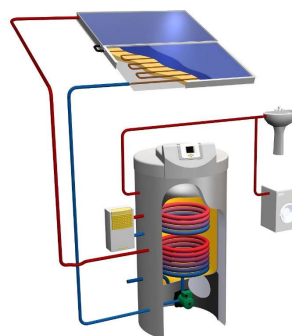




1/61

Solární soustavy

- příprava teplé vody
- vytápění
- ohřev bazénové vody
- navrhování a bilancování
- hydraulická zapojení



2/61

Aktivní solární soustavy

- 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)



3/61

Navrhování a bilancování solárních soustav

- potřeba tepla
- zisky solární soustavy
- zjednodušená bilanční metoda
- simulační nástroje



4/61

Navrhování solárních soustav

- **snížení potřeby tepla** - úsporná opatření provádět jako první !
- **příprava teplé vody**
 - úsporné armatury, zaregulování a zaizolování rozvodů, řízení cirkulace TV podle času a teploty
- **vytápění**
 - nízkoenergetické a energeticky pasivní domy (zateplení, okna, mechanické větrání se zpětným získáváním tepla)
- **ohřev bazénu**
 - zakrývání v době mimo provoz
 - teplota bazénové vody



5/61

Navrhování solárních soustav

- **analyzovat skutečnou potřebu tepla (!)**
- **příprava teplé vody**
 - dlouhodobé měření, sada krátkodobých měření, skutečná spotřeba tepla na přípravu (včetně ztrát)
 - směrné hodnoty: běžná spotřeba TV do **40 l/os.den** (60°C)
- **vytápění**
 - ČSN EN ISO 13 790 – pokročilý, detailní výpočet
 - denostupňová metoda – jednoduchá, **pro účely výpočtu solárních soustav postačující**
- **ohřev bazénu**
 - venkovní, vnitřní, skutečné teplotní a **vlhkostní** podmínky



6/61

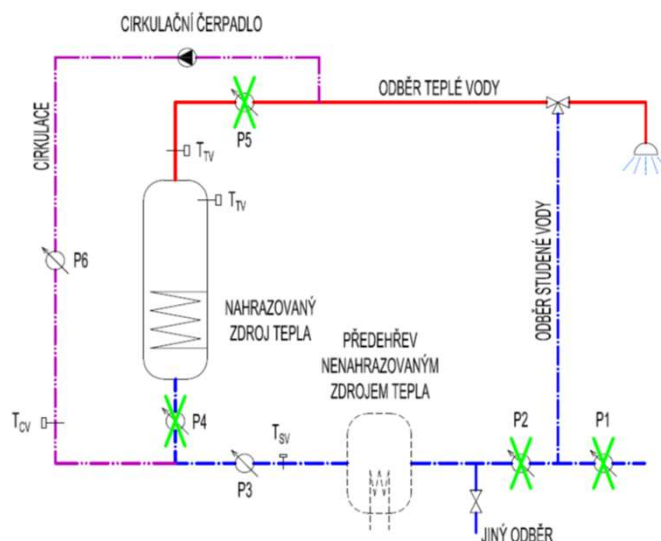
Stanovení spotřeby tepla na TV

- **stávající budovy - dlouhodobé a věrohodné měření:**
 - dodané teplo na patě objektu, nebo zásobníku, včetně cirkulace
 - celoroční údaje o spotřebovaném množství TV se zohledněním teploty SV a TV, ztráty odhadem
 - alespoň týdenní měření průběhu spotřeby teplé vody
 - měření energie zdroje pro přípravu TV, např. spotřeba plynu, **odhad provozní účinnosti zdroje tepla (!)**



Měření spotřeby tepla

7/61



Stanovení spotřeby tepla na TV

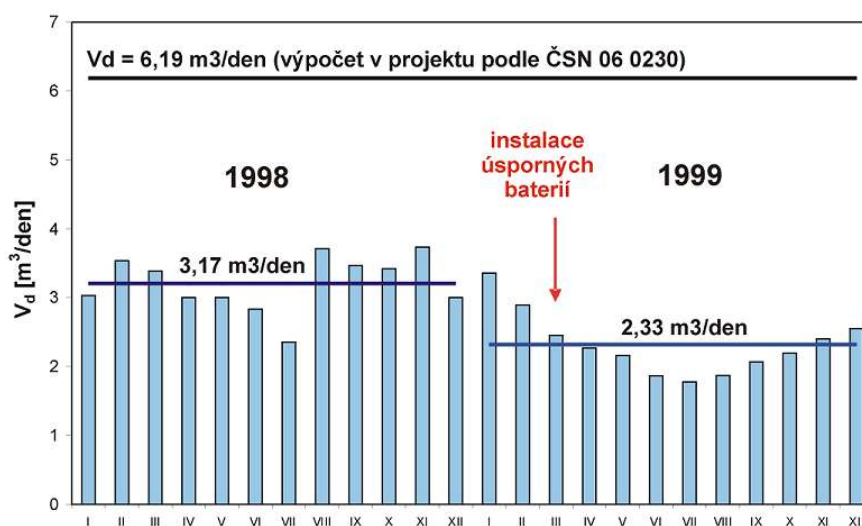
8/61

- nové, příp. stávající budovy – směrná čísla:
 - střední standard 20 až **40 l/os.den** (při teplotní úrovni 60°C)
 - nepoužívat ČSN 06 0320: 82 l/os.den



