

Využití tepelných čerpadel v budovách (2)

V první části seriálu jsme se zabývali tepelnými čerpadly a ich použitím v závislosti na tepelných zdrojích. Byl popsán topný faktor a začali jsme s popisem různých typů topných soustav vhodných. V druhé části seriálu se budeme zabývat volbou tepelného čerpadla spolu s dalším zdrojem tepla a popíšeme taky způsob stanovení energetické náročnosti objektu polikliniky Bioregena v Praze.

Volba tepelného čerpadla spolu s dalším zdrojem tepla

Používat pouze jeden zdroj energie k vytápění není vždy ekonomicky výhodné a závislost na jediném zdroji může být i riskantní. Jako příklad lze uvést elektrické vytápění. V době delšího výpadku proudu nám může dům velmi prochladnout, nebo dokonce zamrznout.

Potřebný výkon pro vytápění objektu je ekvivalentní vypočtenou tepelnou ztrátou ve Wttech, kterou jsme určili v předchozích kapitolách. Celý výkon vypočtený podle tepelných ztrát je třeba dodávat pouze při nejnižších venkovních teplotách, které trvají jen několik málo dní v roce. Aby náklady na provoz tepelného čerpadla nebyly tak vysoké a bylo ho možné využívat i při nízkých teplotách, používá se často v kombinaci s druhým zdrojem tepla. Dalším důvodem je i fakt, že předimenzované tepelné čerpadlo má podstatně kratší životnost, protože dochází k častějšímu spínání kompresoru.

Kombinace tepelného čerpadla s druhým zdrojem, který je v provozu pouze při nízkých venkovních teplotách, se nazývá bivalentní zapojení a lze ho realizovat dvěma způsoby [4]:

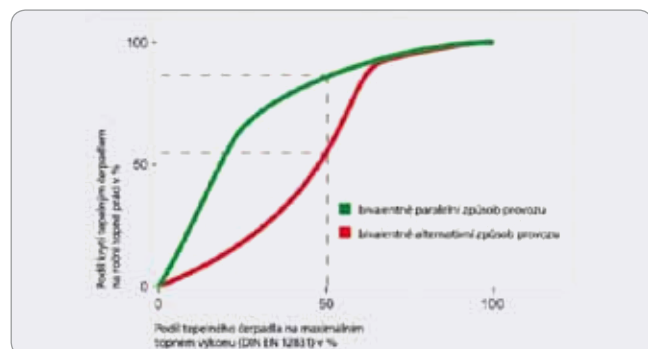
Bivalentně alternativní způsob provozu

Nad stanovenou venkovní teplotou, takzvaným bivalentním bodem (např. $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$), pracuje výhradně tepelné čerpadlo. Při nízkých teplotách se tepelné čerpadlo vypne a zásobování teplem přebírá kotel. Regulace tepelného čerpadla automaticky zajišťuje přepínání mezi výrobníky tepla.

Bivalentně alternativní způsob provozu se hodí zejména pro topná zařízení s vysokými teplotami systému, s jakými se často setkáváme ve starších budovách. Kotel potom dodává teplo, když je při klesajících venkovních teplotách potřeba vyšších výstupních teplot, které leží nad dosažitelnou výstupní teplotou tepelného čerpadla [4].

Bivalentně paralelní způsob provozu

Také u bivalentně paralelního způsobu provozu pracuje tepelné čerpadlo nejdříve jako jediný zdroj tepla. Pokud venku klesá teplota a topný výkon tepelného čerpadla už nestačí k pokrytí tepelné potřeby, doplňuje ho kotel. Oba zdroje tepla jsou potom v provozu současně. Aktivace kotle a dodávaný výkon, který je závislý na zatížení, řídí regulace tepelného čerpadla. Pokud se zvolí bivalentně paralelní způsob provozu, je podíl tepelného čerpadla na roční topné práci zpravidla větší než u bivalentně alternativního způsobu. Tak může tepelné čerpadlo, jehož jmenovitý tepelný výkon je asi o polovinu menší než maximální topná zátěž budovy, poskytnout u bivalentně paralelního způsobu provozu až přibližně 85% celkové

