

بتن هوادار اتوکلاو شده: اثر ظرفیت ذخیره گرمایی روی عملکرد گرمایی و آسایش حرارتی

ترجمه: واحد تحقیق و توسعه شرکت پرین بتن آمود - مهندس جواد احمدی - منیره نگاری

Autoclaved aerated concrete: Influence of heat storage capacity on thermal performance and thermal comfort

Porenbeton: Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit auf das thermische Verhalten und die thermische Behaglichkeit

ظرفیت ذخیره گرمایی مصالح ساختمانی می تواند تاثیر قابل ملاحظه ای بر میزان مصرف انرژی و آسایش حرارتی در ساختمان ها داشته باشد. این مقاله ارتباط بین ظرفیت ذخیره گرمایی و عملکرد حرارتی ساختمان را مورد بررسی قرار می دهد. یک ساختمان تست با استفاده از بلوک های بتن هوادار اتوکلاو شده در شهر Kloster lehnin/Emstal آلمان ساخته شد. ضریب انتقال حرارتی (U) در این ساختمان برای دیوارها، کف و سقف آن یکسان می باشد. سیستم گرمایش و تهویه ساختمان به طور اتوماتیک کنترل می شود. شرکت XELLA و دپارتمان

Building Physics/Low Energy Buildings of Technische Universität Kaiserslautern

ساختمان تست را از سال ۲۰۱۷ مورد پردازش قرار داده اند. عملکرد حرارتی و آسایش ساختمان تست AAC توسط اندازه گیری ها و مشاهدات عینی مورد بررسی قرار گرفته است. این نتایج با داده های حاصل از شبیه سازی یک ساختمان سبک (LWC) با ژئومتری یکسان و ضریب انتقال حرارتی (U) یکسان مقایسه گردید. بررسی ها نشان داد که توان ذخیره گرمایی AAC، در مقایسه با ساختمان بتنی سبک (LWC)، تاثیر مثبتی بر روی آسایش حرارتی و محافظت گرمایی ساختمان در فصل تابستان دارد. در تابستان ظرفیت ذخیره گرمایی افزایش یافته ی AAC در مقایسه با LWC، آسایش حرارتی را بهبود می بخشد. در طول دوره گرمایی، ساختمان AAC با ظرفیت ذخیره گرمایی بالاتر در مقایسه با LWC، مزیت سرد شدن آهسته ی دمای هوای داخلی را نشان می دهد.



۱-مقدمه

در جریان ساخت و نوسازی خانه ها، طراحان به کیفیت عایق بندی پوشش ساختمان از نقطه نظر فیزیکی توجه ویژه ای دارند. اما اثر ظرفیت ذخیره گرمایی مصالح ساختمانی استفاده شده بر میزان مصرف انرژی و آسایش حرارتی، اغلب در طراحی ساختمان ها نادیده گرفته می شود. در این مقاله این موضوع مورد بررسی قرار گرفته، که چگونه ظرفیت ذخیره گرمایی بتن هوادار اتوکلاو شده (AAC) در مقایسه با ساختمان بتن سبک (LWC) با همان ضرایب انتقال حرارت (U)، بر محافظت گرمایی و آسایش حرارتی ساختمان در تابستان اثر می گذارد.

در گام اول، ساختمان تست بلوک AAC توضیح داده می شود و سپس نتایج اندازه گیری های انجام شده با داده های بدست آمده از مدل کامپیوتری شبیه سازی شده با مقیاس واقعی و LWC مقایسه می شود و نهایتا خلاصه ای از یافته ها ارائه می گردد.



شکل یک: ساختمان تست که از بلوک های بتن هوادار اتوکلاو شده ساخته شده است.

۲- مفهوم ساختمان تست

برای بررسی اثر ظرفیت ذخیره گرمایی بر روی عملکرد و آسایش حرارتی ساختمان تحت شرایط واقعی و به منظور اعتبار سنجی مدل شبیه سازی شده، یک ساختمان تست با بلوک های AAC در سایت تحقیقاتی شرکت XELLA ساخته شد. ساختمان (شکل یک) از سال ۲۰۱۷ مورد پایش قرار دارد.