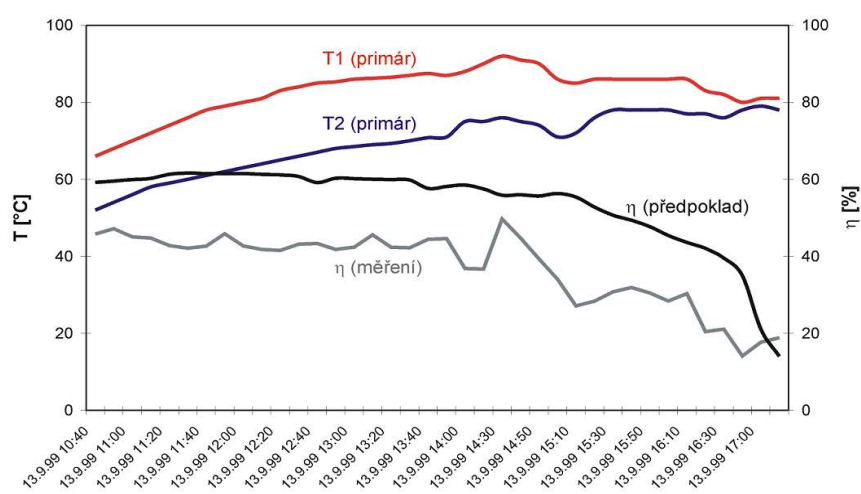
9/61

Předimenzovaná soustava



10/61

Předimenzovaná soustava

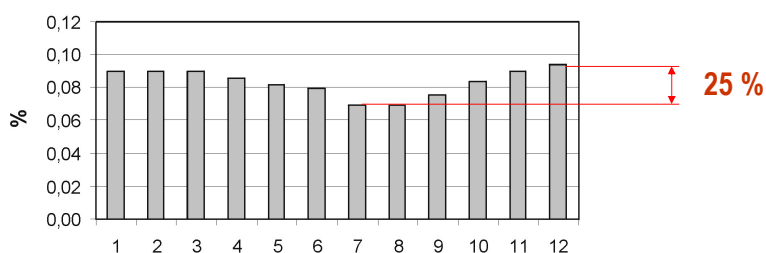




11/61

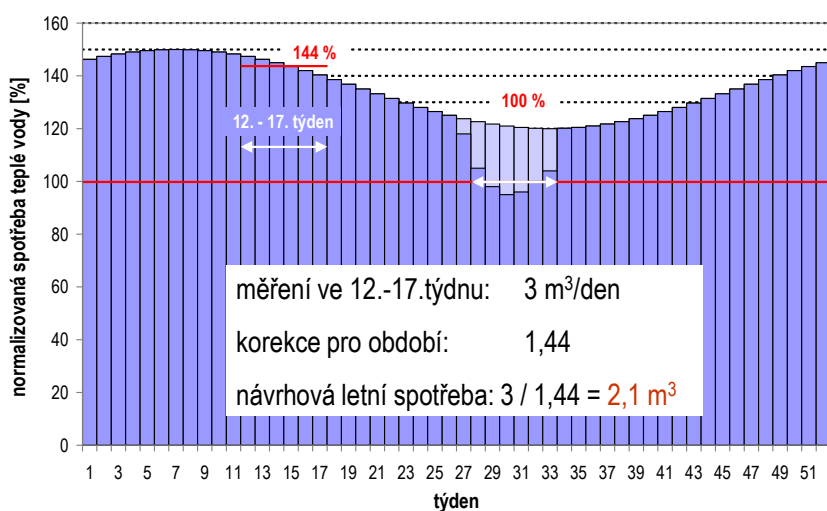
Profil potřeby tepla na přípravu TV

- letní pokles (bytové domy) oproti zimnímu období:
 - školní prázdniny, dovolená
 - vyšší teplota studené vody
 - chování uživatelů (letní sprcha, zimní vana)



12/61

Vyhodnocení krátkodobého měření

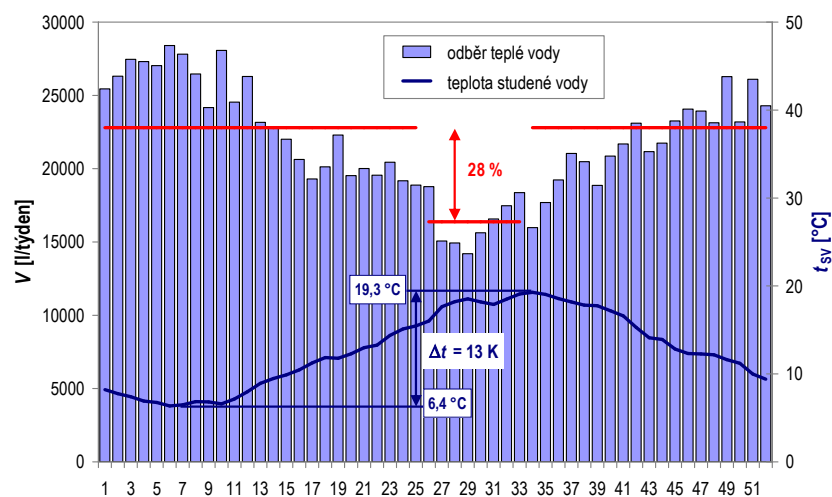




Měření v BD Stodůlky

35 l/(os.den)

