

Problematika určovania skutočnej hodnoty súčiniteľa prechodu tepla stavebných konštrukcií budov metódou merania tepelného toku

Problems of Determination the Real Value of Heat Transfer Coefficient in Building Construction Structures through Method of Heat Flux Measurement

Recenzent
Ing. Roman Vavrička, PhD.

Článok sa zaoberá rizikami pri určovaní skutočnej hodnoty súčiniteľa prechodu tepla stavebných konštrukcií, ktorý je potrebný pri výpočte energetickej hospodárnosti budovy. Opísaná je nedeštruktívna metóda merania tepelného toku a stanovená metodika pre aplikáciu metódy.

Kľúčová slova: tepelný tok, súčiniteľ prechodu tepla, transparentná konštrukcia, netransparentná konštrukcia

The article includes risks concerning the determination of the real value of the heat transfer coefficient in construction structures that is necessary for the calculation of the building energy efficiency. There is described the non-destructive method of the heat flux measurement and the determined methodology for the method application.

Key words: heat flux, heat transfer coefficient, transparent structure, nontransparent structure

Potreba stanovenia U hodnoty – súčiniteľa prechodu tepla príslušnej stavebnej konštrukcie sa vyžaduje:

- Pri výpočte tepelných strát budovy, ktoré potrebuje stanoviť projektant ústredného vykurovania,
- Pri projektovom a normalizovanom hodnotení budov, kde sa v rámci tepelno-technického posúdenia určuje energetické kritérium, ktorým sa stanovujú minimálne požiadavky na energetickú hospodárnosť budov. Projektové hodnotenie je založené na výpočtoch s použitím projektovanej dokumentácie a projektovaných hodnôt, vypočítaných pre budovu vo fáze návrhu a je podkladom pre stavebné povolenie. Normalizované hodnotenie pracuje s normalizovanými vstupnými údajmi o vonkajších a vnútorných klimatických podmienkach a so vstupnými údajmi o skutočnom vyhotovení stavebných konštrukcií [1].

Výpočet energetického kritéria v zmysle platných tepelnotechnických noriem predstavuje ukazovateľ, ktorý vyjadruje potrebu tepla na vykurovanie v budove. Vypočítanú hodnotu je možné určiť aj z hodnoty mernej tepelnej straty prechodom tepla H_T (W/K) vtedy, ak sú dostupné podklady pre výpočet súčiniteľa prechodu tepla U (W/m²K). Pri novostavbách to nebýva problémom, nakoľko skladby konštrukcií sú uvedené vo výkresovej a textovej časti PD, problematikejšie je to u obnovovaných budov. Pri obnovovaných budovách je potrebné viacerými postupmi určovať skladby súčasných konštrukcií a ich tepelnotechnické vlastnosti, je teda potrebná určitá stavebno-konštrukčná diagnostika.

RIZIKÁ PRI DIAGNOSTIKE STAVEBNÉHO OBJEKTU

Diagnostika stavebného objektu pre účely určenia U hodnoty je zameraná na všetky druhy ohraničujúcich konštrukcií: obvodových stien, strechy, transparentných konštrukcií, podláh atď., ktoré tvoria teplo-vymenný obal budovy. Základná diagnostika sa orientuje prioritne na určenie hodnôt súčiniteľa prechodu tepla v konštrukciách tam, kde nie sú deformácie teplotného poľa, teda na viac menej homogénnych častiach konštrukcií. Následná diagnostika je potom zameraná na tepelné mosty v konštrukciách. Pri obnovovaných budovách je možné zistiť skladby stavebných konštrukcií nasledujúcimi spôsobmi [2]:

- z dokumentácie – je k dispozícii pôvodná projektová dokumentácia, zápisy zo stavebného denníka, štítky a označenia konštrukcií (izolačné sklo) a pod.,
- z vizuálnej obliadky a meraní geometrických parametrov – hrúbka steny, materiál steny pod opadanou omietkou,
- zo skúseností – skladby konštrukcií podľa doby výstavby a vtedy prevládajúcich technológií,
- z určovania skladieb deštruktívnymi metódami – sondou do skladby konštrukcie,
- z meraní tepelno-technických vlastností konštrukcií prístrojovou technikou – nedeštruktívne metódy,
- kombináciou predchádzajúcich spôsobov.

