om den øverste pil, U-rude

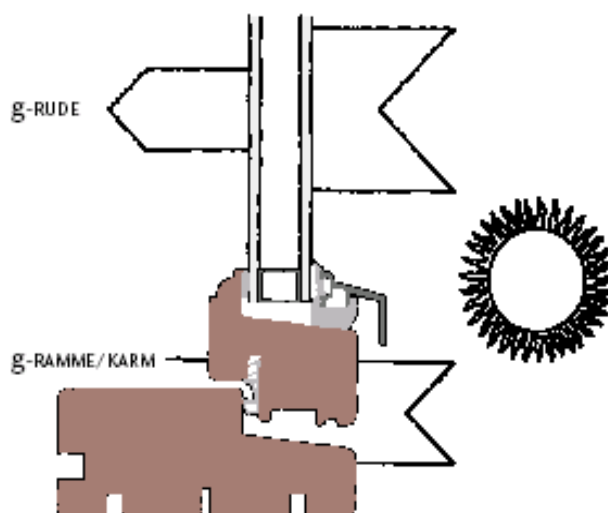
Samlet varmetab



Sol tilskud gennem hele vinduet

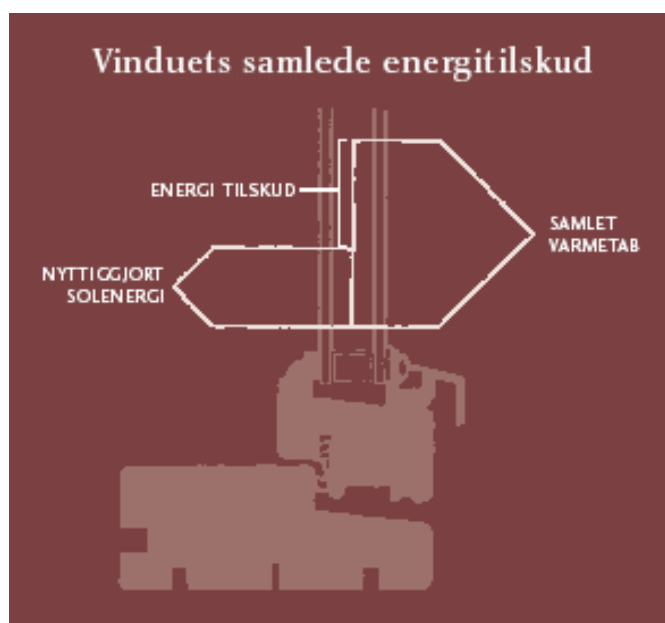
Den del af gratisvarmen fra solen der når ramme/karmen bidrager kun ubetydeligt til varme indendørs. Bemærk at det kun er ca. halvdelen af den solenergi der rammer glasset der bliver til varme indendørs. Det skyldes dels glassene, dels energibelægningen. Med solafskærmende belægning reduceres gratisvarmen betydeligt.

Nyttiggjort solenergi



Energitab gennem hele vinduet

Det samlede energitilskud gennem hele vinduet i fyringssæsonen er det samlede varmetilskud fra solen minus varmetabet. Det er dette tal der ligger til grund for beregningerne - og som er ved at blive indført som energimærkning af vinduer.



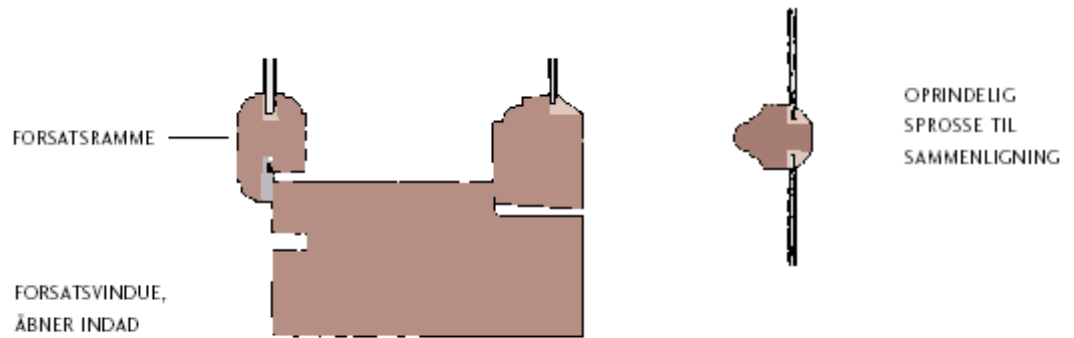
Energitab fra de fire vinduestyper der er undersøgt ^[2]

Tegningerne viser et tværsnit af den nederste del af de forskellige vinduestyper:

For alle vinduerne gælder det at energitabet, og dermed miljøbelastningen, er næsten dobbelt så stor hvis der ikke er energibelægning på den ene glasflade (traditionelle forsats- og termoruder).

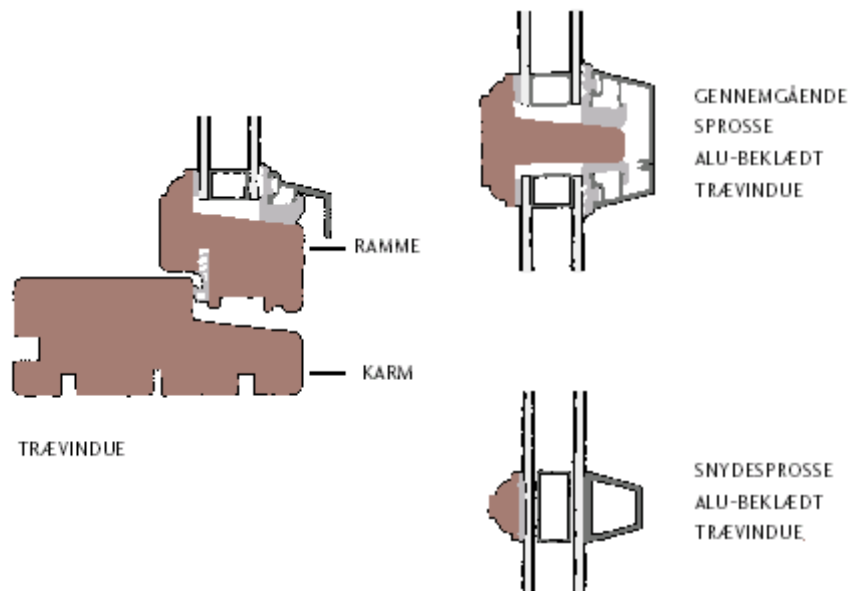
Traditionelt vindue med forsatsramme

Monteres et lag energiglas i forsatsrammen opnås et energitab på kun $\div 63 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$



