



Ing. Miloš LAIN, Ph.D.
 ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
 Ústav techniky prostředí,

Posouzení vnitřního prostředí a aktivace betonu v Národní technické knihovně

Assessment of Indoor Environment and Concrete Activation in the National Technical Library

Recenzent
 prof. Ing. Karel Hemzal.CSc.

Autor prezentuje koncepci využití stropního sálavého chlazení s kumulací do stavební konstrukce (tzv. aktivace betonu) pro nově budovanou Národní technickou knihovnu. Počítačovou simulací byly ověřeny teploty v knihovně při různých režimech provozu aktivace betonu. Je uveden postup simulace od stavby modelu, řešení parametrů zasklení, vnitřních zisků a modelu chlazené stropní konstrukce. Jsou prezentovány i výsledky simulace a doporučené režimy provozu. Článek je stručně doplněn o první zkušenosti při uvádění budovy do provozu.

Klíčová slova: energie, tepelná pohoda, počítačové simulace, aktivace betonu

The concept of use the ceiling radiant cooling with accumulation in the building structure (so called concrete activation, or slab cooling) in the newly built National Technical Library is presented in the article. There were verified temperatures in the library under different modes of operation of the concrete activation with use of the computer simulation. The process of simulation is specified on the basis of the model construction, solution of glazing parameters, indoor heat gains and the model of the ceiling cooling structure. There are presented results of the simulation and recommended operation modes. The article is briefly supplemented with first results ensued from the building commissioning.

Key words: energy, thermal comfort, computer simulation, concrete activation (slab cooling)

ÚVOD

Mnoho budov je stále navrhováno bez zohlednění zásad udržitelného rozvoje a šetření energií. Má-li řešení budovy a systému vytápění, větrání a klimatizace zajistit jak kvalitní vnitřní prostředí v budově, tak minimální spotřebu energie, vyžaduje komplexní přístup. Důležitá je velmi úzká spolupráce jednotlivých specialistů s architektem, využívání moderních nástrojů pro posouzení energetických koncepcí a v neposlední řadě ochota architekta k úpravám. V případě nové národní technické knihovny (NTK) byla nízká spotřeba energie jedním z nosných pilířů celého projektu.

KONCEPT BUDOVY

Budova má devět podlaží, z nichž tři jsou podzemní. Je situována v areálu ČVUT v Praze 6 Dejvicích. Budova je rozdělaná do několika samostatných

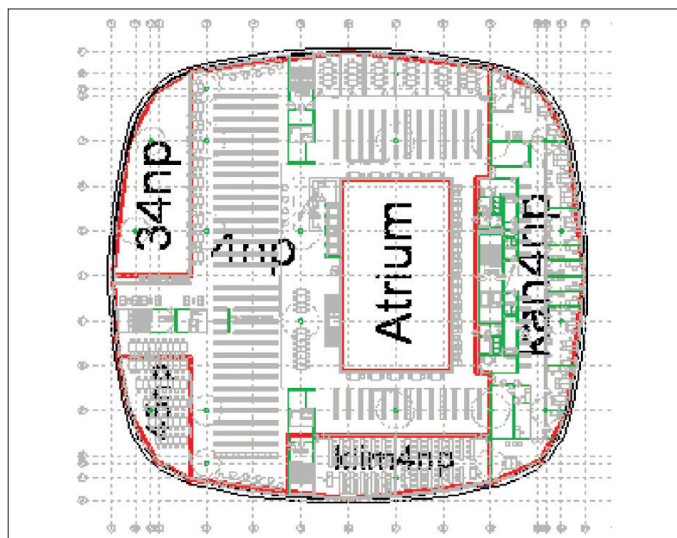
funkčních celků. Hlavní část je vlastní knihovní prostor umístěný v třetím až šestém nadzemním podlaží podél jiho-východní, jiho-západní a severo-západní fasády. Část prostoru je oddělena pro studovny, čítárny a počítačové studovny. V severo-východní části za atriem jsou kancelářské prostory. V přízemí a druhém NP jsou prodejní plochy, restaurace a pasáže. V podzemí jsou parkovací plochy.