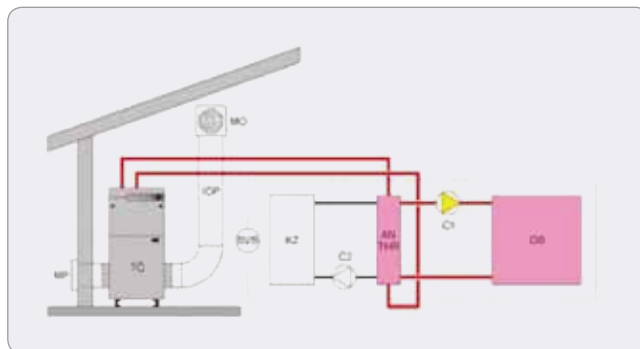


Obr. 5 Různé podíly krytí tepelným čerpadlem na roční topné práci v závislosti na způsobu provozu. [4]

roční topné práce, u bivalentně alternativního způsobu více než 50%. V případě větších podílů tepelného čerpadla na maximálním topném výkonu je podíl pokrytí tepelným čerpadlem ještě vyšší (obr. 5) [4].

Tepelné čerpadlo v kombinaci s kotlem na dřevo

V místech, kde je levné dřevo, může být výhodné použít jako špičkový zdroj kotel na dřevo a používat jej v době nízkých venkovních teplot jako jediný zdroj. Když se potřeba tepla sníží na hodnotu, která je už pro kotel příliš nízká, využije se pro vytápění tepelné čerpadlo. Může to být výhodné např. pro tepelná čerpadla vzduch-voda, která mají při nízkých teplotách vzduchu menší topný faktor. Nevýhodou ovšem je, že obě zařízení mají nižší stupeň využití, což prodlužuje dobu návratnosti investice. Na obrázku je schéma zapojení takového systému. Používá se v něm také menší akumulční nádrž [1].



Obr. 6 Zapojení tepelného čerpadla vzduch-voda s kotlem a akumulční nádrží [1]

Tepelné čerpadlo v kombinaci s plynovým kotlem

Nejpoužívanější kombinací je použití tepelného čerpadla spolu s plynovým kotlem. Jedná se o zlatou střední cestu, kdy oproti kombinaci s elektrokotlem nevznikají tak vysoké topné náklady a zároveň nevzniká silná závislost na jediném zdroji energie (v našem případě na elektrické energii). Z opačného pohledu oproti kotli na pevná paliva, či na dřevo, se nám spalováním plynu náklady zvyšují, avšak získáváme z uživatelského hlediska jednodušší provoz, údržbu a vyšší tepelný výkon, který využijeme zejména pro větší objekty jako je Bioregena.

Stanovení energetické náročnosti objektu Bioregena

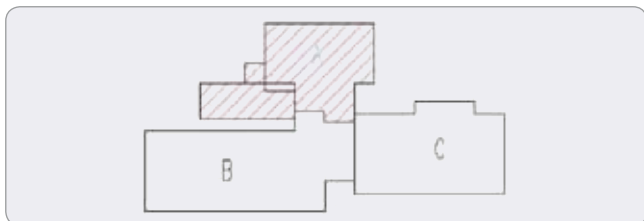
Bioregena je zdravotnické zařízení nacházející se v městské části Praha 9. Objekt jako poliklinika funguje od roku 1992. Samotný objekt byl postaven po roce 1973 a poslední rekonstrukce, včetně zateplení, proběhla v roce 2006.

Určení objemu a ploch vnější obálky budovy (oken a zdí) budovy z dokumentace Bioregena

Prvním krokem bylo zapotřebí získat všechny rozměry z dokumentace. postup jsem podrobně popsal v následující podsececi pro Blok A. Chci se zmínit, že přesnost výpočtu plochy oken je pro nás důležitý z hlediska dalšího určování tepelných ztrát zapříčiněného zejména větráním. Dalším parametrem bude intenzita větrání, kterou rozvedu později. Samozřejmě hodnoty nejsou úplně přesné, ač se ve výkresech uvádějí v [mm].

