

Aktivní solární tepelné systémy – 3. část Počítačové modelování

Active solar thermal systems – Part 3 Computer simulation

Ing. Tomáš MATUŠKA,
ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí

Počítačové modelování (simulace) solárních tepelných systémů obecně využívá komplexních matematických modelů jednotlivých prvků založených na numerickém řešení diferenciálních rovnic popisujících fyzikální jevy v prvku (např. přeměna slunečního záření na teplo v kolektoru, přestup tepla ve výměníku). Simulace, podobně jako jakékoli jiné výpočty, jsou pouze tak dobré, jak dobré jsou modely a jak bohatá je zkušenost s jejich použitím. Simulace, pokud jsou řádně používány, mohou poskytnout cenné informace o chování solárních systémů a tak přispívat k jejich návrhu.

SIMULACE VERSUS EXPERIMENT

Počítačové simulace jsou ve své podstatě numerické experimenty, které nám mohou poskytnout stejné informace o tepelném chování jako fyzikální experimenty. Na rozdíl od fyzikálních měření na skutečných systémech jsou simulace rychlejší, levnější a je možné získat informace o vlivu změn různých proměnných na chování systému např. sérií simulací při zcela identických okrajových podmínkách (klimatické a provozní podmínky). Proměnnými veličinami mohou být různé vlastnosti prvků (propustnost zasklení, pohltivost absorbéru, plocha výměníku atd.), které je obtížné při fyzikálním experimentu měnit.

Na druhou stranu by model systému neměl být zaměřován se skutečným (reálným) systémem. Model bude vždy pouze zjednodušeným znázorněním skutečnosti, které nám umožňuje pochopit funkci reálného systému. Modely jednotlivých prvků je nutné ověřovat experimentálními měřeními a upravovat tak, aby jejich chování odpovídalo skutečnosti.

Mnoho problémů ve složitějších solárních systémech nelze simulací podchytit a je nutné porovnání s experimentem, který upozorní na slabá místa modelu. Simulace a experimenty (laboratorní i provozní) se tak vzájemně doplňují. Pečlivé porovnání experimentu a simulace vede k lepšímu pochopení modelu, a nakonec i samotného experimentu. Paralela simulace s experimentem je velice silná.

Je možné říci, že cokoli lze změřit, je možné simulací vypočítat. A na druhou stranu, je často jednodušší vypočítat některou veličinu, než ji změřit. To se týká například teplot v místech obtížně dostupných senzory. Simulace se tak stávají jakousi prodlouženou rukou fyzikálních experimentů pro provádění analýz jednotlivých vlivů proměnných na systém.

Mezi nejvýraznější možnosti simulací patří:

- sledování vlivů proměnných vlastností prvků na dlouhodobé chování systému (citlivostní analýzy),
- hodnotit vlivy různých konfigurací systémů a alternativních konceptů,
- reprodukovatelnost stejných klimatických podmínek pro různé experimenty,
- možnost simulace daného systému v různých typech klimatu.

Jako nejvýraznější omezení simulací lze jmenovat:

- nesprávnost předpokladů (chybné konstanty, zanedbání významných vlivů),

- nepostižitelnost reálných jevů (špatné provedení solárního systému, ucpané potrubí, netěsnost spojů, nevyzpytatelnost chování uživatele),
- prostá chyba v modelu.

Pro získání správných výsledků je nutná, podobně jako v jiných inženýrských výpočtech, především velká zkušenost.

ZÁKLADNÍ MODELY SOLÁRNÍCH PRVKŮ

Model solárního systému tvoří obecně okrajové podmínky (vstupní veličiny do modelu), modely jednotlivých prvků a vazby mezi nimi. Model prvku solárního systému je založen na teoretických vztazích popisujících fyzikální procesy, které se v něm odehrávají (algebraické, diferenciální a integrální rovnice), příp. na empirických vztazích.

Složitost modelu závisí na jeho použití, na typu informace, která má být získána. Například model pro návrh nového typu kolektoru a hlubší pochopení jeho funkce a vlivu různých parametrů konstrukce musí být velmi detailní, tzn. modelování základních diferenciálních rovnic přenosu tepla, příp. hmoty (modely proudění).