Nosný skelet je z monolitického železobetonu, stropní desky jsou křížem předpjaté a sloupy mají mohutné hlavice. Vnitřní příčky jsou lehké ze sádrokartonu nebo skla. Fasáda je dvojitá odvětraná. Vnitřní část je z oblačního dvojskla a částečně se zděnými parapety. Vnější fasáda je ze skleněných profilů Profilit. Budova knihovny je samostatně stojící a sousedí jiho-východní fasádou s budovou fakulty strojní ČVUT. Půdorys objektu včetně jeho orientace je zřejmý z obr. 1.

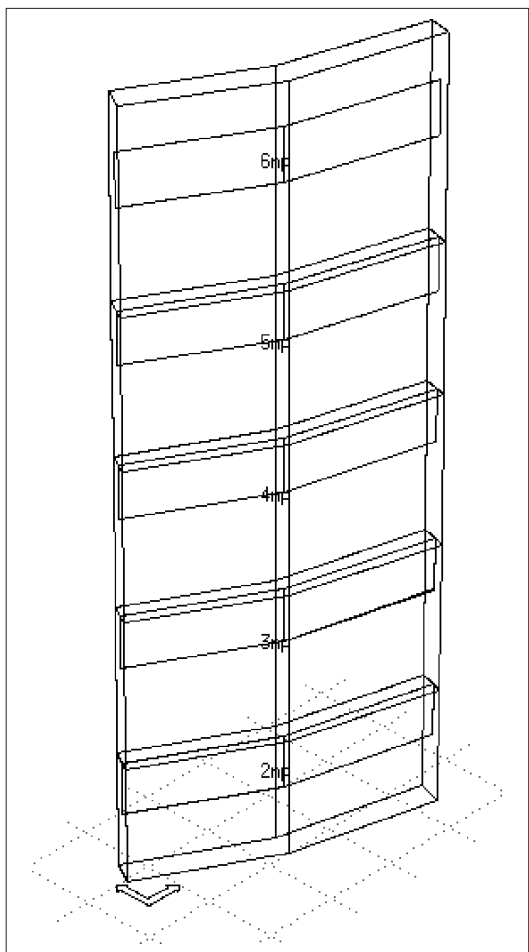
SYSTEM CHLAZENÍ VYTÁPĚNÍ A VĚTRÁNÍ

V budově je pro třetí až šesté podlaží použito aktivace betonu pro vytápění a chlazení. Systém spočívá v předchlazení (případně přehřevu) betonové stropní desky zabudovanými vodními smyčkami trubek. Při aktivaci betonu (chlazení stavebních desek) se kombinuje sálavé chlazení s akumulací chladu do masivní betonové desky. Vzhledem k riziku kondenzace vlhkosti na povrchu desky a nemožnosti rychlé regulace povrchové teploty pracují systémy s teplotami bezpečně nad teplotou rosného bodu, tj. asi 20 °C.

Při sálavém chlazení je pak průtok větracího vzduchu omezeno pouze na hygienické minimum. Vzduch je přiváděn do prostor knihovny po obvodu a odváděn přes atrium. V kancelářích na severovýchodní fasádě se předpokládá přirozené větrání okny. Pro počítačové učebny, restaurační a obchodní prostory se předpokládá běžné chlazení ventilátorovými konvektory (fan-coil). Předpokladem je využití zdroje chladu v nočních hodinách k předchlazení betonu v prostoru knihovny případně i kancelářích a během dne bude zdroj chladu sloužit pro běžnou klimatizaci počítačových



Obr. 1 Půdorys budovy NTK (3. NP)



Obr. 2 Model vybraného segmentu fasády

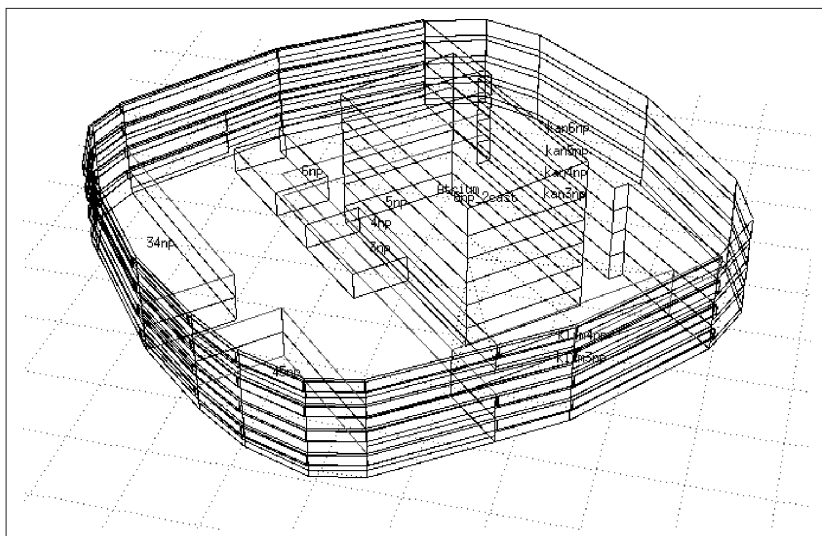
učeben a provozoven. Tím je výrazně snížen potřebný výkon zdroje chladu.