جدول یک: اطلاعات اجزای مات ساختمان تست واقعی

Component / Bauteil	Description / Beschreibung	Surface / Fläche (m ²)	U-value / U-Wert [W/(m ² K)]	C ['] effective / C ['] wirk [Wh/(m ² K)]	C ['] effective / C ['] wirk [Wh/K]
Walls / Wände	36.5 cm autoclaved aerated concrete ($\lambda = 0.090 \text{ W/(mK)}/\rho = 325 \text{ kg/m}^3$) + interior and exterior plaster / 36,5 cm Porenbeton ($\lambda = 0.090 \text{ W/(mK)}/\rho = 325 \text{ kg/m}^3$) + Innen- und Außenputz	28.9	0.23	12	347
Roof / Dach	20.0 cm autoclaved aerated concrete ($\lambda = 0.140 \text{ W/(mK)}/\rho = 550 \text{ kg/m}^3$) + tapered insulation ($\lambda = 0.035 \text{ W/(mK)}$) + sealing / 20,0 cm Porenbeton ($\lambda = 0.140 \text{ W/(mK)}/\rho = 550 \text{ kg/m}^3$) + Gefälledämmung ($\lambda = 0.035 \text{ W/(mK)}$) + Abdichtung	7.5	0.23	15	115
Floor / Boden	16.0 cm reinforced concrete + sealing + 14.0 cm insulation ($\lambda = 0.035 \text{ W/(mK)}$) + 6.0 cm screed ($\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$) / 16,0 cm Stahlbeton + Abdichtung + 14,0 cm Dämmung ($\lambda = 0.035 \text{ W/(mK)}$) + 6,0 cm Estrich ($\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$)	7.5	0.23	33	250
				C ['] effective, total / C ['] wirk, gesamt =	712 Wh/K
				A _{net} floor area / A _{Nettogeschossfläche} =	7.5 m ²
				C ['] effective, total / C ['] wirk, gesamt =	95 Wh/(m ² K)

۲-۱- جزئیات اجرایی

ابعاد داخلی ساختمان تست ۲/۷۴ در ۲/۷۴ متر به ارتفاع ۲/۸ متر می باشد. ضریب انتقال حرارتی (U) دیوارها، سقف و کف برابر ۰/۲۳ وات بر متر مربع درجه کلون می باشد. ظرفیت ذخیره گرمایی موثر (C['] effective, total) ساختمان نمونه براساس استاندارد DIN EN ISO 13786 برابر ۹۵ وات ساعت بر مترمربع کلون $\frac{\text{Wh}}{\text{Km}^2}$ می باشد. ساختمان تست یک پنجره در قسمت جنوب شرقی دارد که ابعاد آن برابر ۰/۸۸۵ در ۲/۰۱ متر می باشد. شیشه پنجره از لعاب سه لایه تشکیل شده که ضریب عبور انرژی خورشیدی (g) آن ۵۵ درصد و ضریب انتقال حرارتی آن (U_w) ۱/۱۰ $\frac{\text{W}}{\text{Km}^2}$ می باشد. جزئیات اجزای مات در جدول یک نشان داده شده است.

۲-۲- تجهیزات فنی ساختمان تست

تجهیزات فنی ساختمان شامل سیستمهای گرمایشی، تهویه و تنظیم روشنایی می باشد. گرمایش ساختمان تست، با استفاده از یک المنت حرارتی لوله ای قابل تنظیم الکتریکی با ظرفیت حداکثر ۱۰۰۰ وات تامین می شود. المنت حرارتی



پرین بتن تولید کننده انواع ملاتهای خشک تحت لیسانس **لاhti فنلاند**

بین پنجره و مرکز اتاق قرار داده شده است. ظرفیت گرمایی و در نتیجه دمای هوای اتاق به وسیله ی سنسور دمایی Pt100 تنظیم می شود. این سنسور در مرکز اتاق و در ارتفاع ۰/۶ متر از کف نصب شده است.

جهت اطمینان از تهویه ساختمان، در جنوب غربی اتاق (در پایین ترین تراز) و در شمال شرقی دیوار بیرونی (در بالاترین تراز) دو عدد باز شو تعبیه شده است. همانطور که در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است، در این باز شو ها لوله هایی با یک شیر پروانه ای مجهز به عملگر (Actuator) نصب شده اند. ضمن اینکه لوله نصب شده در دیوار شمال شرقی به یک فن در بیرون ساختمان متصل شده است. این فن هوای داخل را به فضای بیرونی می دمد. در حالی که هوای بیرونی از طریق لوله ای که در دیوار جنوب شرقی قرار دارد به داخل اتاق مکیده می شود برای تنظیم تعویض هوا، یک دما-هواسنج در داخل لوله ی دیوار جنوب شرقی نصب شده که سرعت باد را اندازه گیری می کند.