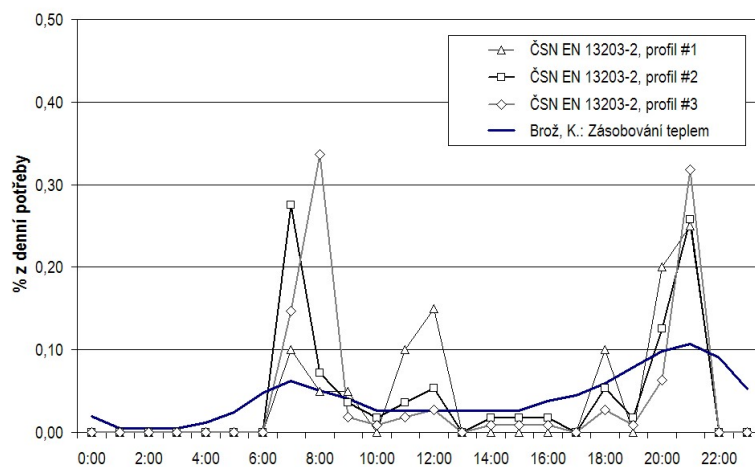
13/61



Denní profil potřeby teplé vody

14/61

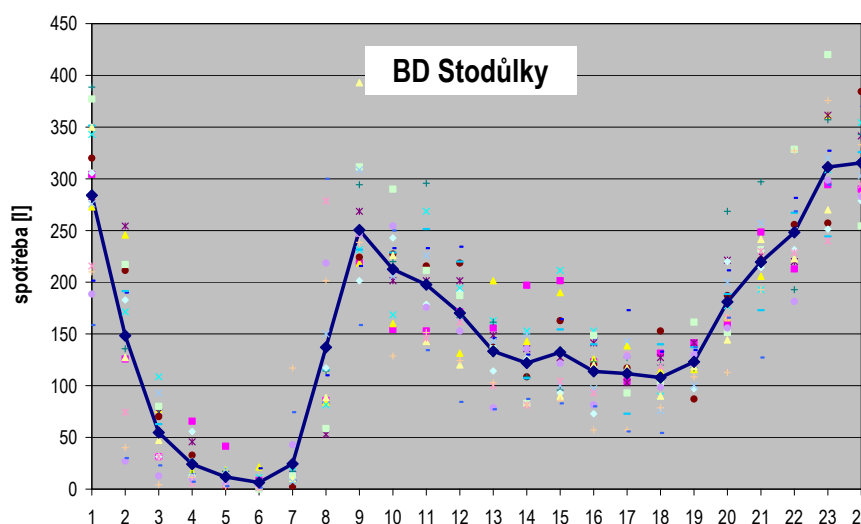
- denní profil (hodinové simulace, simulační softwar)





15/61

Denní profil potřeby teplé vody



16/61

Denní potřeba tepla na ohřev TV

$$Q_{TV} = \frac{V_{TV,den} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3,6 \times 10^6}$$

$V_{TV,den}$	průměrná denní potřeba teplé vody	[m ³ /den]
ρ	hustota vody	998 kg/m ³
c	měrná tepelná kapacita vody	4187 J/kg.K
t_{SV}	teplota studené vody	15 °C
t_{TV}	teplota teplé vody	60 °C



17/61

Tepelné ztráty přípravy TV

- **paušální přírážka** $Q_{p,c} = Q_{p,TV} = Q_{TV} + Q_{z,TV} = (1 + z) \cdot Q_{TV}$

Typ přípravy TV	z
Lokální průtokový ohřev	0,00
Centrální zásobníkový ohřev bez cirkulace	0,15
Centrální zásobníkový ohřev s řízenou cirkulací	0,30
Centrální zásobníkový ohřev s neřízenou cirkulací	1,00
CZT, příprava TV s meziobjektovými přípojkami, TV, CV	> 2,00

zdroj: TNI 73 0302 Energetické hodnocení solárních tepelných soustav – Zjednodušený výpočtový postup



18/61

Potřeba tepla na vytápění

- **ČSN EN ISO 13790** – Energetická náročnost budov – Výpočet potřeby energie na vytápění a chlazení
 - **měsíční bilance**, okrajové podmínky TNI 73 0329, TNI 73 0330
 - stupeň využití solárních a vnitřních tepelných zisků na základě akumulární schopnosti objektu (výpočet tepelné kapacity, časové konstanty)
- **denostupňová metoda** – zjednodušené stanovení (TNI 73 0302)
 - **měsíční bilance**, na základě venkovní teploty z výpočtové tepelné ztráty
 - korekční součinitel: 0.75 (standard), 0.60 (nízkoenergetické), 0.50 (pasivní)

$$Q_{VYT} = 24 \cdot \varepsilon \cdot \dot{Q}_z \cdot \frac{(t_{ip} - t_{ep})}{(t_{iv} - t_{ev})}$$



19/61

Tepelné ztráty otopné soustavy

- **tepelné ztráty otopné soustavy $Q_{z,VYT}$**
 - vlastní ohřev otopné vody (kombinovaný zásobník, část pro OS)
 - rozvod otopné vody (tepelné ztráty do nevytápěných místností)
 - setrvačnost otopné soustavy (přetápění, zvýšení dodávky energie)
- **podrobný výpočet** (precizní, náročný na vstupní údaje)
 - ČSN EN 15316-2-1: sdílení tepla („účinnost“ otopných ploch)
 - ČSN EN 15316-2-3: rozvody tepla (otopné vody)
- **paušální přírážka** - zjednodušené stanovení (TNI 73 0302)

$$Q_{p,VYT} = Q_{VYT} + Q_{z,VYT} = (1 + \nu) Q_{VYT}$$



20/61

Potřeba tepla na ohřev bazénu

- **vnitřní bazén (krytý) - komfortní**
 - nezakrývaná hladina - v době provozu
 - zakrývaná hladina – v době mimo provoz





21/61

Potřeba tepla na ohřev bazénu

- **venkovní bazén (nekrytý) – nižší teploty**
 - nezakrývaná hladina - v době provozu
 - zakrývaná hladina – v době mimo provoz



22/61

Bilance bazénu





23/61

Potřeba tepla na ohřev bazénu

- provozní podmínky
- tepelná ztráta závisí na:
 - teplotě bazénové vody t_w
 - teplotě okolního vzduchu t_v :

teplota místnosti t_i
 venkovní teplota t_e
 - relativní vlhkosti okolního vzduchu φ_v :

vlhkost v místnosti φ_i
 venkovní vlhkost φ_e
 - rychlosti proudění vzduchu w okolo vodní hladiny
 - teplotě okolních povrchů
 - vlastnostech zakrytí vodní hladiny



24/61

Potřeba tepla na ohřev bazénu

- provozní podmínky

Typ bazénu	t_w [°C]	$p''_{d(tw)}$ [Pa]	t_v [°C]	φ_v [%]	$p_{d(tv)}$ [Pa]
vnitřní – v provozu	28	3781	30	65	2759
vnitřní – mimo provoz	24	2985	20	65	1521
venkovní – v provozu	24	2985	$= t_{e,s}$	50	výpočet
venkovní – mimo provoz	20	2339	$= t_{e,n}$	50	výpočet



25/61

Vlhkost - vztahy

parciální tlak **syté** vodní páry (závislý na teplotě vzduchu)

$$p_d'' = \exp\left(23.58 - \frac{4044.2}{235.6 + t}\right)$$

parciální tlak vodní páry (závislý na relativní vlhkosti a teplotě vzduchu)

$$p_d = \varphi p_d''$$



26/61

Potřeba tepla – vnitřní bazén

v době provozu τ_p

$$Q_{BV, \text{provoz}} = \frac{n}{1000} \tau_p \left[\beta_p A_b (p_{d(t_{w,p})}'' - p_{d(t_{v,p})}) \frac{l_w}{3600} + h_i A_b (t_{w,p} - t_{v,p}) \right]$$

