Dynamic Building Envelopes

Chris Leung explains his recent research into deployable external insulation: dynamic facades which use paraffin wax and passive environmental technology to move between open and closed states and allow what has until now often been mutually exclusive –daylight and minimal heat loss

Experimental prototypes

What if a building could be designed with a high percentage of glazing to gain all the advantages of natural daylighting when occupied, but then switch its construction when un-occupied to being opaque and well-insulated to a degree that no current clear glazing system could achieve? What if this could be achieved at low-cost, using simple technology that was reliable and had low maintenance requirements? An early project by Professor Stephen Gage's team at the Bartlett set out to investigate the expansion properties of paraffin wax as a driver for a series of sculptures designed by Sixteen*(makers) during a Residency in the Kielder Forest. The team are now taking this further through their Deployable External Insulation (DEI) research project.

Dynamic Building Envelopes

A conventional building envelope is designed as a construction with fixed properties, whether it is a brick and block cavity wall or a high-performance cladding system. An extension of this method, one that tries to deal with a varying external climate, is to design "active facades", perhaps the earliest and best known example being the theoretical 'Polyvalent Wall', a wall made of compound layers which would regulate differences between the internal and external environment. The approach suggested in this article is different though: to dynamically articulate - to move - components of the building envelope itself. This could be insulation stowed over glazing at night that during the day moves to become shading for the glass and open to daylight. Another possibility is switching ventilation openings to control the flow of air over a thermal mass to either store or purge heat absorbed during the day. Whilst in itself this is nothing new, it is usually associated with the added expense of a dedicated mechanical and (typically) electrical drive system that then requires active control from a computer. This can be expensive, requires some input energy and faces the reliability issues of having many moving parts. Finding simpler ways to drive this movement then could deliver several advantages.

A Hydraulic driver

Phase-Change Materials (PCMs) are substances with unusual properties when they phase-change, usually between liquid and solid. Some have a very high latent heat, for example, which has found commercial application as an energy store in construction products such as composite plasterboards. In this article the PCM discussed is paraffin wax, an example of an organic PCM, it's most relevant property in this context being its incompressibility. When heated it expands with a very high hydraulic force, a useful characteristic when it comes to moving what are typically heavy elements within a building envelope construction, or to drive pistons which are expected to carry a significant load.

Passive Environmental Design

There are two contrasting approaches to designing the building envelope as a climate filter, to mediate between the wide variations of external thermal and lighting conditions and the narrower variations that characterize :"comfortable" indoor conditions
The first is the 'seal the box' – use a hermetically sealed climate filter with the indoor environment heavily serviced and oblivious to the outside, an approach founded on a philosophy .of environmental conditioning
The second is the 'passive environmental design' approach – use a responsive, permeable filter with dynamic properties to temper the interior environment, allowing a certain amount of passive heat exchange from the outdoor environment and admitting daylight. This is more holistic and relies on intrinsic characteristics of the building's design and materials.

Deployable External Insulation (DEI)

In recent years the amount of glazing area on building envelopes has been reduced considerably; In part this is a response to increasingly stringent regulation with improved standards for the thermal performance of envelope constructions. This leads to indoor environments with less natural daylight, despite current expert opinion highlighting the significant effects of daylight on well-being and productivity, the light varying with the changing sky and cloudscape. It is taken as a given that this benefit should be provided for where possible. There is also a high utility value to having a view of the outside environment, while in addition, a high dependency on artificial lighting increases energy costs.

There was clearly a case for beginning to develop a dynamic façade, one which could deal with the competing demands of daylighting, insulation and energy conservation, glare and excessive solar gain. The phase-change behaviour of paraffin wax could potentially provide the drive technology - it expands in response to the rising outside air temperature during the day, and the wax shrinks as the air temperature drops and it is cooled during the night. This switching response is essentially passive and therefore comes with the benefit of a very low operating cost. The challenge lies mainly in matching the timing of the switching response to the benefit of occupants (if present) using only the passive response of the wax as far as possible and given variable, and therefore somewhat unreliable, outdoor conditions. This research has so far resulted in one patented system has been developed to convert the passive wax piston into a drive mechanism specifically for this project.

The latest project, a prototype pavilion, has been constructed by converting a shipping container into a test cell to investigate at 1:1 scale both a deployable insulation system and the passive drive mechanism to control it. The DEI Pavilion opened to the public in London in June 2008 in the UCL quadrangle and will move to its second test site in London's Docklands later in the summer for further intensive monitoring.

