

Ing. Jakub ŠIMEK¹⁾
Ing. Miloš LAIN, Ph.D.^{1), 2)}

¹⁾ ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
Ústav techniky prostředí
²⁾ ČVUT v Praze, Univerzitní
centrum energeticky efektivních
budov

Recenzent
Ing. Marcel Kadlec

Spotřeba energie na chlazení budov

Energy Consumption for Cooling of Buildings

Spotřeba energie na chlazení budov tvoří v současné době významnou položku, která činí téměř 40 % veškeré světové spotřeby energie [1]. Příspěvek ukazuje na důležitost monitoringu spotřeb energie pro chlazení, jako prostředku k možným úsporám energie. V článku jsou prezentovány reálné spotřeby na chlazení patnácti vybraných objektů měřených po dobu zpravidla pěti let. Následně jsou uvedeny výsledky analýzy naměřených dat.

Klíčová slova: chlazení, monitoring, spotřeba energie, měrná spotřeba energie

Energy consumption for cooling buildings is currently a significant factor, accounting for almost 40 % of energy consumption worldwide [1]. The paper points out the importance of monitoring of the cooling energy consumption as a means of potential energy savings. It presents real consumption for cooling of 15 selected buildings measured for a period of mostly five years. Subsequently, the results of analysis of the measured data are presented.

Keywords: cooling, monitoring, energy consumption, specific energy consumption

ÚVOD

Snižování energetické náročnosti budov je jednou ze současných priorit Evropské unie i České republiky. Jednou z významných položek spotřeby energie všech moderních budov je spotřeba na chlazení, případně klimatizaci v letních měsících. Této problematice však v ČR není věnována dostatečná pozornost. Naprosto chybí jakékoliv seriózní údaje o spotřebách či měrných spotřebách pro chlazení budov. Měrné spotřeby energie budov na chlazení a klimatizaci pak chybí především při detailním posuzování energetické náročnosti budov a kontrolách klimatizačních systémů podle platných právních dokumentů [2].

Cílem příspěvku je prezentovat měrné spotřeby energie na chlazení, získané měřením v reálném provozu patnácti budov po dobu zpravidla pěti let. V článku jsou dále hodnoceny možné vlivy na spotřeby energie na chlazení a uvedeny výsledky analýzy naměřených dat. Na základě výsledků analýzy je poukázáno na hlavní prostředky, které se projeví jako zásadní pro snižování spotřeby energie na chlazení budov.

MĚŘENÍ SPOTŘEB

Spotřeba energie na chlazení byla měřena celkem u patnácti objektů situovaných převážně v Praze. Mezi hodnocenými budovami byly objekty různého typu (knihovna, obchodní dům, hotel), velikosti i stáří. Měření spotřeby energie je vztaženo pouze pro chladicí jednotky. Spotřeby energie oběhových čerpadel chladicí vody nejsou do uváděné spotřeby energie na chlazení zahrnuty. Rovněž druh a vliv stínění prosklených ploch nebylo možno do analýz zahrnout – při provozu budov není provozovateli sledován.

Přednostně byly sledovány moderní administrativní budovy. Jako příklad je možné uvést dvě budovy, a to budovu 8 a budovu 2. Obě se nacházejí na krajích spektra z hlediska spotřeb energie (viz dále). Budova 8 s třetí nejvyšší spotřebou energie je administrativní budovou s 9800 m² celkové podlahové plochy, 5424 m² klimatizované podlahové plochy, s podílem zasklení jižní a západní fasády 70 % a 54procentním podílem zasklení severní a východní fasády. Budova 2 je naopak budovou s největší spotřebou energie ze všech hodnocených budov; jedná se o administrativní budovu s 4524 m² celkové podlahové plochy a 2700 m² klimatizované podlahové plochy, podíl zasklení je 30 % na severní a západní fasádě

a 20 % na východní fasádě. U sledovaných budov je použita celá řada klimatizačních systémů. Nejčastěji byl navrhován vodní klimatizační systém s ventilátorovými konvektory v kombinaci se vzduchotechnikou pro přívod čerstvého vzduchu.

Spotřeba energie na chlazení je v případě měřených objektů reprezentována spotřebou elektrické energie zdrojů chladu, které byly v předchozích letech osazeny měřeními a které tvoří zcela zásadní položku spotřeby energie na chlazení. V případě většiny objektů byly získány údaje o spotřebě elektrické energie zdrojů chladu během let 2012 až 2016, a to v detailních patnáctiminutových intervalech.

