



 **BYGGFORSK**
Norges byggforskningsinstitutt

Sverre Fossdal

Vinduer i eksisterende bygninger – vedlikehold, oppgradering eller utskifting?

Vinduer i eksisterende bygninger i et bærekraftig perspektiv

Vinduer i eksisterende bygninger – vedlikehold, oppgradering eller utskifting?

Vinduer i eksisterende bygninger i et bærekraftig perspektiv

Prosjektrapport 263 - 1999

Prosjektrapport 263 1999

Sverre Fossdal

Vinduer i eksisterende bygninger – vedlikehold, oppgradering eller utskifting?

Vinduer i eksisterende bygninger i et bærekraftig perspektiv

Norsk oversettelse av Windows in existing buildings – maintenance, upgrading or replacement, Project report 192, 1996.

Til norsk ved: Utenriksdepartementet, oversettelsestjenesten

ISSN 0801 - 6461

ISBN 82 - 536 - 0667 - 2

1500 stk. trykket i 1999 i samarbeid med Riksantikvaren

Resirkulert papir: omslag Cyclus Offset 200 g og innhold Carat 100 g

© Norges byggforskningsinstitutt 1999

(Norwegian Building Research Institute)

Adresse:

Forskningsveien 3B

Postboks 123 Blindern

N - 0314 OSLO

Telefon: +47 22 96 55 00

Telefaks: +47 22 96 57 25

Formgiver: Front Strategisk Design

Nøkkelord:

energi

miljøpåvirkning

vinduer

livssyklusvurdering

Forord

Denne rapporten ble skrevet for Riksantikvaren som et bidrag til diskusjonen om hvordan kunnskapen og erfaringen som finnes i kulturkunnskaper fra fortiden i forbindelse med bygninger, kan ses i et bærekraftig perspektiv.

Denne rapporten er utgitt i forbindelse med den fjerde europeiske konferansen for ministre med ansvar for kulturminner, "THE CULTURAL HERITAGE: AN ECONOMIC AND SOCIAL CHALLENGE", i Finland 30. og 31. mai 1996.

Knut Ivar Edvardsen, Norges byggforskningsinstitutt, Sjur Hjelseth og Dag Myklebust, Riksantikvaren, har bidratt som referansegruppe til denne rapporten.

Oslo, mai 1996

Sverre Fossdal

Innhold

	Sammendrag	5
1	Innledning	6
2	Vinduer i eksisterende bygninger	9
3	Nye og moderne vinduer	11
4	Livssyklusvurdering	13
4.1	Generelt	13
4.2	Påvirkningskategorier	14
4.3	Vindusalternativer	15
5	Ressursbruk, energibruk og miljø-	
	påvirkning i forbindelse med vedlikehold,	
	oppgradering eller utskiftninger av vinduer	17
5.1	Miljøpåvirkning ved ulike vindusalternativer	17
6	Konklusjoner	22
7	Referanser	23

Sammendrag

Den viktigste oppgaven til Riksantikvaren er å bevare og ta hånd om våre eldre bygninger som en arv til framtidige generasjoner. Gamle vinduer i eksisterende bygninger representerer en viktig del av denne arven.

Holdbarheten til vinduer er avhengig av hva slags materiale som er brukt, konstruksjon, vedlikehold og hvor værutsatte vinduene er. Norske vinduer må kunne stå imot ekstreme forhold som sterke atlantehavsvinder, styrtregn, snø, is og innlandstemperaturer som kan variere fra +35 °C om sommeren til -50 °C om vinteren. Det er mange eksempler på at levetiden til gamle vinduer, der gammel håndverkskunnskap er benyttet, kan være over 250 år, mens nye vinduer i praksis vil ha en kortere levetid. De vanligste grunnene til at folk skifter vinduer, er for å oppnå bedre varmeisolasjon og enklere service og vedlikehold, eller for å redusere trafikkstøy, og ikke nødvendigvis fordi vinduene er forringet. Utskifting av gamle vinduer kan ha katastrofale virkninger for utseendet til en bygning, selv om de nye vinduene nesten er kopier av de eksisterende vinduene.

Konferansen i Rio de Janeiro i Brasil i 1992 hevdet at hovedårsaken til en økt forringelse av det globale miljøet var et ikke-bærekraftig produksjons- og forbruksmønster, spesielt i de industrialiserte landene.

For å få en bedre forståelse av hvordan produkter påvirker miljøet i løpet av sin levetid, er det utført en livssyklusvurdering.

En livssyklusvurdering av nye koblede dobbeltvinduer, nye vinduer med energibesparende glass og gamle vinduer utstyrt med en innerkarm med enkelt og dobbelt glass er utført for en eksisterende bygård med leiligheter fra 1887. Det er forutsatt at bygningen blir varmet opp med elektrisitet, og at elektrisiteten blir produsert fra vannkraft uten utslipp til luft. Den valgte funksjonsenheten er per vindu og 90 år.

Resultatet viser at den minste miljøpåvirkningen skjer hvis de gamle vinduene blir utstyrt med en innerkarm med enkelt glass, fulgt av gamle vinduer utstyrt med en innerkarm med dobbelt glass. Dette gjelder i henhold til alle miljøkategorier (drivhuseffektpotensial, forsuring, dannelse av foto-oksider, overgjødning og forbruk av fossilt brensel) over en periode på 90 år.

Det totale energiforbruket over en periode på 90 år er imidlertid høyere for gamle vinduer utstyrt med innerkarm med både enkelt og dobbelt glass, enn for nye vinduer med energiglass. For den valgte bygningen viser beregningene omtrent 5 % høyere totalt energiforbruk i brukerfasen for bygningen med gamle vinduer med innerkarm med enkelt glass, men bare 1 % høyere energiforbruk for både gamle vinduer med innerkarm med dobbelt glass og koblede vinduer med dobbelt glass, sammenlignet med nye vinduer med energiglass. Beregningene er utført for de klimatiske forholdene i Oslo.

1 Innledning

En av oppgavene til Riksantikvaren er å bevare og ta hånd om våre eldre bygninger som en arv til framtidige generasjoner. Gamle vinduer i eksisterende bygninger representerer på mange måter en viktig del av denne arven.

Mange av bygningene som trenger oppussing, ble bygget i en periode da den estetiske framstillingen ble gitt høy prioritet. Symmetri, tenkt regelmessighet samt størrelse og form på vinduer var viktige visuelle elementer i fasaden.