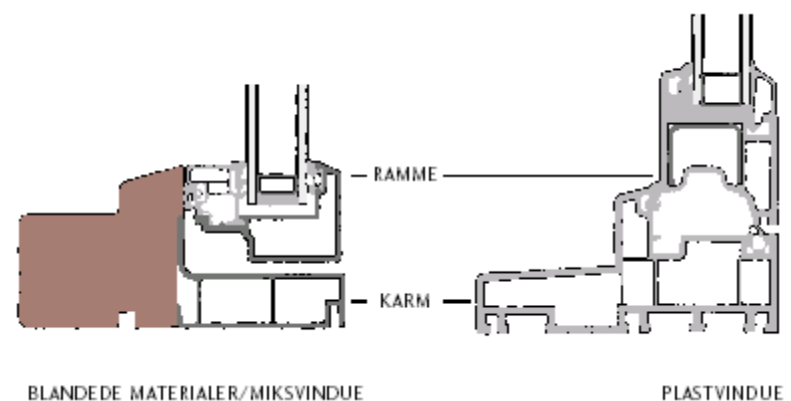
Trævindue med termo- eller energirude

For nye vinduer med en energirude og gennemgående sprosse fås et energitab på $\div 90 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$, med en snydesprosse forbedres til $\div 84 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$



Træ/alu vindue med termo- eller energirude

For nye vinduer med en energirude og gennemgående sprosse fås et energitab på $\div 123 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$, med en snydesprosse forbedres til $\div 102 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$ (ifølge fabrikanten selv $\div 108 \text{ kWh/m}^2$)



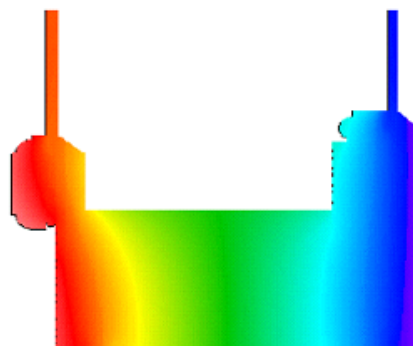
PVC vindue med termo- eller energirude

For nye vinduer med en energirude og gennemgående sprosse fås et energitab på $\div 114 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$, med en snydesprosse forbedres til $\div 109 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$

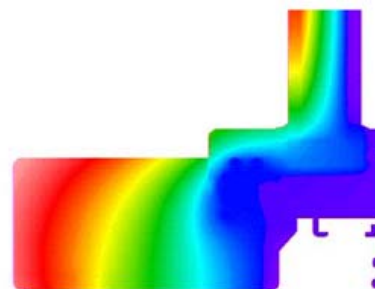
Hvor forsvinder varmen ud

Beregningerne af hele vinduets varmetab bliver på BYG DTU beregnet med computerprogrammet THERM. Udover beregningen får man et billede af temperaturfordelingen i ramme/karm/rude konstruktionen, hvor man umiddelbart kan se eventuelle kuldebroer. Den blå farve svarer til 0°C medens den røde tilsvarende til 20°C , jo koldere farve indendørs og jo tættere "regnbuen" er, des værre kuldebro og dermed større varmetab samt mulighed for kondens.

Traditionelt forsatsvindue med energiglas. Der er rødt, dvs. varmt indendørs med deraf mindre varmetab samt en "bred regnbue" uden kuldebro



Træ/alu vindue med energirude. Der er næsten den kolde, blå farve inde i stuen, her er en kuldebro og mulighed for kondens. Kuldebroen skyldes afstandslisten i energiruden samt at rammen er lavet af aluminium, der er en rigtig god varmeleder (man laver gryder og pander af aluminium netop for at overføre varmen hurtigt)



Nuværende lovkrav

Bygningsreglementet har idag kun krav til hvor stort varmetabet må være gennem hele vinduet (U-værdien), men tager ikke hensyn til gratisvarmen fra solen. Det forventes at der i Bygningsreglementet der træder i kraft år 2006 energimærkes ud fra hele vinduet energibalance.

Gammeldags termoruder har en center U-værdi på kun $2,8\text{ W/m}^2\text{K}$, og vinduer med disse ruder kan derfor ikke opfylde bygningsreglementets krav om en U-værdi på højst 1,8 for hele vinduet. Det er dog muligt at benytte dårligere isolerende vinduer, hvis man gennem en såkaldt energiramme påviser, at der isoleres tilsvarende bedre andre steder i bygningen. Da der er snævre grænser for hvor meget isoleringsevnen kan forbedres andre steder i eksisterende byggeri, benyttes i praksis kravet om U-værdi for vinduet på 1,8. Til trods for at vinduer med termoruder er ulovlige at bruge, benyttes de i stor stil og der er lige indgået en aftale mellem Energistyrelsen og glasvinduesbranchen om frivilligt at udfase disse. Det skal bemærkes, at selvom helt nye vinduer er forsynede med de nye, godt isolerende energiruder, kan visse vinduestyper, især træ/aluvinduer, ikke opfylde Bygningsreglementet idag, endda før de skærpede krav træder i kraft år 2006! Står man overfor indkøb af nye vinduer bør man altid bede producenten om dokumentation for hele vinduets U-værdi. Får man oplyst en U-værdi på f.eks. 1,1 gælder den kun selve ruden og er slet ikke dækkende for varmetabet for hele vinduet – U-værdien for hele vinduet kan være op til dobbelt så stor!

Kommende lovkrav

Energimærkning af ruder og vinduer forventes at beskrive egenskaber som transmissionstab (samlet varmetab, U-værdi), solenergitransmittans (gratisvarme fra solen, g-værdi) og lystransmittans (dagslys, τ -værdi) samt at beregne det totale varmetab gennem hele vinduet ud fra nogle standardforudsætninger. Metoden er udviklet for boliger, og beregningen anvender et referencehus med en typisk orientering af vinduer i forhold til verdenshjørnerne.

