

# ISOLATIE EN VENTILATIE



4

Vlaamse overheid







1

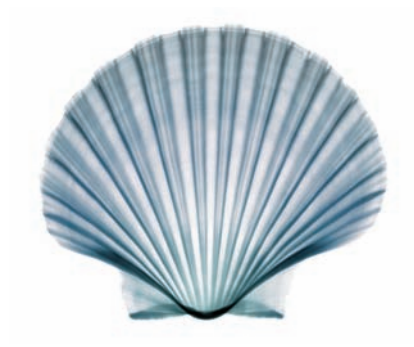
2

3

4

5

# ISOLATIE EN VENTILATIE

**Verantwoordelijk Uitgever**

Vlaamse overheid  
Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming  
Departement Onderwijs en Vorming  
Stafdienst

Koning Albert II-laan 15  
1210 Brussel

Tel: 02 / 553 95 55

Contactpersoon:  
Willy Van Belleghem  
E-mail: [willy.vanbelleghem@ond.vlaanderen.be](mailto:willy.vanbelleghem@ond.vlaanderen.be)

**Vormgeving:** Artefact

**Druk:** Die Keure

**Wettelijk depot:** D/2007/3241/236

**Uitvoerder**

Professor Hugo Hens  
K.U. Leuven  
Departement Burgerlijke Bouw-  
kunde,  
Afdeling Bouwfysica

Kasteelpark Arenberg 40  
3001 Leuven

Tel: 016 / 32 13 44

<http://bwk.kuleuven.be/>

<b>1</b>	<b>HET PROBLEEM .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>WETTELIJKE EISEN .....</b>	<b>6</b>
2.1	Nieuwbouw .....	6
2.1.1	Jaarlijks primair energiegebruik .....	6
2.1.2	Warmte-isolatie .....	7
2.1.3	Binnenluchtkwaliteit .....	7
2.1.4	Verlichting .....	7
2.2	Verbouwing .....	7
2.2.1	Warmte-isolatie .....	7
2.2.2	Binnenluchtkwaliteit .....	8
<b>3</b>	<b>ISOLEREN VRAAGT KENNIS .....</b>	<b>9</b>
3.1	Isolatiematerialen .....	9
3.2	Hoe gevels, daken en vloeren correct isoleren .....	12
3.2.1	Nieuwbouw .....	14
3.2.2	Renovatie .....	18
3.3	Koudebruggen .....	19
3.4	Luchtdichtheid .....	20
<b>4</b>	<b>GOED VENTILEREN MOET .....</b>	<b>21</b>
4.1	De situatie vandaag .....	21
4.2	Welk ventilatiesysteem kiezen .....	23
<b>5</b>	<b>KOSTEN EN BATEN .....</b>	<b>25</b>
5.1	Eerst de feiten .....	25
5.2	Hoe de kosten en baten beoordelen .....	26
5.3	Nieuwbouw versus renovatie .....	26
<b>6</b>	<b>TWEE VOORBEELDEN VAN RENOVATIES .....</b>	<b>29</b>
6.1	School 1 .....	29
6.1.1	Algemeen .....	29
6.1.2	Warmte-isolatie .....	30
6.1.3	Ventilatie .....	30
6.1.4	Kosten en baten .....	30
6.2	School 2 .....	32
<b>7</b>	<b>BEGRIPPENLIJST .....</b>	<b>33</b>
7.1	Warmte .....	33
7.2	Lucht en ventilatie .....	34
7.3	Vocht .....	35
<b>8</b>	<b>NUTTIGE ADRESSEN EN WEBSITES .....</b>	<b>36</b>

# 1 HET PROBLEEM



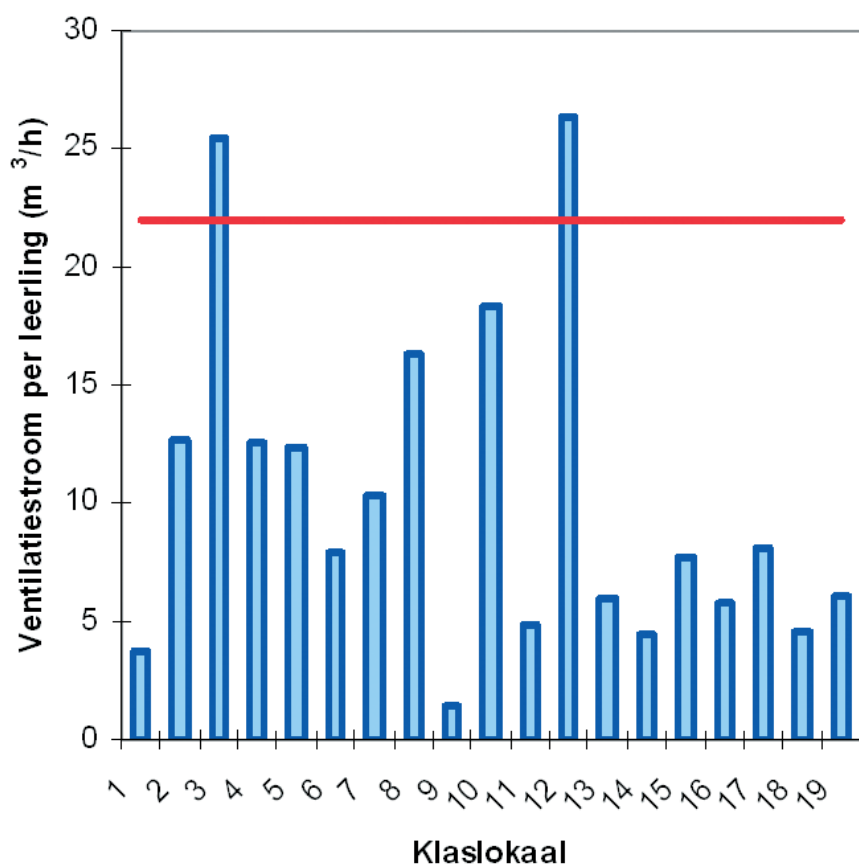
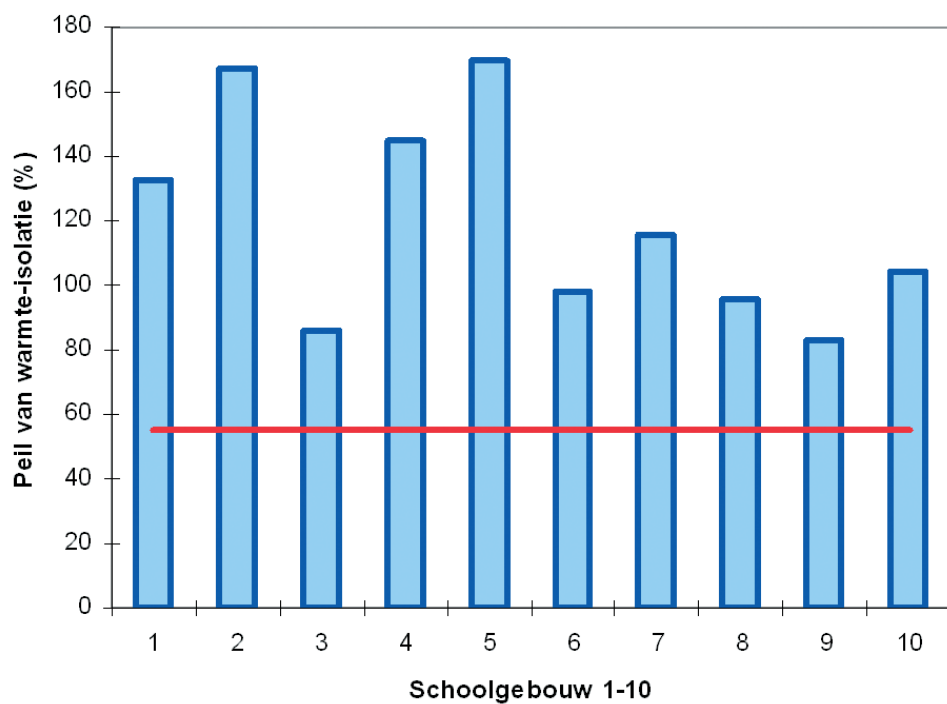
In streken met een gematigd klimaat is een goede warmte-isolatie het beste middel om het energiegebruik bij verwarming van gebouwen te drukken. Door gebouwen voldoende te isoleren, daalt het gebruik en vermindert de hiermee gepaard gaande uitstoot van koolstofdioxide. Als warmte-isolatie op grote schaal wordt toegepast, is dit dus gunstig voor het milieu.

's Winters bevordert een prima warmte-isolatie het comfortgevoel in de klas. Dit comfortgevoel hangt af van de lucht- en de stralingstemperatuur. Hoe warmer alle oppervlakken waar het lichaam op uitkijkt, hoe hoger de stralingstemperatuur en hoe lager de luchttemperatuur moet zijn om eenzelfde comfortgevoel te creëren. Een iets lagere luchttemperatuur voelt zelfs behaaglijker aan. Een goede warmte-isolatie en thermisch hoogwaardige beglazing zorgen voor de nodige warmere vlakken.

In de klas moet er ook een gezonde lucht zijn. Daarom is een juiste ventilatie meer dan noodzakelijk.

Zowel met de warmte-isolatie als met de ventilatie is het in scholen beroerd gesteld. De eerste figuur onderaan geeft voor tien willekeurig gekozen schoolgebouwen het peil van warmte-isolatie. Dit peil wordt bepaald door de vergelijking van de aanwezige warmte-isolatie met een referentiewaarde. Hoe hoger het peil, des te slechter de isolatie. Uit de eerste figuur blijkt dat alle scholen ondermaats scoren en zelfs de verplichte bovengrens voor woongebouwen van 14 jaar geleden (K55) overschrijden. De tweede figuur geeft de toegevoerde verse lucht per leerling aan bij klassen van gemiddeld 30 leerlingen. Ook hier wordt de maatstaf niet gehaald. Nochtans is een goede luchttoevoer onontbeerlijk voor de concentratie van leerlingen.

Bovenstaande redenen illustreren het belang en de noodzaak van een goede warmte-isolatie en ventilatie. Deze brochure is een hulpmiddel voor de realisatie van een uitstekend geïsoleerde en geventileerde school.



## 2 WETTELIJKE EISEN



De laatste jaren heeft de overheid een prioriteit gemaakt van rationeel energiegebruik en een hogere energie-efficiëntie. Op 1 januari 2006 trad het decreet over de energieprestaties en het binnenmilieu in gebouwen (EPB) in werking. Dat stelt aan nieuwe scholen eisen inzake het jaarlijkse primaire energiegebruik en de isolatiekwaliteit. Onrechtstreeks worden in het decreet ook eisen gesteld aan de binnenluchtkwaliteit en de kwaliteit van de verlichting. Bij verbouwing van bestaande scholen beperken de eisen zich tot de warmte-isolatie en opnieuw indirect tot de binnenluchtkwaliteit.

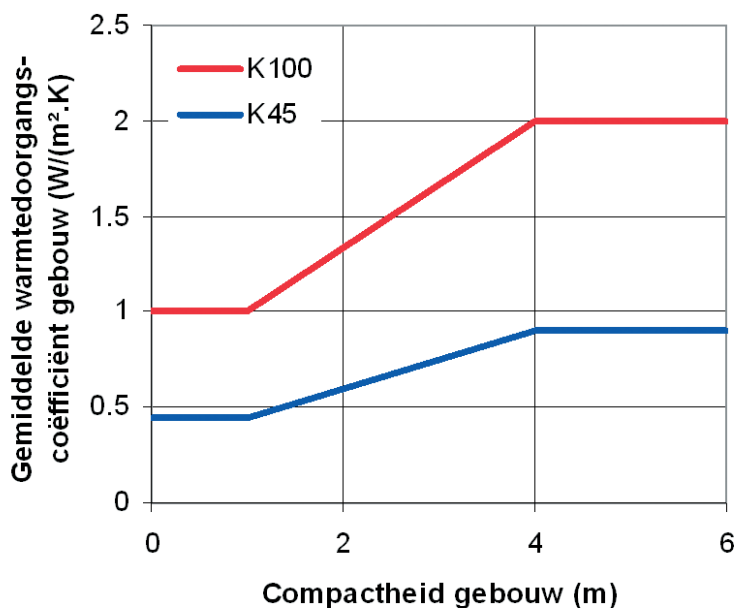
### 2.1 NIEUWBOUW

#### 2.1.1 Jaarlijks primair energiegebruik

Het jaarlijkse primaire energiegebruik is door de wetgever als toetswaarde ingevoerd. Deze referentiewaarde houdt niet enkel rekening met de eindenergie die een nieuwe school jaarlijks zal gebruiken, maar ook met de benodigde energie om de elektriciteit die verbruikt wordt, te produceren en tot aan de school te brengen. Als eis geldt een **peil van primair energiegebruik** E100 of lager. Met peil bedoelen we het jaarlijkse primaire gebruik vergeleken met een gebouwgeen referentie. E100 betekent dat het berekende jaarlijkse primair gebruik die referentie niet mag overstijgen.