Výhody a nevýhody (riziká) týchto metód sú uvedené v tab. 1. Vzniknuté rozdiely resp. nepresnosti vypočítanej hodnoty U – súčiniteľa prechodu tepla, sú absolútnou hodnotou rozdielu skutočnej – reálnej (dolný index $_{sk}$) a vypočítanej – výpočtovej hodnoty (dolný index $_{vyp}$).

$$\Delta U = |U_{sk} - U_{vyp}| \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (1)$$

$$U_{vyp} = 1 / (R_{si} + R + R_{se}) = 1 / (R_{si} + R_{pov} + R_{se}) \quad (2)$$

$$U_{sk} = 1 / (R_{si} + R + R_{se}) = 1 / (R_{si} + R_{pov} + R_{vyp} + R_{se}) \quad (3)$$

$$R_{pov} = \sum d / \lambda_i \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (4)$$

kde

- R – tepelný odpor konštrukcie [m²K/W],
- U – súčiniteľ prechodu tepla [W/m²K],
- $_{si, se}$ – dolné indexy pre tepelný odpor pri prestupe tepla na vnútornej a vonkajšej strane konštrukcie.

Vzťah (2) je pre posudzovanie súčasného – pôvodného stavu ohraničujúcich konštrukcií budovy, vzťah (3) pre obnovovanú budovu, teda pôvodný stav + dodatočné zateplenie (R_{vyp}). V týchto vzťahoch je dôležitá hodnota pôvodného tepelného odporu posudzovanej konštrukcie závislá od podielu hrúbky homogénneho materiálu (d) a súčiniteľa tepelnej vodivosti (λ_i). Tieto dva parametre sú dôležité práve pri spomínanej diagnostike.

Tab.1 Stručná analýza výhod a nevýhod stavebno-diagnostických metod

Diagnostická metoda	Výhody	Nevýhody
a) Určovanie z dokumentácie	Jednoduchá, rýchla metóda	Možnosť zmien pri realizácii stavby – nesúlad s dokumentáciou
b) Vizualna obhliadka	Doplňujúca metóda	nie je možné zistiť presné materiálové zloženie
c) Aplikácia skúseností	Rýchly predpoklad stanovenia skladby	Možnosť chybného úsudku
d) Deštruktívne metódy	Zistenie presnej materiálovej skladby, možnosť odobrania vzoriek pre rozbor	Prácnosť, Narušenie homogenity konštrukcie, možnosť zatekania
e) Nedeštruktívne metódy	Presnosť zistenia aktuálnych hodnôt meraním resp. následným výpočtom	Váza na prístrojovú techniku, závislosť na okrajových podmienkach merania, na prevádzkovaní objektu
f) Kombinované metódy	Možnosť kombinovania podľa reálnej situácie	Rôzna miera presnosti

NEDEŠTRUKTÍVNE METÓDY URČOVANIA U – HODNOTY

Pre zistenie U – hodnoty je možné použiť rôzne metódy, ktoré buď priamo stanovujú požadovanú hodnotu, alebo sa táto vypočíta z nameraných parametrov. Metódy meraní je možné rozdeliť na:

- stacionárne – meranie hustoty tepelného toku prechádzajúceho konštrukciou (vzorkou) a povrchových teplôt pri ustálenom tepelnom stave
- dynamické metódy – meranie premenlivého teplotného poľa a odčítanie hodnôt sa robí priebežne (nestacionárne podmienky).