Heldigvis er flere danske vinduesproducenter begyndt at få lavet omhyggelige beregninger, og således oplyse om det samlede energitab for hele deres vinduer. For forsats/ koblede vinduer kan man finde mærkningen på www.byg.dtu.dk/vinduer. Der findes endnu ingen klassificering af vinduer, som den kendes for andre produkter som f.eks. køleskabe, men nedenfor er vist et forslag til energiklassificering.

Forslag til energiklassificering fra Energistyrelsen fra 2003. Forslaget er et resultat af det europæiske energimærkningsprojekt EWERS. Det danske system er bl.a. publiceret i "Servicehåndbogen" for København 2003.

Alle vinduer Dannebrogsvinduer i størrelsen 1,23 x 1,48 cm (standardstørrelse)	U W/m ² K	g %	Energibalance kWh/m ² år	
Traditionelt vindue med forsats energirude (1+2 lag glas)	1,3	0,32	÷ 55	A
Traditionelt vindue med forsats energiglas (1+1 lag glas)	1,7	0,43	÷ 63	B
Nyt trævindue, 1,1 energirude, falsk sprosse, varm kant	1,6	0,33	÷ 76	C
Nyt trævindue, 1,1 energirude, gennemgående sprosse, varm kant	1,6	0,33	÷ 81	C
Nyt trævindue, 1,1 energirude, falsk sprosse, kold kant (det normale)	1,7	0,33	÷ 84	C
Nyt trævindue, 1,1 energirude, gennemgående sprosse, kold kant (det normale)	1,7	0,33	÷ 90	D
Nyt alu beklædt trævindue, 1,1 energirude, falsk sprosse, kold kant	1,7	0,33	÷ 92	D
Nyt alu beklædt trævindue, 1,1 energirude gennemgående sprosse, kold kant	1,8	0,32	÷ 99	D
Nyt træ/alu vindue, 1,1 energirude, falsk sprosse, kold kant	2,0	0,40	÷ 102	D
Nyt plastik vindue, 1,1 energirude, falsk sprosse, kold kant	1,9	0,30	÷ 109	E
Nyt plastik vindue, 1,1 energirude, gennemgående sprosse, kold kant	1,9	0,29	÷ 114	E
Nyt træ/alu vindue, 1,1 energirude gennemgående sprosse, kold kant	2,2	0,39	÷ 123	E
Traditionelt vindue med "gammeldags" forsatsglas (1+1 lag glas)	2,4	0,46	÷ 127	F
Nye vinduer i træ, træ/alu eller plast med "gammeldags" termoruder	2,5 - 3,0	0,39 - 0,51	÷ 142 til ÷ 170	G
Disse vinduer opfylder ikke Bygningsreglementet af 1995 idet vinduet højst må have en U-værdi på 1,8 W/m ² K				
Vinduer med energiklasse A, B og C kan mærkes som "Energi vinduer"				

Livscyklusanalyse af vinduer

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 som angiver miljøforholdene for et produkt på en overskuelig måde. ^[3]

Formålet med projektet fra BY og BYG har været for udvalgte vinduesløsninger at: udarbejde et forslag til, hvorledes miljøforhold for vinduesløsningerne kan angives på en oversigtlig måde, enten i form af miljøvaredeklaration eller miljødatablade for vinduer.

De kemiske stoffer i imprægneringsmidler, fugemasser og malinger kan give sundhedsskader og miljøeffekter. Disse stoffer forekommer i nye træ og træ/aluminiums vinduer. Da der ikke er opnået enighed om, hvorledes udslip af disse kemiske stoffer kan omregnes til toksiske effekter angives mængde af farlige og uønskede stoffer i rapporten fra BY og BYG separat under hver enkelt vinduestype.

Brug af livscyklusanalyse i det støttede byggeri:

Miljørigtig projektering og beregning af totaløkonomi anvendes i stigende omfang under projektering af byggeri. Disse miljøvurderingsredskaber er udviklet for at nedbringe energi- og råstofforbruget i byggeriets anlægs- og driftsfaser.

Som det fremgår af en anden artikel i denne serie på tre, der omhandler totaløkonomisk analyse på forskellige vinduesløsninger, er der fuld overensstemmelse mellem hvad der er den økonomisk- og miljømæssige optimale løsning - nemlig at istandsætte og energiforbedre de oprindelige vinduer.

Om rapporten fra BY og BYG:

Resultaterne i rapporten fra BY og BYG er vist ved en miljøvaredeklaration, som baserer sig på det danske forslag til miljøvaredeklaration af byggevarer. Beregningerne er udført med miljøvurderingsværktøjet BEAT 2001 og tilhørende database ^[4]. 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 renoveret oprindeligt vindue med forsatsramme, samt nye energirude vinduer af træ, træ og aluminium (træ/alu) samt plast (PVC). Alle dannebrogsvinduerne i undersøgelsen er beregnet for den internationale CEN størrelsen på 123 x 148 cm og med een gennemgående sprosse i de nedre rammer. Resultaterne svarer dog til andre vinduer med samme relativt små rudestørrelser.

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

Vinduestyper	Nåletræ stk.	Tropisk træ stk.	Træ/Alu 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 inkl. 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

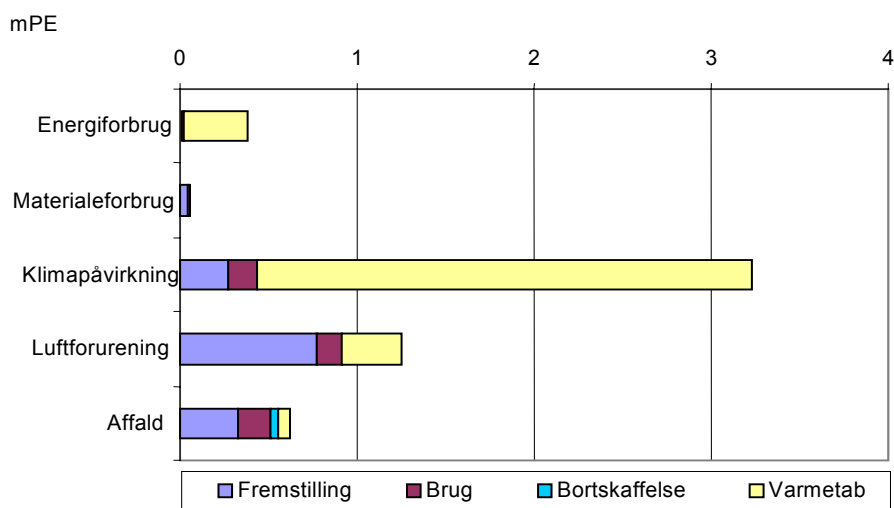
[1]

