

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**NÁVRH ZÁSOBNÍKU A ZDROJE TEPLA
PRO PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Matěj Mazur

Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.

Praha 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Návrh zásobníku a zdroje tepla pro přípravu teplé vody“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavříčky, Ph.D. s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

podpis autora

Název práce: Návrh zásobníku a zdroje tepla pro přípravu teplé vody

Autor: Bc. Matěj Mazur

Vedoucí diplomové práce: Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.

Ústav techniky prostředí

Anotace:

Cílem práce je vytvořit aplikaci pro návrh zásobníku teplé vody, která je následně otestována na několika příkladech. Aplikace využívá pro návrh velikosti zásobníku teplé vody a požadovaného výkonu ohřívače metodu křivek odběru a dodávky tepla, metodu dle DIN 4708 a metodu zohledňující přednostní přípravu teplé vody ve společném zdroji tepla.

Klíčová slova: příprava teplé vody, návrh zásobníku teplé vody, návrh ohřívače teplé vody, zásobník teplé vody, zdroj tepla.

Title: Design of water heating

Author: Bc. Matěj Mazur

Supervisor: Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.

Department of Environmental Engineering

Abstract:

The aim of the thesis is to create an application for the design of a DHW cylinder, which is subsequently tested on several examples. For the design of the DHW cylinder the application uses the method of demand and supply curves of the heat, method according to DIN 4708 and the method considering preferred preparation of hot water in a common heat source.

Keywords: water heating, design of a storage water heater, water heater design, DHW cylinder, heat source.

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Romanu Vavříčkovi, Ph.D. za jeho rady a připomínky během zpracování a za jeho přínosné konzultace.

Obsah

Soupis použitého značení.....	7
1 Úvod.....	8
2 Vlastnosti teplé vody.....	9
2.1 Požadavky na kvalitu teplé vody.....	9
2.2 Hygienické vlastnosti teplé vody	9
2.3 Chemické vlastnosti teplé vody	10
2.4 Fyzikální vlastnosti teplé vody.....	11
2.5 Tepelné požadavky.....	11
2.6 Požadavky na přípravu a distribuci teplé vody	11
3 Obecné zásady ohřevu TV	13
3.1 Způsoby ohřevu vody.....	13
3.1.1 Rozdělení podle systému přípravy teplé vody	13
3.1.2 Rozdělení podle konstrukce zařízení	15
3.1.3 Rozdělení podle možnosti zabezpečení ohřevu z různých zdrojů	16
3.1.4 Rozdělení podle způsobu ohřevu	16
3.1.5 Rozdělení podle provozního tlaku zařízení	16
3.1.6 Rozdělení podle způsobu přenosu tepla.....	17
3.2 Ohřivače a zásobníky TV	18
4 Návrh systému přípravy teplé vody	20
4.1 Celková potřeba teplé vody.....	21
4.2 Profil odběru teplé vody.....	23
4.3 Návrh zásobníku teplé vody.....	26
4.3.1 Návrh dle křivek odběru a dodávky tepla	26
4.3.2 Návrh dle DIN 4708	29
4.3.3 Návrh zohledňující přednostní přípravu teplé vody se společným zdrojem pro vytápění	32

5	Software	35
5.1	Cíl projektu.....	35
5.2	Výběr cesty vývoje.....	35
5.3	Použité nástroje	37
5.4	Úvodní obrazovka	40
5.5	Metoda křivek odběru a dodávky tepla	41
5.5.1	Zadání projektu (1. krok).....	43
5.5.2	Křivka dodávky (2. krok).....	50
5.5.3	Výstup (3. krok).....	55
5.6	Metoda DIN 4708	55
5.7	Metoda přednostního ohřevu teplé vody.....	59
6	Porovnání návrhů ohřevu teplé vody	62
6.1	Rodinný dům: metoda křivek odběru a dodávky tepla	62
6.2	Rodinný dům: přednostní příprava TV	64
6.3	Bytový dům: metoda DIN 4708	65
6.4	Administrativní budova: metoda křivek odběru a dodávky tepla	66
6.5	Průmyslový závod: metoda křivek odběru a dodávky tepla	68
6.6	Sportovní hala: metoda křivek odběru a dodávky tepla.....	71
7	Rozšíření: databáze produktů.....	73
8	Závěr	78
9	Seznam použité literatury.....	79
10	Seznam obrázků	81
11	Seznam tabulek	83
12	Seznam příloh	84

Soupis použitého značení

N [–]	.....	koeficient potřeby
$O_{zás}$ [l]	.....	objem zásobníku teplé vody
P [kW]	.....	výkon zdroje tepla
Q [kWh]	.....	tepelná energie
V [l]	.....	objem
X_p [K]	.....	spínací diference
c [J/kg·K]	.....	měrná tepelná kapacita vody
j [–]	.....	měrná jednotka
n [–]	.....	počet jednotek
p [–]	.....	koeficient obsazenosti
t [°C]	.....	teplota
y [–]	.....	korekční faktor odběru
z [–]	.....	poměrný koeficient tepelných ztrát
ΔQ_{max} [kWh]	.....	maximální tepelný rozdíl
ρ [kg/m ³]	.....	hustota vody
τ_a [min]	.....	čas
N	.....	jmenovitý
SV	.....	studená voda
TV	.....	teplá voda
$celk$	.....	celkový
i	.....	na jednotku i
$pož$	.....	požadovaný
$produkt$	.....	katalogový produkt
$teor$	.....	teoretický
$ztráty$	.....	tepelné ztráty

1 Úvod

Neustále se zdokonalující technologie a požadavky ekodesignu snižují energetickou náročnost na různé potřeby a činnosti v domácnostech. Zatímco v minulosti byla tepelná energie spotřebována především na vytápění, v posledních letech začíná být tento podíl srovnatelný s přípravou teplé vody.

Tento trend nutí uživatele k efektivnějšímu návrhu systému teplé vody. V praxi se tato problematika často výrazně podceňuje. Zásobníky jsou předimenzované a při jejich finančně náročném provozu začne provozovatel hledat ekonomicky zajímavější řešení.

Jednou z pomůcek má být aplikace vytvořená za účelem zjednodušení procesu návrhu zásobníku teplé vody a tomu odpovídajícímu požadavku na výkon zdroje tepla, resp. ohřívače teplé vody. Je důležité zdůraznit, že cílem této aplikace není skrýt klíčové části výpočtu a zobrazit rovnou výsledek, ale naopak poskytnout částečně automatizované návrhové prostředí, ve kterém lze jednoduše vyplnit požadované vstupní parametry a sledovat klíčové závislosti výpočtu. Uživatel musí i nadále dostatečně rozumět problematice a tento software má pouze podpořit jeho činnost.

Před samotným popisem aplikace je nejdříve zopakována teorie potřebná k pochopení výkladu. Teorie zahrnuje definici teplé vody, legislativní požadavky, pravidla ohřevu TV a nakonec jsou vysvětleny tři běžně používané metody návrhu zásobníku teplé vody.

Po teorii následuje základní popis aplikace, jako jsou požadavky a použité nástroje při vývoji. Další část popisuje rozhraní a funkce (včetně jednotlivých metod návrhu zásobníku TV) samotného softwaru. Poté je aplikace předvedena na několika příkladech, aby uživatel získal povědomí o způsobu použití.

A v poslední kapitole je ukázka rozšíření aplikace, které umožňuje propojení výsledků výpočtů s databází konkrétních produktů.

2 Vlastnosti teplé vody

2.1 Požadavky na kvalitu teplé vody

Teplá voda je zdravotně nezávadná voda určená k lidské potřebě. Je určena k mytí, praní, umývání a koupání, ale není k pití a vaření. Kvalita teplé vody musí splňovat kritéria daná vyhláškou č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody v platném znění [L1].

2.2 Hygienické vlastnosti teplé vody

Podle zákona č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví, teplá voda nesmí obsahovat bakterie a látky jakéhokoliv druhu v takové koncentraci, kdy ohrožují lidské zdraví [L2]. Ukazatelé jakosti pitné vody jsou poskytnuty v příloze vyhlášky č. 252/2004 Sb. [L1].

Teplá voda je vhodným prostředím pro rozvoj mikroorganismů, přičemž některé jsou lidskému zdraví nebezpečné. Mezi nejznámější patří mikroorganismus *Legionella pneumophila*. Tato bakterie může při vdechnutí způsobit vážné plicní onemocnění a při větší koncentraci bakterií nebo u oslabených jedinců může přivodit až smrt. Ideální podmínky pro rozmnožování této bakterie jsou při teplotách vody mezi 35 °C až 45 °C. Při teplotách vyšších jak 55 °C dochází ke zpomalení až úplnému zastavení množení, přičemž hraniční teplotou, při které bakterie odumírají je teplota vody vyšší než 70 °C. Tento problém se tak velmi často vyskytuje u zásobníkového ohřevu teplé vody či v rozvodech se stojící nebo pomalu proudící teplou vodou. Naopak u přípravy teplé vody průtokovým ohřevem se tento problém téměř nevyskytuje [L9].

Existuje několik technických opatření, jak zamezit vzniku této nebezpečné bakterie.

Tyto technologie můžeme rozdělit na fyzikální:

- termická dezinfekce (s doložením realizované teploty v distribučních bodech),
- použití UV zářičů,
- použití ionizace pomocí Ag-Cu elektrod – fyzikálněchemická technologie,

a chemické:

- použití biocidů na bázi roztoku chlornanu dodávaného výrobcem,
- použití anolytu s obsahem chloru (vyráběný elektrolýzou NaCl na místě),
- použití biocidů na bázi dalších halogenů,

- použití oxidu chloričitého ve formě stabilizovaného roztoku dodávaného výrobcem,
- použití oxidu chloričitého (chlordioxidu) vyráběného v místě dávkování („in situ“) z výroby ze sloučenin bez generátoru,
- použití oxidu chloričitého vyráběného na místě („in situ“) z chemikálií generátorem,
- použití peroxidu vodíku se stříbrem,
- použití kyseliny peroctové (PERSTERIL),
- použití neoxidačních biocidů [L7].

Pro výběr správného hygienického zabezpečení je potřeba znát skutečný stav mikrobiologické kvality teplé vody v distribučních místech a též se řídit požadavky pro řešený typ budovy. Např. pro nemocnice s imunosuprimovanými pacienty je třeba trvale zabezpečovat hodnotu bakterie legionela na hodnotě 0 KTJ na 100 ml. A například pro ubytovací zařízení je dle vyhlášky č. 252/2004 Sb., příloha 2 „doporučená hodnota 100 KTJ na 100 ml“ [L7].

2.3 Chemické vlastnosti teplé vody

Voda vyskytující se v přírodě není chemicky čistá voda (H₂O), ale obsahuje i různé rozpustné látky, např. vápník, hořčík, železo a mangan. Některé zmíněné látky jsou pro člověka životně důležité. [L8]

Se zvyšující se teplotou vody narůstá i její reaktivita, která tak může způsobovat korozi u kovových částí potrubí, nebo podporovat vznik inkrustace (tj. zarůstání potrubí). Pro zajištění požadované jakosti pitné vody pro ohřev jsou určující tyto ukazatele [L7]:

- KNK_{4,5} – min. 0,8 mmol/l (kyselina neutralizační kapacita – alkalita vody – vlastnost vody, která informuje o schopnosti vázat hydroxidové nebo vodíkové ionty),
- hmotnostní koncentrace fosforečnanů (max. 3,5 mg/l PO₄) v teplé vodě,
- hodnota pH při teplotě 20 °C v rozsahu od 6,5 do 9,5 (nejvyšší mezní hodnoty),
- hmotnostní koncentrace chloridů max. 100 mg/l,
- hmotnostní koncentrace manganu max. 0,05 mg/l,
- hmotnostní koncentrace železa 0,20 mg/l,
- hmotnostní koncentrace CO₂ [L7].

2.4 Fyzikální vlastnosti teplé vody

Voda dosahuje největší hustoty při teplotě 4 °C, při ochlazení nebo ohřevu dochází k rozpínání. Tento jev se nazývá anomálie vody. Při mrznutí (tvorbě ledových krystalů) se voda rozpíná zhruba o 10 % svého objemu a ke změně skupenství je potřeba odebrat 92,5 Wh/kg energie. Při 0 m n.m., tlaku 100 kPa a teplotě 100 °C dochází u vody k varu. Skupenské teplo páry je 627 Wh/kg a při ohřátí vody z 0 °C na 100 °C zvětší svůj objem přibližně o 4 % [L8].

2.5 Tepelné požadavky

Ve výpočtech podle normy ČSN 06 0320 je předpokládána výpočtová teplota studené vody 10 °C a před výtokovou armaturou je požadována hodnota teplé vody 50 až 55 °C, např. ve školních kuchyních nebo restauracích se teploty na výstupu mohou pohybovat mezi 45 až 60 °C. [L9]

V souladu s normou ČSN EN 806-2 musí být zajištěna požadovaná teplota na výstupu koncového prvku do 30 sekund od úplného otevření výtokové armatury [L3]. Tímto požadavkem je v podstatě omezen objem potrubí teplé vody mezi ohřívacem teplé vody a nejbližší armaturou na 3 litry. V případě, že tento požadavek není dodržen, je zapotřebí navrhnout cirkulaci teplé vody nebo přehřívání potrubí teplé vody samoregulačními elektrickými topnými kabely. Pakliže je zvoleno jedno z těchto řešení, tak se do požadavku na celkový objem potrubí nezapočítávají úseky s cirkulací nebo přehříváním. [L7]

Kvůli zamezení tvorby bakterií termickou dezinfekcí se teplota může dočasně dostat až na 70 °C. Nicméně v takové situaci je zapotřebí zajistit ochranu uživatelů před možným opařením. Tento proces je ale energeticky velmi náročný, jelikož v zásobníku je potřeba zvýšit teplotu až na 70 °C, tuto teplotu udržovat po dobu 3 až 10 minut a zajistit proudění teplé vody s takto vysokou teplotou celým systémem, aby došlo k dezinfekci i u rozvodů [L9].

2.6 Požadavky na přípravu a distribuci teplé vody

Aby bylo dosaženo uživatelského komfortu, je potřeba zajistit dostatečné množství teplé vody o požadované teplotě, a to v co nejkratší době po otevření příslušné výtokové armatury [L7].

Kvůli teplotní roztažnosti musí být potrubí teplé vody dostatečně tlakově i teplotně odolné. Delší úseky potrubí musí být opatřeny kompenzátory nebo volným uložením potrubí (tzv. L nebo U kompenzátory), které slouží jako opatření před poškozením potrubí délkovou roztažností. Kvůli snížení energetických ztrát a v souladu s vyhláškou č. 193/2007 Sb. kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu, musí být potrubí tepelně izolované [L8].

3 Obecné zásady ohřevu TV

Návrh přípravy teplé vody musí obsahovat zdroj tepla (ohřívač), potrubní rozvod, regulační, pojistné a zabezpečovací armatury a v odběrných místech výtokové armatury. Hlavním požadavkem je zajištění dostatečného množství teplé vody o požadované teplotě, a to v co nejkratší době po otevření výtokové armatury [L7].

Vzhledem k tomu, že se v oblasti vytápění neustále snižují náklady na provoz otopné soustavy, je důležité dbát i na nízkou energetickou náročnost přípravy teplé vody, protože právě podíl spotřebované energie na teplou vodu začíná být nezanedbatelný.

Mezi další požadavky na navržený systém patří úsporný bezporuchový automatický provoz, zabezpečení dlouhé životnosti zařízení a optimální pořizovací náklady.

3.1 Způsoby ohřevu vody

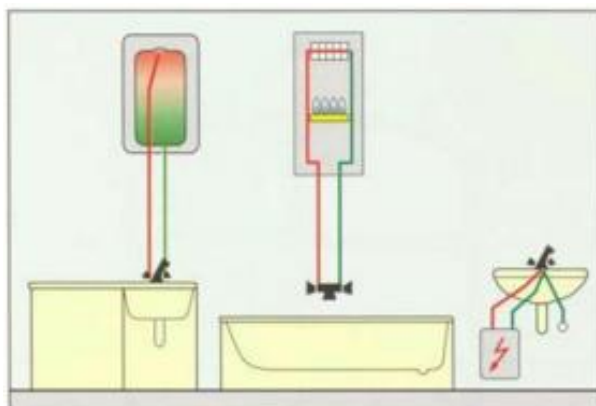
Výběr systému ohřevu teplé vody závisí na typu budovy, na jejím dispozičním řešení, konstrukčním uspořádání a v neposlední řadě i na druhu provozu.

Způsob ohřevu teplé vody můžeme dělit podle několika kritérií.

3.1.1 Rozdělení podle systému přípravy teplé vody

- místní (lokální) přípravu,
- centrální (skupinovou) přípravu,
- ústřední přípravu.

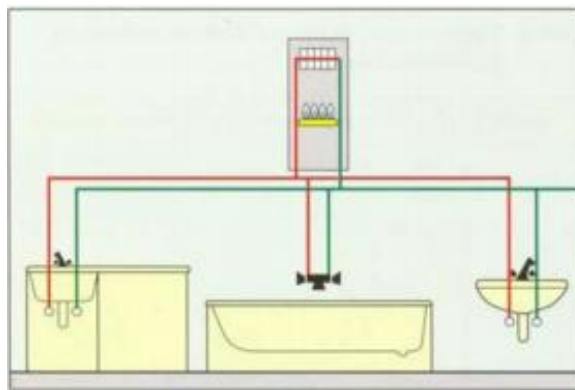
Místní (lokální) přípravou teplé vody (obr. 1) označujeme způsob, kdy jednotlivá odběrná místa mají vlastní jednotkové ohřívače. Jednotkový ohřívač může být zásobníkového nebo průtočného typu.



Obr. 1 – Místní ohřev [L7]

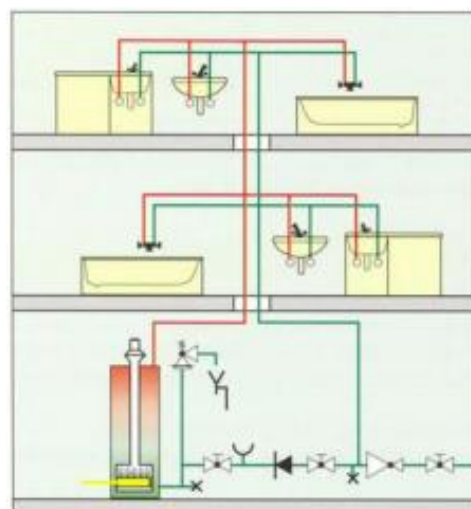
Výhodou tohoto systému je optimální nastavení podle potřeby u odběrného místa a v porovnání s ostatními systémy není potřeba rozsáhlý potrubní rozvod. Využívá se především jako doplňková instalace pro odběrná místa vzdálenější od ústředního ohřívače teplé vody [L7].

Centrální (skupinová) příprava teplé vody je situace, kdy více odběrných míst je zásobováno jedním ohřívačem teplé vody (obr. 3). Protože ústřední příprava teplé vody funguje na podobném principu, můžou být chybně zaměňovány. Nicméně rozdíl je v tom, že centrální (skupinová) příprava teplé vody by měla být navržena tak, aby nebyl nutný návrh cirkulačního potrubí nebo dohřevu teplé vody v potrubních rozvodech [L7].



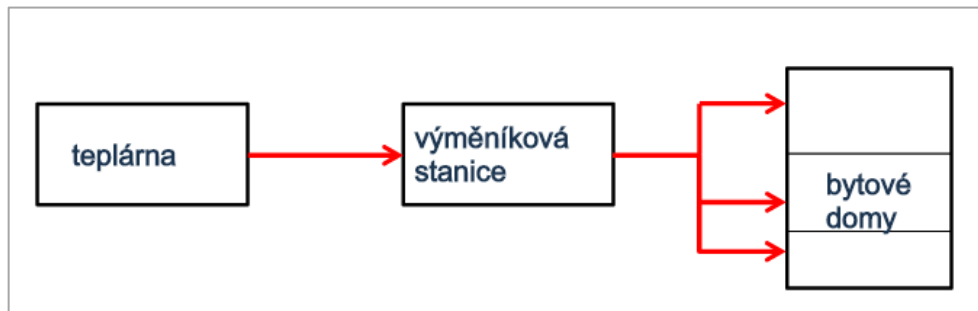
Obr. 2 – Centrální (skupinové) ohřívání [L7]

Ústřední příprava teplé vody popisuje řešení, kde všechna odběrná místa v budově jsou zásobována jedním ohřívačem teplé vody (obr. 3). Nejčastěji se s tímto typem systému setkáme u obytných budov. Jelikož ale stále platí požadavek na včasné dodání teplé vody o požadované teplotě, je zapotřebí v řešení správně zvolit potrubní rozvod a použít cirkulaci nebo přihřívání v rizikových úsecích [L7].



Obr. 3 – Ústřední ohřev [L7]

U starších systémů se můžeme setkat i s dálkovým ohřevem, při němž se voda ohřívá teplotonosnou látkou z horkovodních nebo parních sítí centralizovaného zásobování teplem (CZT), tj. z tepláren, výtopen a jiných průmyslových zdrojů (obr. 4). Tento systém je ale méně efektivní, protože při takové distribuci teplé vody dochází k vyšším tepelným i tlakovým ztrátám vlivem delších rozvodů a dalších prvků systému přípravy teplé vody.

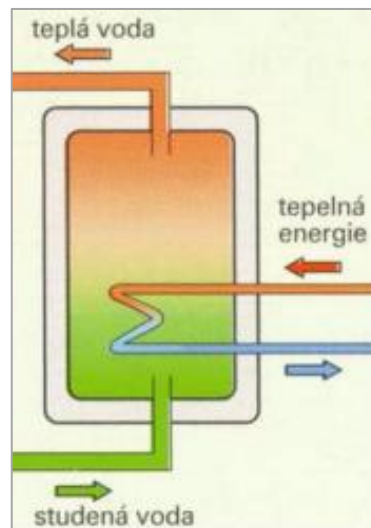


Obr. 4 – Dálkový ohřev

3.1.2 Rozdělení podle konstrukce zařízení

Ohřev teplé vody můžeme provádět zásobníkovým (akumulačním) nebo průtokovým ohřevem. V praxi se ale můžeme často setkat i s kombinací, smíšenou přípravou.

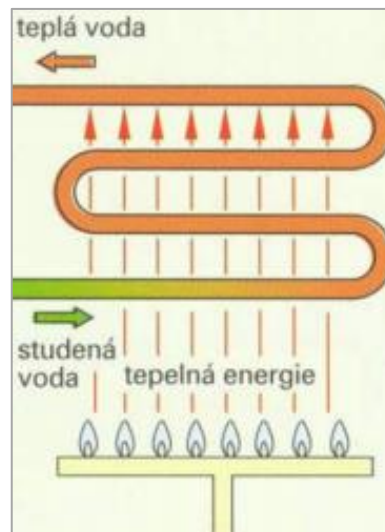
Zásobníkový ohřev (obr. 5) funguje na principu akumulace teplé vody, aby bylo možné vyrovnat výkyvy v odběru teplé vody. Do této kategorie patří zásobníkové ohříváče, zásobníky teplé vody a zásobníky tepla.



Obr. 5 – Akumulační ohřev [L7]

Při **průtokovém ohřevu** (obr. 6) se voda ohřívá průtokem v průtočném ohříváku. Ohřev se uskutečňuje přenosem tepla přes teplosměnnou plochu. Zdrojem průtokových ohříváčů může být plyn, elektrická energie, horká voda anebo pára. Pro průtokový ohřev je

charakteristická velká potřeba příkonu energie, který musí být po celou dobu provozu k dispozici. Oproti zásobníkovému ohřevu je méně náročný na prostor [L8].



Obr. 6 – Průtokový ohřev [L7]

Smíšená příprava teplé vody je kombinací zásobníkového a průtokového ohřevu. Převažuje průtokový ohřev, který je doplněn zásobníkem teplé vody na pokrytí krátkodobých odběrových špiček. Doporučeným řešením je zapojení průtokového ohříváče v obtoku zásobníku. U takového zapojení tlaková ztráta neovlivňuje tlakové poměry v potrubním rozvodu vnitřního vodovodu. Důležité je osadit cirkulačním čerpadlem obtokovou část, aby byl zajištěn oběh vody mezi průtokovým ohříváčem a zásobníkem a bylo tak zajištěno nabíjení zásobníku teplou vodou [L7].