۲-۳- تکنولوژی اندازه گیری

برای بررسی رفتار گرمایی ساختمان تست، چند سنسور دما، رطوبت و سرعت هوا در اجزا و در وسط ساختمان نصب شده است. ضمناً داده های یک ایستگاه هواشناسی در نزدیکی ساختمان تست برای ثبت شرایط آب و هوایی مورد استفاده قرار گرفت.



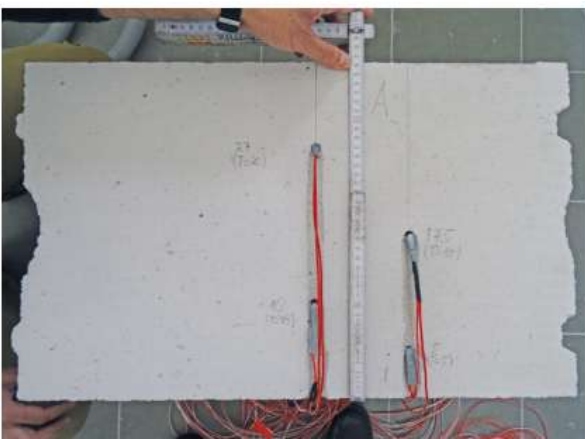
شکل ۳: نمای داخلی لوله هوای اگزوز



شکل ۲: نمای داخلی لوله هوا

پروفیل دما در سطح مقطع دیوار جنوب شرقی با کمک سنسورهای NTC مطابق با شکل ۴ اندازه گیری شد. در سایر دیوارها، دما در پلاستر داخلی و خارجی با استفاده از سنسورهای NTC ثبت شد.



	
شکل ۵: تجهیزات اندازه گیری فضای داخلی سنسور کروی مشکی globe sensor می باشد.	شکل ۴: بلوک بتن هوادار اتوکلاو شده و سنسورهای NTC

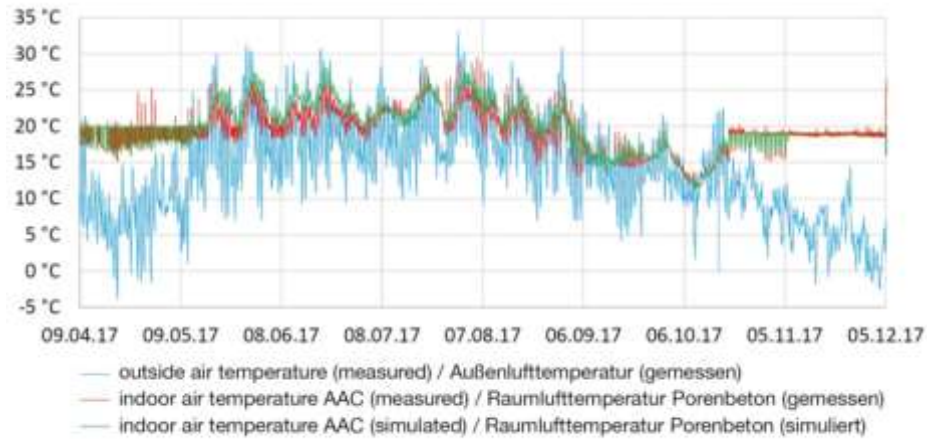
همچنین دمای سطح داخلی و خارجی سقف با کمک سنسورهای NTC اندازه گیری شد. ضمناً پروفیل دمای سطح مقطع سقف نیز با استفاده از سنسورهای NTC ثبت شد.

مطابق شکل ۵، ثبت وضعیت آب و هوای داخلی ساختمان تست در میان اتاق صورت پذیرفت. برای تعیین میانگین دمای تابشی از سنسور گلوبال، برای اندازه گیری دما، رطوبت و فشار اتمسفریک از یک سنسور دیجیتال و از یک دما-بادسنج چند کاره برای ثبت سرعت جریان هوا استفاده گردید. برطبق استاندارد DIN EN 15251 تجهیزات اندازه گیری در ارتفاع ۰/۶ متر از کف و یک سنسور دیجیتال برای تعیین دما، رطوبت و فشار اتمسفریک در ارتفاع ۱/۱ متر نصب شدند.