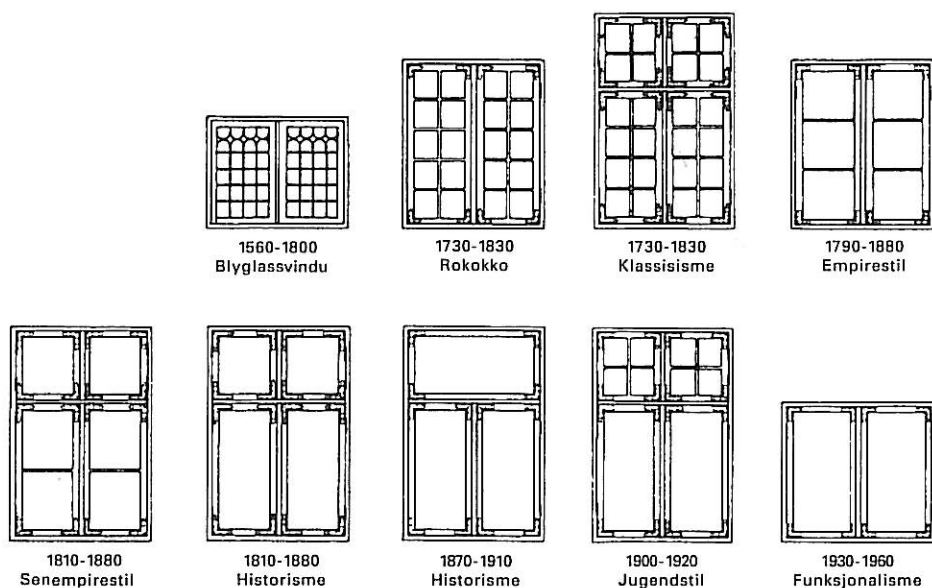
I dag fører funksjonelle krav og vage ønsker om mer moderne vinduer ofte til at eksisterende vinduer blir skiftet ut. Generelt skiller de utskiftede vinduene seg fra de originale når det gjelder profilering av og dimensjoner på karm og vindusramme, og svært ofte også i typer av åpningsmekanismer. Nye krav og detaljer i forhold til tetthet mot luft og regn i sammenføyingen mellom vinduet og veggen krever vinduer som er noe mindre enn de gamle, for at de skal passe inn i åpningen i veggen. Disse faktorene kan hver for seg eller sammen være med på å ødelegge det opprinnelige utseendet til bygningen.

På mange måter følger den historiske utviklingen av vinduer utviklingen av glassproduksjonen, samt tilgjengeligheten og prisen på vindusglass. Det var i hovedsak i kirker, borger og senere i hus som tilhørte over- og middelklassen at vinduer først ble brukt. Store vinduer og mange ruter ble en indikasjon på høy sosial og økonomisk status.

Det eldste vinduet der det ble brukt glass, er blyglassvinduet. Det hadde tverrposter av bly og en karm av tre som var avstivet med jernstenger. Disse vinduene kunne vanligvis ikke åpnes. Disse typene vinduer var vanlige i norske byer fra omtrent 1560 til midten av det syttende århundret, og på landet fram til rundt år 1800. I begynnelsen av det syttende århundret ble tverrposter av tre tatt i bruk, og fra midten av det samme århundret dominerte de smårutede barokkvinduene markedet i byene. Fra det femtende århundret og fram til i dag har vinduer endret seg fra mange små ruter til en stor enkeltrute i hver karm. Utviklingen fra vinduer med enkelt glass til vinduer med dobbelt eller tredobbelt glass har skjedd i vårt århundre. Figur 1 viser ulike typer vinduer som var i bruk i Norge fra omkring 1560 til 1960.

Figur 1

Vinduer som var vanlige i Norge

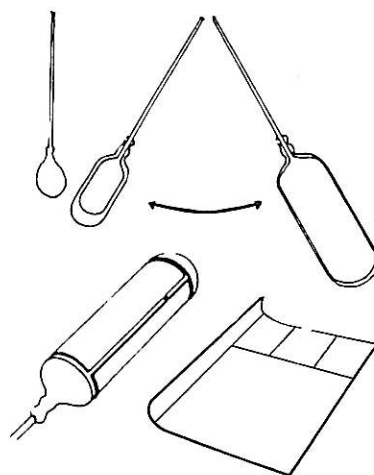
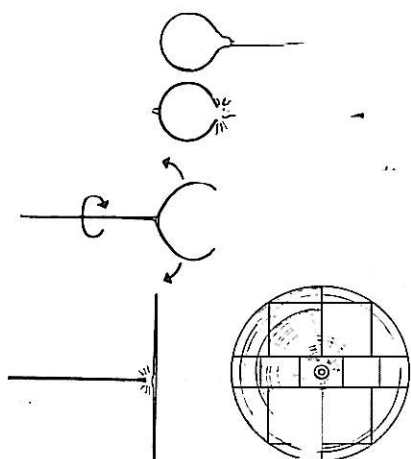


Produksjonen av glass tok til i Norge i det syttende århundret. Fram til den tid ble glass importert. I begynnelsen skjedde produksjonen av glass ved glassblåsing. Når glassboblen ble åpnet og rotert, gjorde sentrifugalkraften at glasset dannet en rund skive. Denne typen glass (kalt kronglass), som var tykkere på midten,

kunne komme opp i en diameter på ca. 1,25 m. Ved slutten av det syttende århundret ble det innført en metode der glassmassen ble formet som en flaske, endene fjernet og den gjenværende sylinderen åpnet og planert (taffelglass). Denne produksjonsmetoden førte til at mindre glass gikk til spille, og at glassruten fikk en mer jevn tykkelse.

Figur 2

Produksjon av kronglass og taffelglass



Den industrielle produksjonen av vindusglass i Norge tok til i begynnelsen av det nittende århundret. Først kom produksjonen av støpt glass, og senere kom produksjonsprosessen med flytende glass. Fra slutten av 1980-årene er alt vindusglass importert.

Gran og furu var de mest brukte materialene, men furu ble foretrukket i vindusproduksjonen. Det var et krav at tre til vindusproduksjon skulle ha smale årringer, være rett og ha minst mulig kvist. Det ble anbefalt at trærne ble barked noen år før felling for at stammen skulle fylles med kvæ og tjære, og bli mer motstandsdyktig mot råte. Vinduenes holdbarhet er avhengig av en rekke parametre som materialkvalitet (tetthet, retning på årringene i treet, naturlig impregnering), profiler på karm og vindusramme, sammenføyingsmetode, vedlikehold og hvor værutsatt vinduet er. Mange eksempler viser at gamle vinduer laget av faglærte bygningsnekkere kan ha en levetid på over 200 år, mens nyere vinduer i praksis vil ha en mye kortere levetid. I moderne produksjon er det en tendens til å øke levetiden på vinduer ved å benytte andre materialer for å beskytte treverket, f.eks. kjemisk behandling og aluminiumsbeslag, i stedet for å være avhengig av de naturlige egenskapene til selve materialet.

For omkring 100 år siden ble produksjonen av vinduer utført av faglærte håndverkere, som ikke bare valgte ut trevirke og sorterte materialene for å lage de ulike delene av vinduet, samtidig som de tok hensyn til tettheten i treet og retningen på årringene, men som også i en viss utstrekning bestemte hvilke trær som passet best til en bestemt type produksjon.

Det er en generell kvalitetskontroll med hensyn til sprekker og kvist, men treet blir vanligvis brukt uten at egenskaper som kjerneved, tetthet og retning på årringene blir tatt i betraktning.

Den viktigste funksjonen til et vindu er å slippe inn dagslys i bygningen, og la menneskene se ut på omgivelsene innenfra. Samtidig er vinduet en viktig del av klimaskallet som beskytter husets indre mot vind og nedbør. I tidligere tider var det spesifikke varmetapet gjennom vinduer mye større enn for resten av bygningen, men utviklingen og forbedringen av vinduer i de senere år har gjort denne differansen betydelig mindre.

Energitapet gjennom lukkede vinduer er et resultat av deres U-verdier og lufttetthet. For eldre vinduer er den sistnevnte faktoren trolig den viktigste. Det er også en viss varmegevinst gjennom vinduene på solrike dager.

Produksjonen ble utviklet fra å være et håndverk der kunnskapen om treet og håndverkerens ferdigheter var ytterst viktig for holdbarheten, til et 100 % industriprodukt der kostnadene og produksjonstiden er redusert mest mulig. Selv om moderne vinduer har forbedrede egenskaper når det gjelder varmeisolasjon, lufttetthet og enkel betjening, har industriproduksjonen ført til at noe av den gamle kunnskapen ikke brukes eller er gått tapt.