3.1.3 Rozdělení podle možnosti zabezpečení ohřevu z různých zdrojů

Rozlišujeme tzv. jednoduchý ohřev, kdy je ohříváč vybaven jedním zdrojem tepla, nebo kombinované ohřívání, při němž může být voda v jednom a téže ohříváku ohřívána různými zdroji tepla, např. horkou vodou a elektrickým proudem.

3.1.4 Rozdělení podle způsobu ohřevu

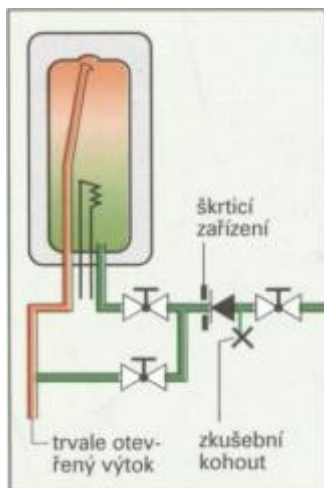
Ohřev může probíhat jednostupňově, kdy je voda ohřívána přímo na požadovanou teplotu v jednom zařízení, anebo vícestupňově, kde se voda z provozních a ekonomických důvodů ohřívá na požadovanou teplotu ve více za sebou zařazených ohříváčích postupně.

3.1.5 Rozdělení podle provozního tlaku zařízení

Zde dělíme ohříváče na otevřené (beztlaké) a uzavřené (tlakové).

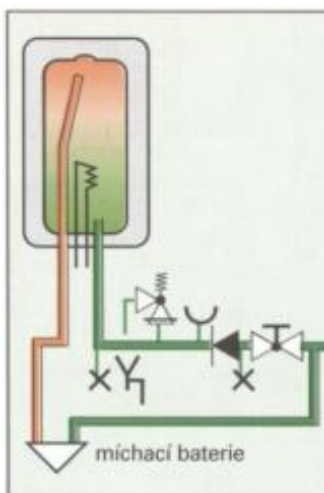
V případě **otevřeného ohříváče vody** (obr. 7) je voda trvale v kontaktu s ovzduším. Tento typ ohříváčů pracuje na základě přepadového principu, kdy přitéká-li studená voda

do ohříváče, tak vytéká teplá voda otevřeným výtokovým potrubím, k tomu je zapotřebí speciální výtoková armatura. Protože dochází při ohřevu vody ke zvětšení jejího objemu, je důležité, aby výtokové potrubí bylo neuzavíratelné a byl tak zajištěn odtok přebytku vody. Typickým zástupcem v této skupině je otevřený elektrický zásobníkový ohříváč nebo tzv. koupelňová kamna na tuhá, plynná či kapalná paliva [L7].



Obr. 7 – Beztlaké zařízení [L7]

Uzavřený (tlakový) ohříváč vody (obr. 8) je trvale pod tlakem přiváděné studené vody a zároveň kvůli roztažnosti vody při jejím ohřevu. Je tudíž důležité provést na přívodu instalaci tzv. pojistné skupiny.



Obr. 8 – Tlakové zařízení [L7]

3.1.6 Rozdělení podle způsobu přenosu tepla

Zde dělíme ohřívání na ohřívání s přímým ohřevem a nepřímým ohřevem.

Přímý ohřev (obr. 9) se děje směřováním vody s teplotou látkou anebo přímo tepelným zdrojem při spalování plynu nebo tuhého paliva bez mezičlánku. Přímý ohřev je spojený s problémem vzniku vodního kamene a koroze vnitřních povrchů [L8].

Nepřímý ohřev (obr. 10) vody probíhá přenosem tepla dělicí stěnou v ohřivači, tj. výměníkem. Výměník může být interní (integrováný v zásobníku teplé vody) nebo externí (např. pro přenos vyšších výkonů) [L8].

3.2 Ohřivače a zásobníky TV

Ohřivače a zásobníky dělíme na:

- zásobníkový ohřivač,
- zásobník teplé vody,
- průtokový ohřivač,
- směšovací ohřivač.

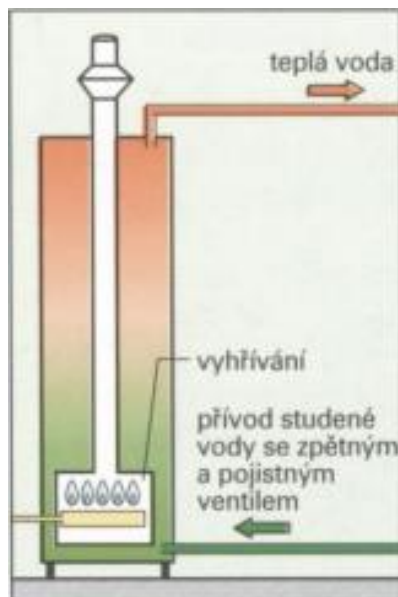
Zásobníkový ohřivač je nádoba s teplosměnnou plochou, ve které se ohřeje a nashromáždí zásoba teplé vody. Slouží k vyrovnání množství ohřáté a odebírané teplé vody během určitého časového období. Zásobníkové ohřivače lze dále dělit podle paliv na elektrický proud, pevná, plynná a kapalná paliva.

Zásobníkem teplé vody se rozumí nádoba, ve které se nashromáždí zásoba teplé vody. Slouží k vyrovnání množství ohřáté a odebírané TV během určitého časového období stejně jako v případě zásobníkového ohřivače.

Průtokový ohřivač je zařízení s minimálním objemem vody, které ohřívá vodu při jejím průtoku ohřivačem. Energie musí být dodávána při právě probíhající odběru teplé vody. Z toho vyplývá, že je nutné zajistit dostatečný tepelný výkon, aby byla zajištěna požadovaná kvalita teplé vody v závislosti na průtoku vody skrze ohřivač.

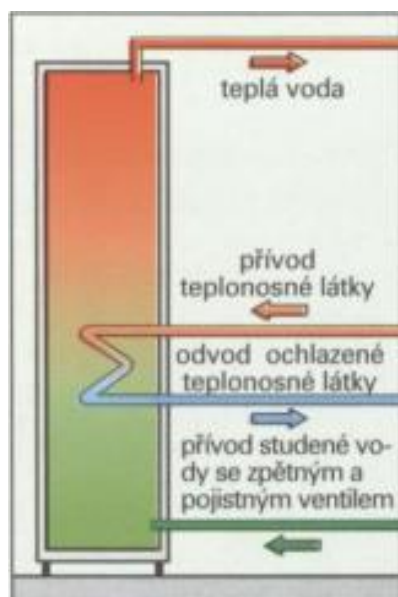
Zásobníkové ohřivače dále dělíme **podle typu konstrukce** na:

- a) **přímo ohřívání** (obr. 9), kdy prostup tepla probíhá přímo mezi vyhříváním a zásobníkem, může být zajištěn elektrickou energií, nebo spalováním zemního plynu, lehkého topného oleje nebo tuhých paliv,



Obr. 9 – Přímý ohřívání zásobníkový ohřivač [L7]

b) **nepřímý ohřívání** (obr. 10), kdy přestup tepla probíhá mezi teplotonosnou látkou a zásobníkem.



Obr. 10 – Nepřímý ohřívání zásobníkový ohřivač [L7]

4 Návrh systému přípravy teplé vody

Před podrobnějším návrhem je zapotřebí určit několik základních parametrů: požadovaná teplota vody a její předpokládaná spotřeba. Abychom mohli určit spotřebované množství energie na ohřev vody, musíme sestavit tzv. profil odběru tepla dodaného ohřivačem za danou periodu.

Hodnotu potřeby energie pro ohřev teplé vody lze obecně získat ze vztahu (1):

$$Q = V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV}) \quad (1)$$

kde

V [m³/den]..... objem dodané teplé vody za den při stanovených teplotách,

ρ [kg/m³] hustota vody ($\rho = 1000$ kg/m³),

c [J/(kg · K)]..... měrná tepelná kapacita vody ($c = 4187$ J/(kg · K)),

t_{TV} [°C]..... stanovená výstupní teplota TV,

t_{SV} [°C]..... vstupní teplota studené vody.

Nicméně výše zmíněný vzorec nepopisuje tepelné ztráty při ohřevu a distribuci tepla. Tyto ztráty jsou závislé na tepelné izolaci akumulčního zásobníku, rozvodů teplé vody a nezanedbatelné jsou i u systému s cirkulací. [L7]

Následující vztah (2) rozšiřuje předchozí rovnici o člen s tepelnou ztrátou:

$$Q_{2p} = Q_{2t} + Q_{2z} = (1 + z) \cdot Q_{2t} = \frac{(1 + z) \cdot V_{2p} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600 \cdot 1000} \quad (2)$$

kde

Q_{2p} [kWh/den] teplo dodané ohřivačem,

Q_{2t} [kWh/den]..... teplo pro ohřev vody,

Q_{2z} [kWh/den] teplo ztracené při ohřevu a distribuci teplé vody,

z [–]..... poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci teplé vody,

V_{2p} [m³/den]..... celková potřeba teplé vody,

ρ [kg/m³] hustota vody při střední teplotě zásobníku ($\rho = 1000$ kg/m³),

c [J/(kg · K)]..... měrná tepelná kapacita vody ($c = 4187$ J/(kg · K)),

t_{TV} [°C]..... stanovená výstupní teplota TV,

t_{SV} [°C]..... vstupní teplota studené vody.

Hodnota poměrné ztráty z je závislá na řešeném systému přípravy teplé vody. Nulovou hodnotu můžeme použít např. u průtočného ohřevu s krátkou vzdáleností potrubí mezi ohřívacem a koncovým výtokem.

4.1 Celková potřeba teplé vody

Potřebné množství vody získáme ze vztahu (3):

$$V = \sum_{i=1}^k (V_{n,i} \cdot n_i) \quad (3)$$

kde

$V_{n,i}$ [m³/perioda]..... potřeba TV na jednotku i v dané periodě při t_{TV} ,

n_i [–] počet zohledňovaných jednotek i .

Jednotlivé členy popisují činnosti na odběr teplé vody, jako jsou např. mytí nádobí, úklid a mytí osob. Největším problémem je určení potřeby teplé vody na mytí osob, jelikož je tato hodnota závislá na individuálním chování jednotlivých osob. V případě neznámé reálné spotřeby se doporučuje použít hodnoty z tab. 1 a tab. 2 získaných z normy ČSN EN 12831-3 [L7].

Způsob využití	$V_{w,f,day}$ [m ³ /f · den]	Měrná jednotka <i>f</i>
Obydlí	viz níže	Počet ekvivalentních dospělých osob
Ubytování	28	Počet lůžek
Zdravotnické zařízení bez ubytování	10	Počet lůžek
Zdravotnické zařízení s ubytováním – bez prádelny	56	Počet lůžek
Zdravotnické zařízení s ubytováním – s prádelnou	88	Počet lůžek
Vzdělávání	Požadavky na teplou vodu nejsou zohledňovány	
Kanceláře		
Divadla a posluchárny		
Obchody		
Stravování, 2 jídla za den. Tradiční kuchyně	21	Počet hostů na jídlo
Stravování, 2 jídla za den. Samoobslužné	8	Počet hostů na jídlo
Stravování, 1 jídlo za den. Tradiční kuchyně	10	Počet hostů na jídlo
Stravování, 1 jídlo za den. Samoobslužné	4	Počet hostů na jídlo
Hotel, 1-hvězdičkový, bez prádelny	56	Počet lůžek
Hotel, 1-hvězdičkový, s prádelnou	70	Počet lůžek
Hotel, 2-hvězdičkový, bez prádelny	76	Počet lůžek
Hotel, 2-hvězdičkový, s prádelnou	90	Počet lůžek
Hotel, 3-hvězdičkový, bez prádelny	97	Počet lůžek
Hotel, 3-hvězdičkový, s prádelnou	111	Počet lůžek
Hotel, 4-hvězdičkový, bez prádelny	118	Počet lůžek
Hotel, 4-hvězdičkový, s prádelnou	132	Počet lůžek
Sportovní zařízení	101	Počet instalovaných sprch
Skladování	Požadavky na teplou vodu nejsou zohledňovány	
Průmysl		
Doprava		
Jiný		

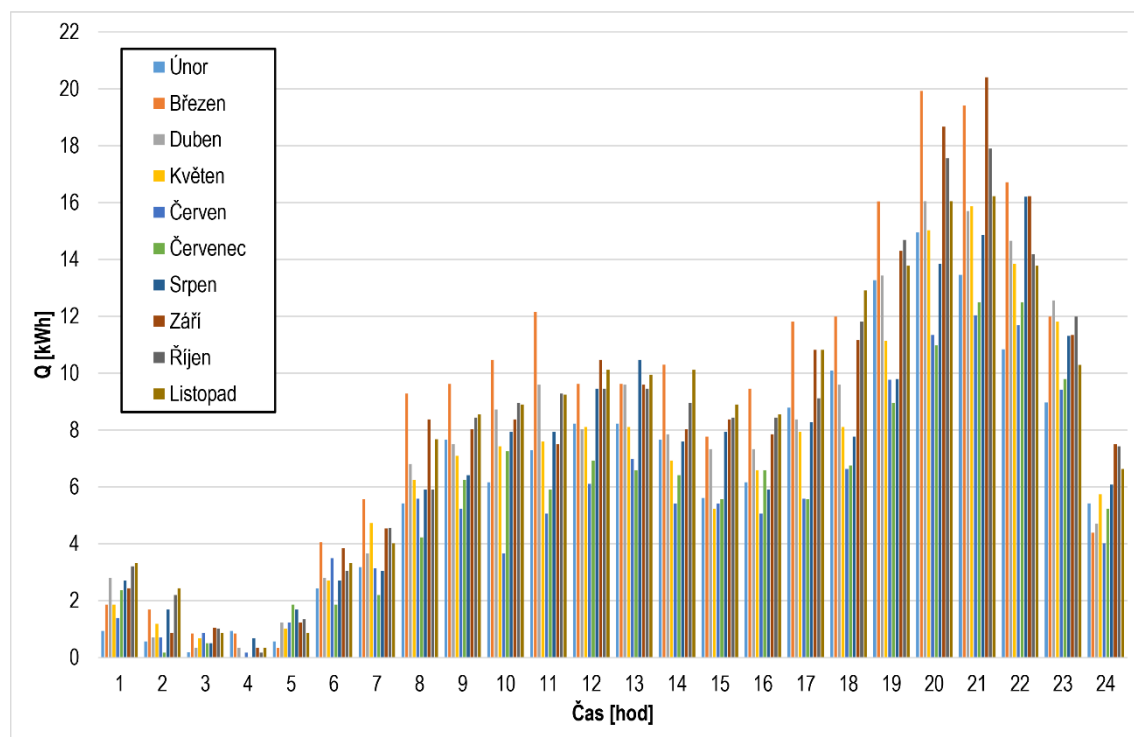
Tab. 1 – Potřeby teplé vody o teplotě $t_w = 60\text{ °C}$ (ČSN EN 12831-3) [L6]

Typ budovy	$V_{w,p,day}$ [m ³ /osoba · den]
Objekty pro bydlení (prosté bydlení)	25-60
Objekty pro bydlení (luxusní bydlení)	60-100
Jednotlivé bytové jednotky	40-70
Bytové domy	25-30

Tab. 2 – Potřeby teplé vody o teplotě $t_w = 60\text{ °C}$ na osobu (ČSN EN 12831-3) [L6]

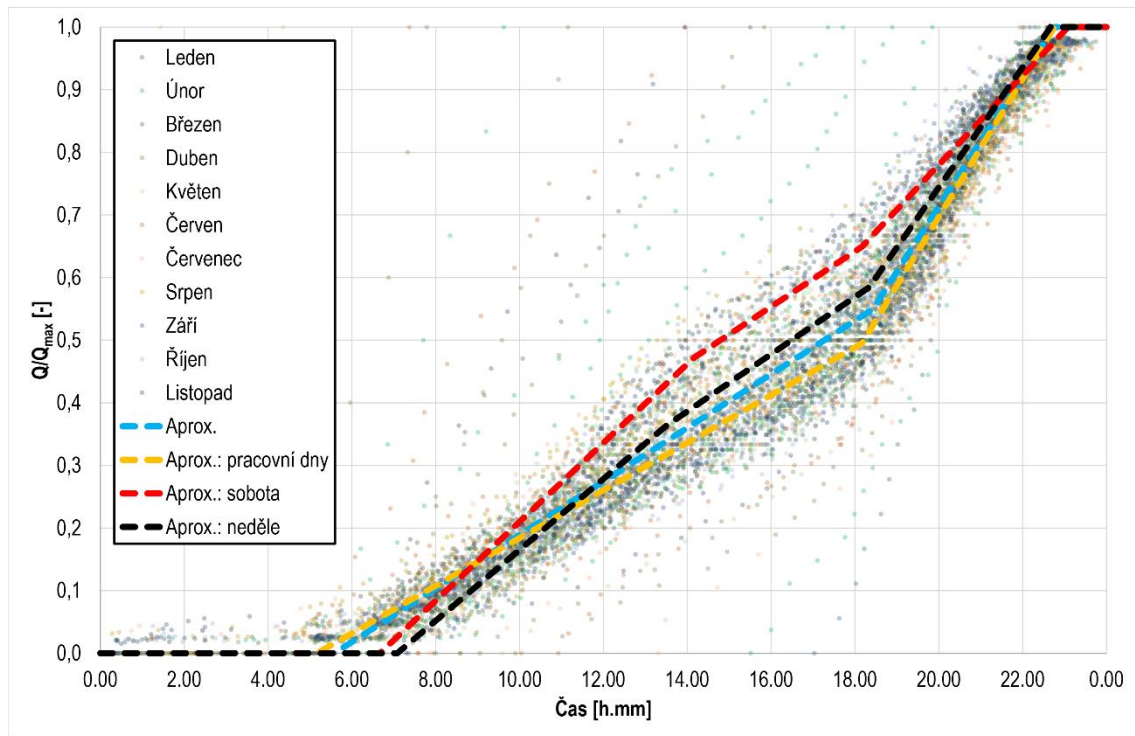
4.2 Profil odběru teplé vody

Samotné množství teplé vody pro navrhovaný systém nestačí. V případě zásobníkového ohřevu je důležité znát i průběh spotřeby během dané periody. K tomu slouží profil odběru teplé vody, který poskytuje informace o tom, v jakém časovém úseku a v jakém množství je teplá voda spotřebována (ukázka na obr. 11). Díky této znalosti lze navrhnout zásobník teplé vody a požadovaný tepelný výkon zdroje tepla (ohříváče teplé vody) [L10].



Obr. 11 – Denní průběh spotřeby TV u bytového domu A za rok 2015 [L10]

Z výše uvedeného obrázku ale není jednoduché určit potřebné údaje k návrhu, a proto pro lepší přehled je používána tzv. kumulativní křivka odběru (obr. 12).



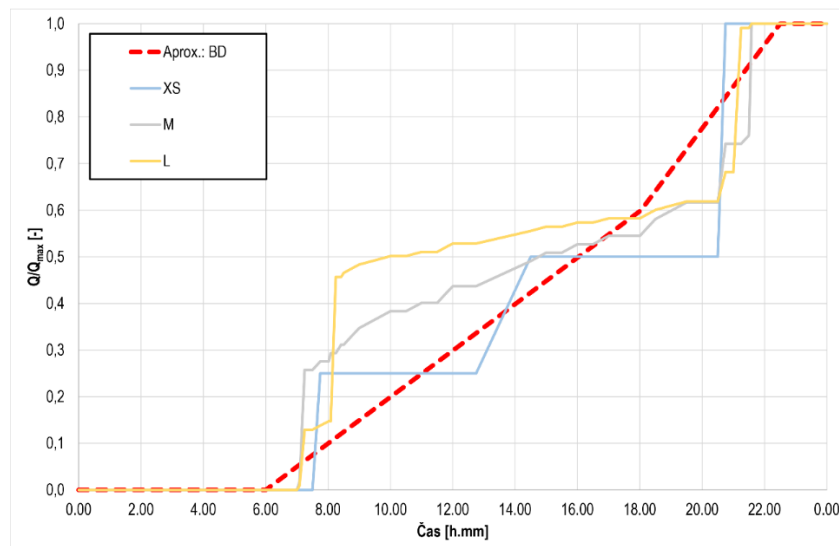
Obr. 12 – Kumulativní křivky odběru u bytového domu A za rok 2015 [L10]

Součtem množství spotřebované energie v daném čase za danou periodu (1 den) v průběhu celého roku byly získány jednotlivé body popisující nespojitě chování obyvatelů v daném domě. Pro lepší následnou práci s grafem jsou body sdruženy podle relativně konstantního průběhu a dále aproximovány přímkami, které na sebe navazují [L10].

Sklon přímek v daném úseku popisuje energii spotřebovanou za daný čas neboli tepelný výkon. Teoreticky vodorovná přímka říká, že nedochází k žádnému odběru, a tudíž je velikost tepelného výkonu nulová. Naopak přímka téměř kolmá k vodorovné ose předpokládá výraznou špičku v odběru teplé vody.

Na obr. 12 je tak možné posoudit průběh spotřeby teplé vody pro daný dům, kdy např. pro sobotu v čase od 0.00 do 6.30 je průměrná spotřeba prakticky nulová, následně v dopoledních hodinách dojde k výraznému odběru teplé vody, poté odpoledne narůstá spotřeba pomaleji, večer se zase zvedne a před půlnocí téměř ustane.

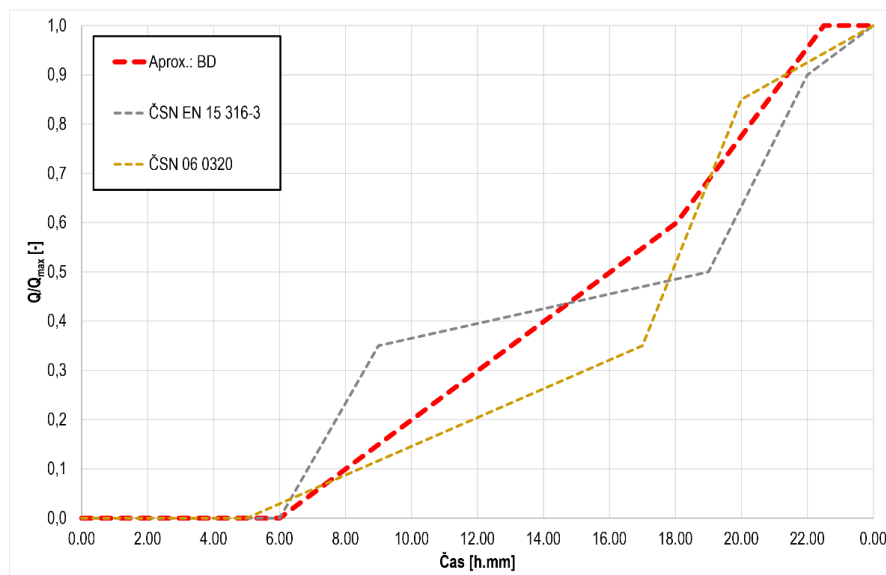
Podobným způsobem byly například získány i křivky odběru v případě nařízení komise EU č. 811 až 814/2013, kde jsou stanoveny zátěžové profily (obr. 13), které slouží ke zkoušení ohřívačů vody [L7].



Obr. 13 – Porovnání zátěžových profilů XS, M a L s profilem odběru získaného aproximací z bytových domů A, B, C, D [L10]

Dále v textu je používána křivka odběru ČSN 15 316-3 vycházející z odběrového profilu v dané normě. Tento profil odpovídá dennímu odběru pro 3člennou rodinu s používáním vany a sprchy a je totožný se zátěžovým profilem L z již zmíněných nařízeních komise EU [L10].

Porovnáním výsledků měření z různých bytových domů vyplývá, že s rostoucím počtem obyvatel odběrový profil přechází z tvaru křivky ČSN EN 15 316-3 na křivku Aprox.: BD popřípadě křivku ČSN 06 0320 získané z příkladu uvedeného v dané normě (obr. 14).



Obr. 14 – Porovnání aproximační křivky BD s křivkami odběru uváděnými obvykle dle norem ČSN 06 0320 a ČSN EN 15 316-3 [L10]

Dochází k tzv. „vyhlazení“ křivky odběru, jelikož obyvatelé domu s různými časovými návyky více „rozdrobí“ špičkové odběry v průběhu dne např. [L7], [L8], [L12].