Obecně lze volit různé intervaly měření spotřeb, pro hrubé energetické hodnocení postačí i měsíční spotřeby el. energie. Pouze detailnější data, např. 15minutová, umožňují i optimalizaci a hledání chyb při provozování klimatizačního systému a zdroje chladu.

Sběr a zpracování dat z jednotlivých budov bylo poměrně náročné, především díky častým výpadkům měření a chybějícím datům v některých budovách. Několik monitorovaných budov nemohlo být dokonce kvůli nedostatkům v monitorování do výsledků zahrnuto, u jiných chybí jen některé roky či měsíce.

VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Výsledky měření jsou uváděny ve formě měrných spotřeb elektrické energie zdrojů chladu. Spotřeby energie byly vztaženy ke klimatizovaným podlahovým plochám. Zde je na místě upozornit na důležitost zvolení metodicky správných a jednotných vztažných ploch, jejichž vliv byl také analyzován. Pro vyhodnocení spotřeb nelze využít energeticky vztažné podlahové plochy snadno dostupné z průkazů energetické náročnosti budov, neboť se jedná o vnější půdorysnou plochu s upraveným vnitřním prostředím, které se od klimatizované plochy značným způsobem liší. Pro obdržení objektivních a porovnatelných měrných spotřeb na chlazení je tak nutné naměřené spotřeby vztáhnout přímo ke klimatizované ploše objektu, kterou však v mnoha případech není jednoduché získat.

Výsledky průměrných ročních měrných spotřeb na chlazení v jednotlivých letech, včetně přehledu dat, jsou patrné z tab. 1.

Tab. 1 Přehled budov a jejich měrných spotřeb elektrické energie zdrojů chladu

Tab. 1 Overview of the buildings and specific energy consumptions of their cold sources

Číslo budovy	Typ budovy	Spotřeba 2012 [kWh/m ²]	Spotřeba 2013 [kWh/m ²]	Spotřeba 2014 [kWh/m ²]	Spotřeba 2015 [kWh/m ²]	Spotřeba 2016 [kWh/m ²]	Průměrná spotřeba [kWh/m ²]
1	Administrativní	11,5					11,5
2	Administrativní	37,4	35,1	28,9	34,6	33,7	33,9
3	Obchodní dům	11,0	6,7	7,9	8,1	6,2	8,0
4	Administrativní	16,6	13,7	12,2	13,7	13,8	14,0
5	Administrativní		15,4	16,2	13,6	9,6	13,7
6	Administrativní	25,9	23,3	24,2	27,1	24,0	24,9
7	Administrativní	32,5	22,0	28,0	16,9	26,2	25,1
8	Administrativní	14,2	15,0	11,9	14,8	12,4	13,7
9	Administrativní	33,1	24,4	27,1	25,1	21,4	26,2
10	Hotel		22,6	16,3	28,3	23,2	22,6
11	Administrativní	32,7	35,2	30,1	25,7	30,8	30,9
12	Administrativní		16,6	19,3	19,7		18,5
13	Administrativní	12,3	10,4	11,4	12,2	8,5	11,8
14	Administrativní	14,7	11,1	22,4	21,0	18,1	17,5
15	Veřejná	4,5	2,3	1,9	6,5	6,6	3,7
Průměrná spotřeba [kWh/m²]							
		22,4	17,1	17,5	18,1	16,7	18,4

Na obr. 1 jsou graficky vyjádřeny průměrné spotřeby energie jednotlivých objektů za celé sledované období, včetně vyznačené celkové průměrné měrné spotřeby, která činí 18,4 kWh/m², a vážené (přes celkovou klimatizovanou podlahovou plochu) průměrné měrné spotřeby, jejíž hodnota je 13,4 kWh/m². Jak je z grafu zřejmé, přestože většina budov je stejného typu (administrativní – viz tab. 1), vyhodnocené měrné spotřeby se značným způsobem liší. Rozptyl průměrných měrných spotřeb objektů je od 3,7 kWh/m² do 33,9 kWh/m². Budovy byly dle

odchylky jejich měrné spotřeby od celkové průměrné spotřeby rozděleny do tří kategorií, a to na budovy s nízkou spotřebou (odchylka větší než 35 %), se střední spotřebou (odchylka do 35 %) a na budovy s vysokou spotřebou (odchylka větší než 35 %).