Indførelse af miljøvaredeklaration for vinduer:

Rapporten fra BY og BYG beskriver en metode til hvordan en fremtidig miljøvaredeklaration af vinduer kan udformes. Der forekommer mange forskellige vinduesløsninger. Derfor er der behov for en oversigtlig information om miljø-, energi-, lyd-, totaløkonomi og dagslysforhold for udvalgte vinduesløsninger. Formålet med rapporten fra BY og BYG er:

- at koordinere metoder til beregning af miljøforhold (livscyklusvurderinger) og energiforhold 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

Eksempel på en miljøprofil fra rapporten, beregnet ud fra materialeforbruget samt varmetabet gennem vinduet.



Figur 1. Eksempel på en miljøprofil for et vindue. I miljøprofilen indgår der også miljøbelastninger, som skyldes varmetab gennem vinduet. (mPE = milli-personækvivalenter).^[1]

Hvilke faktorer medtages i livscyklusanalysen fra BY og BYG:

En miljøvurdering omfatter en opgørelse af alle de vigtigste miljøforhold over hele livsforløbet for vinduet, og disse omregnes til potentielle miljøeffekter. Opgørelsen sker ved brug af Edb-værktøjet BEAT 2001 med tilhørende database^[4]. Efter opgørelsen omregnes miljøpåvirkningerne til potentielle miljøeffekter, der normaliseres og vægtes efter principper beskrevet for UMIP-modellen^[5].

I dette projekt anvendtes der et begrænset antal indikatorer som angivet i ”Miljøvaredeklarering af byggevarer”^[3] og i ”Miljødeklarering og -klassificering af bygninger”^[6]:

Miljøprofilen anvender fem indikatorer:

- Energiforbrug (energiressourcer)
- Materialeforbrug (her metaller)

- Klimapåvirkning (her drivhuseffekt)
- Luftforurening (her forsurening og dannelse af fotokemiske oxidanter)
- Affald (her affald, der deponeres).

Miljøprofilen beregnes ud fra materialeforbruget samt varmetabet gennem vinduet.

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.

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 (biprodukter, der har ingen eller en beskedent økonomisk værdi, og som opstår i én proces og udnyttes i en anden proces)
- Indhold af farlige og uønskede stoffer.

Omregning til miljøeffekter og definition af enheden mPE, milli-personækvivalenter:

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.

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 diagrammerne angives miljøbelastningen i mPE = milli-personækvivalenter.

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

Fremstilling

Under denne fase medtages processerne:

- Udvinning af råmaterialer.
- Fremstilling af materialer til vinduet.
- Fremstilling af ruden.
- Fremstilling af ramme/karm.
- Fremstilling af vinduet, herunder vakuumimpregnering 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 ramme/karm og ruder. Ved fremstilling af ramme/karm er der ikke medtaget overfladebehandling af beslag, da der kun bruges en meget lille mængde materiale, som formodes at have en meget lille miljøeffekt. I beregningerne indgår der ikke miljødata for kalfatringsfugematerialer, 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 ruden samt udtagning af hele vinduet ved nedrivning af bygningen. Desuden beregnes varmetab gennem vinduet efter diagrammetoden. Det forudsættes, at boligen opvarmes med naturgas, hvorfra 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.

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, 2000). Der forekommer uønskede stoffer i vakuumimpregneringsmidler, spartelmasser, malinger og fugemasser til ruder.

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. 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. Ved udskiftning af en rude udskiftes også glasbånd og tætningslister. Tætningslister går til forbrænding.

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.
- Forhold, som vinduet udsættes for, såvel udvendigt som indvendigt.
- Forhold ved brug, fx slitage og vedligehold.
- Graden af konstruktiv forebyggelse

Levetidens betydning for miljøbelastningen:

Da langt den største miljøbelastning fra vinduer skyldes energitabet medens det er i brug i bygningen, har levetiden ikke så stor indflydelse på det samlede resultat når det antages at vinduer holder omkring 40 år. Ser man derimod kun på miljøbelastningen for fremstillingen af vinduerne - og hvis levetiden er relativ kort- har levetiden stor indflydelse (ligesom på totaløkonomien, se en anden artikel i denne serie). Levetiden er i BY og BYG undersøgelsen sat til 40 år for alle vinduestyperne og 20 år for energiruderne, dels af regnemæssige årsager og dels da der ikke er en stor samlet undersøgelse over vinduers holdbarhed.

Gennemgang af livscyklusanalyse for de enkelte vinduestyper:

Dannebrogsvinduer med fire rammer har normalt en større miljøpåvirkning end etrammede vinduer da der indgår flere materialer i ramme/karmdelen (selvfølgelig især hvis materialerne er giftige eller miljøødelæggende) og varmetabet er større. Energiruder har nemlig mindre samlet varmetab end ramme/karmen delen.

Undersøgelsen omfatter fire typer vinduer, nemlig:

oprindeligt vindue, renoveret og forsynet med ny forsatsramme med et lag energiglas
nye termovinduer af træ
nye termovinduer af træ/aluminium
nye termovinduer af plast

Alle de nye termovinduer er forsynet med en godt isolerende energirude med en U-værdi på 1,1.

Renoveret oprindeligt vindue:

Fremstilling

Vinduet er et dannebrogsvindue fra bygningens opførelse der er renoveret. Forsatsvinduet består af 4 mm energiglas, der isættes en træramme med linoliekit. Nyt træ behandles med rå linolie, knaster med shellak og derefter males 3 gange med linoliemaling. Forsatsglasset har en hardcoated belægning af stannioxid. 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 linoliemaling efter 10 år.