Popis průběhu těchto křivek je v následující tab. 3.

Křivka odběru teplé vody	Čas odběru tepla pro přípravu TV	Podíl z celkově odebraného tepla pro přípravu TV [%]
ČSN 06 0320	0:00 až 5:00	0
	5:00 až 17:00	35
	17:00 až 21:00	50
	21:00 až 0:00	15
ČSN EN 15 316-3	0:00 až 6:00	0
	6:00 až 9:00	35
	9:00 až 19:00	15
	19:00 až 22:00	40
	22:00 až 0:00	10
Aproximace dle měření BD	0:00 až 6:00	0
	6:00 až 18:00	60
	18:00 až 23:00	40
	23:00 až 0:00	0

Tab. 3 – Celkové srovnání časových parametrů odběrů tepla pro přípravu TV dle jednotlivých norem a měření [L7]

4.3 Návrh zásobníku teplé vody

Při návrhu zásobníku teplé vody je důležité, aby odpovídal použitému zdroji tepla a zajistil uživatelský komfort podle předpokládaného profilu odběru. Pro návrh zásobníku teplé vody v Evropě neexistuje jednotný postup. V této práci jsou uvedeny tři možné metody návrhu, které bývají standardně používány v ČR.

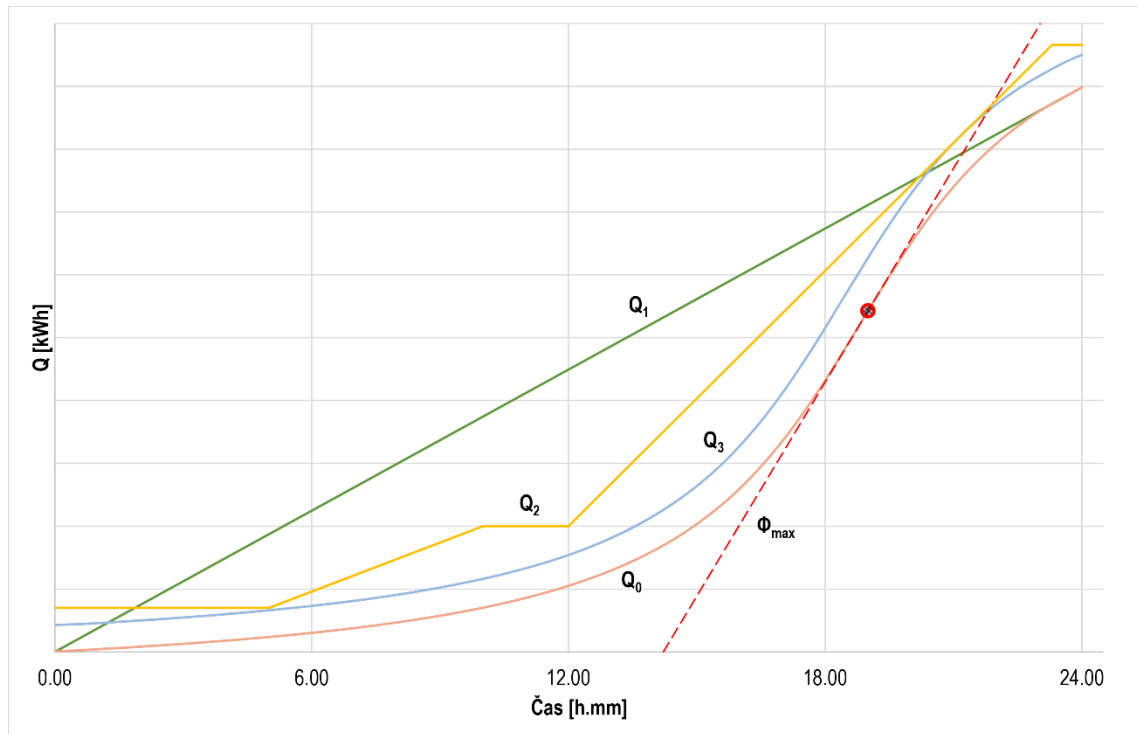
- návrh dle křivek odběru a dodávky tepla,
- návrh dle DIN 4708,
- návrh zohledňující přednostní přípravu teplé vody.

4.3.1 Návrh dle křivek odběru a dodávky tepla

Postup je založen na grafickém vyjádření odběru tepla (křivka odběru tepla) a jeho pokrytí podle námi navržené křivky dodávky tepla, která je sestavena podle požadavků na provozní vlastnosti zdroje tepla.

Křivka odběru tepla reprezentuje závislost energie použité k ohřevu teplé vody na čase τ . Křivka dodávky tepla analogicky popisuje dodávku tepelné energie na čase τ . Pro splnění požadavků je zapotřebí navrhnout křivku dodávky tepla tak, aby byla vždy nad křivkou odběru. Pokud by došlo k opaku, hrozil by nedostatek energie pro ohřev teplé vody. Dalším předpokladem k sestavení křivek je rovnost tepla dodaného ohřivačem do teplé

vody a tepla odebraného z ohřivače. Pokud je tedy například počátek křivky odběru v počátku souřadnic a počátek křivky dodávky je odsazen na ose Q o 10 % od křivky odběru, pak na konci periody musí být toto odsazení mezi křivkami stále stejné [L10].



Obr. 15 – Příklad křivek dodávky a odběru tepla při ohřevu vody různými zdroji tepla

- Q_1 - zdroj tepla s nepřetržitým provozem a zásobníkem
- Q_2 - zdroj tepla s přerušovaným provozem a zásobníkem
- Q_3 - zdroj tepla s dostatečným výkonem spojitě regulovaným podle odběru teplé vody bez zásobníku (např. průtokový ohřev)
- Q_0 - křivka odběru tepla
- Φ_{max} - maximální tepelný výkon [L10]

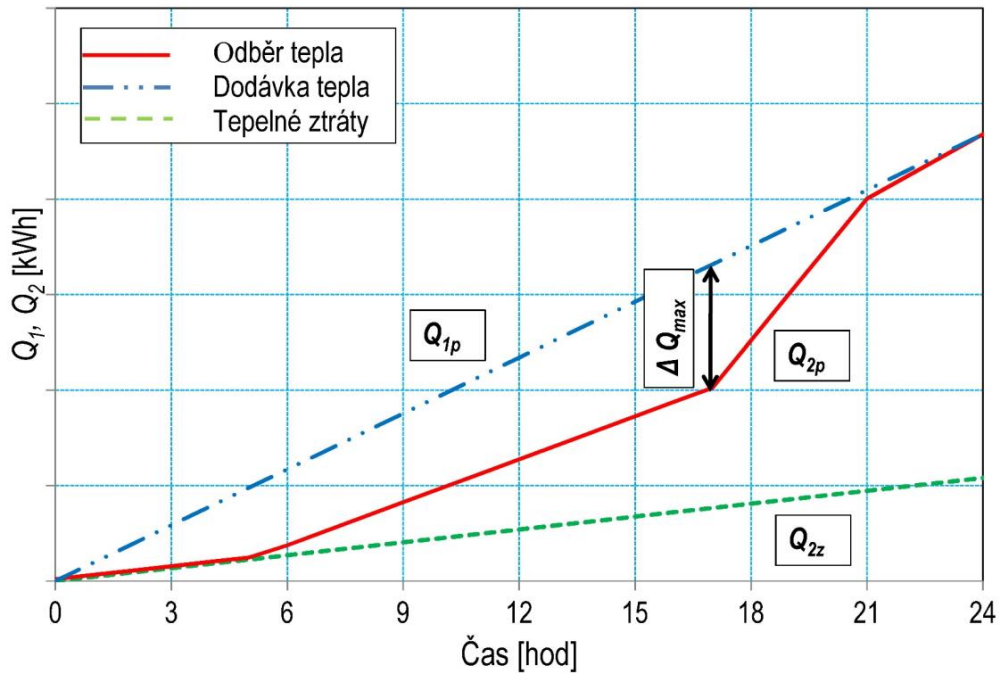
Objem zásobníku se stanoví z maximálního rozdílu mezi křivkami dodávky a odběru tepla jako

$$V_{z\acute{a}s} = \frac{\Delta Q_{max}}{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)} \cdot 3600 \cdot 1000 \quad (1)$$

kde

$V_{z\acute{a}s}$ [m³] objem zásobníku,

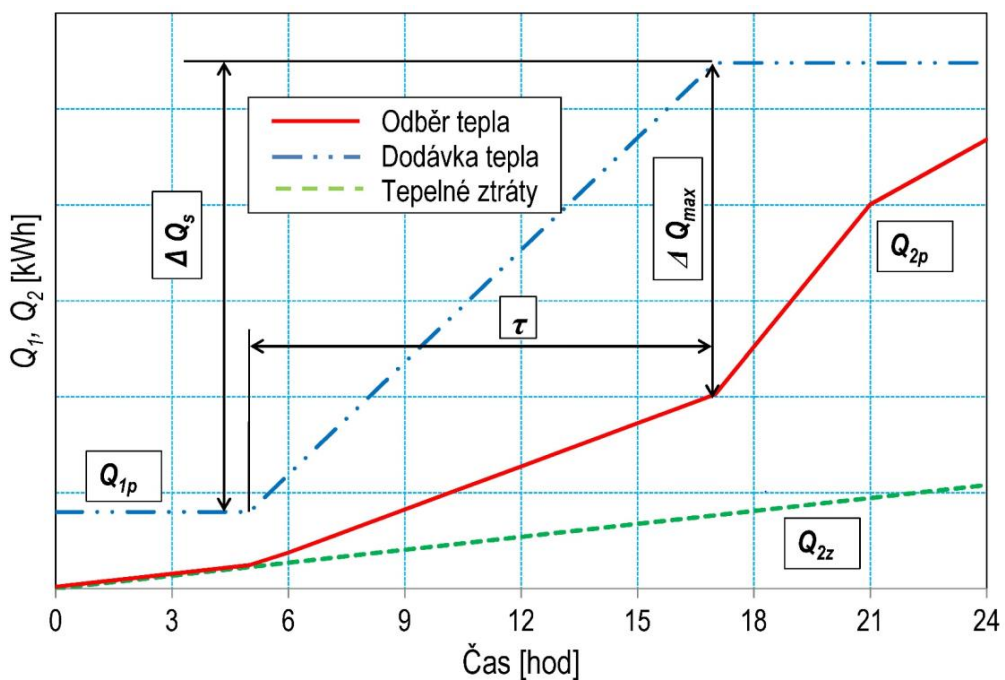
ΔQ_{max} [kWh] největší možný rozdíl tepla mezi Q_1 a Q_2 .



Obr. 16 – Křivky odběru a dodávky tepla s nepřerušovanou dodávkou tepla do zásobníku TV [L7]

Jednou z variant, jak můžeme navrhnout křivku dodávky tepla je vidět na obr. 16. Křivka dodávky tepla Q_{1p} je jednoduchá rostoucí přímka, což znamená, že energie k ohřevu teplé vody je dodávána po celou dobu periody při konstantním výkonu získaném ze zdroje tepla.

Druhou variantou je návrh křivky dodávky tak, že pro odběr tepla bude využito naakumulovaného tepla v zásobníku (obr. 17).



Obr. 17 – Křivky odběru a dodávky tepla s časově omezenou dodávkou tepla do zásobníku TV [L7]

Pro ohřev se zásobníkem se požadovaný tepelný výkon zdroje tepla stanoví jako:

$$P_{1n} = \left(\frac{\Delta Q_s}{\tau} \right)_{max} \quad (2)$$

kde

P_{1n} [kW] jmenovitý tepelný výkon ohřevu,

$\left(\frac{\Delta Q_s}{\tau} \right)_{max}$ [kWh/h] maximální sklon křivky dodávky tepla v čase.

Poměr $\left(\frac{\Delta Q_s}{\tau} \right)_{max}$ vyjadřuje maximální sklon tečny k časové ose. Tento poměr je v případě návrhu dodávky tepla ze zásobníku větší než u trvalé dodávky tepla [L7].

4.3.2 Návrh dle DIN 4708

Tato metoda pracuje s tzv. „jednotkovým bytem“, pro který je definován koeficient potřeby $N = 1$. Zařízení tohoto bytu je popsáno v tab. 5. Koeficient potřeby N slouží pro porovnávání řešeného bytu s jednotkovým. Výpočet provedeme podle vztahu (3):

$$N = \frac{\sum(n \cdot p \cdot \sum Q_i)}{Q_N} = \frac{\sum(n \cdot p \cdot \sum Q_i)}{(p \cdot Q_i)_{nom}} \quad (3)$$

kde

N [-] koeficient potřeby,

n [-] počet bytů,

p [-] koeficient obsazenosti, nebo počet osob,

Q_i [kWh] potřeba tepla odběrných míst.

Jednotkový byt je tvořen 4 místnostmi. Byt obývají 3 až 4 osoby. Odběrná místa jednotkového bytu jsou popsána v tab. 5. Koeficient obsazenosti p udává, kolik osob žije v bytě a jakou mají spotřebu teplé vody (tab. 4) [L7].

Počet místností r [-]	Koeficient obsazenosti p [-]	Počet místností r [-]	Koeficient obsazenosti p [-]
1	2,0	4,5	3,9
1,5	2,0	5	4,3
2	2,0	5,5	4,6
2,5	2,3	6	5,0
3	2,7	6,5	5,4
3,5	3,1	7	5,6
4	3,5		

Tab. 4 – Koeficient obsazenosti bytu podle DIN 4708

Podle normy DIN 4708 je zohledňován pouze největší používaný spotřebič teplé vody.

Podle sanitární vybavenosti bytu se v principu rozlišují dva druhy vybavenosti:

- a) normální vybavenost bytu (tab. 5),
- b) komfortní vybavenost bytu (tab. 6).

Prostor	Stávající vybavení	Q_i [kWh] pro výpočet podle tab. 7
Koupelna	Koupačí vana (1600 mm x 700 mm) cca 140 l nebo sprchová kabina se směšovací baterií a normální sprchou	Jako koupačí vana (1600 mm x 700 mm) cca 140 l
	1 umyvadlo	Nezohledňuje se
Kuchyň	1 kuchyňský dřez	Nezohledňuje se

Tab. 5 – Odběrná místa teplé vody v bytech s normální výbavou

Normální vybavenost bytu obsahuje pouze jednu vanu nebo jednu sprchovou kabinu a dále se zde vyskytuje umyvadlo a kuchyňský dřez.

Ve chvíli, kdy je sanitární vybavenost bytu větší, jedná se o **komfortní vybavenost bytu** a započítávání jednotlivých odběrných míst se řídí podle tab. 6.

Prostor	Stávající vybavení	Q_i [kWh] pro výpočet
Koupelna	Koupačí vana	Podle tab. 7
	Sprchová kabina	Podle tab. 7
	Umyvadlo	Nezohledňuje se
	Bidet	Nezohledňuje se
Kuchyň	Kuchyňský dřez	Nezohledňuje se
Pokoj pro hosty	Koupačí vana	50 % Q_i podle tab. 7
	Sprchová kabina	100 % Q_i podle tab. 7
	Umyvadlo	100 % Q_i podle tab. 7
	Bidet	100 % Q_i podle tab. 7

Tab. 6 – Odběrná místa teplé vody v bytech s komfortní vybaveností

Odběrné místo	Zkratka podle DIN 4708	Odebírané množství V [l]	Potřeba tepla odběrného místa Q_i [kWh]
Koupačí vana (1600 mm x 700 mm)	NB1	140	5,82
Koupačí vana (1600 mm x 700 mm)	NB2	160	6,51
Vana do malého prostoru a vana se stupínky	KB	120	4,89
Velkoprostorová vana (1800 mm x 750 mm)	GB	200	8,72
Sprchová kabina se směšovací baterií a úspornou sprchou	BRS	40	1,63
Sprchová kabina se směšovací baterií a normální sprchou	BRN	90	3,66
Sprchová kabina se směšovací baterií a luxusní sprchou	BRL	180	7,32
Umyvadlo	WT	17	0,7
Bidet	BD	20	0,81
Umyvadlo na ruce	HT	9	0,35
Kuchyňský dřez	SP	30	1,16

Tab. 7 – Potřeba tepla u různých odběrných zařízení podle DIN 4708

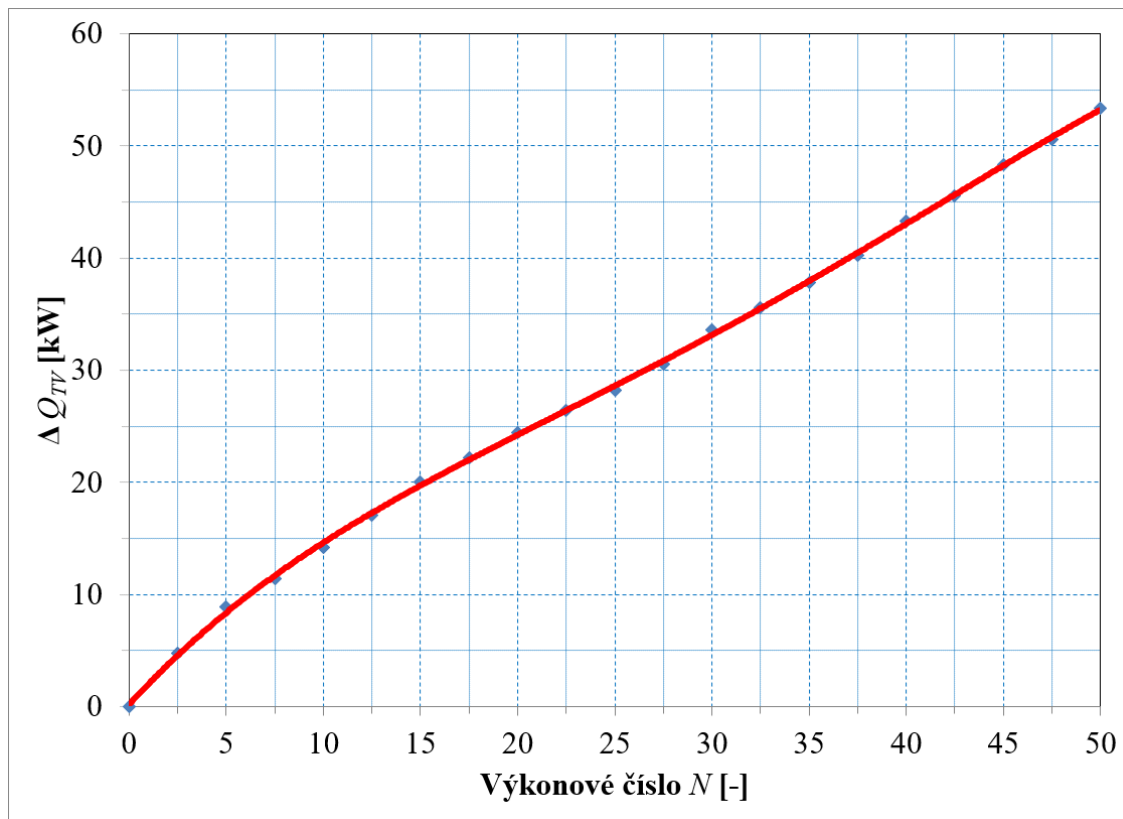
Jednotkový byt má definovanou jednu normální koupelnovou vanu (1600 mm x 700 mm – NB1). Potřeba tepla pro ohřev TV pro jednotkový byt (4 místnosti $\Rightarrow p = 3,5$ a vanu NB1) je $Q_N = p \cdot Q_i = 3,5 \cdot 5,82 = 20,37$ kWh. S touto hodnotou jsou pak další výpočty porovnávány a vzorec pro stanovení koeficientu potřeby N (6) přejde do tvaru:

$$N = \frac{\sum(n \cdot p \cdot \sum Q_i)}{20,37} \quad (4)$$

Při následném výběru velikosti zásobníku je nutné zohlednit následující požadavky:

1. Koeficient potřeby vybraného typu zásobníku teplé vody N_L musí být minimálně tak velký, jak je velký vypočtený koeficient potřeby N , (tj. $N_L \geq N$).
2. Tepelný výkon kotle musí být minimálně tak velký, jako je trvalý tepelný výkon Q_D (údaj výrobce zásobníku teplé vody pro teplotní rozdíl při ohřevu 10/45 °C), potřebný k dosažení koeficientu potřeby zásobníku N_L .
3. Bude-li kotel uvažován jak pro otopnou soustavu, tak i pro ohřev teplé vody, je požadován zvýšený výkon kotle $Q_D = Q_{budovy} + \Delta Q_{TV}$ (obr. 18), kde

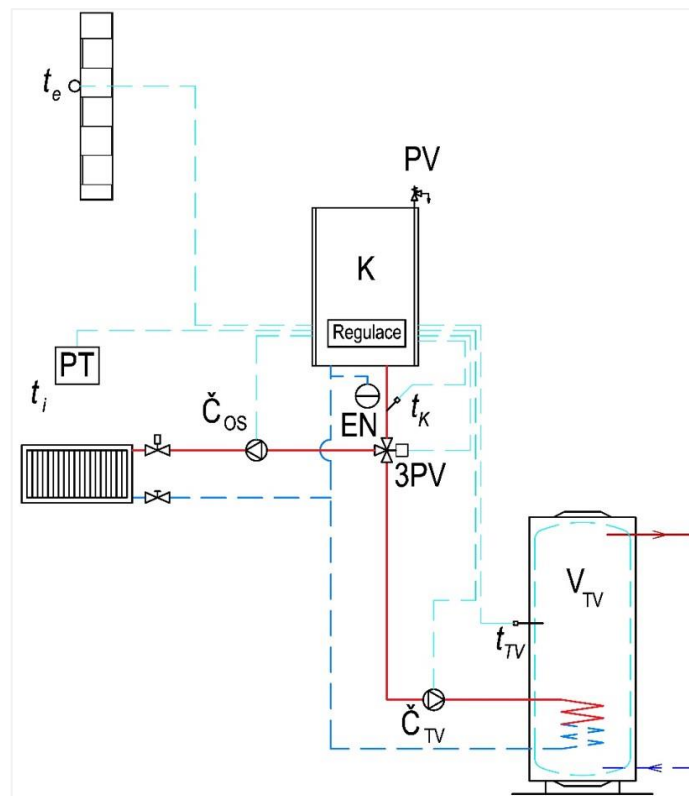
Q_{budovy} představuje tepelný výkon pro pokrytí nároků tepla (vytápění, vzduchotechnika apod.) pro budovu.



Obr. 18 – Zvýšený výkon kotle k ohřevu teplé vody podle výkonového čísla N [L7]

4.3.3 Návrh zohledňující přednostní přípravu teplé vody se společným zdrojem pro vytápění

Tato metoda předpokládá, že zdroj tepla slouží zároveň pro jinou technologii a přípravu teplé vody. Většinou se využívá u rodinných a bytových domů. V podstatě jde o přepnutí jmenovitého výkonu zdroje tepla na ohřev teplé vody v zásobníku a poté se vrátí zpět do předchozího režimu např. vytápění (obr. 19).



Obr. 19 – Příklad zapojení zdroje tepla s přednostní přípravou teplé vody [L7]
 \check{C}_{OS} – oběhové čerpadlo otopného systému, \check{C}_{TV} – nabíjecí čerpadlo zásobníku TV, EN – expanzní nádoba,
 K – kotel, PT – dálkové ovládání s čidlem vnitřní teploty, PV – pojistný ventil, 3PV – trojcestný přepínací
 ventil, V_{TV} – zásobník teplé vody, t_e – venkovní teplota, t_i – vnitřní teplota, t_k – teplota kotlové vody,
 t_{TV} – teplota vody v zásobníku teplé vody

Tento návrh vychází z předpokladu, že výkon zdroje tepla je navržen podle požadavků vytápění a ten je výrazně vyšší, než je běžně používaná u ohřevu teplé vody. Tento předpoklad je ovšem u dnešních moderních staveb zavádějící. U rodinných domů nebo např. menších bytových domů splňující současné požadavky na energetickou náročnost budov je obvyklé, že požadavek na výkon ohřívače teplé vody může být vyšší, než je požadavek na vytápění, a proto je nutné tuto skutečnost ověřit. Splnění této podmínky je stejně důležité i u všech předcházejících metod, pokud je pro přípravu teplé vody využíván společný zdroj tepla i pro další technologii.