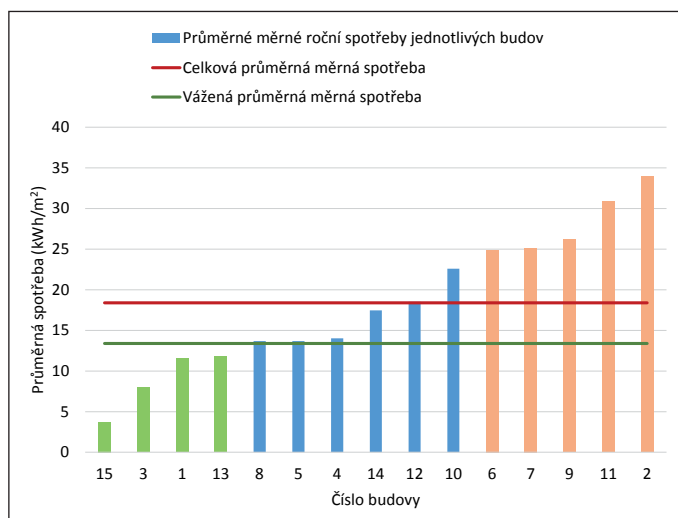
ANALÝZA SPOTŘEB ENERGIE

Na základě naměřených spotřeb elektrické energie pro chlazení byla provedena analýza a hodnocení dopadů různých vlivů na velikost spotřeby. Analýza byla provedena na základě rozboru a porovnání stavebně-technických řešení jednotlivých objektů a způsobu jejich provozování (především zdrojů chladu) ve vztahu k naměřeným spotřebám. Dále byl hodnocen dopad vnějších vlivů (vliv klimatu). Pro možnost objektivního porovnání byly hodnoceny pouze administrativní budovy, díky čemuž lze vyloučit zkreslení výsledků vlivem různého charakteru a typu provozu objektu [3].

Postupně byl hodnocen vliv prosklení, stínění, typu klimatizačního systému, zdroje chladu (dle *EER*), vliv akumulace chladu, free coolingu, způsobu řízení klimatizačního zařízení, a dále pak vliv klimatických podmínek v podobě teploty venkovního vzduchu. Z uvedených vlivů bylo možné prokázat pouze vliv stínění, provozování klimatizačního systému a vliv klimatických podmínek. Tyto vlivy tak lze považovat za zásadní pro velikost spotřeby na chlazení.

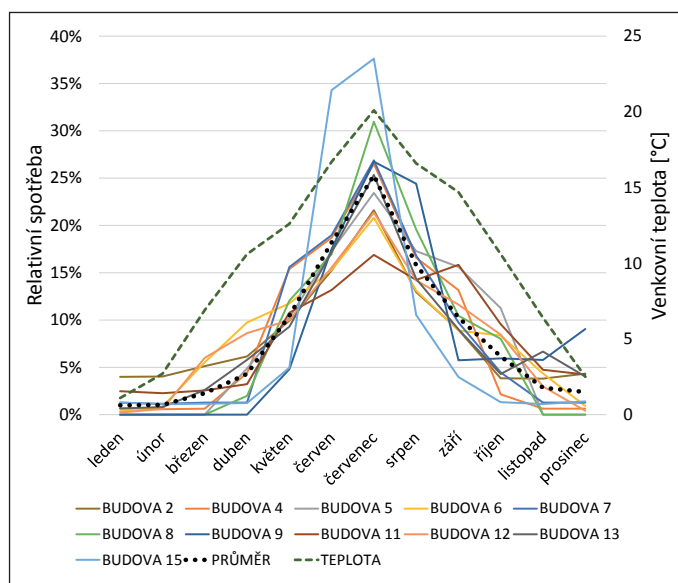
Vliv stínění

U sledovaných administrativních budov bylo stínění prosklených otvorů řešeno různými způsoby a v různém rozsahu. U některých budov bylo stínění řešeno stíněním oken na všech fasádách v podobě aktivního stínění venkovními žaluziemi. Některé budovy však měly stínění nedostatečné, řešené pouze místně, často manuálně ovládanými prvky,



Obr. 1 Průměrné měrné roční spotřeby energie zkoumaných budov (zelená: s nízkou spotřebou, modrá: se střední spotřebou, růžová: s vysokou spotřebou)

Fig. 1 Average specific annual energy consumptions of the surveyed buildings (green: with low consumption, blue: with medium consumption, pink: with high consumption)



Obr. 2 Závislost měsíčních spotřeb na teplotě venkovního vzduchu v roce 2014

Fig. 2 Dependence of monthly consumptions on outdoor air temperature in the year 2014

vnitřním stíněním, nebo stínění zcela chybělo. Bez ohledu na velikost prosklení jednotlivých fasád měly budovy se systematicky řešeným stíněním prokazatelně nižší spotřeby energie. Naopak budovy, které měly stínění nedostatečné, měly spotřeby elektrické energie na chlazení zcela nejvyšší.