### 2.1.2 Warmte-isolatie



De warmte-isolatie van een nieuwe school moet aan twee eisen beantwoorden:

- het **peil van warmte-isolatie** mag niet hoger zijn dan K45.
- gevels, daken, ramen en onderste vloeren moeten een minimale isolatiekwaliteit hebben, die wordt uitgedrukt in termen van een maximale **warmtedoorgangscoefficient** (tabel 1).

In het peil van warmte-isolatie speelt de compactheid van het schoolgebouw (in m), - de verhouding tussen het beschermde volume (in m<sup>3</sup>) en de verliesoppervlakte of schil er omheen (in m<sup>2</sup>) -, een belangrijke rol. Hoe compacter een gebouw is, hoe energiezuiniger het wordt. Hierdoor mogen bij compactere schoolgebouwen de eisen aan de **gemiddelde warmtedoorgangscoefficient** van de volledige schil minder streng zijn.

### 2.1.3 Binnenluchtkwaliteit

Via eisen aan de gebouwventilatie zijn ook voorwaarden met betrekking tot de binnenluchtkwaliteit opgenomen in het decreet. In alle ruimten waar mensen wat langer verblijven, zoals klaslokalen, vergaderzalen, de refter of de lerarenkamers, moet de ventilatiestroom minstens 22 m<sup>3</sup> per uur per aanwezige bedragen. Beter mag maar dan moet de extra ventilatie wel minder energie opsorpen dan de basisventilatie van 22 m<sup>3</sup> per uur en per aanwezige.

### 2.1.4 Verlichting

In het EPB-decreet komt voor verlichting de kwaliteit tussenbeide door het gebouw eigen primair referentiegebruik afhankelijk te maken van de gerealiseerde verlichtingssterkte.

## 2.2 VERBOUWING

### 2.2.1 Warmte-isolatie

De gevels, daken, ramen en onderste vloeren die tijdens de verbouwing aangepast worden, moeten voldoen aan een minimale isolatiekwaliteit, uitgedrukt in termen van een maximale **warmtedoorgangscoefficient** (tabel 1).

### 2.2.2 Binnenluchtkwaliteit

Als nieuwe ramen geplaatst worden, dan moet men alle voorzieningen treffen die een voldoende luchttoevoer mogelijk maken.

Constructiedeel	Warmtedoorgangscoefficiënt $U_{max}$ W/(m <sup>2</sup> .K)	Warmteweerstand $R_{min}$ m <sup>2</sup> .K/W
Glas	1.6	
Een volledig raam	2.5	
Gevels	0.6	
Daken en hoogste plafond	0.4	
Muren in contact met de grond		1.0
Vloeren boven open ruimte	0.6	
Vloeren op volle grond, boven een kruipruimte of een kelder	0.4	1.0
Deuren en poorten (met inbegrip van kader)	2.9	
Gordijngevels	2.9	
Glasbouwstenen	3.5	
Scheidingen tussen wooneenheden en tussen wooneenheden en niet verwarmde ruimten	1.0	

Tabel 1

## 3 ISOLEREN VRAAGT KENNIS



Isolatie van gevels, daken, vloeren en ramen houdt meer in dan het plaatsen van thermisch betere beglazing of het inbouwen van een voldoende dikke, slecht warmtegeleidende laag. Rondom de isolatielaag mag geen lucht kunnen circuleren. Er mag ook geen lucht doorheen stromen. Een onoordeelkundig aangebrachte isolatielaag kan voor vochtproblemen en barstvorming zorgen. Verder moet men koudebruggen vermijden.

Hieronder volgt een overzicht van de courante isolatiematerialen en hoe men bouwdelen correct kan isoleren.

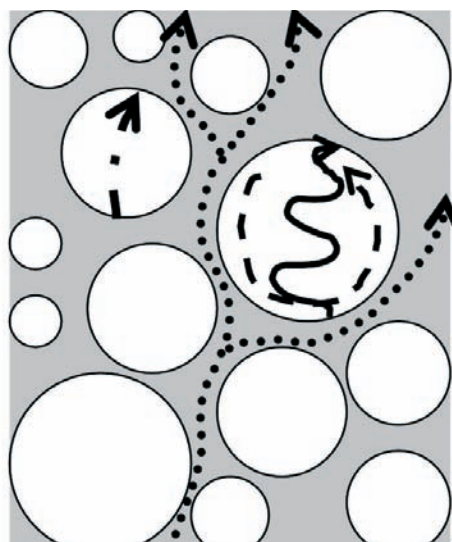
### 3.1 ISOLATIEMATERIALEN

Isolerende materialen remmen de warmtedoorgang af. Hiervoor heb je materialen nodig die uit microscopisch kleine bellen bestaan of uit vezels die amper contact met elkaar maken. Idealiter is er volledige luchtledigheid in de bellen en tussen de vezels. Bij de courant gebruikte isolatiematerialen blijkt zoiets onhaalbaar en onbetaalbaar. Vandaar dat we het houden bij lucht of een ander, beter warmte-isolerend gas.

We maken klassiek een onderscheid tussen isolerende bouwmaterialen zoals extreem lichte snelbouwstenen en cellenbeton en de eigenlijke isolatiematerialen. Deze laatste delen we op in:

- de organische materialen zoals cellulose;
- de anorganische zoals glaswol, rotswol en cellenglas;
- de verschillende kunststofschuimen zoals geëxpandeerd polystyreen (EPS), geëxtrudeerd polystyreen (XPS), polyurethaan (PUR) en isocyanuraat (PIR).

Deze opsomming is niet volledig, maar omvat de best gekende en de meest gebruikte materialen.



## Isolerende bouwmaterialen

### Metselwerk uit lichte en extreem lichte snelbouwstenen

De isolerende kwaliteit komt het beste tot uiting door de warmteweerstand van metselwerk uit lichte en extreem lichte snelbouwstenen te vergelijken met de warmteweerstand van metselwerk uit gewone snelbouw (hoe hoger de warmteweerstand, hoe beter een laag isoleert).

Type	Gewone snelbouw	Lichte snelbouwstenen, isolerende mortel	Extreem lichte snelbouwstenen, isolerende mortel
<b>Dikte</b>	0.14 m	0.14 m	0.3 m
<b>Warmteweerstand</b>	0.28 m <sup>2</sup> .K/W	0.7 m <sup>2</sup> .K/W	1.7 m <sup>2</sup> .K/W

Bij eenzelfde dikte stellen we een 2.5 maal betere warmteweerstand vast. Wel is lichte snelbouw enkel geschikt voor metselwerk dat niet onderhevig is aan weersinvloeden.

### Cellenbeton



Een 30 cm dikke wand uit droog cellenbeton haalt een warmtedoorgangscoefficiënt die ruim aan de EPB-eisen voldoet. Door zijn lage gewicht is cellenbeton minder sterk dan gewoon beton. In vers cellenbeton zit ook een grote hoeveelheid vocht, waardoor de 30 cm dikke wand bij aanvang slechter isoleert dan een droge wand. Een gebouw uit cellenbeton moet de eerste jaren na afwerking dan ook goed geventileerd worden. Bij het detailleren moeten we er rekening mee houden dat het materiaal tijdens het drogen krimpt. Cellenbeton is onbrandbaar, maar weegt te licht om afdoende te isoleren tegen geluid.

Het getal onder de naam van het materiaal geeft de waarde van de warmtegeleidingcoëfficiënt

## Isolatiematerialen

### Cellulosevezels 0.04 W/(m.K)

Oude kranten zijn de grondstof voor cellulosevezel. Boraxzouten, die aan de vezels worden toegevoegd, zorgen voor minder schimmelgevoeligheid en een kleinere brandbaarheid. Cellulose bestaat ook in plaatvorm. Het wordt als losse vezel ingeblazen of met een bindmiddel ingespoten. Cellulosevezels zijn een alternatief voor minerale wol. Men isoleert er houtskelbouw en zoldervloeren mee. Cellulose in plaatvorm is geschikt voor de isolatie van hellende daken. Het gebruik van cellulose is ten stelligste af te raden op plaatsen waar de vezels nat kunnen worden.

### Glas- en rotswol 0.032-0.04 W/(m.K)



Glaswol wordt gemaakt van deels gerecycleerd glas; rotswol van adiaabaasgesteente. Beide vezelmaterialen zijn zeer temperatuurbestendig, vrij vochtgevoelig, rotbestendig en onbrandbaar. Rotswol kan wel beter tegen extreem hoge temperaturen dan glaswol.

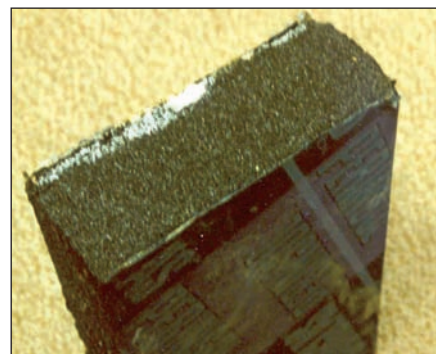
Zowel rots- als glaswol zijn universele isolatiematerialen. De toepassing gaat van platte daken (zware platen) over hellende daken (zachte en halfharde platen, dekens), spouwmuren (halfharde platen), binnen- en buitenisolatie (harde platen), vloerisolatie (harde platen) tot perimeterisolatie (harde platen). Wel moeten we erop letten dat er geen knaagdieren bij de isolatie kunnen komen.

Bij cellenglas wordt glas volgens een fabriekseigen patent tot schuim verwerkt. Een plaat cellenglas is lucht-, waterdamp- en waterdicht; een isolerende laag uit platen cellenglas is dat echter niet. De voegen tussen de platen laten namelijk lucht, waterdamp en water door. Van alle isolatiematerialen is cellenglas het meest drukvaste. Bovendien is het onbrandbaar.

Cellenglas is duur. Daarom gebruiken we het enkel op plaatsen waar zijn eigenschappen tot hun recht komen: op druk belaste isolatie (funderingen, thermische sneden, parkeerdaken, industriële vloeren), bij bouwdelen waar vormbestendigheid een troef is (platte daken), als hoge kwaliteit gebrek aan onderhoud moet compenseren (platte daken), of waar weerstand tegen zuren of basen belangrijk is.

### Cellenglas

0.045 W/(m.K)



De grondstof voor EPS zijn polystyreenparels, die door expansie en stomen tot platen worden gekit. EPS is vochtbestendig maar erg temperatuurgevoelig en allesbehalve brandveilig. Het smelt boven 80°C. Platen met een gewicht hoger dan 25 kg/m<sup>3</sup> zijn behoorlijk drukvast.

Als isolatiemateriaal is EPS geschikt voor alle toepassingen waar de temperatuur onder 70°C blijft en knaagdieren geen probleem vormen: buitenisolatie, spouwisolatie, vloerisolatie, hellende daken, enz.

### Geëxpandeerd polystyreenschuim (EPS)

0.034-0.04 W/(m.K)



Bij XPS wordt van polystyreenparels een continu schuim gemaakt. Het materiaal is luchtdicht, zeer dampremmend en neemt geen water op. Net als EPS is het temperatuurgevoelig en niet brandveilig. Het smelt boven 80°C. Wel is het materiaal behoorlijk drukvast.

Als isolatiemateriaal is XPS geschikt voor alle toepassingen waar de temperatuur onder 70°C blijft, zoals omkeerdaken, spouwmuren, vloeren, hellende daken en perimeterisolatie. Verder is het de beste keuze bij binnenisolatie als men de isolatielaag nadien afwerkt met een onbrandbaar materiaal.

### Geëxtrudeerd polystyreenschuim (XPS)

0.028-0.032 W/(m.K)



PUR en PIR worden langs chemische weg aangemaakt. Het schuim is vormstabil als het zwaarder is dan 32 kg/m<sup>3</sup>. PUR en PIR zijn behoorlijk temperatuurbestendig en matig drukvast. Bovendien zijn ze amper vochtgevoelig al kunnen ze wel wat water opnemen. PIR vertoont een vrij goed brandgedrag. Bij PUR is dat minder.

Beiden zijn universele isolatiematerialen, geschikt voor bijna alle toepassingen. Men kan ze ter plaatse spuiten, wat toelaat de meest ingewikkelde vormen te isoleren.