Pokud je cílem modelování analýza vlivu vlastnosti části kolektoru (např. změna zasklení kolektoru), je možné použít stacionární (časově ustálený) bilanční model kolektoru, který pracuje s bilancemi tepelných toků různými částmi kolektoru, reprezentovanými teplotně závislými tepelnými odpory. Při zkoumání dynamiky systému je nutné uvažovat nestacionární (dynamický) tepelný model kolektoru, zahrnující vliv tepelné kapacity kolektoru, atd.

Pokud nevyžadujeme příliš detailní modelování, lze se spokojit se zjednodušenými modely prvků solárních systémů. Na základě jednoduchého solárního systému je možné ukázat základní typy modelů – rovnic využívaných v běžných simulacích.

Model kolektoru

$$Q_u = A_c F_R [\tau \alpha G - U_L (T_{in} - T_a)]^+ \quad (1)$$

kde index + značí uvažování pouze kladných hodnot složených závorek. To je důležité pro funkci regulátoru, častěji se však uvažuje podmínka $Q_u > Q_{min}$ (u reálného solárního systému se používá sledování teplotního rozdílu mezi kolektorem a zásobníkem).

Model akumulčního zásobníku

$$(Mc)_z \frac{dT_z}{dt} = Q_u - Q_z - (UA)_z (T_z - T_a) \quad (2)$$

kde $(Mc)_z$ je tepelná kapacita zásobníku, Q_z je zátěž zásobníku (odvod teplé užitkové vody) a $(UA)_z$ je měrná tepelná ztráta zásobníku, vztahovaná na 1 K teplotního rozdílu

Model tepelného výměníku

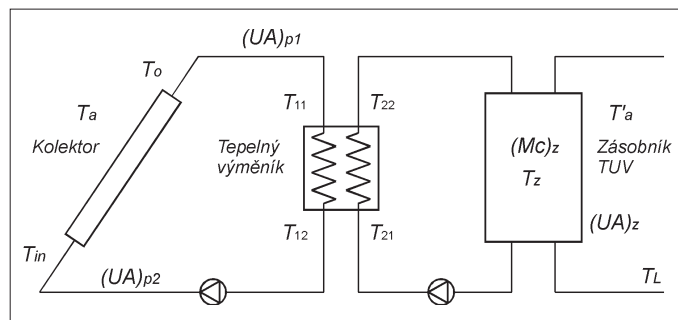
$$Q_{hx} = \varepsilon(\dot{m}c)_{\min}(T_{11} - T_{21}) \quad (3)$$

kde ε je účinnost výměníku.

Model potrubí se často zavádí do komplexních modelů solárních systémů nejen z důvodu tepelných ztrát potrubí

$$Q_p = (UA)_{p1}(T_{in} - T_a) + (UA)_{p2}(T_o - T_a) \quad (4)$$

ale také tepelné kapacity $(Mc)_p$, zvláště při použití dynamických modelů.



Obr. 1 Schéma jednoduchého solárního systému s výměníkem tepla

Pro jednoduchý solární systém pro přípravu teplé užitkové vody (viz obr. 1) je možné z modelů jednotlivých prvků sestavit systémový model (zásobník bez stratifikace, konstantní průtok primárním okruhem) popsáný diferenciální rovnicí

$$(Mc)_z \frac{dT_z}{dt} = A_c F_R [\tau\alpha G - U_L(T_{in} - T_a)]^+ - (UA)_z(T_z - T_a) - \varepsilon(\dot{m}c)_{\min}(T_z - T_L) \quad (5)$$

Pokud jsou známy okrajové podmínky (klimatická data, charakter a velikost zátěže – spotřeby), je možné určit teplotu, např. zásobníku, jako funkci času a za určité časové období Dt stanovit integrací zisk solárního systému, ztráty zásobníku apod.

Pro numerické řešení rovnic je možné použít různých metod. Integrační schémata (algoritmy) je nutné používat opatrně, musí být zajištěna jejich stabilita pro požadovaný časový krok a přesnost získaných výsledků.

Vstupními informacemi pro modelování jsou časově proměnné okrajové podmínky, tedy klimatická data a dále charakter a velikost zátěže v průběhu určitého časového období.

