ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

UCEEB

UNIVERZITNÍ CENTRUM ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH BUDOV

HODNOCENÍ ENERGETICKÝCH SYSTÉMŮ V BUDOVÁCH

Univerzitní centrum
energeticky efektivních budov ČVUT

2018

Tato akce byla realizována s dotací ze státního rozpočtu v rámci Státního programu na podporu úspor energie na období 2017-2021 – Program EFEKT 2 na rok 2017.

EFEKT energie efektivně

MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU

ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

UCEEB
UNIVERZITNÍ CENTRUM ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH BUDOV

ČVUT UCEEB zve na seminář

HODNOCENÍ ENERGETICKÝCH SYSTÉMŮ V BUDOVÁCH

dne 26. září 2018 od 9:30 do 15:30 hod.

Místo konání: Třinecká 1024, 273 43 Buštěhrad,
GPS 50°9'24,505''N 16°10'11,3''

V případě zájmu prosíme o potvrzení účasti na e-mail:
marketing@uceeb.cz

Využívání pokročilých energetických zdrojů a systémů v budovách s sebou přináší i rostoucí nároky na správné výpočtové vyhodnocení jejich přínosů ke snížení spotřeby energií v rámci ekonomické analýzy ve fázi projektu nebo pro úřední energetické hodnocení (průkaz energetické náročnosti budovy). Zvláště obnovitelné zdroje energie, jejichž výkon je výrazně proměnlivý během roku a závisí jak na klimatických podmínkách, tak na provozních podmínkách budovy, vyžadují specifický přístup k energetickému hodnocení. Zjednodušené normové přístupy mohou vést k velice zavádějícím výpočtům energetických ukazatelů, a tím ke špatně vyhodnoceným provozním nákladům a chybným rozhodnutím na straně investorů do technologií. Seminář ukáže podrobněji problematiku hodnocení energetických systémů se solárními termickými kolektory, tepelnými čerpadly a fotovoltaickými systémy na konkrétních příkladech. Představí také výpočtové nástroje a metody, které výpočtové hodnocení energetických systémů dostávají na úroveň reálných výsledků.

PROGRAM

9:30 – 10:00	registrace, úvod
10:00 – 10:30	Příklady špatné praxe *doc. Ing. T. Matuška, Ph.D.*
10:30 – 11:00	Klimatické údaje pro hodnocení budov a systémů – kde je vzít? *Ing. B. Šourek, Ph.D.*
11:00 – 11:30	Patří denostupňová metoda do sběru? *Ing. R. Vavřička, Ph.D.*
11:30 – 12:00	Energetické hodnocení solárních tepelných soustav *Ing. B. Šourek, Ph.D.*
12:00 – 12:45	Přestávka na občerstvení, oběd
12:45 – 13:15	Bilancování ročního provozu tepelných čerpadel *Ing. N. Pokorný*
13:15 – 13:45	Vliv časového kroku výpočtu na správnost výpočtu FV systému *doc. Ing. T. Matuška, Ph.D.*
13:45 – 14:15	Hodnocení energetických systémů pro tzv. nulové domy *Ing. J. Novotný*
14:15 – 14:30	Přestávka na kávu
14:30 – 15:30	Exkurze v laboratořích UCEEB ČVUT (solární kolektory, tepelná čerpadla, FV systémy)

EFEKT energie efektivně

MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU

Dílo bylo zpracováno za finanční podpory Státního programu na podporu úspor energie na období 2017 - 2021 – Program EFEKT 2 pro rok 2018.

Obsah

Hodnocení energetických systémů - příklady špatné praxe **4**

Klimatické údaje pro hodnocení budov a systémů – kde je vzít? **19**

Patří denostupňová metoda do sběru? **31**

Energetické hodnocení solárních tepelných soustav **43**

Bilancování ročního provozu tepelných čerpadel **55**

Vliv časového kroku výpočtu na správnost výpočtu fv systému **72**

Hodnocení energetických systémů pro tzv. nulové domy **82**

HODNOCENÍ ENERGETICKÝCH SYSTÉMŮ

PŘÍKLADY ŠPATNÉ PRAXE

Tomáš Matuška

UCEEB, České vysoké učení technické v Praze

MOTIVACE SEMINÁŘE

- **zavádějící informace na internetu či v médiích**
  - nereálné bilance, návratnosti systémů s OZE
  - nulové, plusové, aktivní budovy
- **soudní spory o výsledky**
  - příslib úspor, které nenastaly
  - smluvně vázané (?)

MOTIVACE SEMINÁŘE

- **snižování energetické náročnosti budov**
  - lze bilancovat budovy počítat stále stejnými metodami?
  - máme pro ně vůbec vhodné klimatické údaje?

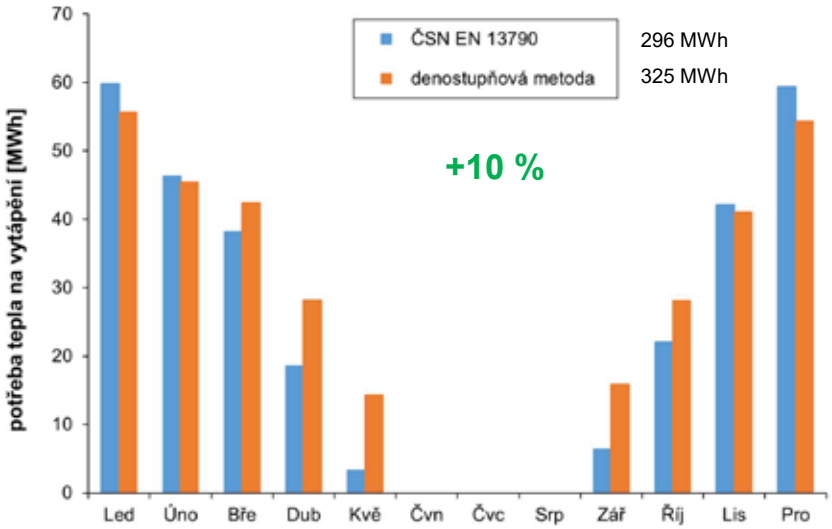
- **využívání OZE**
  - umíme je bilancovat?
  - je nutné používat simulace nebo postačují zjednodušené postupy?
  - je nějak výsledek závislý na časovém kroku výpočtu? (měnící se počasí)

DENOSTUPŇOVÁ METODA

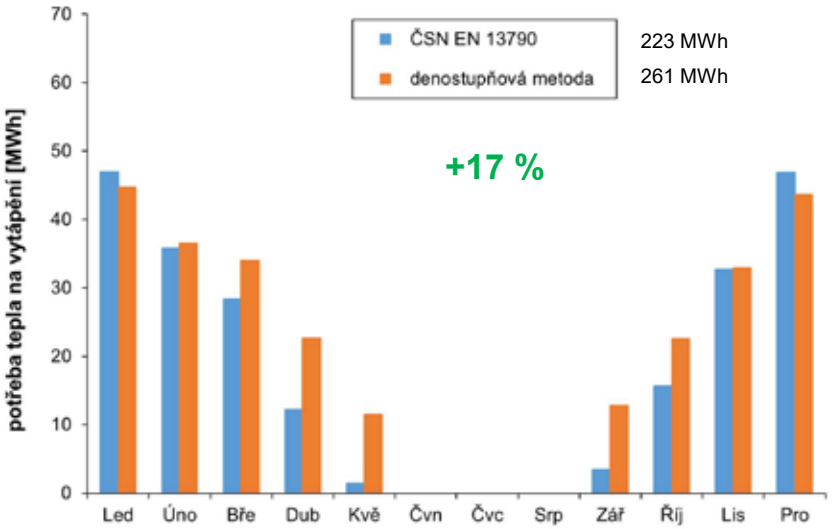
- **rychlá metoda pro výpočet potřeby tepla na vytápění**
  - relativně spolehlivé výsledky pro staré domy
  - nezohledňuje solární zisky, vnitřní zisky
  - se stupněm zateplení proto klesá její použitelnost

- **nelze ji používat na úřední hodnocení**
  - je nutné používat podrobnou metodu ČSN EN ISO 13790 !
  - nicméně pro její jednoduchost se s ní stále v praxi setkáváme

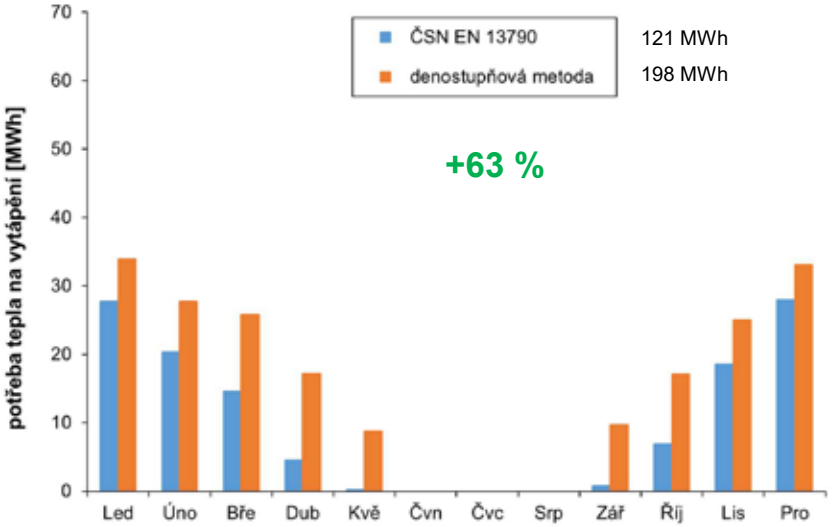
BYTOVÝ DŮM
POŽADAVKY 1979



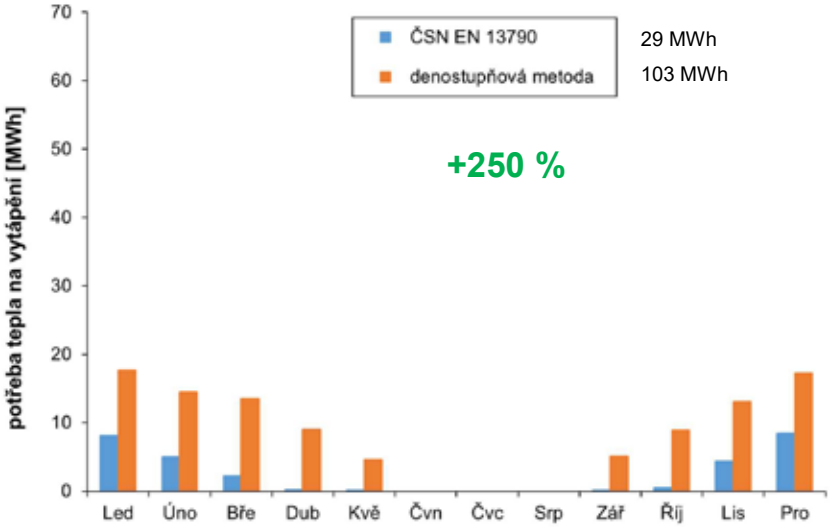
BYTOVÝ DŮM
POŽADAVKY 1994



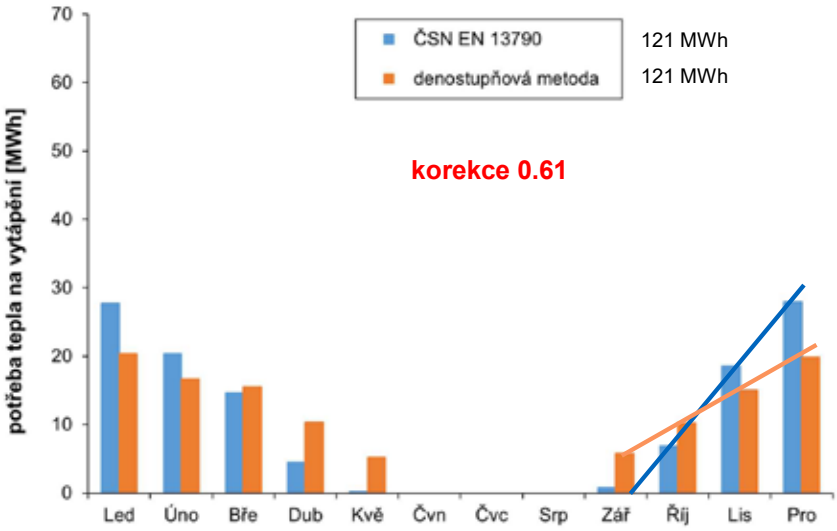
BYTOVÝ DŮM
POŽADAVKY 2011



BYTOVÝ DŮM
POŽADAVKY PASIVNÍ DŮM



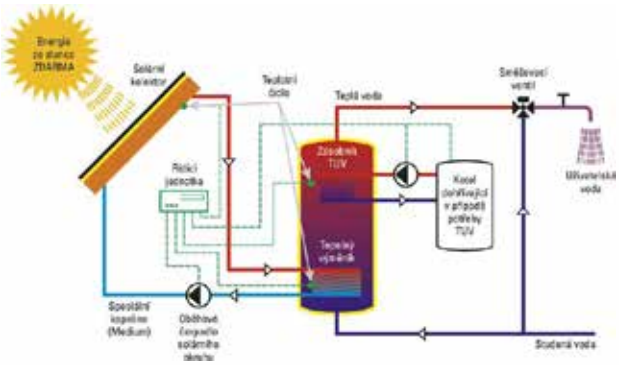
BYTOVÝ DŮM
POŽADAVKY 2011



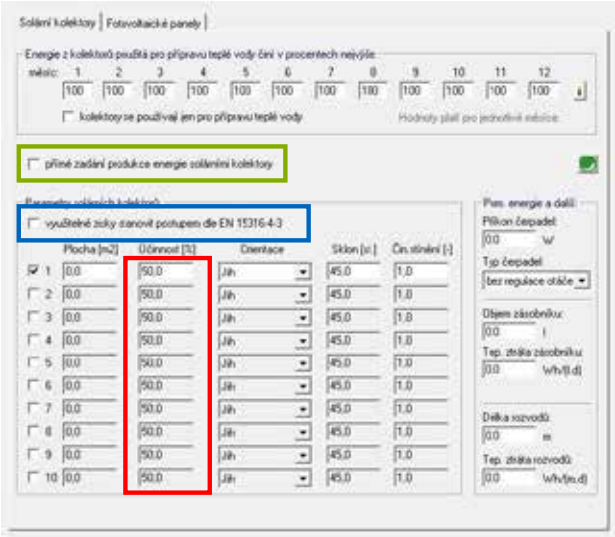
Patří denostupňová metoda do sběru?

Roman Vavřička,
Fakulta strojní, ČVUT v Praze

SOLÁRNÍ SYSTÉMY PRO OHŘEV VODY



RŮZNÉ PŘÍSTUPY K HODNOCENÍ PŘÍNOSŮ



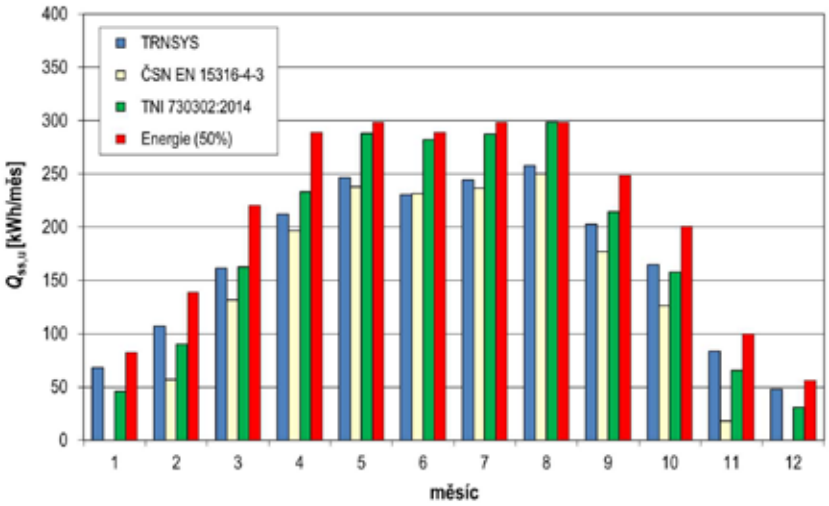
RŮZNÉ PŘÍSTUPY V HODNOCENÍ SYSTÉMŮ

- **konstantní účinnost**
  - bez jakékoli znalosti solární soustavy
- **TNI 73 0302**
  - znalost pouze hlavních parametrů kolektoru η_0, a_1, a_2, A_k
- **ČSN EN 15316-4-3**
  - hlavní parametry kolektoru, *IAM*, objem zásobníku, měrný výkon výměníku, měrná ztráta kolektorového okruhu
- **simulace v TRNSYS**
  - dtto, průtok nemrznoucí kapaliny kolektorem, nastavení regulace, průměr a délka trubek, tloušťky izolací, ...

SOLÁRNÍ SOUSTAVA – PŘÍKLAD

- **potřeba tepla**
  - rodinný dům, 160 l/den z 10 °C na 55 °C, 3515 kWh/rok
- **solární systém**
  - jih, sklon 45°
  - kolektor: η_0 = 0.759, a_1 = 3.48 W/m^{2}K, a_2 = 0.0161 W/m^{2}K^2 *IAM* = 0.93
  - zásobník: objem 240 l, tl. izolace 50 mm
  - potrubí: délka 40 m, průměr 18 mm, tl. izolace = 19 mm
  - průtok 240 l/h, nemrznoucí směs
  - ΔT_{off} = 8 K, ΔT_{off} = 2 K

PŘÍKLAD POROVNÁNÍ METOD



PŘÍKLAD POROVNÁNÍ METOD

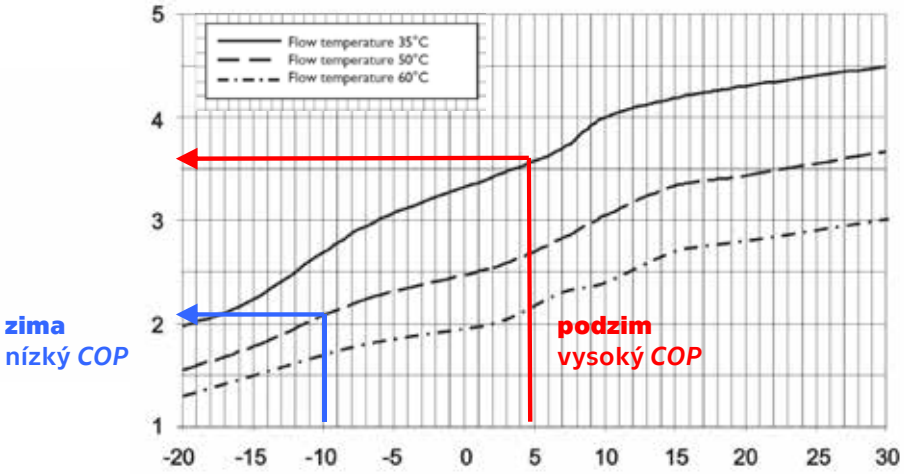
Metoda	$Q_{ss,u}$ [kWh/rok]	$q_{ss,u}$ [kWh/m².rok]	f [%]	rozdíl [%]
TRNSYS	2027	422	58	-
EN 15316-4-3	1663	346	47	-18
TNI 73 0302	2156	449	61	+6
Energie (50%)	2521	525	72	+24

Energetické hodnocení solárních tepelných soustav

Bořivoj Šourek,
UCEEB, ČVUT v Praze

TEPELNÁ ČERPADLA

- **provoz je závislý na klimatických podmínkách**



PŘÍKLAD

- **vytápění**
  - 160 m^2, tepelná ztráta 6,0 kW (-12 °C)
  - potřeba tepla na vytápění **6 500 kWh/rok**

- **teplá voda**
  - 4 osoby, 40 l/os.den, tepelné ztráty 15 %
  - teplota teplé vody 55 °C, teplota studené vody 10 °C
  - potřeba tepla na ohřev vody **3 500 kWh/rok**

PŘÍKLAD

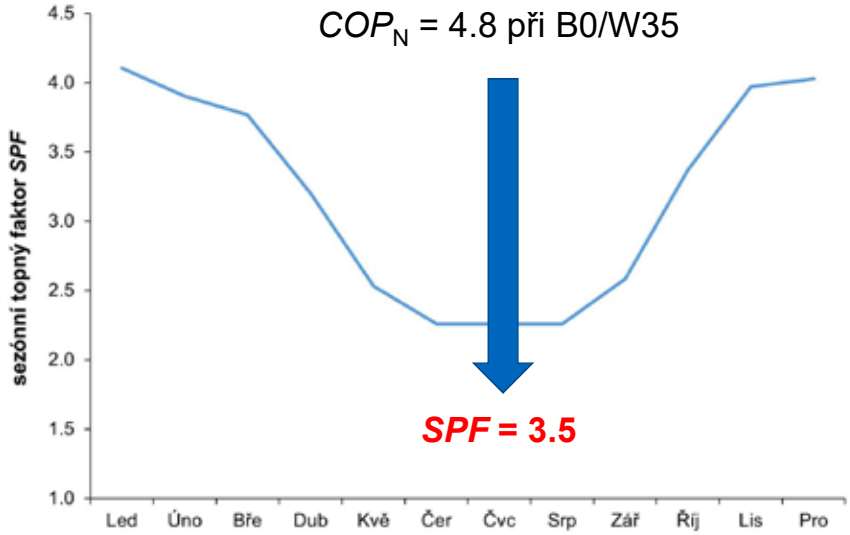
- **tepelné čerpadlo země-voda**
  - nominální topný faktor B0 / W35

***COP* = 4.8**

  - otopná soustava 35/30 °C

	Topný výkon				Příkon				Topný faktor			
WQA [°C]	35 °C [kW]	45 °C [kW]	55 °C [kW]	60 °C [kW]	35 °C [kW]	45 °C [kW]	55 °C [kW]	60 °C [kW]	35 °C	45 °C	55 °C	60 °C
-5	5,07	4,87	4,61	4,39	1,22	1,54	1,96	2,19	4,16	3,15	2,38	2,00
0	5,80	5,54	5,28	4,98	1,21	1,54	1,96	2,19	4,80	3,61	2,73	2,26
5	6,60	6,32	5,95	5,66	1,23	1,52	1,94	2,18	5,35	4,18	3,06	2,60
10	7,40	7,11	6,65	6,38	1,25	1,53	1,98	2,23	5,90	4,66	3,39	2,87
15	8,20	7,91	7,49	7,06	1,27	1,53	1,97	2,24	6,45	5,18	3,80	3,15
20	9,00	8,84	8,37	7,93	1,29	1,54	2,00	2,26	7,00	5,76	4,19	3,50