Signálem pro přepnutí výkonu na přípravu teplé vody je pokles teploty v zásobníku pod stanovenou hodnotu. Aby nedocházelo k neustálému přepínání, je cílová teplota pro ukončení ohřevu vyšší než teplota, při které dojde k opětovnému nabíjení. Tento teplotní rozdíl se nazývá spínací diference a jeho hodnota se běžně nastavuje od 5 do 15 K. Použijeme-li větší z hodnot, musíme počítat s delší dobou na dobití zásobníku teplé vody, a tudíž i s delší dobou, kdy zdroj tepla nedodává teplo pro přidruženou technologii (např. vytápění). Přepnutí výkonu zdroje tepla probíhá v trojcestném přepínacím ventilu. Schéma zapojení je na obr. 19.

Z předchozích odstavců vyplývá podmínka, že požadovaný výkon pro přípravu teplé vody Q_{TV} je nižší nebo roven výkonu zdroje tepla Q_k (4).

$$Q_{TV} \geq Q_k \quad (4)$$

Potřebnou dobu ohřevu zjistíme podle vztahu (5):

$$Q_k = \frac{V_z \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{\tau_a} \Rightarrow \tau_a = \frac{V_z \cdot y \cdot \rho \cdot c \cdot X_p}{Q_k} \quad (5)$$

kde

Q_k [kW] tepelný výkon zdroje tepla,

V_z [m³] objem zásobníku teplé vody,

τ_a [s] doba dohřevu teplé vody při teplotním rozdílu X_p ,

ρ [kg/m³] hustota vody při střední teplotě zásobníku,

c [J/(kg · K)] měrná tepelná kapacita vody při střední teplotě zásobníku,

X_p [K] spínací diference pro dohřev teplé vody,

y [-] korekční faktor odběru tepla ze zásobníku teplé vody (tab. 8).

U nepřímo ohříváných zásobníků s tepelným výměníkem je nutné do výpočtu zahrnout tzv. korekční faktor odběru y (tab. 8), který udává skutečný využitelný obsah zásobníku. Tyto zásobníky totiž pracují na principu přirozeného vztlaku (stratifikace tepla), kdy obsah zásobníku je zahříván od spodní části nahoru.

Zásobník teplé vody	y [-]	
	$\tau_a < 10$ minut	$\tau_a \geq 10$ minut
Vertikální zásobník	0,89	0,94
Horizontální zásobník (do 400 l)	0,91	0,96
Horizontální zásobník (nad 400 l)	0,85	0,90

Tab. 8 – Korekční faktor odběru tepla ze zásobníku teplé vody [L7]

Nicméně pouze samotný výkon kotle není pro návrh dostačující. Záleží totiž i na teplosměnné ploše výměníku v nepřímo ohříváných zásobnících a také na středním rozdílu teplot jak na primární straně (tj. na straně zdroje tepla, resp. ohříváče). Tepelný výměník musí být totiž schopen předat požadovaný tepelný výkon ze zdroje tepla do zásobníku. Většinou je možné tuto podmínku ověřit z technických údajů produktu, kde výrobce udává tzv. jmenovitý tepelný výkon integrovaného výměníku tepla pro teplotu kotlové vody t_k a průtok nabíjecím čerpadlem [L7].

5 Software

Webová aplikace je dostupná na internetové adrese: <https://navrh-zasobniku.surge.sh>.

5.1 Cíl projektu

Cílem projektu je navrhnout nástroj, který uživateli zjednoduší návrh přípravy teplé vody pomocí tří výše zmíněných metod a to tak, že některé repetitivní části návrhu jsou zautomatizovány (např. grafický návrh křivek odběru a dodávky tepla). Tyto části výpočtu by měly být podloženy použitými vzorci a vysvětlením, jak ovlivňují návrh.

Uživatelské rozhraní by mělo být přehledné a dostatečně deskriptivní. Též by mělo zabránit potenciálním chybám v zadání pomocí okrajových podmínek, které omezí zadání uživatele na reálné hodnoty (příkladem může být omezení u číselných vstupů na číselné znaky, nebo omezení zadání na celá čísla, či nastavení minimální a maximální hodnoty). Díky těmto omezením je možné předejít neproveditelným situacím a donutit tak uživatele k přezkoumání návrhu.

V případě nalezení softwarových chyb je důležité, aby bylo možné provést opravu softwaru a touto opravenou verzí snadno nahradit starou verzi u uživatele, aniž by byl sám nucen učinit jakékoliv kroky pro aktualizaci.

5.2 Výběr cesty vývoje

K tvorbě aplikace je zapotřebí tvůrčího nástroje nebo přímo programovacího jazyka. Pokud omezíme výběr mnou získanými zkušenostmi v této oblasti, tak se nabízí dvě možná řešení:

- sešit s makry v tabulkovém kalkulátoru Excel z kancelářského balíčku Microsoft Office,
- webová aplikace v programovacím jazyce JavaScript společně s technologiemi HTML (definuje strukturu obsahu) a CSS (slouží k vizuálnímu návrhu aplikace).

Shrnutí výhod i nevýhod je v následující tab. 9.

Excel	<p><u>Výhody:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • rychlé prototypování, • snadné použití, • velké množství integrovaných funkcí, • možnost rozšíření sešitu o VBA. <p><u>Nevýhody:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • placený software, • plnohodnotně funkční pouze na Windows, • nemožnost testování, • nemožnost vzdálené aktualizace sešitu, • VBA bez aktivního vývoje, • zastaralý editor VBA, • omezení VBA pouze na produkty balíčku Microsoft Office.
JavaScript	<p><u>Výhody:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • plnohodnotný univerzální programovací jazyk, • multiplatformní (webové, desktopové a mobilní aplikace s libovolným operačním systémem), • kvalitní dokumentace a podpora, • podpora testovacího prostředí, • velké množství pomocných nástrojů (v tzv. knihovnách), • aktualizace webové aplikace se automaticky projeví i u uživatele. <p><u>Nevýhody:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • potřebné znalosti z programování, • komplexnější vývojové prostředí, • některé užitečné funkce z Excelu je potřeba naprogramovat.

Tab. 9 – Výhody a nevýhody Excelu a JavaScriptu

Excel je velice užitečný nástroj v případě, že jste sešit s výpočty vytvořili sami a tyto výpočty neobsahují příliš komplikované vzorce.

Jakmile se ale začne zvyšovat složitost řešení, začne se též zvyšovat pravděpodobnost chyby ve výpočtu, která není okamžitě postřehnutelná a dostane se do finální verze. Řešení takových chyb je pak velmi problematické, protože často se může poškodit jiná navazující část výpočtu. A pokud je chyba nalezena v pozdější fázi, kdy už tvůrce zapomněl důvody svých rozhodnutí při tvorbě projektu, je velice snadné způsobit opravou chyby chybu novou. Pro takové situace je ideální vytvořit testy, které před každou změnou ověří funkčnost. Bohužel tuto funkci Excel postrádá. Kvůli tomuto nedostatku je

nevhodné šířit složitější sešity excelu jako výpočetní pomůcku, protože je vysoká pravděpodobnost, že v kódu existují chyby.

Dalším problémem je v případě aktualizace (např. aktualizace s opravenými chybami) způsob nahrazení staré verze u uživatelů, protože se bavíme o souboru, který nejspíše uživatel stáhne z webových stránek a poté ho nadále používá již bez pravidelné kontroly, zdali je to poslední verze. Z tohoto důvodu hrozí používání chybné verze a nemožnost na tuto skutečnost upozornit.

Z toho vyplývá, že u komplikovanějších nástrojů je lepší přejít přímo k plnohodnotnému programovacímu jazyku, který má dostatečnou základnu s pomocnými balíčky pro testování a celkové psaní kódu.

Nevýhodou je samozřejmě mnohem více potřebných znalostí z oblasti informatiky, ale s dnešním vývojem technologií je jen otázkou času, než bude i strojírenství donuceno přikročit hlouběji k výuce programování a brát ho jako svou neoddelitelnou část.

S ohledem na své dosavadní zkušenosti jsem zvolil programovací jazyk JavaScript. Tento jazyk je primárně určený pro tvorbu webových stránek a aplikací.

Rozdíl mezi webovou stránkou a webovou aplikací není tak jasný, jak by se mohlo zdát. Je to právě z důvodu, že některé webové stránky bývají označovány jako webové aplikace. Správně ale webové aplikace označují weby, které mají podobné charakteristiky jako aplikace pro osobní počítače či mobilní zařízení, ale přesto běží uvnitř prohlížeče.

Popularita webových aplikací tkví především v tom, že si uživatel pro práci s touto aplikací nemusí instalovat žádný další software do svého počítače a může aplikaci ihned používat.

5.3 Použité nástroje

Programování aplikace je možné provést dvěma způsoby:

- pouze se samotným programovacím jazykem bez pomocných knihoven,
- za použití frameworků nebo knihoven.

I když je možné vytvořit klientské rozhraní pouze v čistém JavaScriptu, HTML a CSS bez použití jakýchkoliv pomocných knihoven, tak by se dalo říci, že je to nepraktické a vývojáře to zbytečně zdržuje od budování funkcionality aplikace. Proto existuje nespočet

knihoven (balíčky pomocných funkcí), které výrazně ulehčí důležité části práce na aplikaci.

Projekt s aplikací je uložen v tzv. „Git repozitáři“ na www.GitLab.com. Git je kompletní systém pro správu zdrojových kódů. Umožňuje průběžné odesílání změn v kódu (tzv. revize) s krátkou zprávou popisující provedené změny [L14]. Díky tomuto systému je možné přehledně provádět změny v projektu a v případě nepovedeného většího zásahu v kódu se vrátit v historii projektu do chvíle před zásahem. Z důvodu potenciální hrozby poškození pracovního počítače není vhodné ukládat projekt pouze na lokálním disku, ale využít raději internetového úložiště, tím je v tomto případě webový Git repozitář GitLab, který umožňuje v bezplatné verzi vytvořit soukromý repozitář, kam programátor průběžně při vývoji odesílá nové verze zdrojového kódu aplikace. Ukázka repozitáře se zdrojovým kódem k tomuto projektu je na obr. 20.

Jakmile došlo na strukturování a stylizaci obsahu, bylo zapotřebí zprovoznit testovací server, na kterém se při každém uložení zdrojového kódu okamžitě aktualizovala vyvíjená webová aplikace, díky tomu bylo možné sledovat a ověřovat funkčnost aplikace. Tento způsob testování je vhodný pouze pro vývojáře. Tento server byl zprovozněn se softwarovým systémem *Node.js* [L13].

V případě prezentace aplikace koncovému uživateli byl kód zpracován do produkční verze. Tento kód byl následně publikován na internetu pod dočasnou internetovou doménou.

The screenshot shows the GitLab web interface for a project named "Návrh zásobníku TV" (Project ID: 8497115). The interface includes a navigation sidebar on the left, a top navigation bar with search and utility icons, and a main content area. The main content area displays the project name, a "Clone" button, and statistics such as "508 Commits", "1 Branch", and "5.7 MB Files". Below this, there is a section for the current commit, showing the commit message "@methods/priority: fix scheme image" by Matej Bransky, authored 1 week ago, with the commit hash "6c62fce7". There are also buttons for "Add license", "Add CHANGELOG", "CONTRIBUTING", and "Enable Auto DevOps". At the bottom, there is a table listing the project's files and their last commit details.

Name	Last commit	Last update
.etc	@methods/din: add linreg of occupancy	3 weeks ago
.gitlab	minor fix in gitlab templates	2 months ago
.templates	fix templates	1 month ago
.vscode	reinit	1 month ago
__mocks__	add __mocks__ folder for tests (right now be...	1 month ago
app	@methods/priority: update to working versi...	2 weeks ago
methods	@methods/priority: fix scheme image	1 week ago

Obr. 20 – Webový Git repozitář GitLab

Pro ulehčení návrhu rozhraní a interaktivity aplikace jsem zvolil knihovnu *React.js* [L15]. Je to jedna z nejrychleji rostoucích a nejpoužívanějších knihoven, jelikož výrazně zjednodušuje vytváření a renderování komplexních uživatelských rozhraní.

Grafy v metodě křivek odběru a dodávky tepla jsem vytvořil s pomocí knihovny *d3.js* [L16], která je na poli datově řízeného vývoje v podstatě standardem.

Testy jednotlivých částí aplikace jsou provedeny s knihovnami *Jest* [L17] a *react-testing-library* [L18], které umožňují testování simulující chování uživatele. Tzn. že pokud má být například správně aktualizována hodnota výstupního pole po úpravě hodnoty vstupního pole, tak nejprve vybereme podle názvu vstupní pole ve formuláři, následně

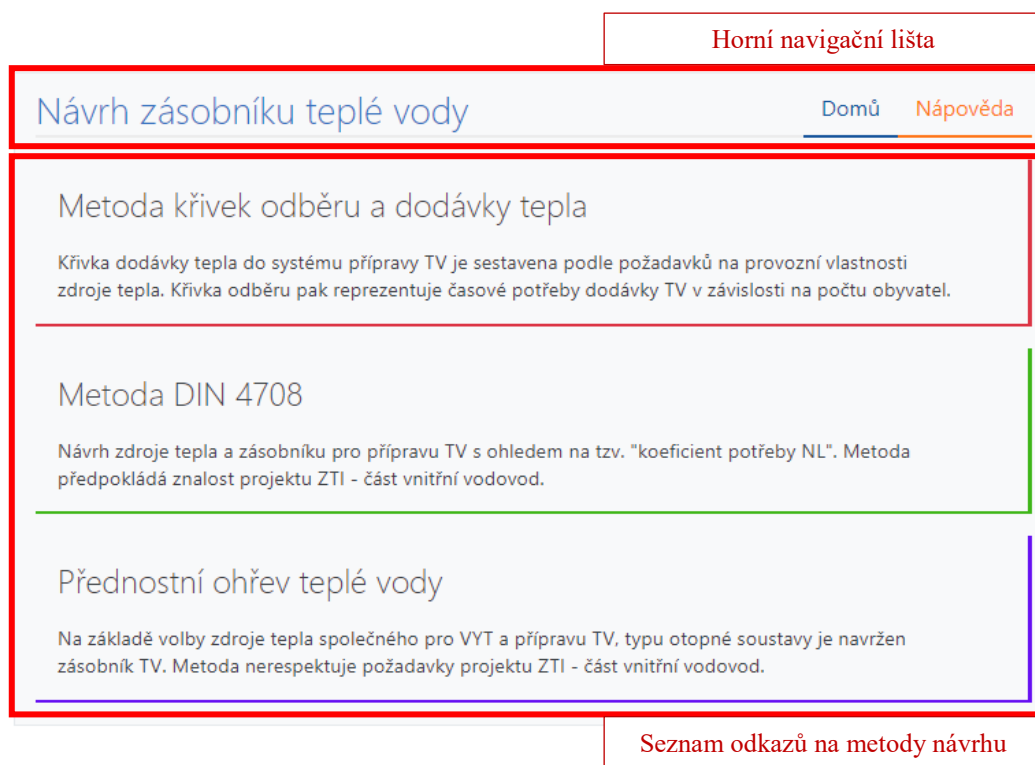
programově změníme hodnotu pole, pak zavoláme funkci, která po vybrání výstupního pole tvrdí, že hodnota výstupu se rovná předpokládané hodnotě, a pokud ne, tak při spuštění testu dojde k oznámení chyby s popisem, co nefunguje.

V tomto duchu je otestována celá aplikace (zabývá se i okrajovými podmínkami). V takovém případě proces vývoje aplikace probíhá v posloupnosti: vytvoření testu funkcionality → napsání funkcionality (součást aplikace) → ověření kódu spuštěním testu → (v případě nesplněného testu je provedena oprava kódu tak, aby byl splněn test) → vytvoření dalšího testu → ...a dále se opakují předchozí kroky.

Tento způsob vývoje se nazývá *programování řízené testy* (anglicky *test-driven development*, zkr. *TDD*) a jednou z jeho výhod je pojištění napsaného kódu aplikace, kdy si při pozdějších úpravách vývojář u provázanějších částí softwaru může být jistější, že nepoškodí již funkční část programu. Další výhodou je i detailní popis chování aplikace díky deskriptivnímu zápisu testů, což do jisté míry zastupuje interní dokumentaci kódu [L19].

5.4 Úvodní obrazovka

Po načtení aplikace se zobrazí úvodní část (obr. 21). V horní části je titulek a jednoduchá navigační lišta s odkazem na úvodní obrazovku (tlačítko „Domů“) a na nápovědu k použití aplikace. Pod touto částí se vyskytuje seznam metod návrhu zásobníku teplé vody. Každá metoda je krátce popsána v popisku pod názvem. Pro pokračování stačí kliknout na jednu z vypsaných metod.



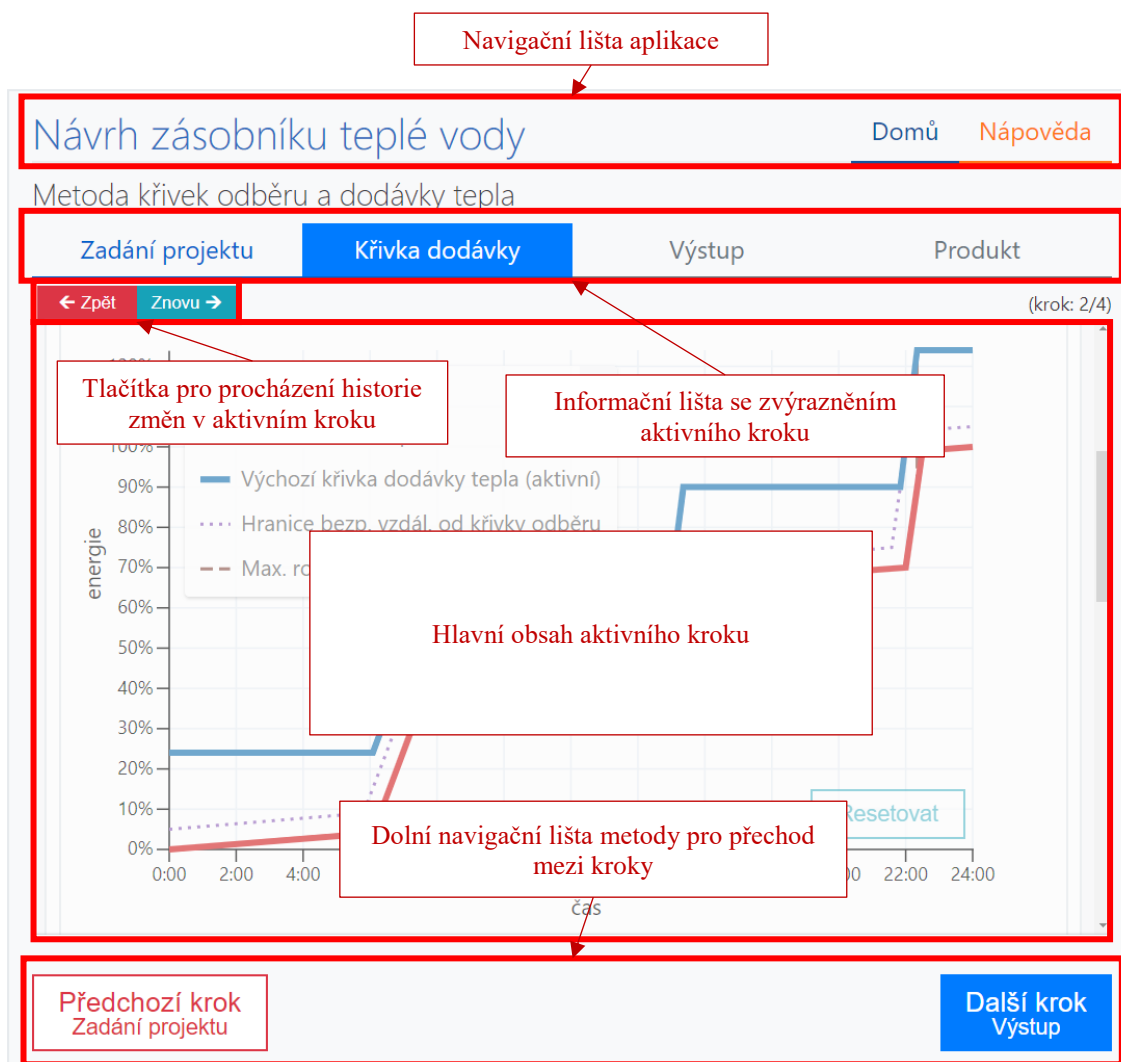
Obr. 21 – Úvodní obrazovka aplikace

5.5 Metoda křivek odběru a dodávky tepla

Tato metoda je rozdělena do tří po sobě jdoucích částí:

1. Zadání projektu,
2. Křivka dodávky,
3. Výstup.

Každý krok obsahuje pod navigační lištou informační lištu se všemi kroky návrhu. Aktivní krok je vždy barevně odlišen od ostatních kroků modrou barvou pozadí (obr. 22). Pod informační lištou se vyskytuje hlavní obsah aktivního kroku. Pod hlavním obsahem je navigační lišta s tlačítky pro posun na předchozí nebo následující krok.



Obr. 22 – Popis rozhraní metody křivek odběru a dodávky tepla

Formuláře v prvním a druhém kroku obsahují vstupní i závislá výstupní pole (obr. 23).

Denní potřeba TV na měrnou jednotku	V_i	<input type="text" value="0,04"/>	$\text{m}^3/\text{j.den}$
Použít výchozí hodnotu? <input type="checkbox"/>			
Teoretická potřeba tepla	$Q_{TV, \text{teor}}$	<input type="text" value="16,74"/>	kWh/den
Nápověda			

Obr. 23 – Ukázka vstupních a výstupních polí s nápovědou a možností použití výchozí hodnoty

Každé pole obsahuje na levé straně popis a na pravé straně hodnotu. U některých můžeme použít lokální nápovědu, která je zobrazena jako odkaz „Nápověda“ pod hlavním popisem pole. U některých vstupních polí nemusí být vstup povolen hned od začátku. Jde totiž o pole s výchozí hodnotou (obr. 24). Pokud bychom ale chtěli změnit tuto hodnotu

na vlastní, tak je možné pod vstupním políčkem zrušit zaškrtnutí u textu „Použít výchozí hodnotu“ (obr. 25).

Denní potřeba TV na měrnou jednotku V_i 0,035 $m^3/j.den$

Použít výchozí hodnotu?

Obr. 24 – Automaticky vyplněné vstupní pole s výchozí hodnotou

Denní potřeba TV na měrnou jednotku V_i 0,04 $m^3/j.den$

Použít výchozí hodnotu?

Obr. 25 – Vstupní pole s povoleným nastavením vlastní hodnoty

V levé horní části se nachází tlačítka umožňující pohyb v historii změn v aktivním kroku. Pokud uživatel neprovedl žádnou změnu, jsou obě tlačítka nevýrazná. S první úpravou ve formuláři se ale ihned zvýrazní tlačítko „Zpět“ červeným pozadím. Pokud uživatel vrátí změnu, aktivuje se i tlačítko „Znovu“ pro opakování vrácené úpravy ve formuláři.

Teprve pod tlačítky Zpět/Znovu se nachází hlavní obsah aktivního kroku. Aby měl uživatel neustále přehled a možnost jednoduše používat tlačítka historie, je rám aplikace pevné výšky, takže při posouvání ve formuláři zůstává informační lišta a tlačítka stále na očích.

5.5.1 Zadání projektu (1. krok)

První krok obsahuje dynamický formulář. Slovem „dynamický“ se myslí okamžitá reakce formuláře na aktuálně zadávaná data, takže pokud například uživatel zadá hodnotu A a B, tak jejich suma bude okamžitě po zadání obou hodnot vypočítána a zobrazena. Opakem je statický formulář, kde po zadání hodnot nevidíte okamžitě výsledek, ale stisknete tlačítko odeslat a následně se vyplněné hodnoty odešlou na server, kde dojde k výpočtu a po dokončení se aktualizuje stránka a zobrazí se výsledek výpočtu.

V tomto formuláři se vyskytují číselná vstupní pole a interaktivní graf. Uživatel v prvním kroku vybere typ budovy, který ovlivňuje výchozí hodnoty vstupních polí:

- měrná jednotka j [-],
- denní potřeba teplé vody na jednotku V_i [$m^3/(j \cdot den)$],
- poměrný součinitel ztrát z [-],
- výchozí průběh křivky odběru tepla.