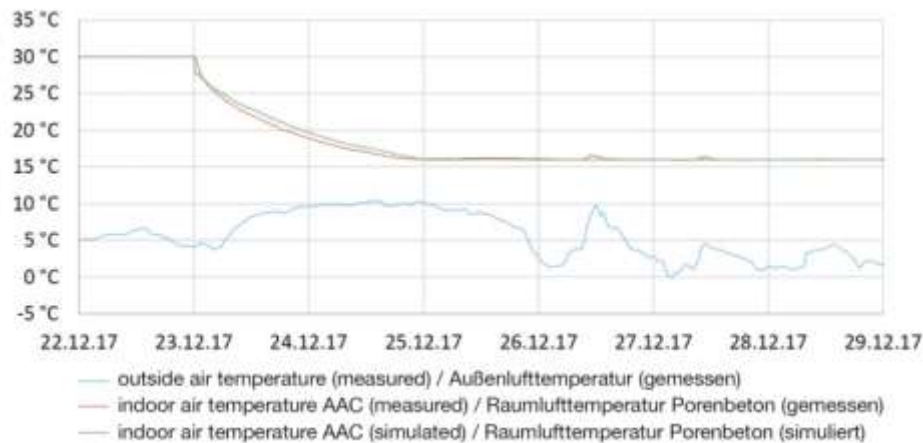
۳-مقایسه بین اندازه گیریهای بدست آمده در ساختمان تست و اعداد مدل شبیه سازی شده

با استفاده از نرم افزار SketchUp 2017 and TRNSYS 18 یک مدل شبیه سازی شده از ساختمان تست با دیوارها و سقف ساخته شده از AAC ایجاد شد. این مدل براساس TRNSYS type 56 (ساختمان) می باشد، دمای واقعی هوای داخل و سرعت تبادل هوا در نرم افزار شبیه سازی وارد شد. داده های آب و هوا براساس پارامترهای ایستگاه هواشناسی نزدیک به ساختمان تست (KlosterLehmin/Emstal) تعیین شد. در اولین قدم، با مقایسه دمای اندازه گیری شده واقعی با دمای هوای داخل در مدل کامپیوتری، در بازه ی زمانی بین آوریل و دسامبر ۲۰۱۷ با سناریوهای مختلف اعتبار سنجی شد. (افزایش دما تا ۳۰ درجه سانتی گراد و سپس کاهش دما تا ۱۶ درجه سانتی گراد به منظور بررسی رفتار سرد شدن ناشی از کاهش گرما در شب). براساس شکل های ۶-۸، مقایسه ها نشان می دهند که تطابق کیفی قابل قبولی بین اندازه گیری ها و اعداد شبیه سازی شده وجود دارد.



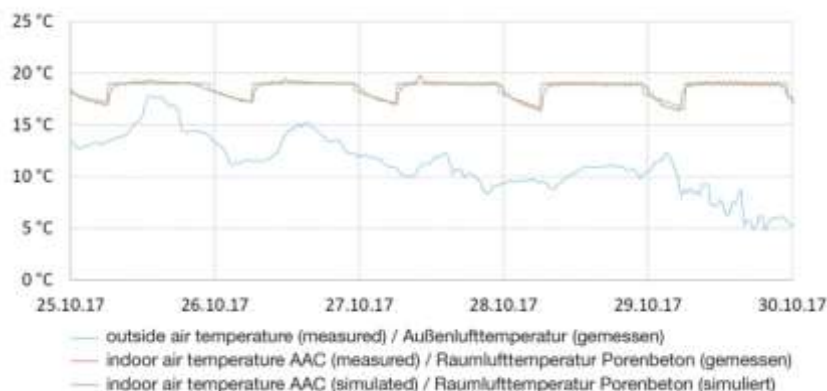


شکل ۶: مقایسه دمای هوای بیرون (اندازه گیری شده، آبی) و دمای هوای داخلی ساختمان تست (اندازه گیری شده، قرمز) و دمای داخلی ساختمان تست AAC (شبه سازی شده، سبز)