Riksantikvaren har tatt konsekvensene av dette, og begynte for noen få år siden et opplæringsprogram rettet mot å opprettholde de ferdighetene som var nødvendig for å kunne produsere ulike bygningsmaterialer og -produkter på den gamle måten. Målet var å sikre riktig vedlikehold og reparasjon av eksisterende bygninger, men også å holde ved like og finne tilbake til kunnskap på dette området.

De fleste produsenter av vinduer i Norge deltar i en frivillig kontroll av vinduer, Norsk Dør- og Vinduskontroll. Vindustyper som skal registreres i dette godkjenningssystemet, må tilfredsstille et sett med krav basert på erfaring og laboratorieprøving. Viktige egenskaper her er materialer, utforming, varmeisolasjon (U-verdier), lufttetthet og kondenseringsrisiko. Gamle vinduer oppfyller ofte ikke alle disse kravene.

Denne rapporten presenterer en livssyklusvurdering av vedlikehold og oppgradering av eksisterende gamle vinduer sammenlignet med utskifting til nye og moderne vinduer når det gjelder bruk av ressurser og miljøpåvirkning. Eksemplene viser ulikhetene i påvirkning mellom den måten håndverkere valgte ut og brukte treet på, og dagens moderne industriproduksjon.

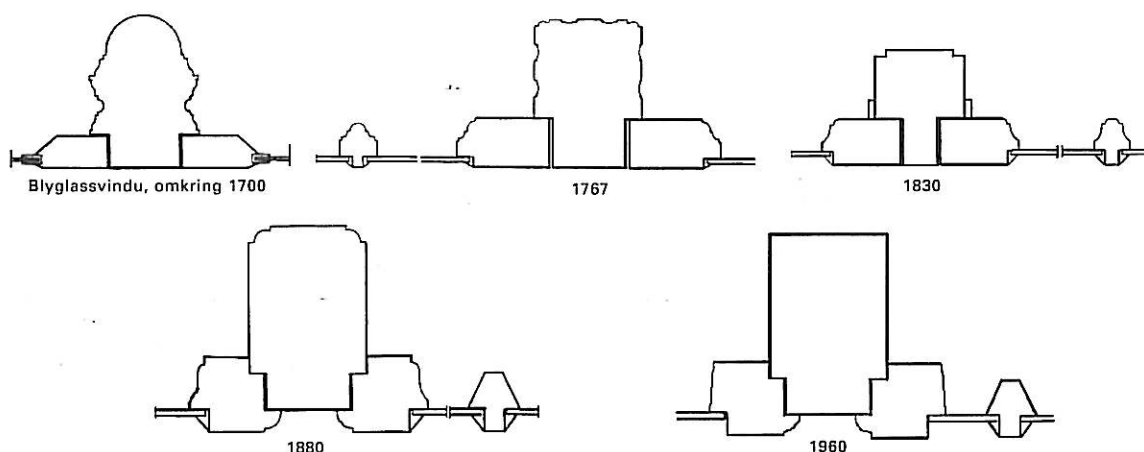
2 Vinduer i eksisterende bygninger

Figur 1 viser de vanligste typene vinduer fra midten av det sekstende århundret og fram til 1960. Vinduer, ofte de mest framtrepende trekkene ved en bygning, var sterkt knyttet til arkitekturen i perioden da bygningen ble satt opp. Disse periodene varte i flere tiår, og endringene skjedde langsomt og ble utviklet over flere generasjoner. Når vinduer endres, forandres hele bygningens utseende. Det er derfor ikke

nok å bare finne en tilfredsstillende teknisk løsning når vinduer skal forbedres. Eventuelle endringer må også være estetisk akseptable. Gamle bygninger bør derfor beholde vinduer med samme visuelle utseende som de opprinnelige vinduene. Dette betyr at selv profiler til vindusposter, karmen og tverrtre er viktige detaljer. Figur 3 viser eksempler på slike detaljer.

Figur 3

Profiler til karm, vindusramme, vinduspost og tverrtre



Mange gamle vinduer ble laget av førsteklasses materialer, noe som er grunnen til at vi i dag kan finne vinduer som er mer enn 250 år gamle og fremdeles i utmerket stand. I dag har vi eksempler som viser at skader er mer utbredt på vinduer fra 1930 enn på vinduer som er hundre år eldre. En dyktig tømmer/bygningssnekker kan svært ofte reparere og oppgradere gamle vinduer som et alternativ til utskifting, og på denne måten ta vare på og dokumentere de originale vinduene.

Før det attende århundret var det vanlig å spikre fast vindusrammen til karmen. Senere ble vindusrammer ofte hengslet i vindusposten for at vinduet skulle kunne åpnes utover.

En viktig del av varmetapet fra bygningen skyldtes luftlekkasje rundt vinduer og dører og fra skjøten mellom gulv og vegg og mellom vegg og tak. Vinduene i mange gamle bygninger har fremdeles vinduer med enkelt glass med dårlig U-verdi og mye luftlekkasje.

Vinduer fra tiden før andre verdenskrig ble vanligvis produsert uten noe mellomrom mellom vindusramme og karm for plass til tetningslist. Som en følge av dette kan en forvente en luftlekkasje på 10 - 15 m³/m²h under normale forhold for vinduer med enkel karm, og der det ikke er gjort noe for å unngå trekk gjennom skjøtene mellom vindusramme og karm. Hvis tetningslister benyttes på riktig måte, kan luftlekkasjen reduseres til 0,5 m³/m²h.

Dette vil ha en betydelig virkning på varmetapet. Det vil også redusere kondensering, og dermed øke holdbarheten til karmen, vindusposter og tverrtre. For å redusere varmetapet fra vinduer med enkelt glass, har det vært vanlig å sette inn et ekstra sett med innervinduer med en enkelt vindusrute, senere to ruter, slik det er vist i tabell 1. Disse vinduene (eller vindusrammene) var ofte ikke hengslet, og ble derfor ikke åpnet om vinteren.

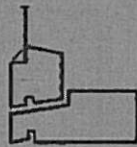
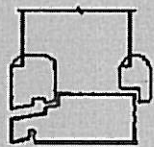
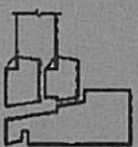
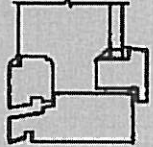
De ble vanligvis tatt ned og satt bort om sommeren. Senere, særlig da doble innervinduer ble introdusert, ble disse vinduene hengslet for å kunne åpnes innover, mens det opprinnelige vinduet som regel ble åpnet utover.

Støyproblemer, særlig i bymessige strøk, har ført til en etterspørsel etter vinduer med forbedrede akustiske egenskaper. En ekstra vindusramme vil også forbedre støyreduksjonsverdiene i betydelig grad.

Tabell 1

Eksempler på typiske eldre norske trevinduer

Varmeisolasjon - U-verdien som representerer glass, vindusramme og karm.

	1	2 (~1930)	3 (~1940)	4 (~1970)
VINDUS-KONSTRUKSJON	enkelt glass i enkel karm	enkelt glass med enkelt glass i innerkarm	koblet karm to lag glass	enkelt glass med to lag glass i innerkarm
				
U-verdi W/m ² K	4,7	2,6	2,7	2,0
Luftlekkasje * m ³ /m ²	10 - 15/-1**	<1**	<1**	<1**
R***dBA	24	30 - 32	28 - 30	36

*) Trykkdifferanse 50 Pa

***) Med tetningslister

***) Støyreduksjon, basert på 4 mm rutetykkelse

Fuktighet er den viktigste årsaken til skade på gamle vinduer, både på utsiden (regn, frost og dogg) og fra innsiden (kondensering eller isdannelse). De mest utsatte delene av vinduet er underkarmen og de nedre delene av vindusramme og karm. Overkarmen er vanligvis godt beskyttet, og på sidekarmene vil vannet renne ned. Tre som blir utsatt for fuktighet og ikke får tørke, vil raskt brytes ned. Endeveden er spesielt sårbar for råte.