### Polyuretaan- en polyisocyanuraatschuim (PUR en PIR)

0.023-0.028 W/(m.K)



Tabel 2 vat de eigenschappen en het gedrag van de opgesomde isolatiematerialen samen.

Materiaal	$\lambda$ -waarde W/(m.K)	Sterkte	Temperatuurgedrag	Vochtgedrag	Brandgedrag
Cellulose	+	-	+	-	-
Glas- en rotswol	+	Van – tot +	++	+	++
Cellenglas	±	++	++	++	+
Geëxpandeerd PS	+	Van – tot +	-	+	-
Geëxtrudeerd PS	++	+	-	+	-
PUR en PIR	+++	+	+	+	Van – tot ±

Tabel 2

+++ =zeer goed, ++ =goed, + =matig, ± =minder goed, - =slecht,  $\lambda$ -waarde: staat voor de warmtegeleidingcoëfficiënt

Naast deze traditionele isolatiematerialen zijn er nieuwe in ontwikkeling zoals vacuümisolatie. Sommige isolatieoplossingen als schaaapswol, hennepvezel, stro, e.a. hebben vaak geen technische goedkeuring. Hun vochtgevoeligheid is bovendien een onderschat probleem en nogal wat mensen zijn allergisch aan schaaapswol, een eiwit.

### 3.2 HOE GEVELS, DAKEN EN VLOEREN CORRECT ISOLEREN

Gevels, daken en vloeren vormen samen de schil van het schoolgebouw met elk hun specifieke kenmerken. Vloeren zijn niet te vergelijken met gevels; gevels zijn op hun beurt anders dan platte en hellende daken. In de gevels zitten bijvoorbeeld deuren en ramen, in hellende daken dakramen en in platte daken dakkoepels. Gevels en hellende daken dienen regendicht te zijn, platte daken waterdicht. Soms maken we de gevel en de dakvlakken volledig transparant. Zoiets heet dan een serre of een atrium.

Hoe goed we elk van die delen moeten isoleren, hangt af van het gewenste peil van warmte-isolatie. Tot een peil K45 vormen de maximale warmtedoorgangcoëfficiënten van de bovenstaande tabel 1 een zinvolle bovengrens. Bij peilen lager dan K45 doen we er goed aan die maxima te verlagen, evenredig met de verhouding tussen het gewenste peil en K45 (zie tabel 3). De overeenkomstige isolatiedikten staan in tabel 4.

Gewenst peil van Warmte-isolatie (K)	Maximale warmtedoorgangcoëfficiënten ( $U_{max}$ ) W/(m <sup>2</sup> .K)				
	Gevels, vloeren boven doorritten	Platte en hellende daken	Gemene muren, scheiding tussen appartementen	Vloeren op volle grond/boven een (kruip)kelder	
				$R_{min}$ m <sup>2</sup> .K/W	$U_{max}$
K45	0.60	0.40	1.00	1.0	0.40
K40	0.50	0.35	0.90	0.9	0.35
K30	0.40	0.27	0.70	0.7	0.27
K20	0.27	0.18	0.45	0.5	0.18
K15	0.20	0.13	0.35	0.3	0.13

Tabel 3

$U_{max}$ W/(m <sup>2</sup> .K)	Isolatie dikte cm											
	Warmteweerstand constructie zonder de isolatielaag 0.3 m <sup>2</sup> .K/W						Warmteweerstand constructie zonder de isolatielaag 0.6 m <sup>2</sup> .K/W					
	Cell.	MW	CG	EPS	XPS	PUR	Cell.	MW	CG	EPS	XPS	PUR
0.60	5	5	6	5	4	3	4	4	5	4	3	3
0.50	7	6	8	6	5	4	6	5	6	5	4	3
0.40	9	8	10	8	6	5	8	7	9	7	5	5
0.35	10	9	12	9	7	6	9	8	10	8	6	5
0.27	14	13	15	12	10	8	12	11	14	11	9	7
0.20	19	17	21	17	13	11	18	16	20	16	12	11
0.18	21	19	24	19	15	13	20	18	22	18	14	12
0.13	30	27	33	27	21	18	28	26	32	26	20	17

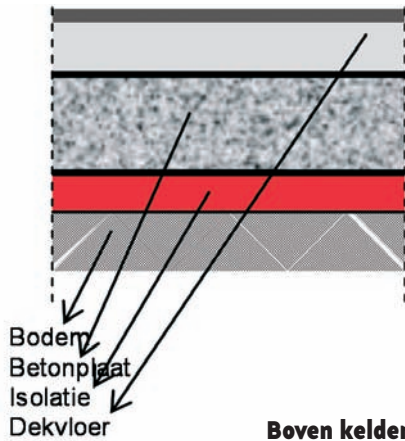
Tabel 4

Cell=cellulose, MW=glas- en rotswol, CG=cellenglas, EPS=geëxpandeerd polystyreen, XPS=geëxtrudeerd polystyreen, PUR= polyurethaanschuim

In de volgende paragraaf bekijken we eerst de niet doorzichtige delen en vervolgens de ramen, deuren, dakramen, dakkoepels en atria. Daarbij maken we een onderscheid tussen nieuwbouw en renovatie.

## Vloeren

### Op volle grond

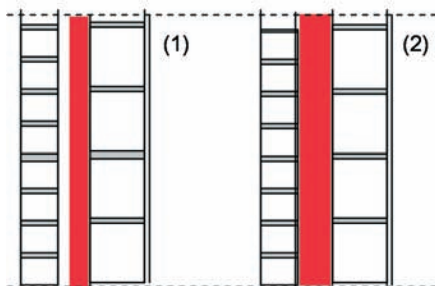


### Boven kelder of kruipkelder

### Boven doorgang, doorrit of open ruimte

## Gevels

### Spouwmuren



### 3.2.1 Nieuwbouw

Bij vloeren op volle grond plaatst men de isolatielaag het best onder de draagvloer. Als typeopbouw krijgen we zo (van onder naar boven):

- Zuiverheidbeton (bodem);
- Isolatie, bijvoorbeeld XPS, afgedekt met een polyethyleenfolie;
- Vloerplaat in gewapend beton;
- Dekvloer (hierin komen de elektriciteitsleidingen, de waterleidingen en de leidingen van de centrale verwarming);
- Vloerafwerking.

Een (minder goed) alternatief bestaat eruit de isolatie op de betonplaat uit te leggen, nadat die laatste is gladgestreken. De leidingen komen in de dekvloer, bovenop de warmte-isolatie. De voorkeur gaat ook hier naar XPS. Voor men de dekvloer stort, wordt de isolatielaag afgedekt met een polyethyleenfolie.

Deze vloeren isoleren we door er in de kelder of kruipkelder een isolatielaag tegen te kleven of mechanisch tegen te bevestigen. Zowel halfharde platen uit glas- of rotswol als EPS, XPS en PUR komen in aanmerking.

Ook hier voorziet men de warmte-isolatie best onderaan de vloer. Sandwichplaten met een boven- en een onderlaag uit houtwolcement en tussenin EPS zijn zeer geschikt voor die toepassing. Als de bovenliggende betonvloer ter plaatse gestort wordt, fungeren deze platen als verloren bekisting. Als de aannemer met breedplaatvloeren werkt, worden ze er nadien mechanisch tegen bevestigd.

De logische manier van isoleren bestaat erin de spouw gedeeltelijk (1) of geheel (2) te vullen met isolatie. In het eerste geval gebruiken we EPS, XPS, PUR of spouwplaten uit rots- of glaswol. In het tweede geval beperkt de keuze zich tot waterafstotende rots- of glaswol.

Spouwisolatie is geen kwestie van wat platen in de spouw te stapelen.

Om te beginnen moet de aannemer de muur van binnen naar buiten opbouwen: eerst het binnenblad op metsen, dan het binnenblad opvoegen, de isolatie plaatsen en ten slotte het buitenblad op metsen. De warmte-isolatie dient perfect tegen het binnenblad aan te sluiten en mag geen open voegen vertonen. Bij glas- en rotswol is dat geen probleem als we speciale spouwankers gebruiken, de platen goed op en tegen elkaar drukken en aan de hoeken geëigende hoekankers plaatsen. Een stuk moeilijker ligt het bij EPS, XPS en PUR. De beste oplossing daar bestaat erin de platen tegen het binnenblad te kleven. Ook onderaan en bovenaan de spouw mag er geen ongevolde ruimte overblijven. Spouwankers moeten naar het buitenblad afhellen.

De binnenpleister zorgt voor de luchtdichtheid van de spouwmuur.







Bij massieve muren is buitenisolatie te verkiezen boven binnenisolatie. Buitenisolatie bestaat in twee uitvoeringen: gepleisterd of met buitenbekleding. Bij de eerste is het belangrijk dat de gewapende pleister op de gelijkvloerse verdieping tegen een stootje kan. In het tweede geval dienen we de isolatie vooraf af te dekken met een winddichte folie. Maar in beide gevallen is het essentieel dat de isolerende laag een gesloten geheel vormt. Als men voor een buitenbekleding kiest, dan staat de binnenbepleistering in voor de luchtdichtheid van de muur.

### Massieve muren

Voor platte daken zijn er twee goede oplossingen:

- Een compact dak met de warmte-isolatie onder de afdichting met direct daaronder een lucht- en damp scherm;
- Een omkeerdak, als XPS als warmte-isolatie wordt gebruikt.

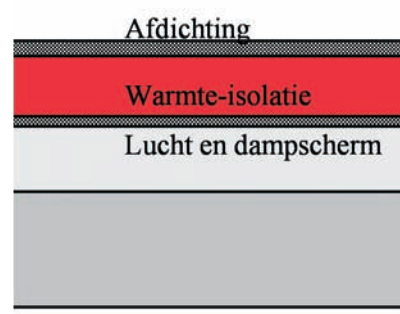
Voor het isoleren van compacte daken komen PUR, PIR, cellenglas en harde platen uit glas- en rotswol in aanmerking. Met EPS en XPS moet je opletten. Bij windstil, zonnig zomerweer kan de afdichting opwarmen tot 80°C. Bij die temperatuur worden zowel XPS als EPS onstabiel. Gebruikt men desondanks EPS, dan moet op de losliggende afdichting een ballastlaag komen en dienen de EPS-platen onder en boven met bitumenglasvlies bekleed te zijn.

Bij een omkeerdak komt de XPS-isolatie bovenop de afdichting. De isolatielaag zelf dekt men af met een filterfolie. Een zware ballastlaag houdt de isolatie en de folie op hun plaats.

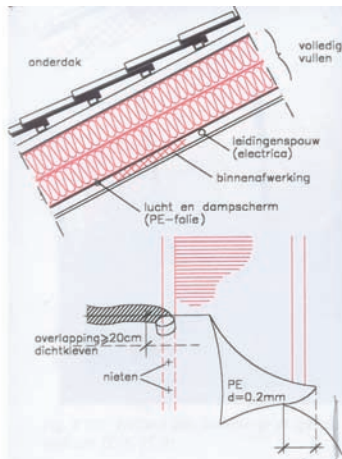
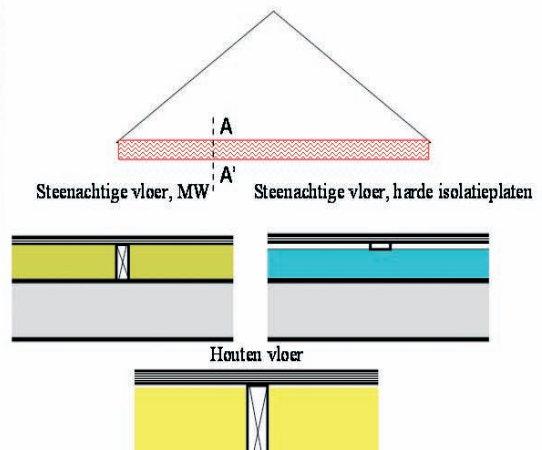


### Daken

#### Plat



## Hellend, bergzolder



Doet de zolder dienst als berging, dan isoleert men de zoldervloer. Bij een betonvloer gieten we, nadat de leidingen zijn uitgelegd, eerst de dekvloer. Hierop komt de isolerende laag, met tussen de rijen isolatieplaat rechtopstaande planken. Daarop wordt dan de loopvloer bevestigd.

Bij een houten vloer vullen we de ruimte tussen de balken met isolatie of plaatsen we de isolatielaag bovenop de loopvloer. In het eerste geval wordt eerst een luchtdichte folie onderaan de gordingen geniet. Dan blazen we de vloer over zijn volledige dikte vol met minerale wol of cellulose. Hierna monteren we de loopvloer. Voor de leidingen voorzien we een aparte spouw tussen de luchtdichte laag en de plafondafwerking. In het tweede geval rollen we eerst een luchtdichte folie over de vloer uit, waarna we op dezelfde manier isoleren als bij een betonvloer. De leidingen komen tussen de houten balken.