شکل ۷: سرد شدن مصنوعی-مقایسه دمای هوای بیرون (اندازه گیری شده، آبی) و دمای هوای داخلی ساختمان تست AAC (اندازه گیری شده، قرمز) و دمای داخلی ساختمان تست AAC (شبه سازی شده، سبز)





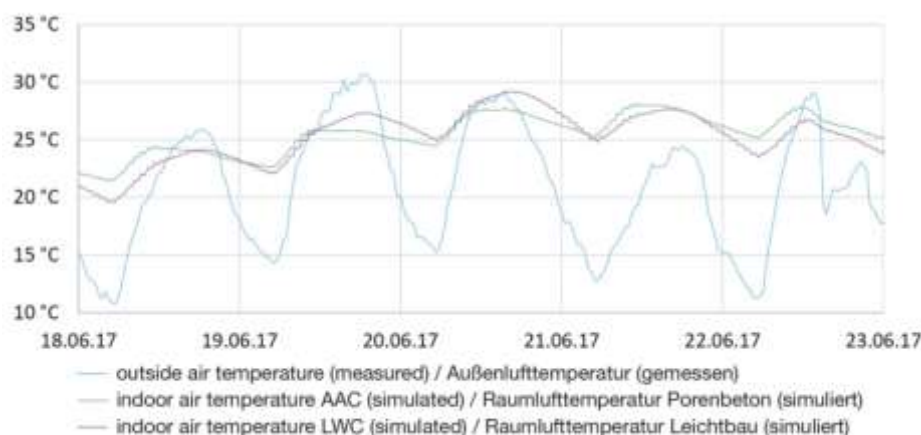
شکل ۸: کاهش گرما در زمان شب (اندازه گیری شده، آبی) و دمای داخلی ساختمان تست AAC (اندازه گیری شده، قرمز) و دمای داخلی ساختمان تست AAC (شبیه سازی شده، سبز)

دمای هوای داخلی اندازه گیری شده، برخی اوقات در زمان صبح، به خاطر تابش مستقیم نور خورشید روی سنسور اندازه گیری کننده، به سرعت افزایش و کاهش پیدا می کند. به صورت کمی یک واگرایی بین منحنی های دمای هوای داخلی اندازه گیری و شبیه سازی شده وجود دارد که بیشتر مورد بررسی قرار خواهد گرفت و می تواند در طول دوره تابستان دیده شود. به طور کلی مشخص شد که مدل شبیه سازی ساختمان آزمون با اطمینان می تواند مورد قبول قرار گیرد. در مرحله دوم در مدل شبیه سازی شده ساختار دیوار ها و سقف با LWC جایگزین شد. جزییات اجزای مات در جدول ۲ نشان داده شده است. ضرایب انتقال حرارتی (U) بدون تغییر باقی ماند. ظرفیت ذخیره گرمایی موثر ($C_{effective, total}$) ساختمان آزمون از ۹۵ تا ۸۲ $\frac{Wh}{Km^2}$ کاهش یافت، که با ۱۶ درصد تغییر مطابقت دارد.



جدول ۲: اطلاعات اجزای مات ساختمان آزمون با اجزای سبک وزن

Component / Bauteil	Description / Beschreibung	Surface / Fläche (m ²)	U-value / U-Wert [W/(m ² K)]	C' effective / C' wirk [Wh/(m ² K)]	C effective / C wirk [Wh/K]
Walls / Wände	12.0 cm mineral wool ($\lambda = 0.035$ W/(mK)) between two oriented strand boards + plaster board + 2.2 cm wood fiber insulation ($\lambda = 0.040$ W/(mK)) / 12,0 cm Mineralwolle ($\lambda = 0.035$ W/(mK)) zwischen zwei OSB-Platten + Gipskarton + 2,2 cm Holzfaserdämmung ($\lambda = 0.040$ W/(mK))	28.9	0.23	11	328
Roof / Dach	Oriented strand board + 14.0 cm mineral wool ($\lambda = 0.035$ W/(mK)) + sealing layer / OSB-Platte + 14,0 cm Mineralwolle ($\lambda = 0.035$ W/(mK)) + Abdichtungsschicht	7.5	0.23	5	35
Floor / Boden	16.0 cm reinforced concrete + sealing + 14.0 cm insulation ($\lambda = 0.035$ W/(mK)) + 6.0 cm screed ($\rho = 2000$ kg/m ³) / 16,0 cm Stahlbeton + Abdichtung + 14,0 cm Dämmung ($\lambda = 0.035$ W/(mK)) + 6,0 cm Estrich ($\rho = 2000$ kg/m ³)	7.5	0.23	33	250
				C' effective,total / C' wirk.gesamt =	613 Wh/K
				A' net floor area / A' Nettogeschossfläche =	7.5 m ²
				C' effective,total / C' wirk.gesamt =	82 Wh/(m ² K)