Tre som har fått tørke, er vanligvis i god stand, selv om overflaten kan synes grå og medtatt av vær og vind.

Rust kan forekomme på skruer, hengsler og beslag. Slitasje over tid vil også påvirke hengslene og åpningsmekanismen.

Vanlig vinduskitt basert på linolje vil over tid bli hard og sprø, åpne for gjennomtrengning av fuktighet og øke faren for at treet råtner.

Selv med tre av høy kvalitet er tilstanden til gamle vinduer i dag i høy grad en funksjon av kvaliteten på malingsarbeidet og annet vedlikehold som er utført tidligere.

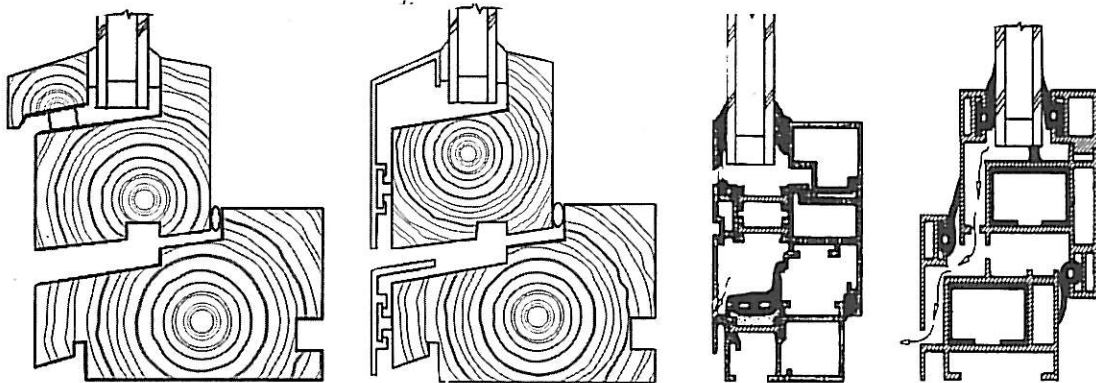
3 Nye og moderne vinduer

Produksjon av moderne vinduer er blitt en fullt ut automatisert industriprosess. Markedet kan tilby mange typer vinduer med ulike egenskaper. Som i tidligere tider er størrelse, form og plassering av vinduene viktige arkitektoniske trekk. Dagens produksjonsmetoder gjør det enkelt å oppfylle individuelle ønsker med hensyn til form og størrelse, uten ekstra kostnader.

I dag brukes det tre typer materialer i vinduer i Norge. Tre er det vanligste materialet, fulgt av aluminium og plast. Vinduer av aluminium og plast krever mindre vedlikehold enn trevinduer, men aluminium har høy varmekonduktivitet og termisk ekspansjon. Noen aluminiumsvinduer har problemer med å oppfylle kravene til varmeisolasjon i byggeforskriftene, særlig når det gjelder boliger. Aluminiumsvinduer blir for det meste brukt i forretnings- og industribygg.

Figur 4

Vinduer av tre, tre kombinert med aluminiumsbeskyttelse, aluminium og plast



Plastvinduer blir alltid forsterket med metallprofiler, siden stivheten til plast i seg selv er dårlig. Vinduer laget av tre, kombinert med en ytre beskyttelse av aluminium (aluminiumskledning), er blitt vanlig for å øke holdbarheten. Alle nye trevinduer har en eller annen form for kunstig beskyttelse. Figur 4 viser eksempler på vinduer produsert av ulike materialer.

Norske vinduer må kunne stå imot ekstreme forhold som sterke atlanterhavsvinder, styrtregn, snø, is og innlandstemperaturer som kan variere fra +35 °C om sommeren til -50 °C om vinteren.

Brukerkrav og ytelseskriterier definert av Norsk Dør- og Vinduskontroll har ført til en rekke nye og bedre løsninger i de senere år.

Luftlekkasje og gjennomtrengning ved styrtregn er etter hvert blitt minimal. Prøver utført av Norsk Dør- og Vinduskontroll viser at luftlekkasje for nye vinduer nå er mindre enn $1,5 \text{ m}^3/\text{tm}^2$ (testtrykk på 700 Pa), mens kravene er $10 \text{ m}^3/\text{t m}^2$. Sammenlignet med gamle vinduer er det blitt utviklet bedre løsninger for å lette rengjøring og for å kunne åpne vinduet utover eller innover. Det er også utviklet en låsemekanisme som hindrer at barn faller ut, og låsemekanismer som hindrer innbrudd.

Tabell 2

U-verdier, luftlekkasje og støyreduksjon for nye norske trevinduer (1,2 m x 1,2 m)

	U-verdi (W/m ² · K)	Luftlekkasje* (m ³ /m ² t)	Støyreduksjon (dB(A))
Dobbelt glass	2,8	0 - 0,5	28 - 29
Energispareglass	1,8	0 - 0,5	28 - 29
Energispareglass med argon	1,6	0 - 0,5	28 - 29

*Trykkdifferanse 50 Pa

Den vanligste grunnen til at folk skifter ut vinduene er for å oppnå bedre varmeisolasjon, enklere rengjøring av vinduene eller for å redusere trafikkstøy. Det er i hovedsak glasset som bestemmer varmeisolasjonsegenskapene. Men det er karmen, vindusrammen og ikke minst installasjonsdetaljene som skiller de beste fra de dårligste. Den innlysende fordelene ved en lav U-verdi er å spare penger og oppnå økt komfort, men vindusåpningen kan også økes for å slippe mer lys inn i rommet uten å risikere en økning av varmetapet. Risikoen for kondensering på grunn av lave temperaturer på inner-ruten, samt kuldestråling og kald trekk fra vinduet vil også bli redusert med bedre U-verdier.

Glasset som i dag benyttes i vindusproduksjon, blir produsert med en flytprosess som ble oppfunnet i 1950-årene. Når det gjelder ruter, skiller det normalt mellom dobbelt glass og energispareglass. Ordinære vinduer med dobbelt glass (1,2 m x 1,2 m) har en U-verdi på 2,8 W/m² °K, mens det beste energispareglasset på markedet har en U-verdi på nær 0,8 W/m² °K.

En stor del av gamle bolighus i Oslo ble bygget i perioden fra 1880 til 1890. Det var i 1970-årene at prosessen med utskifting av vinduer i disse bygningene startet. Disse utskiftingene ble rettfærdiggjort som et energisparingstiltak, med røtter tilbake til oljekrisen i 1971-72, heller enn en nødvendighet på grunn av forringelse.

Det er ingen tvil om at luftforurensning fra oppvarming, trafikk og industri har vist en vesentlig økning etter andre verdenskrig, og dermed redusert vinduenes forventede levetid.

I dag varierer brukstiden til nye vinduer fra 10 år til 70 - 80 år, men det er blitt vanlig å beregne 30 år som brukstid for dagens vinduer.