Climate-adapting the Dynamic Building Envelope

Crucially, the correct paraffin wax had to be chosen for the climate. The term 'paraffin wax' actually refers to a family of hydro-carbons that consist of a carbon chain of varying length - in general the longer the carbon chain the higher the melting point. A paraffin wax of a particular carbon chain length can be separated out through a process of distillation, so that in theory a fully-refined or blend of waxes can be engineered to drive system to suit the micro-climatic conditions – the wax will change state, and will expand or contract, within a narrow temperature band when a switch between constructions would be most beneficial. This opens up the potential to match switching responses to suit different climates, from cooler northern, to warm Mediterranean, to tropical and hot Middle-eastern climates. The design of the earlier emulators was to suit the expected micro-climate of the trial site in North England, that is a cool northern temperate meso-climate. On this basis a particular paraffin wax was chosen, one with a suitable phase-change temperature.

The modelling and simulation challenge

Previous research has shown that simulating the performance of a building envelope that incorporates materials with dynamic properties requires advanced simulation techniques to account for the switching behaviour and the difference in performance between the different states, for example the different properties caused by switching electro-chromic glazing. There are unusual dynamics in the approach suggested here, it requires a simulation of the behaviour of the passively-driven PCM and the behaviour of a building envelope as it switches between states. Modelling the behaviour of a PCM drive presents challenges as the phase-change process is a non-linear phenomenon. To better understand it, advanced finite-element modelling techniques are being explored and integrated with parametric CAD solid modelling software. This should allow the possibility of modelling the PCM drive behaviour concurrently with the architectural and mechanical system design.

Research being carried out at the Bartlett seeks to investigate the properties and operating characteristics of such an application through physical prototyping and advanced computer modelling techniques. The outcome of the research so far has verified the initial theoretical models and practically demonstrated that paraffin wax is indeed viable to move substantial construction components using passive low-energy techniques. The potential exists for applying this technology to a wide range of environmental control needs in the built environment. The DEI test cell is a source of data to refine the modelling effort.

أغلفة المباني الديناميكية

يشرح كريس لانغ بحثه الأخير حول العازل الخارجي القابل للتمدد: واجهات ديناميكية تعتمد على شمع البرافين والتقنية البيئية المنفعلة لتنفتح ثمّ تنغلق مداورةً. كما تتيح ما كان حتى اليوم حصرياً لبعض الأشخاص فقط: ضوء النهار والتخفيف من الحرارة قدر المستطاع.

نماذج تجريبية

ماذا لو كان بالإمكان تصميم مبنىً تدخل في تركيبته نسبةٌ عاليةٌ من الألواح الزجاجية، للاستفادة من كافة حسنات نور النهار المتسلّل عبر النوافذ، عندما يكون مأهولاً بالسكان؟ ثمّ ماذا لو كان بالإمكان تبديل هذه البنية عندما يكون المبنى خالياً، لتصبح معتمةً ومعزولةً لدرجةٍ لا يمكن أن يمنحها إيّاك أيّ نظام راهن لتركيب الزجاج؟ وماذا لو عرفتَ أنّ بمقدورك تحقيق كلّ ذلك بكلفةٍ مخفّضة، عبر استخدام تقنيةٍ بسيطة يمكن الوثوق بها ولا تشترط كمّاً هائلاً من أعمال الصيانة؟ في هذا الإطار، أقدم فريق البروفسور ستيفن غايج في كلية بارتليت على دراسة مشروع أوليّ، للتحقّق من خصائص تمدّد شمع البرافين أملاً في التحفيز على تنفيذ سلسلةٍ من المنحوتات التي صمّمها فريق "سيكستين" [Sixteen*(makers)] خلال فترة تدرّجه في غابة كيلدر. وما لبث الفريق أن نقل هذا المشروع قدماً، من خلال المباشرة بمشروع بحثٍ جديد حول العازل الخارجيّ القابل للتمدّد.