β_p součinitel přenosu hmoty vypařováním
 $\beta_p = 1,6 \times 10^{-4} \text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa})$;

A_b plocha vodní hladiny bazénu

$t_{w,p}$ teplota bazénové vody **v době provozu**

$t_{v,p}$ teplota vzduchu v bazénové místnosti **v době provozu**

l_w výparné teplo vody 2.5 MJ/kg

h_i součinitel přestupu tepla z vodní hladiny, 10 W/m²K



27/61

Potřeba tepla – vnitřní bazén

v době mimo provoz τ_n

$$Q_{BV,mimo} = \frac{n}{1000} (24 - \tau_p) \left[\beta_n A_b (p''_{d(t_{w,n})} - p_{d(t_{v,n})}) \frac{l_w}{3600} + h_i A_b (t_{w,n} - t_{v,n}) \right]$$

β_n součinitel přenosu hmoty vypařováním
 $\beta_n = 0 \text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa})$ **pro zakrývaný bazén**

A_b plocha vodní hladiny bazénu

$t_{w,n}$ teplota bazénové vody v době **mimo provoz**

$t_{v,n}$ teplota vzduchu v bazénové místnosti v době **mimo provoz**

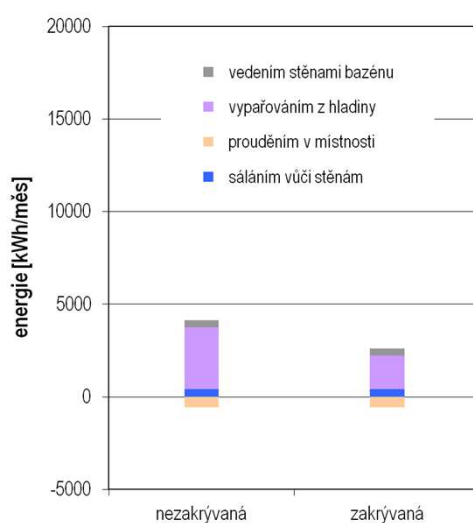
l_w výparné teplo vody 2.5 MJ/kg

h_i součinitel přestupu tepla z vodní hladiny, $1/R_{zakrytí}$



28/61

Potřeba tepla – vnitřní bazén

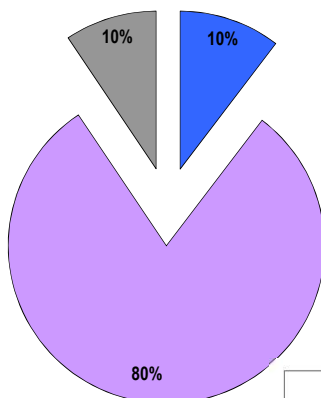




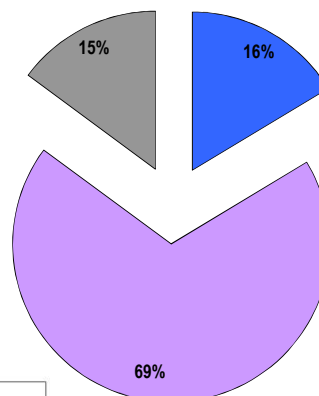
29/61

Potřeba tepla – vnitřní bazén

nezakrývaný



zakrývaný



- sáláním vůči stěnám
- vypařováním z hladiny
- vedením stěnami bazénu



30/61

Potřeba tepla – venkovní bazén

v době provozu τ_p

$$Q_{BV, \text{provoz}} = \frac{n}{1000} \tau_p \left[\beta_p A_b (p_{d(t_{w,p})}'' - p_{d(t_{e,s})}) \frac{l_w}{3600} + h_e A_b (t_{w,p} - t_{e,s}) \right] - 0,85 \cdot n \cdot H_{\text{den}} \cdot A_b$$

β_p součinitel přenosu hmoty vypařováním
 $\beta_p = 2,9 \times 10^{-4} \text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa})$;

$t_{w,p}$ teplota bazénové vody **v době provozu**

$t_{e,s}$ teplota venkovního vzduchu **v době provozu** (slunečního svitu)

l_w výparné teplo vody 2.5 MJ/kg

h_e součinitel přestupu tepla z vodní hladiny, 15 W/m²K

H_{den} energie slunečního záření dopadající na volnou hladinu



31/61

Potřeba tepla – venkovní bazén

v době mimo provoz τ_n

$$Q_{BV,mimo} = \frac{n}{1000} (24 - \tau_p) \left[\beta_n A_b (p''_{d(t_{w,n})} - p_{d(t_{e,n})}) \frac{l_w}{3600} + h_e A_b (t_{w,n} - t_{e,n}) \right]$$

β_p součinitel přenosu hmoty vypařováním
 $b_n = 0 \text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa})$ **pro zakrývaný bazén**

$t_{w,n}$ teplota bazénové vody v době mimo provoz

$t_{e,n}$ teplota venkovního vzduchu v době mimo provoz (v noci)

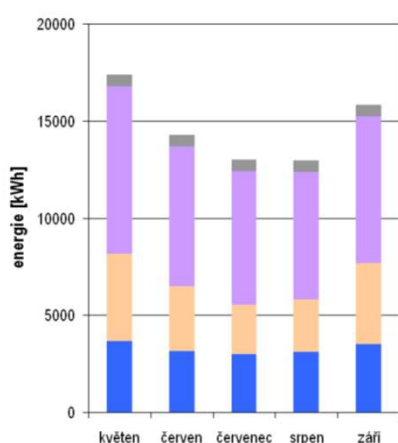
l_w výparné teplo vody 2.5 MJ/kg

h_e součinitel přestupu tepla z vodní hladiny, závislý zda je k dispozici zakrývání nebo ne; $1/R_{zakrytí}$