PŘÍKLAD



Bilancování ročního provozu tepelných čerpadel

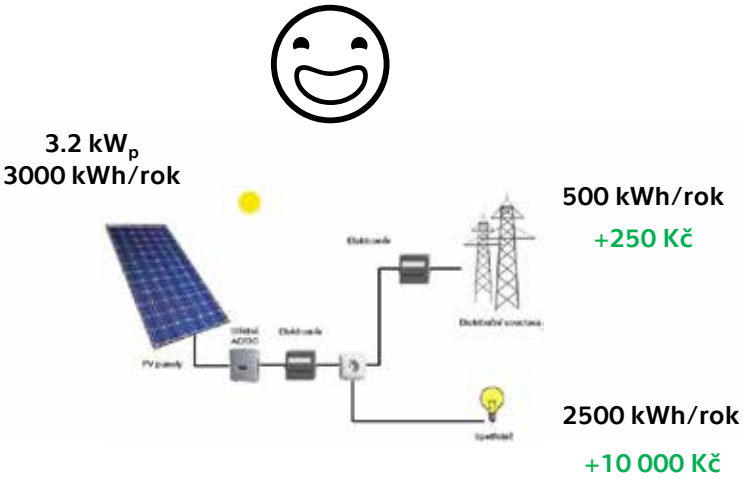
Nikola Pokorný,
UCEEB, ČVUT v Praze

FOTOVOLTAIKA

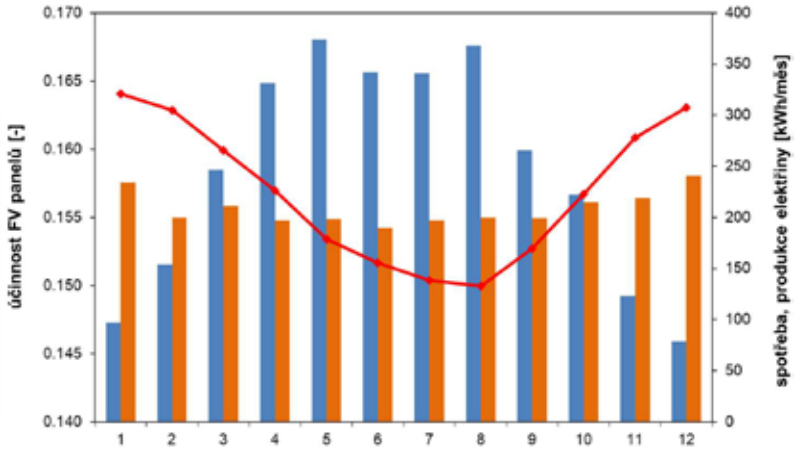
- **jednoduchá na bilanci produkce**
  - účinnost se mění mírně s teplotou, s úhlem dopadu, ...
  - ztráty (kabeláž, měnič, ...)
  - často lze zanedbat použitím „činitele výkonu“ (EN 15316-4-6)
  - roční produkce $= 0.8 \times \eta_{ref} \times H_T \times A_{FV}$

    $= 0.8 \times P_{pk} \times H_T$

PŘÍKLAD

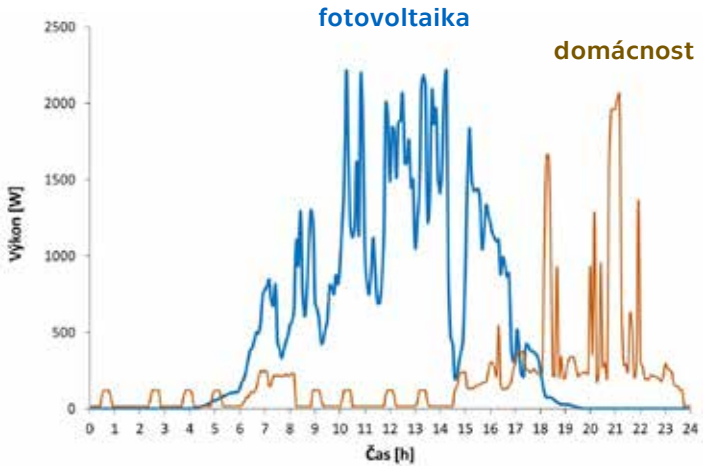


PŘÍKLAD



solární pokrytí 82 %

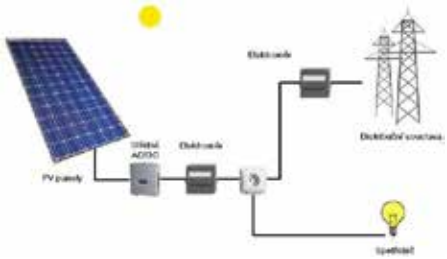
PŘÍKLAD



solární pokrytí 20 %

PŘÍKLAD

3.2 kW_p
3000 kWh/rok



2500 kWh/rok
+1250 Kč

500 kWh/rok
+2 000 Kč

Vliv časového kroku na správnost výpočtu FV systému

Jiří Novotný,
UCEEB, ČVUT v Praze

Hodnocení energetických systémů pro nulové budovy

Tomáš Matuška,
UCEEB, ČVUT v Praze

ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

UCEEB
UNIVERZITNÍ CENTRUM ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH BUDOV

KLIMATICKÉ ÚDAJE PRO HODNOCENÍ BUDOV A SYSTÉMŮ – KDE JE VZÍT?

Bořivoj Šourek

ČVUT, UCEEB

K ČEMU JSOU KLIMATICKÁ DATA

- VYPOVÍDAJÍ O KLIMATU V DANÉ LOKALITĚ
  - teplotní charakteristiky
  - vlhkostní charakteristiky
  - srážkové poměry
    - dešťové i sněhové
  - sluneční svit a oblačnost
  - vítr
    - směr a rychlost

KDE JE VZÍT - ZDROJE

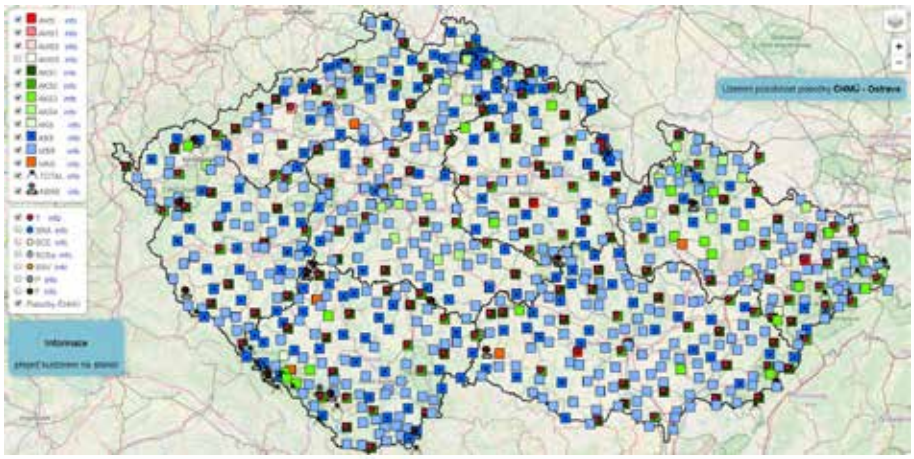
- TNI 73 0331
- Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ)
- Denostupně
- PVGIS
- METEONORM
- Tabulky – teoretický výpočet pro typické oblasti, korekce poměrnou dobou slunečního svitu
- ... a určitě spousta dalších

TNI 730331

- vytvoření jednotného rámce pro energetické bilance obytných budov (a nejen jich)
  - dávka měsíčního slunečního ozáření *H* [(kWh.m^{-2})/měsíc]
    - pro plochy se sklony 0° - 90° a orientací 0° - 180° (symetrické údaje pro východ a západ)
  - teplota vzduchu [°C]
  - tlak vodní páry [hPa]
  - relativní vlhkost [%]
  - absolutní vlhkost [g/m^3]
- jednotná data pro celou ČR – jeto dobře? nebo špatně?

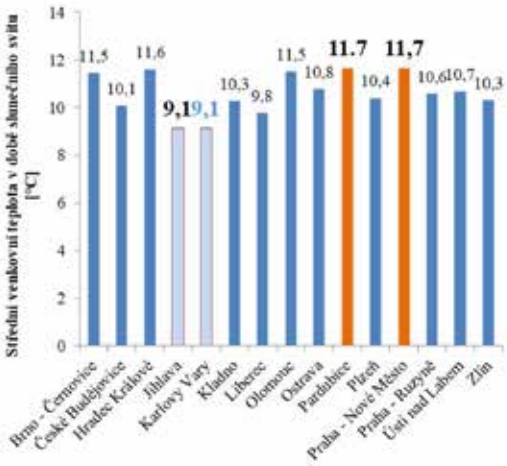
ČHMÚ

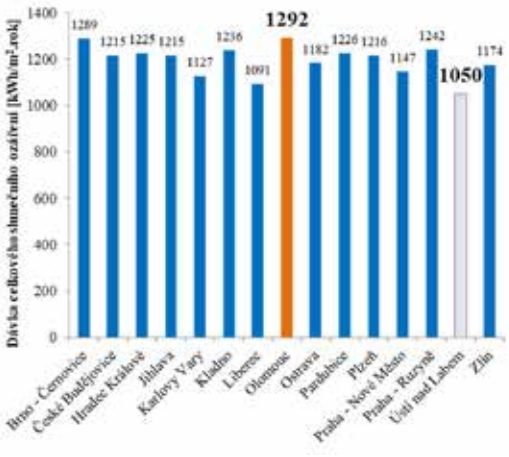
- ČHMÚ má síť meteorologických stanic



http://www.chmi.cz

ČHMÚ





ČHMÚ

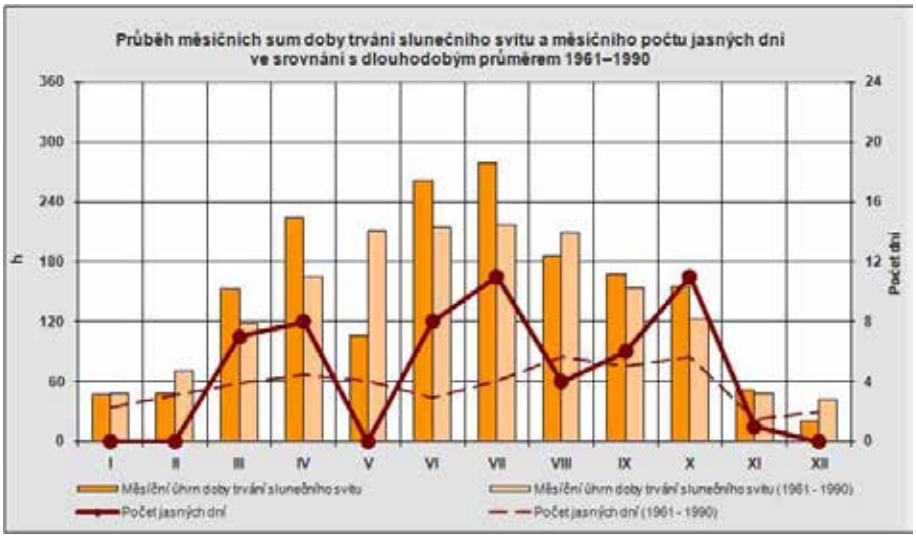
- je možné zakoupit referenční klimatický rok pro libovolnou lokalitu v ČR (1500,- Kč)
- referenční klimatický rok (RKR) – hodinová data pro statisticky průměrný rok v souladu s EN ISO 15927-4
- je možné získat i hodinová data z reálného roku (mnohem dražší)

ČHMÚ

- od 07/2018

veřejně a zdarma

denní průměry



METEONORM

- **Meteonorm – aplikace společnosti Meteotest - komplexní meteorologická reference s katalogem meteorologických údajů, http://www.meteonorm.com**
- **databáze klimatických údajů**

klimatické údaje z více než **8055** meteorologických stanic

celkové sluneční ozáření doba trvání slunečního svitu	**1981-2000**
teplota vlhkost srážky rychlost a směr větru	**1961-1990, 1996-2005**

měsíční údaje (denní průměry, měsíční úhrny, ...)

METEONORM

zdroj: Meteotest

METEONORM - METODA

- **prostorová interpolace** měsíčních průměrů slunečního ozáření na *vodorovnou rovinu*

  podle typu klimatické oblasti, nadmořské výšky, topografie, aj.

- **generátor hodinových klimatických údajů**

  výpočet hodinových údajů celkového slunečního ozáření na *vodorovnou rovinu* s měsíčními průměry = desetiletým průměrům

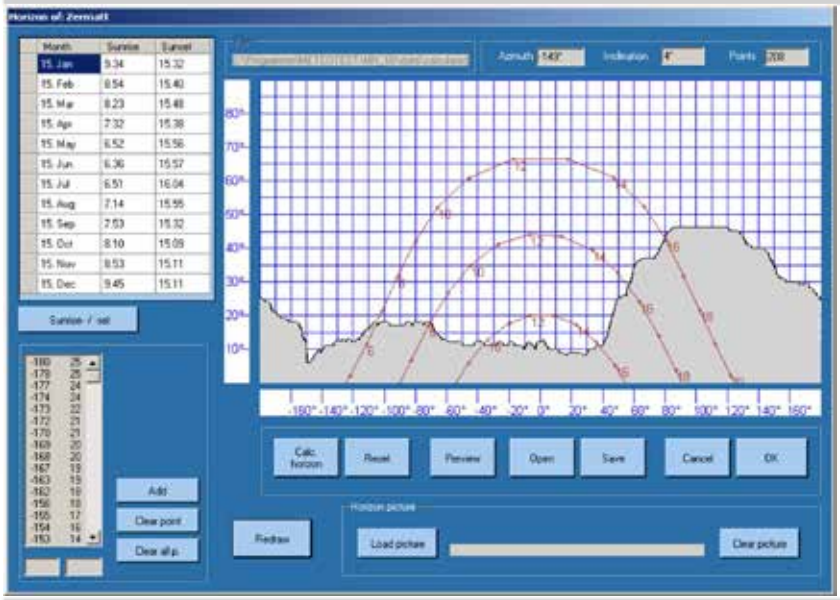
- **rozpočet** celkového slunečního ozáření na přímou a difúzní složku pro *vodorovnou rovinu*

- **výpočet** celkového slunečního ozáření *na obecnou plochu*, zohlednění zadaného místního profilu obzoru

METEONORM - VÝSTUPY

zdroj: Meteotest

METEONORM - VÝSTUPY



zdroj: Meteotest

METEONORM - VÝSTUPY

- **hodinové klimatické údaje**

  pro zadané podmínky

  36 formátů pro různé simulační programy

  TMY, TRY, DRY

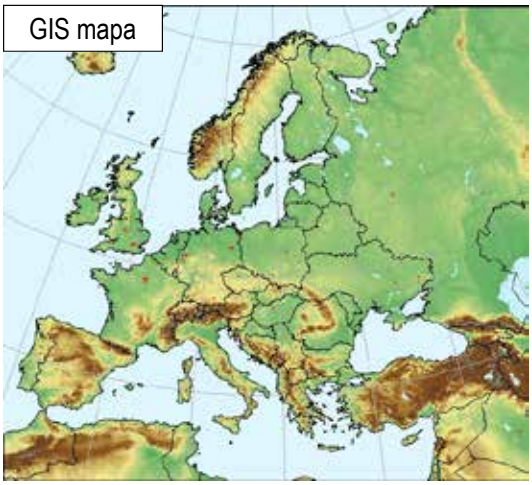
  programy TRNSYS, DOE, T-SOL, POLYSUN

PVGIS

- **PVGIS** – Photovoltaic Geographical Information System - aplikace Joint Research Centre EC, původně pouze pro FV - http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis
- **model terénu** - digitální model U.S. Geological Survey, Shuttle Radar Topography Mission (nadmořská výška, profil terénu)
- **klimatické údaje**
  - nevyužívá satelitních měření (!)
  - 566 evropských pozemních
  - meteorologických stanic
  - reálné změřené klimatické
  - údaje - úhrny

PVGIS

- **průměrné měsíční údaje**
  - denní dávka slunečního ozáření na zadanou plochu
  - venkovní teplota
  - teplota v době slunečního svitu
- **na základě vlastností terénu**
  - nadmořská výška
  - stínění reliéfem krajiny
- **v rozlišení 1 km²**

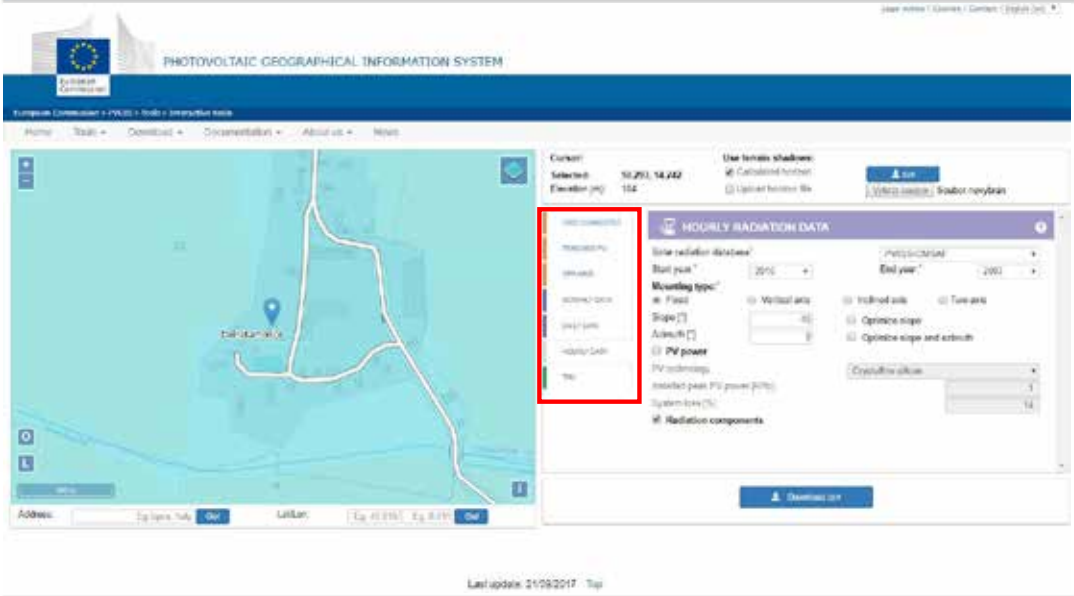


PVGIS

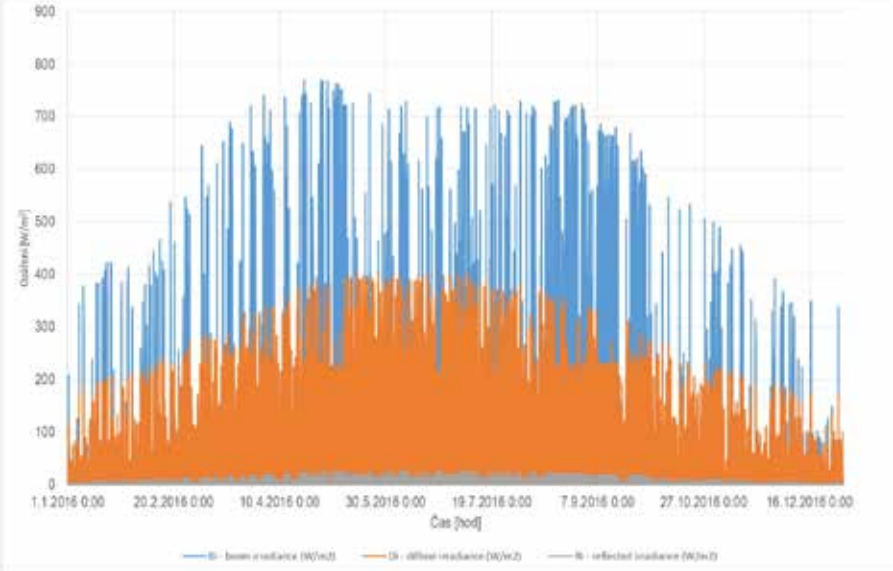
- **teoretický výpočet** slunečního ozáření pro **jasnou oblohu** na *vodorovnou plochu* pro nadmořskou výšku a danou atmosféru
- **výpočet** celkového slunečního ozáření na vodorovnou rovinu pro **reálnou oblačnost** na *vodorovnou plochu* na základě **indexu jasné oblohy** (poměr reálná / jasná obloha; měsíční průměry z meteostanic, **interpolace do rastru GIS**)
- **výpočet** celkového slunečního ozáření na obecnou rovinu pro **reálnou oblačnost** na *obecnou plochu*

  rozpočet celkové dávky na přímou a difúzní, přepočet na obecnou plochu, odrazivost terénu 15 %