VĚTRANÁ DVOJITÁ FASÁDA

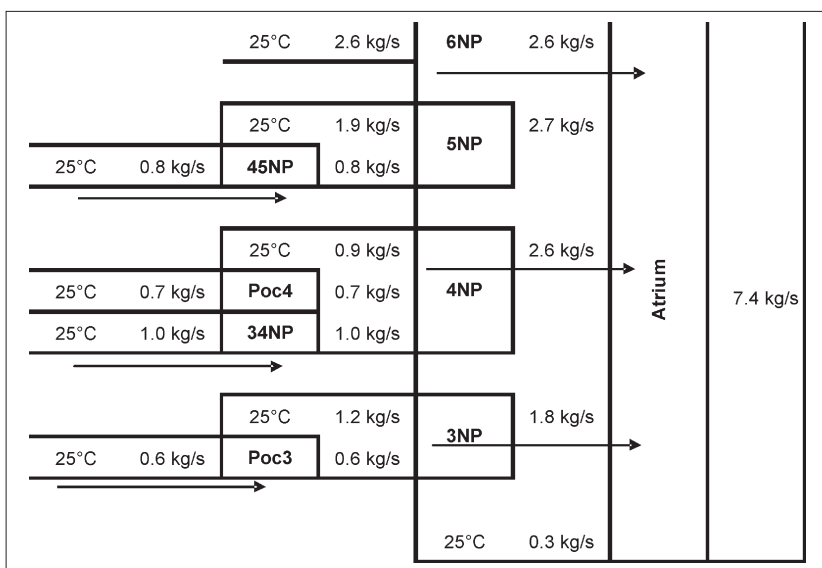
V první části byla řešena dvojitá otevřená provětrávaná fasáda objektu NTK. Studie byla vypracována z důvodu zhodnocení vhodnosti použití této koncepce dvojitě provětrávané fasády se zaměřením na letní extrém. Určení vnitřní teploty respektive rozdílu mezi teplotou venkovní a teplotou ve fasádě je důležité pro posouzení zjednodušujících okrajových podmínek pro celkový model budovy NTK. Druhým důvodem k vypracování této studie bylo i zhodnocení možnosti využití „mezifasádního“ vzduchu k přívodu čerstvého vzduchu do prostor knihovny.

Pro řešení teplotních podmínek v mezifasádním prostoru byl sestaven model segmentu dvojitě zaskleného pláště s jižní orientací (obr. 2). Modelovaná fasáda je vícepodlažní objekt, kde každé podlaží je zastoupeno jednou zónou. Spodní hrana zasklení je ve výšce 3,5 m nad zemí, horní hrana přečnává o 1,2 m nad střechou. Celková výška fasády je 20,4 m. Jedná se o pěti zónový model s vnějšími horizontálními žaluziemi o výšce 1,4 m v mezifasádním prostoru v jednotlivých zónách. Tyto stínící žaluzie jsou použity podél celého obvodového pláště (kromě severní části fasády).

Geometrický model byl doplněn o modely přirozeného proudění vzduchu zahrnující především proudění způsobené rozdílem hustot a omezené i proudění způsobené účinky větru. Model proudění řeší tlakové poměry v jednotlivých podlažích s respektováním jak spodních a horních větracích otvorů tak štěrbin mezi jednotlivými profily vnější fasády.



Obr. 3 Model budovy v programu ESP-r



Obr. 4 Model proudění vzduchu budovou

Výsledky

Výsledkem počítačové simulace fasády jsou průběhy teplot vzduchu v mezifasádním prostoru. Simulace prokázal, že fasáda je dostatečně otevřená a teploty v mezifasádním prostoru budou jen mírně vyšší než teploty ve vnějším prostředí (viz. obr. 7, 8). Tyto výsledky ověřily možnosti přirozeného větrání knihovny okny přes fasádu.