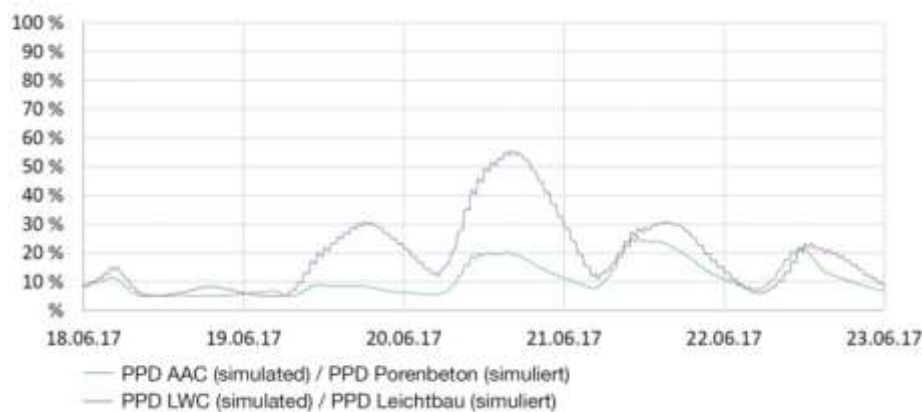
شکل ۹: گرم شدن تابستان-مقایسه دمای هوای بیرونی (اندازه گیری شده، آبی) و دمای هوای داخلی ساختمان تست AAC (شبیه سازی شده، سبز) و دمای هوای داخلی ساختمان تست LWC (شبیه سازی شده، بنفش)

برای دوره های زمانی انتخاب شده، نتایج شبیه سازی شده برای ساختمان تست ساخته شده از AAC و LWC با هم مقایسه شدند. شکل ۹ مشخصات دمای هوای داخلی برای هر دو نوع ساختمان در روزهای گرم تابستان را نشان می دهد. می توانیم ببینیم که ماکزیمم دمای هوای داخلی شبیه سازی شده در مدل با AAC در مقایسه با LWC در

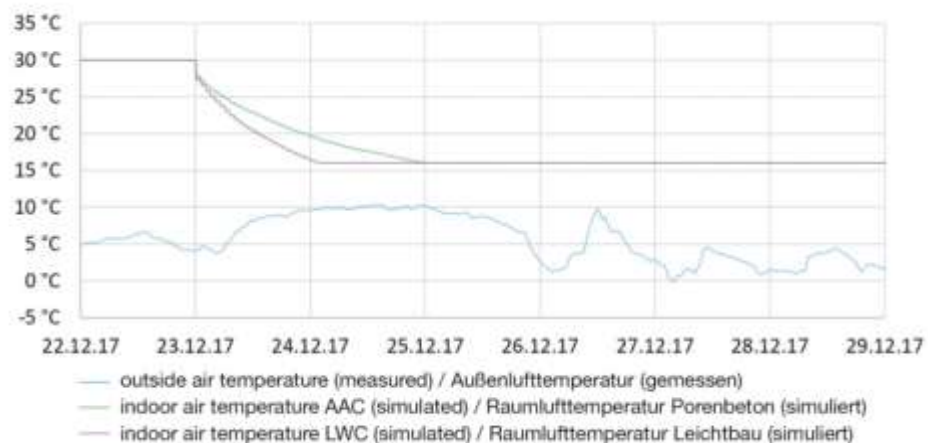


۲۰ ژون تقریباً $K 1/5$ کمتر است. به طور کلی نمودار تطابق (هماهنگی) عددی خوبی را نشان می دهد. اختلاف دمایی بین هر دو نوع ساختمان ساخته شده در آسایش گرمایی ساختمان تست منعکس شده است.

