

# Inledande studie

Fasomvandling för energilagring och temperaturutjämning

Utarbetad av

Efstathia Vlassopoulou, Hanna Westling

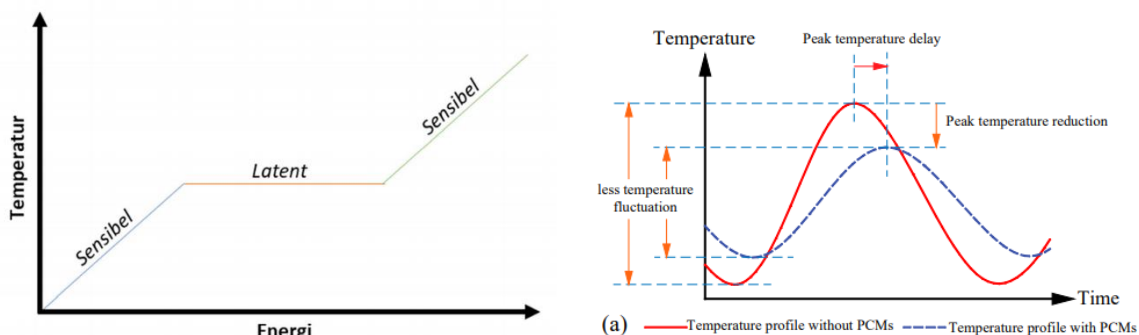
Stockholm, 2021-06-22

## 1 Inledning

En minskning av energianvändningen i bebyggelsen är viktig för att nå de uppsatta samhälleliga energi- och klimatmålen. En utmaning i omställningen till en energi- och klimatteffektiv bebyggelse är att effektbehovet varierar betydligt såväl över dygnet som över årets säsonger. Dessa variationer leder till att effekttoppar skapas, och dessa ställer krav både på tillgänglig infrastruktur som ledningar och användning av topplast, vilket vanligtvis sker genom fossila källor.

I ett försök att minska eller undvika toppeffektbehovet har energilagring i form av latent värmelagring med hjälp av fasomvandlingsmaterial<sup>1</sup> (Phase Change Material – PCM) studerats. Resultaten visar på både möjligheter och utmaningar. Fasomvandlingsmaterial har använts inom flera olika områden, som exempelvis i värmepumpar, kyltransporter och temperaturkontroll av elektronik (Brandforsk, 2020) men deras användning i byggsektorn är relativt komplex. Det finns dock ett byggmaterial som använder fasomvandling för att stå emot brand. Detta material är gipsskivor som innehåller kristallbundet vatten som gör att värme fördröjs vid uppkomst av brand tack vare lagring av energi från kristallbundet vatten under sin fasomvandling till gasform (Brandforsk, 2020).

Lagring av energi i form av värme kan uppnås antingen genom sensibel eller latent energilagring. Sensibel värmelagring innebär att energi lagras i form av en temperaturökning utan att ämnet genomgår en fasomvandling. Sensibel värmelagring kan uppnås med att ladda energi direkt i byggnadsstommen i material med hög termisk massa som till exempel betong, eller i närheten av byggnaden i exempelvis borrhål under sommarperioden som sedan kan utnyttjas under vintern eller vid effekttoppar (BeBo, 2019). Latent energilagring innebär att energi lagras genom att materialet genomgår en fasomvandling. Under denna process höjs inte temperaturen, utan energiinnehållet ökar enbart genom materialets fasändring. Nedan illustreras av sensibel och latent värmelagring. Fasomvandlingen sker genom att materialets latent värme används för att uppta eller avge värme – smältning respektive stelning (Brandforsk, 2020).



Figur 1: Sensibel och latent värmelagring (vänster) samt temperaturfluktuation med och utan PCM (höger). Källor: (BeBo, 2019) respektive (Al-Absi, Isa, Ismail, & Mazran, 2020).