Blok A

Blok A tvoří podle obrázku obr. 7 severní část polikliniky a přízemní „první“ patro bloku se nachází přímo na terénu, což bude důležité pro určení činitele teplotní redukce. Nyní však přistoupíme k následujícím tabulkám. Jak je vidět hned z Tab. 1 rozdělil jsem pro zjednodušení vnější strany budovy podle světových stran. Dále jsem u každé strany bloku určil její délku a po vynásobení výškou její plochu, která v sobě obsahuje plochu zdí i oken. Tudiž jsem následně spočítal počet oken daného typu na každé straně, počet oken neuvádím pouze Tab. 2 se všemi 13. typy oken, které na budově můžeme najít, a nakonec jsem určil celkovou plochu oken i zdí.



Obr. 7 Půdorys Bioregeny – blok A

Podlaží	Plocha strany [m ²]			
	Severní	Východní	Jižní	Západní
1. 224.8 [mm]	49,657*3,6	25,048*3,6	21,150*3,6	8,042*3,6
2. 228.4 [mm]	40,670*3,6	13,039*3,6	37,960*3,6	10,000*3,6

Tab. 1 Plochy vnějších stran bloku A, včetně oken

Okno typ	Rozměry okna [m]	
	Šířka	Výška
o1	2,35	0,85
o2	2,40	0,85
o3	5,40	2,00
o4	2,25	1,65
o5	1,10	1,75
o6	1,15	1,68
o7	2,40	0,87
o8	2,40	1,45
o9	2,30	1,70
o10	1,65	2,10
o11	1,20	1,55
o12	1,98	1,35
o13	1,10	1,76

Tab. 2 Celkové plochy oken bloku A na jednotlivých stranách

Celková plocha oken	96,705 [m ²]
Celková plocha vnějších zdí (bez oken)	592,498 [m ²]

Tab. 3 Celkové plochy oken a zvlášť zdí bloku A

Blok B

Postup výpočtu vnějších ploch bloku B i C je totožný. Proto uvádím dále pouze jen tabulky. Jenom bych se rád zmínil, že u bloku B je sklepení patro které se nachází částečně pod terémem, přesněji z 1,8 metrů, kde se mimo jiné vytápí dvěma plynovými kotly a třemi tepelnými čerpadly vzduch-voda.

Podlaží	Plocha strany [m ²]			
	Severní	Východní	Jižní	Západní
0. 223 [mm]	40,700*3,6	0	50,694*3,6	21,1450*3,6
1. 226.6 [mm]	30,000*3,6	0	50,694*3,6	0

Tab. 4 Plochy vnějších stran bloku B, včetně oken

Podlaží	Celková plocha oken [m ²] na straně			
	Severní	Východní	Jižní	Západní
0. 223 [mm]	14,612	0	38,28	0
1. 226.6 [mm]	35,19	0	27,37	0

Tab. 5 Celkové plochy oken bloku B na jednotlivých stranách

Blok C

Jak již jsem se zmínil postup je totožný jako u bloku A, proto uvádím pouze tabulky.

Podlaží	Plocha strany [m ²]			
	Severní	Východní	Jižní	Západní
1. 224,8 [mm]	39,1*3,6	23,666*3,6	30,903*3,6	0
2. 228,4 [mm]	36,9*3,6	23,666*3,6	30,903*3,6	0

Tab. 7 Plochy vnějších stran bloku C, včetně oken

Podlaží	Celková plocha oken [m ²] na straně			
	Severní	Východní	Jižní	Západní
1. 224,8 [mm]	20,872	0	37,12	0
2. 228,4 [mm]	46,2	1,93	26,95	0

Tab. 8 Celkové plochy oken bloku C na jednotlivých stranách

Celková plocha oken	133,07 [m ²]
Celková plocha vnějších zdí (bez oken)	487,84 [m ²]

Tab. 9 Celkové plochy oken a zvlášť zdí bloku C

Určení součinitelů prostupu tepla a činitele teplotní redukce

Dalším úkolem bylo určení součinitelů prostupu tepla. Tato veličina nám udává výkonovou ztrátu tepla na 1m² při rozdílu venkovní a vnitřní teploty 1°C. Pro hrubou představu o hodnotě tohoto součinitele pro každou konstrukci vycházím z Tab. 2 z výkladu ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov pro obytné dřevostavby, ve které jsou uváděny dolní mezní hodnoty které by měla budova splňovat, a také doporučené hodnoty.