Brug

Der regnes med at glasset skiftes, ligesom for energiruderne, da der evt. er kommet mere energieffektivt produkt på markedet til den tid - og altså ikke fordi energiglasset er udtjent da det har ubegrænset holdbarhed, forsatskonstruktion kan jo ikke punktere og belægningen er stærkere end glasset.

Bortskaffelse

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

Mængder af materialer til forsatsrammen:

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	

Der indgår ingen uønskede stoffer i produktionen.

Nyt Raadvad vindue, indgår ikke i undersøgelsen fra BY og BYG:

Raadvad-vinduet er lavet som en kopi af de oprindelige vinduer og fås enten med koblede eller forsatsrammer med et energiglas eller med en energirude. Raadvad-vinduet indgår ikke i undersøgelsen fra BY og BYG, men eftersom energibalancen for dette vindue svarer til energibalancen for det renoverede vindue ($\div 69 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$) med et lag glas, og endda kan komme helt ned på $\div 49 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$ med en energirude i forsatsrammen, har Raadvad-vinduet samme lave miljøbelastning som det renoverede (www.byg.dtu.dk/vinduer). Da mængderne af materialerne er større til selve fremstillingen end for det det renoverede er miljøbelastningen selvfølgelig større, men da der heller ikke er miljøskadelige stoffer i Raadvad vinduet, vil den samlede miljøpåvirkning være tilsvarende lille.



Nyt træ energirudevindue:

Vinduet består af en ramme/karm af træ med beslag af stål og en energirude med en kantkonstruktionen af aluminium.

Fremstilling

Under fremstilling af vinduet afkortes og bearbejdes planker og brædder af træ, som efterfølgende vakuuminprægnes med et middel, der indeholder flygtige opløsningsmidler, naphtha og konserveringsmidler. Ruden sættes, og vinduet males med en grundmaling og dækmaling på vandbasis. Miljøbelastninger for vinduet omfatter alle miljøbelastninger fra fremstilling af materialerne. Fremstillingen af vinduet giver en stor luftforurening. Dette skyldes, at vinduet vakuuminprægnes med et middel, der indeholder organiske opløsningsmidler



Træ termo/ energirude vindue med gennemgående sprosser – her vist i småsprosset udgave

Brug

Der regnes med, at ruden med glasbånd og tætningslister udskiftes efter 20 år.

Bortskaffelse

Ruden knuses og går til genanvendelse, og kantkonstruktion med vedhængende glas går til deponering. Lister af aluminium fjernes fra trærammen, træet går til forbrænding og aluminium til genanvendelse.

Uønskede stoffer i vinduet. I tabellen er kun nævnt materialer, hvor mængden vil have væsentlig indflydelse på miljøbelastningerne af vinduet:

Uønskede stoffer		CAS nr.	%	g pr. vindue	Klassificering	R-sætning	Mal-kode
Imprægnering smiddel	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 Urethan	Solventnaphtha	64742-88-7	1-5		X _N	10-48/20-65-66	2-1
	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

Udvalgte materialer	Dannebrogsvindue 1,230 x 1,480 i kg
Træ	50
Imprægneringsmiddel, maling	3,7
Glas	23
I alt	82

Nyt træ/alu energirudevindue:

Træ energirude vindue med snydesprosser – et par af dem er faldet af



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

Fremstilling

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 var ikke muligt at få oplyst, om disse profiler stammer fra et værk, der udelukkende fremstiller profiler ud fra skrot. Efter ekstruderingen lakeres profilerne med en polyesterlak. Planker og brædder af fyr afkortes, bearbejdes, imprægneres med et beskyttelsesmiddel på vandbasis og males. Fremstilling af aluminium ud fra malm medfører en stor affaldsmængde.

Brug

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

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.

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	

Tabellen nævnes kun materialer, hvor mængden har væsentlig indflydelse på miljøbelastningerne.

Udvalgte materialer	Dannebrogsvindue 1,230 x 1,480 kg
Træ	13
Aluminium	8,5
Imprægnerings- middel, lak	0,7
Glas	23
Stål, rustfrit stål m.m.	4,8
I alt	56

Nyt PVC vindue med energirude:

Vinduet består af en ramme/karm af Polyvinylchlorid (PVC) med indlagt stålprofil og en energirude.

Fremstilling

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. Det er fremstilling af stål og PVC, der bevirker dannelse af affald og giver klimapåvirkning



Brug

Der regnes med, at ruden med glasbånd og tætningslister udskiftes efter 20 år.

Bortskaffelse

Ruden knuses, glasset går til genanvendelse, og kantkonstruktion med vedhængende glas går til deponering. Ramme/karmen 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). Ramme/karmen eksporteres til Tyskland, hvor PVC og stål adskilles. PVC bruges til nye produkter og stålet går til omsmelting.

I tabellen er nævnt materialer, som især har betydning for miljøbelastningerne af vinduet.

Udvalgte materialer	Dannebrogsvindue
	1,230 x 1,480 kg
PVC	17
Galvaniseret stål	17
Glas	23
Stål, chromatiseret m.m.	3,6
I alt	66

Der er ingen uønskede stoffer i PVC vinduet (al PVC forudsættes indsamlet)

Energitab beregnet hos henholdsvis BY og BYG samt BYG DTU:

Beregningerne er for et dannebrogsvindue på 123×148 cm med en sprosse

BY og BYG 's energibalancemetode for vinduer med en snydesprosse:

Renoveret, BYG DTU energitilskud for større vindue:	$\div 68 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$
Nyt træ energirude vindue, energitilskud:	$\div 99 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$
Nyt træ/alu vindue med energirude, energitilskud:	$\div 96 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$
Nyt PVC vindue med energirude, energitilskud:	$\div 95 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$

BYG DTU 's energitilskuds tal for vinduer med en snydesprosse. Beregningsmetoden benyttes af flere vinduesfabrikanter, bl.a. Velfac, Kernevinduet, Bøjsø, PC, Linolievinduet samt hele forsats vinduesgruppen:

Renoveret oprindeligt vindue, energitilskud:	$\div 63 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$
Nyt træ energirude vindue, energitilskud:	$\div 84 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$
Nyt træ/alu vindue med energirude, energitilskud:	$\div 102 \text{ kWh/m}^2 \text{ år} *$
Nyt PVC vindue med energirude, energitilskud:	$\div 109 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$

BYG DTU 's energitilskuds tal for vinduer med en gennemgående sprosse (som det var forudsat benyttet i undersøgelsen):

Renoveret oprindeligt vindue, energitilskud:	$\div 63 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$
Nyt træ energirude vindue, energitilskud:	$\div 90 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$
Nyt træ/alu vindue med energirude, energitilskud:	$\div 123 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$
Nyt PVC vindue med energirude, energitilskud:	$\div 114 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$

* Ifølge producenten, energitilskud: $\div 108 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$

Traditionelt vindue forsynet med forsatsrammer med 8 mm tykt energiglas. Sådant et vindue er det mest energibesparende, bedst lyddæmpende, har den laveste totaløkonomiske udgift – og giver den suverænt laveste miljøbelastning af de fire typer vinduer der indgår i undersøgelsen



Resultatet af livscyklusanalysen for fire almindeligt forekommende vinduesløsninger

De følgende to første diagrammer over miljøpåvirkningen er med BY og BYG 's energital og de to sidste, med energitallene fra BYG DTU (som fremgår af skemaet med forslag til energimærkning). Plastvinduet er dog ikke af det samme fabrikat i de to beregningsmetoder.

Søjlediagrammerne viser miljøbelastning for følgende parametre ^[1]:

Energiforbrug (energiressourcer)

Materialeforbrug (her metaller)

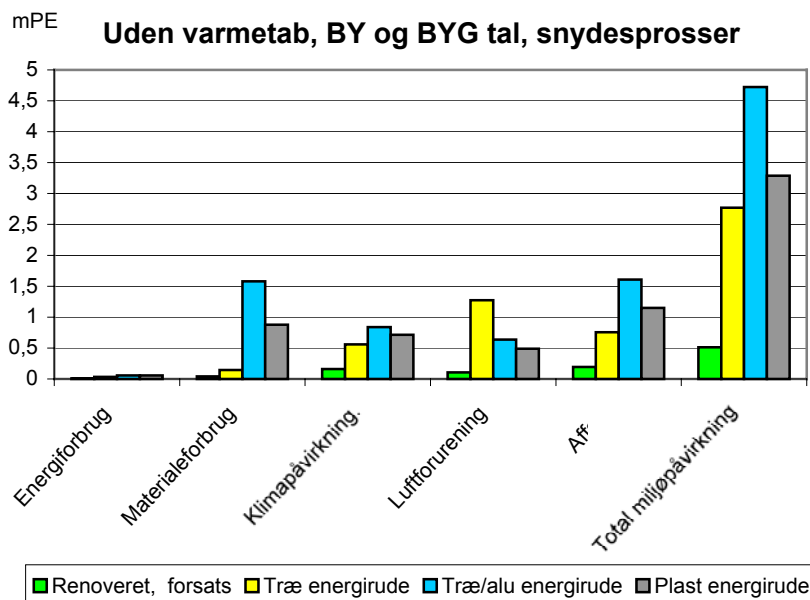
Klimapåvirkning (her drivhuseffekt)

Luftforurening (her forsurening og dannelse af fotokemiske oxidanter)

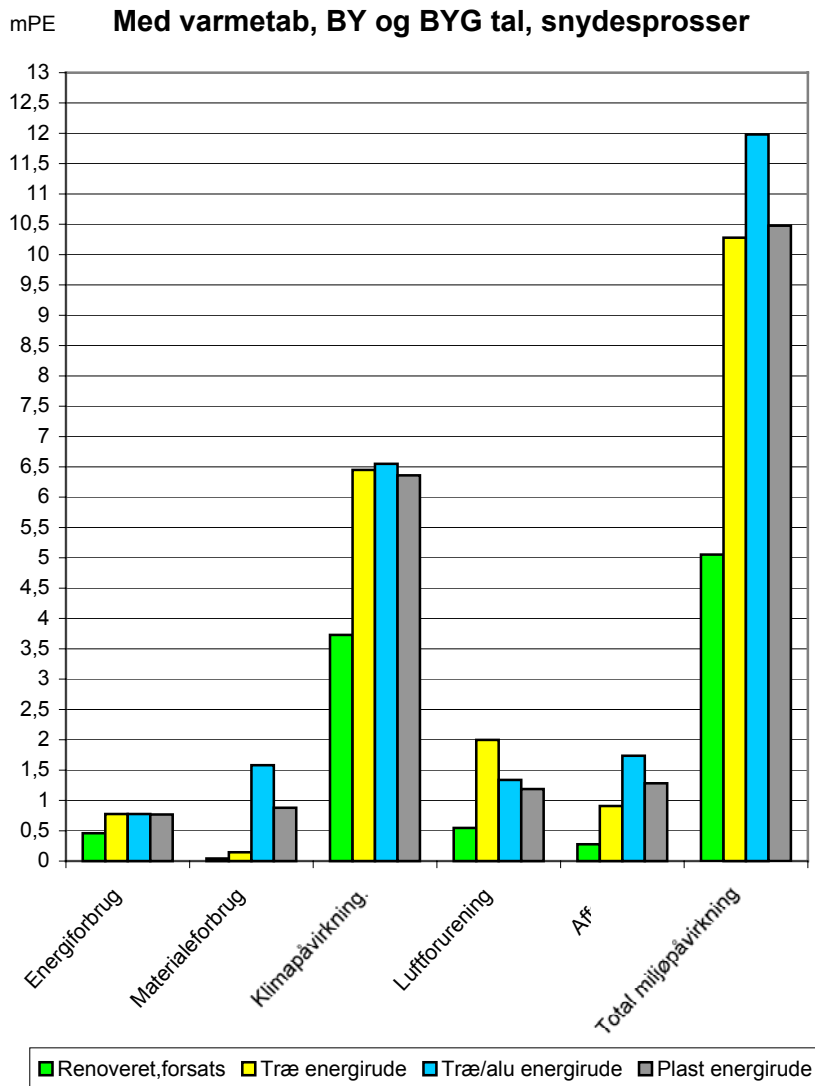
Affald (her affald, der deponeres)