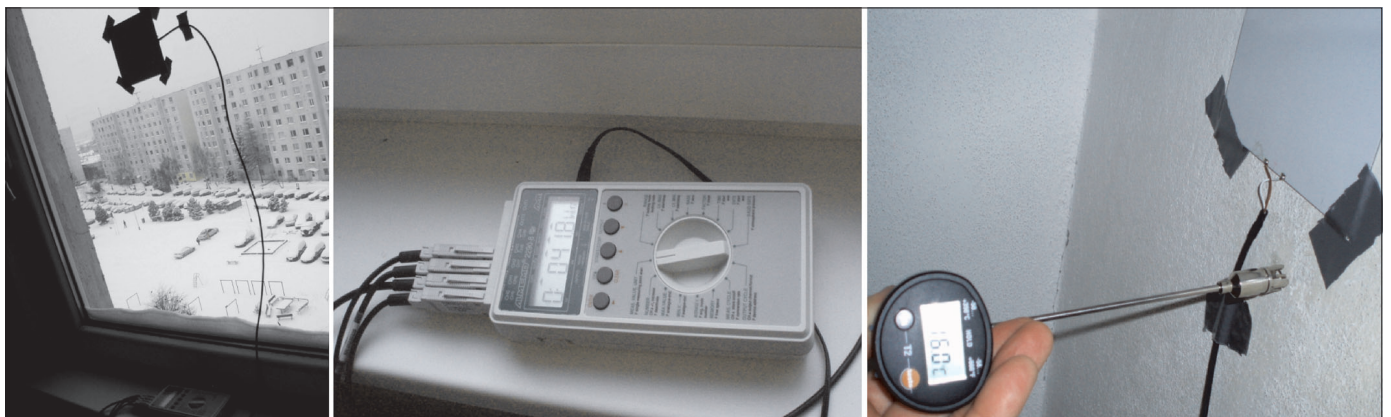
V súčasnosti najpoužívanejšie sú tieto nedeštruktívne metódy [3]:

- metóda chránenej tepelnej dosky
- metóda merania tepelného toku
- metóda merania tepelnej izolácie na kruhovom potrubí
- kontaktné dynamické metódy na meranie termo-fyzikálnych parametrov
- metóda výhrevného drôtu, pásu
- metóda ihlovej a plošnej sondy
- metóda teplej skrine a pod.

Meranie U – hodnoty a výpočet metódou merania tepelného toku za nestacionárnych podmienok

Súčiniteľ prechodu tepla U (W/m^2K) udáva tepelný tok šíriaci sa z vnútorného prostredia do vonkajšieho prostredia cez $1 m^2$ konštrukcie pri jednotkovom rozdieli teploty vnútorného a vonkajšieho prostredia. Je to dôležitá veličina pri určovaní energetických vlastností budov a môžeme ju určiť z nameraných hodnôt (experimentálna hodnota) podľa nasledujúcich vzťahov [3]:

$$U = \frac{q}{\theta_{ai} - \theta_{ae}} \quad [W/m^2K] \quad (5)$$



Obr. 1 Pohľad na meraciu zostavu s kontrolným meradlom povrchovej teploty

$$\Lambda = \frac{q}{\theta_{si} - \theta_{se}} \quad [W/m^2K] \quad (6)$$

$$U = \frac{1}{1/h_i + 1/\Lambda + 1/h_e} \quad [W/m^2K] \quad (7)$$

kde

q – hustota tepelného toku [W/m^2],

$\theta_{ai} - \theta_{ae}$ – rozdiel teploty vzduchu na vnútornej a vonkajšej strane konštrukcie [K],

Λ – plošná tepelná priepustnosť [W/m^2K],

h_i, h_e – súčiniteľ prestupu tepla na vnútornej a vonkajšej strane konštrukcie [W/m^2K].

Pri aplikácii uvedenej metódy určenia U hodnoty z nameraných hodnôt hustoty tepelného toku sa použije alternatívne:

- a) platnička na meranie tepelného toku – hustoty q (W/m^2), ktorá je umiestnená na vnútornej strane stavebnej konštrukcie v smere tepelného toku a dve sondy na meranie teplôt – použije sa výpočet podľa vzťahu (5);
- b) platnička na meranie tepelného toku – hustoty q (W/m^2), ktorá je umiestnená na vnútornej strane stavebnej konštrukcie v smere tepelného toku a dve sondy na meranie povrchových teplôt konštrukcie na vnútornej a vonkajšej strane – použijú sa vzťahy (6, 7);
- c) platnička na meranie hustoty tepelného toku a 4 sondy na meranie teplôt ako to bolo uvedené v a) resp. b).

Príklad určenia hodnoty na transparentnej a netransparentnej konštrukcii (výpočet podľa alternatívy a)

Na meranie podľa a) s využitím vzťahu (5) bola použitá zostava ALMENO 2290–8 na kontinuálne zapisovanie meraných hodnôt, pričom meranie bolo realizované pre zasklenie plastového okna a obvodovú stenu stavebnej sústavy BA NKS – obr. 1. Priebeh nameraných hodnôt je na grafe – obr. 2 pre zvolený merací cyklus 10 min. (celkový čas zaznamenávania 14 hodín) a vypočítané hodnoty sú v tab. 2.