Smältning av is är ett klassiskt exempel på fasomvandling. När 1 kg vatten vid  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  värms till  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , upptas 12 kJ sensibel värme plus 334 kJ latent värme för smältningen som sker vid  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Det faktum att mängden latent värme är så mycket större i jämförelse med mängden sensibel värme gör att temperaturen stabiliseras vid  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Användning av is som fasomvandlingsmaterial används sedan länge i en typ av byggnader, nämligen i igloor. På grund av den låga smälttemperaturen kan det dock inte användas i

<sup>1</sup> Fasomvandlingsmaterial kan också kallas för fasändringsmaterial

andra former av byggnader. För att kunna utjämna temperaturen i en byggnad krävs en smälttemperatur som liknar inomhustemperaturen (i komfortzonen).

## 2 Material som är möjliga att använda för temperaturutjämning i byggnader samt form och plats där de kan installeras

### 2.1 Materialkategorier

Valet av specifikt fasomvandlingsmaterial (Phase Change Material – PCM) är viktigt när man pratar om latent energilagring, och för byggsektorn är ett fast-flytande PCM vanligast eftersom det är lättare att hantera. Aspekter som behöver beaktas i valet av fasomvandlingsmaterial är bland annat smälttemperatur, fasomvandlingsentalpi<sup>2</sup>, risker och hållbarhetsaspekter. Det finns två huvudkategorier av fast-flytande PCM: organiska och oorganiska. Organiska PCM omfattar paraffiner och icke-paraffiner (så kallade biobaserade PCM). Paraffiner är de vanligaste organiska fasomvandlingsmaterialen, de är oljebaserade med en smälttemperatur mellan 2-80°C. Biobaserade PCM innefattar fetter, alkoholer och glykoler med en smälttemperatur på 30-200°C. Oorganiska PCM delas in i kategorierna salt-/vattenbaserade föreningar (salter, salthydrater) och övriga oorganiska föreningar (nitrater, hydroxider, klorider, karbonater, fluorider).

Hållbarhetsaspekter i PCM handlar bland annat om att klara av ett stort antal fasomvandlingscykler, och i denna kategori är organiska PCM bäst eftersom de är mer kemiskt stabila, inte har rost- och toxiska problem och är lätta att innesluta i andra byggnadsmaterial (Olsson & Linder, 2009). Risk för problem finns dock med den höga brandrisk som organiska PCM medför.

Oorganiska PCM har smälttemperatur antingen mellan -90 och -120 °C eller mellan 170 och 1 000 °C, och de har en mycket högre latent energilagring förmåga och värmekonduktivitet än organiska PCM. Problem med oorganiska PCM kan uppstå på grund av försämring av materialet över tid (där de har svårt att behålla prestanda över många cykler), rost, korrosion och väldigt skilda smälttemperaturer i jämförelse med inomhustemperaturen (Olsson & Linder, 2009). Dessa aspekter medför att oorganiska fasomvandlingsmaterial inte är lämpliga att använda i byggnader.

För att PCM ska bidra till att stabilisera inomhustemperatur och komfortnivåer, och därmed minska värme- (och kyl-)belastningar, bör de ha smälttemperaturer som matchar komforttemperatur inomhus på ca 25 °C (Al-Absi, Isa, Ismail, & Mazran, 2020). Detta är en av anledningarna till att organiska PCM, och främst paraffiner som både är ett mer stabilt material än andra PCM-material och billigare, är mer lämpliga att använda för energibesparing i byggsektorn (Brandforsk, 2020).

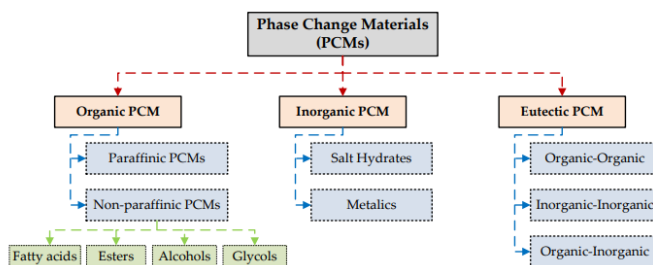


Figure 2. Phase change materials (PCMs) categories [35].

Figur 2: Fasomvandlingsmaterialskategorier. Källa: (Al-Absi, Isa, Ismail, & Mazran, 2020).

<sup>2</sup> Entalpi är den energi som finns lagrad i ett ämne.