## Hellend, zolder binnen beschermd volume



Als de zolder deel uitmaakt van het beschermde volume, dan isoleren we de dakschilden en het horizontale plafondgedeelte bovenaan. Eerst dekt men de dakschilden af met een dampdoorlatend onderdak en wordt een loopvloer genageld op de balken van het plafondgedeelte. Dan vullen we de ruimte tussen de balken van het plafondgedeelte en tussen de sporen die de dakschilden dragen. Deze vulling kan met glaswol, rotswol of gebonden cellulosevezels gebeuren. Daarna komt onder de isolatie over de volledige oppervlakte een luchtdichte folie met daaronder de leidingenspouw. Als alle leidingen gelegd zijn, wordt die spouw nagevuld met halfstijve glas- of rotswolplaten en werken we de binnenzijde verder af.

Een mogelijk alternatief zijn isolerende onderdakpanelen. Hun geluidsisolatie is echter in veel gevallen onvoldoende.

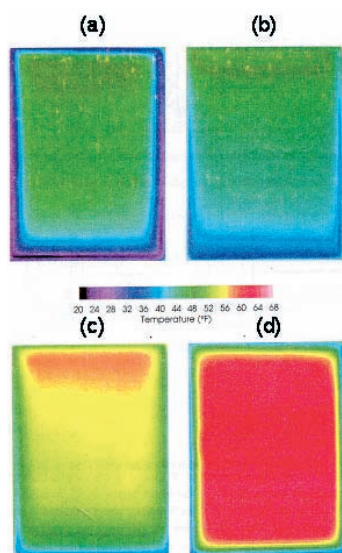
## Metaal



Bij metalen daken is de luchtdichtheid erg belangrijk. Als we dit willen garanderen, moeten we het dak opbouwen vanaf een houten of een betonnen draagvloer. Op die draagvloer leggen we eerst een loopvaste lucht- en dampdichte laag. Daarop monteren we de steunen voor de zelfdragende metaalbedekking, met ertussen de warmte-isolatie. Doorgaans gebruiken we hiervoor glas- of rotswol maar ook cellenglas behoort tot de mogelijkheden.

Bij het glas gaat de keuze tussen lage emissie (lage-e), dubbele of driedubbele beglazing met gasvulling. Zoals tabel 5 aantoont, isoleren zulke glaspanelen 2.2 tot 4.8 keer beter dan de gewone dubbele beglazing. Een verbeterde randsluiting zorgt bovendien voor minder koudebrugwerking aan de glasomtrek. Winterse randcondensatie, courant bij beter isolerend glas, komt daardoor amper nog voor.

## Glas en ramen



*Temperatuurbeelden bij beglazing (blauw voor de laagste en rood voor de hoogste temperatuur)*

- (a) Dubbel glas met aluminium sluitprofielen*
- (b) Dubbel glas met thermisch verbeterde sluitprofielen*
- (c) Lage-e, met gas gevuld dubbel glas met thermisch verbeterde sluitprofielen*
- (d) Super isolerende beglazing (lage-e, met gas gevuld, driedubbel) met thermisch verbeterde sluitprofielen*

Een juiste glaskeuze is ook voor een goede geluidsisolatie belangrijk. Bij scholen langs drukke wegen zijn de glasschijven van verschillende dikte. Nog beter is het als één ervan samengesteld is uit twee glaslagen met tussenin een dempende kunststoffolie.

Glastype	Warmtedoorgangscoeff. W/(m <sup>2</sup> .K)	Zonnetoetreding absoluut -	Lichttoetreding absoluut -
Gewoon dubbel glas	2.8	0.72	0.80
Gas gevuld lage-e dubbel glas (argon)	1.3	0.60	0.75
Gas gevuld lage-e dubbel glas (krypton)	1.1	0.60	0.75
Gas gevuld lage-e driedubbel glas (krypton)	0.7	0.50	0.65

Tabel 5

Voor de omschrijving van zonnetoetreding absoluut en lichttoetreding absoluut, zie begrippenlijst

Als raamprofielen komen hout, aluminium met thermische snede, PVC of PUR in aanmerking. Voor de luchtdichtheid, tochtvrijheid en geluidsisolatie is het belangrijk dat de profielen stijf zijn, dat de aanslag tussen vast en opengaand dubbel is uitgevoerd en dat in de binnenste aanslag een continu sluitprofiel uit rubber zit. Bij atria hebben de profielen een structurele functie en is staal met thermische snede de beste keuze.

Beter glas drukt de warmteverliezen. Bij houten ramen met enkel glas bedragen die  $\pm 1120$  megajoule (MJ) per m<sup>2</sup> raam en per jaar, bij aluminium ramen met thermische snede en lage-e, argongevuld dubbel glas worden deze verliezen teruggebracht tot 493 MJ per m<sup>2</sup> raam en per jaar. De nuttige zonnewinsten nemen wel iets af: van 540 MJ per m<sup>2</sup> en per jaar bij enkel glas op het zuiden tot 350 MJ per m<sup>2</sup> en per jaar bij lage-e argongevuld dubbel glas op het zuiden. Daardoor dalen de verliezen netto van 580 naar 144 MJ per m<sup>2</sup> en per jaar; een vermindering met 75%. Maar van april tot oktober blijft met enkel glas de opwarming in de klassen beperkt, terwijl het met lage-e, argongevuld dubbel glas te warm kan worden. Omdat we in scholen geen koelinstallatie willen, helpen hiertegen slechts drie zaken: buitenzonwering, intense nachtelijke ventilatie en een voldoende warmteopslag in de bouwconstructie.

**Dakkoepels** Hiervoor gelden dezelfde eisen als voor de ramen. Enkel dubbelwandige dakkoepels komen nog in aanmerking.

### 3.2.2 Renovatie

#### Vloeren

**Op volle grond** Het isoleren van vloeren op volle grond is enkel haalbaar als men ze om andere redenen moet uitbreken. In dat geval opteren we voor dezelfde oplossing als bij nieuwbouw. Hiervoor zijn wel extra uitgravingen nodig.

**Boven kelder of kruipkelder** Er is geen verschil met nieuwbouw; het isoleren gebeurt onderaan de vloer.

**Boven doorgang, doorrit of open ruimte** Hier geldt dezelfde oplossing als bij nieuwbouw.

#### Gevels

**Spouwmuren** Het is mogelijk om de spouw na te vullen met minerale wol of vol te spuiten met PUR. Vooraf is het noodzakelijk om de muur te inspecteren op spouwbreedte en koudebrugwerking. Men moet ook controleren of er niet teveel valspectie in de spouw ligt en of er onderaan en boven alle spouwonderbrekingen een waterkering zit. Als één van deze punten te wensen overlaat, dan kan navulling voor vochtproblemen zorgen en zal het thermische rendement van de ingreep beperkt blijven.

**Massieve muren** In veel gevallen is het onbegonnen werk om bestaande massieve gevels te isoleren. Als men voor binnenisolatie kiest, dan moet men vooraf alle leidingen verwijderen die tegen de gevels liggen, de verwarmingselementen wegnemen, de binnendorpels aanpassen, ... Bovendien zijn er tal van risico's: meer koudebrugwerking, verstoorde vochtthuishouding in de bestaande muur, meer uitgesproken thermische en vochtbewegingen van de gevel, enz. Bij buitenisolatie kan het metselwerkrelief problemen geven. Dikwijls zijn de raamdorpels onaanangepast en de raamprofielen te smal. Ook het uitzicht verandert totaal. Het schoolgebouw wordt letterlijk ingepakt. Zeker bij architecturaal waardevolle gebouwen is dat niet wenselijk. Bij renovatie worden massieve gevels dan ook vaak gelaten voor wat ze zijn.

#### Daken

**Plat** De oplossing verschilt niet van nieuwbouw. Als de bestaande afdichting nog in goede staat is, dan geven we die de rol van lucht- en dampscherm. Daarop komen de isolatie en een nieuwe afdichting. Als voor XPS wordt gekozen, behoudt de afdichting haar functie en komt er een omkeerdak op.

De oplossing is dezelfde als bij nieuwbouw. Alleen hebben we extra werk: afbraak van de binnenafwerking en soms zelfs ontmanteling van het dak, om het dan correct te isoleren.

Een volledige demontage met daarop een volledig nieuwe, goed geïsoleerde en luchtdichte opbouw, is meestal de enige mogelijkheid.

Als de bestaande houten raamprofielen nog in uitstekende staat zijn en het mogelijk is om de sponning aan te passen aan dubbele beglazing, dan kan men die behouden en er lage-e gasgevuld dubbel glas in monteren. Zijn de raamprofielen daartegen van een thermisch bedenkelijke kwaliteit (aluminium zonder thermische snede, staal) of versleten, dan is vervanging door hetzelfde type als bij nieuwbouw de enige uitweg.

De vervanging van enkel glas door een zeer goed isolerende beglazing leidt soms tot neveneffecten. Op koude dagen fungeert het goed isolerende glas niet langer als condensvlak en luchtdroger. Bij slechte ventilatie zal de relatieve vochtigheid in de klassen daardoor hoger oplopen, wat tot schimmelontwikkeling op de koudste delen van de gevel kan leiden. Dikwijls zijn dat de hoeken tegen het plafond, de neggen aan de ramen en de lateien boven de ramen.

Zie nieuwbouw

### 3.3 KOUDEBRUGGEN



De term koudebrug verwijst naar alle plaatsen in de gebouwschil waar de winterse temperatuur op het binnenvlak een stuk lager ligt en de warmteverliezen een stuk hoger zijn dan er rond. Deze verschillen zijn te wijten aan de vorm van het detail zoals bij een hoek tussen twee buitenwanden en het plafond. Even vaak zijn ze het resultaat van bewuste architecturale keuzen. Ontwerpers lieten tijdens de jaren zestig, zeventig en tachtig maar al te graag het betonskelet zichtbaar. Balken en kolommen werden ook rechtstreeks tegen het buitenblad in metselwerk gestort. Balkons verbond men buigingvast met de vloerplaat. Betonnen dakranden konden niet expressief genoeg zijn, ruw bekist en strak in het gevelvlak.

Het is niet evident een ongeïsoleerd gebouw met zichtbaar skelet of met skelet tegen het buitenblad gestort te renoveren. Door het hanteren van buitenisolatie verliest het schoolgebouw zijn architecturale eigenheid. Binnenisolatie leidt dan weer tot een versnelde degradatie van de gevels. Navulling van de spouwen, als die er zijn, versterkt de koudebrugwerking. En, als we om al die redenen de energetische renovatie beperken tot de vervanging van de ramen en de isolatie van alle daken, dan blijft de scholengemeenschap opgezadeld met een problematisch gebouw.

#### Hellend

#### Metaal

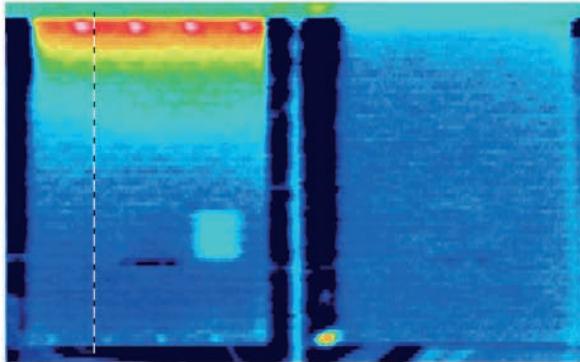
#### Glas en ramen

#### Dakkoepels

Daaruit mogen we niet besluiten dat isoleren beter niet gebeurt. Waar het kan, is het het eerste dat moet gedaan worden.

### 3.4 LUCHTDICHTHEID

Een uitstekende luchtdichtheid en het vermijden van windspoeling en luchtrotsatie rondom de warmte-isolerende lagen is om een aantal redenen belangrijk. Zoals de bijgevoegde figuur aantoont, neemt het rendement van de warmte-isolatie toe. Ook verkleint de kans op vochtproblemen, neemt het tocht risico af en verbetert de geluidsisolatie. Verder is het gemakkelijker om het binnenklimaat onder controle te houden.