أغلفة المباني الديناميكية

لا يخفى على أحدٍ أنّ غلاف المبنى التقليدي يُصمّم كبناءٍ قائم على خصائص ثابتة، سواء كان ذلك جداراً مفرغاً مكوّناً من القرميد والقوالب أو نظام تغليف عالي الجودة، لكن من الوسائل المتفرّعة عن هذه الطريقة، أي تلك التي تحاول التعامل مع أحوالٍ مناخيّة خارجية متنوّعة، هي تصميم "واجهاتٍ ناشطة". لعلّ أشهر مثالٍ على ذلك، وأوّلها انتشاراً، هو "الجدار المتعدّد التكافؤ" النظري الذي يتكوّن من طبقاتٍ مركّبة، تضبط الاختلافات بين البيئة الداخلية والخارجية. لكنّ المقاربة المقترحة في هذا المقال مختلفة: فهو يقترح وصل أو نقل مكوّنات غلاف المبنى نفسه بشكلٍ ديناميكيّ. أمّا السبيل إلى ذلك، فيمكن أن يكون عن طريق مادّةٍ عازلة تتّصل بالألواح الزجاجية ليلاً. وما تلبث أن تتحرّك لتصبح ستاراً مظللاً خلال النهار فتسمح بمرور الضوء. كما يمكن تحويل فتحات التهوئة للتحكم بدفق الهواء حول كتلةٍ حرارية، إمّا لتخزين الحرارة المتمتصّة على امتداد النهار وإمّا لإطلاقها. صحيحٌ أنّ هذا الأمر ليس بجديد. إلا أنّه يرتبط إجمالاً بنفقاتٍ إضافية جرّاء استعمال نظام تشغيلٍ ميكانيكي وكهربائيّ (عادةً)، مخصّص لاستخدامٍ معيّن. ويتطلّب طريقة تحكّم ناشطة ومعقّدة عن طريق كمبيوتر، من هنا، لا ريب في أنّ هذه الطريقة ستكون مرتفعة الثمن، وتتطلّب قدراً معيّناً من طاقة الإدخال. كما لا يمكن الاعتماد عليها بشكلٍ كامل نظراً لاشتمالها على الكثير من الأجزاء المتحرّكة، من هذا المنطلق، يبدو أنّ إيجاد طرقٍ أبسط للتشغيل قد يثمر عن الكثير من الفوائد.

برنامج الإدارة الهيدروليّة

تتمتّع المواد المتغيّرة الطور بخصائص غير مألوفة عندما تغيّر طورها بين الحالة السائلة والجامدة إجمالاً. على سبيل المثال، يتمتّع بعض هذه المواد بحرارةٍ كامنة عالية جداً، ممّا يجعلها تُستخدم جيّداً كمخزّنٍ للطاقة في بعض مواد البناء، على غرار الألواح الجصيّة المركّبة. يتناول هذا المقال شمع البرافين كمثالٍ عن المواد المتغيّرة الطور، وبالتحديد النوع العضويّ منها؛ وهي الخاصية الأكثر تعلّقاً بالموضوع في هذا السياق. بالنظر إلى أنّها غير قابلة للانضغاط، في الواقع، عندما ترتفع حرارة شمع البرافين، تراه يتمدّد بفعل قوّة هيدرولية عالية جداً؛ ممّا يجعله مفيداً لنقل العناصر الثقيلة الموجودة في غلاف المبنى، أو دفع الكبّاسات المتوقّع أن تنقل حمولةً كبيرة جداً.

التصميم البيئي المنفعل

يمكن تصميم غلاف المبنى وفق مقاربتين متعارضتين لاستعماله كمرشح للمناخ، وإيجاد حلّ وسط بين الاختلافات الواسعة للحرارة الخارجية ودرجة الضوء، فضلاً عن الاختلافات البسيطة التي تميّز الظروف المناخية "المريحة" في الداخل:

المقاربة الأولى هي "ختم الصندوق". وتنصّ على استخدام مرشح مناخيّ محكم السدّ، يحيط كلّ الإحاطة بالبيئة الداخلية مع الإغفال عن الحرارة الخارجية، وهي مقاربةٌ تستند على فلسفة التكييف البيئي.

أمّا المقاربة الثانية، فهي "التصميم البيئي المنفعل"، وتنصّ على استخدام مرشحٍ مُنفذ، سريع الاستجابة، يتميّز بخصائص ديناميكيةٍ لتعديل البيئة الداخلية، حيث يسمح بمقدار معيّن من التبادل الحراري السلبيّ مع البيئة الخارجية، ويتيح تسلّل ضوء النهار. تعتبر هذه المقاربة أكثر شمولية وتعتمد على المميّزات الجوهرية لتصميم المبنى ومواد البناء.