4 Livssyklusvurdering

4.1 Generelt

Bærekraftig utvikling er blitt et motebegrep, brukt og misbrukt i mange sammenhenger siden det ble lansert i forbindelse med arbeidet som ble utført av Verdenskommisjonen for miljø og utvikling, bedre kjent som Brundtland-rapporten «Vår felles framtid» i 1987.

Dette arbeidet ble fulgt opp av konferansen i Rio de Janeiro i Brasil i 1992, som slo fast at den viktigste grunnen til en økt forringelse av det globale miljøet var et ikke-bærekraftig produksjons- og forbruksmønster, spesielt i de industrialiserte landene.

Brundtland-kommisjonen har definert bærekraftig utvikling som en utvikling som oppfyller dagens behov uten å bringe i fare framtidige generasjoners mulighet til å dekke sine egne behov. Dette betyr å holde dagens forbruk av ressurser, utslipp til luft og vann og avfallsdisponering innenfor de grensene som er gitt av naturen selv.

Figur 5
Livssyklusvurdering



En måte som produsenter og brukere kan få kunnskap om hvordan produkter påvirker miljøet, er å utføre livssyklusvurderinger. En livssyklusvurdering er en metode for å slå fast miljøpåvirkningen til et produkt i løpet av produktets fullstendige livssyklus.

En livssyklusvurdering ser på et produktsystem, og vurderer helse, miljø og bruk av ressurser i dette systemet i løpet av produktets livssyklus.

En fullstendig livssyklusvurdering består av fire trinn, slik det er vist på figur 5.

Trinn 1 definerer målet for og omfanget av undersøkelsen, samtidig med begrensningene i undersøkelsen.

Trinn 2 består av å samle inn data og utføre en analyse av material- og energiflyt innenfor de begrensningene som ble definert i trinn 1.

Trinn 3, vurdering av påvirkning, er delt inn i tre undergrupper:

1. Klassifisering - alle utslipp blir klassifisert i påvirkningskategorier.
2. Karakterisering - bidragene fra hver påvirkningskategori blir anslått ut fra kvantitative eller kvalitative metoder.
3. Vurdering, verdisseting og veiing av påvirkningen fra hver påvirkningskategori.

Trinn 4, resultatene av undersøkelsen blir analysert og «hot spots» utpekt.

Til slutt vurderes forslag til tiltak for å redusere miljøpåvirkningene.

4.2 Påvirkningskategorier

I en fullstendig livssyklusvurdering må alle utslipp tas med når det gjelder å slå fast de totale påvirkningene. Under trinn 3 er det vanlig å dele klassifiseringen i tre hovedkategorier. Disse kategoriene er igjen delt opp slik det er vist i tabell 3.

Til denne rapporten er følgende påvirkningskategorier vurdert.

1. Drivhuseffektpotensial fra utslipp av CO₂
2. Forsuring som skyldes utslipp av SO₂ og NO_x
3. Dannelse av foto-oksideranter fra VOC
4. Overgjødning fra NO_x
5. Utarming av fossile ressurser

Verdisetting og veiing mellom kategoriene er ikke utført. Dette er et kontroversielt emne som ikke bare kan baseres på vitenskapelige metoder.

Tabell 3

Påvirkningskategorier

1	BRUK (UTARMING) AV RESSURSER
1.1	Energi og materialer
1.2	Vann
1.3	Jord
2	MENNESKELIG HELSE
2.1	Toksikologiske påvirkninger
2.2	Fysiologiske påvirkninger
2.3	Psykologiske påvirkninger
2.4	Sykdommer som skyldes biologiske organismer
3	ØKOLOGISKE PÅVIRKNINGER
3.1	Drivhuseffektpotensial
3.2	Utarming av stratofærisk ozon
3.3	Forsuring
3.4	Overgjødning
3.5	Dannelse av foto-oksideranter
3.6	Øko-toksikologiske påvirkninger
3.7	Innvirkninger på det biologiske mangfoldet

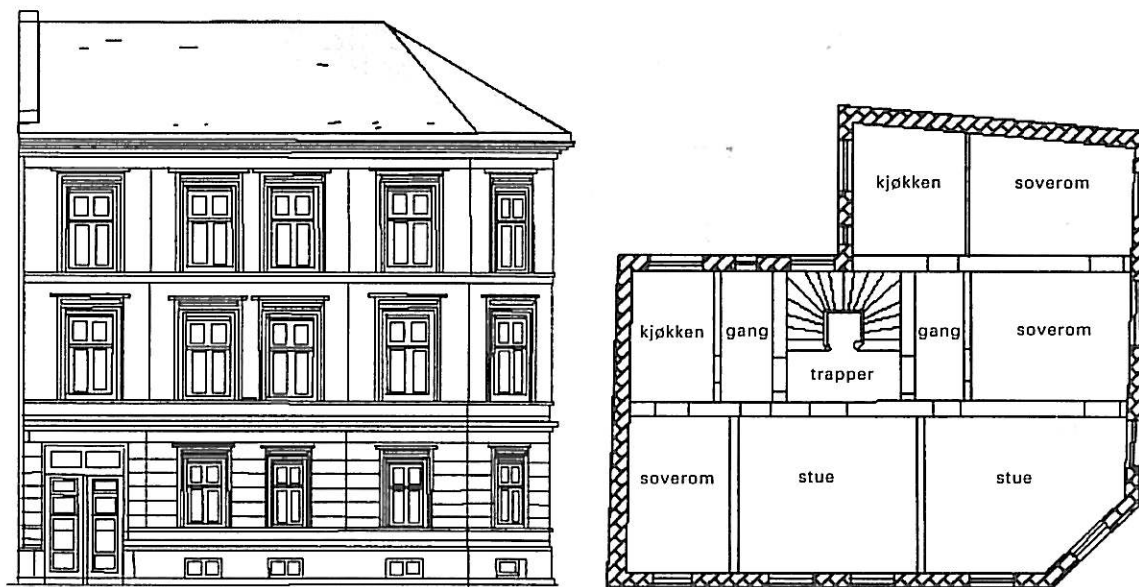
4.3 Vindusalternativer

Livssyklusvurderingen av vinduer er utført for en eksisterende bygning fra 1887, se figur 6. Den tre-etasjers bygården er bygget i murt teglstein. Bygningen har en grunnflate på 154 m², en gjennomsnittlig romhøyde på 3,1 m og ligger i Oslo. Bygningen har et vindusareal på 57 m². Bygningen hadde vinduer med enkelt glass som ble skiftet ut med rutekoblede vinduer i 1982. De gamle vinduene i bygningen hadde en brukstid på 95 år.

U-verdiene til ytterveggene, gulvet i grunnetasjen og i taket i øverste etasje er henholdsvis 1,2 - 0,5 - 0,6 W/m² °K.

En livssyklusvurdering av ulike vindusalternativer ble utført. Funksjonsenheten er valgt å være alle bygningens vinduer og 90 år. Fire vindusalternativer ble vurdert og sammenlignet med de gamle vinduene. Tabell 4 viser spesifikasjonene til de gamle vinduene og de fire alternative vinduene.