Vliv klimatických podmínek

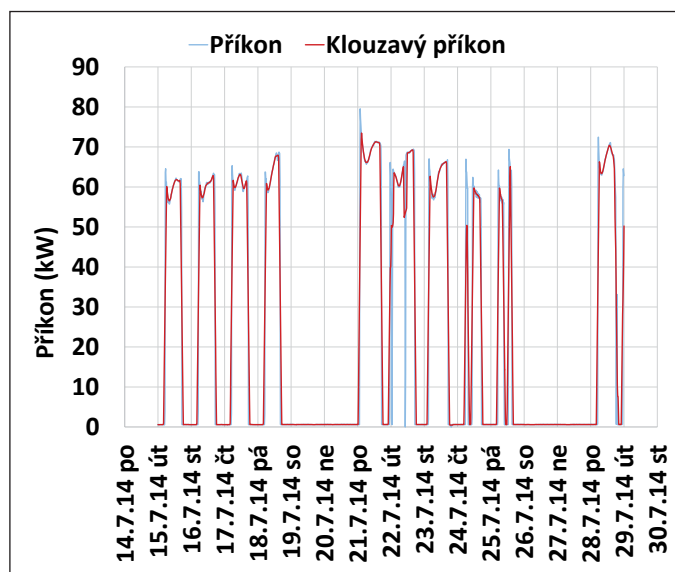
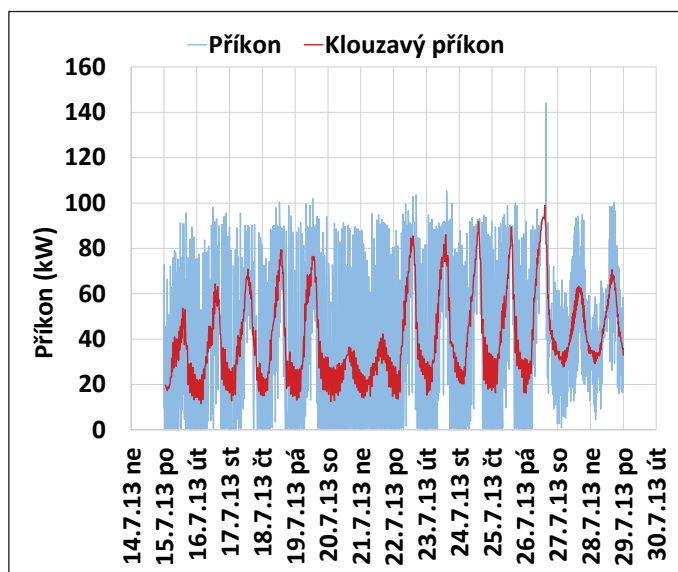
Vliv klimatických podmínek na spotřebu energie na chlazení byl hodnocen na základě analýzy závislosti naměřených spotřeb na teplotě venkovního vzduchu. Nejprve byla hodnocena závislost průměrných ročních spotřeb na chlazení na průměrné teplotě venkovního vzduchu za letní období (květen až září). Navzdory očekávání však tato závislost nebyla identifikována. To je pravděpodobně způsobeno malými rozdíly v průměrných teplotách jednotlivých let, které se (v letech 2012 až 2016) pohybovaly od 16,1 °C do 17,3 °C, a dopadem ostatních vlivů.

Naproti tomu byla prokázána velmi silná závislost měsíčních spotřeb energie na chlazení na průměrných měsíčních teplotách venkovního vzduchu. Tato závislost je znázorněna na obr. 2, v podobě poměrného rozložení spotřeb v průběhu roku v závislosti na průběhu teploty venkovního vzduchu, která je v grafu zvýrazněna čárkovanou čarou. Z grafu je zřejmé, že průběh spotřeb v případě většiny budov téměř kopíruje tvar křivky znázorňující průběh teplot venkovního vzduchu.