Další proměnou jež potřebujeme znát je bezrozměrný činitel teplotní redukce. Protože tuto hodnotu stěží naměříme vycházím jsem mimo jiné z vyhlášky Ministerstva průmyslu a obchodu 291/2001 Sb. Význam veličiny je popsán v předchozích kapitolách. Nicméně veličina je opět těžko měřitelná a zvolené hodnoty nejsou stoprocentní, proto v dalších kapitolách zvolím procentuální tolerance pro měrnou tepelnou ztrátu prostupem tepla H_T každé konstrukce zvlášť.

Určení činitele teplotní redukce oken a zdí

Podle Tab. 10 je vidět, že součinitel prostupu tepla u zdí se pohybuje v rozmezí až do požadovaných limitních hodnot 0,30 W/K pro lehké zdi a 0,38 W/K pro těžké zdi. Činitel teplotní redukce u oken je v TNI 730329 uváděn chybně $b=1,15$ autor následně kvůli tiskové chybě vydal opravenku a v TNI 730330 je již správná hodnota $b=1$, které se budeme držet. U zdí se součinitel pohybuje na nižších hodnotách pouze pokud je konstrukce pod povrchem nebo se z druhé strany nachází nevytápěný prostor. Pro zeď bioregeny

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla U_i [W/(m ² ·K)]	
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty
Střecha plochá a šikmá (do 45°)	0,24	0,16
Podlaha vnější (nad venkovním prostorem)	0,30	0,20
Strop pod nevytápěnou půdou	0,30	0,20
Stěna vnější	lehká	0,30
	těžká	0,38
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,38	0,25
Podlaha a stěna přilehlá k zemině (s výjimkou)	0,60	0,40
Strop a stěna z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40
Okno, dveře a jiná výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	nová	1,7
	upravená	1,2
Okno, dveře a jiná výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného do částečně vytápěného prostoru nebo z částečně vytápěného prostoru do venkovního prostředí	nová	3,5
	upravená	2,3
Šikmé střešní okno, světlík, apod. do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,5	1,1
Šikmé střešní okno, světlík, apod. do 45°, z vytápěného do částečně vytápěného prostoru nebo z částečně vytápěného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,7
Lehký obvodový plášť (LOP), hodnocený jako smontovaná sestava včetně nosných prvků, s průsvitnou výplní otvoru o poměrné ploše $f_o = A_o / A_v$ v m ² /m ² , kde A_v je celková plocha LOP; A_o plocha průsvitné výplně otvoru v LOP. Rámy LOP s $U \leq 2,0$ W/(m ² ·K)	$f_o \leq 0,50$	$0,3 + 1,4 \cdot f_o$
	$f_o > 0,50$	$0,7 + 0,6 \cdot f_o$

Tab. 10 Normové hodnoty součinitele prostupu tepla UN pro obytné budovy

sklepního patra bloku B jež je z 1,8 metrů pod povrchem, odpovídá podle

vyhlášky $b=0,57$, hodnota tudíž platí pro plochu o velikosti obvodu Bloku B násobeno 1,8. Avšak dále se spojujeme s činitelem teplotní redukce sklepu $b=0,65$, protože pracujeme pouze s plochou a sklep se projevuje v koeficientu redukce.

Naše konstrukce zdi se skládá z dvou železobetonových vrstev proložených tepelnou izolací 40 mm a z vnější stěny ještě zateplenou izolací o tloušťce 100 mm. Hodnotu U jsme odhadli na 0,32 W/K. U oken se podařilo zjistit, že se jedná o plastová okna Vekra Classic s $U=1,3$ W/K.

Určení činitele teplotní redukce podlahy a střechy

Podlaha suterénu má pravděpodobně tepelnou izolaci o tloušťce 20 až 30 mm, sloužící jako kročejová izolace. Díky neznalosti složení konstrukce podlahy uvádím mezní požadovanou hodnotu $U=0,6$ včetně tolerance, tj. nominální hodnota bude o dané procento tolerance, jež zvolíme později, nižší. Co se týče činitele teplotní redukce podlahy na terénu je přibližně určen podle zmíněné vyhlášky na hodnotu $b=0,4$, zde se činitel teplotní redukce uplatňuje z důvodu redukce teploty způsobené zeminou, jež je v zimě teplejší a v létě chladnější.