MODEL BUDOVY

Vzhledem k tomu, že hlavní důraz byl kladen na řešení celkové energetické bilance v prostorách knihovny, byl model sestaven jako celek s rozdělením do třinácti zón. Čtyři zóny pro jednotlivá podlaží knihovny, další čtyři pro kanceláře, dvě zóny pro klimatizované počítačové učebny, dvě zóny pro dvoupatrové studovny a jedna zóna pro atrium (viz obr. 3). Model budovy byl vzhledem k technickým možnostem použitého softwaru zjednodušen. Vlastní tvar jednotlivých podlaží se v podstatě shoduje s tvarem budovy, jen zakřivené tvary fasády byly nahrazeny lomenými (obr. 3).

Model proudění vzduchu budovou je znázorněn na obr. 4. Proudění budovou je uvažováno nucené s konstantním průtokem vzduchu. Teplota přiváděného vzduchu je maximálně 22 °C, je-li venkovní teplota nižší než 22 °C je přiváděn tepelně neupravený venkovní vzduch.

Dále byl doplněn model větrání kanceláří, který předpokládá intenzity větrání 5 h^{-1} v době kdy je teplota venkovního vzduchu od 20 do $24 \text{ }^\circ\text{C}$; 3 h^{-1} v době kdy je teplota venkovního vzduchu od 24 do $26 \text{ }^\circ\text{C}$; $1,5 \text{ h}^{-1}$ v době kdy je teplota venkovního vzduchu nižší než $20 \text{ }^\circ\text{C}$; $0,7 \text{ h}^{-1}$ v době kdy je teplota venkovního vzduchu vyšší než $26 \text{ }^\circ\text{C}$

Teplotné zátěže jednotlivých prostor jsou od 9 W/m^2 pro knihovnu po 40 W/m^2 pro klimatizované počítačové učebny. Předpokládá se působení vnitřní teplotné zátěže během provozu knihovny a to od 7:00 do 21:00.

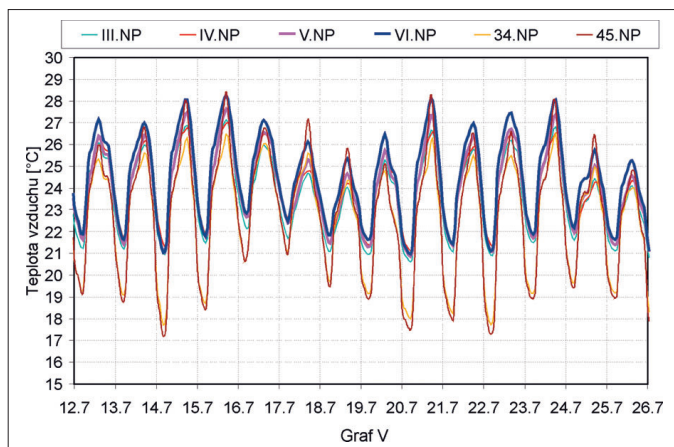
STROPNÍ CHLAZENÍ

V prostoru knihovny a čítáren je uvažováno stropní chlazení s akumulací do stavební konstrukce, tzv. aktivace betonu (slab cooling). Do betonové desky je v hloubce 150 mm přiváděn v nočních hodinách (od 20:00 do 8:00) chladicí výkon 40 W/m^2 , což odpovídá teplotám chladicí vody $18/21 \text{ }^\circ\text{C}$ s roztečí trubek 150 mm . Plocha chladicích stropů je menší nežli celková plocha stropu (přibližně 71%). Vzhledem k výsledkům simulace byla doplněna aktivace betonu i po dobu jedné hodiny během dne (13:30 do 14:30).