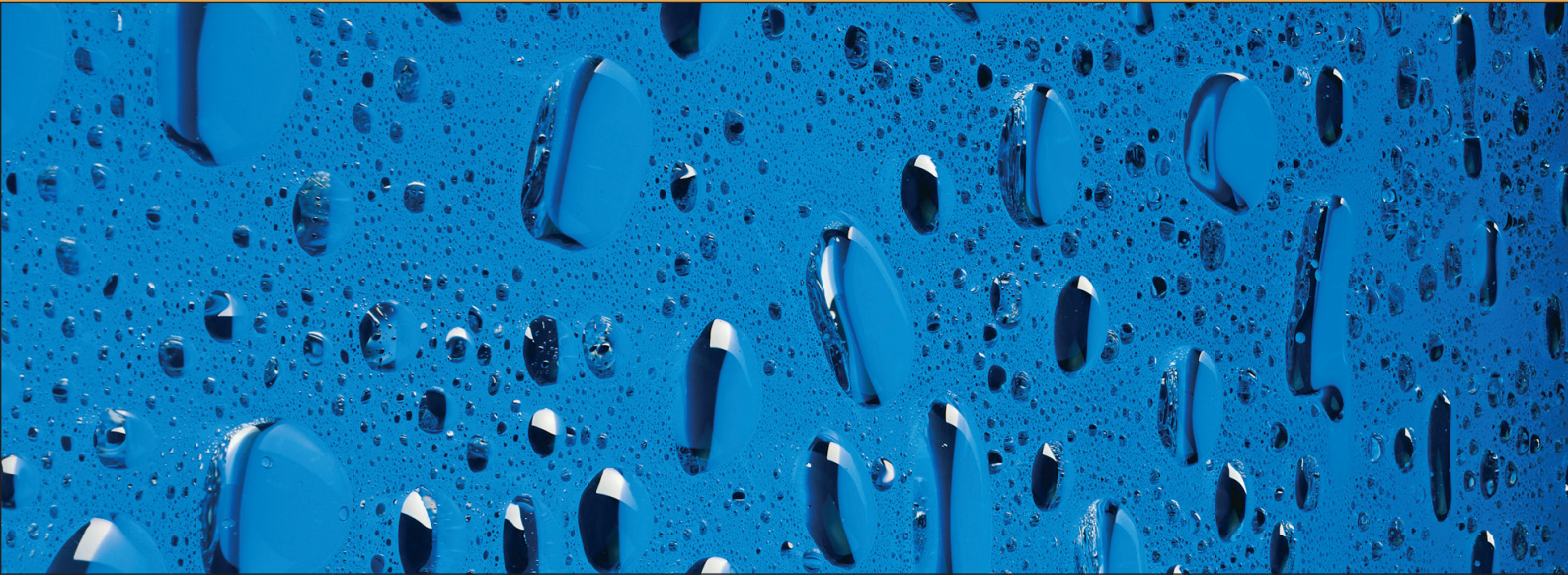


*Twee spouwmuren met identieke deelgevulde spouw, effect van windspoeling en luchtrotsatie rondom de deelvulling. Bij de muur rechts is de deelvulling perfect uitgevoerd, bij de muur links gebeurde dat slordig. De rode kleur bovenaan de muur links toont dat spouwvlucht de isolatie omspoelt. De warmtedoorgangscoefficiënt ligt er een factor 4 hoger dan bij de wand rechts.*

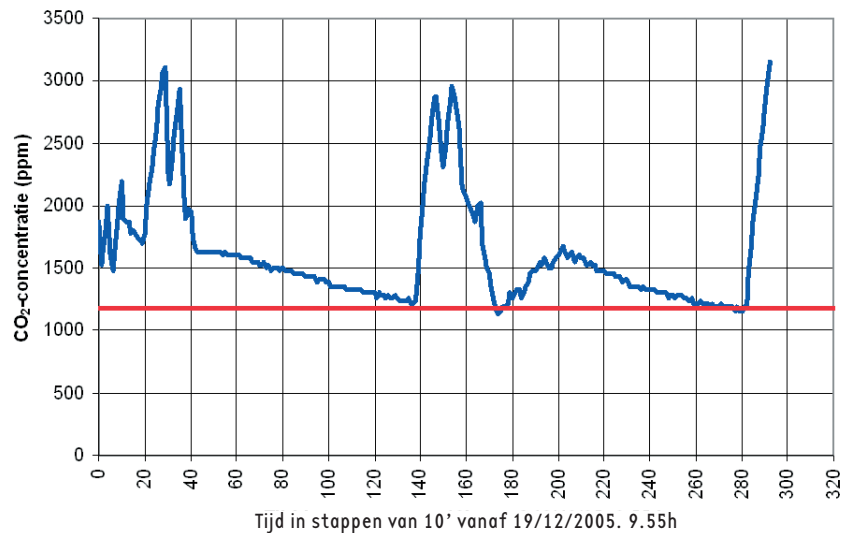
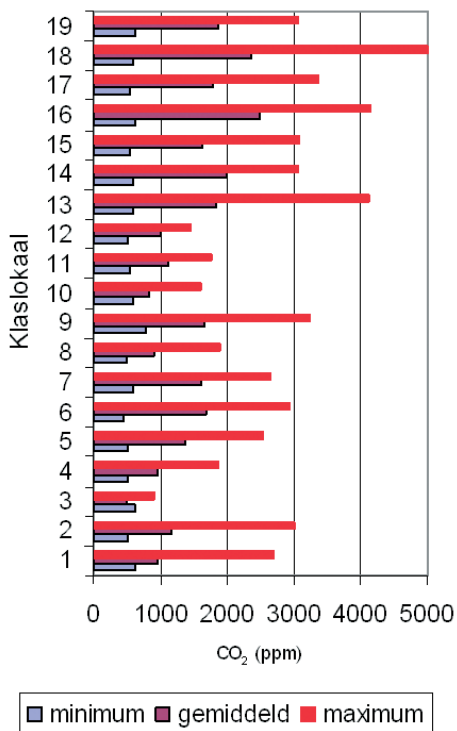
Fouten waarop men extra moet letten:

- Zijn de voegen tussen de ramen en de gevelmuren goed gedicht?
- Sluit de binnenpleister luchtdicht aan op de dekvloer?
- Zijn de aanslagen tussen opengaande en vaste raamdelen juist ontworpen?
- Zijn de leidingdoorgangen naar de kruipkelder luchtdicht afgewerkt?
- Werd de spouwvulling correct geplaatst?
- Werd onderaan de geïsoleerde dakschilden een luchtscherm aangebracht?
- Sluit dat luchtscherm luchtdicht aan op de zijmuren, de spanten, alle dakdoorgangen, enz...?

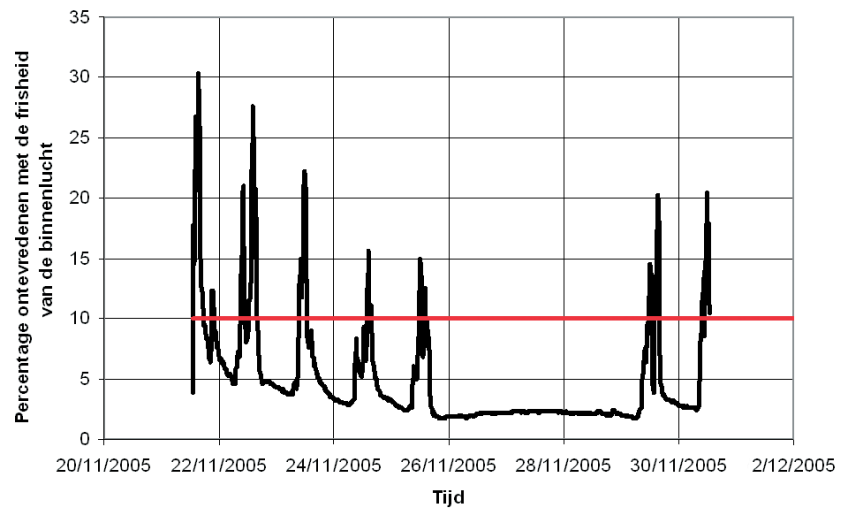
## 4. GOED VENTILEREN MOET



### 4.1 DE SITUATIE VANDAAG

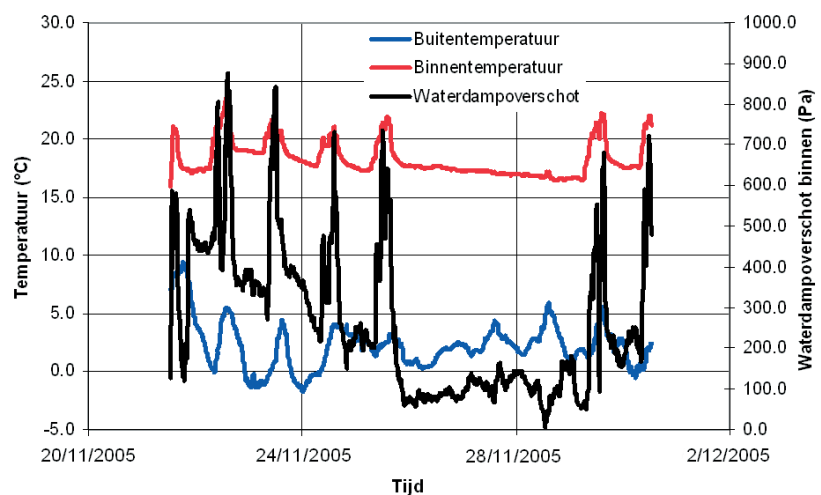


De slechte ventilatie van scholen, waar we al eerder op wezen, heeft een nefaste impact op de luchtkwaliteit. De eerste figuur toont dat tijdens de opeenvolgende lessen het koolstofdioxidegehalte ( $\text{CO}_2$ , in ppm) in de binnenlucht hoog oploopt. De blauwe lijn geeft de metingen weer. De rode bakent de limietwaarde van 1180 ppm af, die niet overschreden mag worden om een voldoende luchtkwaliteit te hebben. De tweede figuur vat de resultaten samen van  $\text{CO}_2$ -metingen in 19 klassen uit 18 verschillende scholen. Amper in één klas ligt het maximum onder 1180 ppm. Alle andere doen het slechter.



Dezelfde situatie stellen we vast voor de luchtfrisheid. Opnieuw vertegenwoordigt de rode lijn het maximum toegelaten percentage klagers en toont de zwarte lijn het werkelijke aantal. De discrepantie is treffend en klopt met de ervaring die velen hebben als ze een net leeggelopen klaslokaal binnenstappen: het stinkt er.

Dat de ventilatie te wensen overlaat kunnen we ook aflezen aan het overschot aan waterdamp binnen. Bij het begin van een les komen een aantal scholieren en de lera(ar)es de klas binnen. Ze blijven er vijftig minuten. Elk verliest tijdens dat uurtje  $\pm 40$  g waterdamp. Is de ventilatie goed, dan wordt dat waterdampoverschot vlug afgevoerd en zorgt het hoogstens voor een heuveltje op de overschotlijn. Nu zien we dat tijdens elke les de curve een steile helling naar omhoog toont. Van afvoer is anders gezegd nauwelijks sprake.





De EPB onderkent de problemen met de binnenluchtkwaliteit en eist daarom voor scholen een ventilatie van de kwaliteit IDA 3 (zie tabel 6). Het woord 'matig' bij IDA 3 wijst erop dat met die ventilatiestroom de luchtkwaliteit acceptabel wordt. Een school mag beter doen, IDA 2 of IDA 1, maar dat moet op een energiezuinige manier gebeuren.

Klasse	Ventilatiestroom m <sup>3</sup> per uur en per persoon	
	Toegelaten interval	Gemiddeld
<b>IDA 1 (zeer goed)</b>	>54	72
<b>IDA 2 (goed)</b>	36-54	45
<b>IDA 3 (matig)</b>	22-36	29
<b>IDA 4 (onvoldoende)</b>	<22	18

Tabel 6

## 4.2 WELK VENTILATIESYSTEEM KIEZEN?

Eens men weet hoeveel men moet ventileren, rijst de vraag hoe men dat het beste doet? De ventilatie laten afhangen van toevallige infiltraties, volstaat bij scholen niet. Al zijn de klassen nog zo luchttek, infiltratie kan onmogelijk voor een voldoende debiet zorgen. Het is daartegen beter het schoolgebouw zo luchtdicht mogelijk te maken en een ontworpen ventilatiesysteem te voorzien. Hierbij heeft men de keuze tussen natuurlijke/hybride ventilatie, toevoerventilatie, afvoerventilatie en gebalanceerde ventilatie.

Voor de luchtdichtheid mikt men voor de volledige school en per klas best op een ventilatievoud van drie maal het luchtvolume per uur bij een luchtdrukverschil tussen binnen en buiten van 50 Pascal. Als men aan warmteterugwinning denkt, moet de luchtdichtheid nog een stuk beter zijn: éénmaal het luchtvolume per uur bij een drukverschil tussen binnen en buiten van 50 Pascal. De meting van de luchtdichtheid gebeurt met een blaasdeur zoals te zien is op bijgevoegde figuur.