Figur 6
Tre-etasjers bygning



Tabell 4
Egenskaper for ulike vindusalternativer

	Gamle vinduer	Gamle vinduer med enkelt glass i innerkarm	Gamle vinduer med dobbelt glass i innerkarm	Koblede vinduer med dobbelt glass	Energivinduer med argon
ANTALL VINDUER	1	2	3	3	2
U-verdi W/m ² ·K	4,7	2,6	2,1	2,0	1,8
Luftinfiltrasjon m ³ /m ² h	0,15	0,15	0,1	0,1	0,1
Solfaktor	0,87	0,78	0,70	0,70	0,60

Tabell 5 Materialer brukt i hele levetiden til ulike vindusalternativer

	kg	kg	kg	kg
Tre	17	25	161	188
Glass	13	26	117	78
Stål	2	2	6	10,5
Isolasjon mellom karm og vegg	0,00	0,00	0,21	0,21

Tabell 6 Beregnet energiforbruk for ulike vindusalternativer

	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Transmisjonstap	125	110	106	106	104
Ventilasjon	19	19	19	19	19
Infiltrasjon	9	9	6	6	6
Varmt vann	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Belysning	11	11	11	11	11
Utstyr	10	10	10	10	10
Gratis energi (sol, mennesker)	-32	-31	-30	-30	-30
Totalt energiforbruk	145,5	131,5	125,5	125,5	123,5

Tabell 7 Spart energi sammenlignet med gamle, eksisterende vinduer over en periode på 90 år

	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Spart energi	0	1 235	1 759	1 820	1 874

Tabell 5 viser materialene som ble brukt i de ulike vindusalternativene. Massespesifikasjonene inkluderer kapp og utskiftinger for en periode på 90 år.

Det er forutsatt at nye vinduer som utsettes for utendørsklima, må erstattes to ganger, mens innerkarmen ikke trenger å skiftes ut i løpet av perioden.

Energiforbruket er beregnet i samsvar med Norsk Standard 3031, "Beregning av bygningers energi- og effektbehov til oppvarming og ventilasjon". I tillegg er det forutsatt et forbruk av varmt vann på 3 500 KWh per år. Tabell 6 viser det beregnede energiforbruket til de ulike vindusalternativene for bygningen. Energibesparelsen for de ulike vindusalternativene er vist i tabell 7. Dette er besparelsen av energi for den totale levetiden (90 år) sammenlignet med de gamle vinduene.

5 Ressursbruk, energibruk og miljøpåvirkning i forbindelse med vedlikehold, oppgradering eller utskifting av vinduer

Bygningen som er vist på figur 6, blir varmet opp med elektrisitet. Det skjer ingen utslipp av CO₂, SO₂, NO_x og VOC som et resultat av oppvarmingen av bygningen, fordi energien til oppvarming er basert på vannkraft. Energi- og miljøregnskapet, delt opp i strømforbruk og forbruk av fossil energi og utslipp av CO₂, SO₂, NO_x og VOC (Volatile Organic Compounds/flyktige organiske forbindelser), er vist i tabell 8.

Tabellen dekker alle fasene fra utvinning, produksjon, bruk og riving. Som tabellen viser, utgjør energien som blir brukt i bygningen i løpet av vinduenes levetid (90 år), nesten alt energiforbruk i denne vurderingen. Den viktigste miljøpåvirkningen blir imidlertid forårsaket under produksjonen av vinduene.

5.1 Miljøpåvirkning ved ulike vindusalternativer

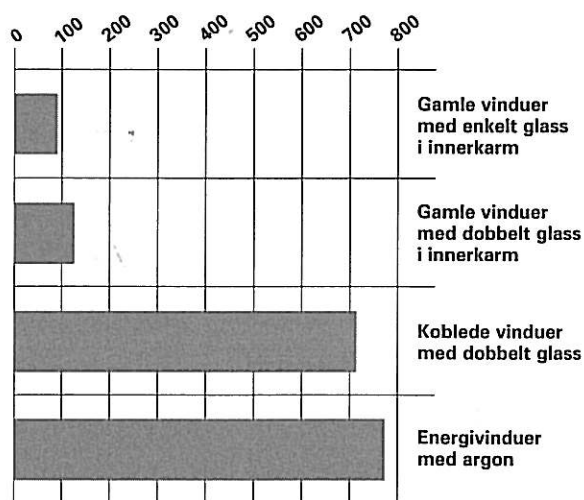
5.1.1 Drivhuseffektpotensial

Drivhuseffektpotensialet er beregnet i CO₂-ekvivalenter. Figur 7 viser utslippene av CO₂ for de fire vindusalternativene. Drivhuseffektpotensialet, uttrykt i CO₂-ekvivalenter, er om lag sju ganger høyere for nye vinduer (koblede vinduer med dobbelt glass og vinduer med energiglass) enn for de gamle vinduene med innerkarmer.

Figuren foran viser at nye vinduer med energiglass bidrar mest til drivhuseffektpotensialet.

Figur 7

Drivhuseffektpotensial (Kg CO₂ 90 år)



Tabell 8

Energi og miljøpåvirkning fra vinduer over en periode på 90 år

GAMLE VINDUER MED ENKELT GLASS I INNERKARM

	ELEKTRISITET (MWh)	FOSSILT BRENSEL (MWh)	TOTALT (MWh)	CO ₂ (g)	SO ₂ (g)	NO _x (g)	VOC (g)
Produksjon og utskifting	0	1	1	87 058	451	1 953	182
Bruk	11 699		11 699				
Demontering/riving		0	0	114	0	2	0
TOTALT	11 699	1	11 700	87172	451	1 955	182

GAMLE VINDUER MED DOBBELT GLASS I INNERKARM

	ELEKTRISITET (MWh)	FOSSILT BRENSEL (MWh)	TOTALT (MWh)	CO ₂ (g)	SO ₂ (g)	NO _x (g)	VOC (g)
Produksjon og utskifting	0	2	2	130 196	793	3 594	247
Bruk	11 175		11 175				
Demontering/riving		0	0	194	0	3	1
TOTALT	11 175	2	11 177	130 390	793	3 597	248

KOBLEDE VINDUER MED DOBBELT GLASS

	ELEKTRISITET (MWh)	FOSSILT BRENSEL (MWh)	TOTALT (MWh)	CO ₂ (g)	SO ₂ (g)	NO _x (g)	VOC (g)
Produksjon og utskifting	3	7	11	713 457	3 978	17 451	1 408
Bruk	11 113		11 113				
Demontering/riving		0	0	1 057	1	17	3
TOTALT	11 116	7	11 124	714 514	3 979	17 468	1 411

ENERGIVINDUER MED ARGON

	ELEKTRISITET (MWh)	FOSSILT BRENSEL (MWh)	TOTALT (MWh)	CO ₂ (g)	SO ₂ (g)	NO _x (g)	VOC (g)
Produksjon og utskifting	4	6	10	766 169	3 450	13 750	1 678
Bruk	11 059		11 059				
Demontering/riving		0	0	1032	1	16	3
TOTALT	11 063	6	11 069	767 201	3 451	13 766	1 681

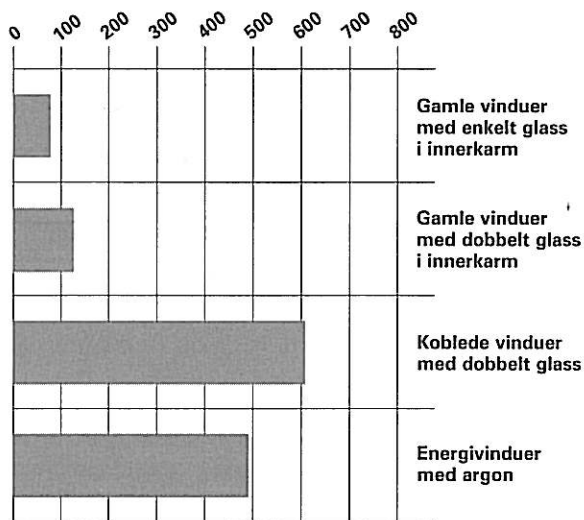
5.1.2 Forsuring

Forsuring blir uttrykt som H⁺-ekvivalenter, og virkningen er beregnet ut fra utslippet av SO₂ og NO_x. SO₂ bidrar med to mol protoner for hvert mol svovel, og NO_x bidrar med ett mol protoner for hvert mol nitrogen. Det er forutsatt at NO_x består av 50 % NO og 50 % NO₂.