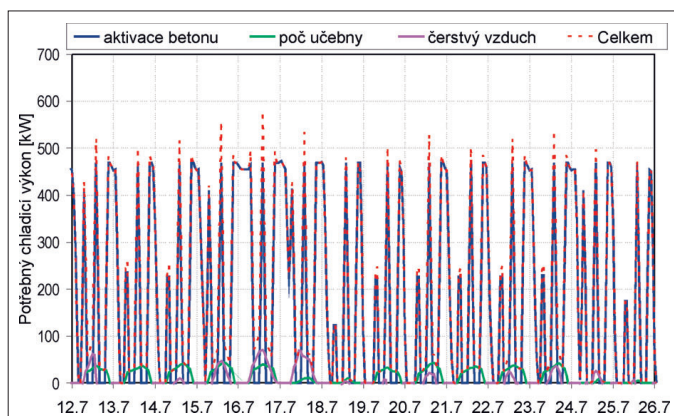
V počítačových učebnách je nastavena teplota $26 \text{ }^\circ\text{C}$ (předpoklad použití klimatizace) po dobu provozu knihovny (7:00 do 21:00). Počítačová simulace určí potřebné citelné chladicí výkony klimatizace nutné pro dodržení této teploty. V kancelářích nebylo uvažováno žádné chlazení.

Ověření modelu

V několika krocích byly upřesněny zadávané podmínky, a to především vnitřních zisků v prostoru knihovny. Dále byly ověřeny použité součinitele přestupu tepla konvekcí. Pro stropní chlazení se často uvažuje zvýšení



Obr. 5 Teploty vzduchu v jednotlivých prostorech budovy pro vybranou periodu a variantu s denním přichlazením



Obr. 6 Citelné chladicí výkony knihovny pro vybranou periodu

součinitele přestupu tepla oproti volné konvekci u nechlazených ploch. K ověření byla použita analýza citlivosti modelu na součinitel přestupu tepla, která prokázala, že vnitřní teploty se výrazně nemění pro různé součinitele přestupu tepla stropu.

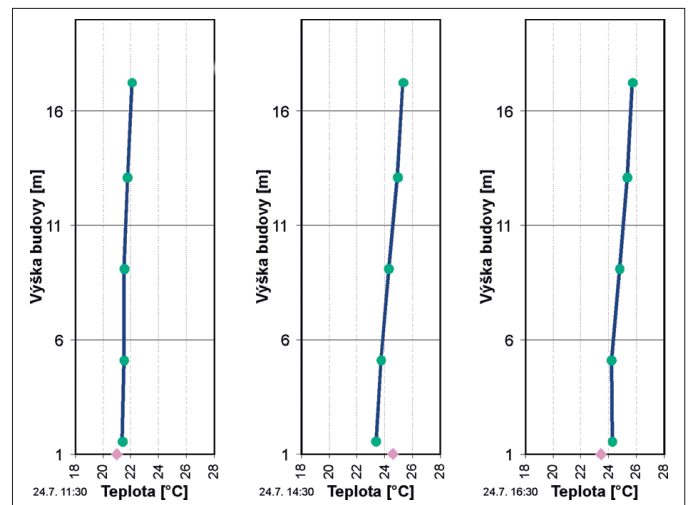
Pro hodnocení tepelné pohody především u sálavých systémů by měla být používána operativní teplota zahrnující teplotu vzduchu, střední radiální teplotu a rychlost proudění vzduchu. Pro malé rychlosti proudění, které lze předpokládat i v prostorech knihovny lze operativní teplotu vyhodnotit jako aritmetický průměr teploty vzduchu a střední radiální teploty. Z výsledků simulací byly operativní teploty vyhodnoceny, ale vzhledem k velmi dobré shodě operativních teplot a teplot vzduchu jsou jako výsledky prezentovány teploty vzduchu.

Simulace

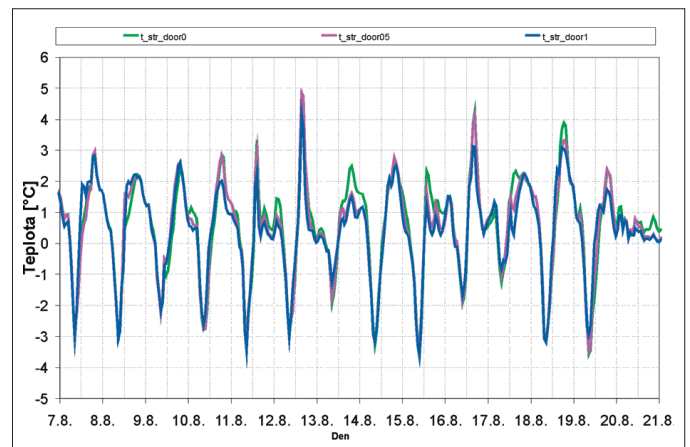
Počítačová simulace byla provedena programem ESP-r, který řeší energetické bilance jednotlivých zón s hodinovým krokem se zahrnutím dynamického chování budovy, systému i klimatických dat. Simulace byla zaměřena pouze na letní období. Simulována byla perioda od května do září. Režim byl uvažován pouze chladicí, proto může, především v květnu a září, docházet k poklesu teplot pod přípustné hodnoty (vytápění v simulaci není uvažováno).