Výpočet tepelných ztrát budovy

Tepelná ztráta ve W je vstupní údaj pro určení roční potřeby tepla na vytápění v kWh/rok. Mimo jiné je důležitá pro výpočet průměrného součinitele tepla obálky budovy U_{em} v W/(m²·K), jež také definuje energetick štítek obálky budovy.

Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla

K získání U_{em} potřebujeme znát měrnou tepelnou ztrátu H ve W/K, jež je definována součtem měrné tepelné ztráty přechodem tepla H_T a měrné tepelné ztráty větráním vypočtené podle vztahu

$$H = H_T + H_v \quad (4)$$

Měrná tepelná ztráta se určuje dle ČSN 73 0540-2. Při výpočtě potřeby tepla na vytápění se uvažují tepelné toky podle obr. 8 a platí vztah

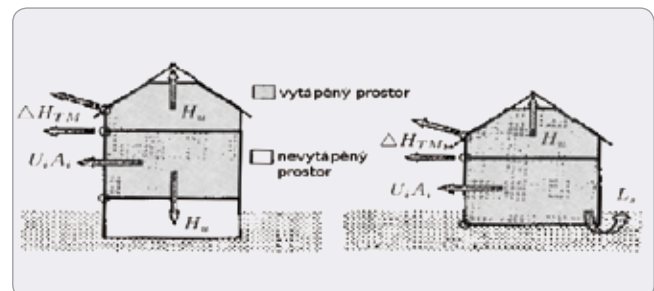
$$H_T = \sum U_i A_i + \Delta H_{TM} + H_U \quad (5)$$

Kde

$\sum U_i A_i$ je tepelná vodivost mezi vytápěným prostorem a exteriérem ve W/K, bez vlivu tepelných vazeb,

$\Delta H_{TM} + H_U$ - zvýšení tepelné ztráty vlivem tepelných mostů ve W/K,

H_U - měrná tepelná vazba mezi vytápěným prostorem a vnějším prostředím přes nevytápěné prostory ve W/K.



Obr. 8 Tepelné ztráty přechodem [7]

Měrná tepelná ztráta skrze prostory s redukovanou teplotou se určuje podle vztahu

$$H_U = \sum b_x (U_i A_i) \quad (6)$$

kde b_x je činitel teplotní redukce a typické hodnoty uvádím v Tab. 11

Tepelná ztráta skrze konstrukci	b_p
Stěna	1
Okna	1
Podlaha na terénu	0,4
Podlaha nad sklepem (sklep je celý pod terénem)	0,45
Podlaha nad sklepem (sklep je částečně nad terénem)	0,65
Střeška	1

Tab. 11 Redukční faktory

Po zavedení činitelů teplotní redukce můžeme měrnou tepelnou ztrátu přibližně určit podle vztahu

$$H_T = \sum b_{p,i} U_i A_i + \Delta U \sum A_i \quad (7)$$

Z důvodu neznalosti hodnot všech veličin pro výpočet zvýšení součinitele prostupu tepla vlivem tepelných mostů ΔU , jsme nuceni použít Tab. 12 namísto vzorce

$$\Delta U = \left(\sum \Psi_{k,i} l_k + \sum \chi_j \right) / A \quad (8)$$

Kde

Ψ_k je lineární činitel prostupu tepla k-té lineární tepelné vazby mezi konstrukcemi, ve $W/(m.K)$, stanovený z k-tého výseku spoje konstrukcí s pouze k-tou lineární tepelnou vazbou,

l_k - délka k-té lineární tepelné vazby v celé obálce budovy v m,

χ_j - bodový činitel prostupu tepla j-té bodové tepelné vazby, ve $W/(m^2.K)$, stanovený z j-tého výseku spoje konstrukcí s pouze j-tou bodovou tepelnou vazbou,

A - plocha celé teplosměnné obálky budovy v m^2 .