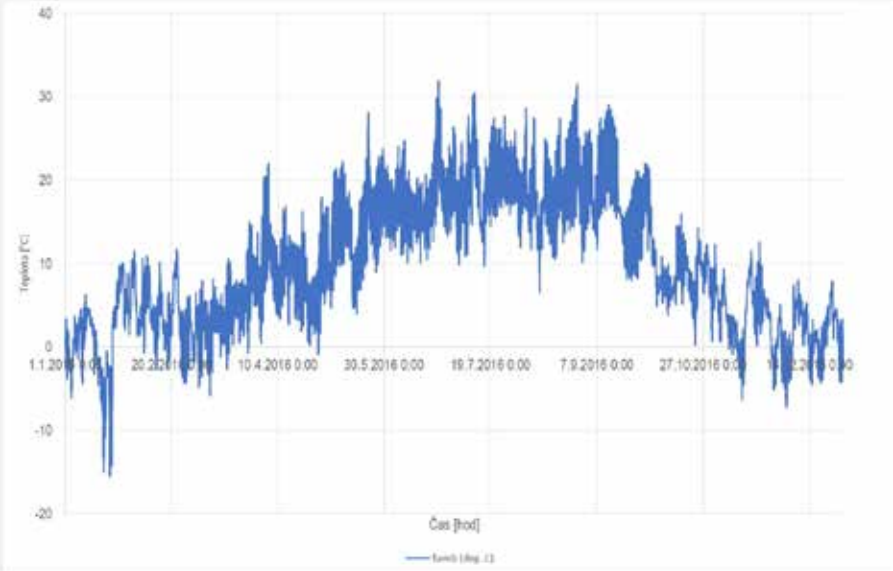
PVGIS – WEBOVÁ APLIKACE



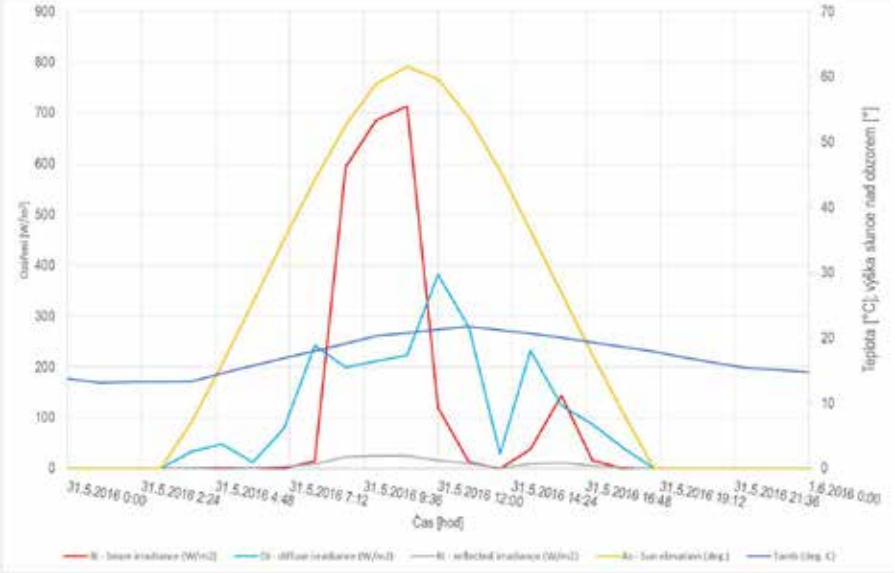
PVGIS - VÝSTUPY



PVGIS - VÝSTUPY



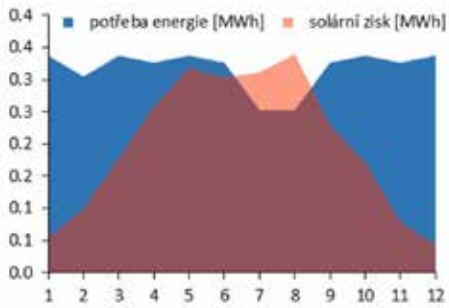
PVGIS - DETAIL



VLIV METEOROLOGICKÝCH DAT NA BILANCOVÁNÍ

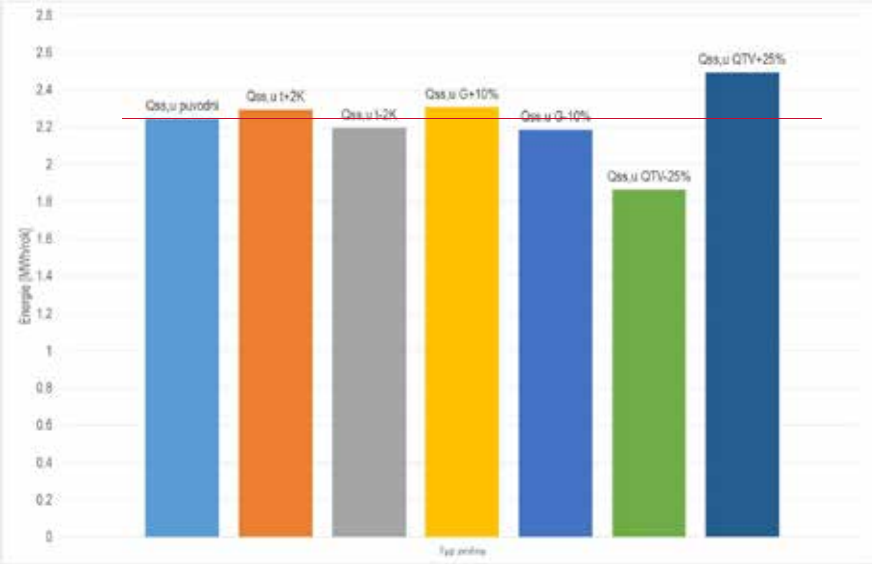
- Solární soustava pro přípravu TV
  - 4 osoby – 160 l/den
  - 2 kolektory

Měsíc	t_{es} °C	G_m W/m²	H_T kWh/m²	η_k -	Q_p MWh	$Q_{k,u}$ MWh	Q_{ssu} MWh
Led	1.8	418	36	0.44	0.34	0.05	0.05
Úno	2.7	489	57	0.50	0.30	0.10	0.10
Bře	6.3	535	93	0.55	0.34	0.18	0.18
Dub	10.7	527	127	0.58	0.33	0.26	0.26
Kvě	16.0	521	147	0.62	0.34	0.32	0.32
Čer	18.6	517	136	0.64	0.33	0.30	0.30
Čvc	20.5	512	137	0.65	0.25	0.31	0.25
Srp	21.1	515	148	0.66	0.25	0.34	0.25
Zář	17.1	516	105	0.63	0.33	0.23	0.23
Říj	11.7	488	86	0.58	0.34	0.17	0.17
Lis	6.4	427	46	0.50	0.33	0.08	0.08
Pro	3.6	387	29	0.44	0.34	0.04	0.04
Celkem			**1147**		**3.80**		**2.24**



VLIV METEODAT VS. ZMĚNA SPOTŘEBY TEPLA

- Solární soustavy



VLIV METEODAT – KAM BY SE MOHLA POSUNOUT?

Veličina	Jednotka	1960-1990	2020-2050	2070-2100
Průměrná roční teplota venkovního vzduchu	[°C]	9,3	10,3	12,1
Průměrná roční maximální teplota venkovního vzduchu	[°C]	32,9	33,6	37,0
Průměrná roční minimální teplota venkovního vzduchu	[°C]	-14,9	-10,5	-6,3
Průměrná roční relativní vlhkost vzduchu	[%]	74	74	74
Průměrná roční koncentrace vodní páry	[g/m^3]	8,1	8,7	9,8
Roční dávka globálního solární ozáření na horizontální rovinu	[kWh/(m^{2}rok)]	1031	1004	987
Průměrný počet mrazových dnů	[dny/rok]	74	59	33
Průměrný počet tropických dnů	[dny/rok]	6	8	20
Průměrný počet tropických nocí	[dny/rok]	1	1	8

- čeká nás pravděpodobně:
  - teplejší a vlhčí venkovní vzduch
  - Snížení dopadajícího slunečního záření
  - Zvýšení ročního úhrnu srážek
  - Nárůst počtu velmi teplých dnů
  - Pokles počtu studených dnů

PATŘÍ DENOSTUPŇOVÁ METODA DO SBĚRU?

Roman Vavřička **Energetické systémy budov, UCEEB**

Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní

DENOSTUPŇOVÁ METODA

$$Q_{VYT,teor} = 24 \cdot 3600 \cdot \Phi_c \cdot \frac{d \cdot (t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_{ev})} \cdot e_i \cdot e_t \cdot e_d$$

kde

$Q_{VYT,teor}$	teoretická potřeba tepla na vytápění [J],
Φ_c	celková tepelná ztráta objektu [W],
d	počet dnů otopného období [dny],
t_{is}	průměrná vnitřní teplota objektu [°C],
t_{es}	průměrná venkovní teplota za otopné období [°C],
t_{ev}	oblastní venkovní výpočtová teplota [°C],
e_i	opravný součinitel vyjadřující vliv nesoučasnosti přirážek [-],
e_t	opravný součinitel na snížení vnitřní teploty při přerušení vytápění [-],
e_d	opravný součinitel na zkrácení doby provozu otopné soustavy při přerušovaném vytápění [-].

DENOSTUPŇOVÁ METODA

Okrajové podmínky výpočtu

1. Stanovení střední teploty vzduchu v interiéru

$$t_{is} = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{n} V_i}$$

kde

t_{is} – průměrná vnitřní teplota objektu [°C]

V_i – objem i-té místnosti [m^3]

t_i – vnitřní teplota i-té místnosti [°C]

DENOSTUPŇOVÁ METODA

Okrajové podmínky výpočtu

2. Opravné součinitele při přerušení vytápění

Opravný součinitel vyjadřující vliv nesoučasnosti přirážek pro výpočet tepelných ztrát objektu e_i [-]

$$e_i = \frac{Q_p}{Q_c}$$

kde

Q_P základní tepelná ztráta prostupem [W]

Q_c celková tepelná ztráta objektu [W]

Obvykle je e_i = od 0,6 (rodinné domy) do 0,9 (bytové domy, školy).

DENOSTUPŇOVÁ METODA

Okrajové podmínky výpočtu

2. Opravné součinitele při přerušení vytápění

$$e_t \cdot e_d = \frac{t_{i,snížená} - t_{es}}{t_{is} - t_{es}} \cdot \frac{d'}{d}$$

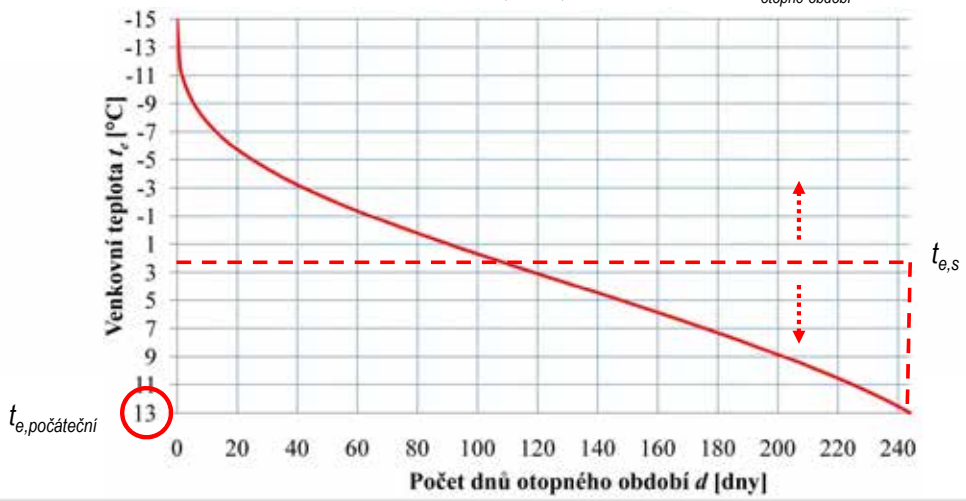
e_t - opravný součinitel na snížení vnitřní teploty
nemocnice => e_t = 1,0
obytné budovy s nepřerušovaným vytápěním => e_t = 0,95
obytné budovy s nočním přerušením vytápění => e_t = 0,9
správní budovy => e_t = od 0,65 (využití budovy 6 h/den) do 0,90 (využití budovy 16 h/den)
školy => e_t = od 0,80 (s polodenním vyučováním) do 0,85 (s celodenním vyučováním)

e_d - opravný součinitel na zkrácení doby provozu otopné soustavy
školy e_t = 0,7 ; budovy s jednodenním klidem e_t = 0,8; budovy s dvoudenním klidem e_t = 0,9; trvale vytápěné budovy e_t = 1,0

KŘIVKA TRVÁNÍ VENKOVNÍCH TEPLOT

Křivka trvání venkovních teplot

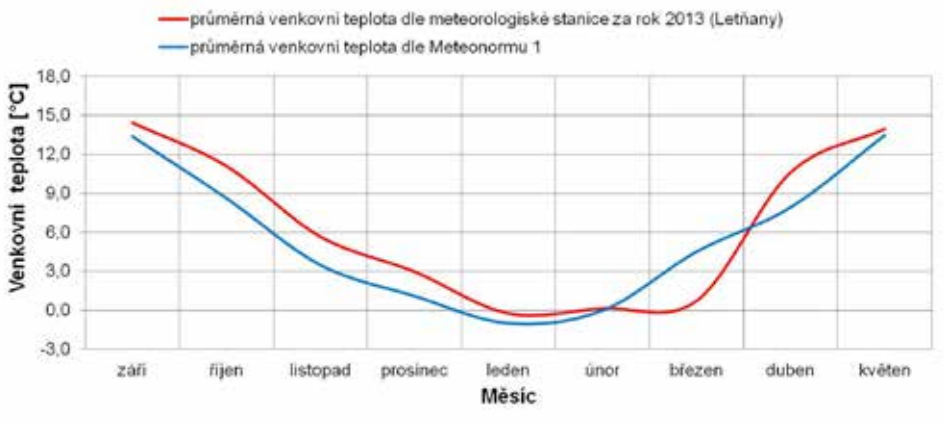
$$t_e = t_{e,počáteční} + \left[\vartheta \cdot (t_{ev} - t_{e,počáteční})\right] \qquad \vartheta = (1-\nu)^{0,985 \cdot \nu^{-0,626}} \qquad \nu = \frac{d_{počet\ dnů}}{d_{otopné\ období}}$$



DENOSTUPŇOVÁ METODA

Okrajové podmínky výpočtu

3. Jak do výpočtu zahrnu solární a vnitřní tepelné zisky?



DENOSTUPŇOVÁ METODA

Okrajové podmínky výpočtu

3. Jak do výpočtu zahrnu solární a vnitřní tepelné zisky?

DENOSTUPŇOVÁ METODA

Okrajové podmínky výpočtu

4. Jakým způsobem zahrnu tepelnou ztrátu větráním u budov s přirozenou výměnou vzduchu?

S měnící se teplotou venkovního vzduchu se mění chování uživatele.

Hodnoty v tabulce odpovídají průměrné intenzitě větrání $n_{průměr}$ = 0,28 h^{-1}.

t_e [°C]		n [1/h]
od	do	
-12	-10	0,04
-10	-8	0,04
-8	-6	0,04
-6	-4	0,04
-4	-2	0,15
-2	0	0,15
0	2	0,20
2	4	0,30
4	6	0,40
6	8	0,50
8	10	0,60
10	12	0,60
12	14	0,60

ČSN EN ISO 13 790

Od 1.4.2018 platí nová norma ČSN EN ISO 52016-1 (zatím pouze v angličtině)

Standardní výpočet dle ČSN EN ISO 13 790:
- měsíční časový krok
- stanovení vnitřních a vnějších tepelných zisků

Měsíc	Počet dnů	Počet hod	Střední venkovní teplota	Měrný tepelný tok prostupem celé budovy	Potřeba tepla prostupem	Měrný tepelný tok větráním celé budovy	Potřeba tepla větráním	Celková potřeba tepla	Vnitřní tepelné zisky	Solární tepelné zisky	Celkové tepelné zisky	Bilanční poměr pro režim vytápění	Faktor využitelnosti tep. zisků pro vytápění	Redukční faktor na přerušené vytápění	Potřeba tepla
	n	n_{hod}	t_{ep}	H_T	$Q_{H,tr}$	H_V	$Q_{H,ve}$	$Q_{H,ht}$	$Q_{H,int}$	$Q_{H,sol}$	$Q_{H,gn}$	γ_H	$\eta_{H,gn}$	$a_{H,red}$	$Q_{H,nd}$
	[den]	[hod]	[°C]	[W.K^{-1}]	[kWh]	[W.K^{-1}]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[-]	[kWh]
Leden	31	744	-1	VYPOČTENO DLE ČSN EN 12 831		VYPOČTENO DLE ČSN EN 12 831									
Únor	28	672	1												
Březen	31	744	4												
Duben	30	720	9												
Květen	31	744	14,6												
Červen	30	720	17												
Červenec	31	744	18,2												
Srpen	31	744	18,8												
Září	30	720	13,8												
Říjen	31	744	9,4												
Listopad	30	720	4												
Prosinec	31	744	-0,5												

PŘÍKLADY VÝPOČTU POTŘEBY TEPLA

Označení	Počet bytů	Počet obyvatel	Rok výstavby / Stav objektu
Dům A	180	540	90. léta – po zateplení
Dům B	19	57	2012 - novostavba
Dům C	105	328	90. léta - původní stav
Dům D	33 (vchod)	110	1984 (90. léta) - po zateplení

Dům A

Dům C

Dům B

Dům D

PŘÍKLADY VÝPOČTU POTŘEBY TEPLA

Bytové domy s přirozeným způsobem větrání:

Bilance potřeby tepla na vytápění – STANDARDNÍ VÝPOČET

- denostupňovou metodou
- ČSN EN ISO 13 790 – standardní měsíční krok výpočtu

Spotřeba tepla na VYT za rok 2013

Budova	Naměřená spotřeba tepla na VYT [GJ]	Vypočtená spotřeba tepla na VYT standardním postupem	
		Denostup. metoda [GJ]	ČSN EN ISO 13 790 [GJ]
A	2250	5127 (228 %)	3133 (139 %)
B	289	606 (210 %)	467 (162 %)
C	2435	4390 (180 %)	3060 (126 %)
D	280	691 (305 %)	466 (206 %)

Původní nezateplená budova

PŘÍKLADY VÝPOČTU POTŘEBY TEPLA

Bytové domy s přirozeným způsobem větrání:

Bilance potřeby tepla na vytápění – ANALYTICKÝ MODEL (n = 0,5 h^{-1}) – M1

- ČSN EN ISO 13 790 – krok výpočtu 24 hodin

- Výpočet MS Excel
- Časový krok – 24 hodin
- Venkovní teploty – vstupní údaje ze softwaru METEONORM

PŘÍKLADY VÝPOČTU POTŘEBY TEPLA

Bytové domy s přirozeným způsobem větrání:

Bilance potřeby tepla na vytápění – ANALYTICKÝ MODEL (n = 0,5 h^{-1}) – M1

- ČSN EN ISO 13 790 – krok výpočtu 24 hodin

Spotřeba tepla na VYT za rok 2013

Budova	Naměřená spotřeba tepla na VYT [GJ]	Vypočtená spotřeba tepla na VYT - model M1 [GJ]
A	2250	2978 (132 %)
B	289	384 (133 %)
C	2435	2877 (118 %)
D	280	361 (129 %)

PŘÍKLADY VÝPOČTU POTŘEBY TEPLA

Bytové domy s přirozeným způsobem větrání:

Bilance potřeby tepla na vytápění – ANALYTICKÝ MODEL, MODEL VĚTRÁNÍ – M2

- ČSN EN ISO 13 790 – krok výpočtu 24 hodin

- Výpočet MS Excel
- Časový krok – 24 hodin
- Venkovní teploty – vstupní údaje ze softwaru METEONORM

t_e [°C]		n [1/h]
od	do	
-12	-10	0,04
-10	-8	0,04
-8	-6	0,04
-6	-4	0,04
-4	-2	0,15
-2	0	0,15
0	2	0,20
2	4	0,30
4	6	0,40
6	8	0,50
8	10	0,60
10	12	0,60
12	14	0,60

PŘÍKLADY VÝPOČTU POTŘEBY TEPLA

Bytové domy s přirozeným způsobem větrání:

Bilance potřeby tepla na vytápění – ANALYTICKÝ MODEL , MODEL VĚTRÁNÍ – M2

- ČSN EN ISO 13 790 – krok výpočtu 24 hodin

Spotřeba tepla na VYT za rok 2013

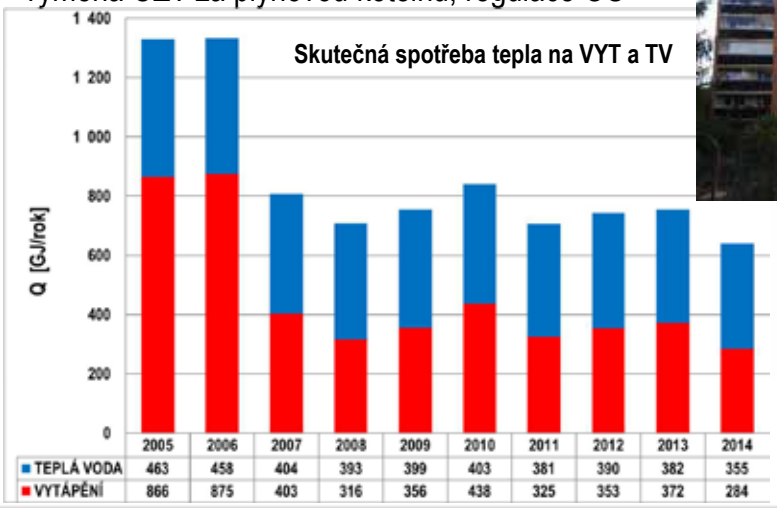
Budova	Naměřená spotřeba tepla na VYT [GJ]	Vypočtená spotřeba tepla na VYT model M2 [GJ]
A	2250	2321 (103 %)
B	289	335 (116 %)
C	2435	2505 (103 %)
D	280	268 (96 %)

PŘÍKLADY VÝPOČTU POTŘEBY TEPLA

Bytový dům – 60 bytů, cca 100 osob, rekonstrukce obvodového pláště, výměna CZT za plynovou kotelnu, regulace OS

PŘÍKLADY VÝPOČTU POTŘEBY TEPLA

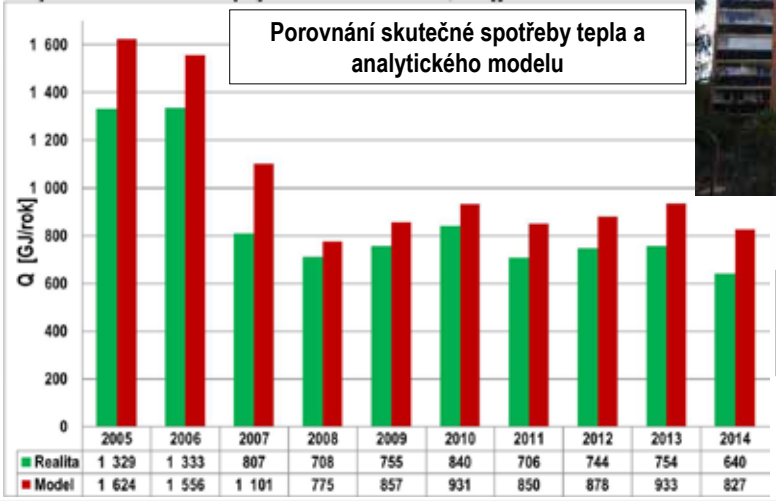
Bytový dům – 60 bytů, cca 100 osob, rekonstrukce obvodového pláště, výměna CZT za plynovou kotelnu, regulace OS



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
TEPLÁ VODA	463	458	404	393	399	403	381	390	382	355
VYTÁPĚNÍ	866	875	403	316	356	438	325	353	372	284

PŘÍKLADY VÝPOČTU POTŘEBY TEPLA

Bytový dům – 60 bytů, cca 100 osob, rekonstrukce obvodového pláště, výměna CZT za plynovou kotelnu, regulace OS



Průměrná odchylka analytického modelu +15 %

PŘÍKLADY VÝPOČTU POTŘEBY TEPLA

Bytové domy s přirozeným způsobem větrání:

Bilance potřeby tepla na vytápění – STANDARDNÍ VÝPOČET
- denostupňovou metodou
- ČSN EN ISO 13 790 – standartní měsíční krok výpočtu

Spotřeba tepla na VYT za rok 2013

Budova	Naměřená spotřeba tepla na VYT [GJ]	Vypočtená spotřeba tepla na VYT standardním postupem	
		Denostup. metoda [GJ]	ČSN EN ISO 13 790 [GJ]
A	2250	5127 (228 %)	2321 (139 %)

Dům A

PŘÍKLADY VÝPOČTU POTŘEBY TEPLA

Bilance potřeby tepla na vytápění – **STANDARDTNÍ VÝPOČET**

Spotřeba tepla na VYT za rok 2013 – vypočtené hodnoty v měsíčních hodnotách

Měsíc	Spotřeba tepla na VYT [GJ]			Odchylky [%]	
	Naměřená	ČSN EN ISO 13 790	Denostupňová metoda	ČSN EN ISO 13 790	Denostupňová metoda
Leden	428	654	895	153%	209%
Únor	360	519	763	144%	212%
Březen	315	380	685	121%	217%
Duben	158	163	484	103%	306%
Květen	90	28	281	31%	312%
Červen	0	0	0	0%	0%
Červenec	0	0	0	0%	0%
Srpen	0	0	0	0%	0%
Září	68	34	264	50%	388%
Říjen	135	204	491	151%	364%
Listopad	315	433	683	137%	217%
Prosinec	383	579	819	151%	214%

Dům A

ZÁVĚR

Denostupňová metoda:

Nejistoty výpočtu:

- Výpočet tepelné ztráty (ČSN EN 12 831, tepelné mosty, přilehlá zeminy)
- Časový krok výpočtu – vztaženo na průměrnou venkovní teplotu za otopné období
- Neschopnost zahrnutí vnějších a vnitřních tepelných zisků
- Nelze použít pro další energetické bilance zdrojů tepla

Proč se používá:

- Jednoduchost výpočtu (dva vzore – teoretická a skutečná potřeba tepla)
- Ohýbání výsledků – pro dosažení reálných výsledků by se hodnoty opravného součinitele e_i museli pohybovat v rozsahu od 0,2 do 0,4 – toto nelze fyzikálně podložit.