Klimatická data (sluneční záření, venkovní teplota, rychlost větru) ovlivňují významně tepelné chování kolektorů a jsou vsutku hnací silou výpočtů (simulací). Pro studování dynamiky systému postačí často klimatické údaje pro několik dnů či týdnů, pokud dostatečně reprezentují požadovaný rozsah okrajových podmínek. Pro dlouhodobé analýzy solárních zisků jsou nutná celoroční data. Pro tyto účely jsou vytvářeny pro jednotlivé zeměpisné oblasti klimatické databáze, tzv. typické meteorologické roky (TMY – typical meteorological year), resp. zkušební referenční roky (TRY – test reference year). Tyto klimatické databáze obsahují pro každou hodinu v roce hodnoty základních klimatických veličin, určené statisticky z dlouhodobých měření (10 a více let) na základě určených kritérií.

Charakter a velikost zátěže je problematickým vstupem, neboť v praxi se tyto liší uživatel od uživatele, s rostoucím počtem odběrných míst pak tato nejistota

klesá. Při návrhu systému se charakter a velikost zátěže musí stanovit dlouhodobým měřením, při obecných simulacích lze vycházet z charakteristických průběhů a velikostí zátěže pro daný typ případu.

Výstupem matematického modelování je nejčastěji **dlouhodobé chování** solárního systému, především integrovaný výstup systému za určité časové období, např. pro potřeby ekonomických analýz. Významnou informací je, do jaké míry může solární systém nahradit konvenční energii, tedy podíl solárního systému na krytí celkové potřeby tepla, tzv. solární podíl f

$$f_i = \frac{Q_{o,i} - Q_{A,i}}{Q_{o,i}} = \frac{Q_{s,i}}{Q_{o,i}} \quad (6)$$

kde Q_o je celková potřeba tepla, Q_A je potřeba krytá dodatkovým zdrojem, Q_s je potřeba krytá solárním systémem, index i značí časové období, např. měsíc, rok.

Druhým typem výstupu modelování systémů je informace o **dynamice chování** solárního systému nebo jeho prvku – změny teplot, kterými prochází různé prvky systému při mimo-provozních podmínkách (např. výpadek oběhového čerpadla).

MODELOVÁNÍ SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ (TRNSYS)

Modelování složitějších systémů umožňují výkonnější simulační programy, například TRNSYS (Transient System Simulation Program) [2]. TRNSYS je modulární simulační program, původně vyvinutý pro aplikace v solární technice, nyní využívaný i pro simulace v širší oblasti tepelných procesů. Je tvořen základním programovým jádrem, které zajišťuje vlastní simulační proces, jeho sledování a řízení, a jednotlivými moduly (podprogramy).

Moduly mohou být buď různé komponenty systému (kolektor, zásobník tepla s rozvrstvením teplot, výměník, zdroj tepla, potrubí, regulátor, hydraulické prvky apod.), komponenty stavby (zóna v budově, solární skleník apod.) nebo uživatelské podprogramy (čítač dat, generátor slunečního záření, klimatické databáze, modely vnitřní zátěže, zápis výsledků simulace apod.). Moduly jsou charakterizovány časově stálými parametry (např. vlastnosti kolektoru) a časově proměnnými vstupy a výstupy, které jsou předmětem simulačních výpočtů.

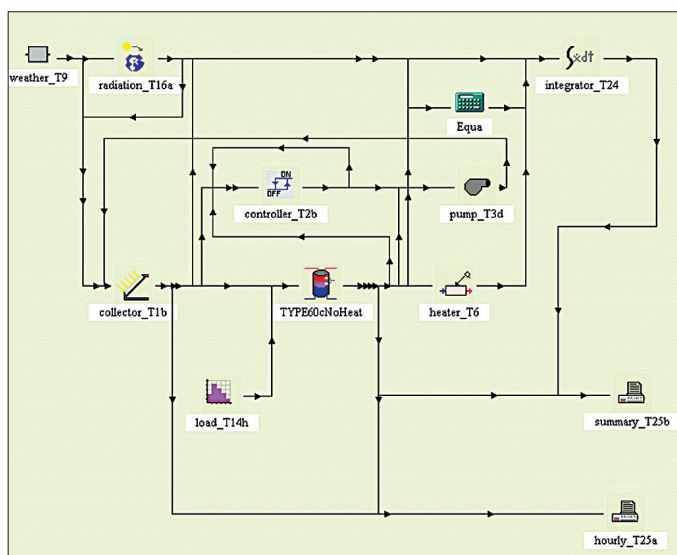
Moduly jsou navzájem propojitelné způsobem analogickým u reálného systému (např. připojení výstupu z komponenty „kolektor“ na vstup komponenty „výměník“ komponentou „potrubí“). Propojení se provádí prostřednictvím textového nebo grafického rozhraní (obr. 2). Simulace je sekvenční, simulační nástroj postupně volá jednotlivé moduly, ve kterých se současně řeší algebraické a diferenciální rovnice náležející dané komponentě, a přes výstup jsou výsledky předány jako vstupy do dalšího modulu.