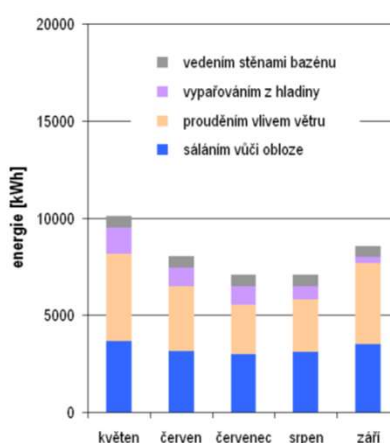


32/61

Potřeba tepla – venkovní bazén



nezakrývaný



zakrývaný

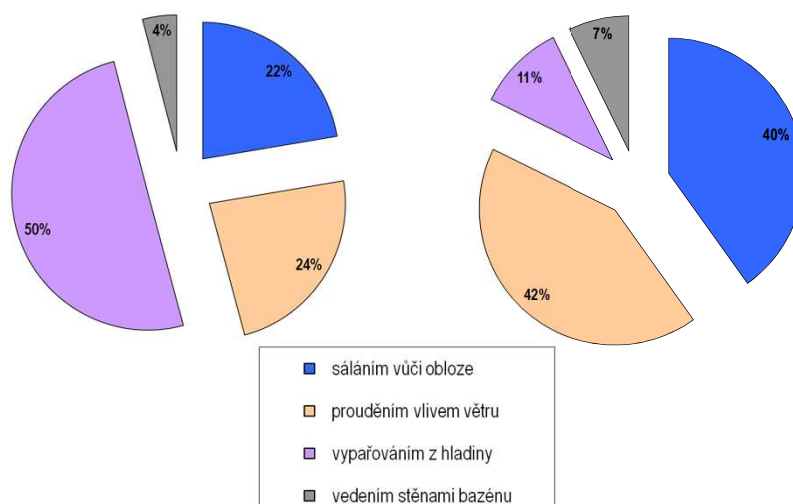


33/61

Potřeba tepla – venkovní bazén

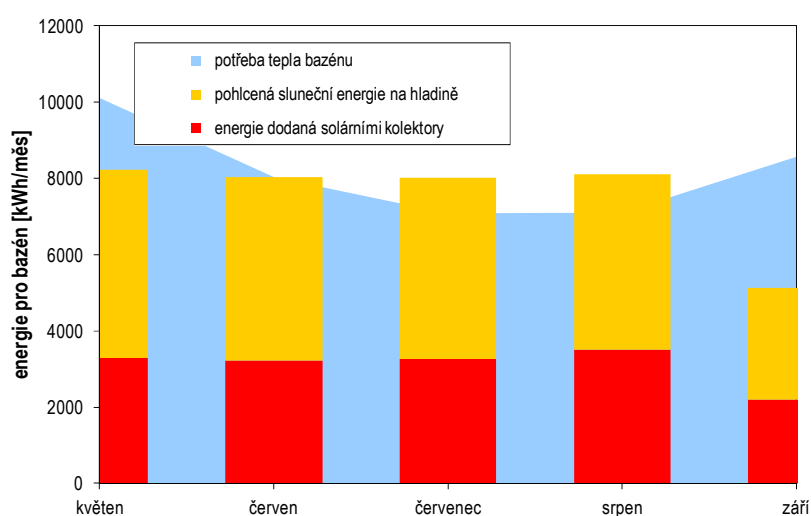
nezakrývaný

zakrývaný



34/61

Bilance venkovního bazénu





35/61

Potřeba tepla na ohřev bazénu

■ přívod čerstvé vody

- 30 litrů na návštěvníka krytého plaveckého bazénu
- 45 litrů na návštěvníka krytého koupelového bazénu
- 60 litrů na návštěvníka nekrytého bazénu

$$Q_{SV} = k \frac{V_{SV,os} \rho c (t_w - t_{SV})}{3,6 \times 10^6}$$

měsíční počet návštěvníků $k = 0,2 \cdot k_b \cdot \tau_p \cdot n$

k_b hodinová kapacita bazénu



36/61

Teoreticky využitelný zisk kolektorů

- teoreticky využitelný tepelný zisk $Q_{k,u}$ [kWh/m²] solárních kolektorů v daném období (den, měsíc)

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

- účinnost solárního kolektoru v dané aplikaci η_k
- skutečná denní dávka slunečního ozáření plochy kolektoru H_T
 - tabulky v TNI 73 0302 – *jednotné klimatické údaje*
- tepelné ztráty solární soustavy
 - paušální procentní srážka p
 - tabulky v TNI 73 0302 *podle typu a velikosti solární soustavy*



37/61

Účinnost solárního kolektoru

- účinnost solárního kolektoru η_k (střední denní, resp. měsíční účinnost)

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

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



38/61

Účinnost solárního kolektoru

- průměrná denní teplota kapaliny v kolektoru $t_{k,m}$

Typ aplikace	$t_{k,m}$ [°C]
Ohřev bazénové vody (venkovní bazén)	30
Ohřev bazénové vody (vnitřní bazén)	35
Přehřev teplé vody, pokrytí < 35 %	35
Příprava teplé vody, 35 % < pokrytí < 70 %	40
Příprava teplé vody, pokrytí > 70 %	50
Příprava teplé vody a vytápění, pokrytí < 25 %	50
Příprava teplé vody a vytápění, pokrytí > 25 %	60



39/61

Tepelné ztráty solární soustavy

- paušální srážka

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

Typ solární soustavy	p
Ohřev bazénové vody	0,01
Příprava teplé vody, do 10 m ²	0,20
Příprava teplé vody, od 10 do 50 m ²	0,10
Příprava teplé vody, od 50 do 200 m ²	0,05
Příprava teplé vody, nad 200 m ²	0,03
Příprava teplé vody a vytápění, do 10 m ²	0,30
Příprava teplé vody a vytápění, od 10 do 50 m ²	0,20
Příprava teplé vody a vytápění, od 50 do 200 m ²	0,10
Příprava teplé vody a vytápění, nad 200 m ²	0,06



40/61

Návrh plochy solárních kolektorů

Návrh plochy solárních kolektorů A_k

- pro daný **návrhový** měsíc
 - klimatické a provozní okrajové podmínky
- pro zajištění pokrytí potřeby tepla
 - podle typu aplikace, podle místní dispozice

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \eta_k \cdot H_T \cdot A_k \cdot (1 - p) = Q_{p,c}$$