ZÁVĚR

ČSN EN ISO 13 790:

Nejistoty výpočtu:

- Výpočet tepelné ztráty (ČSN EN 12 831, tepelné mosty, přilehlá zeminy)
- Hodnoty měsíčních venkovních teplot vzduchu (relevantní podklady)
- Sestavení analytického modelu – složitost, nebo používání softwaru - neznalost

Proč se používá:

- Možnost využití výstupů pro další energetické bilance
- Časový krok výpočtu
- Je legislativně podpořená – PENB, atd.

ZÁVĚR

PROČ JE DŮLEŽITÉ STANOVIT POTŘEBU TEPLA NA VYT?

- Možnost přesnější predikce potřeby tepla – úprava navrženého technického řešení
- Možnost úpravy smluvních podmínek pro dodávku energií (nejen CZT …)

CO NEJVÍCE OVLIVŇUJE VÝPOČET?

- U budov s přirozeným větrání – reálné chování uživatele
- Časový krok výpočtu

ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

UCEEB
UNIVERZITNÍ CENTRUM ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH BUDOV

ENERGETICKÉ HODNOCENÍ SOLÁRNÍCH TEPELNÝCH SOUSTAV

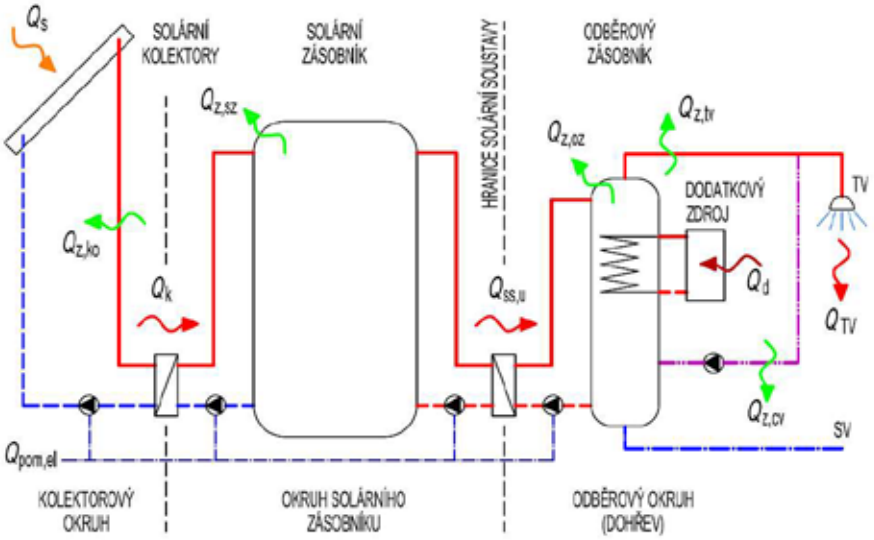
Bořivoj Šourek

ČVUT, UCEEB

SOLÁRNÍ SOUSTAVY – PODLE ÚČELU

- soustavy pro ohřev bazénové vody (do 35 °C)
- soustavy pro přípravu teplé vody (do 70 °C)
- kombinované soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění (do 80 °C)
- soustavy pro CZT s různým stupněm akumulace (sezónní)
- solární chlazení a klimatizace (do 150 °C)
- průmyslové solární soustavy (technologické teplo do 250 °C)
- solární tepelné elektrárny (vysokoteplotní, 300 až 600 °C)
- solární teplovzdušné soustavy (sušení, větrání)

BILANCE SOLÁRNÍ SOUSTAVY



PARAMETRY SOLÁRNÍ SOUSTAVY

- **Roční solární zisk [kWh/rok]**
  - dodaný do solárního zásobníku Q_k
  - dodaný do odběru (spotřebiče) – **<u>využitý</u>** zisk soustavy $\boldsymbol{Q_{ss,u}}$

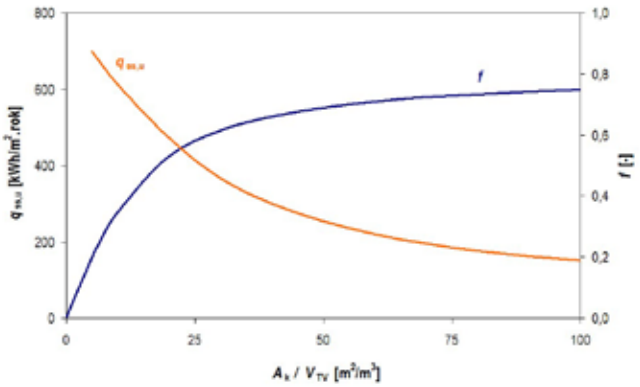
- **Roční úspora energie Q_u [kWh/rok]**
  - závisí na skutečné **provozní účinnosti** nahrazovaného zdroje tepla h_{nz}
    - jak ji určit ? je známa? viz TNI 73 0331
  - spotřeba provozní el. energie pro pohon solární soustavy
  - podklad pro výpočet úspory primární energie, úspory emisí

PARAMETRY SOLÁRNÍ SOUSTAVY

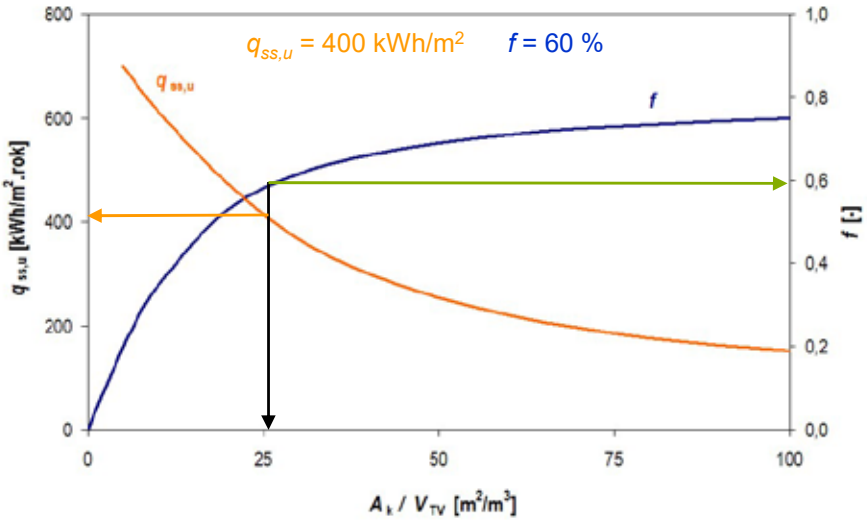
- **Měrný roční solární zisk $q_{ss,u}$ [kWh/(m².rok)]**
  - vztažený k ploše apertury kolektoru A_a
  - měrná roční úspora nahrazované energie
  - ekonomické kritérium: úspora / m² x investice / m²
- **Solární pokrytí, solární podíl *f* [%]**
  f = 100 * využitý zisk / potřeba tepla (procentní krytí potřeby tepla)
- **Spotřeba pomocné elektrické energie $Q_{pom,el}$ [kWh/rok]**
  odhad: provoz 2000 h x příkon el. zařízení (čerpadla, pohony, reg.)
  běžně do 1 % ze zisků ~ COP solární soustavy > 100

SOLÁRNÍ SOUSTAVY – PARAMETRY

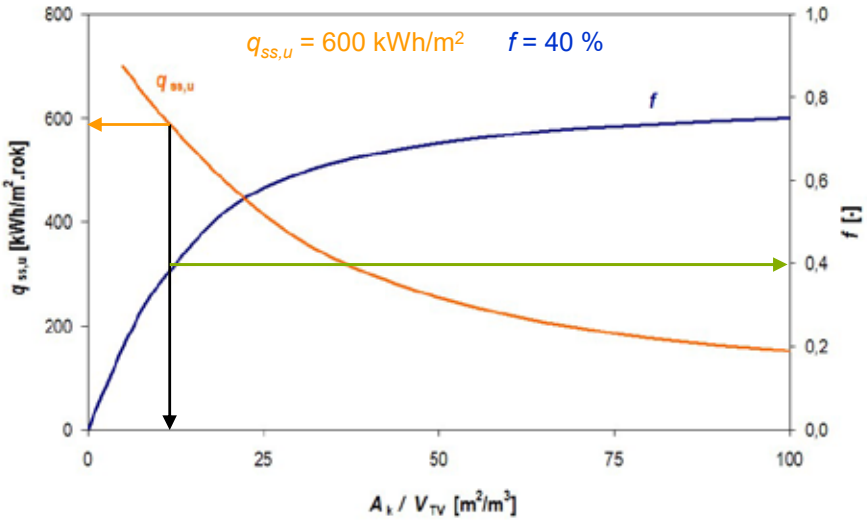
- **měrné roční solární zisky** $q_{ss,u}$ [kWh/m².rok]
- **solární podíl** $f = \frac{Q_{ss,u}}{Q_{p,c}} = 1 - \frac{Q_d}{Q_{p,c}} = \frac{Q_{ss,u}}{Q_{s,u} + Q_d}$ [-]



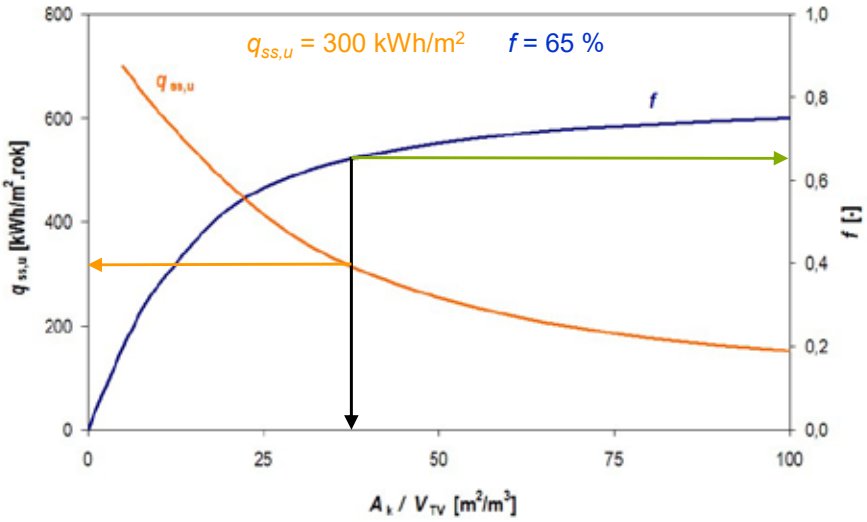
BILANCE SOLÁRNÍ PŘÍPRAVY TV



BILANCE SOLÁRNÍ PŘÍPRAVY TV

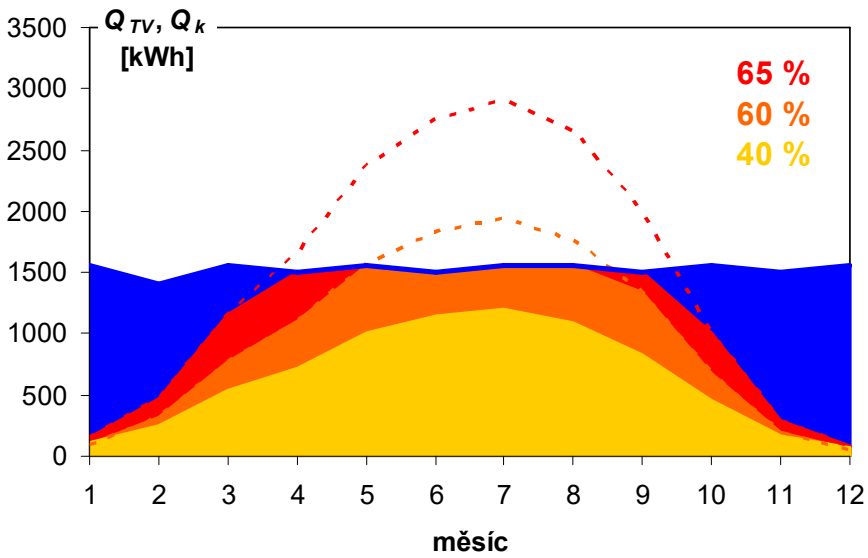


BILANCE SOLÁRNÍ PŘÍPRAVY TV



s rostoucím solárním pokrytím klesají měrné zisky soustavy

BILANCE SOLÁRNÍ PŘÍPRAVY TV



NAVRHOVÁNÍ A BILANCOVÁNÍ SOLÁRNÍCH SOUSTAV – TNI 73 0302

- DŮVODY PRO TNI 73 0302
  - **ČSN EN 15316-4-3 Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetické potřeby a účinností soustavy – Část 4-3: Výroba tepla, solární tepelné soustavy**
    - f-chart metoda (korelační metoda)
    - zjednodušeně vliv optické charakteristiky (modifikátor úhlu dopadu IAM)
    - vliv návrhu potrubí solárního okruhu (tepelné ztráty)
    - vliv velikosti zásobníku, vliv velikosti výměníku
- **nevýhody**
  - příliš detailní a složitá pro praktické použití
  - nesnadno pochopitelné veličiny, nutná znalost teorie
  - chybí klimatické údaje pro ČR
- **TNI 73 0302 - Energetické hodnocení solárních tepelných soustav - Zjednodušený výpočtový postup, UNMZ 2009, revize 2014**

ÚČINNOST SOLÁRNÍHO KOLEKTORU

- účinnost solárního kolektoru $\boldsymbol{h_k}$ (střední denní, resp. měsíční účinnost)

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{\left(t_{k,m} - t_{e,s}\right)^2}{G_{T,m}}$$

  - pro průměrnou teplotu kapaliny $\boldsymbol{t_{k,m}}$ v kolektoru během dne
    - *hodnoty podle typu a velikosti solární soustavy*
  - pro průměrnou venkovní teplotu v době slunečního svitu $\boldsymbol{t_{e,s}}$
    - *tabulky v TNI 73 0302 – jednotné klimatické údaje*
  - pro střední sluneční ozáření $\boldsymbol{G_{T,m}}$ během dne na uvažovanou plochu (sklon, orientace) ... předpoklad: jasný den
    - *tabulky v TNI 73 0302– jednotné klimatické údaje*

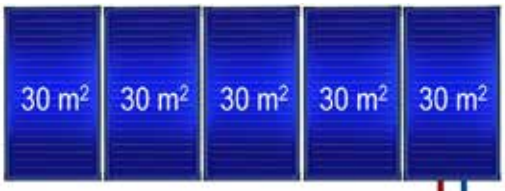
TEORETICKY VYUŽITELNÝ ZISK

- teoreticky využitelný tepelný zisk $\boldsymbol{Q_{k,u}}$ [kWh/m^2] solárních kolektorů v daném období (den, měsíc)

$$Q_{k,u} = 0{,}9\, \eta_k \cdot H_T \cdot A_k \cdot (1-p) \qquad \text{kWh/měs}$$

  - účinnost solárního kolektoru v dané aplikaci $\boldsymbol{h_k}$
  - skutečná dávka slunečního ozáření plochy kolektoru $\boldsymbol{H_T}$
    - *tabulky v TNI 73 0302– jednotné klimatické údaje*
  - tepelné ztráty solární soustavy
    - paušální procentní srážka $\boldsymbol{p}$
    - *hodnoty podle typu a velikosti solární soustavy*

TEPELNÉ ZTRÁTY SOLÁRNÍ SOUSTAVY



Q_{k1} = 9 MWh $\quad Q_{z,ss}$ = 0,9 MWh

$$p = \frac{0{,}9}{9} = 10\ \%$$

Q_{k1} = 45 MWh $\quad Q_{z,ss}$ = 1,2 MWh

$$p = \frac{1{,}2}{45} = 3\ \%$$

TNI 73 0302:2014 (REVIZE)

Příprava TV

$$p = \frac{0.26}{A_k} + 100\,\frac{A_k}{Q_{p,c}}$$

$$t_{k,m} = 25 + 11000 \cdot \frac{A_k}{Q_{p,c}}$$

Příprava TV + VYT

$$p = \frac{0.26}{A_k} + 100\,\frac{A_k}{Q_{p,c}} + 0.002\,\frac{\left(t_{SV} \cdot Q_{p,TV} + t_{w1,N} \cdot Q_{p,VYT}\right)}{Q_{p,c}}$$

$$t_{k,m} = 35 + 8000 \cdot \frac{A_k}{Q_{p,c}} + 0.2 \cdot \left(t_{w1,N} - 35\right)$$

BILANCOVÁNÍ TEPELNÝCH ZISKŮ

Bilancování solární soustavy (TNI 73 0302)

- pro danou plochu solárních kolektorů $\boldsymbol{A_k}$
- pro **všechny měsíce roku** (referenční dny, okrajové podmínky roku)

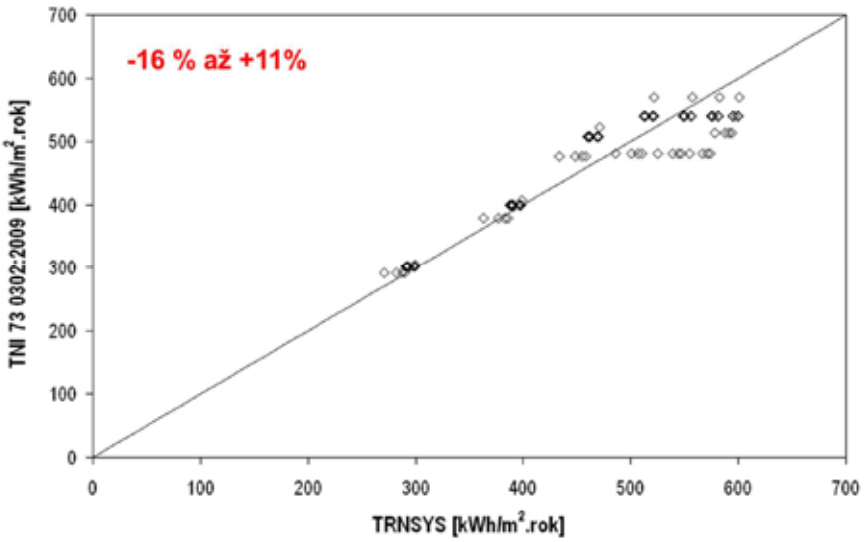
$Q_{ss,u} = \min\,(Q_{k,u};\ Q_{p,c})$

- z porovnání v jednotlivých měsících vyplývá využitelnost zisků z kolektorů pro krytí potřeby tepla
- **přebytky nelze započítat (!)**

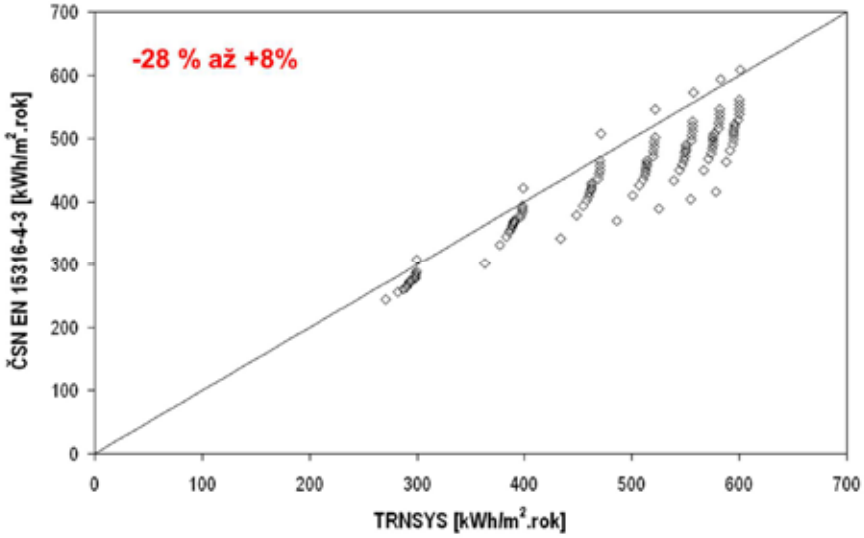
ZJEDNODUŠENÁ METODA - POROVNÁNÍ

- **porovnání s jinými metodami výpočtu**
  - se stejnými klimatickými údaji, solárními kolektory, potřebou tepla
  - definovanými potrubími solárního okruhu, zásobníků tepla, výměníky, atd.
- **porovnání s počítačovou simulací solárních soustav**
- **porovnání s metodou podle ČSN EN 15316-4-3**
  - cca 200 variant pro přípravu TV
  - cca 200 variant pro kombinaci s vytápěním