Výsledky meraní (obr. 2, tab. 2):

- zmeny hodnôt hustoty tepelného toku sú dynamickejšie u izolačného dvojskla ako u sendvičového panelu BA NKS. Súvisí to s vyššou akumuláčnou schopnosťou steny ako zasklenia a schopnosťou reagovať na teplotné výkyvy v exteriéri (pre daný meraný čas bol teplotný výkyv od $-8,67$ °C po $-14,29$ °C)
- meranie v nočnej dobe je vierohodnejšie – vypočítané hodnoty sa približujú viac realite (projektovaným hodnotám) ako počas dňa, keď pôsobí viacero faktorov ovplyvňujúcich presnosť nameraných hodnôt.

Príklad určenia hodnoty na transparentnej konštrukcii dvoma spôsobmi – výpočet podľa alternatívy a), b)

Na meranie podľa b) s využitím vzťahu (6, 7) bola použitá zostava ALMENO 2290–8 na kontinuálne zapisovanie meraných hodnôt, pričom meranie

Tab.2 Výsledné hodnoty z meraní 18. – 19. 12. 2009 vypočítané programom Excel

Č.	Vypočítané hodnoty	Stavebná konštrukcia U (W/m ² K)	
		Izolačné dvojsklo	Panel BA NKS
Celkové meranie	max. U	1,33	0,76
	min. U	0,93	0,56
	aritmetický priemer	1,2	0,65
	median	1,21	0,66
	smerodajná odchýlka	0,081	0,046
	variačný koeficient %	6,78	7,61
Merania v nočnej dobe	aritmetický priemer	1,12	0,67
Merania v dennej dobe	aritmetický priemer	1,22	0,59

Tab. 3 Výsledné hodnoty z meraní 18. až 19. 12. 2009 vypočítané programom Excel

Č.	Vypočítané hodnoty	Izolačné dvojsklo (W/m ² K)	
		U	Δ
Celkové meranie	max. U	1,73	2,26
	min. U	1,07	1,40
	aritmetický priemer	1,18	1,54
	smerodajná odchýlka	0,049	0,067
	variačný koeficient %	4,2	4,35
	výpočet U podľa vzťahu (6, 7)		1,22

bolo realizované pre zasklenie plastového okna – obr. 3 s tým, že boli merané nielen teploty vzduchu, ale aj povrchové teploty na oboch stranách konštrukcie. Priebeh vypočítaných hodnôt z nameraných 16 273 údajov dňa 28. 1. 2010 od 20 h 20 min. 30 sekúnd do 23 h 21 min. 47sekúnd (s meracím cyklom po 1 sekunde) je v tab. 3.

Doporučená metodika merania in situ

Z predchádzajúcich príkladov je zjavné, že pri určovaní skutočnej hodnoty súčiniteľa prechodu tepla U metódou tepelného toku môžu vzniknúť nepresnosti, ktoré podmieňujú riziká ovplyvnené:

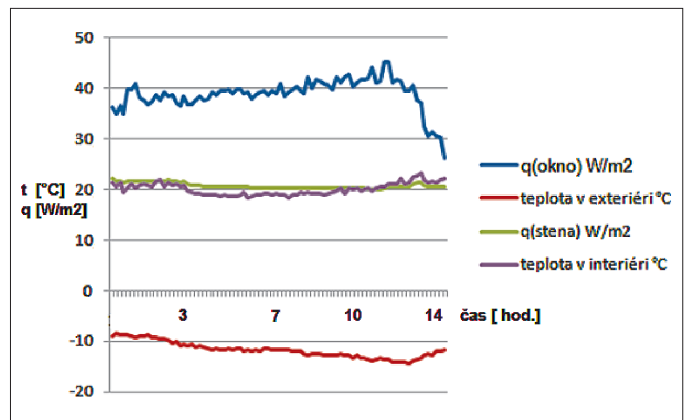
1. meracou zostavou – prístrojovou technikou (presnosťou, kalibráciou)
2. subjektom – človekom (spôsobom manipulácie s prístrojovou technikou, vyhodnocovaním nameraných výsledkov, podmienkami merania)
3. prostredím – správnym výberom miesta na meranie (bez vplyvov prostredia – napr. sálavého tepla)
4. časom merania (deň, noc), dĺžkou merania a meracím cyklom pri kontinuálnom meraní.