Závislost výchozích hodnot je popsána v tab. 10 a tab. 11. Je dobré zdůraznit, že se jedná pouze o výchozí hodnoty a uživatel musí dbát na jejich kontrolu, zdali vyhovují právě řešenému projektu. V případě, že jsou hodnoty nevyhovující, může je nahradit vlastními.

Typ budovy	Měrná jednotka j	Denní potřeba TV na měrnou jednotku V_i [$\text{m}^3 / \text{j} \cdot \text{den}$]	Poměrný součinitel ztrát z [-]	Křivka odběru
Rodinný dům s centrálním ohřevem TV	Osoba	0,035	0,05	EN pro $n < 10$ ENBD pro $n < 50$ BD pro $n \geq 50$
Rodinný dům s ústředním ohřevem TV	Osoba	0,035	0,20	Viz předchozí řádek
Bytový dům s centrálním ohřevem TV	Osoba	0,035 pro $n < 50$ 0,032 pro $n < 150$ 0,03 pro $n < 300$ 0,028 pro $n \geq 300$	0,40	Viz předchozí řádek
Bytový dům s ústředním ohřevem TV	Osoba	Viz předchozí řádek	1,00	Viz předchozí řádek
Ubytovací zařízení s centrálním ohřevem TV	Lůžko	Viz předchozí řádek	1,00	Viz předchozí řádek
Ubytovací zařízení s ústředním ohřevem TV	Lůžko	Viz předchozí řádek	0,20	Viz předchozí řádek
Restaurace s centrálním ohřevem TV	Jídlo	0,015	0,05	REAB
Restaurace s ústředním ohřevem TV	Jídlo	0,015	0,10	REAB
Administrativní budova s centrálním ohřevem TV	Osoba	0,005	0,50	REAB
Administrativní budova s ústředním ohřevem TV	Osoba	0,005	0,60	REAB
Sportovní zařízení s centrálním ohřevem TV	Instalovaná sprcha	0,100	0,10	SP
Sportovní zařízení s ústředním ohřevem TV	Instalovaná sprcha	0,100	0,10	SP
Průmyslový závod s centrálním ohřevem TV	Sprchová koupel	0,030	0,20	SP
Průmyslový závod s ústředním ohřevem TV	Sprchová koupel	0,030	0,60	SP

Tab. 10 – Výchozí hodnoty pro jednotlivé typy budov [L11]

n – počet měrných jednotek, EN – křivka ČSN EN 15 316-3, ENBD – kombinace křivky ČSN EN 15 316-3 a křivky BD, BD – aproximační křivka pro bytové domy, REAB – výchozí křivka odběru pro restaurace a administrativní budovy, SP – výchozí křivka pro sportovní zařízení a průmyslové závody.

Křivka odběru teplé vody	Čas odběru tepla pro přípravu TV	Podíl z celkově odebraného tepla pro přípravu TV [%]
Kombinace křivky ČSN EN 15 316-3 a křivky BD (ENBD)	0:00 až 6:00	0
	6:00 až 8:00	20
	8:00 až 18:00	35
	18:00 až 23:00	45
	23:00 až 0:00	0
Výchozí křivka pro restaurace a administrativní budovy (REAB)	0:00 až 7:00	0
	7:00 až 8:00	20
	8:00 až 18:00	50
	18:00 až 20:00	30
	20:00 až 0:00	0
Výchozí křivka pro sportovní zařízení a průmyslové závody (SP)	0:00 až 8:00	0
	8:00 až 8:30	33
	8:30 až 15:00	0
	15:00 až 15:30	33
	15:30 až 22:00	0
	22:00 až 22:30	34
	22:30 až 0:00	0

Tab. 11 – Pomocné křivky odběru tepla pro restaurace, administrativní budovy, sportovní zařízení a průmyslové závody.

Pozn.: Slouží pouze jako pomůcka. Uživatel by měl použít přesnější podklady ke konkrétnímu řešení a na základě toho vytvořit vlastní křivku odběru.

Pomocné křivky odběru z tab. 11 vycházejí z popisu odběru v kapitole 4.2. U restaurace je předpokládán průběžný odběr teplé vody od začátku otevírací doby až po zavření. Protože při mytí nádobí dochází k výrazným špičkovým odběrům, je dobré dbát na dostatečné odsazení křivky dodávky tepla. V případě administrativní budovy během standardní osmihodinové pracovní doby dochází k pravidelnému odběru teplé vody. Nicméně odběr je uskutečněn převážně na toaletách při mytí rukou, a tudíž je vliv jednoho odběru relativně nevýznamný z hlediska velikosti odsazení křivky dodávky. Naopak u sportovních zařízení je možné očekávat nárazový, ale pravidelný, odběr teplé vody při sprchování sportovců. To ale na druhou stranu vyváží fakt, že v případě sportovních zařízení se doporučuje navrhovat přípravu pro maximální obsazenost, díky čemuž je možné velmi přesně určit maximální špičkový odběr teplé vody. U průmyslových závodů, kde je po každé směně vhodné se osprchovat, je důležité znát počet směn a kdy se střídají. Na základě těchto znalostí pak uživatel navrhne křivku odběru tepla.

Výchozí hodnoty denní potřeby teplé vody byly odvozeny z normy ČSN EN 15 316-3 s přihlédnutím k reálně měřeným spotřebám teplé vody dle [L7] a [L8]. Nicméně pro obytné domy je hodnota ovlivněna i počtem obyvatel, kdy se zvyšujícím se počtem odběratelů dochází ke snížení průměrné potřeby teplé vody na osobu a zároveň i k vyhlazení špičkových odběrů (viz. kapitola 4.2).

Po výběru typu budovy je možné vyplnit základní teplotní parametry vody:

- teplota studené vody t_{SV} , která je na začátku nastavena na 10 °C,
- teplota ohřáté vody v zásobníku t_{TV} , která je na začátku nastavena na 50 °C.

Obě hodnoty je možné přenastavit.

Dalším požadovaným parametrem vody je hustota ρ , která je pevně nastavena na 1000 kg/m³ (jedná se pouze o návod pro výběr zásobníku, změna hustoty v řádu jednotek není klíčovým parametrem k výběru). Také je pevně nastavena měrná tepelná kapacita vody c na hodnotu 4187 J/(kg · K).

Pod vstupními poli pro teploty studené a ohřáté vody se vyskytuje pole informující o použité zvolené měrné jednotce j . Na základě této znalosti je možné vyplnit počet měrných jednotek n .

Počet jednotek společně s typem budovy ovlivňuje výchozí hodnotu následujícího vstupního pole pro denní potřebu teplé vody na měrnou jednotku V_i [m³/(j. den)]. Pokud uživatel nesouhlasí s výchozí hodnotou V_i , může zrušit zaškrtnutí políčka pod vstupním polem, které povolí přepsat výchozí hodnotu hodnotou vlastní.

Po vyplnění výše popsaných hodnot je zobrazena vypočtená hodnota teoretické potřeby tepla $Q_{TV,teor}$ [kWh/den]. A pod tímto výstupním polem je část formuláře zaměřená na samotný návrh průběhu křivky odběru tepla (obr. 26).



Obr. 26 – Formulářová část s popisem křivky odběru tepla

V této části se vyskytuje grafické vyjádření průběhu křivky odběru tepla a tabulkový popis křivky. Průběh křivky je v grafu popsán jako závislost energie [%] na čase [h:mm]. Na základě získaných znalostí z předchozích kapitol může uživatel navrhnout vlastní křivku odběru kliknutím na modře orámované tlačítko „Přidat vlastní křivku odběru tepla“.

Po kliknutí se stane několik změn (obr. 27):

- v grafu se zobrazí nová křivka překrývající původní výchozí křivku,

- pod grafem v pravé části se zobrazí nové červeně orámované tlačítko pro smazání všech vlastních křivek odběru,
- tabulka s popisem křivky změni šedou barvu pozadí buněk na bílou a na konci řádků se zobrazí tlačítka „+“ a „-“,
- pod tabulkou se zobrazí nově zeleno-modře orámované tlačítko pro smazání aktivní křivky odběru tepla.



Obr. 27 – Formulářová část s popisem křivky odběru tepla (vlastní křivka)

V návrhu může existovat více variant křivek odběru tepla, ale pouze jedna může být aktivní pro další kroky návrhu. Díky tomuto přístupu je možné porovnávat v jednom grafu více variant a provést závěrečný výběr nejvhodnějšího profilu. Aktivní křivka odběru je v grafu označena plnou čarou a ostatní alternativní křivky odběru jsou čárkovanou čarou.

Upravovat lze pouze aktivní vlastní křivku odběru. V případě, že chce uživatel vytvořit novou vlastní křivku na základě jiné křivky, tak musí nejprve aktivovat křivku, která bude předlohou, pomocí výběrového pole pod grafem. Poté musí kliknout na tlačítko „Vytvořit vlastní křivku odběru tepla“. Následně se vytvoří nová vlastní křivka, která má stejný průběh jako poslední aktivní křivka.

Pokud je některá vlastní křivka nadále nepotřebná, je možné ji smazat (výchozí křivku smazat nelze). K tomu je nejdříve zapotřebí, aby uživatel aktivoval danou křivku a poté pod tabulkou popisu křivky kliknul na tlačítko „Smazat aktivní křivku“.

Vlastní křivky je možné upravit buď přímo v grafu nebo v tabulce. Změny v grafu či tabulce jsou navzájem synchronizovány.

Úprava v grafu funguje na principu přetahování jednotlivých bodů křivky. Počáteční a koncový bod nelze přetahovat, protože křivka odběru musí vždy začínat v počátku souřadnicového systému pro danou periodu. A koncový bod musí mít vždy na konci periody hodnotu spotřebované energie 100 % (průběh spotřeby energie se vztahuje pouze k dané periodě).

Pro **přesunutí existujícího bodu** křivky je zapotřebí levým tlačítkem myši uchopit daný bod a posunout s ním na požadované místo. Pohyb bodu je krokový, tzn. že ve směru osy x je nejmenší možný posun velikosti 15 minut a ve směru osy y je velikost kroku 1 %. Menší krok nemá prakticky smysl, protože se jedná o **předpokládaný** průběh spotřeby teplé vody, který v reálném provozu bude závislý na mnoha dalších faktorech. Při návrhu je především klíčová znalost špičkových odběrů, tj. směrnice přímky.

Pro **přidání nového bodu** stačí kliknout levým tlačítkem myši v oblasti vykreslování na požadované místo, kde se nenachází jiný existující bod.

Pro **smazání bodu** je potřeba umístit kurzor myši na bod, který má být smazán a kliknout pravým tlačítkem myši.

Při posunu existujících bodů nebo při přidání nového bodu je možné si všimnout omezení pohybu s bodem. Tato omezení respektují pravidla návrhu křivky odběru a dodávky, kdy křivka může ve směru x-ové a y-ové osy pouze narůstat a dva sousední body křivky nemůžou být kolmo nad sebou (obr. 28).



Obr. 28 – Červený obdélník vymezuje prostor pro přesun bodu B mezi bodem A a C

Úprava v tabulce je zaměřená na změny popisu jednotlivých úseků křivky. Z předchozích odstavců je jasné, že na prvním řádku je pevně daná hodnota pro „čas od“ a na posledním řádku pro „čas do“.

Úpravy buněk s časem lze provádět přepsáním času ve formátu h:mm. V případě, že uživatel nedokončí úpravu času a přejde do jiné buňky, doplní se v rozpracované buňce poslední platná hodnota. Úpravou buňky ve sloupci „čas do“ dojde k synchronizaci buňky v následujícím řádku ve sloupci „čas od“ a naopak, důvodem je podmínka spojitosti křivky.

Úprava buňky s nárůstem v daném úseku ovlivňuje i hodnotu nárůstu v následujícím úseku. Je to proto, aby byl součet všech nárůstů roven jedné.

Pro **přidání nového úseku** je zapotřebí kliknout na zeleně orámované tlačítko „+“ vedle existujícího úseku. Přidání úseku způsobí rozdělení existujícího úseku (úsečky) v polovině. První polovina je upravený původní úsek a druhá polovina je nově přidáný úsek.

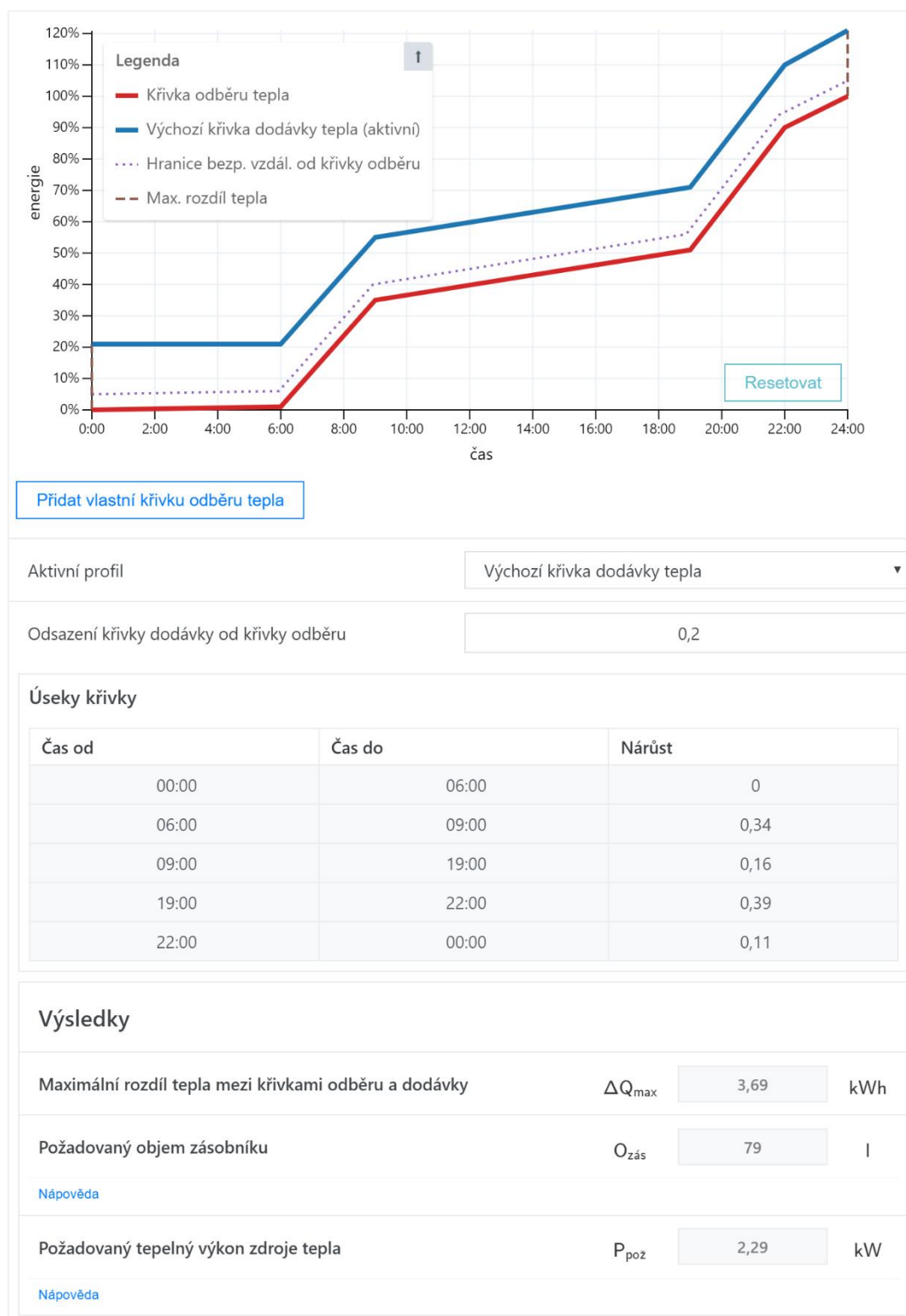
Pro **smazání úseku** je vedle tlačítka pro přidání červeně orámované tlačítko „-“, které smaže související úsek křivky. Přesněji smaže koncový bod úseku a počáteční bod se stane počátečním bodem následujícího úseku. Z tohoto důvodu toto tlačítko chybí u posledního úseku, protože nelze smazat poslední pevně daný bod křivky odběru.

5.5.2 Křivka dodávky (2. krok)

Jakmile je první krok vyplněn, může uživatel přejít na druhý krok kliknutím v dolní navigační liště na tlačítko „Další krok ...“. Druhý krok je opět dynamický formulář, ale tentokrát slouží pro návrh křivky dodávky tepla.

V první části je možné upravit poměrný součinitel ztrát. Ve výchozím stavu je použita hodnota z tab. 10. Pod poměrným součinitelem ztrát jsou vidět vypočtené hodnoty pro tepelné ztráty $Q_{TV,ztráty}$ [kWh/den] a celkovou potřebu tepla $Q_{TV,celk}$ [kWh/den]. Vzorce použité k výpočtu jsou zobrazeny u jednotlivých výstupních polí pod nápovědou.

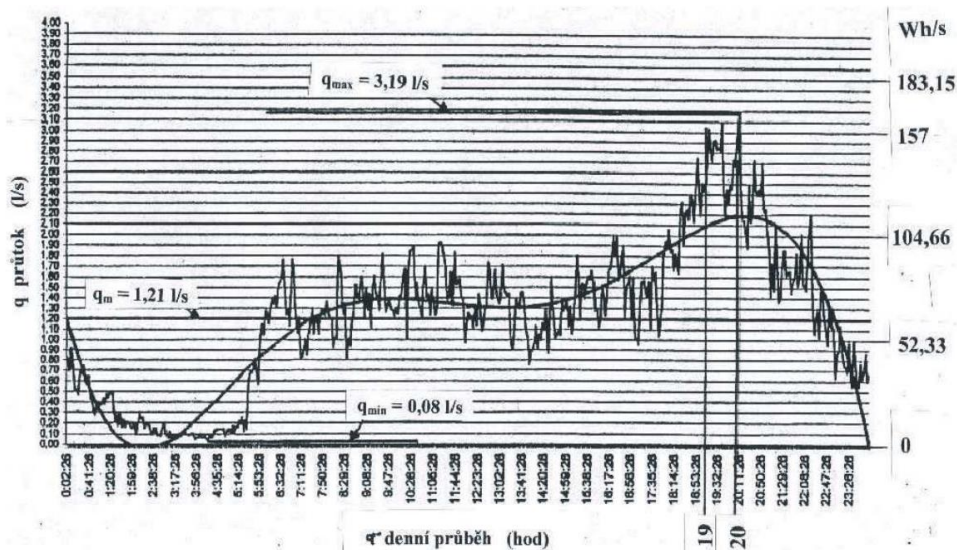
Za číselnými hodnotami následuje část pro návrh křivky dodávky tepla (obr. 29), která je ovládáním totožná s předchozím návrhem křivky odběru tepla. Pouze v závěrečné části formuláře se vyskytují hlavní vypočtené hodnoty (výsledky) návrhu.



Obr. 29 – Návrh křivky dodávky tepla a závěrečné výsledky

Křivka dodávky je ve výchozím stavu odvozena z křivky odběru. Odvození je provedeno odsazením od křivky odběru. Odsazení je vyhodnoceno ve směru osy x i y . Nicméně kvůli odlišným stupnicím je velikost odsazení ve směru osy x (čas) pevně stanovena na 15 minut a ve směru osy y (energie [%]) je ve výchozím stavu velikost odsazení 20 %

z celkově spotřebované energie. Odsazení křivky dodávky je provedeno z důvodu pokrytí krátkodobých neočekávaných špičkových odběrů. Na obr. 30 je graficky vyjádřen typický průběh odběru teplé vody měřený u bytového domu [L12].



Obr. 30 – Příklad vteřinového průběhu odběru TV u bytového domu za 24 hod [L12]

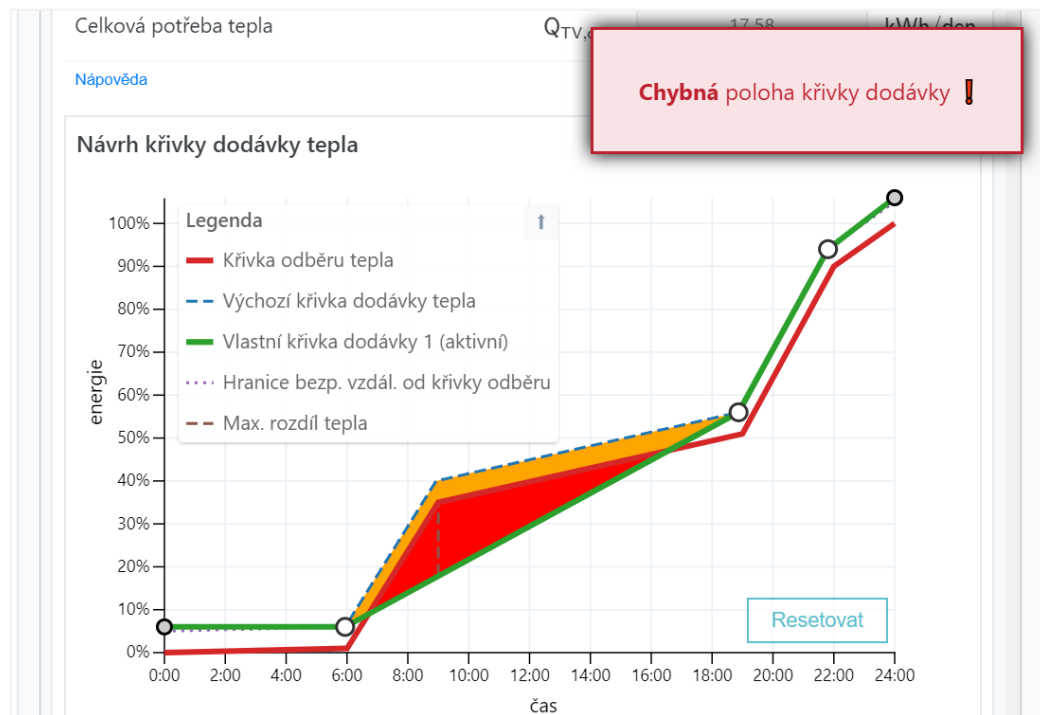
Z obrázku je patrné, že špičkový odběr probíhá v čase mezi 19:00 a 20:00, kdy byl indikován průměrný průtok 2,15 l/s. Maximum v daném časovém úseku bylo 3,19 l/s. Nicméně v tomto případě se jedná o špičkový průtok, kterého bylo dosaženo v krátkém časovém úseku, tzn. nejedná se o trvalý průtok trvající více jak několik minut.

V případě kumulativních křivek odběru je tak zřejmé, že pro pokrytí takovýchto časově krátkých špičkových odběrů je vhodné udržovat minimální odsazení od předpokládané křivky odběru ve prospěch požadovaného objemu zásobníku teplé vody. Ideálně v rozmezí od 10 % do 20 % (znamená odsazení ve směru osy y kumulativní křivky dodávky tepla od kumulativní křivky odběru tepla) [L7].

V aplikaci je možné hodnotu odsazení ve směru osy y změnit pod vykresleným grafem ve vstupním poli „Odsazení křivky dodávky od křivky odběru“. Minimální hodnota odsazení křivky je nastavena na 5 % a maximální hodnota na 25 %.

Na grafu je kromě křivek odběru a dodávky tepla také hranice bezpečné vzdálenosti křivky dodávky od křivky odběru. Při návrhu křivky dodávky by měl uživatel respektovat tuto minimální vzdálenost, aby předešel potenciálním nedostatkům teplé vody při krátkodobých špičkových odběrech. Dále tato hranice funguje jako další omezení při posunu bodu křivky dodávky. Bod totiž není možné přímo umístit pod hranici, nicméně změnou velikosti odsazení nebo protnutím úsečky může dojít k překročení této hranice.

V takovém případě se oblast ohraničená protínající křivkou a hranicí zvýrazní oranžovou barvou. V případě, že dojde i k protnutí křivky odběru, tak se tato oblast zvýrazní červeně a zobrazí se v pravém horním rohu aplikace plovoucí okno s oznámením chyby při návrhu (obr. 31), protože křivka dodávky nesmí být v žádném úseku pod křivkou odběru. Dokud uživatel křivku dodávky neopraví, nelze se přesunout na následující krok.



Obr. 31 – Chybné zadání křivky dodávky tepla

V tabulce lze obdobným způsobem jako v předchozím kroku upravit popis křivky.