Jako moduly je možné zapojit do systému i elektrická zařízení (oběhová čerpadla, ventilátory, fotovoltaické kolektory apod.). To umožňuje komplexnější energetický přístup v simulaci, kromě solárních zisků lze získat například i hodnoty spotřeby elektrické energie potřebné pro funkci systémů.

VYUŽITÍ MODELOVÁNÍ V PRAXI

Počítačové modelování aktivních solárních systémů má široké pole uplatnění ve výzkumu i v praxi. Mezi nejčastější aplikace modelování obecně patří:

- návrh a vývoj nových zařízení v projektech vědy a výzkumu,
- vývoj zjednodušených návrhových metod,
- projektové návrhy systémů, především netypizovaná řešení, složité systémy, kdy modelování může snížit nejistotu v odhadu chování různých komponent systému, uspořit náklady na výrobu prototypů svázaných



Obr. 2 Propojení jednotlivých modulů pro simulaci solárního systému pro přípravu TUV v grafickém rozhraní IISiBat (TRNSYS)

s řešením návrhu (eliminace nevhodných prvků, zúžení rozsahu uvažovaných prvků),

- ❑ provedení citlivostních analýz parametrů solárního systému – zjištění veličin s největším vlivem na chování konkrétního systému na základě kritérií (účinnost, ekonomické faktory apod.) a následná optimalizace systému jako výběr nejlepšího řešení,
- ❑ modelování za účelem pochopení funkce složitých systémů – zřehlednění struktury systému, nalezení souvislostí mezi prvky,
- ❑ zlepšení stávajících systémů v kombinaci s experimentem – ověření a případné zpřesnění modelu, identifikace slabých míst systému (ztrátové toky).

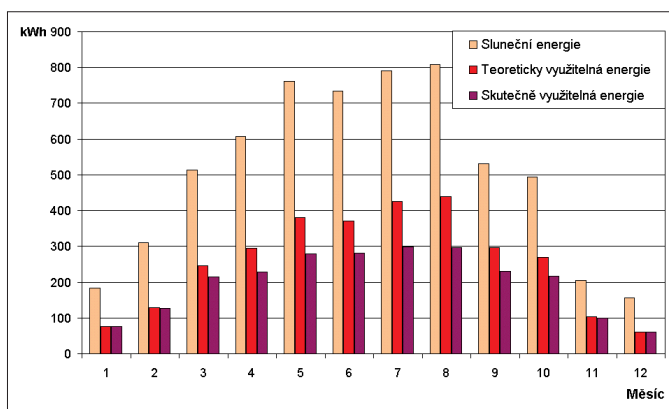
V praktickém pohledu pak modelování umožňuje optimalizaci systému pro daný konkrétní případ, například výběr vhodného typu kolektoru, vhodné situace kolektoru, teplotního spádu, objemu akumulčního zásobníku a jeho typu (modelování zásobníků vodních, s fázovou přeměnou, s kamenivem aj.), vhodného průtoku kolektorem (high-flow, low-flow, matched-flow systémy) apod. Optimalizací se rozumí nejen nejvyšší využití energetických zisků (účinnosti) a nejnižší potřeba jiných neobnovitelných energií (pohony, dodatkový zdroj tepla apod.), ale také např. dosažení rovnoměrnosti solárních zisků v průběhu roku při zachování solárního podílu (fasádní kolektory).