Doporučené zásady k metóde merania tepelného toku:

- Príprava merania – naštudovanie posudzovanej budovy, miestnosti a jednotlivých druhov konštrukcií, kde sa budú realizovať merania. Zabezpečiť stabilizáciu teploty vnútorných prie-



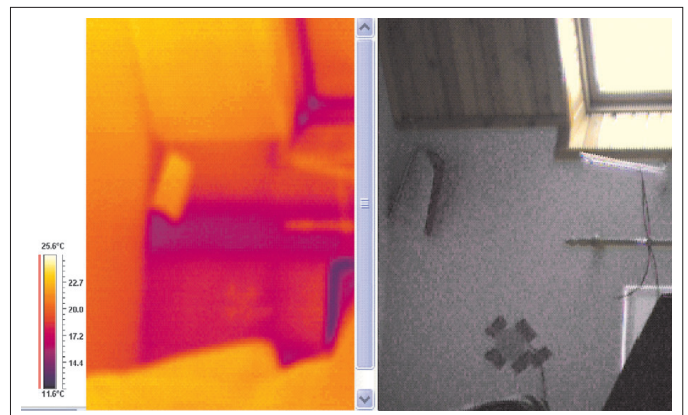
Obr. 3 Pohľad na meranie hustoty tepelného toku a teplotu na zasklení okna



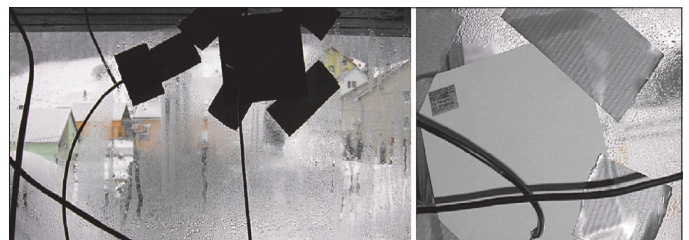
Obr. 2 Časový priebeh teplôt a hustoty tepelného toku a teplotu na zasklení okna a na obvodovom paneli BANKS – meranie 18. – 19. 12. 2009

storov, prístupnosť k meraným povrchom a možnosť osadenia senzorov pre meranie v exteriéri.

- Merania uskutočňovať za predpísaných okrajových podmienok, pri teplotnom rozdieli min. 20 K medzi interiériom a exteriériom. Problematické je teda určovanie parametra U pri konštrukciách, kde nie je vykurovaná miestnosť, teda nie je tepelný tok medzi dvoma priestormi.
- Meranie sa odporúča vykonávať vtedy, ak sú ustálené teplotné toky v konštrukciách bez vonkajších vplyvov (žiarenie oblohy – oslnenie konštrukcie, nárazový vietor, dážď, sneh) i vnútorných vplyvov (zdroje sálania, resp. Teplotné odrazy od okolitých zdrojov tepla), teda najvhodnejšie je merať v noci resp. nadržanom.
- Po analýze jednotlivých typov konštrukcií budovy určiť vhodné miesta, kde sa budú realizovať merania. Vhodnosť miest je daná tým, že konštrukcia by mala byť rovnorodá bez tepelných resp. tvarových mostov (obr. 4) – čo je možné určiť napr. termokamerou.
- Vylúčiť vplyvy okolia, ktoré môžu ovplyvňovať samotné meranie (sálavé teplo, kondenzácia – obr. 5).
- Zabezpečiť vhodné spolupôsobenie konštrukcie a príslušných senzorov (kontakt).
- Vyhotoviť dostatočný súbor meraní a ich štatistické vyhodnotenie.



Obr. 4 Kontrola správnosti meraného fragmentu konštrukcie termokamerou



Obr. 5 Vplyv povrchovej kondenzácie na zasklení okna počas merania tepelného toku

Význam aplikácie metódy merania tepelného toku spočíva v tom, že umožňuje určiť skutočné hodnoty súčiniteľa prechodu tepla stavebných konštrukcií, ktoré sú potrebné pri energetickom hodnotení budovy. Pri samotnom meraní a určovaní hodnoty U je potrebné predvídať riziká, ktoré môžu ovplyvňovať výsledné parametre. Samotná metóda nie je aplikovateľná počas celého roka, lebo nie vždy je možné zabezpečiť podmienky pre meranie uvedené v doporučených zásadách. Uvedenou metódou je náročné určovať U hodnotu podlahových konštrukcií, tu je potrebné postupovať inými metódami [5]. Význam uvedenej metódy je aj v tom, že umožňuje za podobných podmienok merania zisťovať zmeny hodnôt súčiniteľa prechodu tepla v čase (napr. každoročné meranie) resp. verifikovať parametre stavebných konštrukcií pri ich poruchách [6].