Jakmile je uživatel hotov s návrhem křivky dodávky, může se posunout níže, kde uvidí výsledky návrhu (vztahuje se k aktivní křivce dodávky):

- maximální rozdíl tepla mezi křivkami odběru a dodávky ΔQ_{max} [kWh],
- požadovaný objem zásobníku $O_{zás}$ [l],
- požadovaný tepelný výkon zdroje tepla $P_{pož}$ [kW].

Maximální rozdíl tepla mezi křivkami odběru a dodávky je znázorněn v grafu hnědou čárkovanou čarou a představuje maximální energetický rozdíl mezi předpokládaným odběrem a naakumulovanou energií v zásobníku. Na základě této hodnoty je dále získán požadovaný objem zásobníku $O_{zás}$ [l] (6).

$$O_{zás} = \frac{\Delta Q_{max} \cdot 3600 \cdot 1000}{\rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})} \cdot 1000 \text{ [l]} \quad (6)$$

kde

ΔQ_{max} [kWh] max. rozdíl tepla mezi křivkami odběru a dodávky,
 ρ [kg/m³] hustota vody,
 c [J/(kg · K)] měrná tepelná kapacita vody,
 t_{TV} [°C] teplota ohřáté vody,
 t_{SV} [°C] teplota studené vody.

Jako poslední je uvedena vypočtená hodnota požadovaného tepelného výkonu zdroje tepla $P_{pož}$ [kW]. Tato hodnota byla získána podle vztahu:

$$P_{pož} = \left(\frac{\Delta Q_s}{\tau} \right)_{max} \quad (7)$$

kde

$\left(\frac{\Delta Q_s}{\tau} \right)_{max}$ [kW] maximální sklon křivky dodávky tepla v čase.

Pokud uživatel není spokojen s výsledky, může upravit předchozí zadané hodnoty a průběhy křivek. V případě, že upraví typ budovy s aktivní výchozí křivkou, nebo křivku odběru v předchozím kroku, tak bude 2. krok resetován.

5.5.3 Výstup (3. krok)

Poslední krok je statickým shrnutím předchozích vstupů a důležitých vypočtených hodnot. Pod textovou částí je grafické vyjádření křivky odběru a dodávky tepla. Křivka dodávky je v grafu popsána anotacemi u jednotlivých úseků. Anotace obsahuje procentuální nárůst a časovou délku úseku. Pokud některé anotace nevhodně překrývají důležité části grafu, tak je možné je levým tlačítkem myši přetáhnout na vhodnější místo. Pod grafem se vyskytuje tabulka s popisem křivky dodávky.

Pro uložení výstupu může uživatel použít ve webovém prohlížeči tisk do PDF souboru nebo přímo odeslat vygenerovaný dokument do tiskárny. Standardní klávesovou zkratkou k tisku je kombinace kláves Ctrl+P, pokud tato zkratka nefunguje, tak je zapotřebí vyhledat v prohlížeči menu s možností tisku.

5.6 Metoda DIN 4708

Řešení metody DIN 4708 je rozděleno na dvě části (obr. 32). První polovina obsahuje bloky popisující jednotlivé typy bytů v projektu. Druhá pak vypočtené hodnoty koeficientu potřeby N [-], podle kterého se řídí výběr zásobníku teplé vody.

Návrh zásobníku teplé vody Domů [Nápověda](#)

Metoda DIN 4708 Bloků s popisy bytů

Byt A Nástroje na úrovni celého bytu → Smazat byt Minimalizovat

Označení bytu	Byt A
Množství	1
Koeficient obsazenosti	3,5
Použít výchozí hodnotu? <input checked="" type="checkbox"/>	

Místnosti s odběrnými místy TV

Hlavní koupelna Množství 1
Hlavní koupelna s koupací vanou v bytové jednotce [Upravit místnost](#)

Kuchyně Množství 1
Místnost s kuchyňským dřezem [Upravit místnost](#)

[Přidat místnost s odběrnými místy TV](#)

Místnosti bez odběrných míst TV

Obývací místnost	Množství 1
Ložnice	Množství 2
Obytná předsíň	Množství 1
Zimní zahrada	Množství 1
Další obytná místnost	

Nastavení bytu

Byt B Smazat byt Rozbalit

Množství: 1x | Koeficient obsazenosti: 3,5
Místnosti: 1x hlavní koupelna, 1x kuchyně, 1x obývací místnost, 2x ložnice, 1x obytná předsíň, 1x zimní zahrada

Minimalizovaný byt

[Přidat byt](#)

Závěr Výsledek metody

Koeficient potřeby	N	2
--------------------	---	---

[Nápověda](#)

Obr. 32 – Rozhraní metody DIN 4708

Každý byt obsahuje nastavení pro označení bytu, které slouží pro zlepšení přehlednosti v seznamu bytů (toto pole nemá vliv na výpočet). Dále obsahuje vstupní pole pro zadání počtu bytů stejného typu a koeficient obsazenosti p , který určuje počet obyvatel bytu v řešeném projektu. Ve výchozím stavu je koeficient obsazenosti statisticky odvozen podle počtu obytných místností v bytě (viz teorie návrhu dle DIN 4708 v kapitole 4.3.2). V případě, že uživatel zná přesný počet obyvatel, může tuto hodnotu nahradit hodnotou vlastní.

Za obecným nastavením bytu následuje podrobnější formulář popisující místnosti s odběrnými místy a místnosti bez odběrných míst teplé vody. U každé místnosti je vstupní pole pro určení množství stejných místností v bytě.

Místnosti s odběrnými místy jsou ve výchozím stavu dvě: hlavní koupelna a kuchyně. Předpokládá se, že každý byt v základním nastavení obsahuje vždy alespoň jednu koupelnu a jednu kuchyň.

V případě více koupelen je v nastavení zavedena tzv. hlavní koupelna, která může být v bytě pouze jedna. Všechny ostatní jsou tzv. vedlejší. Důvodem je přístup ve výpočtu, kde u hlavní koupelny je pro odběrná místa použit z tab. 6 (kapitola 4.3.2) řádek „Koupelna“ a pro vedlejší koupelny řádek „Pokoj pro hosty“.

Uživatel může v této části **přidat novou místnost** kliknutím na zeleno-modré tlačítko (pod existujícími místnostmi s odběrnými místy) s názvem „Přidat místnost s odběrnými místy TV“. Po kliknutí se přidá nová místnost „Vedlejší koupelna“. Typ místnosti specifikuje povolená vybavení, na výběr jsou tři typy místností s odběrnými místy (tab. 12). Tuto hodnotu lze po kliknutí na „Upravit místnost“ (v pravém dolním rohu řádku s místností) nastavit ve vstupním poli „Typ místnosti“.

Typ místnosti	Povolená odběrná místa
Vedlejší koupelna	koupací vana, sprchová kabina, umyvadlo, bidet
Toaleta	umyvadlo, bidet
Kuchyně	kuchyňský dřez, umyvadlo

Tab. 12 – Typy doplňujících místností s odběrnými místy teplé vody

Po kliknutí na „Upravit místnost“ se zobrazí nastavení místnosti. V případě přidání nové místnosti je nastavení rozšířeno o výběr typu místnosti.

Dále se v tomto nastavení nachází tabulka odběrných míst, kdy každé odběrné místo je popsáno názvem, spotřebou energie (podle tab. 7 z kapitola 4.3.2) a počtem daných odběrných míst (obr. 33). Na konci každého řádku je tlačítko pro smazání odběrného místa.

Místnosti s odběrnými místy TV

Hlavní koupelna
Hlavní koupelna s koupací vanou v bytové jednotce Množství

[Ukončit úpravy místnosti](#)

Popis místnosti Hlavní koupelna s koupací vanou v bytové jednotce

Název vybavení	Energie [kWh]	Množství [ks]	
<input type="text" value="Koupací vana (1600 mm x 700 mm) (140 l)"/>	5.82	<input type="text" value="1"/>	<input type="button" value="Smazat"/>
<input type="text" value="Umyvadlo (17 l)"/>	0.7	<input type="text" value="1"/>	<input type="button" value="Smazat"/>

Obr. 33 – Nastavení místnosti (popis místnosti, odběrná místa)

Uživatel může **změnit odběrné místo** kliknutím do buňky ve sloupci „Popis místnosti“, následně se rozbalí seznam odběrných míst, která jsou v tab. 7 (kap. 4.3.2). U každé položky je na konci v závorce množství spotřebované teplé vody. Vybráním jiné položky se aktualizuje hodnota ve sloupci „Energie [kWh]“.

Pokud je potřeba **přidat nové vybavení**, může uživatel použít některou z předloh kliknutím na modře orámované tlačítko „Přidat vybavení“ v pravé části pod tabulkou. Jestliže je v projektu odběrné místo, které nevyhovuje žádné z předloh, pak může uživatel přidat vlastní zařízení kliknutím na zeleno-modře orámované tlačítko „Přidat vlastní vybavení“ umístěné hned vedle tlačítka „Přidat vybavení“. Vlastní vybavení ve sloupci „Popis místnosti“ obsahuje pouze textové vstupní pole, aby bylo možné vhodněji pojmenovat nové odběrné místo. Ve sloupci „Energie [kWh]“ pak uživatel zadá typickou spotřebu energie u nově přidaného vybavení. Zobrazení nastavení místnosti je opět možné minimalizovat kliknutím na „Ukončit úpravy místnosti“.

Aby bylo možné automaticky určit hodnotu koeficientu obsazenosti p , je zapotřebí vyplnit množství u jednotlivých obytných místností bez odběrných míst (obr. 34). V případě, že uživatel potřebuje specifikovat novou místnost, může použít poslední řádek, kde upraví název místnosti a množství.

Místnosti bez odběrných míst TV	
Obývací místnost	Množství <input type="text" value="1"/>
Ložnice	Množství <input type="text" value="2"/>
Obytná předsíň	Množství <input type="text" value="1"/>
Zimní zahrada	Množství <input type="text" value="1"/>
<input type="text" value="Další obytná místnost"/>	Množství <input type="text" value="0"/>

Obr. 34 – Obytné místnosti

Uživatel může přidat nový byt kliknutím na tlačítko „Přidat byt“ pod posledním bytem v seznamu. Proces úprav je u všech bytů stejný. Pokud je seznam bytů dlouhý, je možné minimalizovat jednotlivé typy bytů kliknutím na tlačítko „Minimalizovat“ v pravé horní části bytu (barevný pruh s názvem bytu). U minimalizovaného bytu je zobrazen jeho název, množství, koeficient obsazenosti a místnosti a jejich množství. Byt je možné rozbalit kliknutím na tlačítko „Rozbalit“, které nahradilo tlačítko „Minimalizovat“.

Pro smazání bytu existuje tlačítko „Smazat byt“ vedle tlačítka „Minimalizovat“, resp. „Rozbalit“.

Jakmile je návrh hotový, může se uživatel přesunout do části s výslednou hodnotou koeficientu potřeby N . V případě, že neprovedl u nového projektu žádnou úpravu, bude tato hodnota rovna jedné, protože inicializace nového projektu obsahuje pouze jeden „jednotkový byt“.

Hodnotu N pak za předepsaných podmínek (zobrazena hned pod výstupním polem) může použít pro výběr zásobníku teplé vody.

5.7 Metoda přednostního ohřevu teplé vody

Tato metoda předpokládá použití společného a již navrženého zdroje tepla jak pro ohřev teplé vody, tak i pro jinou technologii (např. vytápění). Pro lepší představu je hned v úvodu zobrazeno typické schéma zapojení zdroje tepla s přednostní přípravou teplé

vody (stejný obrázek jako obr. 19 v kapitole 4.3.3). Právě s ohledem na rozdílné požadavky výkonu zdroje tepla je metoda upravena pro dva možné postupy:

- uživatel zná tepelný výkon zdroje tepla a chce zjistit objem zásobníku teplé vody,
- uživatel zná objem zásobníku teplé vody a chce zjistit požadovaný tepelný výkon zdroje tepla.

Výběr postupu provede ve formulářové části pod výše zmíněným schématem zapojení (obr. 35).

Příklad zapojení zdroje tepla s přednostní přípravou TV

Značení: \check{C}_{os} - oběhové čerpadlo otopného systému, \check{C}_{TV} - nabíjecí čerpadlo zásobníku TV, EN - expanzní nádoba, K - kotel, PT - dálkové ovládání s čidlem vnitřní teploty, PV - pojistný ventil, 3PV - trojcestný přepínací ventil, V_{TV} - zásobník teplé vody, t_e - venkovní teplota, t_i - vnitřní teplota, t_k - teplota kotlové vody, t_{TV} - teplota vody v zásobníku teplé vody.

Chci tepelný výkon zdroje tepla			
Druh zásobníku TV	Vertikální zásobník		
Nápověda			
Objem zásobníku TV	V_{TV}	<input type="text" value="100"/>	l
Doba ohřevu TV při teplotním rozdílu pro dohřev	τ_a	<input type="text" value="10"/>	min
Spínací diference pro dohřev TV	X_p	<input type="text" value="5"/>	K
Tepelný výkon zdroje tepla	P	<input type="text" value="3"/>	kW
Nápověda			

Obr. 35 – Formulář metody přednostní přípravy teplé vody

Oba postupy vychází ze stejného vztahu (5), jenž byl uveden v kapitole 4.3.3.

V případě výpočtu požadovaného objemu zásobníku V_{TV} [l] jsou vyžadovány vstupní hodnoty:

- druh zásobníku (slouží jako jeden z parametrů určujících korekční faktor odběru y [-], více v tab. 8 v kapitole 4.3.3),
- tepelný výkon zdroje tepla P [kW],
- doba ohřevu τ_a [min],

- spínací difference X_p [K].

V druhé variantě, kdy je uživatelem **zjišťován tepelný výkon zdroje tepla P** , jsou zapotřebí tyto vstupní hodnoty:

- druh zásobníku (slouží jako jeden z parametrů určujících korekční faktor odběru y [-], více v tab. 8 v kapitole 4.3.3),
- objem zásobníku teplé vody V_{TV} [l],
- doba ohřevu τ_a [min],
- spínací difference X_p [K].

Vstupní pole pro dobu ohřevu a spínací diferenci jsou relativně hodně omezeny. Dobu ohřevu τ_a je možné nastavit od 1 do 20 minut, kdy delší doba ohřevu může snížit teplotní komfort dodávky tepla pro druhou technologii (např. vytápění). Minimální hodnota spínací difference X_p je 5 K a maximální 20 K.

6 Porovnání návrhů ohřevu teplé vody

V této kapitole bude navržený software aplikován na několik ukázkových příkladů přípravy teplé vody.

6.1 Rodinný dům: metoda křivek odběru a dodávky tepla

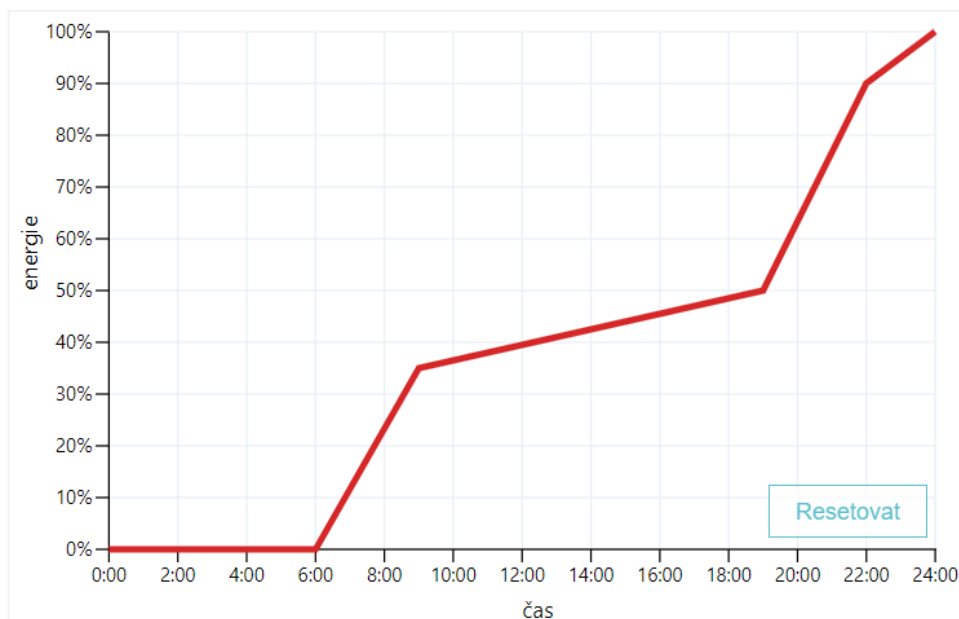
Rodinný cihlový dům bude obývat 6 osob, u nichž je průměrná spotřeba teplé vody $V_i = 40 \text{ l}/(\text{os} \cdot \text{den})$. Příprava teplé vody má být zajištěna elektrickým přímo ohřívaným zásobníkem.

Pro návrh zásobníku použijeme metodu křivek odběru a dodávky tepla. Řešíme rodinný dům s centrálním ohřevem TV. Teplota studené vody je $t_{SV} = 10 \text{ °C}$ a teplota teplé vody je $t_{TV} = 55 \text{ °C}$. Počet měrných jednotek (osob) je $n = 6$.

Denní teoretickou potřebu tepla $Q_{TV,teor}$ [kWh/den] získáme dosazením zadaných hodnot do vztahu (8):

$$Q_{TV,teor} = \frac{V_i \cdot n \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600 \cdot 1000} = \frac{0,04 \cdot 6 \cdot 1000 \cdot 4187 \cdot (55 - 10)}{3600 \cdot 1000} = 12,56 \text{ kWh/den} \quad (8)$$

Kvůli nízkému počtu osob způsobí odběr jednotlivých osob výraznější nárůst v profilu odběru. Proto je použita křivka odběru s přihlédnutím k odběru dle normy ČSN EN 15 316-3 (obr. 36).



Obr. 36 – Křivka odběru pro rodinný dům s 6 osobami

Pro určení tepelných ztrát se předpokládá poměrný ztrátový součinitel $z = 0,15$. Tepelné ztráty jsou pak získány z následující rovnice (9):

$$Q_{TV,ztráty} = z \cdot Q_{TV,teor} = 0,15 \cdot 12,56 = 1,88 \text{ kWh/den} \quad (9)$$

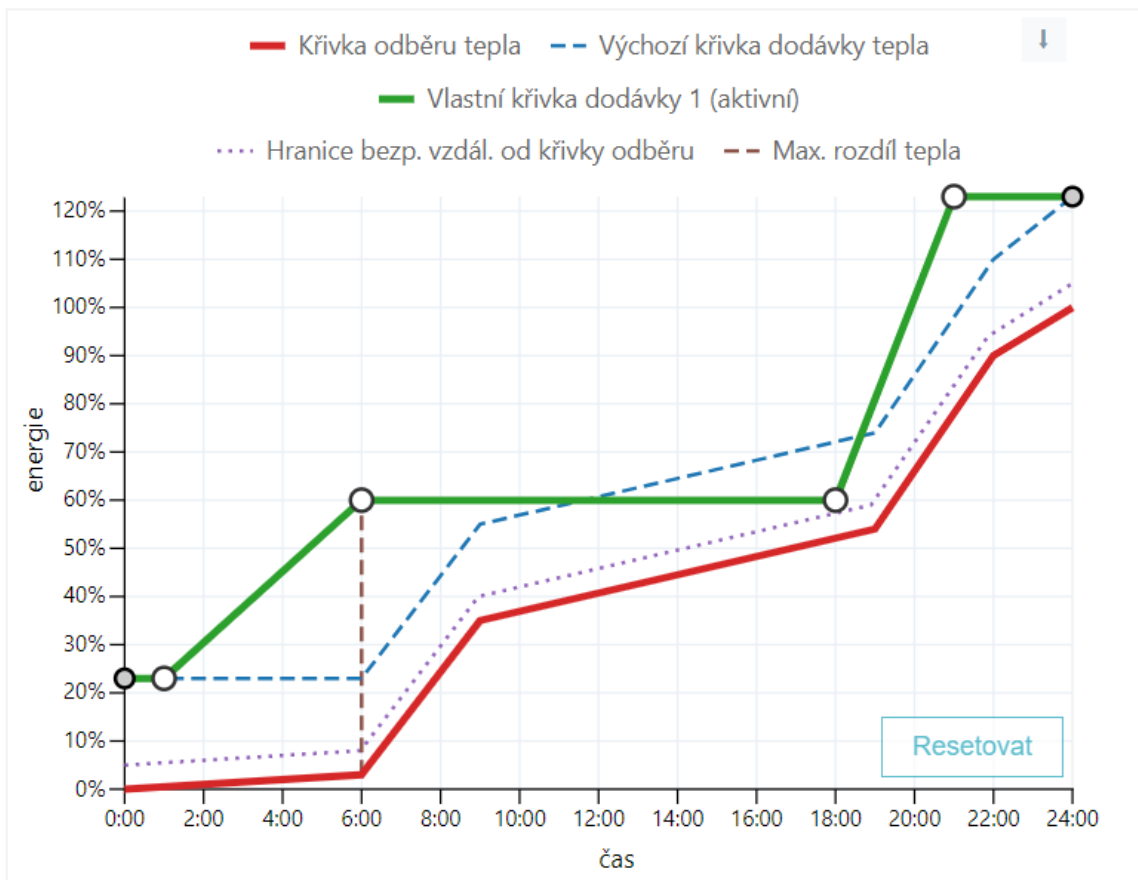
Celková spotřeba tepla pak bude součet teoretické spotřeby tepla s tepelnými ztrátami (10):

$$Q_{TV,celk} = Q_{TV,teor} + Q_{TV,ztráty} = 12,56 + 1,88 = 14,44 \text{ kWh/den} \quad (10)$$

Protože se jedná o elektrický ohřev, je použit cenově výhodnější tarif pro ohřev teplé vody D25d. Nízký tarif je garantován po dobu 8 hodin. Dodavatelé elektřiny pouze sami určí spínací časy nízkých tarifů a podle těchto časových intervalů se nastaví dohřev teplé vody v zásobníku. V tomto případě jsou časy s nízkým tarifem:

- od 1:00 do 6:00,
- od 18:00 do 21:00.

Podle tarifu je vytvořena křivka dodávky (obr. 37 a tab. 13).



Obr. 37 – Křivka dodávky podle rozložení sepnutí na nízký tarif

Čas od	Čas do	Nárůst
00:00	01:00	0
01:00	06:00	0,37
06:00	18:00	0
18:00	21:00	0,63
21:00	00:00	0

Tab. 13 – Popis úseků křivky dodávky tepla pro rodinný dům

Největší energetický rozdíl mezi křivkou dodávky a odběru ΔQ_{max} je v čase 6:00 a jeho hodnota je $\Delta Q_{max} = 8,23$ kWh.

Po dosazení do rovnice (1) z kapitoly 4.3.1 získáme požadovaný objem zásobníku teplé vody $O_{zás}$ [l]:

$$\begin{aligned}
 O_{zás} &= \frac{\Delta Q_{max}}{\rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})} \cdot 3600 \cdot 1000 \\
 &= \frac{8,23}{1000 \cdot 4187 \cdot (55 - 10)} \cdot 3600 \cdot 1000 = 1571
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

A porovnáním úseků s nenulovým nárůstem je získán úsek s maximálním sklonem přímky, na základě tohoto sklonu je získán požadovaný tepelný výkon zdroje tepla $P_{pož} = 3,03$ kW.

Dalším krokem je výběr elektrického přímo ohřívajícího zásobníku teplé vody, který by měl splňovat podmínky, kdy objem bude roven nebo větší než 157 l a tepelný výkon roven nebo vyšší než 3,03 kW.

6.2 Rodinný dům: přednostní příprava TV

Jedná se o totožný dům jako je v předchozím příkladu, pouze zdrojem tepla je 8 kW kotel navržený pro vytápění. Kvůli menšímu prostoru v technické místnosti, je vyžadován vertikálně umístěný nepřímo ohřívající zásobník teplé vody. Cílem návrhu je zjištění vhodného objemu zásobníku teplé vody, který dokáže využít daný zdroj tepla pro vytápění a zároveň splní podmínky i pro přípravu teplé vody (tj. pro 6 osob).