Výsledky

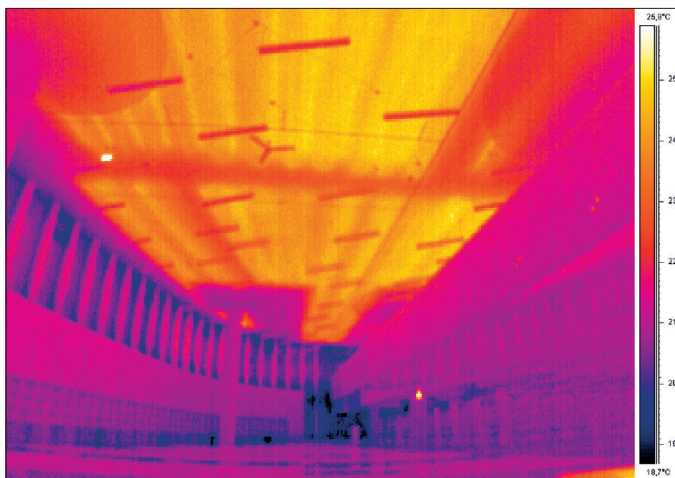
Výsledkem simulace budovy jsou průběhy teplot v prostorách knihovny a průběhy chladicích výkonů předávaných do stropu a ostatních klimatizačních systémů. Výsledky jsou prezentovány pro dvě základní varianty provozu chladicích stropů. Ve variantě 1 (V1) jsou stropy v provozu na plný výkon (asi 40 W/m^2) v nočních hodinách (od 20:00 do 8:00) a jednu hodinu



Obr. 7 Teplotní profil segmentu dvojité fasády pro vybraný den a hodiny



Obr. 8 Rozdíl střední teploty dvojité fasády oproti teplotě venkovní – vliv rychlosti větru



Obr. 9 Povrchové teploty ve studovně v režimu vytápění.

během dne (13:30 do 14:30), stropní chlazení se vypne pokud teploty vzduchu v knihovně klesnou pod 20 °C. Ve druhé variantě (V2) je stropní chlazení v provozu jen v noci (20:00 do 8:00 h).

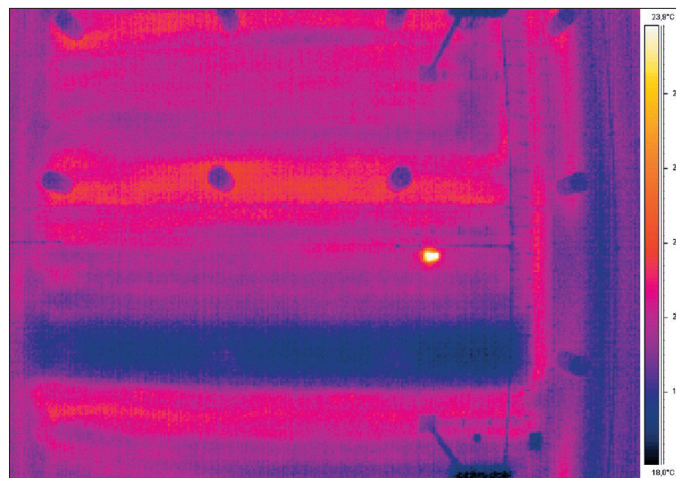
PROVOZ BUDOVY

Budova byla v letošním roce uvedena do provozu. Proběhly první zkoušky stropního vytápění a chlazení doplněné o sledování povrchových teplot (obr. 9, obr. 10) Na konci letního období testuje Ing. Žemlička i provoz budovy zatím bez návštěvníků v knihovni části. Kombinace přirozeného větrání a krátkodobého provozu aktivace betonu ukazuje velmi zajímavé výsledky. Komfortního vnitřního prostředí a spokojenosti většiny zaměstnanců je dosahováno při minimální spotřebě energie na provoz klimatizace.