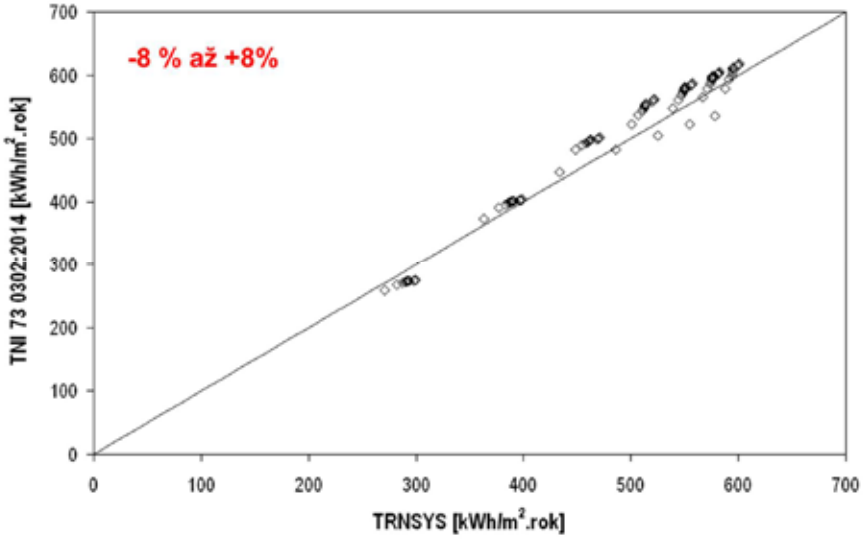
ZJEDNODUŠENÁ METODA – POROVNÁNÍ TNI 73 0302:2009



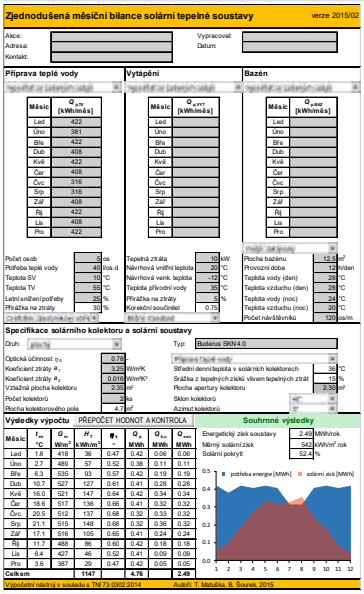
ZJEDNODUŠENÁ METODA – POROVNÁNÍ ČSN EN 15316-4-3



ZJEDNODUŠENÁ METODA – POROVNÁNÍ TNI 73 0302:2014



BILANCESS-2015/V3



- nová verze BILANCESS
  - v souladu s TNI 73 0302:2014
  - pouze 1 A4 k tisku
  - omezený rozsah zadání poměru A_k/Q_p
  - omezený rozsah azimutu kolektoru
  - makro pro výpočet

LIMITY ZJEDNODUŠENÉ BILANCE

- jednotná klimatická data
- výpočtový postup neuvažuje křivku modifikátoru úhlu dopadu (IAM)
- umožňuje hodnotit solární soustavy s kolektory o sklonu 0 až 90° a orientaci ±45° od jihu
- výpočet nedokáže zohlednit extrémní předimenzování plochy solárních kolektorů
- nezohledňuje změnu provozní teploty během roku (v zimě nižší hodnoty, v létě vyšší)
- paušální hodnoty srážky ze zisků vlivem tepelných ztrát bez ohledu na konkrétní podmínky zaizolování potrubí a zásobníku

LIMITY ZJEDNODUŠENÉ BILANCE

- jednotná klimatická data
- výpočtový postup neuvažuje křivku modifikátoru úhlu dopadu (IAM)
- umožňuje hodnotit solární soustavy s kolektory o sklonu 0 až 90° a orientaci ±45° od jihu
- výpočet nedokáže zohlednit extrémní předimenzování plochy solárních kolektorů
- nezohledňuje změnu provozní teploty během roku (v zimě nižší hodnoty, v létě vyšší)
- paušální hodnoty srážky ze zisků vlivem tepelných ztrát bez ohledu na konkrétní podmínky zaizolování potrubí a zásobníku

E-mail: borivoj.sourek@cvut.cz

ČVUT ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

UCEEB UNIVERZITNÍ CENTRUM ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH BUDOV

BILANCOVÁNÍ ROČNÍHO PROVOZU TEPELNÝCH ČERPADEL

Nikola Pokorný

Proč bilancovat provoz TČ?

- skutečná spotřeba elelktrické energie tepelným čerpadlem
- skutečná spotřeba energie dodatkovým zdrojem tepla
- provozní topný faktor tepelného čerpadla *COP*
- sezónní topný faktor soustavy s tepelným čerpadlem *SPF*

jednoduchý výpočtový postup

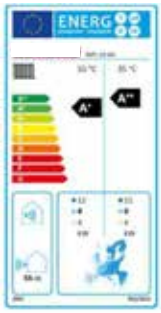
- jednoduchý výpočet v Excel
- klimatické parametry (křivka trvání teplot pro danou lokalitu, histogram teplot)

Pokud se využije jmenovitý topný faktor COP_N pro celoroční hodnocení provozu může být významně podhodnocena potřeba elektrické energie

Roční efektivita TČ

Sezónní topný faktor SCOP

- Porovnání zařízení mezi sebou
- Unifikované provozní a klimatické podmínky
- Pro štítky

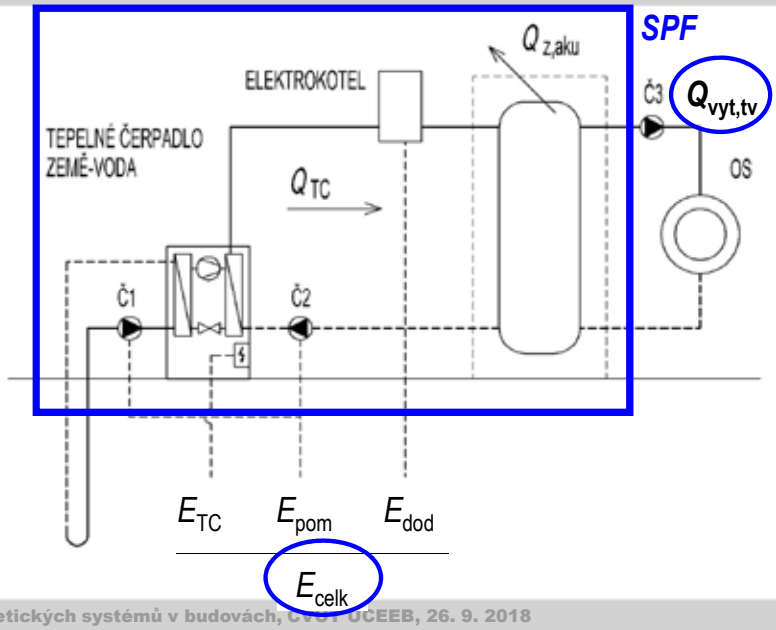


Sezónní topný faktor SPF

- Bilancování pro reálný provoz
- SPF stanovený výpočtem nebo z naměřených dat

SPF - Sezónní topný faktor systému

vytápění



$$SPF = \frac{Q_{vyt,tv}}{E_{celk}}$$

Jak lze chápat SPF?

- EU směrnice 2009/28/EC o podpoře využití energie z obnovitelných zdrojů
  - soustavu s tepelným čerpadlem lze považovat za OZE pokud

$$SPF > 1{,}15 \frac{1}{\eta_e}$$

průměr EU	η_e = 40 %	*SPF* > 2,875	(2009/28/EC)
nařízení EU	η_e = 45.5 %	***SPF* > 2,5**	(2013/114/EC)

ČSN EN 15450 – příloha C

Tabulka C.1 – Normové minimální a cílové hodnoty *SPF* pro soustavy s tepelnými čerpadly využitými pro vytápění a přípravu teplé vody v renovacích (typické pro střední Evropu)

Zdroj energie/odvod	Minimální hodnoty *SPF*	Cílové hodnoty *SPF*
vzduch/voda	2,7	3,0
zemský masiv/voda	3,5	4,0
voda/voda	3,8	4,5

Tabulka C.2 – Normové minimální a cílové hodnoty *SPF* pro soustavy s tepelnými čerpadly využitými pro vytápění a přípravu teplé vody v novostavbách (typické pro střední Evropu)

Zdroj energie/odvod	Minimální hodnoty *SPF*	Cílové hodnoty *SPF*
vzduch/voda	2,5	2,8
zemský masiv/voda	3,3	3,7
voda/voda	3,5	4,2

Tabulka C.3 – Normové minimální a cílové hodnoty *SPF* pro soustavy s tepelnými čerpadly využitými pro samotnou přípravu teplé vody (typické pro střední Evropu)

Zdroj energie/odvod	Minimální hodnoty *SPF*	Cílové hodnoty *SPF*
vzduch/voda	2,3	2,8
zemský masiv/voda	3,0	3,5
voda/voda	3,2	3,8

Metoda bilancování provozu TČ

ČSN EN 15316-4-2 Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetické potřeby a účinností soustavy – Část 4-2: Výroba tepla pro vytápění, tepelná čerpadla

- bin metoda (intervalová metoda) – využití četnosti teplot pro otopné období, celý rok, jednotlivé měsíce
- korekce na částečné zatížení, korekce na změnu rozdílu teplot
- vliv tepelných ztrát v soustavě, ztráty vlastním tepelným čerpadlem, ztráty akumulačních zásobníků
- bilancování i plynových tepelných čerpadel

Nevýhody

- příliš detailní a složitá pro praktické použití, 110 stran
- chybí klimatické údaje pro ČR

Intervalová metoda

- **metoda teplotních intervalů (bin metoda)**
  - použití histogramu venkovních teplot pro otopnou sezónu nebo pro celý rok
  - rozlišení intervalů 1 K
  - každý **teplotní interval** je charakterizován:
    - horní teplotou – dolní teplotou venkovního vzduchu
    - střední teplotou vzduchu $t_{em,j}$
    - trváním (hodiny) τ_j

$t_{em,j}$	$t_{em,j}$	$t_{em,j}$	τ_j
°C	°C	°C	h
−18	−17	−17,5	0
−17	−16	−16,5	5
−16	−15	−15,5	5
−15	−14	−14,5	14
−14	−13	−13,5	14
−13	−12	−12,5	13

Metoda bilancování provozu TČ

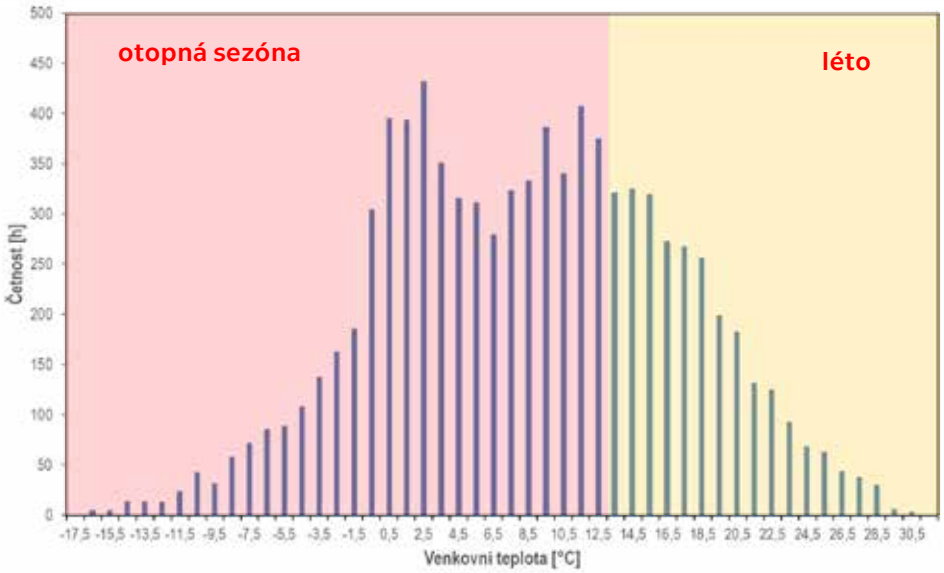
TNI 73 0351 - zjednodušení

- jedná se o jádro intervalové metody – využití četnosti teplot pro otopné období, celý rok, jednotlivé měsíce, údaje v souladu s TNI 73 0331
- nejčastější aplikace: priorita přípravy TV, tepelná čerpadla bilancována v provozu na plný výkon v kombinaci se zásobníkem
- nezohledňuje blokaci ve vysokém tarifu
- přehledná metoda
- 15 stran

Zjednodušení

- neuvažuje TČ se změnou otáček
- nezahrnutí tepelných ztrát zásobníku tepla do výpočtu

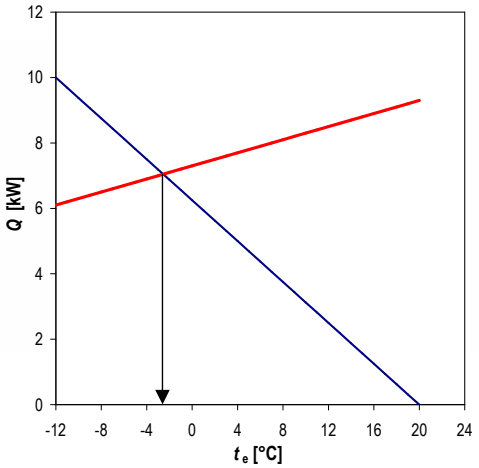
Roční četnost teplot během roku pro Prahu



Bilancování provozu TČ

- **Nelze použít měsíční metodu !**
  - průměrné měsíční teploty zřídka pod teplotou bivalence

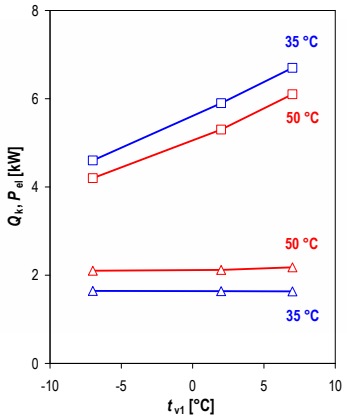
	Praha	České Budějovice	Hradec Králové	Brno
I	-1,5	-2	-2,1	-2
II	0	-0,9	-1	-0,6
III	3,2	3	2,7	3,7
IV	8,8	7,4	7,4	8,7
V	13,6	12,7	12,8	14,1
VI	17,3	15,7	15,6	16,9
VII	19,2	17,5	17,4	18,8
VIII	18,6	16,6	16,8	17,8
IX	14,9	12,9	13,5	14
X	9,4	7,7	8,3	8,7
XI	3,2	2,8	3,1	3,6
XII	-0,2	-0,4	-0,4	-0,2



Výkonová křivka TČ - vstup

- ČSN EN 14511 - Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru
- Topný výkon Q_k [kW]
- Topný faktor COP [-]

	voda – voda		země – voda			venkovní vzduch – voda				
t_{k2} / t_{v1}	10 °C	15 °C	–5 °C	0 °C	5 °C	–15 °C	–7 °C	2 °C	7 °C	12 °C
35 °C										
45 °C										
55 °C										
65 °C										



Charakteristiky – vzduch-voda

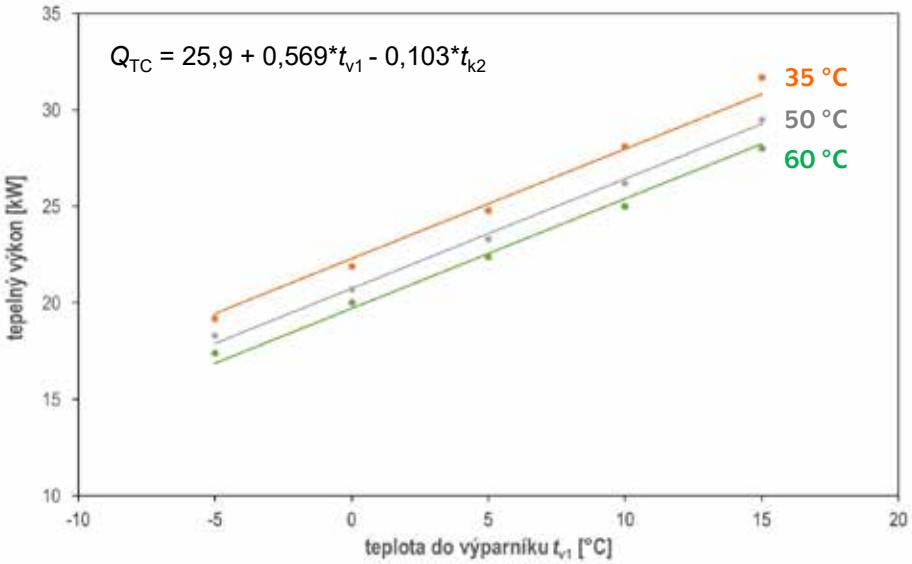
Topný výkon (kW), příkon (kW) a topný faktor ε

teplota venkovního vzduchu	topný výkon při teplotě topné vody			příkon při teplotě topné vody			topný faktor při teplotě topné vody		
	35°C	50°C	60°C	35°C	50°C	60°C	35°C	50°C	60°C
	kW	kW	kW	kW	kW	kW	ε	ε	ε
−20	4,5	4,7	4,8	2,1	2,7	3,2	2,2	1,8	1,5
−15	5,4	5,6	5,8	2,1	2,8	3,3	2,6	2	1,8
−7	6,6	6,8	7,1	2,2	2,9	3,5	3	2,4	2
+2	8,1	7,9	8	2,4	2,9	3,7	3,4	2,7	2,1
+7	9	8,6	8,6	2,3	3	3,5	4	2,9	2,5
+10	9,5	8,8	8,9	2,3	2,8	3,4	4,2	3,1	2,6
+15	11	10,7	10,1	2,5	3	3,5	4,5	3,5	2,9
+20	12,1	12	11,3	2,5	3,1	3,6	4,8	3,8	3,2
+30	13,7	14,2	13,6	2,7	3,3	3,8	5,1	4,4	3,5
+40	14	14,6	14,1	2,7	3,3	3,9	5,2	4,4	3,6

$$\dot{Q}_{TČ} = A + B \cdot t_{v1} + C \cdot t_{k2} + D \cdot t_{v1}^2 + E \cdot t_{k2}^2 + F \cdot t_{v1} \cdot t_{k2}$$

$$COP = a + b \cdot t_{v1} + c \cdot t_{k2} + d \cdot t_{v1}^2 + e \cdot t_{k2}^2 + f \cdot t_{v1} \cdot t_{k2}$$

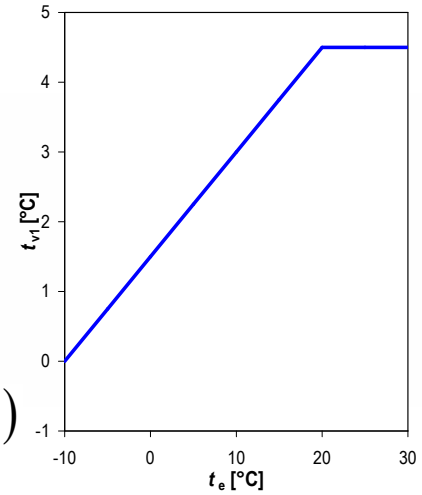
Charakteristiky tepelného výkonu – země-voda



Teplota na vstupu do výparníku

- vzduch-voda $t_{v1} = t_e$
- voda-voda $t_{v1} = 10\ °C$
- země-voda

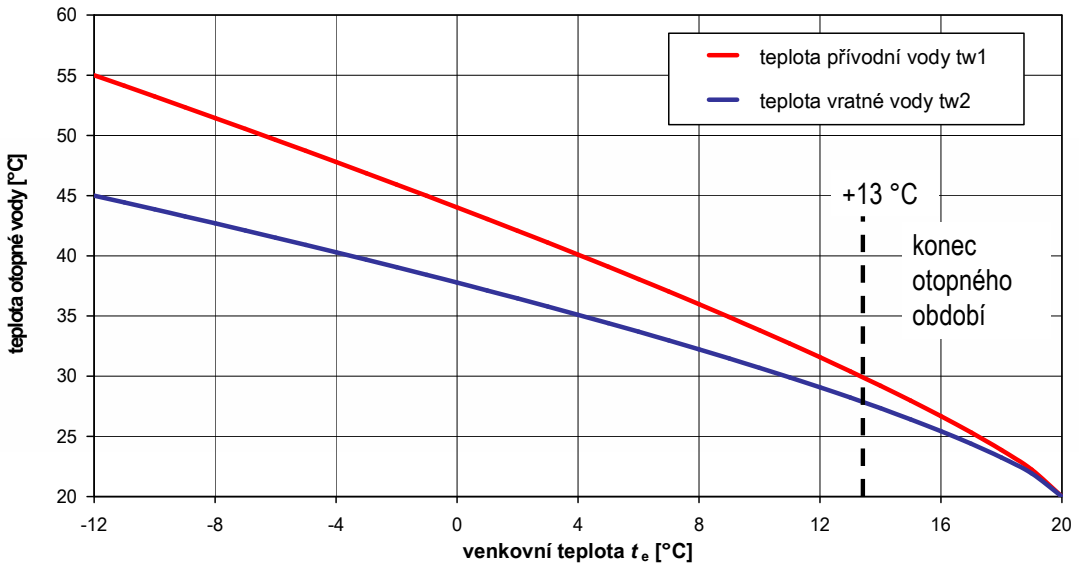
$$t_{v1} = \max(0\ °C; \min(0{,}15 \cdot t_e + 1{,}5\ °C; 4{,}5\ °C))$$



Otopná soustava – teplota vody

- **teplota otopné vody = f (t_e)**
  - ekvitermní teplota **přívodní** otopné vody $t_{w1} = t_{k2}$
  - návrhový teplotní spád otopné vody $t_{w1,N}$ / $t_{w2,N}$
  - výpočtová venkovní teplota $t_{e,N}$
  - výpočtová vnitřní teplota $t_{i,N}$ = průměrná vnitřní teplota t_i
  - výpočet teploty otopné vody z rovnice pro výkon otopného tělesa

Teplota na výstupu z kondenzátoru



Teplota otopné vody

- **režim vytápění (otopná tělesa)**
  - jmenovité (návrhové) teploty $t_{w1,N}$ / $t_{w2,N}$
  - teplotní exponent n

$$t_{w1} = t_i + \frac{t_{w1,N} - t_{w2,N}}{2} \cdot \frac{t_i - t_e}{t_i - t_{e,N}} + \left(\frac{t_{w1,N} + t_{w2,N}}{2} - t_i\right) \cdot \left(\frac{t_i - t_e}{t_i - t_{e,N}}\right)^{1/n}$$

$$t_{k2} = t_{w1} + 2\,\mathrm{K}$$

- **režim teplé vody**
  - požadavek t_{TV} = 55 °C

$$t_{k2} = t_{TV} + 5\,\mathrm{K}$$

Energetická bilance

- **pro každý teplotní interval se stanoví (pro střední teplotu $t_{e,j}$)**
  - potřeba tepla budovy
  - výkon TČ
  - dostupná energie z TČ
  - energie dodaná z TČ pro krytí potřeby tepla budovy
  - potřeba elektřiny pro TČ
  - potřeba dodatkového tepla ze záložního zdroje (elektřina)
  - provozní doba TČ
  - potřeba pomocné elektřiny (čerpadla)

Příklad výpočtových vztahů pro intervaly

energie dostupná z TČ [kWh]

$$Q_{TC,dis,j} = \dot{Q}_{TC,j} \cdot \tau_j$$

energie dodaná z TČ pro krytí potřeby [kWh]

$$Q_{TC,dod,j} = \min(Q_{TC,dis}; Q_{VYT,TV})_j$$

potřeba elektřiny pro TČ [kWh]

$$E_{TC,j} = \frac{Q_{TC,dod,j}}{COP_j}$$

energie dodaná záložním zdrojem
potřeba elektrokotle [kWh]

$$E_{ZZ,j} = Q_{VYT,TV,j} - Q_{TC,dod,j}$$

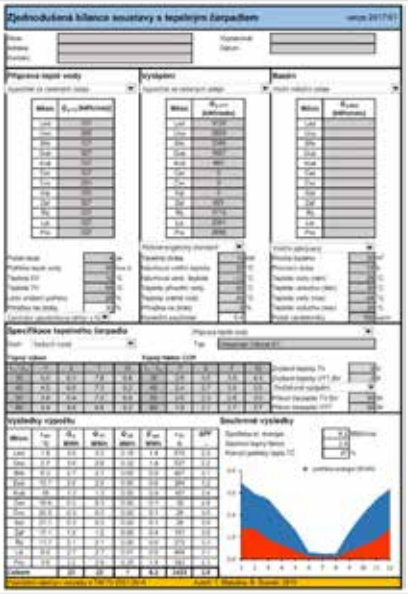
Jak se stanoví SPF?