Vliv regulace klimatizačního systému

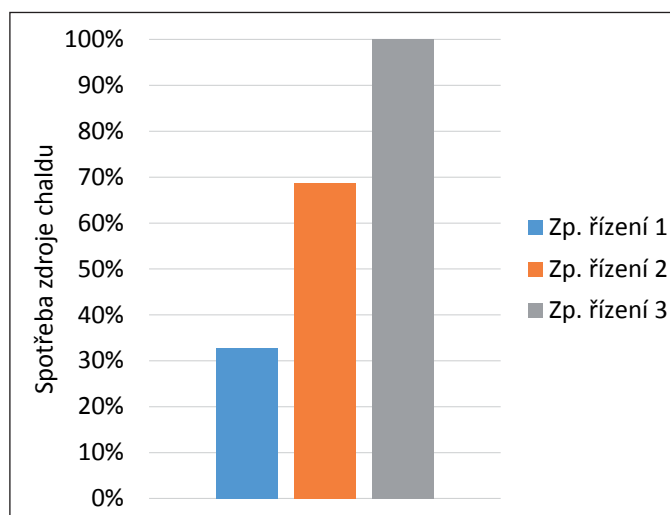
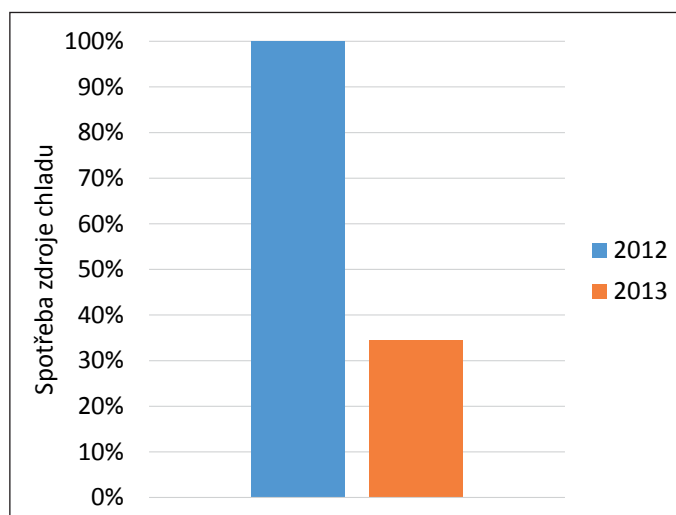
Způsob regulace klimatizačního systému, resp. zdroje chladu byl hodnocen na základě analýzy detailních naměřených dat v podobě průběhů příkonů elektrické energie v závislosti na čase. U některých objektů byly zjištěny výrazné odchylky ročních spotřeb energie na chlazení, které se po dalším šetření ukázaly jako důsledky změn v regulaci klimatizačních zařízení. Na základě detailní analýzy průběhů příkonů elektrické energie zdrojů chladu bylo zjištěno, že jsou zdroje chladu u jednotlivých budov řízeny mnohdy zcela odlišně a jen některé objekty pracují s víkendovými útlumy zdrojů chladu (viz obr. 3). Tyto útlumy zdroje chladu se však ukázaly jako účinný prostředek pro snížení spotřeby energie na chlazení. Všechny budovy, u kterých byly zdroje chladu během víkendů vypínány, měly v porovnání s ostatními objekty prokazatelně nižší spotřeby energie na chlazení. Tento fakt potvrzuje i pokles spotřeby na chlazení jedné z budov v roce, kdy bylo víkendových útlumů zdroje využíváno, a její následný nárůst v následujícím roce, kdy byl zdroj chladu opět v provozu i o víkendech. Dle získaných poznatků lze tedy používání víkendových odstavek zdroje chladu doporučit jako prostředek pro snížení spotřeby energie na chlazení.

Jak již bylo uvedeno, v případě dvou objektů byly odhaleny velmi výrazné změny ve spotřebách zdrojů chladu. Po kontaktování technické správy jednotlivých objektů bylo zjištěno, že uvedené změny ve spotřebě korespondují se změnami v regulaci klimatizačních systémů budov, které nastaly změnou technické správy objektu. Tyto blíže nespecifikované zásahy do řízení klimatizačních systémů se projeví razantními poklesy, případně nárůsty spotřeby elektrické energie zdrojů chladu. Na obr. 4 (vlevo) je zobrazen pokles spotřeby zdroje chladu v roce 2013 o 65 % oproti roku 2012 jedné z dotčených budov. Na obr. 4 (vpravo) je dále zobrazena relativní změna spotřeby v závislosti na způsobu ovládání klimatizačního systému. U této budovy se během sedmi let, kdy



Obr. 3 Průběh příkonu zdroje chladu budovy č. 6 s patrným cyklováním a absencí víkendových útlumů (vlevo); průběh příkonu zdroje chladu budovy č. 1 s plynulým řízením výkonu a víkendovými útlumy (vpravo)