## 2.2 Form

I de flesta fall innesluts fasomvandlingsmaterialet i behållare för att det inte ska läcka ut till omgivningen och för att undvika kontaminering från omgivningen. Eftersom behållaren måste möjliggöra värmeöverföring och volymförändring vid fasomvandlingen behöver behållarens material vara kompatibelt med fasomvandlingsmaterialet. Inneslutningen kan vara av tre kategorier: mikroinkapsling, makroinkapsling och övriga metoder.

Fördelen med mikroinkapsling är att värmeöverföringen förbättras genom ökat yt-/volymförhållande. Nackdelar omfattar risk för underkyllning och ”lägre total smältvärme p.g.a. den relativt stora tillsatsen av skalmaterial, som inte bidrar med smältvärme”. Vanliga material för behållaren är polymerer och SiO<sub>2</sub> (Brandforsk, 2020).

För makroinkapsling är risken större för skador som kan leda till läckage av fasomvandlingsmaterialet. En annan nackdel är att smältning (och stelning) ofta endast når behållarnas kanter på grund av den relativa låga termiska konduktiviteten hos många fasomvandlingsmaterial. Det gör att fasomvandlingsmaterialets effekt minskar (Brandforsk, 2020). Makroinkapslat PCM används även i konstruktionsdelar i små påsar eller rör, de kan exempelvis lagras i behållare och utgöra en del av byggnadens ventilationssystem.

Bland övriga metoder finns nanoinkapsling och formstabilisering. Nanoinkapsling liknar mikroinkapsling, men sker i en ännu mindre storlek och finns än så länge endast i forskningsstadiet. I formstabilisering blandas fasomvandlingsmaterialet med en polymer och blandningen skapar ett skelett som kan kapsla in fasomvandlingsmaterialet i både fast och flytande fas. Fasomvandlingsmaterialet riskerar dock att spridas och förloras, vilket tar bort den temperaturstabiliserande effekten (Brandforsk, 2020). Slutligen finns impregnering vilket innebär att fasomvandlingsmaterialet impregneras i porösa material, som gips och betong, utan inkapsling. Impregnering är det enklaste sättet att använda fasomvandlingsmaterial men inga byggprodukter har hittills tillverkats med denna teknik, troligtvis på grund av risker för läckage (Brandforsk, 2020).

## 2.3 Placering

(Al-Absi, Isa, Ismail, & Mazran, 2020) refererar till olika studier som har undersökt den optimala positioneringen av PCM i väggarna på en byggnad. Deras resultat visade att om materialet stannar i fast eller flytande form en lång tid kan det orsaka en betydande försämring av prestandan. Var i en byggnads väggar som ett PCM ska placeras beror på flera aspekter, bl.a. klimatet i omgivningen, målet med användningen, önskade komfortnivåer, väggmaterialens termiska egenskaper och egenskaperna hos det fasomvandlingsmaterial som används. Generellt krävs det dock en placering där önskade temperaturer för både smältning och stelning kan nås. I länder som Sverige där målet främst torde vara att minska topeffektbehovet vintertid bör PCM placeras närmare byggnadens insida. På så sätt absorberas den värme som producerats inomhus under dagen (vilket leder till att PCM:et smälter) och återanvänds (frigör värme vid stelning) under natten när utomhustemperaturen sjunker. Simuleringar behövs dock för att säkerställa den optimala placeringen av PCM utifrån alla ovan nämnda aspekter (Al-Absi, Isa, Ismail, & Mazran, 2020).

Förutom i väggar kan PCM även enkelt placeras i undertak och golv. Till exempel kan gjuten golvvärme i betong fungera med mikroinkapslat fasomvandlingsmaterial i betongen (Brandforsk, 2020) och

fasomvandlingsmaterial i taket kan kombineras med VVS-system (Brandforsk, 2020). Fasomvandlingsmaterial kan även användas för att lagra energi från solfångare och återanvända under perioder då elnätet har en hög belastning.