Figuren til høyre viser at forsuringen, uttrykt i H⁺-ekvivalenter, er høyest for nye koblede vinduer med dobbelt glass, fulgt av nye vinduer med energiglass. Bidraget fra nye vinduer er fra fire til sju ganger høyere enn fra de gamle vinduene med innerkarmer når det forutsettes at alle NO_x-utslippene bidrar til forsuring.

Figur 8

Forsuring (H⁺-ekvivalenter 90 år)



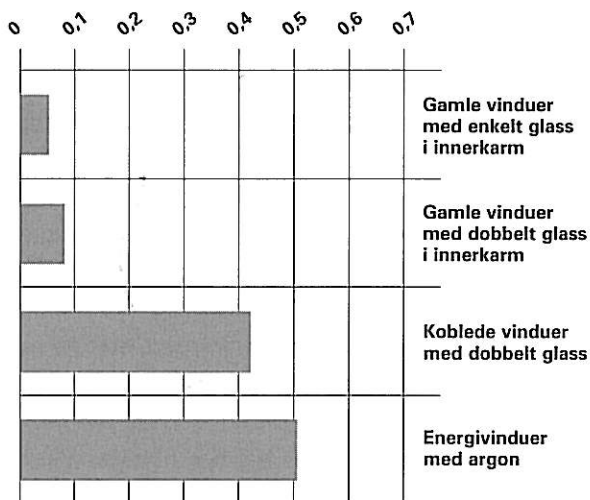
5.1.3 Dannelse av foto-oksider

Dannelse av foto-oksider, det vil si produksjon av ozon under innflytelse av solstråling, uttrykkes i POCP (Photochemical Ozone Creation Potentials/fotokjemisk potensial for ozondannelse), også kalt etylen-ekvivalenter. Dannelsen av ozon skyldes enten VOC'er eller NO_x. I vurderingen av de ulike vindusløsningene er bare VOC-utslippene tatt i betraktning.

Figuren til høyre viser at potensialet for dannelse av foto-oksider er åtte til ti ganger høyere for nye vinduer enn for de gamle vinduene med innerkarmer. Siden utslippene av VOC i hovedsak kommer fra transport, og totalvekten på nye vinduer er seks til ni ganger høyere enn for de gamle vinduene med innerkarmer, var dette som forventet.

Figur 9

Dannelse av foto-oksider (POCP 90 år)



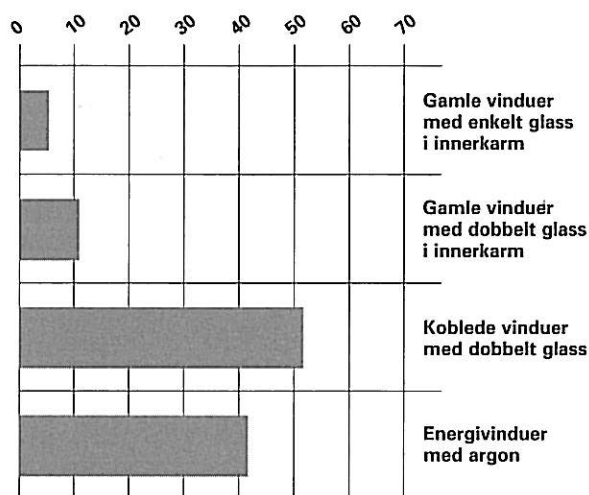
5.1.4 Overgjødning

Overgjødning er bare tatt i betraktning for utslipp av NO_x . Deres bidrag til overgjødningen kan beregnes til COD (Chemical Oxygen Demand/ kjemisk oksygenforbruk). Det er forutsatt at NO_x eksisterer i form av NO_2 og at forbruket av oksygen er 8,6 mol for hvert mol nitrogen.

De nye vinduene bidrar mange ganger mer til overgjødning av jord, vann og vannsystemer enn gamle vinduer med innerkarmen. Også i dette tilfellet er det de potensielle virkningene som er beregnet.

Figur 10

Overgjødning (g COD 90 år)



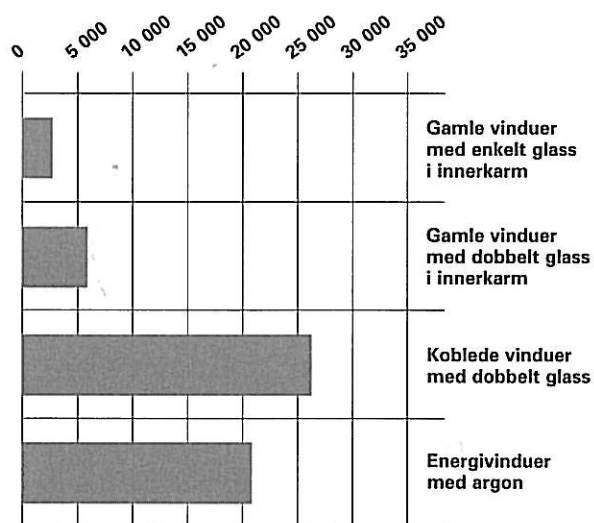
5.1.5 Utarming av fossilt brensel

Utarming av fossilt brensel blir uttrykt i MJ, og er et resultat av forbruk av brensel i produksjon og transport. Figur 11 viser at forbruket av fossile ressurser for produksjon og utskifting av nye koblede vinduer med dobbelt glass er om lag seks ganger høyere enn for bruk av de gamle vinduene med innerkarm med enkelt glass.

Av alle løsningene som er vurdert, står de nye koblede vinduene med dobbelt glass for det høyeste forbruket av fossilt brensel. Dette kan forklares med at disse har den høyeste glassvekten. Produksjon av glass har det høyeste forbruket av fossilt brensel blant de materialene som et vindu består av.

Figur 11

Utarming av fossilt brensel (MJ 90 år)



5.1.6 Total energivurdering

Beregninger viser at nye vinduer har den høyeste innkorporerte energien, se figur 12. Energibesparelsen sammenlignet med de gamle vinduene for de ulike vindusalternativene (tabell 7) er høyest for de nye vinduene med energiglass. Den innkorporerte energien utgjør bare fra 0,01 % til 0,06 % av energibesparelsen for de ulike vindusalternativene.

Den totale energisituasjonen for de fire alternativene viser de beste resultatene for nye vinduer med energiglass, fulgt av gamle vinduer utstyrt med innerkarmen med dobbelt glass. Differansen i det totale energiforbruket for en periode på 90 år mellom nye vinduer med energiglass og gamle vinduer med innerkarm med dobbelt glass er imidlertid mindre enn 5 %. Dette alternativet vil derfor synes svært attraktivt når det gjelder arbeidet som utføres av Riksantikvaren, siden gamle vinduer med dobbelt glass i

innerkarmen ikke vil påvirke eksteriøret til bygningen, og vil ha et energitap av samme størrelse som vinduene med energiglass. Når det gjelder miljøpåvirkning, vil de gamle vinduene med innerkarm og dobbelt glass være om lag seks ganger bedre enn vinduene med energiglass.