Sezónní topný faktor [-]

$$SPF = \frac{Q_{TC,dod,vyt} + Q_{TC,dod,TV}}{E_{TC} + E_{ZZ} + E_{pom}}$$

Nástroj pro bilancování TČ

- BILANCE TČ
- TNI 73 0351:2014
- http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=161



Bilance TČ

Příprava teplé vody

Vypočítat ze zadaných údajů

Měsíc	$Q_{p,TV}$ [kWh/měs]
Led	337
Úno	305
Bře	337
Dub	327
Kvě	337
Čer	327
Čvc	253
Srp	253
Zář	327
Říj	337
Lis	327
Pro	337

Počet osob	4	os
Potřeba teplé vody	40	l/os.d
Teplota SV	10	°C
Teplota TV	55	°C
Letní snížení potřeby	25	%
Přirážka na ztráty	30	%

Centrální zásobníkový ohřev s řu

Vytápění

Vypočítat ze zadaných údajů

Měsíc	$Q_{p,VYT}$ [kWh/měs]
Led	3120
Úno	2659
Bře	2388
Dub	1687
Kvě	981
Čer	0
Čvc	0
Srp	0
Zář	921
Říj	1714
Lis	2381
Pro	2856

Nízkoenergetický standard

Tepelná ztráta	10	kW
Návrhová vnitřní teplota	20	°C
Návrhová venk. teplota	-12	°C
Teplota přívodní vody	45	°C
Teplota vratné vody	40	°C
Přirážka na ztráty	5	%
Korekční součinitel	0.6	

Bazén

Vložit měsíční údaje

Měsíc	$Q_{p,BAZ}$ [kWh/měs]
Led	
Úno	
Bře	
Dub	
Kvě	
Čer	
Čvc	
Srp	
Zář	
Říj	
Lis	
Pro	

Vnitřní zakrývaný

Plocha bazénu	20	m^2
Provozní doba	12	h
Teplota vody (den)	28	°C
Teplota vzduchu (den)	30	°C
Teplota vody (noc)	24	°C
Teplota vzduchu (noc)	20	°C
Počet návštěvníků	100	os/m

- Odběr TV
- Měsíční potřeba tepla nebo tepelná ztráta domu
- Parametry bazénu

Parametry tepelného čerpadla

- **Výkon Qk [kW]**
- **Topný faktor COP [-]**
- **ČSN EN 14511**

Specifikace tepelného čerpadla — Příprava teplé vody a vytápění

Druh: Vzduch-voda Počet: 1 Typ:

Topný výkon Φ [kW]

$t_{v1} \backslash t_{k2}$	-7	2	7	15
35	5,0	6,3	7,8	9,8
45	4,5	6,0	7,3	9,2
55	3,8	5,4	7,0	8,6
60	3,4	4,9	6,8	8,2

Topný faktor *COP*

$t_{v1} \backslash t_{k2}$	-7	2	7	15
35	2,8	3,0	3,5	4,3
45	2,4	2,7	3,0	3,5
55	2,0	2,3	2,8	3,0
60	1,9	2,1	2,7	2,7

Zvýšení teploty TV	5	K
Zvýšení teploty VYT,BV	2	K
Otopná tělesa		
Příkon čerpadel TV,BV	30	W
Příkon čerpadel VYT	30	W

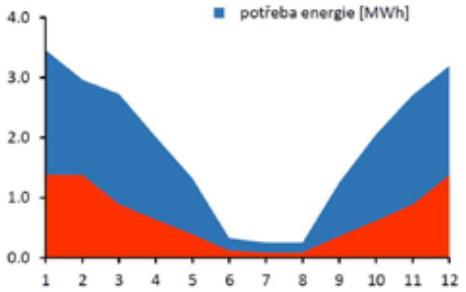
Výsledky

Výsledky výpočtu

Měsíc	t_{em} °C	Q_p MWh	Q_{TC} MWh	Q_{ZZ} MWh	E_{sys} MWh	τ_{TC} h	SPF -
Led	1.8	3.5	3.3	0.18	1.4	575	2.5
Úno	2.7	3.0	2.6	0.32	1.4	537	2.2
Bře	6.3	2.7	2.7	0.00	0.9	407	3.1
Dub	10.7	2.0	2.0	0.00	0.6	284	3.2
Kvě	16	1.3	1.3	0.00	0.4	167	3.4
Čer	18.6	0.3	0.3	0.00	0.1	39	2.8
Čvc	20.5	0.3	0.3	0.00	0.1	28	3.0
Srp	21.1	0.3	0.3	0.00	0.1	28	3.0
Zář	17.1	1.2	1.2	0.00	0.4	151	3.5
Říj	11.7	2.1	2.1	0.00	0.6	272	3.3
Lis	6.4	2.7	2.7	0.01	0.9	404	3.1
Pro	3.6	3.2	2.9	0.25	1.4	542	2.3
Celkem		**23**	**22**	**1**	**8.2**	**3433**	**2.8**

Souhrnné výsledky

Spotřeba el. energie	8.2	MWh/rok
Sezónní topný faktor	2.8	
Pokrytí potřeby tepla TČ	97	%

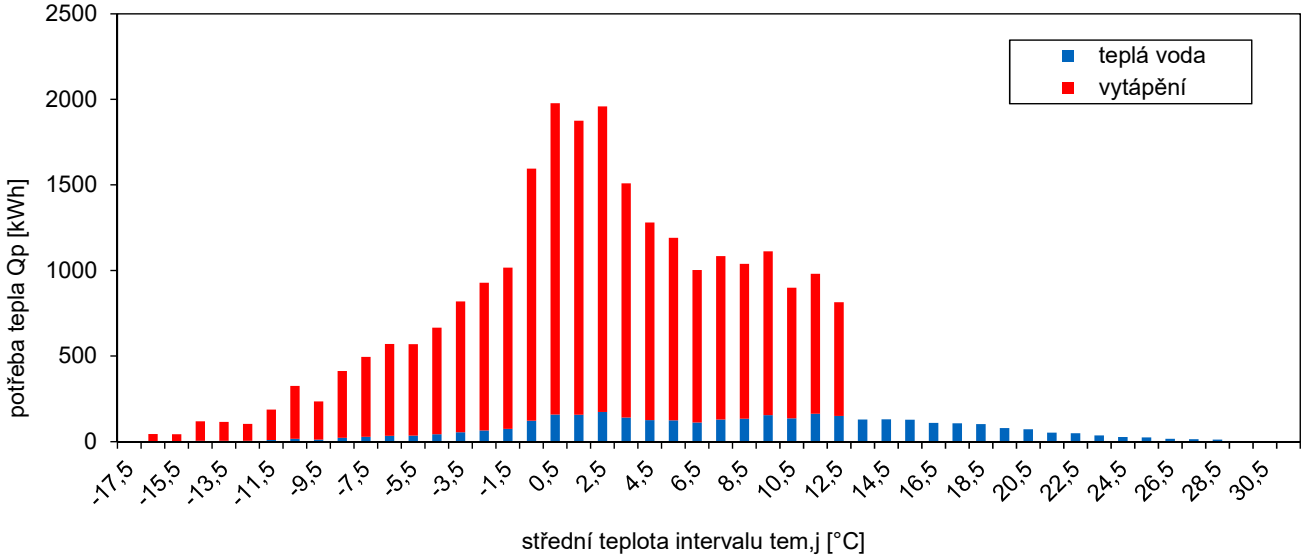


Výpočetní nástroj v souladu s TNI 73 0351:2014 Autoři: T. Matuška, B. Šourek, 2015

Příklad výpočtu – RD 3 varianty

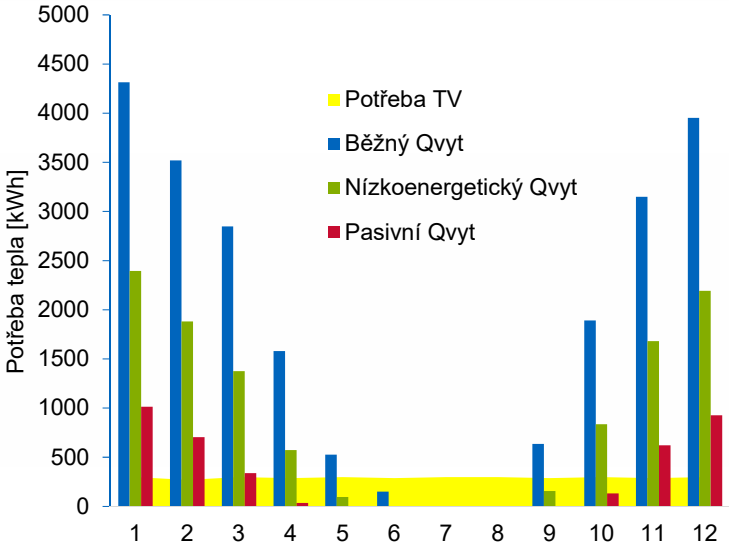
- **vytápění**
  - Potřeba tepla na vytápění 82 kWh/m^2, 41 kWh/m^2, 14 kWh/m^2
  - Otopná soustava 50/40 °C, 45/ 35 °C, 35/30 °C
- **teplá voda**
  - 4 osoby, 40 l/os.den, tepelné ztráty 30 %
  - teplota teplé vody 55 °C, teplota studené vody 10 °C
  - potřeba tepla 3 515 kWh/rok

Potřeba tepla v jednotlivých intervalech – běžný dům

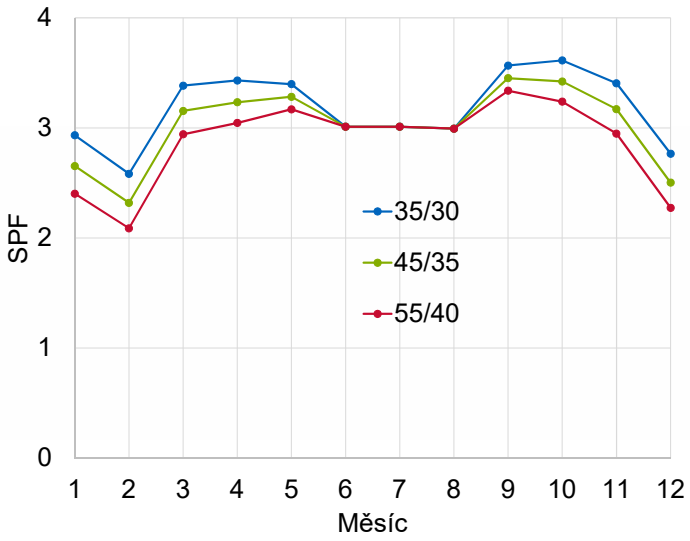


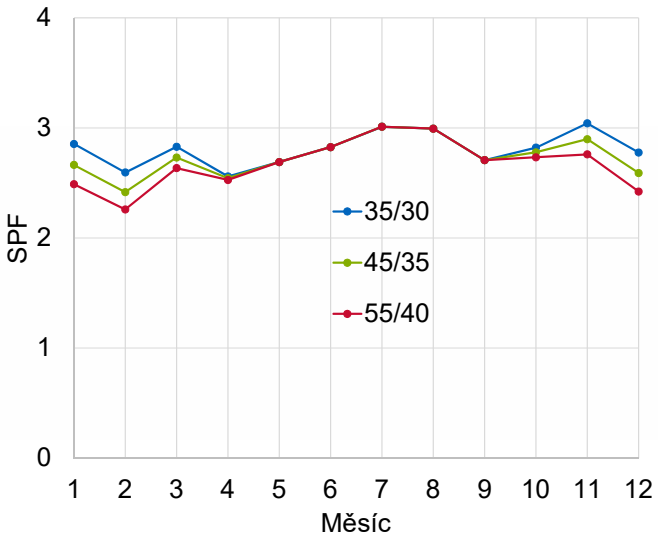
Porovnání SPF – vzduch-voda (COP=3-A2/W35)

Typ domu	35/30	45/35	55/40
	SPF	SPF	SPF
Běžný	3,07	2,83	2,61
Nízkoenergetický	3,04	2,85	2,66
Pasivní	2,80	2,68	2,57



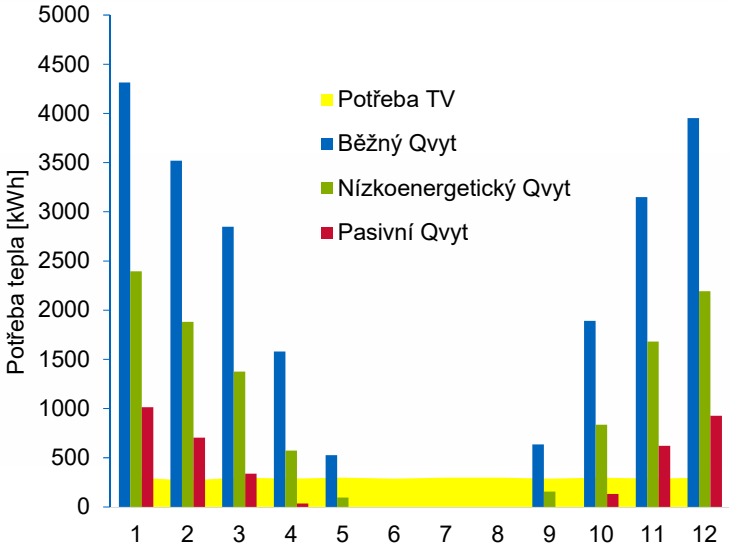
Vzduch-voda běžný dům x pasivní dům



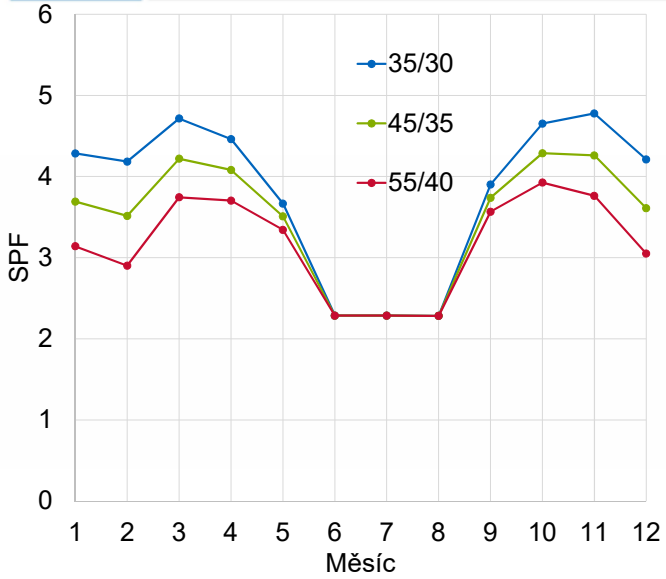


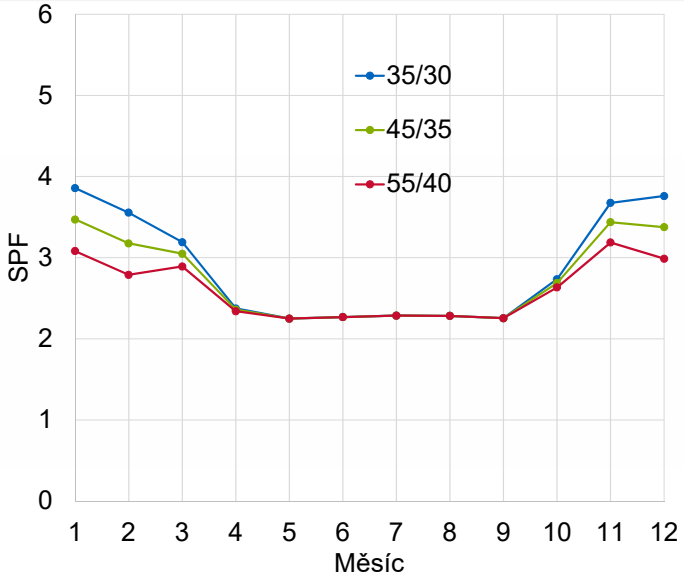
Porovnání SPF – země-voda (COP=4,5-B0/W35)

Typ domu	35/30	45/35	55/40
	SPF	SPF	SPF
Běžný	4,2	3,8	3,3
Nízkoenergetický	3,9	3,5	3,2
Pasivní	3,1	3,0	2,8

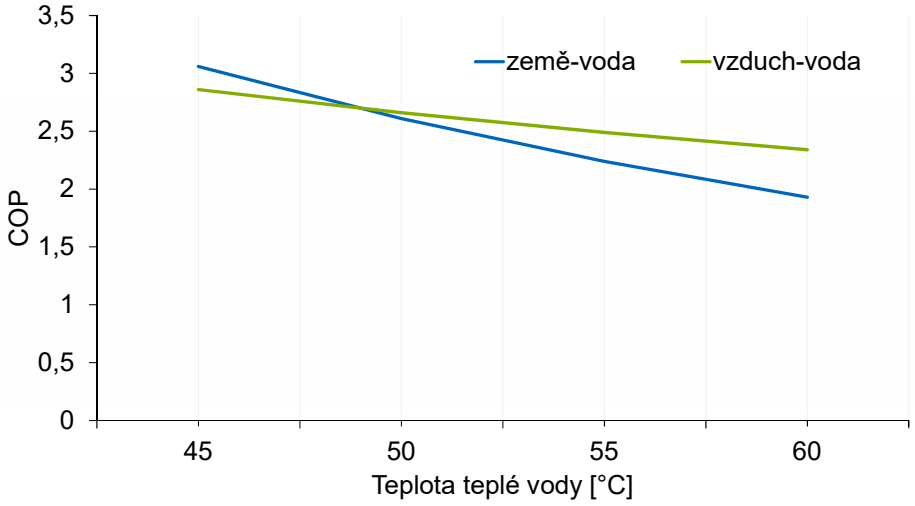


Země-voda běžný dům x pasivní dům





Porovnání COP pro přípravu teplé vody



země-voda (B0/W35)

- $COP_N = 4,5$

vzduch-voda (A2/W35)

- $COP_N = 3,0$

Vyhodnocení

- **Doporučené hodnoty *SPF* lze splnit**
  - velká potřeba tepla na vytápění oproti přípravě teplé vody
  - nízkoteplotní otopná soustava
  - vysoké pokrytí potřeby tepla tepelným čerpadlem (snaha o monovalentní řešení)
  - správně navržený nízkopotenciální zdroj tepla
  - snížení požadavku na teplotu teplé vody

ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

UCEEB
UNIVERZITNÍ CENTRUM ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH BUDOV

VLIV ČASOVÉHO KROKU VÝPOČTU NA SPRÁVNOST VÝPOČTU FV SYSTÉMU

Jiří Novotný

BILANCE FV SYSTÉMU DOMÁCNOSTI

- **produkce EE FV systémem**
  - relativně spolehlivý výpočet s použitím vhodných klimatických dat
  - limitováno dostupností klimatických dat

- **spotřeba EE**
  - v případě stávající budovy dána měřením
  - v případě nové budovy dána výpočtem
  - do přesnějšího hodnocení domácnosti vstupuje **uživatelská EE**

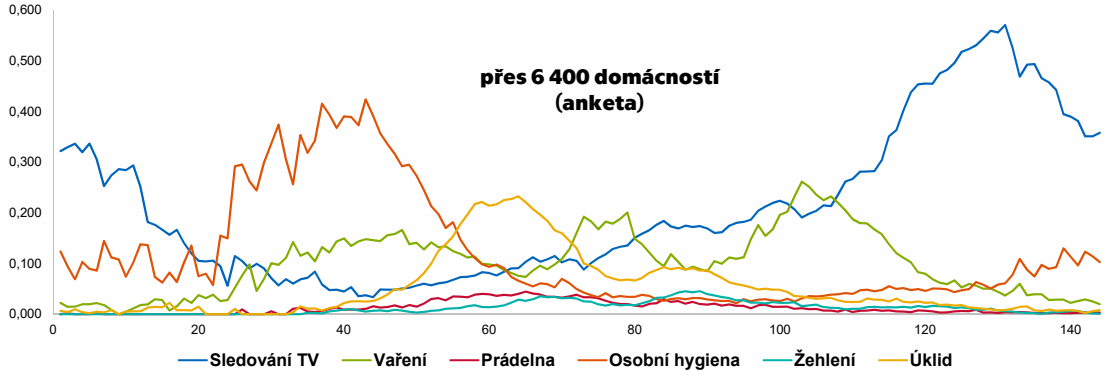
UŽIVATELSKÁ ENERGIE

- = EE spotřebovaná na provoz domácích spotřebičů a osvětlení
- v domácnosti může tvořit značnou část celkové spotřeby EE
- zahrnutí zvyšuje přesnost získaných výsledků
- v obyvatelském sektoru **odběrový profil nelze paušalizovat**
- v případě nové domácnosti nutno odhadnout
- není součástí úředního hodnocení