ΔU [$W/(m^2.K)$]	Typ konstrukce
0,02	Konstrukce téměř bez tepelných mostů (optimalizované řešení)
0,05	Konstrukce s mírnými tepelnými mosty (systémové řešení)
0,10	Konstrukce s běžnými tepelnými mosty (standardní řešení)
0,15	Konstrukce s výraznými tepelnými mosty (zatížené řešení)

Tab. 12 Odhad ΔU podle typu konstrukce

Nyní již můžeme vypočítat jednotlivá H_{T_i} podle vztahu (7). Všechny hodnoty k tomu potřebné jsem vypsál do přehledné Tab. 13.

A_i [m^2]	U_i [$W/(m^2.K)$]	b_i [-]	H_{T_i} [W/K]
1687,769	0,32	1	540,09
1090,015	1,75	0,4	763,01
656,56	1,75	0,65	746,84
1485,23	0,14	1	207,93
345,2405	1,3	1	448,81
Celkem			2706,67

Tab. 13 Tepelná ztráta HT

Abychom získali celkovou hodnotu H_T , musíme k výsledku z Tab. 13 přičíst ztrátu způsobenou vlivem tepelných mostů ΔU , jejíž hodnotu jsem zvolil 0,1 z Tab. 12 jakožto standardní řešení.

$$H_T = \sum H_{T_i} + \Delta U \cdot A = 2706,67 + 0,1 \cdot 5264,81 = 3233,15 [W/K] \quad (9)$$

Literatura

- [1] TZB-info : stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. Praha : Topinfo, 2001-2011 [cit. 2010-07-07]. Dostupný z WWW:< <http://www.tzb-info.cz/> >
- [2] Teplomir g. Cankt-Peterburg : Javljaecja postavščikom produkcii Grundfos nasosy [online]. Cankt-Peterburg, 2007 [cit. 2010-07-07]. Dostupný z WWW:< <http://www.teplomir-spb.ru/> >
- [3] ACADO Toolkit: A C++/Matlab Toolkit for Automatic Control and Dynamic Optimization [online]. Leuven : Boris Houska and Hans Joachim Ferreau, 2008-2010 [cit. 2010-12-20] Dostupný z WWW:< <http://acadotoolkit.org/>>
- [4] Energetika.cz : Vše, co chcete vědět o energii, ale bojíte se zeptat... [online]. Praha : EkoWATT, 2008 [cit. 2010-07-07]. Dostupný z WWW:< <http://energetika.cz/> >
- [5] Poliklinika Bioregena spol. s r.o. [online], Praha, 2008 [cit. 2010-12-30] Dostupný z WWW: <www.bioregena.cz>

- [6] RYŠKA J.: Prováděcí projekt vrtů pro tepelné čerpadlo, č. DPV – 047-02-03-2005. OKD, DPB, a.s.
- [7] CHMÚRNÝ I.: Tepelná ochrana budov, Jaga, Bratislava, 2003.
- [8] DUŠAN PETRÁŠ a kolektiv, Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie, Jaga, Bratislava, 2008
- [9] ŽERAVÍK A., Stavíme tepelné čerpadlo, Eltex, Přerov, 2003.
- [10] DEGRAUWE, D., VEHELST, C., LOGIST, F., VAN IMPE, J., HELSEN, L., 2010, Multi-objective optimal control of an air-to-water heat pump for residential heating, SSB Conference Proceedings, Liège, Belgium, December 13-15, 2010
- [11] MUDr. Zbyněk Mlčoch : osobní web [online]. Praha, 2003 - 2011 [cit. 2010-07-07]. Dostupný z WWW:< <http://www.zbynekmlcoch.cz/info/> >
- [12] Spotřeba energií objektu Bioregena. Interní materiál firmy ENERGOCENTRUM PLUS, s.r.o. [verze z 12.9.2010]
- [13] FERKL, L., ŠIROKÝ, J. Ceiling radiant cooling: Comparison of ARMAX and subspace identification modelling methods. Building and Environment, vol. 45, iss. 1, pp. 202-212. Elsevier, Oxford, Jan 2010.
- [14] UNDERWOOD, C. P. HVAC Control Systems – Modelling, Analysis and Design. E&FN SPON, London, 1999.

V třetím pokračování seriálu se budeme zabývat odhadem intenzity větrání a výpočtem tepelné ztráty větráním a také volbou tolerancí tepelných ztrát obálky budovy.

Ing. Alexander Ciller