Bij een systeem van natuurlijke ventilatie komen er bovenaan de ramen in alle klassen, de refter, de keuken en de toiletten afsluitbare, zelfregelende toevoeropeningen. De luchtdoorlaat ervan is afgestemd op de hoeveelheid lucht die nodig is bij gebruik van de ruimte. In de binnenwanden (behalve bij de toiletten) monteren we afvoerroosters onderaan het plafond en tegenover de toevoeropeningen. Die sluiten aan op een luchtdicht plenum bovenaan de gangen, dat op zijn beurt uitmondt in ventilatietorens. Deze zijn voldoende hoog zodat ze ook op de bovenste verdieping voor thermische trek zorgen. Bij het begin van elke lesdag gaan de toevoeropeningen open.

Om er zeker van te zijn dat het systeem werkt, kan men in de torens ventilatoren plaatsen. Die draaien telkens wanneer de thermische trek of de windzuiging het laten afweten. Die oplossing noemen we 'hybride'.

Los van dat alles zorgen we ervoor dat in alle lokalen de zijvleugels van de ramen geopend kunnen worden. Met het oog op inbraakveiligheid schermt men die buiten af met een opbouwrooster.

De toiletten krijgen eigen afvoerventilatoren.

Toevoerventilatie is voor scholen niet aan te bevelen. Om te beginnen zet men de school in overdruk waardoor de kans op winterse vochtproblemen door uitstromende vochtige binnenlucht toeneemt. Verder zijn bij toevoerventilatie de drukverschillen tussen de lokalen moeilijk te beheersen.



Natuurlijke/hybride ventilatie

### Toevoerventilatie

**Afvoerventilatie** Hier gaan we te werk zoals bij natuurlijke ventilatie: toevoerroosters in de ramen en afvoerroosters er tegenover. In plaats van de afvoerroosters aan te sluiten op een plenum boven in de gangen, voorzien we nu een netwerk van afvoerkanalen dat samenkomt in de ventilatoren bovenop het dak. Als we willen sturen, dan komt er voorbij elk afvoerrooster een klep die per klas gekoppeld is aan een CO<sub>2</sub>-sensor. Zolang het CO<sub>2</sub>-gehalte onder 1180 ppm blijft, is de klep dicht en wordt zo het ventilatiedebiet op een half klassenvolume per uur gehouden. Overschrijdt het CO<sub>2</sub>-gehalte 1180 ppm, dan gaat de klep open en krijgen we per leerling het IDA 3 debiet van tabel 6. Gelijktijdig past het toerental van de ventilator zich aan.

Ook hier zorgen we ervoor dat in alle lokalen de zijvleugels van de ramen geopend kunnen worden. Met het oog op inbraakveiligheid schermt men die buiten af met een opbouwrooster.

De toiletten krijgen eigen toevoeropeningen en afvoerventilatoren.

**Gebalanceerde ventilatie** Bij gebalanceerde ventilatie zijn er twee kanaalnetten voorzien: één voor de luchttoevoer en één voor de luchtafvoer. Op beide staan ventilatoren. Het toevoernet sluit aan op de toevoerroosters, in de klassen in het plafond vooraan. Het afvoernet vertrekt bij het afvoerrooster, in de klassen tegen het plafond achteraan.

Voorbij de toe- en afvoerroosters staan kleppen die zich, afhankelijk van de CO<sub>2</sub>-sensor, synchroon openen en sluiten. Gelijktijdig passen de ventilatoren hun toerental aan.

Men kan ook voor een systeem kiezen waar enkel in het toevoerkanaal een klep zit. Dat is minder goed. Als de afvoerventilator op volle toeren draait en de toevoerklep dicht staat, dan krijgen we een grote onderdruk in de klas. Dit activeert de buitenluchtinfiltratie.

Een andere eenvoudige oplossing is om tijdens de schooluren volop te ventileren, onafhankelijk van de bezetting en na de schooluren de ventilatie op een minimum terug te brengen. Dit is wel energieverkwistender dan een regeling met CO<sub>2</sub>-sensoren.

Bij gebalanceerde ventilatie is het een kleine stap naar warmteterugwinning. Hiervoor moeten het schoolgebouw en de klassen extreem luchtdicht zijn. Zoals gezegd mag er dan niet meer dan één luchtwisseling per uur zijn bij een luchtdrukverschil van 50 Pascal tussen binnen en buiten. Ook voor het toe- en het afvoernet en voor de aansluiting op de terugwineenheid gelden strenge eisen wat betreft luchtdichtheid. Verder moet men alle toe- en afvoerkanalen, die buiten het verwarmde volume liggen, goed isoleren. Is dat alles zoals het hoort, dan bezuinigt een warmtewisselaar met hoog rendement heel wat.

## 5 KOSTEN EN BATEN?



### 5.1 EERST DE FEITEN

De meeste schoolgebouwen zijn slecht of niet goed geïsoleerd. Als men ze permanent zou verwarmen, moet de energiefactuur hoog oplopen. Toch blijkt dit in nogal wat scholen niet het geval. Scholen zijn meestal zuinige stokers. Overdag verwarmt men alleen de lokalen en klassen die in gebruik zijn. Deze worden bovendien nauwelijks geventileerd. 's Nachts, in de weekends en tijdens de vakanties staat de ketel op een laag pitje of wordt hij afgezet. Tijdens de schooluren zit men bovendien met veel samen in een klas. Samen met de verlichting en de zon zorgt dat voor behoorlijk wat warmtewinst.

Het EPB-decreet eist een ventilatie van de kwaliteit IDA 3 tijdens de uren dat de schoollokalen in gebruik zijn. Het gaat daarbij dus om veel grotere ventilatiestromen dan we verkrijgen door infiltratie. De toegevoerde buitenlucht moet telkens weer tot op binnentemperatuur worden verwarmd. Dat vraagt om een bijkomend verwarmingsvermogen en jaagt het primaire energiegebruik de hoogte in. De ventilatoren draaien bovendien op elektriciteit en dat heeft een onevenredig grote weerslag op de primaire energie. Bij de renovatie van bestaande schoolgebouwen kan een gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinning, - als het gebouw voldoende luchtdicht is -, of een doorgedreven warmte-isolatie dat extra primaire verbruik binnen de perken houden. Als beide gecombineerd worden, dan kan men zelfs tegen een fikse besparing aankijken. Met warmte-isolatie alleen drukt men de energiefactuur, maar mede door het zuinige stookgedrag, blijft de besparing ten opzichte van de situatie voor renovatie beperkter.

Het is desondanks meer dan zinvol om bij renovatie een schoolgebouw zo goed mogelijk te isoleren. Een betere ventilatie is niet alleen iets waar de leerlingen recht op hebben maar ook wettelijk verplicht. Als men het schoolgebouw voldoende isoleert, kan men de negatieve energiegevolgen van het ventilatiesysteem inperken en zelfs ongedaan maken.

Bij nieuwbouw moet men aan alle eisen van het EPB-decreet voldoen, ook die van een betere ventilatie. Met het oog op een laag primair energiegebruik vormt een uitstekende warmte-isolatie veruit de meest efficiënte ingreep.

## 5.2 HOE DE KOSTEN EN BATEN BEOORDELEN

De terugverdientijd is populair als criterium. Deze vertelt hoeveel jaar het duurt voor het totaal aan besparing de investering evenaart. De terugverdientijd is een prima criterium bij roerende goederen met beperkte levensduur maar minder interessant bij een onroerend goed met zeer lange levensduur.

De actuele kosten zijn een veel beter richtsnoer. Een investering gebeurt nu, vandaag, terwijl de vervolgcosten voor energiegebruik, onderhoud en vervanging later komen. De kosten voor energie en onderhoud zijn een jaarlijkse post, terwijl het maar nu en dan nodig is iets te vervangen of te herstellen. Die toekomstige uitgaven wegen vandaag niet in hun volle waarde door. Veronderstel dat de samengestelde interest 5% bedraagt en de inflatie 2.5%. Voor een uitgave van 1000 € binnen 20 jaar in reële waarde, moeten we vandaag 610 € opzij zetten. Vervang het woord samengestelde interest door actualisatievoet om te weten wat die toekomstige 1000 € vandaag waard is.

Geld uitgeven en dus investeren, ervaren we als negatief. De toekomstige min-kosten, waarvoor de besparing als gevolg van de investering zorgt, zijn daartegen positief. We krijgen geld. Een investering wordt interessant wanneer haar netto actuele waarde (NPV) positief uitvalt. Hiervoor maken we de som van de negatieve investering en de positieve geactualiseerde jaarlijkse besparingen over de tijdsduur die we in beschouwing nemen.

## 5.3 NIEUWBOUW VERSUS RENOVATIE

### **Nieuwbouw** *Investeringen*

Isoleren betekent een extra investering. Maar vorm en volume hebben een veel grotere impact op het totale energiegekoppelde investeringsvolume dan de warmte-isolatie op zich. Hoe compacter een gebouw bij eenzelfde beschermd volume, hoe energiezuiniger het is en hoe goedkoper het uitvalt. Ook een betere luchtdichtheid verhoogt de investeringen. De bouwkundige detaillering wordt namelijk ingewikkelder en de uitvoering moet zorgvuldiger gebeuren. De verwarmingsinstallatie daartegen wordt dankzij de betere warmte-isolatie en de grotere luchtdichtheid goedkoper. Al zorgt het ventilatiesysteem dan weer voor een extra kost.

### *Jaarlijkse kosten en besparingen*

Het lagere energiegebruik springt eruit als grootste en voornaamste besparing. Hoeveel minder men gebruikt, hangt af van de kwaliteit van de warmte-isolatie en de evolutie van de energieprijzen. De eerste centimeters warmte-isolatie zijn het meest efficiënt; de volgende worden dat steeds minder. Het is nagenoeg onmogelijk om de financiële impact te berekenen van het verbeterde thermische comfort door een goede warmte-isolatie en van de gezondere luchtkwaliteit door een goede ventilatie. Het is wel al onderzocht en uit de resultaten zou blijken dat een beter binnenmilieu in de klas de leerprestaties eerder gunstig beïnvloedt. Macro-economisch is dat een voordeel, maar voor de school valt het niet te ramen.

### **Renovatie** *Investeringen*

Bij renovatie kost het isoleren doorgaans meer dan bij nieuwbouw. Bij een hellend dak moet men eerst de binnenafwerking en misschien de dakbedekking verwijderen alvorens men kan isoleren. De oude ramen moeten eruit om nieuwe te plaatsen. De gebouwworm is gegeven en dat sluit andere mogelijkheden uit om de bouwkundige investering te beperken. Ook de installatie van een ventilatiesysteem is duurder, gewoon omdat er meer kappen en breken bij komt kijken. Een nieuwe verwarmingsinstallatie plaatsen is doorgaans te duur. In het beste geval komt er een nieuwe ketel en wordt de regeling aangepast. Als het nodige vermogen na renovatie lager ligt dan ervoor en als de oorspronkelijke installatie te ruim bemeten werd, dan wordt verwarmen op lagere temperatuur met een condensatieketel zinvol. Zulke ketel is wel 30% duurder dan een hoogrendementsketel.

### Jaarlijkse kosten en besparingen

Of er op het energiegebruik bespaard wordt, hangt af van de balans tussen het meergebruik door de verplichte betere ventilatie en het mindergebruik door een betere warmte-isolatie.

De investering en de uiteindelijke netto actuele waarde verschillen van geval tot geval. Voor nieuwbouw kunnen we voor enkele eenvoudige isolatie-ingrepen een idee geven van de gemiddelde investering en de gemiddelde netto actuele waarde per m<sup>2</sup>. Daarbij kiezen we voor PUR, een isolatiemateriaal dat qua prijs in de middenmoot zit. Zowel bij de investering als bij de netto actuele waarde is gerekend met 21% BTW en werd abstractie gemaakt van eventuele subsidies.

Bouwdeel	Voor een isolatiedikte van (in cm):					
	6	8	10	12	15	20
Plat dak	22	27	31	35	42	60
Hellend dak	34	38	42	46	52	70
Spouwmuur	20	24	27	31	36	53
Vloer op volle grond	15	18	22	26	32	45

Tabel 7: isolatie met PUR, investering in €/m<sup>2</sup> inclusief 21% BTW

Bouwdeel	Isolatiedikte (in cm):					
	6	8	10	12	15	20
Plat dak	128.2	128.4	127.3	125.0	120.5	105
Hellend dak	65.5	65.4	64.3	62.0	58.2	41.7
Spouwmuur	47.0	47.2	46.2	44.2	40.9	25.7
Vloer op volle grond	15.4	14.7	13.0	10.6	6.8	-4.2

Tabel 8: netto actuele waarde

De actualisatievoet bedraagt 3% in reële waarde en de stijging van de energieprijzen 2% per jaar in reële waarde. Als referentie fungeert het ongeïsoleerde bouwdeel. De periode, die we beschouwen, is 20 jaar.