41/61

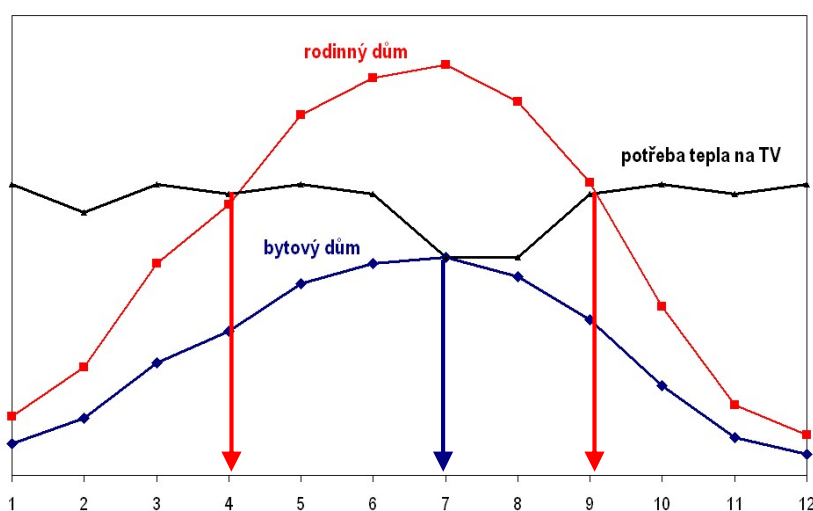
Návrh plochy kolektorů: příprava TV

- **rodinné domy**
 - návrhové měsíce **duben a září** (100% návrhové pokrytí)
 - střední teplota teplonosné kapaliny **$t_{k,m} = 40\text{ °C}$**
 - odpovídá pokrytí cca **60 %** roční potřeby tepla na přípravu TV
- **bytové domy**
 - návrhový měsíc **červenec** (100% návrhové pokrytí)
 - střední teplota teplonosné kapaliny **$t_{k,m} = 40\text{ °C}$**
 - odpovídá pokrytí **40 - 50 %** roční potřeby tepla na přípravu TV



42/61

Návrh plochy kolektorů: příprava TV





43/61

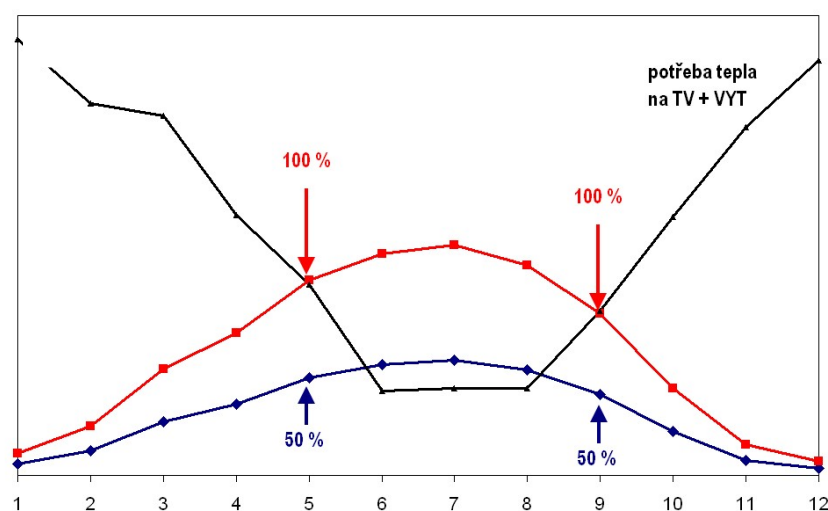
Návrh plochy kolektorů: TV + VYT

- příprava TV a vytápění
 - návrhové měsíce **květen a září**
 - střední teplota teplotnosné kapaliny **$t_{k,m} = 50\text{ °C}$**
 - uvážit smysluplné využití letních přebytků
 - uvážit stupeň pokrytí v přechodových měsících (100 % ?)



44/61

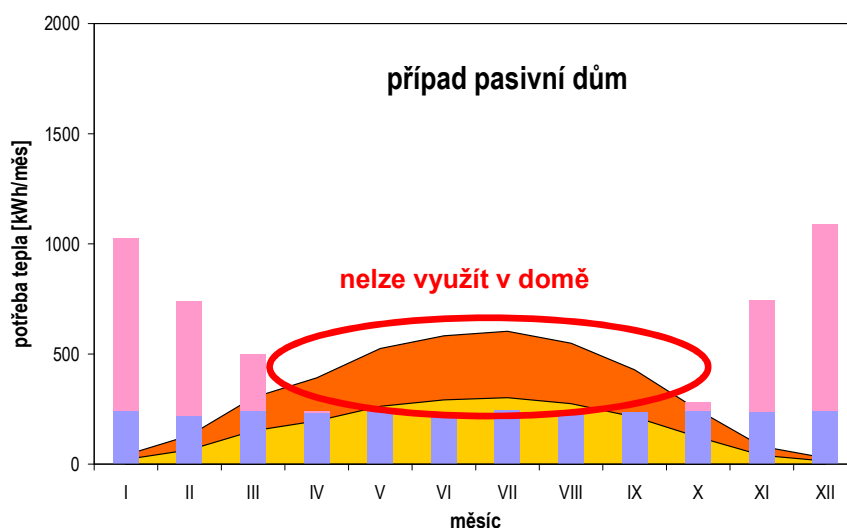
Návrh plochy kolektorů: TV + VYT





45/61

Návrh plochy kolektorů: TV + VYT



46/61

Navrhování prvků solárních soustav

Návrh prvků

- plocha a počet solárních kolektorů, umístění na budově v polích
- nosné konstrukce pro kolektory
- objem a konstrukce solárních zásobníků
- architektonická a systémová integrace
- hydraulická zapojení solárních soustav
- světlost potrubí a tloušťka izolací
- výměníky tepla (optimalizace cena x zisk)
- oběhová čerpadla (výpočet tlakových ztrát)
- pojistná a zabezpečovací zařízení (pojistné ventily a expanzní nádoby)

Matuška, T.: Sešit projektanta č.1 – Solární tepelné soustavy, STP 2009



47/61

Bilancování tepelných zisků

Bilancování solární soustavy (TNI 73 0302)

- pro danou plochu solárních kolektorů A_k
- pro **všechny měsíce roku** (referenční dny, okrajové podmínky roku)