Differansen i innkorporert energi mellom nye vinduer med energiglass og gamle vinduer utstyrt med innerkarmen med dobbelt glass spares inn ved bruk av nye vinduer med energiglass over en periode på fire til fem år. Dette alternativet vil imidlertid ha en større miljøpåvirkning.

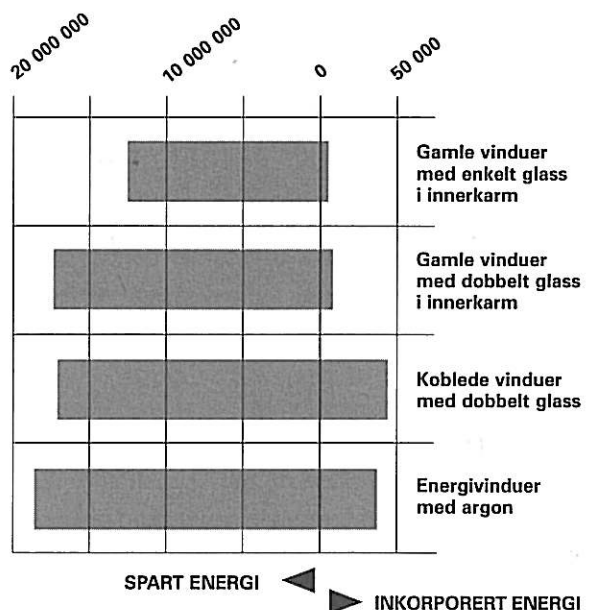
Det beste alternativet når man tar i betraktning både det totale energiforbruket og miljøpåvirkningen over en periode på 90 år, vil være å utstyre innerkarmen med energiglass i stedet for dobbelt glass.

5.1.7 Avfallshåndtering

Mesteparten av materialene fra rivingen av vinduer blir fremdeles transportert til områder for avfallsdisponering.

Mangel på ressurser og hensynet til miljøet kan komme til å kreve gjenbruk og resirkulering også i forbindelse med riving av vinduer. Avfallet fra riving av vinduer er tre, glass, aluminium, stål og plast. Resirkuleringsprosesser for metaller, glass og plast er allerede tilgjengelige. Tre som normalt er blitt behandlet og malt, kan utgjøre et problem, siden det vil kreve spesialbehandling før det kan brukes på nytt eller brennes. Energiforbruket og miljøpåvirkningen fra riving av vinduer vil være liten sammenlignet med resten av materialene i en bygning.

Figur 12
Total energivurdring



6 Konklusjoner

Holdbarheten til vinduer avhenger av hvilke materialer som blir brukt, hvordan vinduet er konstruert, hvordan vinduet er vedlikeholdt og i hvor stor grad det har vært utsatt for vær og vind. Det er mange eksempler som viser at levetiden til gamle vinduer, der gammel håndverkskunnskap er benyttet, kan overstige 250 år, mens nye vinduer i praksis vil ha en kortere levetid. De vanligste grunnene til at folk skifter ut vinduer er enten for oppnå bedre varmeisolasjon, enklere service og vedlikehold eller for å redusere trafikkstøy, og ikke nødvendigvis på grunn av forringelse. Utskifting av gamle vinduer kan ha alvorlige negative virkninger på utseendet til en bygning, selv om de nye vinduene nesten er kopier av eksisterende vinduer.

En livssyklusvurdering av nye koblede vinduer med dobbelt glass, nye vinduer med energibesparende glass og gamle vinduer utstyrt med en innerkarm med enkelt eller dobbelt glass, er blitt utført for en eksisterende bygård med leiligheter fra 1887. Det forutsettes at bygningen blir varmet opp med elektrisitet, og at elektrisiteten blir produsert av vannkraft, uten utslipp til luft. Den valgte funksjonsenheten er alle vinduene i bygningen og 90 år.

Resultatene av denne vurderingen viser minst miljøpåvirkning hvis de gamle vinduene utstyres med en innerkarm med enkelt glass, fulgt av gamle vinduer utstyrt med en innerkarm med dobbelt glass. Dette er sett i forhold til alle miljøkategoriene (drivhuseffektpotensial, forsuring, dannelselse av foto-oksider, overgjødning og forbruk av fossilt brensel) over en periode på 90 år.

Det totale energiforbruket for en periode på 90 år er imidlertid høyere for de gamle vinduene utstyrt med innerkarm med enkelt eller dobbelt glass enn for nye vinduer med energiglass. For den valgte bygningen viser beregningen ca. 15 % høyere totalt energiforbruk i brukerfasen for bygningen med gamle vinduer (enkelt glass) sammenlignet med nye vinduer med energiglass.

Fra Riksantikvarens synspunkt har det aldri vært noen god løsning å skifte ut gamle vinduer med kopier. Som det er pekt på, ender man vanligvis opp med løsninger som bare er nesten-kopier, fordi nye tekniske løsninger er blitt introdusert, iblant er nye materialer og nesten alltid nye dimensjoner kommet til, sammenlignet med materialene i og dimensjonene til de originale vinduene.

Kulturantikvariske myndigheter har i mange år anbefalt at man beholder (om nødvendig reparerer) de gamle vinduene og setter til en innerkarm som den beste løsningen når den tekniske standarden skal forbedres for å tilfredsstille moderne krav. Dette gjør at bygningens ytre utseende forblir intakt, samtidig som virkningen når man ser ut av de gamle uregelmessige rutene blir tatt vare på. Det samme gjelder de opprinnelige materialene og den tekniske kunnskapen som ligger i konstruksjonen av vinduet, som også vil bli tatt vare på.

Denne løsningen er blitt kritisert for ikke å være effektiv nok med hensyn til energisparing. Undersøkelsen viser at det totale energiforbruket over en levetid på 90 år bare er 4 - 5 % høyere for den anbefalte løsningen sammenlignet med nye vinduer. Dette må anses som en svært lav pris å betale for å beholde estetiske verdier og originalens autenticitet. Når vi også tar i betraktning den høyere graden av negativ miljøpåvirkning som skyldes produksjonen av nye vinduer, er konklusjonen klar: Det er ingen gode argumenter for å skifte ut gamle vinduer i normal tilstand med nye vinduer, i stedet for å sette inn en innerkarm.

7 Referanser

1. Knut Ivar Edvardsen,
Norges byggforskningsinstitutt,
Sjur Helseth og Dag Myklebust, Riksantikvaren,
har bidratt som referansegruppe til denne
rapporten.

2. Sverre Fossdal:
"Energy Consumption and Environmental
Impact of Buildings in Norway:
Life Cycle Assessment".
Det internasjonale eneregibyrådet,
"Energy Conservation in Buildings and
Community Systems Programme News",
nr. 22, oktober 1995.

3. Sverre Fossdal og Knut Ivar Edvardsen:
"Bygningers energiforbruk og miljøpåvirkning".
En studie av tradisjonelle og moderne trebyg-
ninger. Building Research and Information,
vol. 23 nr. 4 1995.

4. Gode råd om vinduer i eldre hus. Foreningen
til norske fortidsminnesmerkes bevaring og
Treopplysningsrådet.

5. Dag Eckhoff: "Utbedring av eldre vinduer".
Norges byggforskningsinstitutt,
Arbeidsrapport 33, 1980.

6. Guidelines for Life-Cycle Assessment:
A 'Code of Practice'. SETAC Workshop
Portugal 1993.

7. Life Cycle Design Guidance Manual.
United States Environmental Protection
Agency, januar 1993.

8. Life Cycle Assessment:
Inventory Guidelines and Principles.
United States Environmental Protection
Agency, februar 1993.