Total miljøpåvirkning (summen af de foregående)

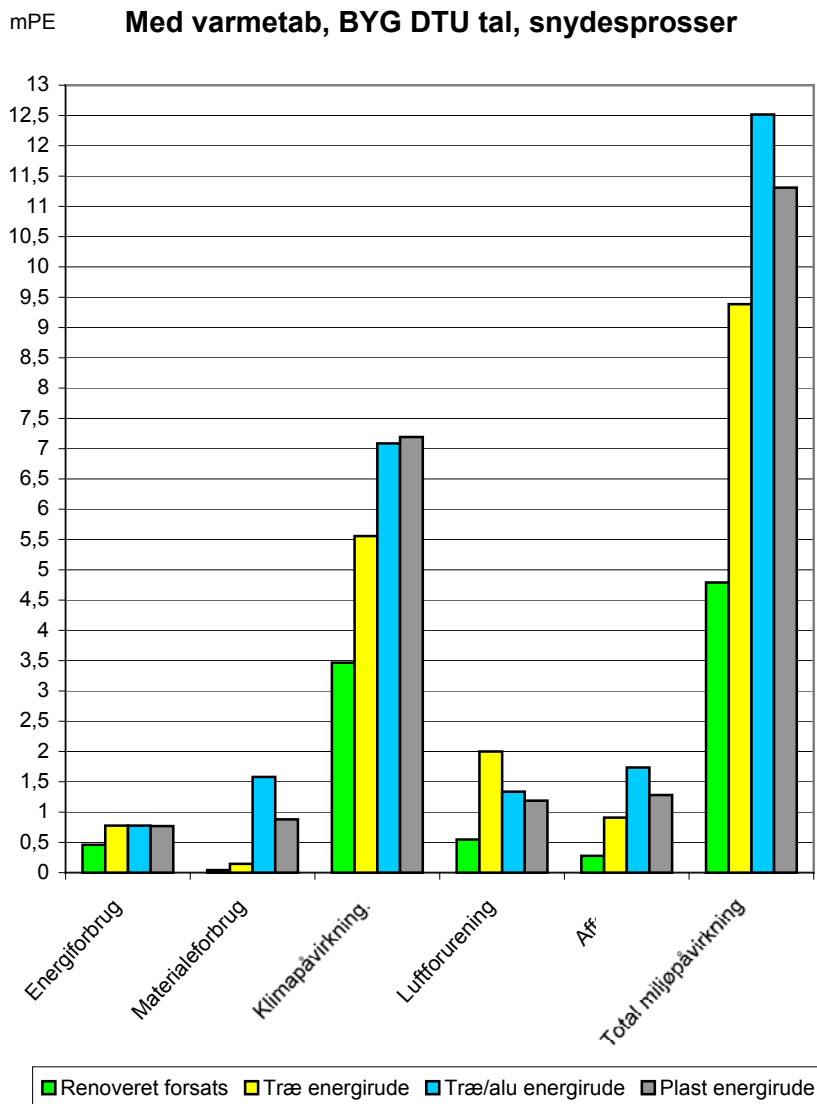
Alle søjlediagrammerne er vist i samme skala



Miljøpåvirkningen for fire typer almindelige dannebrogsvinduer, *eksklusiv* forureningen fra varmetabet medens vinduet sidder i bygningen. Levetiden er for alle typer sat til 20 år for ruden og 40 år for hele vinduet. Det ses at træ/alu vinduet er langt det mest forurenende medens plast og trævinduer noget bedre. Det renoverede vindue giver kun en forsvindende forurening i sammenligning med de nye. Årsagen til den store miljøpåvirkning fra træ/alu vinduerne er især brugen af aluminium, der kræver store mængder energi at udvinde og giver affald. I undersøgelsen er der ikke regnet med at der indgår genbrugs aluminium; hvis der gør nedsættes miljøbelastningen, men væksten i brug af aluminium gør at højst 36 % vil kunne stamme fra genbrug som forholdene er idag. For PVC vinduet er det tilsvarende fremstilling af det stål der indgår i konstruktionen, der giver miljøpåvirkning på materialeforbrug, klimapåvirkning og affald. For det nye træ vindue med en energirude er det største problem luftforureningen som skyldes imprægneringen af træet før det males med vandbaseret maling.