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

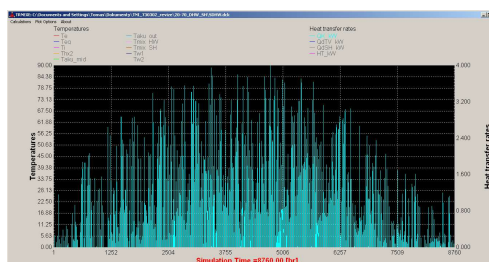
- z porovnání v jednotlivých měsících vyplývá využitelnost zisků z kolektorů pro krytí potřeby tepla
- přebytky nelze započítat (!)**



48/61

Navrhování a bilancování solárních soustav – simulační nástroje

- Polysun
- T-sol





49/61

Simulační nástroje (návrh, bilance)

- simulace s hodinovým krokem a menším, dynamické modely prvků (zásobník, kolektor), hodinové klimatické údaje pro různé oblasti
 - náročné na vstupní údaje, které často nejsou k dispozici (modifikátor úhlu dopadu, rozměry potrubí, tloušťky izolací, profily spotřeby, atd.)
 - nutná zkušenost
 - cena (x0.000 Kč)
-
- **Polysun (Professional, Designer)**
 - **T-Sol (Professional, Expert)**
 - **TRNSYS (pro vývoj a výzkum) – zcela nevhodný pro projektanta (!)**



50/61

Polysun (SPF Rapperswil, CH)

Polysun Light

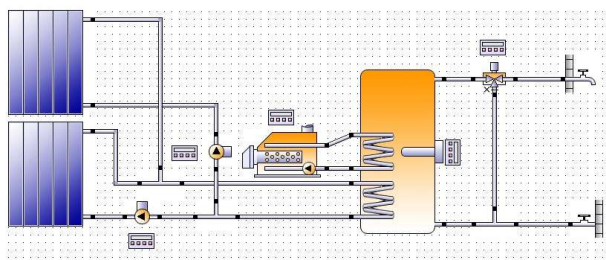
Intuitivní ovládání pomocí asistentů a šablon hydrauliky

Polysun Professional

Možnost definovat vlastní komponenty, více šablon

Polysun Designer

Flexibilita a modularita při konstrukci hydraulických systémů





51/61

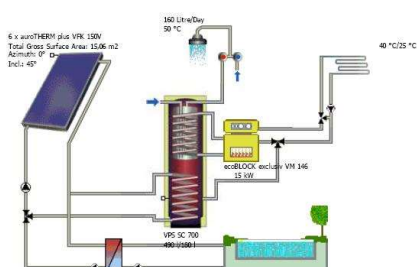
T*SOL (Valentin Software, DE)

T*SOL Pro (advanced)

80 předdefinovaných konfigurací pro přípravu teplé vody a vytápění, bazén, navrhování soustav

T*SOL Expert (premium)

expertní, vývoj a optimalizace soustav, monitoring, validace parametrů, komplexní soustavy (CZT, **průmysl**, atd)



52/61

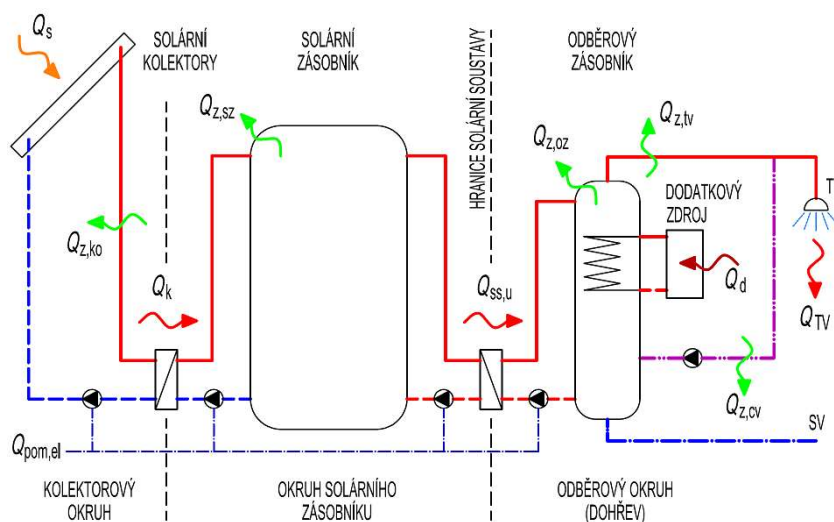
Bilance a parametry solárních soustav

- měrné zisky
- solární pokrytí
- souvislosti



Bilance solární soustavy

53/61



Parametry solární soustavy

54/61

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

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



55/61

Parametry solární soustavy

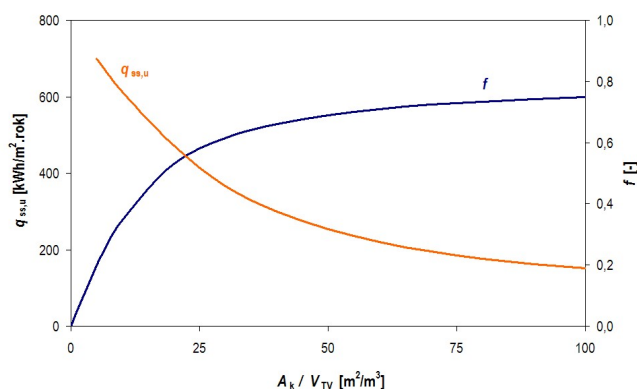
- **Měrný roční solární zisk $q_{ss,u}$ [kWh/(m².rok)]**
 - vztažený k ploše apertury kolektoru A_a
 - měrná roční úspora nahrazované energie
 - ekonomické kritérium: $\text{úspora} / \text{m}^2 \times \text{investice} / \text{m}^2$
- **Solární pokrytí, solární podíl f [%]**
 $f = 100 \cdot \text{využitý zisk} / \text{potřeba tepla}$ (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