- **generátor odběrového profilu**

GENERÁTOR ODBĚROVÉHO PROFILU

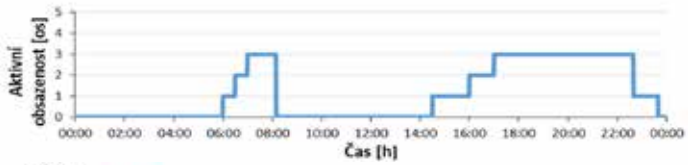
- modifikace od britských autorů
- založeno na měření a anketě o využívání domácích spotřebičů
- model validován ve 22 reálných domácnostech

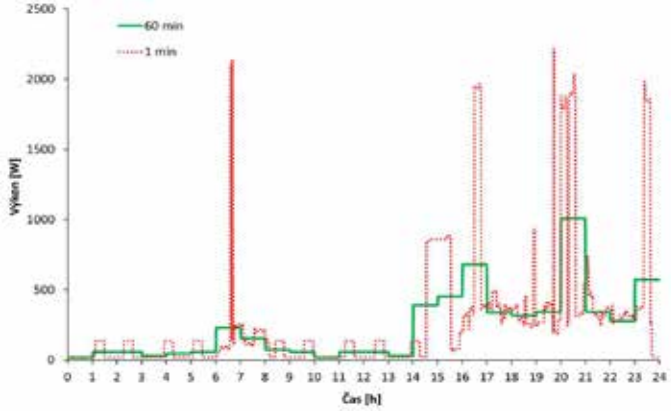


GENERÁTOR ODBĚROVÉHO PROFILU

- vykreslení pravděpodobného profilu spotřeby uživatelské EE
- minutové rozlišení (1 min)
- uvažování venkovního ozáření pro výpočet potřeby osvětlení
- respektování všedních a víkendových dní (anketa)
- denní i roční odběrové profily
- tvorba 3 ročních profilů – 1 denní, 7 denní, 365 denní
- průměrování získaných profilů na libovolný časový krok
- vliv náhody
- možnost dalších modifikací
- vytvořen CZ manuál

GENERÁTOR ODBĚROVÉHO PROFILU





Pultový mrazák	NO
Ledničkа s mrazákem	YES
Ledničkа	YES
Stojací mrazák	NO
Záznamník	YES
CD přehrávač	YES
Hodiny (bez baterií)	YES
Telefon (pevná linka)	YES
Hi-Fi	YES
Žehlička	YES
Vysavač	YES
Fén na vlasy	YES
Osobní počítač	YES
Tiskárna (domácí)	NO
TV 1 (55")	YES
TV 2 (32")	YES
TV 3 (24")	NO
DVD, Blue-ray přehrávač	YES
TV set-top box	YES
Varná deska	NO
Trouba	NO
Mikrovlnná trouba	NO
Varná konvice	YES
Toustovač	NO
Myčka nádobí	YES
Sušička	NO
Pračka	YES
Pračka se sušičkou	NO
Osvětlení	YES

VLIV ČASOVÉHO KROKU VÝPOČTU

- výpočet potřeby tepla – měsíční krok dostačující (ČSN EN ISO 13 790)
- výpočet potřeby chladu či pokrytí spotřeby EE FV systémem - ???
  - 1 min, 5 min, 15 min, 60 min, den, měsíc ?
- původní myšlenka čím kratší, tím lepší
- náročnost na výpočet
- omezená dostupnost klimatických údajů
  - UCEEB meteostanice (1 minuta)
  - RKR, ČHMÚ (1 hodina) – 1 500 Kč/databáze
    – 40 000 Kč/měření

ANALÝZA PRO DOMÁCNOST

- generovány 4 typy ročních odběrových profilů (generátor)
  - paušál (trvalý) – 20 kWh/m^2.rok
  - 1 denní (denní) – konstantní den
  - 7 denní (týdenní) – konstantní týden
  - 365 denní (roční) – detailní profil

Σ 2 500 kWh/rok

Σ 3 000 kWh/rok

- výpočet produkce FV systému 3,2 kW$_p$ (TRNSYS) ~ 20 m^2
- pro různé časové kroky
  - 5 min, 15 min, 30 min, 60 min, den, měsíc, rok

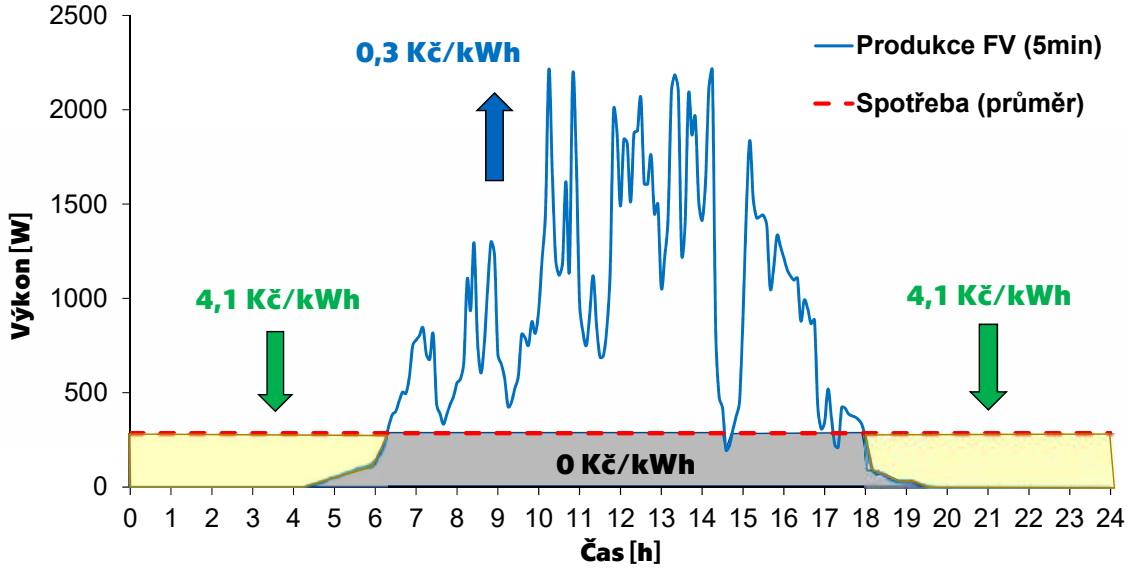
ANALÝZA PRO DOMÁCNOST

- hodnocení **solárního pokrytí** spotřeby uživatelské energie FV systémem (**%**)

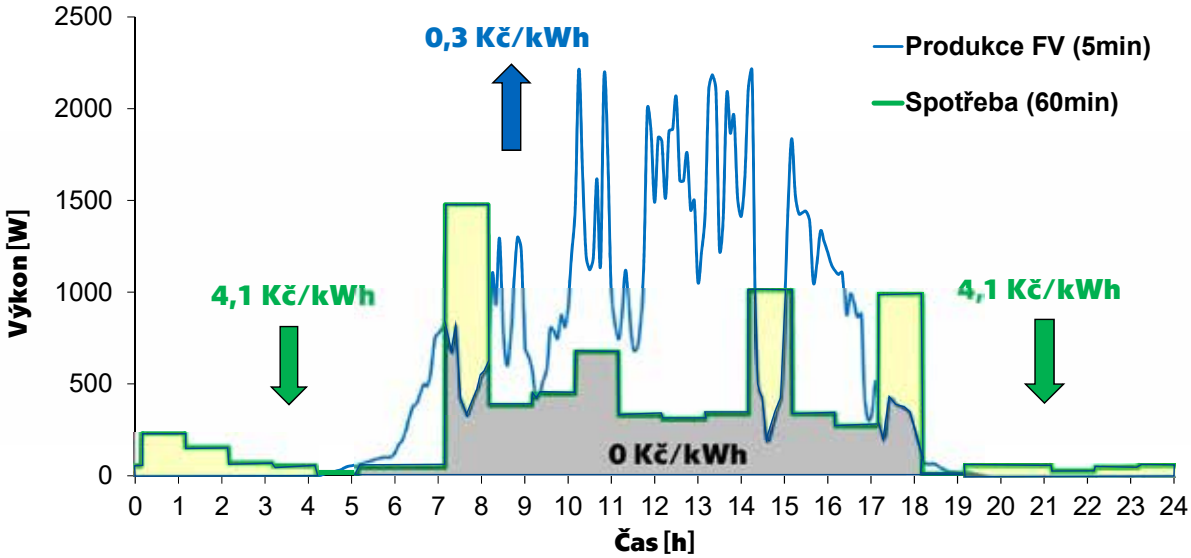
$$\frac{\textit{využitelná energie}}{\textit{spotřebovaná energie}}$$

- ekonomické hodnocení **provozních nákladů** (**Kč/rok**)
  - import (4,1 Kč/kWh) vs. export (0,3 Kč/kWh)

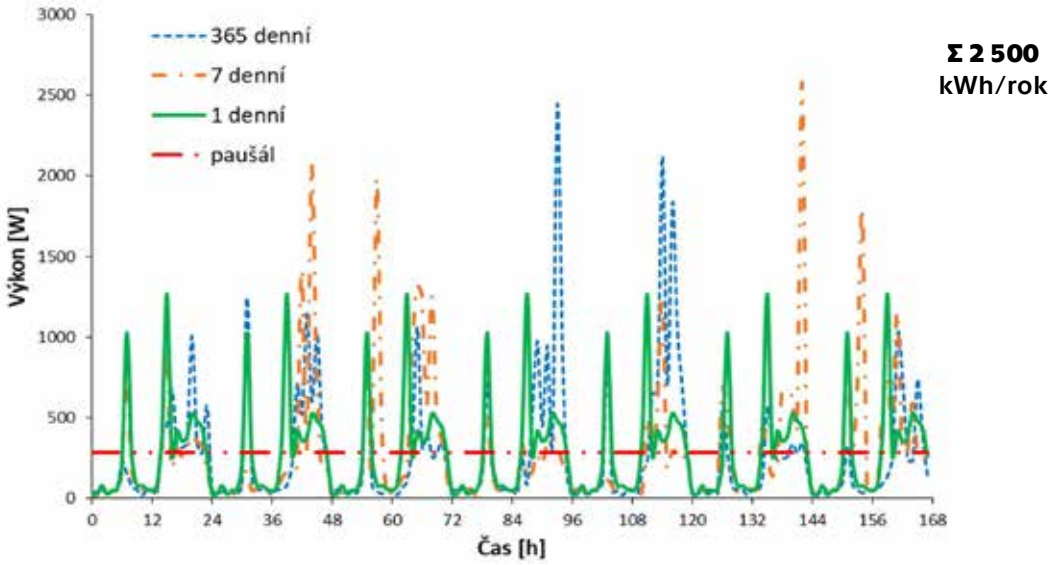
DENNÍ EKONOMICKÁ BILANCE (PRŮMĚR)



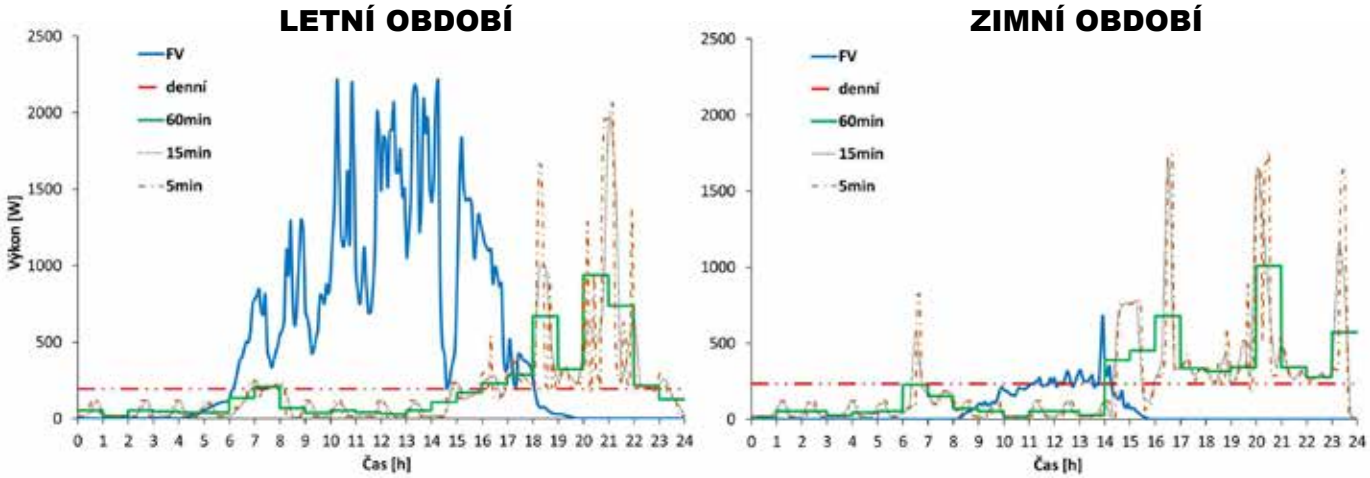
DENNÍ EKONOMICKÁ BILANCE (PROFIL)



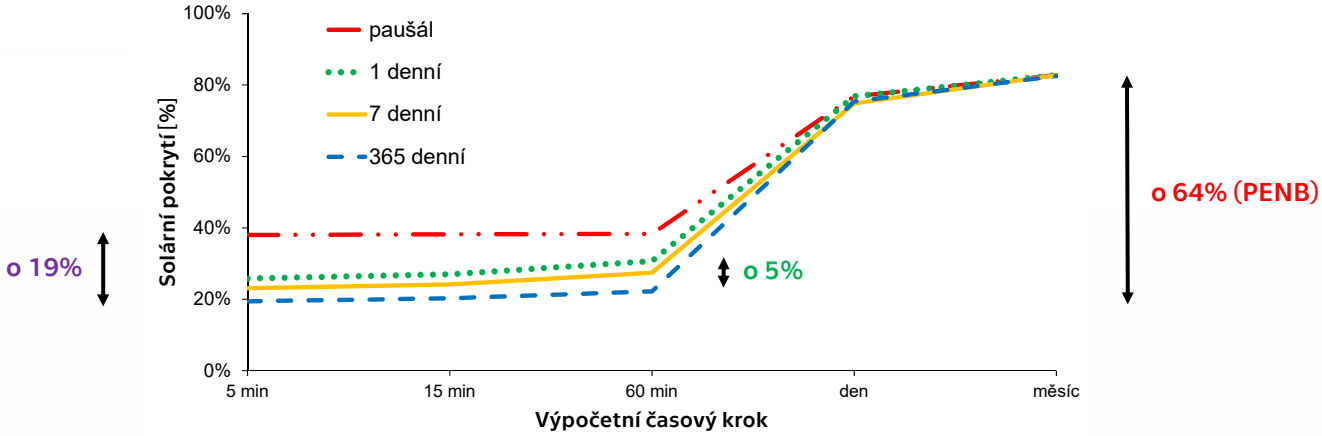
GENEROVANÉ ODBĚROVÉ PROFILY



PŘÍKLAD BILANCÍ

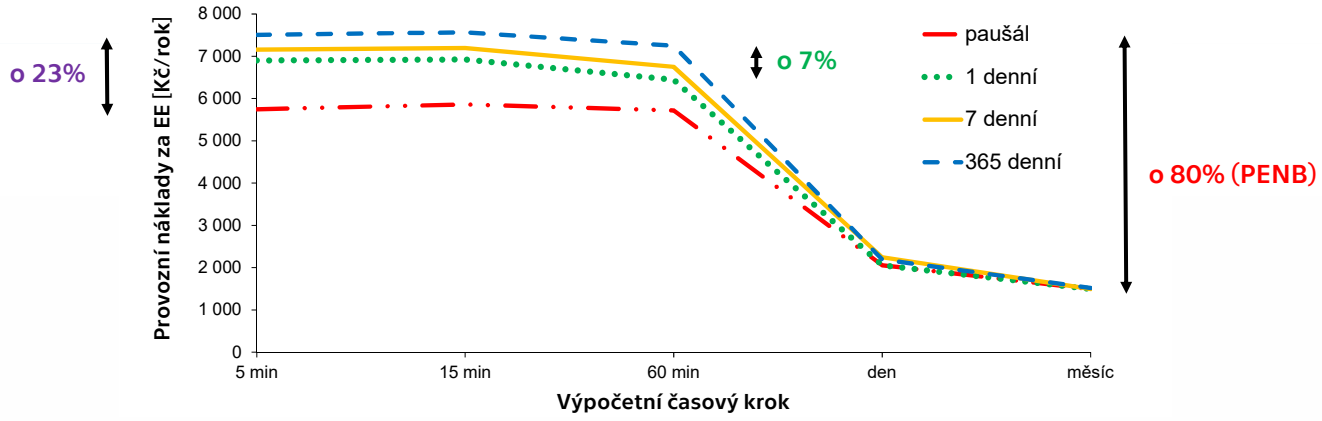


ANALÝZA VLIVU ODBĚROVÉHO PROFILU A ČASOVÉHO KROKU



Pokrytí FV systémem		Výpočetní časový krok					
		5 min	15 min	60 min	den	měsíc	rok
Odběrový profil	paušál	38%	38%	38%	77%	83%	100%
	1 denní	26%	27%	31%	77%	83%	100%
	7 denní	23%	24%	27%	75%	83%	100%
	365 denní	19%	20%	22%	75%	83%	100%

ANALÝZA VLIVU ODBĚROVÉHO PROFILU A ČASOVÉHO KROKU



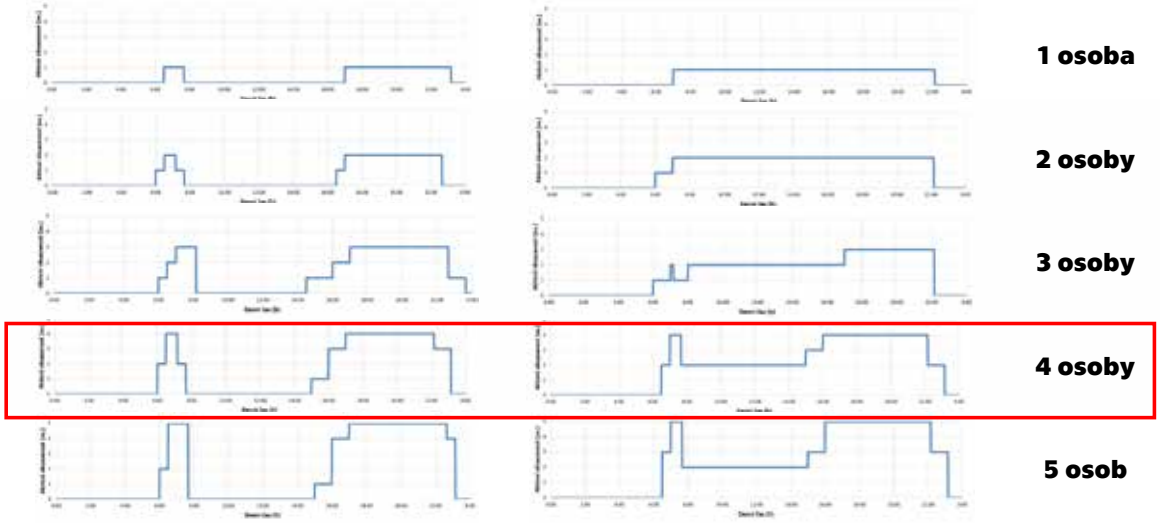
Provozní náklady (Kč/rok)		Výpočetní časový krok					
		5 min	15 min	60 min	den	měsíc	rok
Odběrový profil	paušál	5 750	5 870	5 720	2 060	1 500	-150
	1 denní	6 910	6 930	6 450	2 060	1 500	-150
	7 denní	7 170	7 200	6 760	2 250	1 500	-150
	365 denní	7 510	7 570	7 260	2 200	1 520	-150

ZJEDNODUŠUJÍCÍ GRAF ODHADU SOLÁRNÍHO POKRYTÍ

- při absenci klimatických dat s krátkým časovým krokem
- není třeba řešit problematiku volby časového kroku a odběrového profilu uživatelské EE
- stačí **pouze bilanční poměr** ročních úhrnů spotřeby uživatelské EE a produkce FV systému
- Parametrická analýza:
  - počet osob (1 až 5),
  - profil aktivní obsazenosti (přes den mimo / přes den v domácnosti),
  - uvažované domácí spotřebiče (vyšší standard / nižší standard),
  - výpočet produkce FV systému (1,6 až 5 kW_p ~ 10 až 30 m^2)
  - časový krok 5 min
  - cca 500 bilancí

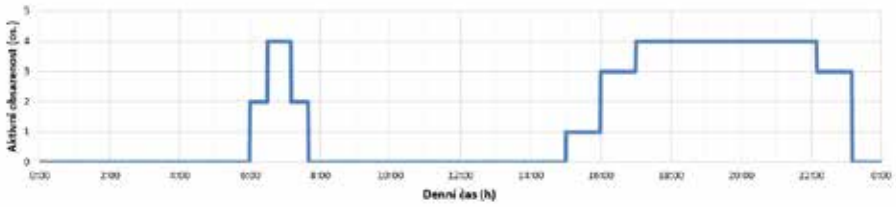
ZJEDNODUŠUJÍCÍ GRAF ODHADU SOLÁRNÍHO POKRYTÍ

- profily aktivní obsazenosti

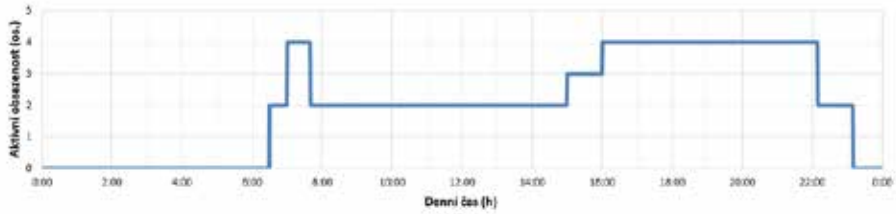


ZJEDNODUŠUJÍCÍ GRAF ODHADU SOLÁRNÍHO POKRYTÍ

- příklad profilů aktivní obsazenosti

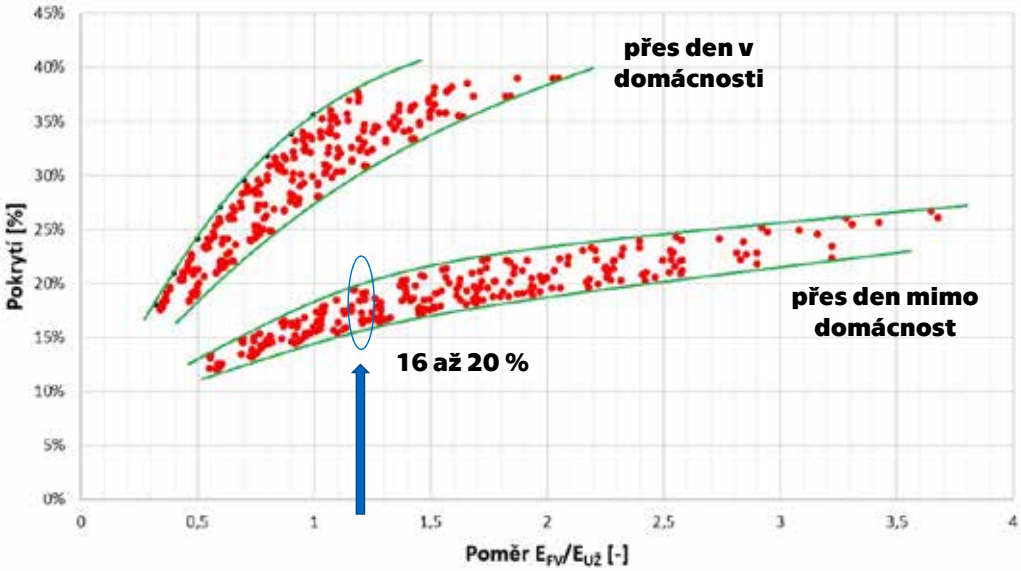


4 osoby mimo



4 osoby doma

ZJEDNODUŠUJÍCÍ GRAF ODHADU SOLÁRNÍHO POKRYTÍ



příklad:

$E_{UŽ}$
Σ 2 500
kWh/rok

E_{FV}
Σ 3 000
kWh/rok

$E_{FV}/E_{UŽ}$
1,2
-

ZÁVĚR

- s kratším časovým krokem a uvažováním odběrových profilů **roste správnost výpočtů**
- značný vliv při použití různého časového kroku na bilanci FV systému:
  - **až o 64 %** v pokrytí FV systémem
  - **až o 80 %** v provozních nákladech

  oproti PENB
- při neuvažování odběrového profilu odchylka **až od 23 %**
- rozdíl mezi 5 min a 60 min krokem **až o 7 %**

- možnost využití zjednodušujícího grafu pro odhad solárního pokrytí

?? uživatelská EE jako součást úředního hodnocení ??