Al wat wit is, levert een positieve netto actuele waarde. Oranje wijst op een negatieve netto actuele waarde. Volgens de tabel zorgt het isoleren van platte daken voor de grootste return. De reden hiervoor is de hoge warmtedoorgangscoefficiënt van het ongeïsoleerde dak, in voorliggend geval 2.8 W/(m<sup>2</sup>.K). Een vloer op volle grond daartegen heeft een veel kleinere return. Door de isolerende werking van de bodem heeft zulke vloer ook zonder warmte-isolatie een vrij gunstige gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt, hier is dat 0.78 W/(m<sup>2</sup>.K).

Verder leert de tabel dat het isolatieoptimum bij 8 cm PUR ligt, d.w.z. een warmtedoorgangscoefficiënt van 0.27 W/(m<sup>2</sup>.K) bij het platte dak, 0.28 W/(m<sup>2</sup>.K) bij het hellende dak en 0.24 W/(m<sup>2</sup>.K) bij de spouwmuur. In de drie gevallen is dit een waarde die heel wat lager ligt dan het toegelaten maximum van de EPB-regelgeving (we verwijzen naar tabel 1). Een vloer op volle grond met 8 cm PUR overschrijdt dit optimum.

Eenzelfde oefening kunnen we voor de ramen maken. Al is het moeilijker om hier een effectieve besparing te berekenen. Een thermisch betere beglazing beperkt niet alleen de warmteverliezen, maar vermindert ook de zonnewinsten. Omdat dit laatste niet in dezelfde mate gebeurt waarin de warmteverliezen worden afgeremd, neemt de kans op hoge binnentemperaturen in de zomer toe. Buitenzonwering, nachtventilatie en een voldoende warmteopslag in de bouwconstructie kunnen deze opwarming neutraliseren. Maar hierdoor wordt de combinatie van kosten en baten een wel erg complex plaatje, dat enkel op het niveau van het individuele gebouw kan ingeschat worden en niet per abstracte m<sup>2</sup> raam.

**Belangrijk!**

Extrapoleer de resultaten van de tabellen 7 en 8 niet naar een volledig schoolgebouw. Zo houdt het voorbeeld er geen rekening mee dat de verwarmingsinstallatie goedkoper wordt doordat die minder vermogen moet leveren dankzij de betere warmte-isolatie. De kosten gekoppeld aan het koudebrugarm oplossen van details, de toename van de dak- en de gevelopervlakte bij een dikkere gevelisolatie, enzovoort zijn hier ook niet beschouwd. Elk nieuw schoolgebouw moet in zijn geheel worden bekeken. Het rekenen per m<sup>2</sup> dak, gevel en vloer is eigenlijk een te eenvoudige en puur illustratieve aanpak.

## 6 TWEE VOORBEELDEN VAN RENOVATIES



### 6.1 SCHOOL 1

#### 6.1.1 Algemeen

De school werd gebouwd in de jaren twintig, in de stijl van toen. Ze heeft een rechthoekig grondplan met twee verdiepingen. Op beide verdiepingen liggen de klassen op een rij naast elkaar, de gang loopt ernaast. De trappen bevinden zich aan beide uiteinden. Het gebouw heeft een hellend dak, massieve muren, houten ramen met enkel glas, geen ventilatiesysteem en nergens warmte-isolatie. Na de tweede wereldoorlog werd in het gebouw centrale verwarming gelegd, een installatie op natuurlijke trek. Vandaar de forse pijpdiameters. Jaren later kwam er op de retourleiding een pomp, zonder dat het hydraulische evenwicht in de installatie werd aangepast. Daardoor stroomt door de radiatoren op de gelijkvloerse verdieping te veel en door die op de eerste verdieping te weinig water. Evenmin heeft men toen de lange toe- en afvoerleidingen geïsoleerd. Door de grote diameters verliezen deze veel warmte, wat ervoor zorgt dat het in de klassen dicht bij de ketel te warm is en in de klassen ver van de ketel is het niet warm genoeg.

Het gebouw heeft een beschermd volume van 2936 m<sup>3</sup>. Daar omheen zit een verliesoppervlakte van 1468 m<sup>2</sup> wat zorgt voor een compactheid (de verhouding tussen beschermd volume en verliesoppervlakte) van 2 m.

Begin jaren negentig is tegen de zijgevel vooraan een uitbreiding opgetrokken met in totaal vier nieuwe klassen. Tegen de achtergevel werd een kinderkribbe aangebouwd. Onlangs heeft de inrichtende macht besloten het oude gebouw te renoveren. Meteen wilde men ook de thermische kwaliteit en het binnenmilieu in de klaslokalen opwaarderen.

### 6.1.2 Warmte-isolatie

Aan de gevel valt weinig te doen. Voor de toepassing van binnenisolatie staan de leidingen en de radiatoren in de weg, terwijl het gevelmetselwerk te veel reliëf heeft om gemakkelijk buitenisolatie aan te brengen. Ook de onderste vloer valt enkel tegen hoge kosten te verbeteren, tenzij men die uitbreekt, een tiental cm extra uitgraaft en dan voor een nieuwe vloeropbouw zorgt. Dakisolatie, nieuwe ramen en glas van hoge thermische kwaliteit behoren wel tot de mogelijkheden.

De zolder wordt gebruikt als bergruimte. Onderaan is de zoldervloer afgewerkt met een pleister. Die bleek goed luchtdicht. Door het plafond te herschilderen kunnen we de diffusieweerstand voldoende opvoeren om problemen met een te hoge relatieve vochtigheid tegen de onderzijde van de plankenvloer op zolder uit te sluiten. We kiezen ervoor de 20 cm hoge ruimte tussen plankenvloer en gepleisterde plafondafwerking met glaswolvlakken vol te blazen. Met de gordingen as op as 50 cm was de oorspronkelijke warmtedoorgangscoefficiënt  $1.72 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Na volblazen wordt dat  $0.23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Daarmee voldoet het dak ruimschoots aan de EPB-eis van een gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt die kleiner dan of gelijk aan  $0.4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  moet zijn. Bij koud weer ( $-8^\circ\text{C}$  daggemiddeld buiten,  $20^\circ\text{C}$  binnen) stijgt de plafondtemperatuur van  $15.2^\circ\text{C}$  naar  $19.4^\circ\text{C}$ , wat bevorderlijk is voor het thermische comfort in de klassen op de verdieping.

De houten ramen met enkel glas vervangen we door aluminium ramen met thermische snede en lage-e, kryptongevuld dubbel glas met isolerende randsluiting. Hierdoor daalt de warmtedoorgangscoefficiënt van  $5.2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  naar  $1.92 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . De ramen voldoen zo aan de EPB-eis van  $2.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ; het glas aan de EPB-eis van  $1.6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . De warmtedoorgangscoefficiënt blijft desondanks hoger liggen dan die van de huidige, ongeïsoleerde zoldervloer. Dat wijst erop dat zelfs met een thermisch zeer goede beglazing ramen belangrijke verliesvlakken zijn. Vergeleken met  $5.2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  is de verbetering wel zeer groot. Beide ingrepen samen verlagen de gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt van het schoolgebouw van  $1.89 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  naar  $1.14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . In termen van het peil van warmte-isolatie gaat het van K142 naar K85.

### 6.1.3 Ventilatie

Er wordt gekozen voor een afvoersysteem, met toevoerroosters bovenaan de ramen in de klaslokalen en afvoerroosters in de gangmuur er tegenover. Deze sluiten aan op ronde kanalen bovenaan de gang op de gelijkvloerse en de eerste verdieping. Dat kanalenstelsel eindigt bij de afvoerventilator bovenop het dak. Voorbij de afvoerroosters komen regelkleppen, die in elke klas bediend worden door een  $\text{CO}_2$ -sensor.

### 6.1.4 Kosten en baten

#### Volgens de EPB

#### Kosten

Bouwdeel	Oppervlakte $\text{m}^2$	Volume isolatiemateriaal $\text{m}^3$	Plaatsingskost $\text{€}/\text{m}^3$	Materiaalkost $\text{€}/\text{m}^3$	Investering $\text{€}$
Dakisolatie	383	61	16	38	8 446
Ramen	165		Ramen, glas en plaatsing: $380 \text{ €}/\text{m}^2$		62 700
			Totaal, inclusief 6% BTW (afgerond)		75 400
				Subsidie	-8 750
			Eindtotaal (naar boven afgerond)		66 700



Daarnaast zijn er de investeringen in het ventilatiesysteem. De kostprijs daarvan in euro komt grofweg overeen met 7.5 keer het te ventileren klasvolume min 1000. We hebben een te ventileren klassenvolume van 1921 m<sup>3</sup> in het gebouw. Dit brengt ons bij een benaderende kost van 12 400 €, wat 13 144 € wordt inclusief 6% BTW.

#### Baten

Gebruik volgens EPB m <sup>3</sup> aardgas per jaar		Besparing in m <sup>3</sup> aardgas per jaar	Besparing in € per jaar, inbegrepen BTW (prijzen 2007)
Voor renovatie	Na renovatie		
≈27 800	≈17700	≈10 100	≈3813

#### Afschrijvingstermijn: : kosten delen door baten

	Afschrijving na
Enkel de kostprijs van de warmte-isolerende ingrepen meegeteld	17.5 jaar
Met inbegrip van het ventilatiesysteem	20.9 jaar

#### Netto actuele waarde

	NPV
Actualisatievoet in reële waarde 3%, Stijging energieprijns in reële waarde 2% per jaar Enkel kostprijs isolerende ingrepen meegeteld	6056 €
Actualisatievoet in reële waarde 3%, Stijging energieprijns in reële waarde 2% per jaar Kostprijs isolerende ingrepen en ventilatiesysteem meegeteld	-7088 €

Wordt de actualisatievoet kleiner, dan stijgt de netto actuele waarde. Hetzelfde gebeurt wanneer de energieprijns met meer dan 2% in reële waarde per jaar toeneemt:

	NPV
Actualisatievoet in reële waarde 3%, Stijging energieprijns in reële waarde 4% per jaar Enkel kostprijs isolerende ingrepen meegeteld	21645 €
Actualisatievoet in reële waarde 3%, Stijging energieprijns in reële waarde 4% per jaar Kostprijs isolerende ingrepen en ventilatiesysteem meegeteld	8502 €

Omgekeerd daalt de actuele waarde als de actualisatievoet groter wordt en de energieprijns met minder dan 2% per jaar in reële waarde toeneemt. Dergelijke situatie lijkt ons echter hoogst onwaarschijnlijk.

## In werkelijkheid

Een werkelijkheidsgetrouwe analyse van de energiekosten in de school gaf een veel lager eindgebruik voor verwarming dan de EPB voorspelde: 14900 m<sup>3</sup>/jaar in plaats van 27800 m<sup>3</sup>/jaar. De voornaamste redenen daarvoor waren:

- Het niet verwarmen van de gang en de trappenhallen;
- Een strikte dag/nacht, week/weekend en schooljaar/vakantie regeling;
- De afwezigheid van een ventilatiesysteem.

Daardoor liep de werkelijke ventilatie ver achterop in vergelijking met wat de EPB oplegt! De gevolgen waren navenant: zeer hoge concentratie aan koolstofdioxide, een slechte luchtfrisheid en onverwacht hoge verschillen in waterdampdruk tussen binnen en buiten in de klassenlucht na elk lesuur.

De warmte-isolatie compenseerde het meergebruik van de op punt gestelde ventilatie. Meer nog, ze zorgde voor een bijkomende besparing tegenover de situatie voor renovatie: van 14900 m<sup>3</sup>/jaar naar 13000 m<sup>3</sup>/jaar.



### 6.2 SCHOOL 2

Dit is een voorbeeld van een combinatie van nieuwbouw en renovatie. Begin 2000 werd op het schoolterrein een nieuwe sporthal opgetrokken met ernaast, op de gelijkvloerse verdieping, de hulpruimten en daarboven vier klassen. Tegelijk startte de renovatie van de bestaande gebouwen. Het 100 jaar oude complex bestaat uit een hoofdgebouw van twee verdiepingen met twee bijgebouwen voor de lagere school en de administratieve diensten. Bouwkundig kijken we naar een realisatie uit het begin van de twintigste eeuw: hellend dak, massieve muren, houten ramen met enkel glas, geen ventilatiesysteem en nergens warmte-isolatie.