ZÁVĚR

Počítačové simulace ověřily možnost použití sálavého chladicího systému s akumulací hmotou (aktivace betonu) pro připravovaný objekt Národní technické knihovny. Simulováno bylo léto typického roku, a bylo předpokládáno plné vytížení knihovny. Pro tyto podmínky se maximální vnitřní teploty vzduchu v létě budou pohybovat okolo 27 °C v případě provozu s denním přichlazováním a okolo 28 °C v případě pouze nočního chlazení betonu.

Nejnepříznivější je situace v VI.NP knihovny a studovně ve IV. a V. NP.



Obr. 10 Strop konferenčního centra při náběhu chlazení (6 hodin provozu)

V původním projektu se nepředpokládala aktivace betonu v kancelářské části objektu. Simulace ukázala riziko nárůstu teplot v letních měsících a na základě těchto výsledků byla instalována aktivace betonu i v této části.

Koncepce větrání a klimatizace spolu s řešením obvodového pláště a atria vede k charakteru nízkoenergetické stavby z pohledu chlazení.

První zkušenosti s provozem budovy potvrdily závěry simulace.

Kontakt na autora: milos.lain@fs.cvut.cz

Příspěvek byl napsán s podporou výzkumného záměru MSM 6840770011.

Použité zdroje:

- [1] ESP-r 1998. *A Building Energy Simulation Environment. ESRU Manual*. Energy Systems Research Unit. University of Strathclyde, Glasgow
- [2] Hanák, V., vedoucí práce Lain, M. (2007) *Technická knihovna v Praze 6*, Diplomová práce, Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, ČVUT v Praze.
- [3] Lain, M.; Drkal, F.; Hensen, J.; Zmrhal, V. (2006) *Studie energetické simulace objektu „Státní technická knihovna“ Praha 6, Dejvice*, Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, ČVUT v Praze, 31 s.
- [4] Lain, M. – Zmrhal, V. – Drkal, F. – Hanák, V. Aktivace betonu – Státní technická knihovna In: *Budovy a prostredie 2007*. Bratislava: Slovenská spoločnosť pro techniku prostredia, 2007, s. 74-79. ISBN 978-80-227-2759-4.
- [5] Lain, M. *Nízkoenergetické chlazení budov*, [Doktorská práce (Ph.D.)]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008. 176 s. ■

* Rychlovyvíječ páry s výkonem 15 tun za hodinu

Americká firma *Clayton Industries* zvýšila své kapacitní možnosti a nabízí nyní německou pobočkou *Clayton Deutschland*, proti starším rychlovyvíječům páry s výkonem max. 10 t/h, nové sériově vyráběné rychlovyvíječe páry s výkonem až 15 t/h, dosahující účinnosti až 95 %.

Srdcem zařízení, s hlavní částí ve válcové tlakové nádobě, je spirálově vinutý jednotrubkový víceřadý výměník s nuceným průtokem v části voda/pára, protiproudě vyhřívaný spalninami. Hořák a ventilátor vytváří spirálový vířivý pohyb spalin usměrněný do středu spalovací komory chlazené vodou.

Jestliže velkoprostorové kotle v pohotovostním stavu musí být stále na teplotě, aby mohly spontánně vyvíjet páru, potřebuje nyní rychlovyvíječ jen 3 až 5 minut ze studeného startu k dosažení plného výkonu. Nové kotle dosahují výkonu 9 810 kW a pracují při tlaku až 10 MPa. Separátor s odstředivou tryskou umož-

ňuje výrobu suché syté páry s obsahem vody pod 0,5 %. Výrobce zaručuje suchost syté páry min. 99,5 %. Vnitřní teplosměnná plocha činí 210 m² s průtokem vody 1,5 t, zajišťovaným odstředivými napájecími čerpadly a regulačními armaturami. Podle vyjádření výrobce lze účinnost libovolně nastavit úpravou počtu topných spirál.

Nový rychlovyvíječ je vysoký 6,6 m, dlouhý 4 m a široký 2,7 m. S integrovaným ekonomizérem váží 13,5 t. Rychlovyvíječe mají skutečně nízké nároky na zastavěný půdorys a prostor, až o 25 % nižší proti klasickému kotli se třemi tahy stejného výkonu. Plně nebo částečně předmontované systémy s unifikovanými rámy nevyžadují speciální základy, montují se i mimo kotelny a dodávají i jako mobilní kontejnerové jednotky.

Pramen:

Firemní informace Clayton Deutschland GmbH, Düsseldorf 2009

(AB)