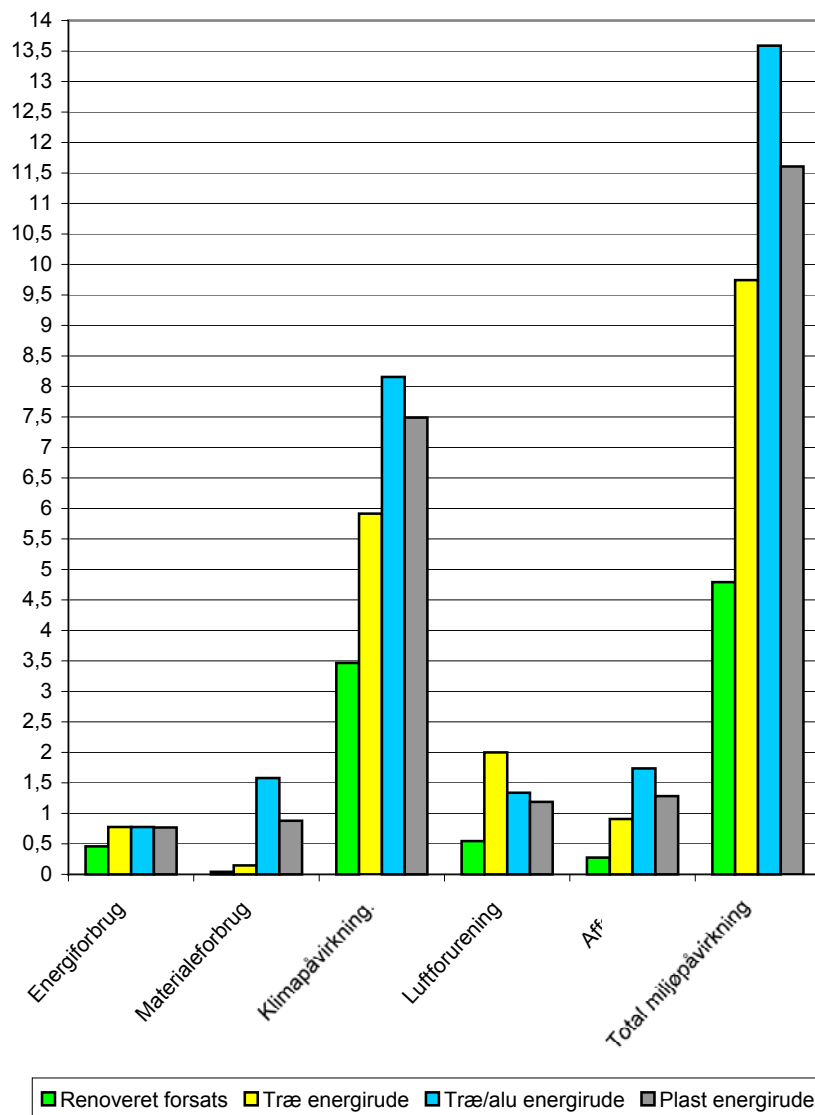


Miljøpåvirkningen for fire typer almindelige dannebrogsvinduer, inklusiv forureningen pga. varmetabet medens vinduet sidder i bygningen ifølge varmetabstal brugt i rapporten fra BY og BYG. Det ses tydeligt hvor stor betydning varmetabet har, hvis man sammenligner med forrige diagram hvor miljøpåvirkningen er vist eksklusiv varmetabet. Det er især klimapåvirkningen ved drivhuseffekt der stiger voldsomt. Igen giver det renoverede og energiforbedrede oprindelige dannebrogsvindue langt den laveste miljøbelastning, især pga. det lave energitab. I rapporten fra BY og BYG beregnes de tre nye vinduer til at have næsten samme energitab, og det er årsagen til at klimapåvirkningen for de tre typer er næsten ens. Forskellen i den totale miljøbelastning skyldes derfor de forhold der fremgår af det første diagram, miljøpåvirkningen eksklusiv varmetabet.



Miljøpåvirkningen for fire typer almindelige dannebrogsvinduer, inklusiv forureningen fra varmetabet medens vinduet sidder i bygningen, ifølge varmetabstal beregnet på BYG DTU for vinduer med snydesprosser. Miljøbelastningen er her udført af forfatteren af denne artikel ved at regulere BY og BYG 's tal, med tal fra BYG DTU ved simpel forholdstals regning. Igen ses det tydeligt hvor stor betydning varmetabet har, hvis man sammenligner med diagrammet hvor miljøpåvirkningen er vist eksklusiv varmetab. Det renoverede og energiforbedrede oprindelige dannebrogsvindue giver igen langt den laveste miljøbelastning, især pga. det lave energitab. Der er benyttet et lidt lavere varmetabstal for det renoverede vindue her, da der siden rapporten fra BY og BYG, er lavet en energimærkning på et renoveret og energiforbedret forsatsvindue (fra $\div 68$ til $\div 63$ kWh/m² år). I varmetabstal beregnet på BYG DTU beregnes de tre nye vinduer til at have ret forskelligt energitab. Det nye træ vindue med energirude har her et lavere energitab, medens både træ/alu og plast vinduet er en del højere. Energitabet for plastvinduet er dog for et andet fabrikat end det der er brugt i BY og BYG 's undersøgelse. Træ/alu vinduet har et højt energitab pga. den udvendige aluminium der giver dårlig isolering, medens plast vinduet ligger højt da det har en bred ramme/karm konstruktion med deraf mindre solenergi tilskud.

mPE **Med varmetab, BYG DTU tal, ægte sprosser**



Miljøpåvirkningen for fire typer almindelige dannebrogsvinduer, inklusive forureningen fra varmetabet medens vinduet sidder i bygningen ifølge varmetabstal beregnet på BYG DTU for vinduer med gennemgående sprosser (som det er forudsat brugt i miljøvurderingen). Miljøbelastningen er her udført af forfatteren af denne artikel ved at regulere BY og BYG 's tal, med tal fra BYG DTU ved simpel forholdstals regning. Det renoverede og energiforbedrede oprindelige dannebrogsvindue påvirkes ikke af ændringen af sprossetype. Derimod forringes alle de nye vinduer med energiruder mærkbart. Især træ/alu vinduet stiger voldsomt da den enlige gennemgående sprosse er en stor kuldebro, og dette vindue forurener næsten tre gange mere end et energirenoveret oprindeligt vindue. Hvis vinduerne er forsynede med "gammeldags" termoruder er miljøpåvirkningen næsten dobbelt så stor som her vist!

Artiklen om livscyklusanalyse af vinduer i gamle huse er en i en række af tre, der er betalt af Grundejernes Investeringsfond. De to andre artikler omhandler totaløkonomi og lydisolering.

Grundejernes Investeringsfond har desuden under "Projekt vindue" bl.a. betalt for måling af Raadvad vinduerne for lyd- og varmeisolering samt lyskvalitet undersøgelse.

Baggrundsrapporterne og de andre artikler kan ses på www.gi.dk og www.bygningsbevaring.dk

Kildehenvisning:

[1] Miljøvurdering af vinduer, By og Byg Dokumentation 046, Hanne Krogh, Kjeld Johnsen, Søren O. Aggerholm, Statens Byggeforskningsinstitut 2003

[2] Vinduers varmetab, Energi-, kondens- og lydforhold for nye og gamle vinduer i ældre bygninger før 1950, maj 2002, Thomas Kampmann

[3] Hansen, K., Fox, M., Haugaard, M., Krogh, H., & Skovsende, S. (2001). Miljøvaredeklarering af byggevarer. Upubliceret.

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

[5] Wenzel, H., Hauschild, M., & Rasmussen, E. (1996). Miljøvurdering af produkter: UMIP – udvikling af miljøvenlige industri produkter. Danmarks Tekniske Universitet, Institutet for Produktudvikling. København: Miljøstyrelsen & Dansk Industri.

[6] Dinesen, J., Hansen, A., & Trelldal, J. (2001). Miljødeklarering og – klassificering af bygninger: Forslag til fremgangsmåde (By og Byg Dokumentation). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.