In het renovatiedossier zitten het inbouwen van een ventilatiesysteem, de vernieuwing van de installaties, de vervanging van de bestaande houten ramen met enkel glas door aluminium ramen met thermische snede en lage-e argongevulde dubbel beglazing en de isolatie van de hellende daken. Daar waar de zolder mee geïntegreerd zit in de gebruiksruimte worden de dakschilden gevuld met 10 tot 15 cm dikke dekens uit minerale wol. Daar waar de zolder enkel als bergruimte dient, komen de dekens op de zoldervloer.



Uit een controle bleek dat, zoals te dikwijls het geval is, het ontwerp en de uitvoering zeer slordig zijn gebeurd. Er werd niet omgekeken naar luchtdichting onderaan en winddichting bovenaan het isolatiepakket. De dakschilden in de klaslokalen zijn daardoor extreem luchtopen. Bij een opblaasproef maten we maar liefst 12.2 luchtverversingen per uur bij een drukverschil tussen binnen en buiten van 50 Pa. Dat zorgt voor behoorlijk wat luchtstroming doorheen beide dakschilden, met alle negatieve gevolgen van dien voor het isolatierendement. De uitvoeringskwaliteit van de isolatie op de zoldervloer was nog pijnlijker. De dekens lagen gewoon over de vloerbalken heen. Lucht kon er probleemloos omheen circuleren, wat op zijn beurt het isolatierendement de dieperik induwde.

De afvoerventilatie, met regelbare toevoerroosters in de klassen en doorstroomopeningen naar de gangen was op een te klein debiet bemeten vergeleken met IDA 3 uit de EPB (zie tabel 6).



Het volstaat niet om te isoleren en een ventilatiesysteem te voorzien. Het ontwerp en de detaillering moeten correct gebeuren en de uitvoering dient volgens het boekje te zijn!

## 7 BEGRIPPENLIJST

### 7.1 WARMTE

#### Warmtegeleidingcoëfficiënt $W/(m.K)$

Geeft de hoeveelheid warmte die door  $1 \text{ m}^2$  materiaal trekt, bij een dikte van  $1 \text{ m}$  en een temperatuurverschil tussen het ene en het andere vlak van  $1^\circ\text{C}$ . Bij isolatiematerialen ligt de warmtegeleidingcoëfficiënt tussen  $0.023$  en  $0.07 \text{ W}/(\text{m.K})$ , bij hout- en steenachtige materialen tussen  $0.12$  en  $2.6 \text{ W}/(\text{m.K})$  en bij metalen tussen  $17$  en  $380 \text{ W}/(\text{m.K})$ .

#### Warmtedoorgangcoëfficiënt $W/(m^2.K)$

Geeft de hoeveelheid warmte die gemiddeld door  $1 \text{ m}^2$  van een vlak constructiedeel trekt, als bij constant blijvende temperaturen het temperatuurverschil tussen de omgeving aan de ene en die aan de andere kant  $1^\circ\text{C}$  bedraagt.

#### Warmteweerstand $m^2.K/W$

Voor een laag materiaal is dit de dikte gedeeld door de warmtegeleidingcoëfficiënt. Voor een constructiedeel is dit het omgekeerde van de warmtedoorgangcoëfficiënt.

#### Koudebrug

Deel van een constructie dat door zijn vorm of opbouw een warmteverlies of warmtewinst per  $\text{m}^2$  heeft dat veel groter is dan bij de omliggende delen. De oppervlaktetemperatuur ligt daar dan ook een stuk lager bij koud weer en een stuk hoger bij warm weer dan bij de omliggende delen.

#### Beschermde volume $\text{m}^3$

De som van alle ruimtevolumes in een gebouw die men wenst te verwarmen. Het beschermde volume wordt buitenwerks gemeten.

#### Verliesoppervlakte $\text{m}^2$

Som van alle oppervlakken rond het beschermde volume waardoor warmteverlies naar of warmtewinst vanuit de omgeving optreedt.

#### Gemiddelde warmtedoorgangcoëfficiënt van de gebouwschil $W/(m^2.K)$

Geeft de verhouding tussen het warmteverlies of de -winst van een gebouw en de verliesoppervlakte bij constante temperaturen binnen en buiten die wel  $1^\circ\text{C}$  van elkaar verschillen.

#### Compactheid $m$

Verhouding tussen het beschermde volume en de verliesoppervlakte.

#### K-Peil

Geeft, gekend de compactheid, aan hoe goed een gebouw is geïsoleerd.

#### Zonnetoetreding

De verhouding tussen de hoeveelheid zonnearmte die door  $1 \text{ m}^2$  van een doorzichtig of ondoorzichtig bouwdeel naar binnen komt en de hoeveelheid zonnestraling die er buiten op invalt.

#### Lichttoetreding

De verhouding tussen de hoeveelheid zichtbaar licht die door  $1 \text{ m}^2$  van een doorzichtig deel naar binnen komt en de hoeveelheid zichtbaar zonnelicht die er buiten op invalt.

#### Isolatievermindering

De verhouding tussen de werkelijke warmtedoorgangcoëfficiënt en de waarde die, kijkende naar de toegepaste isolatiedikte, had moeten gerealiseerd zijn.

*Deze paragraaf bespreekt in een notendop alle grootheden en definities, die we nodig hebben om op een correcte wijze over isolatie en ventilatie te praten.*

## 7.2 LUCHT EN VENTILATIE

### Luchtdoorlatendheid $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$

Geeft de hoeveelheid lucht (in kg) aan die door  $1 \text{ m}^2$  van een vlak constructie-deel trekt bij een verschil in luchtdruk tussen beide zijden van 1 Pascal (1 Pa is een druk van ongeveer  $0.1 \text{ kg}/\text{m}^2$ ).

### Opblaasproef

Wordt gebruikt om de luchtdichtheid van een gebouw of een deel ervan te meten. Daartoe vervangen we de buitendeur door een montagebare deur in luchtdichte stof, waarin een geijkte ventilator past. Aan weerszijden van de deur hangt men een druksensor op, waarna de ventilator stap voor stap op een hoger debiet wordt gebracht en bij elke stap de meetelektronica het luchtdebiet door de ventilator en het luchtdrukverschil over de deur noteert.

### $n_{50}$ -waarde

Staat voor het aantal luchtverversingen van het binnenvolume van een gebouw per uur bij een verschil in luchtdruk tussen binnen en buiten van 50 Pa. De  $n_{50}$ -waarde volgt uit de opblaasproef.

### Luchtscherm

Een laag die instaat voor de luchtdichtheid van een bouwdeel.

### Windspoeling

Wijst erop dat de wind doorheen, in en achter een isolatielaag met een open structuur of achter een isolatielaag met open voegen kan stromen. Windspoeling is nefast voor de isolerende kwaliteit.

### Windscherm

Een folie tegen de buitenzijde van een isolatiemateriaal, die windspoeling voorkomt.

### Luchtrotatie

Duidt op de circulatie van lucht rond een isolerende laag. Wordt mogelijk als aan beide zijden ervan een luchtlaag gelaten wordt en er in de isolatielaag zelf lekken zijn. Ook luchtrotatie is nefast voor de isolerende kwaliteit.

### Binnenluchtkwaliteit

Duidt op de af- of aanwezigheid van vervuilende stoffen en op de subjectieve ervaring van luchtreuk en luchtfrisheid.

### Infiltratie en bewuste ventilatie

Infiltratie wijst op ventilatie als gevolg van een gebrek aan luchtdichtheid van de gebouwenschil.

Bewuste ventilatie onderlijnt dat we voor een goede binnenluchtkwaliteit een bepaald debiet aan onbezoedelde buitenlucht of gezuiverde binnenlucht nodig hebben. De hoeveelheid is afhankelijk van de binnenluchtkwaliteit die we nastreven.

## 7.3 VOCHT

### Woonvocht

De waterdamp die binnen vrijkomt door menselijke aanwezigheid, menselijke activiteit en de verdamping van water uit aquaria, planten en andere. In scholen is dat 40 tot 50 gram per aanwezige en per uur.

### Bouwvocht

Alle teveel aan vocht dat bij ingebruikname van een nieuw of een gerenoveerd gebouw in de constructie zit.

### Opstijgend vocht

Het vocht dat door muren uit capillaire materialen van onderuit wordt opgezogen. Dat kan grondwater, water uit de capillair natte grondzone, zakwater en kuiswater zijn.

### Slagregen

Wijst op de combinatie van regen en wind, waardoor de regendruppels schuin naar beneden vallen.

### Oppervlaktecondensatie

Wijst op condensatie van waterdamp tegen het binnen- of het buitenoppervlak van een bouwdeel. Vooral oppervlaktecondensatie tegen het binnenoppervlak zorgt voor problemen.

### Inwendige condensatie

Wijst op condensatie van woonvocht, bouwvocht of opgezogen regenwater ergens in een bouwdeel. De stuwende krachten achter inwendige condensatie zijn diffusie en luchtstroming, waarbij het tweede veel meer problemen geeft dan het eerste. Soms blijft inwendige condensatie lange tijd onzichtbaar. Op termijn kan er vervelende schade door ontstaan.

### Dampscherm

Laag in een scheidewand die de doordiffunderende waterdamp tegenhoudt.

### Damprem

Laag in een scheidewand die de hoeveelheid doordiffunderende waterdamp beheersbaar houdt.

### Regendichting

Slaat op de constructieve opbouw van een wand, nodig om te verhinderen dat slagregen de warmte-isolatie en de lagen erachter nat zou maken.

## 8 NUTTIGE ADRESSEN EN WEBSITES

### **AGENTSCHAP VOOR INFRASTRUCTUUR IN HET ONDERWIJS**

Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming  
 Koningsstraat 94 B  
 B-1000 Brussel  
 Tel.: + 32 2 221 05 11  
 Website: [www.agion.be](http://www.agion.be)

### **VLAAMS MINISTERIE VOOR ONDERWIJS EN VORMING**

Hendrik Consciencegebouw  
 Koning Albert II-laan 15  
 B-1210 Brussel  
 Tel.: + 32 2 553 17 00  
 Website: [www.ond.vlaanderen.be/energie](http://www.ond.vlaanderen.be/energie)

### **VLAAMSE REGULERINGINSTANTIE VOOR ELEKTRICITEITS- EN GASMARKT**

Vlaams Ministerie van Leefmilieu, Natuur en Energie  
 Graaf de Ferrarisgebouw  
 Koning Albert II-laan 20 bus 19  
 B-1000 Brussel  
 Tel.: + 32 2 553 13 79  
 Website: [www.vreg.be](http://www.vreg.be)  
 Link naar de netbeheerders: [www.vreg.be/nl/07\\_zoeken/netbeheerders.asp](http://www.vreg.be/nl/07_zoeken/netbeheerders.asp)

### **VLAAMS ENERGIEAGENTSCHAP**

Vlaams ministerie van Leefmilieu, Natuur en Energie  
 Graaf de Ferrarisgebouw  
 Koning Albert II-laan 20 bus 17  
 B-1000 Brussel  
 Tel.: 1700 (gratis) of + 32 2 553 46 00  
 Website: [www.energiesparen.be](http://www.energiesparen.be)

### **WTCB**

Wetenschappelijk en Technisch centrum van de Bouwnijverheid. Valorisatie van onderzoek, voorlichting  
 Lozenberg, 7  
 B-1932 Sint-Stevens-Woluwe  
 Tel: +32 2 716 42 11  
 Website: [www.wtcb.be](http://www.wtcb.be)

### **CIR – Isolatieraad**

(fabrikanten van isolatiematerialen)  
 Eekhoornlaan, 17  
 2970 's Gravenwezel  
 Website: [www.isolatieraad.be](http://www.isolatieraad.be)

### **Passiefhuis Platform**

Gitschotellei 138  
 2600 Berchem  
 advieslijn: 0903/ 46 747  
 Website: [www.passiefhuisplatform.be](http://www.passiefhuisplatform.be)

### **K.U.Leuven, Departement Burgerlijke Bouwkunde, Afdeling Bouwfysica**

Kasteelpark Arenberg, 40  
 B-3001 Leuven  
 Tel: +32 16 32 13 44  
 Website: <http://bwk.kuleuven.be/>

Op [www.lekkerfris.be](http://www.lekkerfris.be) staan heel wat nuttige tips en lesmateriaal over ventilatie en een gezonde binnenlucht op school.

**BRON VAN DE FOTO'S****Getty Images**

Pagina's: cover, 1, 2, 4, 6, 9, 21, 25, 29