Při zavádění nových prvků do solárního systému, například nového typu kolektoru, nám matematický model takového prvku ve spojení s matematickým modelem systému umožňuje spolehlivě odhadnout dopad začlenění prvku do solárního systému.

Význam modelování solárních systémů je možné ukázat na dvou typových praktických případech.

Odhad zisků solárního systému

Při hodnocení solárních systémů jsou často uváděny tepelné zisky kolektorů bez ohledu na to, zda jsou v daném systému využitelné. Dochází k tomu, že pro navržený systém (plocha kolektorů, objem akumulčního zásobníku) se v letním období vyskytují přebytky tepla, které nelze využít ani nabíjením akumulčního zásobníku na vyšší teplotu a musí být neúčinně mařeny, pokud není k dispozici bazén či jiný „spotřebič“ těchto zisků. Tyto dostupné solární zisky nelze vykazovat jako tepelné zisky systému. Při hodnocení solárních systémů je proto nutné uvádět skutečně využitelný zisk místo teoretického, resp. skutečnou účinnost systému místo teoretické.



Obr. 3 Výsledky simulace solárních zisků běžného systému pro přípravu TUV

Příkladem může být simulace solárního systému navrženého podle tradičních směrých hodnot (4 osoby; zásobník TUV o objemu 200 l nabíjen z 15 na 60 °C; běžné selektivní solární kolektory; plocha kolektorů 6 m²; sklon kolektorů 55°; orientace jih). Na obr. 3 je znázorněn průběh solárních tepelných zisků kolektorového pole s rozlišením sluneční energie dopadlé na kolektory během jednotlivých měsíců, a dále využitelných a nevyužitelných zisků.

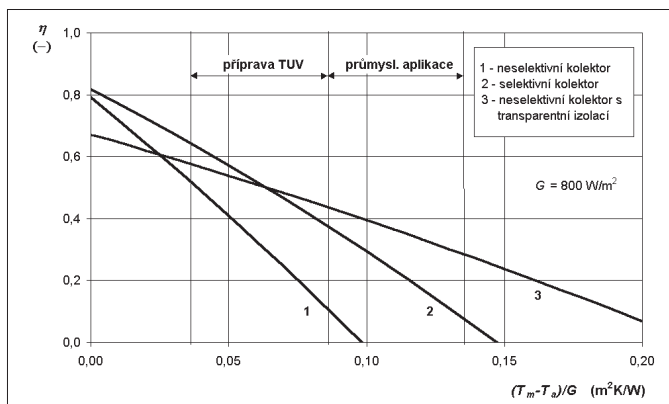
Výhodou simulace je výpočet solárního zisku, zahrnující interakci s daným zásobníkem tepla (teplota) v hodinovém časovém kroku s využitím klimatické databáze (referenční rok pro Prahu). Tím se simulace přibližuje skutečnému stavu systému. Pro uvedený systém je celková skutečná účinnost systému 35 % (místo teoretické účinnosti 47 %), skutečný podíl na krytí potřeby tepla 55 % (místo teoretického podílu 74 %).

Analýzou můžeme dokázat, že např. zvýšením objemu akumulčního zásobníku, tzn. předeřevem TUV pro více rodinných domů stejnou plochou solárních kolektorů je možné zvýšit účinnost systému, tzn. roční přeměny slunečního záření ve využitelné teplo (56 % při objemu akumulčního zásobníku na 400 l). V zásobníku je dosahováno nižších teplot během dne a účinnost kolektorů tedy roste, a dále v letním období nedochází k výraznému maření solárních zisků.

Vývoj a optimalizace solárního kolektoru

V oblasti využití slunečního záření jsou stále hledány nové materiály a způsoby zvýšení účinnosti solárních systémů. Při vývoji nového solárního kolektoru jde především o stanovení přínosu nového opatření vzhledem k vynaloženým nákladům.