درصد پیش بینی محاسبه شده نارضایتی (PPD) در مدل با LWC به ۵۵ درصد رسید در حالی که در ساختمان آزمون با AAC به سختی از ۲۰ درصد تجاوز می کند. این موضوع در شکل ۱۰ مشاهده می شود.

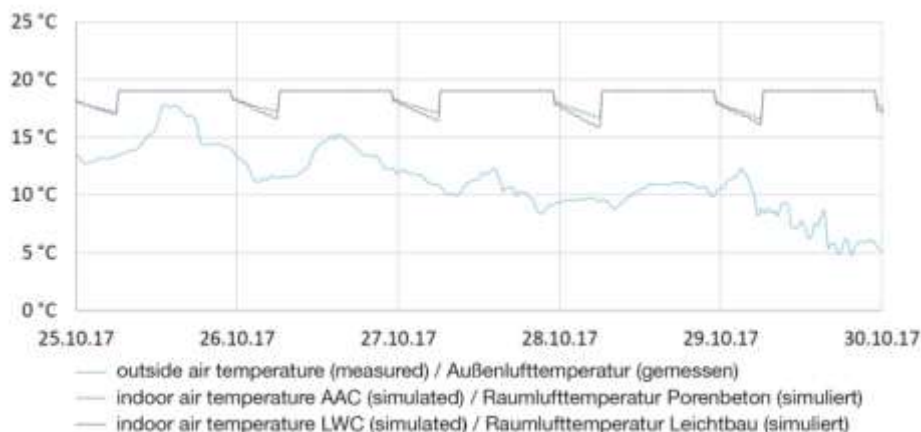


شکل ۱۰: گرم شدن تابستان-مقایسه درصد پیش بینی نارضایتی برای ساختمان تست با AAC (شبیه سازی شده، سبز) و ساختمان تست LWC (شبیه سازی شده، بنفش)



شکل ۱۱: سرد شدن مصنوعی-مقایسه دمای هوای بیرونی (اندازه گیری شده، آبی)، دمای هوای داخلی ساختمان آزمون (شبیه سازی شده، سبز) و دمای هوای داخلی ساختمان آزمون LWC (شبیه سازی، بنفش)





شکل ۱۲: کاهش گرمای زمان شب - مقایسه دمای هوای بیرونی (اندازه گیری شده، آبی)، دمای هوای داخلی ساختمان تست AAC (شبیه سازی شده، بنفش)

برای بررسی رفتار سرد شدن، ساختمان تست برای چندین روز در ماه دسامبر تا دمای ۳۰ درجه سانتی گراد گرم شد. بعد از آن، گرم کردن ساختمان تست تا زمانی که دمای داخل به ۱۶ درجه سانتی گراد رسید متوقف شد. برطبق شکل ۱۱، برای مدل ساخته شده با AAC تقریباً ۴۸ ساعت طول کشیده تا ساختمان سرد شود. اما در سیستم بتن سبک (LWC) بعد از فقط ۲۶ ساعت، وسایل گرمایشی بایستی روشن شوند.

نهایتاً، تاثیر کاهش دما در شب بر روی دمای هوای داخلی مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، دما در ساختمان تست از جنس AAC در مقایسه با مدل ساخته شده با LWC بالاتر است. همانطور که انتظار می رفت، ساختمان تست با AAC آهسته تر سرد شد.

۴- خلاصه:

بررسی ها نشان داد که ظرفیت گرمایی AAC تاثیر مثبتی بر روی حفاظت ساختمان در برابر گرمای تابستان و آسایش حرارتی ساختمان در مقایسه با LWC با همان ضرایب انتقال حرارتی (U) دارد.

به طور خلاصه می توان گفت، مزیت توان ذخیره گرمایی بالاتر AAC در مقایسه با LWC به پایین تر بودن دمای هوای داخل ساختمان در روزهای آفتابی و آسایش حرارتی بیشتر منجر می گردد.

با در نظر گرفتن کاهش دما در شب، مزیت ساختمان AAC با ظرفیت ذخیره گرمایی بالاتر در مقایسه با LWC، سرد شدن آهسته تر هوای داخلی ساختمان می باشد.