56/61

Solární soustavy – základní parametry

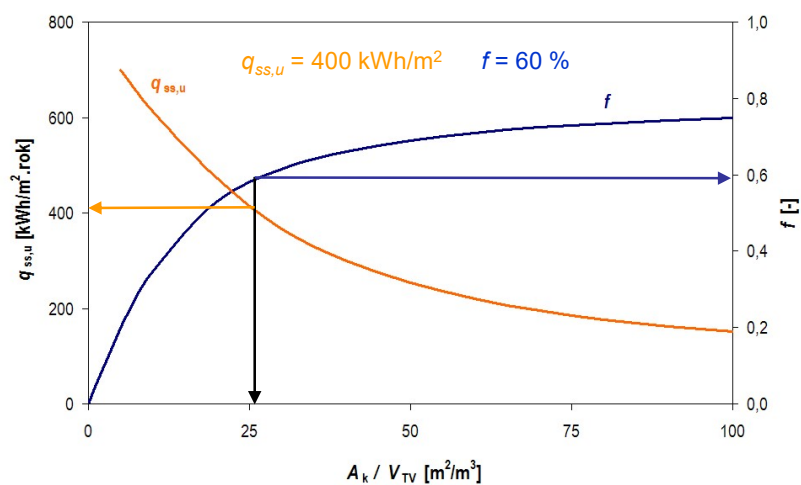
- **měrné využití solární zisky $q_{ss,u}$ [kWh/m².rok]**
- **solární podíl**
$$f = \frac{Q_{ss,u}}{Q_{p,c}} = 1 - \frac{Q_d}{Q_{p,c}} = \frac{Q_{ss,u}}{Q_{s,u} + Q_d} \quad [-]$$





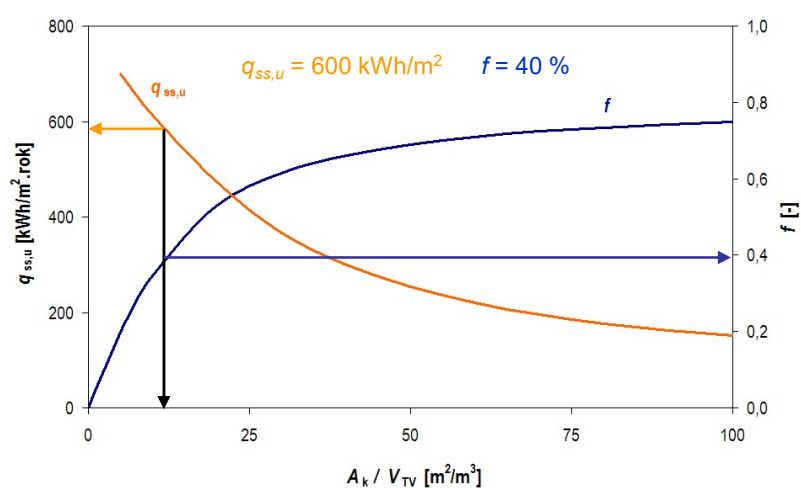
57/61

Bilance solární přípravy teplé vody



58/61

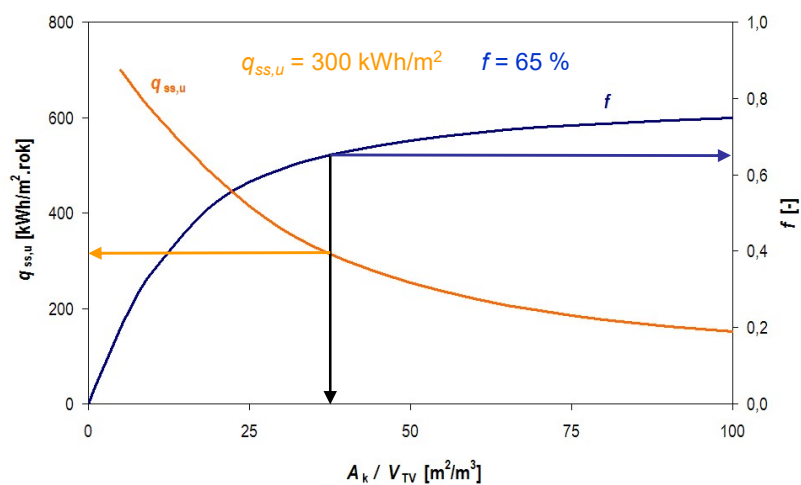
Bilance solární přípravy teplé vody





59/61

Bilance solární přípravy teplé vody

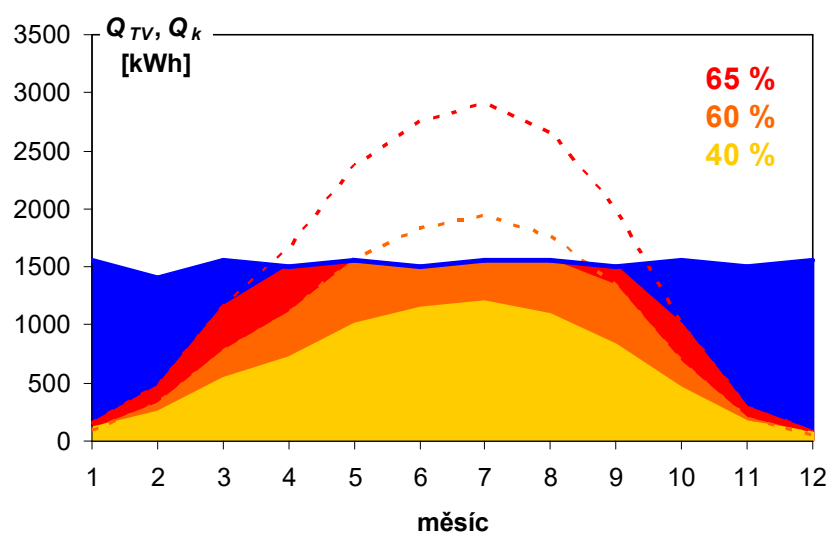


s rostoucím solárním pokrytím klesají měrné zisky soustavy



60/61

Bilance solární přípravy teplé vody





61/61

Kritéria návrhu solární soustavy

- **ekonomické řešení** - maximalizace měrných zisků solární soustavy $q_{ss,u}$ [kWh/m²rok]
- **ekologické řešení** - maximalizace solárního pokrytí f [%] - maximální nahrazení primárních paliv
- **optimalizované řešení** - požadovaný solární podíl f (optimalizace návrhu)
- **omezené řešení** - podmínky struktury budovy, omezující parametry (velikost střechy, možný sklon kolektorů, architektonické souvislosti)