Protože je dům uvažován cihlový (středně těžká stavba), je možno uvažovat dobu ohřevu $\tau_a = 20$ minut. Spínací diference je zvolena $X_p = 15$ K. Jedná se o vertikálně umístěný objemový zásobník, a tudíž je korekční faktor odběru podle tab. 8 $y = 0,94$. Objem zásobníku získáme z následujícího vztahu:

$$V_{TV} = \frac{\tau_a \cdot 60 \cdot Q_k \cdot 1000}{\rho \cdot c \cdot X_p \cdot y} \cdot 1000 = \frac{20 \cdot 60 \cdot 8 \cdot 1000}{1000 \cdot 4187 \cdot 15 \cdot 0,94} \cdot 1000 = 163 \text{ l} \quad (12)$$

Následně je vybrán nepřímě ohříváný zásobník teplé vody, který ale musí splnit podmínku schopnosti přenést výměníkem maximální tepelný výkon Q_k zdroje tepla, tj. v tomto případě 8 kW.

6.3 Bytový dům: metoda DIN 4708

Bytový dům bude obsahovat 20 bytů, z nichž 5 bytů bude 4+1 (dále označován jako „byt A“), 7 bytů bude 3+1 („byt B“) a 8 bytů bude 2+1 („byt C“). Popis místností s odběrnými místy je v tab. 14. Počet obyvatel v jednotlivých typech bytů není přesně znám.

Byt	Místnost	Odběrná místa TV
Byt A (4+1)	Koupelna	Vana (160 l), sprchová kabina (90 l), 2x umyvadlo, bidet
	Kuchyně	Kuchyňský dřez
Byt B (3+1)	Koupelna	Vana (140 l), sprchová kabina (40 l), umyvadlo, bidet
	Kuchyně	Kuchyňský dřez
Byt C (2+1)	Koupelna	Sprchová kabina (90 l), umyvadlo, bidet
	Kuchyně	Kuchyňský dřez

Tab. 14 – Popis místností s odběrnými místy u jednotlivých typů bytu

Podle počtu a typu zařizovacích předmětů je potřeba tepla odběrných míst:

- byt A: $\sum Q_i = 6,51 + 3,66 = 10,17 \text{ kWh}$,
- byt B: $\sum Q_i = 5,82 + 1,63 = 7,45 \text{ kWh}$,
- byt C: $\sum Q_i = 3,66 \text{ kWh}$.

Koeficient obsazenosti p je statisticky získán podle počtu obytných místností:

- byt A: 4 obytné místnosti $\Rightarrow p = 3,5$,
- byt B: 3 obytné místnosti $\Rightarrow p = 2,7$,
- byt C: 2 obytné místnosti $\Rightarrow p = 2$.

Po určení potřeby tepla $\sum Q_i$ a koeficientu obsazenosti p u všech bytů je koeficient potřeby N :

$$N = \frac{\sum(n \cdot p \cdot \sum Q_i)}{Q_N} = \frac{5 \cdot 3,5 \cdot 10,17 + 7 \cdot 2,7 \cdot 7,45 + 8 \cdot 2 \cdot 3,66}{20,37} = 18,52 \quad (13)$$

Na základě vypočtené hodnoty N je vyhledán vhodný zásobník teplé vody nebo jejich kombinace. Přičemž navržený set musí splňovat podmínku, že výrobcem udávaný koeficient potřeby N_L je větší nebo roven vypočtenému N :

$$N_L \geq N \quad (14)$$

Další podmínky jsou uvedeny v kapitole 4.3.2.

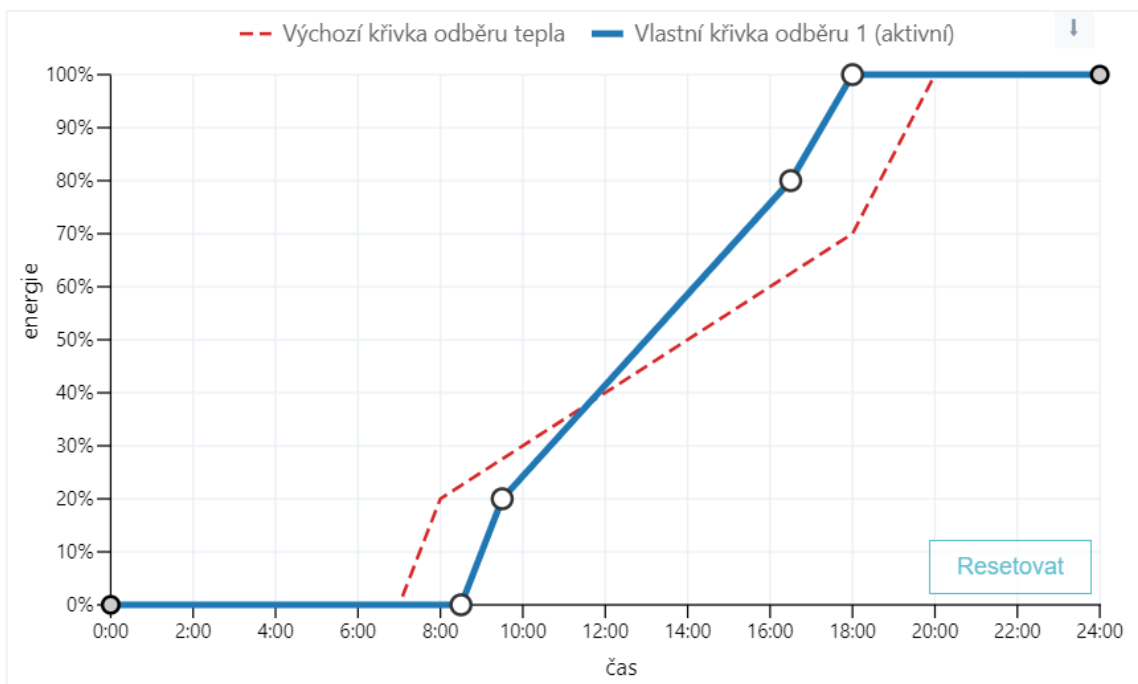
6.4 Administrativní budova: metoda křivek odběru a dodávky tepla

Budova s kanceláři bude obsahovat toalety s umyvadly. V budově při plném provozu bude pracovat 120 zaměstnanců. Platí standardní osmihodinová pracovní doba od 9:00 do 17:00.

Teplota studené vody je $t_{SV} = 10 \text{ °C}$ a teplota ohřáté je $t_{TV} = 55 \text{ °C}$.

Předpokládaný odběr teplé vody na jedno umyvadlo je cca $V_i = 5 \text{ l}$.

Toalety zaměstnanci využívají v průběhu celé pracovní doby. Přibližný průběh profilu odběru je na obr. 38 a v tab. 15.



Obr. 38 – Profil odběru tepla u administrativní budovy

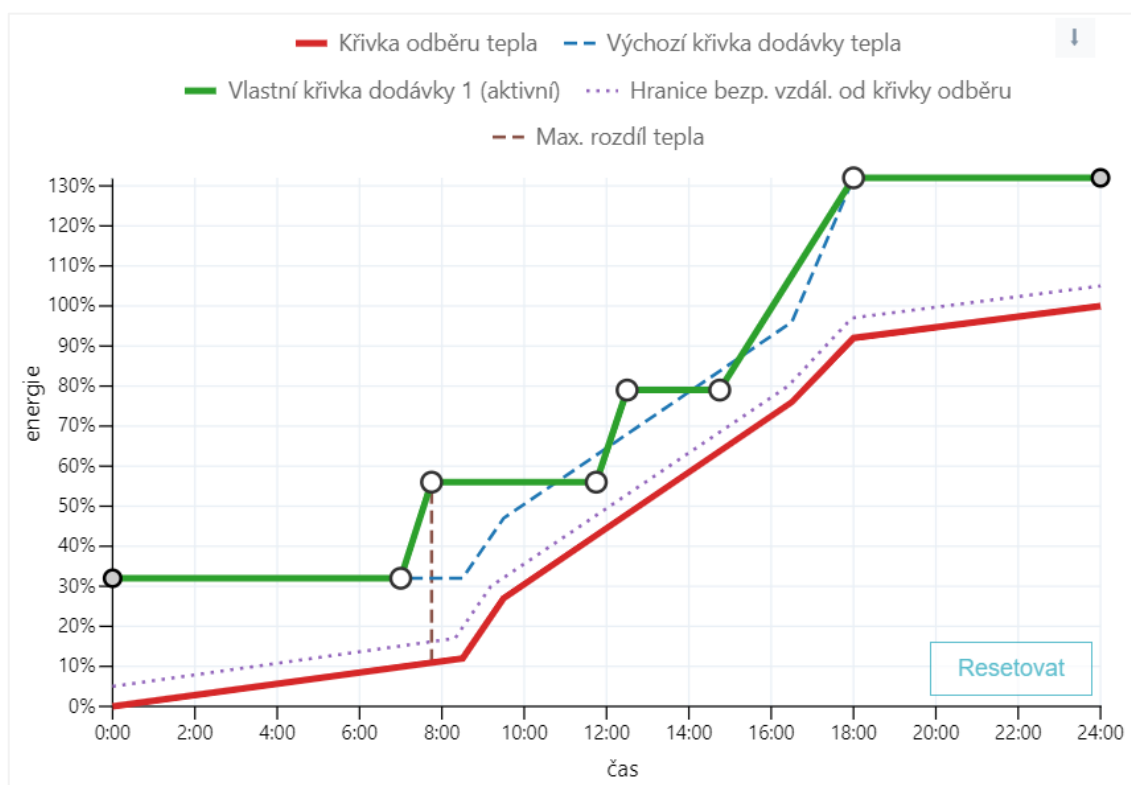
Čas od	Čas do	Nárůst
00:00	08:30	0
08:30	09:30	0,2
09:30	16:30	0,6
16:30	18:00	0,2
18:00	00:00	0

Tab. 15 – Popis úseků křivky odběru tepla (beze ztrát) u administrativní budovy

Teoretická potřeba tepla je získána stejně jako v příkladu v kapitole 6.1 a jeho výsledná hodnota je $Q_{TV,teor} = 31,4$ kWh/den.

Poměrný součinitel ztrát je uvažován $z = 0,5$. Tepelné ztráty jsou $Q_{TV,ztráty} = 15,7$ kWh/den a celková potřeba tepla je $Q_{TV,celk} = 47,1$ kWh/den.

Návrh křivky dodávky je na obr. 39 a v tab. 16.



Obr. 39 – Křivky dodávky a odběru tepla

Čas od	Čas do	Nárůst
00:00	07:00	0
07:00	07:45	0,24
07:45	11:45	0
11:45	12:30	0,23
12:30	14:45	0
14:45	18:00	0,53
18:00	00:00	0

Tab. 16 – Popis úseků křivky dodávky tepla

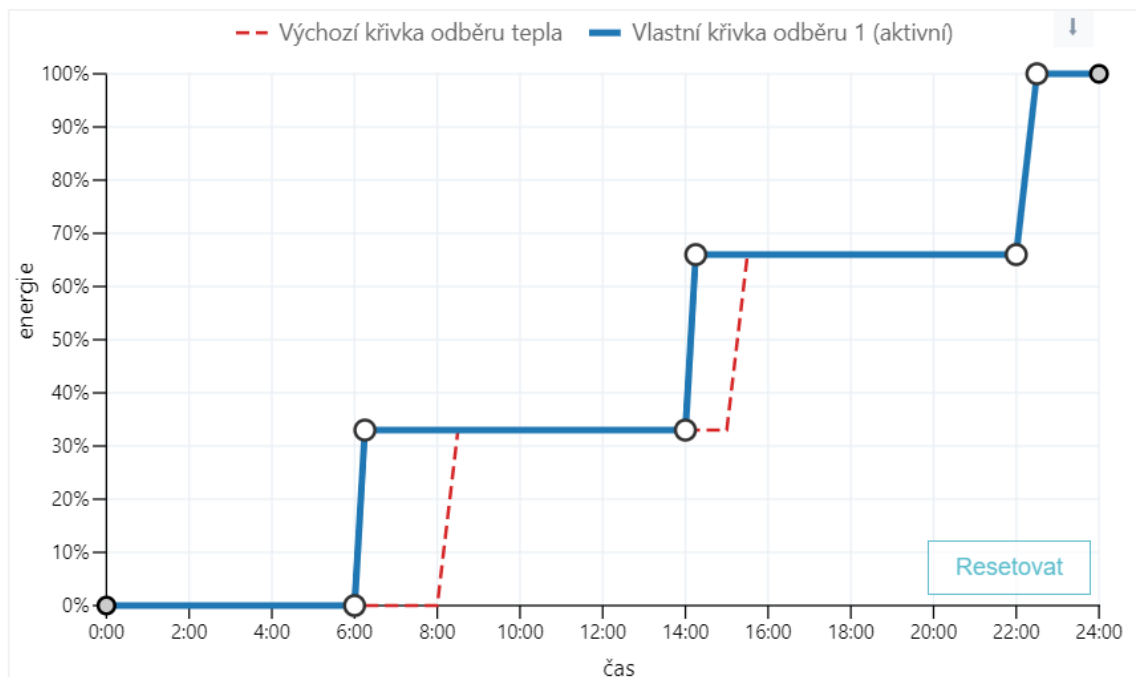
Na základě křivek dodávky a odběru tepla jsou získány hodnoty:

- maximální rozdíl tepla $\Delta Q_{max} = 21,2$ kWh,
- požadovaný objem zásobník $O_{zás} = 405$ l,
- požadovaný tepelný výkon zdroje tepla $P_{pož} = 15$ kW.

6.5 Průmyslový závod: metoda křivek odběru a dodávky tepla

V průmyslovém závodě pracuje ve třisměnném provozu 120 zaměstnanců. Směny se střídají v 6:00, 14:00 a 22:00. Jedná se o prašné prostředí, proto po každé směně zaměstnanci použijí sprchové kabiny k opláchnutí nečistot. Koupelny jsou vybaveny 40 sprchovými kabinami se směšovací baterií a úspornou sprchou (40 l). Teplota studené vody je 10 °C a teplota teplé vody je 55 °C. Poměrný ztrátový součinitel bude uvažován $z = 0,2$.

Jelikož se jedná o třisměnný provoz s nárazovým odběrem teplé vody, je potřeba vytvořit vlastní křivku odběru (obr. 40 a tab. 17) respektující časy směn.

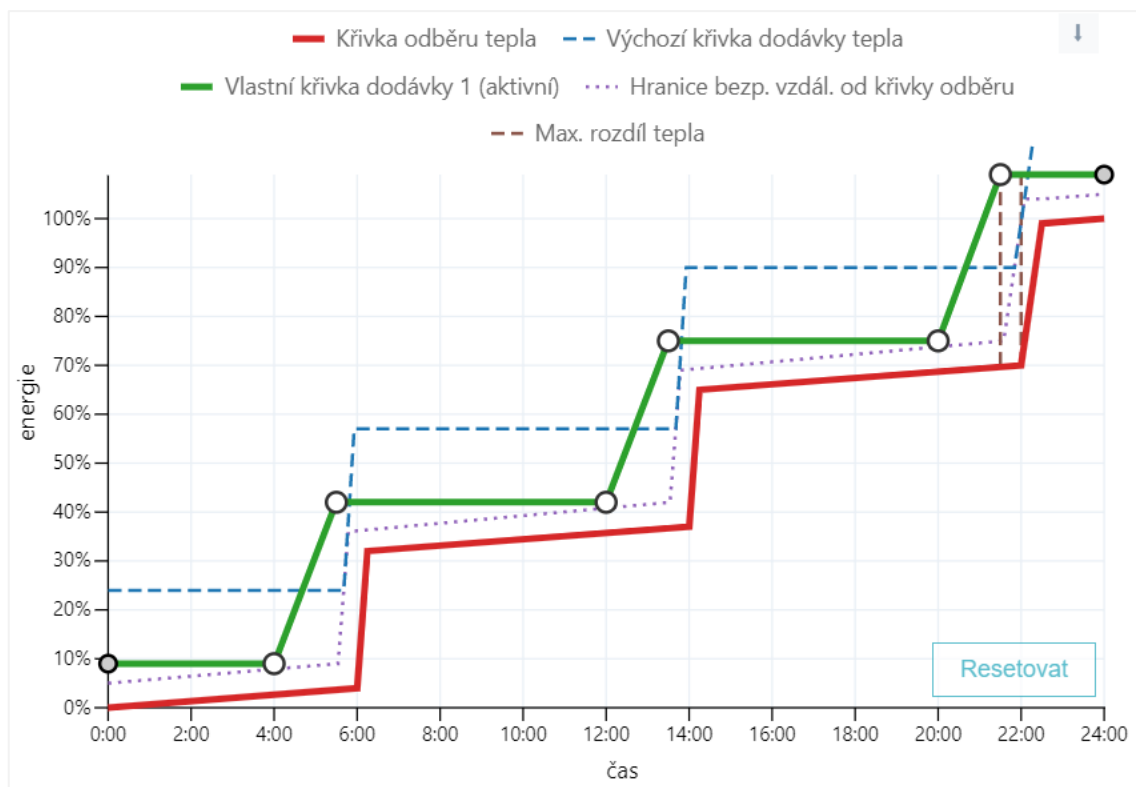


Obr. 40 – Křivka odběru pro třisměnný provoz v průmyslovém závodě

Čas od	Čas do	Nárůst
00:00	06:00	0
06:00	06:15	0,33
06:15	14:00	0
14:00	14:15	0,33
14:15	22:00	0
22:00	22:30	0,34
22:30	00:00	0

Tab. 17 – Popis úseků křivky dodávky pro třisměnný provoz v průmyslovém závodě

Protože špičkové odběry budou probíhat v pravidelných intervalech a nedojde k větším výkyvům v odběru tepla (naráz bude použito všech 40 sprch), je možné snížit odsazení křivky dodávky od křivky odběru na minimum, tedy 5 %. Průběh křivek dodávky a odběru je na obr. 41 a popis úseku je v tab. 18.



Obr. 41 – Křivka dodávky pro třísměnný provoz v průmyslovém závodě

Čas od	Čas do	Nárůst
00:00	04:00	0
04:00	05:30	0,33
05:30	12:00	0
12:00	13:30	0,33
13:30	20:00	0
20:00	21:30	0,34
21:30	00:00	0

Tab. 18 – Popis úseků křivky dodávky pro třísměnný provoz v průmyslovém závodě

Dohřev teplé vody v zásobníku je vždy spuštěn dvě hodiny před špičkovým odběrem a trvá hodinu a půl.

Výstupní hodnoty pro daný profil dodávky tepla jsou:

- maximální rozdíl tepla $\Delta Q_{max} = 39,8$ kWh,
- požadovaný objem zásobník $O_{zás} = 749$ l,
- požadovaný tepelný výkon zdroje tepla $P_{pož} = 22,77$ kW.

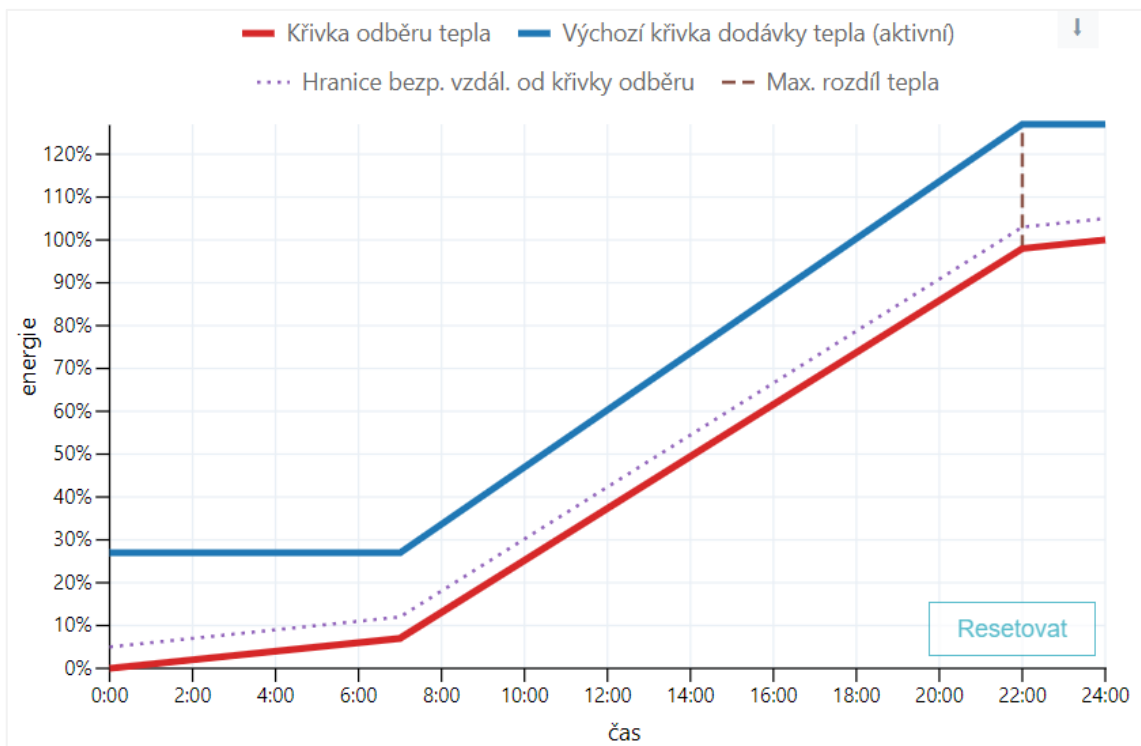
6.6 Sportovní hala: metoda křivek odběru a dodávky tepla

Nová sportovní hala bude otevřena od 6:00 do 22:00 a platí zde pronájmy na hodinu. V jednu chvíli může v hale sportovat maximálně 20 sportovců. Sprchových kabin je 20. Teplota studené vody je 10 °C a teplota ohřáté vody je 55 °C. Poměrný součinitel ztrát bude přibližně $z = 0,3$.

Množství odebrané teplé vody na jednu instalovanou sprchu je

$$V_i = 50 \text{ l}/(\text{instalovaná sprcha} \cdot \text{den}).$$

Vzhledem k pravidelnému odběru teplé vody se dá křivka odběru zjednodušit přímkou (tab. 19). Křivka dodávky (tab. 20) pak musí být dostatečně odsazena, aby pokryla případné špičkové odběry, resp. nepravidelnost využívání sprch (obr. 42).



Obr. 42 – Průběh křivek odběru a dodávky tepla pro sportovní halu

Čas od	Čas do	Nárůst
00:00	07:00	0
07:00	22:00	1
22:00	00:00	0

Tab. 19 – Popis úseků křivky odběru tepla (beze ztrát) pro sportovní halu

Čas od	Čas do	Nárůst
00:00	07:00	0
07:00	22:00	1
22:00	00:00	0

Tab. 20 – Popis úseků křivky dodávky tepla pro sportovní halu

Výstupní hodnoty pro určení zásobníku teplé vody a zdroje tepla jsou:

- maximální rozdíl tepla $\Delta Q_{max} = 19,73$ kWh,
- požadovaný objem zásobník $O_{zás} = 377$ l,
- požadovaný tepelný výkon zdroje tepla $P_{pož} = 4,54$ kW.

7 Rozšíření: databáze produktů

Aktuální verze aplikace v metodě křivek odběru a dodávky tepla umožňuje provázání např. s databází výrobků, odkud lze, na základě výsledků výpočtu, přímo vybírat konkrétní produkty. Tato varianta byla testována ve spolupráci se společností Quantum a.s. a jedná se o verzi dostupnou na webových stránkách www.quantumas.cz v sekci „Extranet“ (vyžadována registrace uživatele).

Společnost Quantum a. s. nabízí ve svém sortimentu zásobníky teplé vody, zásobníkové plynové ohřívače vody a plynové průtokové ohřívače vody.

Poskytnutá data obsahují produkty se základními technickými údaji:

- označení produktu,
- typ ohřevu,
- tepelný výkon,
- objem zásobníku,
- trvalý objemový průtok dosažitelný ohřívačem (výměníkem) při ohřevu vody z 10 °C na 45 °C,
- URL adresu s detaily produktu.

S touto databází pracuje rozšířená verze metody křivek odběru a dodávky tepla, která obsahuje původní 3 kroky návrhu rozšířené o čtvrtý krok „Produkt“ (obr. 43).