العازل الخارجي القابل للتمدّد

خلال السنوات الأخيرة، تقلّصت المساحات المخصّصة للألواح الزجاجية في المباني بشكلٍ ملحوظ، ومردّ ذلك، بشكلٍ جزئيّ، إلى الأنظمة الصارمة التي تعتمد معايير متطوّرة للأداء الحراري الخاص بغلاف الأبنية، كلّ ذلك يؤدي إلى تقليص الضوء الطبيعي المتسلل إلى البيئة الداخلية، رغم آراء الخبراء القائلة بأهمية الضوء وتأثيره على حالة الإنسان وإنتاجيته، ورغم تغيّر الضوء مع تغيّر حال السماء وتبدّل الغيوم. لقد أصبح من المسلّم به جدلاً أن يؤمّن المهندس هذه الفائدة كلّما وسعه إلى ذلك سبيلاً. أضف إلى ذلك الفائدة الكبيرة بتأمين منظرٍ مطلّ على البيئة الخارجية، من دون أن ننسى أنّ الاعتماد الكبير على الضوء الاصطناعي يزيد من تكاليف الطاقة.

من هذا المنطلق، جرى العمل على تطوير واجهة ديناميكية، تراعي الحاجات الماسة لضوء النهار والمواد العازلة، وحفظ الطاقة، والوهج، والكمية المفرطة من أشعة الشمس في آن. ولا يخفى على أحد أنّ تغيّر طور شمع البرافين قد يكون الدافع المحرّك لهذه التقنية: فهو يتمدّد استجابةً لارتفاع درجة الحرارة الخارجية خلال النهار، وما يلبث أن يتقلّص عند انخفاض درجة الحرارة، ممّا يوفّر جواً منعشاً خلال الليل. لكنّ هذا التبدّل لا يعتبر فاعلاً بل منفعلاً في الأساس. وبالتالي فهو لا يثقل الكاهل بكلفةٍ مرتفعة عند المباشرة بهذه العملية، رغم ذلك، يواجه المرء تحدياتٍ عسيرة، حيث يجد نفسه مضطراً للتوفيق بين زمن تبدّل طور الشمع ومصلحة قاطني المبنى (في حال كانوا موجودين)، مع الاعتماد قدر الإمكان على استجابة الشمع المنفعلة فقط، ومع مراعاة أحوال الطقس الخارجية المتقلّبة وبالتالي التي لا يمكن الاعتماد عليها نوعاً ما. في هذا الإطار، أدى هذا البحث حتى الآن إلى نظام مرخّص واحد يهدف إلى تحويل كبّاس الشمع المنفعّل إلى آلية تشغيلٍ معدّة لهذا المشروع بالتحديد.

أمّا المشروع الأحدث، فقد عالج نموذج جناحٍ في مبنى، بُني هذا الجناح من خلال تحويل مستوعب شحن إلى خلية اختبار، بهدف دراسة نظام العزل القابل للتمدّد، وآلية التشغيل المنفعلة للتحكم به، وفق مقياس ١:١. وكان هذا الجناح المعتمد على تقنية العزل الخارجي القابل للتمدّد قد افتتح أمام الجمهور في لندن خلال حزيران/يونيو ٢٠٠٨، في الساحة المربّعة الكائنة في كلية لندن الجامعية؛ ومن المقرّر أن ينتقل موقع الاختبار الثاني إلى دوكلاندز في لندن، في وقتٍ لاحق من الصيف، لإجراء المزيد من تدابير المراقبة المكثّفة.