### **3 Möjligheter med användning av fasomvandling i småhussektorn**

Användning av fasomvandlingsmaterial kan leda till stora fördelar när det gäller energibesparing och temperaturstabilisering. Detta leder i sin tur både till minskad klimatpåverkan från energianvändning och flexibilitet i energiförsörjningssystem (eftersom effektbehovet kan minskas och förskjutas) och kan möjliggöra dimensionering av anläggningar med lägre kapacitet för värme och kyla (Brandforsk, 2020). Forskning har även visat att PCM direkt kan öka de boendes komfortnivå med upp till 32 procent genom minskade temperaturfluktuationer (Bland, Khzouz, Statheros, & Gkanas, 2017).

Termiskt stabiliseringsbehov finns främst i lättviktskonstruktioner eftersom deras termiska massa är liten och temperaturfluktuationerna blir stora. Betong (eller murbruk/tegel) å andra sidan har en stor termisk massa vilket gör att sensibel värmelagring kan uppnås. Dock krävs då tunga och tjocka väggar. En av de viktigaste fördelarna med användning av PCM i byggnadernas väggar är att ett väldigt tunt lager av PCM kan lagra stora mängder värme. Till exempel kan en vägg av PCM vara endast en tjugondel av motsvarande betongvägg och fortfarande lagra samma mängder energi (Al-Absi, Isa, Ismail, & Mazran, 2020). Det krävs dock att byggnaden är välisolerad. Ett annat exempel är att en 25 mm gipsskiva med PCM uppskattas kunna nå samma termisk energilagring som en 70 mm tjock betongvägg.

Småhus har vanligtvis en låg klimatpåverkan under sitt produkt- och byggproduktionsskede (råvaruförsörjning, tillverkning, transport, bygg- och installationsprocessen) tack vare den stora andelen trämaterial och det faktum att det är vanligt med prefabricerade lättviktskonstruktioner som transporteras med låg klimatpåverkan och som enkelt monteras. Användning av fasomvandlingsmaterial som minskar energi- och effektbehov och därmed utsläppen under byggnadens användningsskede skulle möjliggöra småhus med ytterligare lägre klimatpåverkan ur ett livscykelperspektiv.

### **4 Utmaningar med användning av fasomvandling**

Det finns ett antal utmaningar med användning av fasomvandlingsmaterial i byggnader. En stor utmaning är brandrisk eftersom de flesta PCM som kan användas i byggsektorn är brännbara. Ett stort antal studier undersöker dock möjligheter med användning av flamskyddsmedel som tillsats i fasomvandlingsmaterial. En avgörande faktor som bidrar till stora risker är brist på kunskap när det gäller applicering av fasomvandlingsmaterial. Många fel och risker kan uppstå i byggprocessen, t.ex. kan gipsskivor som innehåller PCM förväxlas med brandgipsskivor och de förstnämnda riskerar att placeras i det yttersta vägglagret (normalt ska den traditionella gipsskivan skydda den andra). En annan nackdel som medför risker är att husets tryckhållfasthet eller isoleringsförmåga minskas på grund av minskning av byggnadsmaterialets densitet. Koncentrationer av fasomvandlingsmaterial i gipsskivor ligger vanligtvis på runt 10–25 procent. Vid högre koncentrationer kan gipsskivorna falla isär (Brandforsk, 2020). För att användningen av PCM ska vara effektivt krävs dock ca 15–20 procent fasomvandlingsmaterial. Det gör att förändringar sannolikt krävs i sättet som byggnader byggs (Brandforsk, 2020).

Vidare bör det nämnas att fördjupade livscykelanalyser behövs för att studera i vilken utsträckning det faktiskt är bättre att använda fasomvandlingsmaterial ur klimatsynpunkt. Minskningen av