Příkladem může být neselektivní solární kolektor, kde místo tradičního skla významujícího se nízkým tepelným odporem je použita transparentní tepelná izolace



Obr. 4 Porovnání solárních kolektorů pro přípravu TUV a výrobu procesního tepla

ce na bázi skleněných voštin (TIM) [3]. Poměrně jednoduchými analytickými výpočty na základě bilance tepelných toků v kolektoru (zjednodušený stacionární model) lze stanovit přibližně standardní křivku účinnosti kolektorů – např. neselektivní, selektivní, neselektivní s TIM (obr. 4). Nicméně tyto křivky nemají z hlediska celoroční účinnosti, a tedy výhodnosti jednoho nebo druhého případu, žádnou vypovídající hodnotu. Křivky se protínají, pro určité provozní podmínky je výhodnějším zasklením jednoduché sklo, pro jiné voštinová struktura (obr. 4).

Teprve simulací celoročního provozu solárního kolektoru, např. pro přípravu TUV (20 až 60 °C), zjistíme, že použití transparentní tepelné izolace jako zasklení zvýší významně účinnost neselektivního kolektoru, a to do té míry, že se vyrovná běžnému selektivnímu kolektoru. V případě vysokoteplotní aplikace těchto kolektorů pro výrobu technologického procesního tepla (80 až 120 °C) či přípravy TUV v chladném klimatickém pásmu vykazuje kolektor s transparentní izolací vyšší účinnost (viz tabulka 1).

Tab. 1 Porovnání celoroční účinnosti kolektorů s různým zasklením pro různé typy aplikací

Typ kolektoru		Příprava TUV	Procesní teplo
Neselektivní	[sklo]	0,34	0,04
Selektivní	[sklo]	0,43	0,12
Neselektivní	[TIM]	0,42	0,17

ZÁVĚR

Počítačové modelování je účinným nástrojem pro výzkum a vývoj solárních systémů, pro pochopení jak solární systémy pracují a pro jejich návrh. Jak již bylo řečeno, simulace nemůže nahradit pečlivě připravený a provedený experiment. Takový experiment odhalí, zda teoretický model odpovídá skutečnosti či nikoliv. Velmi účinná je kombinace numerických a fyzikálních experimentů při hledání řešení nových solárních prvků a systémů a zlepšování starých.

Použitá zdroje:

- [1] DUFFIE, J., BECKMAN, W.: *Solar Engineering of Thermal Processes*. 2nd edition. John Wiley & Sons, Inc. 1991. ISBN 0-471-51056-4.
- [2] TRNSYS v.15 Manual, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, 2000.
- [3] MATUŠKA, T.: *Projekt IG2000 č. 3000056 – Sluneční kolektor s transparentní izolací*. Závěrečná zpráva projektu. ČVUT 2001. ■

* Přímočará elektrická ruční pila pro instalatéry

Německá firma Flex Elektrowerkzeuge se proslavila v roce 1922, ještě jako Ackermann und Schmitt, první bruskou Flex s ohebnou hřídelí od převodovky a stacionárního elektromotoru a v roce 1954 první ruční úhlovou bruskou Flex DL 9, důvěrně známou „flexkou“. Loni uvedla novou zdvihovou dvoukloubovou přímočarou pilu SKL 2903 VV Tigerkralle.

Nová pila pracuje díky kombinaci dvou otočných a stavitelných kloubových převodů i v nepřístupných místech a nahradí jiná nářadí nebo ruční řezání. Střední kloub je otočný o 180° nahoru i dolů a stavitelný ve 13 pozicích. Přední kloub je axiálně otočný o 360° a stavitelný ve 12 pozicích. Pilový list lze nasadit zuby nahoru a dolů a jeho délku nastavit ve 4 pozicích. Pila o hmotnosti 4 kg má výkon 1200 W, zdvih 29 mm a plynule ovladatelnou rychlost 0 až 2900 zdvihů.min⁻¹. Pilové listy mají 25 provedení různé tloušťky a délky 100 až 300 mm s hrubými a jemnými zuby různých roztečí pro ocel, dřevo, sádrokarton, pórobeton, barevné kovy, plasty a lamináty.

Doporučená maloobchodní cena pily, se sadou 3 listů pil délky 150 mm pro kov, dřevo a plast, pro trh v SRN v září 2002 byla 400 EUR (bez DPH 16 %).

Flex Elektrowerkzeuge GmbH k veletrhu EuroBLECH, Hannover 2002. (AB)

* Napětí 42 V v automobilu v roce 2006?