Kontakt na autora: marian.flimel@tuke.sk

Použité zdroje:

- [1] Chmúrny, I. a kol. *Komentár a návrh výpočtu energetickej certifikácie budov*, MVaRR SR, SKSI, Bratislava, október 2007
- [2] Flimel, M. *Riziká pri určovaní súčiniteľa prechodu tepla pri projektovom hodnotení budov*, in. Budova a energia 2009, zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie, Košice 2. – 4. 12. 2009, ISBN 978–80–553–0322–2, s. 25 až 30
- [3] Vaverka, J. a kol. *Stavební tepelná technika a energetika budov*, VUT v Brně–nakladatelství VUTIUM, 2006, s.593–613, ISBN 80–214 2910–0
- [4] Almeno Manual s. 3–2–1
- [5] Sedláková, A., Rudišín, R. *Teoretická a experimentálna analýza spodnej stavby veľkopriestorových budov*, Stavebná fakulta TU Košice – Ústav budov a prostredia 2009, ISBN 978–80–553–0212–6
- [6] Katunsky, D. *Structural physical problems research of industrial production hall buildings*, 12. International scientific conference Rzeszow-Lviv-Kosice, kona nej 17–19 septembra 2009, Rzeszow, Poland, ISBN 978–83–7199–553–8 ■

* Světový rekord: Turbochladič 17,6 MW pro Yokohamu

V létě 2009 dodala japonská firma Mitsubishi dosud světově největší vodní turbochladič. Příjemcem je Minato 21 District Heating and Cooling Co. v Yokohamě, která jej vložila do své dálkové chladicí sítě. Dvoustupňový chladič má chladicí výkon 17,6 MW a číslo energetické účinnosti EER ve výši 5,74. Včetně nové chladicí jednotky vody, disponuje Minato nyní celkovým chladicím výkonem 140 MW a je tak největší dodavatel centralizovaného dálkového chlazení v Japonsku.

CCI 10/2009

(Ku)

* Origami fasáda pro Čínskou věž

Pro novostavbu cca 200 m vysoké centrály čínské Shenzhen Energy Co. se architekti rozhodli využít zvláštní řešení fasády, která má být provedena ve stylu dálného východu „Origami“.

Speciálním členěním se fasáda rozděluje na dvě oblasti. Jedná se o jednu otevřenou část s okenními tabulemi, na něž dopadá po celý den dostatek difúzního slunečního záření, aby se kanceláře dostatečně zásobovaly denním světlem. Slunce může vstupovat přímo do kanceláří jen z východní nebo ze západní strany budovy. V tomto případě větší část slunečních paprsků se na povrchu skleněných tabulí odráží a dopadá na protilehlé sluneční kolektory. Druhá uzavřená část budovy je obložena slunečními kolektory. Jejich povrch slouží i jako reflektor k přivádění slunečního záření do kanceláří. Energetická koncepce uvažuje využívání tepla z kolektorů pro provoz klimatizačních zařízení a k odvlhčování vzduchu v kancelářích.

CCI 11/2009

(Ku)

Pumpy • Armatury • Systémy



PumpMeter

Vám umožní nahlédnout do Vašeho čerpadla

Nový PumpMeter je inovace KSB pro větší transparentnost Vašeho čerpadla. Měří všechny důležité provozní údaje čerpadla a znázorňuje je na přehledném displeji. Tak máte vždy k dispozici aktuální pracovní bod a v průběhu času získáte přesný profil zatížení. Kromě toho Vám ikona energetické účinnosti na displeji ukazuje potenciály úspor. Zajistěte si tedy nepřetržitě a bez komplikací dostupnost a energeticky účinný provoz Vašeho čerpadla a šetřete tak čas, energii a náklady. www.ksbpumpy.cz