energianvändning under användningsskedet kan sannolikt motverkas av utsläppen från fasomvandlingsmaterialets (och behållarnas) tillverkning och deponering. Enligt (Madessa, 2014) är forskningen om klimatpåverkan från tillverkningen av fasomvandlingsmaterial begränsad. Studier som refereras i (Madessa, 2014) har visat att i byggnader i Medelhavet skulle energibesparingar inte överväga klimatutsläppen från fasomvandlingsmaterialet. Det visas också att oorganiska salthydrater har lägre klimatpåverkan än paraffin (vilket är det mest använda fasomvandlingsmaterialet). Men även dessa resultat beror av typ av hus, utomhustemperaturer och den energi som används vid tillverkningen. Vidare är fasomvandlingsmaterialets livslängd ännu okänd i praktisk tillämpning, vilket gör att det finns risk att de inte håller hela byggnadens livslängd och att de behöver bytas ut vilket sannolikt kommer att vara svårt att göra utan att skada byggnaden (Bland, Khzouz, Statheros, & Gkanas, 2017). Slutligen är fasomvandlingsmaterial inte kostnadseffektiva i nuläget, och detta är en av de viktigaste anledningarna till att de inte är så vanliga på marknaden. En annan anledning till att användning av PCM inte är vanligt är att de ännu inte finns på marknaden (Brandforsk, 2020).

## 5 Exempel på resultat från experimentprojekt

I en studie (Copertaro, Shen, Sangelantoni, Huang, & Zhang, 2020) har det undersökts hur ett testhus, placerat i Stockholm och byggt av för småhus vanliga byggmaterial i Sverige, presterar när ett lager av paraffin i olika tjocklekar (10 till 30 mm) och med olika smälttemperaturer (21, 24 och 26 °C) adderas till ytterväggarna (i ordningen gips, PCM, isolering, luft, trä) i jämförelse med ett referenshus utan PCM. Resultatet visade att det tjockaste lagret med PCM (30 mm) med den högsta smälttemperaturen (26 °C) är den bästa kombinationen för hela året, och att det resulterar i en 2,4 procent lägre energianvändning över året. Den största delen av minskningen beror dock på att energianvändningen minskar under årets kalla period. Enligt studiens författare kan detta bero på små vinster av solvärme genom fönstret (det finns endast ett fönster i testhuset och detta är placerat i söder och med kvoten fönsterarea mot golvyta på 10 procent som anses vara vanligt). Oavsett vilken smälttemperatur som testades klarade fasomvandlingsmaterialet inte av flera smält- och stelningcykler och förblev för det mesta i sin fasta form. Enligt författaren är det dock viktigt med kylningseffekter, särskilt för framtidsscenariot som undersöktes när kylbehov kommer att vara allt viktigare, även i Skandinavien.

Liknande resultat vintertid visas i (Pirasaci, 2020) där organisk PCM (med många olika egenskaper) integrerats i byggnadsväggarna i byggnader i Ankara, Turkiet. Detta resulterade i försumbara minskningar i energianvändning till följd av att fasomvandlingsmaterialet är i fast fas under majoriteten av året. Dock bör det noteras att solinstrålningen i detta fall antagits vara noll.

Det finns dock flera studier som visar på olika resultat. De fenomen som har studerats mest är kylning med hjälp av PCM, men minskad energianvändning vintertid har också studerats. Resultaten varierar mycket med klimat, processen, fasomvandlingsmaterialet, byggnadsmaterialen och position där PCM installeras. Olika resultat av ett antal studier som undersökt påverkan av PCM både för uppvärmning och för kylning av byggnader redovisas i (Faraj, Khaled, Faraj, Hachem, & Castelain, 2020), i (Lamrani, Johannes, & Kuznik, 2021) och i (Madessa, 2014). Från experimentstudierna verkar det vanligaste sättet att använda PCM i byggnader vara att integrera dem (makroinkapsling och mikroinkapsling) i byggnadsskalet eller i byggnadskomponenter med främsta fokus på kylningseffekter. Resultaten av användning av PCM, från både experimentella och numeriska studier, är positiva för alla applikationer.

Slutligen har en pilotanläggning byggts i Göteborg där salter används för att lagra energi med syfte att kyla en byggnad på Chalmers campus (NyTeknik, 2019).

## **6 Slutsatser**

Det finns flera möjligheter med användning av fasomvandlingsmaterial i byggsektorn. Lättkonstruktioner kan utnyttjas i stor utsträckning tack vare deras begränsade termiska massa. Småhus av trä som har en låg klimatpåverkan under byggskedet skulle med hjälp av fasomvandlingsmaterial kunna minska energianvändningen i användningsskedet, och därmed klimatpåverkan under hela livscykeln betydligt, och samtidigt öka de boendes inomhuskomfort. Tester vintertid av olika fasomvandlingsmaterial i småhus placerade i Sverige kan ge en bättre bild av deras effekt. Tester rekommenderas genomföras i verkliga hus med boende och att hänsyn tas till solinstrålning.