تكييف المناخ بواسطة غلاف المبنى الديناميكي

من الضروري جداً أن يتمّ اختيار شمع البرافين المناسب للمناخ، يشير مصطلح "شمع البرافين" إلى أسرة الهيدروكاربونات التي تتألّف من سلسلة كربونات ذات أحجام مختلفة؛ وكلّما كانت السلسلة أطول، كانت درجة الذوبان أعلى، يمكن فصل شمع البرافين الذي يتميّز بسلسلة كربونات معيّنة عن طريق عملية التقطير، من هذا المنطلق، يصبح بالإمكان هندسة مزيج من المواد الشمعية، نظرياً، لتكوّن نظام تشغيل يناسب الظروف المناخية الدقيقة، كيف لا والشمع سيغيّر حينذاك من حالته، فيتمدّد أو يتقلّص في ظلّ فروقات حرارية بسيطة، عندما يكون التبديل بين مواد البنى أكثر إفادةً بالنسبة للسكان، كلّ ذلك يجعل بالإمكان التعمّق في المشروع كي يكون تبديل المواد مناسباً لأحوالٍ مناخية متنوّعة، من المناخ الشمالي البارد إلى المناخ المتوسطي الدافىء، فالمناخ الاستوائي ومناخ الشرق الأوسط الحار. تجدر الإشارة إلى أنّ تصميم المجسّمات التجريبية الأولية أخذ بعين الاعتبار المناخ الموقعي في موقع الاختبار بالذات، أي شمال انكلترا، وهو مناخٌ محليّ شماليّ ذو درجة حرارة باردة باعتدال. على هذا الأساس، تمّ اختيار نوعٍ معيّن من شمع البرافين، يتميّز بدرجة حرارة مناسبة عند تغيّر طوره.

تحدّي إجراء التجارب وصياغة الأشكال

أثبتت الأبحاث السابقة أنّ إجراء التجارب لمحاكاة أداء غلاف المبنى، من خلال استعمال المواد ذات الخصائص الديناميكية، يتطلّب اعتماد تقنيات متطوّرة لتفسير سلوك التبدّل من حالةٍ إلى أخرى، والفرق في الأداء بين الحالات المختلفة، على غرار الخصائص المتنوّعة التي تنتج عن تبديل الألواح الزجاجية الكهربائية الكرومية. جديرٌ بالذكر أنّ المقاربة المقترحة ها هنا تنطوي على قوى ديناميكية غير مألوفة؛ فهي تتطلّب محاكاة سلوك المواد المنفعلة المتغيّرة الطور، فضلاً عن سلوك غلاف المبنى بينما ينتقل من حالةٍ إلى أخرى.

لا شكّ في أنّ التحكم بسلوك المواد المتغيّرة الطور يطرح تحدياتٍ عدة بما أنّ عملية تغيير الطور لا تتّبع خطاً مستقيماً، في الوقت الحالي، يتعمّق الباحثون في التقنيات المتطوّرة ذات العناصر المحدودة، ويدمجونها ضمن برمجيات تصميم متينة بمعاونة الحاسوب، من شأن هذا أن يتيح التحكم بسلوك المواد المتغيّرة الطور بالتزامن مع تصميم النظام الهندسي والميكانيكي.

تسعى الأبحاث التي تجرى حالياً في كلية بارتليت إلى التحقيق في مزايا هذه العملية التطبيقية وخصائص تشغيلها، من خلال إعداد النماذج المادية وصياغة التقنيات الحاسوبية المتطوّرة في مجال صياغة أشكال المواد المتغيّرة الطور، وقد أثبتت هذه الأبحاث، حتى الآن، صحة النماذج النظرية الأولية، كما أكّدت على أنّ شمع البرافين قادرٌ، عملياً، على نقل مواد بناء أساسية من خلال الاعتماد على التقنيات المنفعلة المنخفضة الطاقة، ويمكن تطبيق هذه التقنية على مجموعةٍ واسعة من حاجات البناء الداعية إلى التحكم بالبيئة، في هذا الإطار، تشكّل خلية الاختبار حول العازل الخارجي القابل للتمدّد مصدراً للمعلومات اللازمة لتنقيح الجهود المبذولة في هذا المجال.

للمزيد من المعلومات، الرجاء زيارة الموقعين التاليين:
www.deployable.org.uk و
www.chrisleung.org

كريس لانغ مهندسٌ مقيم في لندن، ومرشّح لنيل شهادة الدكتوراه في الهندسة في مركز بارتليت للهندسة، كلية لندن الجامعية.

يتمتّع هذا البحث بدعم من شركاء في الصناعة، منهم شركة ماكس فردهام للاستشارات الهندسية (Max Fordham consultant engineers)، ومهندسو ماك (MAKE Architects)، ويوربان باز (UrbanBuzz)، ومهندسي دي.إس.بي (DSP Architects)، وشركة هاك للتصميم والأبحاث (Haque Design + Research Ltd)، وإدارة المساحات المدينية (Urban Space Management)، إلى جانب مدرسة بارتليت للهندسة.