Podle studie americké konzultační firmy Mercer a HypoVereinsbank by měl elektrický systém automobilu od baterie přes startér-generátor, ovládání pohonu a řízení systémem Drive-by Wire, osvětlení, chlazení, vytápění až po klimatizaci přejít na napětí 42 V kolem roku 2006. Stávající napětí 12 V či 14 V již není schopno krýt rostoucí potřeby stále více elektricky ovládaných systémů a příkony kolem 5 až 6 kW. Podle studie se také zpomaluje nasazení alternativních pohonů (plyn, elektřina a palivové články), takže jejich 30% podíl lze očekávat kolem roku 2010 a širší zavedení palivových článků nejdříve v roce 2015.

Podle firmy DuPont, která se na zavedení napětí 42 V intenzivně připravuje, si vyšší napětí v elektrice a elektronice vozu vyžádá nová materiálová řešení zvláště u izolačních systémů, bezpečných a odolných vůči vyšším teplotám a průrazu. Dojde k rozsáhlým náhradám kovů a běžných plastů technickými a inženýrskými plasty. Příkladem jsou nové elektromagneticky odstíněné polyamidy a tepelně vodivé polyamidy pro regulaci tepelného toku uvnitř stále menšího motorového prostoru. Použití těchto materiálů se zvažuje i pro celoplastové klimatizační systémy, vodní čerpadla a díly elektronických podskupin.

Očekává se, že přechod na 42 V vyvolá obrovské změny, nejen u výrobců automobilů a příslušenství, ale i v dalších oborech. Na své internetové stránce www.42volt.dupont.com shrnul DuPont požadavky napětí 42 V na materiály u jednotlivých skupin automobilu a uvedl své představy o řešení.

Studie *Automobiltechnologie 2010, Mercer/HypoVereinsBank, München, 2001 a DuPont k veletrhu Fakuma, Frankfurt 2002* (AB)

* Budou decentralní zařízení běžná?

Zařízení k decentralní klimatizaci v blízkosti fasády se ukazují jako vhodné k tomu, aby doplnily paletu systémů ke kontrolovanému větrání, odvětrávání a temperování kanceláří. V porovnání se známými systémy vzduch-vzduch nebo vzduch-voda je však třeba u nových řešení decentralní techniky klimatizace mít na zřeteli a uvážit jejich přednosti a nevýhody. Podle konstrukce objektu, jeho velikosti a situování se používají kompaktní jednotky pro přívod vzduchu od 120 do 200 m³/h a 400 až 1000 W celkového chladicího výkonu, jak bylo konstatováno na odborném semináři v září 2002. Chybí však ještě dostatek zkušeností.

Jako přednost těchto systémů se považuje příznivá pořizovací cena, zmenšení ploch pro technická zařízení, systém je modulový a tedy jednoduché možnosti dovybavení, jednodušší projekce a instalace, možnost individuálního nastavování výkonu. Pokud jsou tepelné zátěže místností větší než 40 až 50 W/m² a výkony decentralních zařízení nestačí aby je odvedly, hodí se jako jejich doplnění chladicí stropy či jiné chladicí prvky, temperování betonových jader aj.

CCI 11/2002 (Ku)

* Britský trh klimatizace a chlazení v napětí

V roce 2002 zažil britský trh klimatizace a chlazení v boji o zákazníka velmi tvrdý cenový boj, který zvýšil napětí v ziscích. Přitom se ale pomalu vzpamatovával po otřesu způsobeném teroristickým útokem na World Trade Center v New Yorku 11. září 2001. Podniky musejí nyní zdvojnásobit úsilí, aby obhájily na trhu své servisní nebo cenové přednosti. Pro oblast chlazení byla důležitá pokračující, i když polevující, expanze supermarketů. Staví se nové a staré renovují, avšak s minimální potřebou chladicí techniky. Poklesla i čísla obdoby chladiv, kde se ukazuje trend k chladivu R 407C a mědi. Obnovil se růst trhu klimatizace, protože stavebnictví znovu ožívá. Nováčkem na tomto trhu, který ovlivňuje ceny vytvořením rozsáhlé odbytové sítě s atraktivními cenami, je jihokorejská firma LG.

CCI 11/2002 (Ku)