HODNOCENÍ ENERGETICKÝCH SYSTÉMŮ PRO TZV. NULOVÉ DOMY

Tomáš Matuška, Jiří Novotný

UCEEB, České vysoké učení technické v Praze

TÉMĚŘ NULOVÉ BUDOVY

- **Směrnice 2010/31/ES o energetické náročnosti budov**
  - vize výstavby po roce 2020
  - budovy s téměř nulovou spotřebou energie
- **definice**
  - **nízká** energetická náročnost
  - spotřeba ve **značném** rozsahu kryta z OZE
  - **v místě** či v jeho okolí

IMPLEMENTACE DO LEGISLATIVY ČR

- **Zákon 406/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů**
  - převzetí definice „téměř nulové budovy“
- **Vyhláška 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov, MPO ČR**
  - nastavení hodnocení
- **zavedeny 3 ukazatele energetické náročnosti budov**
  - kvalita obálky budovy – průměrný součinitel prostupu tepla
  - účinnost systémů – dodaná energie
  - **neobnovitelná primární energie**

TÉMĚŘ NULOVÉ BUDOVY: SOUČASNÝ STAV V ČR

- **nastavení hodnocení ve Vyhlášce 78/2013 Sb.**
  - **neodpovídá** definici „téměř nulových budov“ v zákoně
- **téměř nulový rodinný dům, téměř nulový bytový dům**
  - dobře zaizolovaný, plynový kondenzační kotel, **žádné OZE** [1]
- **téměř nulová administrativní budova**
  - dobře zaizolovaná, elektrické vytápění, **žádné OZE** [2]

[1] URBAN, M., KABELE, K. Vliv legislativních požadavků kladených na energetickou náročnost budov vzhledem k využití alternativních zdrojů energie. Sborník konference Alternativní zdroje energie 2014, str. 213-219, 2014.

[2] URBAN, M., BEJČEK, M., WOLF, P., VODIČKA, A. Koncept administrativní budovy jako budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Sborník konference Alternativní zdroje energie 2016, str. 193-200, 2016.

TÉMĚŘ NULOVÉ BUDOVY: SOUČASNÝ STAV V EU

- **Doporučení Komise (EU) 2016/1318 ze dne 29.7.2016**
  - o pokynech na podporu budov s téměř nulovou spotřebou energie a osvědčených postupů k zajištění, aby do roku 2020 byly všechny nové budovy budovami s téměř nulovou spotřebou energie

- **pro rodinné domy v oceánské oblasti (ČR) se doporučuje**
  - neobnovitelná primární energie **15 až 30 kWh/m^2.rok**
  - vytápění, teplá voda, větrání, osvětlení, (vlhčení, chlazení)

NASTAVENÍ NZEB V EVROPĚ

Stát EU	Potřeba nPE [kWh/m^{2}rok]
Francie	40 až 65
Velká Británie	44
Česká republika	75–80 % nPE ref. budovy
Polsko	60 až 75
Německo	40 % nPE ref. budovy
Belgie (oblast Brusel)	45
Dánsko	20
Slovensko	32 až 54
Maďarsko	50 až 72
Irsko	45

dnešní výstavba ČR nPE = 120 až 200 kWh/m^2.rok
dnešní nZEB v ČR **nPE = 100 až 160 kWh/m^2.rok**

CO ZNAMENÁ NULOVÁ BUDOVA? ČSN 73 0540-2

Závaznost kriteria		Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně hodnocení	
		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m²K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m²a)]	Měrná primární energie [kWh/(m²a)]	
				Úroveň A	Úroveň B
Obytné budovy	Nulový	Rodinné domy ≤ 0,25 Bytové domy ≤ 0,35	Rodinné domy ≤ 20 Bytové domy≤ 15	0	0
	Blízký nulovému			80	30
Neobytné budovy	Nulový	≤ 0,35	≤ 30	0	0
	Blízký nulovému			120	90

úroveň A: vytápění, teplá voda, pomocná energie, uživatelská energie

úroveň B: vytápění, teplá voda, pomocná energie

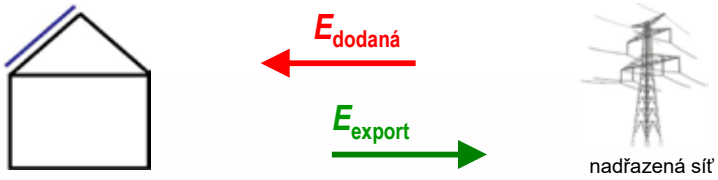
na základě ročního úhrnu energií

CO ZNAMENÁ NULOVÁ BUDOVA? METODIKA EEH+

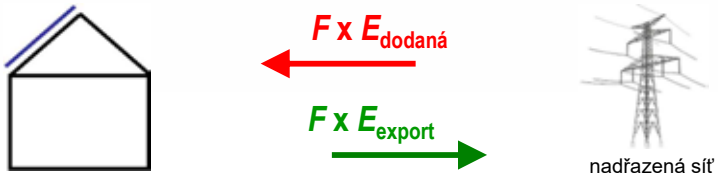
- **hodnotí se roční bilance:**
  - neobnovitelné primární energie 0 kWh/m².rok
  - **dodané energie** **0 kWh/m².rok**
  - **na základě ročního úhrnu energií**
- **zahrnuje se:**
  - potřeba uživatelské energie a osvětlení
  - hodnota 20 kWh/m².rok

BILANČNÍ VÝPOČET

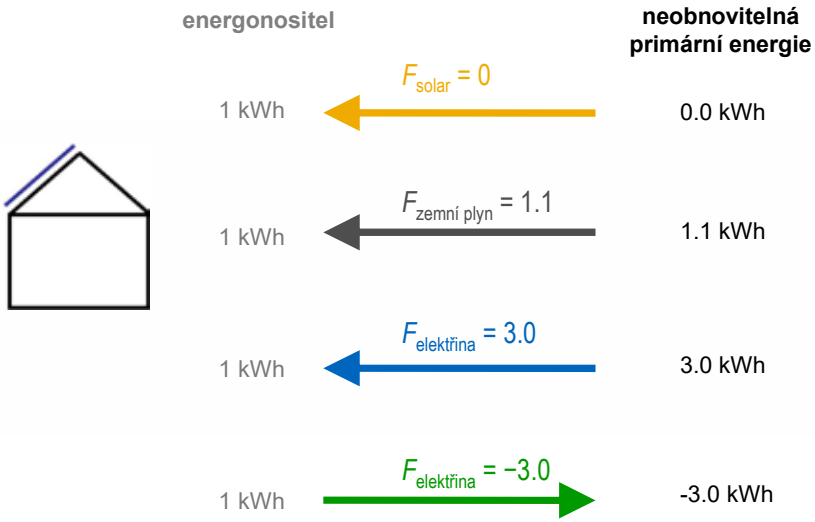
bilance dodané energie



bilance neobnovitelné primární energie



BILANČNÍ VÝPOČET



PROBLÉM ČESKÉHO ÚŘEDNÍHO PŘÍSTUPU

- **do dodané energie se započítává i:**
  - obnovitelná energie ze solárního termického systému
  - obnovitelná energie ze solárního fotovoltaického systému
  - obnovitelné teplo přečerpané tepelným čerpadlem
  - **dle EN 15603 se toto rozhoduje na národní úrovni**

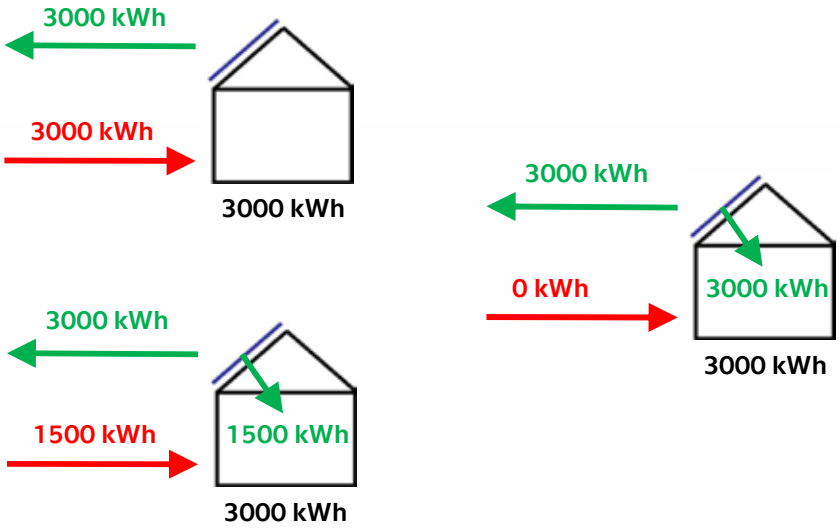
co to znamená?

místní využití OZE v budově nesnižuje dodanou energii!

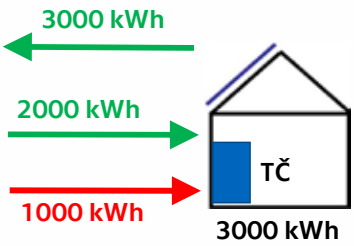
PROBLÉM ČESKÉHO ÚŘEDNÍHO PŘÍSTUPU

- **snižovat dodanou energii lze pouze:**
  - snížením potřeb energie
    - vytápění – izolace, okna, hmota, rekuperace
    - příprava TV – menší potřeba vody, rekuperace
  - účinností technických systémů sdílení a rozvodu tepla/chladu
    - snížení ztrát rozvodů, regulace dodávky tepla/chladu
  - exportem místní obnovitelné energie
    - nejčastěji FV systém, méně větrná energie, ...

PROBLÉM ČESKÉHO ÚŘEDNÍHO PŘÍSTUPU



PROBLÉM ČESKÉHO ÚŘEDNÍHO PŘÍSTUPU



JAK TEDY POČÍTAT?

- **neúřední postup**
  - započítat i potřebu uživatelské elektřiny
    - významně rozhoduje o bilanci, promítá se do nákladů budovy
  - dodaná energie = nakupovaná
    - místní využití OZE snižuje dodanou energii
- **dva systémy hodnocení**
  - ČSN 730540-2 nPE < 0
  - EEH+ nPE < 0
    cDE < 0

jaká plocha FV systému je potřeba pro nulovou roční bilanci?

BILANČNÍ VÝPOČET PŘÍKLAD RODINNÉHO DOMU

půdorysná plocha 150 m^2

vztažná plocha 200 m^2

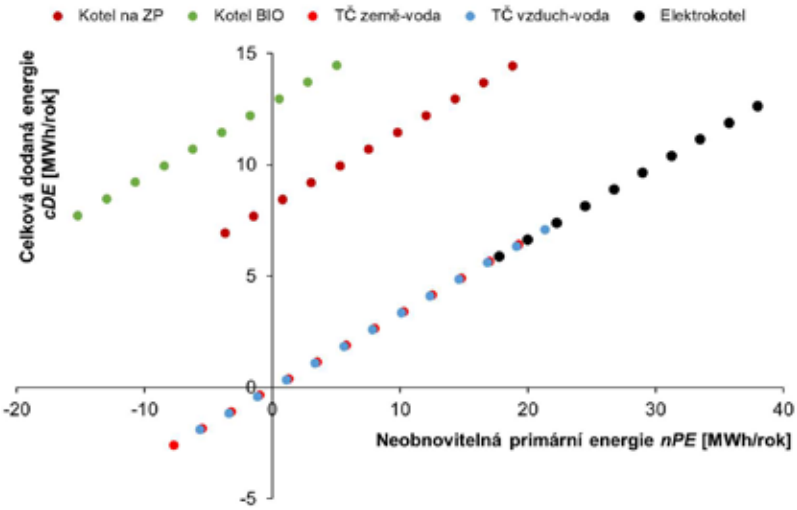
střecha max. 60 m^2

- vytápění NED (50) 7500 kWh/rok
  PAS (20) 3000 kWh/rok účinnost sdílení tepla 90 %
- teplá voda (4 osoby) 3000 kWh/rok
- uživatelská el. (20) 4000 kWh/rok

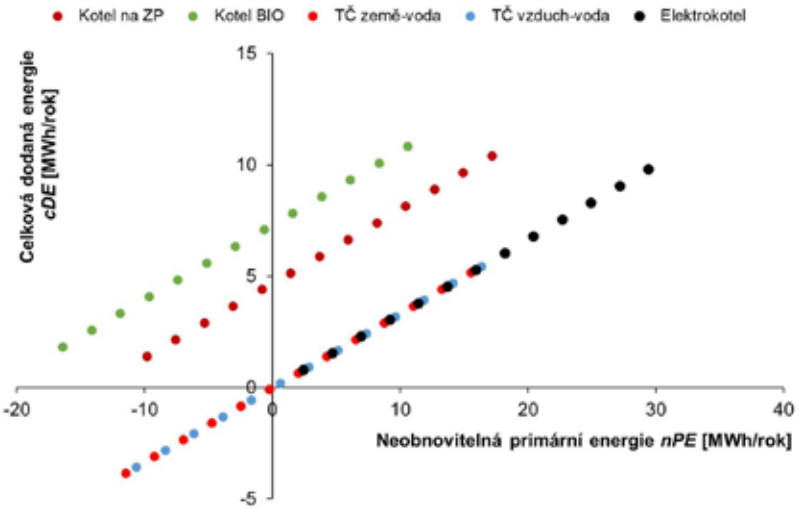
VÝSLEDKY ROČNÍ BILANCE

Kotel na ZP (0,9/0,9)	*nPE* [MWh/rok]	A_{FV} [m²]	*cDE* [MWh/rok]	A_{FV} [m²]
Nízkoenergetický	23.3	52	16.0	106
Pasivní	17.1	38	10.4	69
Kotel na BIO (0,85/0,85)				
Nízkoenergetický	11.7	26	16.7	112
Pasivní	10.6	23	10.8	72
TČ země-voda (4,0/2,5)				
Nízkoenergetický	19.3	43	6.4	43
Pasivní	15.5	34	5.2	34
TČ vzduch-voda (3,0/2,5)				
Nízkoenergetický	21.3	47	7.1	47
Pasivní	16.3	36	5.4	36
Elektrokotel (0,98/0,98)				
Nízkoenergetický	44.7	99	14.9	99
Pasivní	29.4	65	9.8	65

VÝSLEDKY ROČNÍ BILANCE NÍZKOENERGETICKÝ DŮM

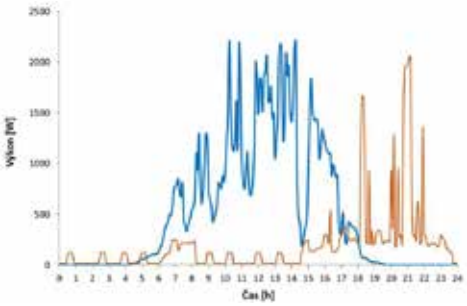


VÝSLEDKY ROČNÍ BILANCE PASIVNÍ DŮM



ALE JAKÉ BUDOU SKUTEČNĚ PROVOZNÍ NÁKLADY?

- **reálné využití produkce FV systému v budově**
  - ke krytí uživatelské spotřeby
  - ke krytí spotřeby tepelného čerpadla

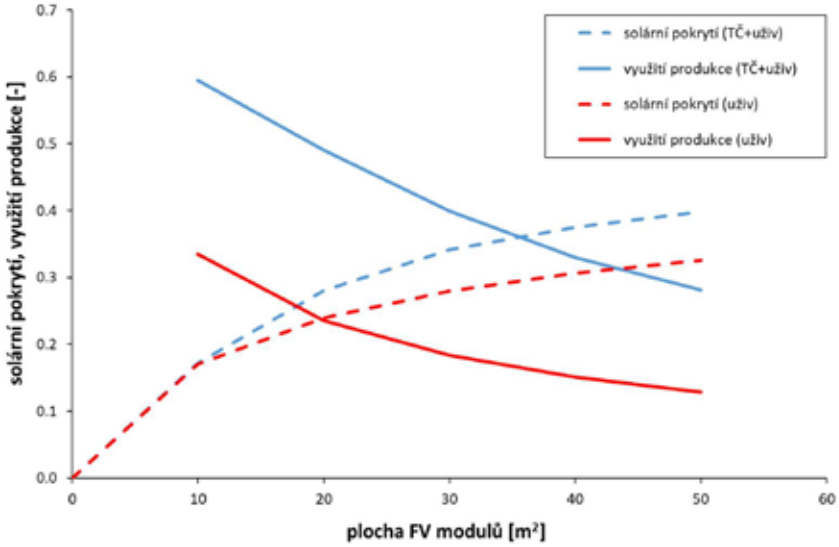


ALE JAKÉ BUDOU SKUTEČNĚ PROVOZNÍ NÁKLADY?

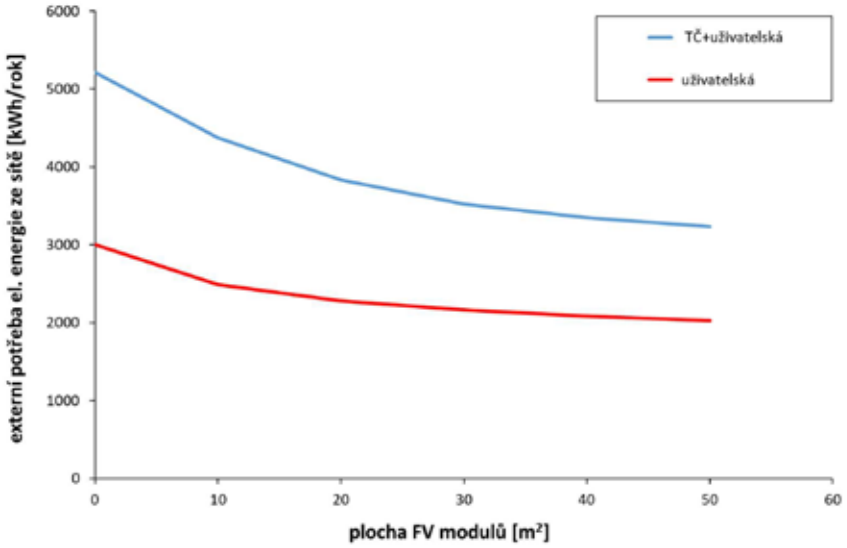
- cena energie

Energonositel	Cena energie
Zemní plyn	1,4 Kč/kWh
Dřevní pelety	1,3 Kč/kWh
Elektřina uživatelská	4,1 Kč/kWh
Elektřina vytápění	2,3 Kč/kWh
Elektřina výkup do sítě	0,3 Kč/kWh

VYUŽITÍ PRODUKCE FV SYSTÉMU SOLÁRNÍ POKRYTÍ EL. SPOTŘEBY



POTŘEBA EXTERNÍ EL. ENERGIE



NÁKLADY

- IN investiční
- PN provozní za 15 let
- CN celkové za 15 let = IN + PN

Zdroj tepla	IN_{zdroj} [tis. Kč]	IN_{FV} [tis. Kč]	PN_{15} [tis. Kč]	CN_{15} [tis. Kč]	T [rok]
Kotel ZP	30	205	263	498	40
Kotel BIO	60	124	289	473	32
TČ země-voda	200	184	99	483	35
TČ vzduch-voda	120	194	104	419	35

provozní náklady nejsou nulové

návratnost za hranicí životnosti použitých technologií

NÁKLADY

- **výkupní cena el. energie z roku 2013**
  - 2.8 Kč/kWh ~ dnešní výkup v Německu

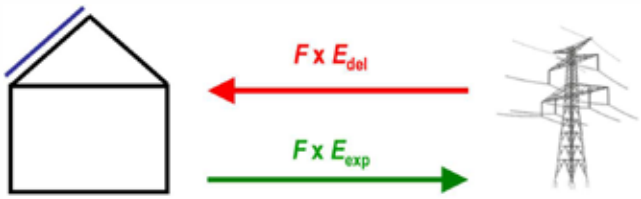
Zdroj tepla	IN_{zdroj} [tis. Kč]	IN_{FV} [tis. Kč]	PN_{15} [tis. Kč]	CN_{15} [tis. Kč]	T [rok]
Kotel ZP	30	205	80	315	12
Kotel BIO	60	124	186	370	12
TČ země-voda	200	184	-25	359	14
TČ vzduch-voda	120	194	-27	287	14

provozní náklady mohou být i záporné

návratnost do životnosti použitých technologií

ZÁVĚR

- **dosažení standardu energeticky nulových budov**
  - plocha FV systému velká oproti běžné spotřebě
  - vzhledem k reálnému odběrovému profilu nízké využití produkce
  - nutný export za zanedbatelnou cenu
  - špatná ekonomika – vysoké provozní náklady, vysoká investice, nízká úspora
- **kudy dál?**
  - rozumné nastavení výkupních cen
  - pružně reagující sítě



tomas.matuska@fs.cvut.cz