En annan aspekt som bör nämnas är att de klimatförändringarna kan göra det nödvändigt att småhus förses med klimatkyla i framtiden. Fasomvandlingsmaterial kan då möjliggöra bra inomhusklimat utan användning av air-conditioning system.

Det krävs dock mycket mer forskning och tester i verkligheten för att bedöma effekterna på småhussektorns energianvändning från fasomvandlingsmaterial, särskilt vintertid i Sverige.

## 7 Referenser

- Al-Absi, Isa, Z. &, Ismail, M. &, & Mazran. (februari 2020). *Phase Change Materials (PCMs) and Their Optimum Position in Building Walls*. Hämtat från [https://www.researchgate.net/publication/339192381\\_Phase\\_Change\\_Materials\\_PCMs\\_and\\_Their\\_Optimum\\_Position\\_in\\_Building\\_Walls](https://www.researchgate.net/publication/339192381_Phase_Change_Materials_PCMs_and_Their_Optimum_Position_in_Building_Walls)
- BeBo. (2019). *Effektreduceringsmetoder*. Hämtat från <https://www.bebostad.se/media/4370/effektreduceringsmetoder-f%C3%B6rstudie-2019-12-20.pdf>
- Bland, A., Khzouz, M., Statheros, T., & Gkanas, E. (2017). *PCMs for Residential Building Applications: A Short Review Focused on Disadvantages and Proposals for Future Development*. Hämtat från <https://www.readcube.com/articles/10.3390/buildings7030078>
- Brandforsk. (2020). *Fasomvandlingsmaterial: Risker och möjligheter*. Hämtat från <https://www.brandforsk.se/en/research-projects/2020/phase-changing-materials-pcm-risks-and-opportunities/>
- Copertaro, B., Shen, J., Sangelantoni, L., Huang, P., & Zhang, X. (2020). *Adapting to future climate change by integration of Phase Change Materials (PCMs) into the building envelope: a case study in Stockholm, Sweden*. Hämtat från <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/handle/11250/2684021>
- Faraj, K., Khaled, M., Faraj, J., Hachem, F., & Castelain, C. (2020). *A review on phase change materials for thermal energy storage in buildings: Heating and hybrid applications*. Hämtat från <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02965149/document>
- Lamrani, B., Johannes, K., & Kuznik, F. (2021). *Phase change materials integrated into building walls: An updated review*. Hämtat från <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032121000460>
- Madessa, H. (2014). *A Review of the Performance of Buildings Integrated with Phase Change Material: Opportunities for Application in Cold Climate*. Hämtat från [https://www.researchgate.net/publication/270053196\\_A\\_Review\\_of\\_the\\_Performance\\_of\\_Buildings\\_Integrated\\_with\\_Phase\\_Change\\_Material\\_Opportunities\\_for\\_Application\\_in\\_Cold\\_Climate](https://www.researchgate.net/publication/270053196_A_Review_of_the_Performance_of_Buildings_Integrated_with_Phase_Change_Material_Opportunities_for_Application_in_Cold_Climate)
- NyTeknik. (2019). *Saltlager kan kapa effekttopparna – unik pilotanläggning i Göteborg*. Hämtat från <https://www.nyteknik.se/premium/saltlager-kan-kapa-effekttopparna-unik-pilotanlaggning-i-goteborg-6978401>
- Olsson, M., & Linder, K. (2009). *Latent värmelagring i väggar*. Hämtat från [http://www8.tfe.umu.se/courses/energi/Energilagringsteknik/2009/Projekt\\_Magnus\\_Kristofer.pdf](http://www8.tfe.umu.se/courses/energi/Energilagringsteknik/2009/Projekt_Magnus_Kristofer.pdf)
- Pirasaci, T. (2020). *Investigation of phase state and heat storage form of the phase change material (PCM) layer integrated into the exterior walls of the residential-apartment during heating season*. Hämtat från <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544220312834>