Fig. 3 Time-course of the cold source power input for building No. 6 with noticeable cycling and absence of weekend decline (left); time-course of the cold source power input of building No. 1 with continuous power control and weekend decline (right)



Obr. 4 Pokles spotřeby zdroje chladu budovy č. 5 důsledkem změny regulace klimatizačního systému (vlevo); relativní spotřeby zdroje chladu budovy č. 1 v závislosti na způsobu řízení klimatizačního systému (vpravo)

Fig. 4 Decrease in the consumption of the source of cold for building No. 5 as a result of the change in the control of the air-conditioning system (left); relative consumption of the source of cold for building No. 1 in dependence on control strategy of the air-conditioning system (right)

probíhal monitoring spotřeby zdroje chladu, vystřídal několik subjektů, které se o provoz klimatizačního systému staraly.

Každý tento subjekt měl evidentně značně odlišný přístup k řízení klimatizačního systému, což se projevilo výrazně odlišnými spotřebami na chlazení. Spotřeby jsou vztaženy k průměrné spotřebě z let, kdy byl klimatizační systém řízen z energetického hlediska nejnáročněji (způsob řízení 3).

ZÁVĚR

Příspěvek ukázal na důležitost monitoringu spotřeby energie na chlazení pro získání zpětné vazby z reálného provozu budovy a jako prostředku k dosažení úspor energie. Měrné spotřeby budov na chlazení se pohybují od 2 do 37 kWh/m², přičemž vážený průměr všech vyhodnocených budov za všechny roky je 13,4 kWh/m².

Na základě naměřených dat z reálného provozu byl zjištěn značný potenciál pro dosažitelnou úsporu na chlazení optimalizací řízení klimatizačního systému. Jak bylo v příspěvku ukázáno, úspora el. energie zdroje chladu se pak může pohybovat až v desítkách procent ročně. Jako konkrétní prostředky pro snižování spotřeby elektrické energie na chlazení, lze na základě analýzy naměřených dat doporučit systematické stínění prosklených otvorů a víkendové útlumy zdroje chladu.

Detailní monitoring a analýzy stavu jsou bezesporu vhodným nástrojem umožňujícím snižování spotřeby energie budov i s ohledem na nástup budov s téměř nulovou spotřebou energie.

Kontakt na autory: jakub.sb.simek@gmail.com, milos.lain@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] KNIGHT, Ian. Assessing electrical energy use in HVAC systems. *REHVA Journal* [online]. 2012 [cit. 2017-06-28]. Dostupné z: <http://www.rehva.eu/publications-and-resources/rehva-journal/2012/012012/assessing-electrical-energy-use-in-hvac-systems.html>
- [2] LAIN, M. Měření a analýza spotřeby energie budov na chlazení pro klimatizaci a vyhodnocení měrných spotřeb pro další využití. MPO, 2017.
- [3] ŠIMEK, J. Spotřeba energie na chlazení budov. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní.

Padesát let zaujetí pro frekvenční měniče

Rok 2018 byl pro společnost Danfoss Drives speciální a představuje milník v její historii. Před padesáti lety byla společnost Danfoss první, která začala vyrábět frekvenční měniče ve velkém. Od té doby je přední firmou v technice měničů a v oblasti digitálních řešení, umožňujících zákazníkům prosperovat ve světě, který se rychle mění.

Od roku 1968 byl její sortiment vysoce kvalitních, aplikačně optimalizovaných produktů a služeb neustále zdokonalován tak, aby umožnil dosahovat velké účinnosti, šetřit co nejvíce energie a minimalizovat emise. Díky nezávislosti přípojovací techniky, motorů a řídicích systémů má zákazník možnost celé využít potenciál jejich optimalizace.

Společnost sleduje nejnovější trendy a odpovídá na velké výzvy, které ovlivňují současný svět, a tak vyvíjí a inovuje techniku, která se např. zabývá změnou klimatu, pomáhá vyrovnat se s rychlou urbanizací, poskytuje úspěšné a udržitelné systémy pro vodní hospodářství a čištění odpadních vod a pro hospodaření s energií.

Zdroj: AUTOMA 11/2018 – Danfoss Drives

(VZ)

Nejlepší portály
o stavebnictví



 **tzbinfo**
www.tzb-info.cz

Největší stavební portál
pro odborníky v ČR

ESTAV.cz
Portál pro širokou
stavební veřejnost