Zadání projektu
Křivka dodávky
Výstup
Produkt

(krok: 4/4)

Q7-50-NODS/E
Vybraný produkt

Přímý ohřev	
Výkon ohřivače:	5 kW
Objem zásobníku:	195 l
Předpokládaný maximální objemový průtok TV bez akumulace:	155 l/h

Kontrola podmínek

	O [l]	V [l/h]	P [kW]
Vypočtené hodnoty	188	84	3.42
Hodnoty produktu	195	155	5
Vyhovuje?	ANO	ANO	ANO

Přejít na webové stránky produktu

Vytisknout data z návrhu

Otevřít technický list (PDF)

Další produkty společnosti Quantum a.s.:
Seznam produktů

Aktivní	Jméno	Typ ohřevu	O [l]	P [kW]	V [l/h]
	<input type="text"/>	vše ▾	od: 170 do: 240	od: 3 do:	od: 84 do:
<input type="radio"/>	Q7-50-NBRS	Přímý	181 ✗	10 ✓	302 ✓
<input type="radio"/>	Q7-50-NRRS	Přímý	181 ✗	14 ✓	430 ✓
<input type="radio"/>	Q7P-50-155 nerez	Přímý	189 ✓	45 ✓	1500 ✓
<input type="radio"/>	Q7-50-VENT-B/E	Přímý	195 ✓	9 ✓	451 ✓
<input type="radio"/>	Q7-50-NBRT/E	Přímý	195 ✓	9 ✓	293 ✓
<input checked="" type="radio"/>	Q7-50-NODS/E	Přímý	195 ✓	5 ✓	155 ✓
<input type="radio"/>	Q7-200-ZJV	Nepřímý	200 ✓	40 ✓	980 ✓
<input type="radio"/>	Q7-200-ZDV	Nepřímý	200 ✓	40 ✓	980 ✓
<input type="radio"/>	IR-12-200	Přímý	200 ✓	12 ✓	370 ✓
<input type="radio"/>	IR-20-200	Přímý	200 ✓	19 ✓	590 ✓
<input type="radio"/>	Q7-220-VENT-C...	Přímý	200 ✓	24 ✓	817 ✓
<input type="radio"/>	Q7C-60-120	Přímý	217 ✓	31 ✓	960 ✓
<input type="radio"/>	Q7-220-34 ZP	Přímý	220 ✓	30 ✓	1043 ✓

Předchozí
Stránka 1 z 1
20 řádků ▾
Další

Obr. 43 – Produkt – čtvrtý krok návrhu v metodě křivek odběru a dodávky tepla

Ve čtvrtém kroku se na základě výpočtů navrhne vyhovující produkt výrobce. Počáteční výchozí volbu je možné změnit výběrem alternativního zásobníkového ohřívače ze seznamu produktů (obr. 44), který lze zobrazit kliknutím na oranžové tlačítko „Vybrat jiný produkt“ vpravo pod aktivním zásobníkem. Výběr alternativního produktu ze seznamu je možné provést kliknutím na přepínač u požadovaného zásobníku v prvním sloupci. Kliknutím na název produktu se otevře internetový odkaz na stránku výrobce s technickým popisem.

Aktivní produkt obsahuje pod svým krátkým popisem kontrolní tabulku ověřující požadavky na:

- objem zásobníku,
- předpokládaný maximální objemový průtok teplé vody při trvalém odběru,
- tepelný výkon ohřívače.

Pokud technické parametry vybraného produktu vyhovují, je v tabulce v posledním řádku vše zvýrazněno zeleně. V opačném případě jsou nevyhovující parametry zvýrazněny červeně.

V seznamu produktů je kontrola podmínek ověřena též a její hodnocení je zobrazeno u každého parametru zvlášť jako symbol zelené „zaškrtnutí“ v případě úspěšné kontroly nebo symbol červeného křížku v případě neúspěšné kontroly (obr. 44).

Další produkty společnosti Quantum a.s. Filtry

Aktivní	Jméno	Typ ohřevu	O [l]	P [kW]	V [l/h]
		vše	od: do: 81	od: 2 do:	od: 44 do:
<input type="radio"/>	Q7-13-KMZ/E	Přímý	47	3	103
<input type="radio"/>	Q7-13-KMZ	Přímý	50	4	119
<input checked="" type="radio"/>	Q7-20-NORS	Přímý	72	6	173
<input type="radio"/>	Q7-20-NODZ/E	Přímý	75	3	100
<input type="radio"/>	Q7-20-KMZ/E	Přímý	75	4	151

Přepínač aktivního produktu **Kontrola podmínek**

Obr. 44 – Seznam produktů

Pro kontrolu platí jednoduchá pravidla, kdy objem produktu $O_{produkt}$ [l] musí být větší nebo roven požadovanému objemu $O_{pož}$ [l]:

$$O_{produkt} \geq O_{pož} \quad (15)$$

Dalším parametrem výběru je tepelný výkon zdroje tepla produktu $P_{produkt}$ [kW], který musí být větší nebo roven požadovanému tepelnému výkonu $P_{pož}$ [kW]:

$$P_{produkt} \geq P_{pož} \quad (16)$$

A v neposlední řadě je zapotřebí splnit požadovaný maximální trvalý průtok teplé vody o teplotě 45 °C:

$$V_{produkt} \geq V_{pož} \quad (17)$$

kde

$V_{produkt}$ [l/h]..... u produktu výrobcem garantovaný trvalý průtok teplé vody o teplotě 45 °C,

$V_{pož}$ [l/h]..... požadovaný maximální průtok teplé vody o teplotě 45 °C.

Hodnota $V_{pož}$ [l/h] je získána ze vztahu (18):

$$V_{pož} = \frac{P_{pož} \cdot 1000}{\rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})} \cdot 1000 \cdot 3600 \text{ [l/h]} \quad (18)$$

kde

ρ [kg/m³] hustota vody ($\rho = 1000$ kg/m³),

c [J/(kg · K)] měrná tepelná kapacita vody ($c = 4187$ J/(kg · K)),

$P_{pož}$ [kW] požadovaný tepelný výkon zdroje tepla,

t_{TV} [°C] teplota teplé vody ($t_{TV} = 45$ °C),

t_{SV} [°C] teplota studené vody ($t_{SV} = 10$ °C).

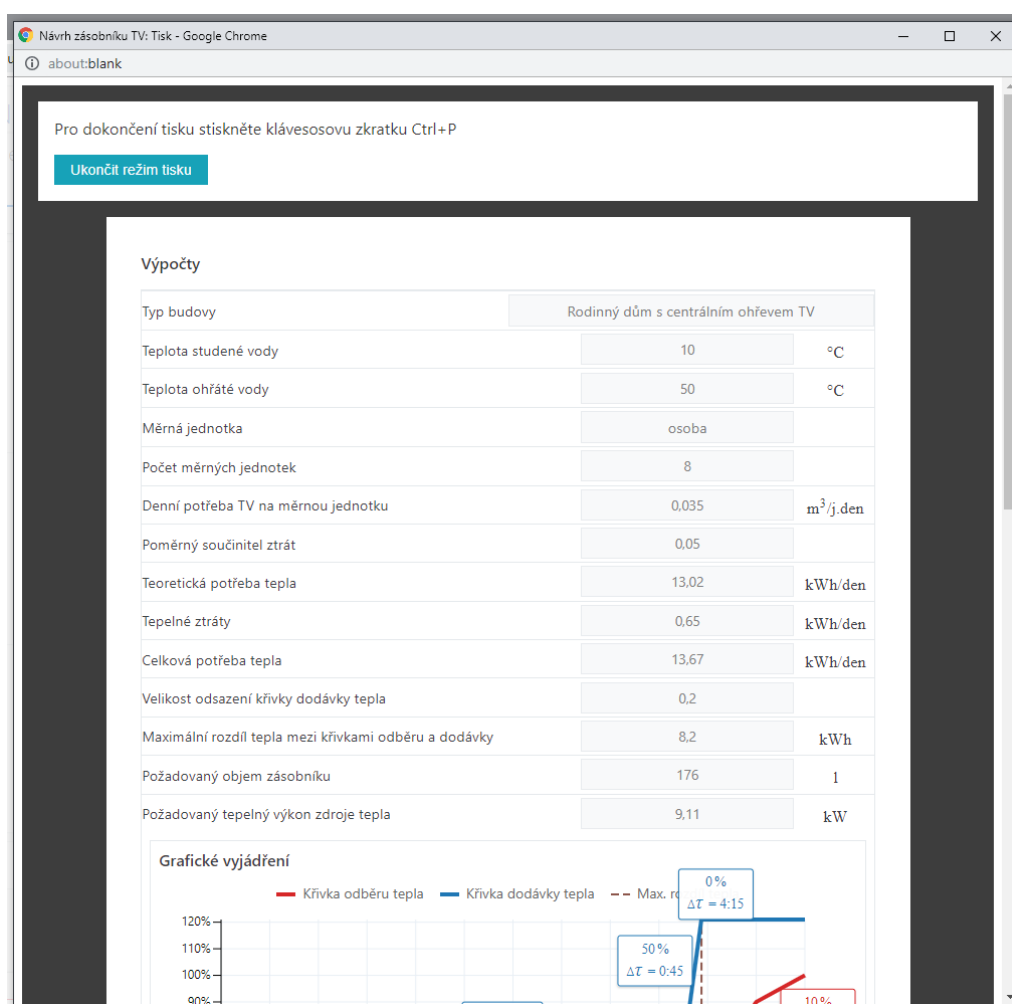
Co se týče velikosti objemu zásobníku, tak v případě $O_{pož} \geq 1000$ l není vybrán žádný produkt. U takových projektů nelze předpokládat použití jednoho zásobníku teplé vody.

Pokud vychází nízká hodnota požadovaného objemu zásobníku $O_{pož}$ a objem vyhovujícího produktu $O_{produkt}$ je o více jak 30 % větší než $O_{pož}$, pak se nevybere žádný produkt. V takovém případě je uživatel nucen manuálně ze seznamu vybrat vyhovující produkt. Nicméně v seznamu produktů nemusí vidět žádné položky. Je to způsobené aplikovanými filtry v horní části seznamu pod jmény sloupců. Tyto filtry redukuje seznam na základě výše zmíněných podmínek. A zde může hrát roli filtr nastavující maximální

objem zásobníku. Jakmile uživatel tento filtr zvýší nebo úplně smaže, tak se můžou zobrazit i zásobníky s větším objemem, ze kterých lze následně vybírat.

Pokud je aktuální řešení nevhodné pro výběr produktu (např. kvůli vysoké hodnotě některé z vypočtených veličin), může se uživatel vrátit do předchozích kroků a optimalizovat existující návrh tak, aby došel k ekonomicky výhodnějšímu produktu.

Kliknutím na tlačítko „Vytisknout data z návrhu“ pod kontrolní tabulkou aktivního produktu se otevře nové okno s náhledem dokumentu (obr. 45).



Obr. 45 – Náhled dokumentu před tiskem

Pokud je anotace v grafu nevhodně umístěna, je možné ji přetáhnout levým tlačítkem myši na vhodnější místo.

Jakmile je s náhledem dokumentu uživatel spokojen, může použít klávesovou zkratku Ctrl+P, která otevře dialogové okno pro tisk a provést tisk nebo v případě internetové prohlížeče Google Chrome může uživatel použít i „tisk do PDF“, kdy se dokument uloží jako soubor PDF.

8 Závěr

Na příkladech bylo ukázáno, že aplikace dokáže výrazně usnadnit návrh zásobníku teplé vody a požadovaného výkonu zdroje tepla. Obzvláště u metody křivek odběru a dodávky tepla, kde uživatel může využít úprav přímo v grafické podobě, je možné lépe optimalizovat řešený návrh.

V budoucnu je možné doladit mnoho technických detailů a provést úpravy, které by ještě více zpříjemnily používání. Příkladem může být podpora ukládání/načítání projektů, kdy by si, i mimo jiné, mohl uživatel vytvořit vlastní šablonu a podle té začít nový projekt. Nebo pojištění (zachování) dat při nechtěném zavření okna s aplikací (po znovuootevření okna webového prohlížeče by se zobrazilo tlačítko pro načtení poslední seance).

Výhodou navržené aplikace je její možné propojení s databází konkrétních produktů a uživatel pak může mít možnost vybírat vhodné výrobky pro svůj projekt. O tuto možnost již projevila zájem společnost Quantum a.s.

Je ale stále potřeba mít na paměti, že cílem aplikace je poskytnout pomoc při zadávání okrajových podmínek výpočtů, grafických průběhů předpokládaných odběrů profilu a dodávky tepla v návaznosti na vypočtené hodnoty pro použití u reálných výrobků. Cílem aplikace není nahradit uživatelskou práci ve smyslu hydraulického zapojení systému přípravy teplé vody, požadavků regulace, cirkulace teplé vody apod.

9 Seznam použité literatury

- [L1] Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.
- [L2] Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví.
- [L3] ČSN EN 806-2. *Vnitřní vodovod pro rozvod vody určené k lidské spotřebě - Část 2: Navrhování*. Praha: ČNI, 2005.
- [L4] ČSN 06 0320. *Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody - Navrhování a projektování*. Praha: ČNI, 2006.
- [L5] ČSN EN 15 316-3-1. *Tepelné soustavy v budovách - Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy - Část 3-1: Soustavy teplé vody, charakteristiky potřeb (požadavky na odběr vody)*. Praha: ČNI, 2010. (zrušena, nahrazena normou ČSN EN 12831-3).
- [L6] ČSN EN 12831-3. *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu - Část 3: Tepelný výkon pro soustavy přípravy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [L7] VAVŘIČKA, R. *Příprava teplé vody*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2017. 151 s. ISBN 978-80-02-02713-3.
- [L8] ČERMANOVÁ, Zuzana. *Spotřeba teplej vody a energetická bilancia jej přípravy v bytových domech*. 1. Bratislava: STU, Vazovova 5, 2015. ISBN 978-80-227-4624-3.
- [L9] BRADÁČOVÁ, Anna. Legislativní požadavky v oblasti přípravy teplé vody. *TZB-info* [online]. Praha [cit. 2018-12-28]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/14837-legislativni-pozadavky-v-oblasti-pripravy-teple-vody>.
- [L10] MAZUR, Matěj. *Zátěžový profil ohřivačů teplé vody*. Praha, Technická 4, 2016. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.

- [L11] VAVŘIČKA, R. *Příprava teplé vody* [online] [cit. 10. 12. 2018]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Kurz%20Vytapeni/Priprava%20teple%20vody.pdf>
- [L12] JELÍNEK, Vladimír. Příprava teplé užitkové vody - zásady návrhu. In: *TZB-info* [online]. Praha, c2010-2019, 16.5.2003 [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/1485-priprava-teple-uzitkove-vody-zasady-navrhu>
- [L13] *Node.js* [online]. Node.js Foundation, c2009-2018 [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <https://nodejs.org>
- [L14] *GitLab* [online]. GitLab, c2011-2015 [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <https://gitlab.com>
- [L15] *React.js* [online]. Facebook Inc, c2018 [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <https://reactjs.org/>
- [L16] *d3.js* [online]. Mike Bostock, c2017 [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <https://d3js.org/>
- [L17] *Jest* [online]. Facebook Inc, c2019 [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <https://jestjs.io/>
- [L18] *react-testing-library* [online]. Kent C. Dodds [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <https://github.com/kentcdodds/react-testing-library>
- [L19] KOUTIFARIS, Andrea. Test Driven Development: what it is, and what it is not. In: *Medium* [online]. San Francisco: A Medium Corporation, 2018, 3. 6. 2018 [cit. 2019-01-01]. Dostupné z: <https://medium.freecodecamp.org/test-driven-development-what-it-is-and-what-it-is-not-41fa6bca02a2>

10 Seznam obrázků

Obr. 1 – Místní ohřev [L7].....	13
Obr. 2 – Centrální (skupinové) ohřívání [L7].....	14
Obr. 3 – Ústřední ohřev [L7]	14
Obr. 4 – Dálkový ohřev	15
Obr. 5 – Akumulační ohřev [L7]	15
Obr. 6 – Průtokový ohřev [L7]	16
Obr. 7 – Beztlaké zařízení [L7]	17
Obr. 8 – Tlakové zařízení [L7]	17
Obr. 9 – Přímý ohřívání zásobníkový ohříváč [L7].....	19
Obr. 10 – Nepřímý ohřívání zásobníkový ohříváč [L7]	19
Obr. 11 – Denní průběh spotřeby TV u bytového domu A za rok 2015 [L10]	23
Obr. 12 – Kumulativní křivky odběru u bytového domu A za rok 2015 [L10].....	24
Obr. 13 – Porovnání zátěžových profilů XS, M a L s profilem odběru získaného aproximací z bytových domů A, B, C, D [L10]	25
Obr. 14 – Porovnání aproximační křivky BD s křivkami odběru uváděnými obvykle dle norem ČSN 06 0320 a ČSN EN 15 316-3 [L10]	25
Obr. 15 – Příklad křivek dodávky a odběru tepla při ohřevu vody různými zdroji tepla	27
Obr. 16 – Křivky odběru a dodávky tepla s nepřerušovanou dodávkou tepla do zásobníku TV [L7].....	28
Obr. 17 – Křivky odběru a dodávky tepla s časově omezenou dodávkou tepla do zásobníku TV [L7].....	28
Obr. 18 – Zvýšený výkon kotle k ohřevu teplé vody podle výkonového čísla N [L7]...	32
Obr. 19 – Příklad zapojení zdroje tepla s přednostní přípravou teplé vody [L7].....	33
Obr. 20 – Webový Git repozitář GitLab	39
Obr. 21 – Úvodní obrazovka aplikace	41
Obr. 22 – Popis rozhraní metody křivek odběru a dodávky tepla	42
Obr. 23 – Ukázka vstupních a výstupních polí s nápovědou a možností použití výchozí hodnoty	42
Obr. 24 – Automaticky vyplněné vstupní pole s výchozí hodnotou.....	43
Obr. 25 – Vstupní pole s povoleným nastavením vlastní hodnoty	43
Obr. 26 – Formulářová část s popisem křivky odběru tepla	47
Obr. 27 – Formulářová část s popisem křivky odběru tepla (vlastní křivka)	48

Obr. 28 – Červený obdélník vymezuje prostor pro přesun bodu B mezi bodem A a C .	50
Obr. 29 – Návrh křivky dodávky tepla a závěrečné výsledky	52
Obr. 30 – Příklad vteřinového průběhu odběru TV u bytového domu za 24 hod [L12]	53
Obr. 31 – Chybné zadání křivky dodávky tepla	54
Obr. 32 – Rozhraní metody DIN 4708	56
Obr. 33 – Nastavení místnosti (popis místnosti, odběrná místa)	58
Obr. 34 – Obytné místnosti.....	59
Obr. 35 – Formulář metody přednostní přípravy teplé vody	60
Obr. 36 – Křivka odběru pro rodinný dům s 6 osobami	62
Obr. 37 – Křivka dodávky podle rozložení sepnutí na nízký tarif.....	63
Obr. 38 – Profil odběru tepla u administrativní budovy	66
Obr. 39 – Křivky dodávky a odběru tepla	67
Obr. 40 – Křivka odběru pro třisměnný provoz v průmyslovém závodě	69
Obr. 41 – Křivka dodávky pro třisměnný provoz v průmyslovém závodě.....	70
Obr. 42 – Průběh křivek odběru a dodávky tepla pro sportovní halu	71
Obr. 43 – Produkt – čtvrtý krok návrhu v metodě křivek odběru a dodávky tepla	74
Obr. 44 – Seznam produktů	75
Obr. 45 – Náhled dokumentu před tiskem.....	77

11 Seznam tabulek

Tab. 1 – Potřeby teplé vody o teplotě $t_w = 60\text{ °C}$ (ČSN EN 12831-3) [L6].....	22
Tab. 2 – Potřeby teplé vody o teplotě $t_w = 60\text{ °C}$ na osobu (ČSN EN 12831-3) [L6]..	22
Tab. 3 – Celkové srovnání časových parametrů odběrů tepla pro přípravu TV dle jednotlivých norem a měření [L7]	26
Tab. 4 – Koeficient obsazenosti bytu podle DIN 4708.....	29
Tab. 5 – Odběrná místa teplé vody v bytech s normální výbavou.....	30
Tab. 6 – Odběrná místa teplé vody v bytech s komfortní vybaveností	30
Tab. 7 – Potřeba tepla u různých odběrných zařízení podle DIN 4708.....	31
Tab. 8 – Korekční faktor odběru tepla ze zásobníku teplé vody [L7]	34
Tab. 9 – Výhody a nevýhody Excelu a JavaScriptu	36
Tab. 10 – Výchozí hodnoty pro jednotlivé typy budov [L11]	44
Tab. 11 – Pomocné křivky odběru tepla pro restaurace, administrativní budovy, sportovní zařízení a průmyslové závody.....	45
Tab. 12 – Typy doplňujících místností s odběrnými místy teplé vody.....	57
Tab. 13 – Popis úseků křivky dodávky tepla pro rodinný dům	64
Tab. 14 – Popis místností s odběrnými místy u jednotlivých typů bytu.....	65
Tab. 15 – Popis úseků křivky odběru tepla (beze ztrát) u administrativní budovy	67
Tab. 16 – Popis úseků křivky dodávky tepla	68
Tab. 17 – Popis úseků křivky dodávky pro třisměnný provoz v průmyslovém závodě. 69	
Tab. 18 – Popis úseků křivky dodávky pro třisměnný provoz v průmyslovém závodě. 70	
Tab. 19 – Popis úseků křivky odběru tepla (beze ztrát) pro sportovní halu	71
Tab. 20 – Popis úseků křivky dodávky tepla pro sportovní halu.....	72

12 Seznam příloh

Příloha č. 1 – Aplikace: Úvodní obrazovka

Příloha č. 2 – Aplikace: Metoda křivek odběru a dodávky tepla: 1. krok – Zadání projektu

Příloha č. 3 – Aplikace: Metoda křivek odběru a dodávky tepla: 2. krok – Křivka dodávky

Příloha č. 4 – Aplikace: Metoda křivek odběru a dodávky tepla: 3. krok – Výstup

Příloha č. 5 – Aplikace: Metoda DIN 4708

Příloha č. 6 – Aplikace: Metoda přednostního ohřevu teplé vody

Návrh zásobníku teplé vody

[Domů](#)[Nápověda](#)

Metoda křivek odběru a dodávky tepla

Křivka dodávky tepla do systému přípravy TV je sestavena podle požadavků na provozní vlastnosti zdroje tepla. Křivka odběru pak reprezentuje časové potřeby dodávky TV v závislosti na počtu obyvatel.

Metoda DIN 4708

Návrh zdroje tepla a zásobníku pro přípravu TV s ohledem na tzv. "koeficient potřeby NL". Metoda předpokládá znalost projektu ZTI - část vnitřní vodovod.

Přednostní ohřev teplé vody

Na základě volby zdroje tepla společného pro VYT a přípravu TV, typu otopné soustavy je navržen zásobník TV. Metoda nerespektuje požadavky projektu ZTI - část vnitřní vodovod.

Slouží pouze jako návod. Konečný návrh je na zodpovědnosti projektanta.

© Matěj Mazur 2018-2019



Příloha č. 1 – Aplikace: Úvodní obrazovka

Návrh zásobníku teplé vody Domů [Nápověda](#)

Metoda křivek odběru a dodávky tepla

Zadání projektu Křivka dodávky Výstup

[← Zpět](#) [Znovu →](#) (krok: 1/3)

Typ budovy Rodinný dům s centrálním ohřevem TV

[Nápověda](#)

Teplota studené vody t_{sv} °C

Teplota ohřáté vody t_{TV} °C

Měrná jednotka j

Počet měrných jednotek n

Denní potřeba TV na měrnou jednotku V_i m³/j.den

Použít výchozí hodnotu?

Teoretická potřeba tepla $Q_{TV,teor}$ kWh/den

[Nápověda](#)

Popis křivky odběru tepla

— Výchozí křivka odběru tepla (aktivní)

[Přidat vlastní křivku odběru tepla](#)

Aktivní profil Výchozí křivka odběru tepla

Úseky křivky

Čas od	Čas do	Nárůst
00:00	06:00	0
06:00	09:00	0,35
09:00	19:00	0,15
19:00	22:00	0,4
22:00	00:00	0,1

Další krok
Křivka dodávky

Slouží pouze jako návod. Konečný návrh je na zodpovědnosti projektanta.

© Matěj Mazur 2018-2019

Příloha č. 2 – Aplikace: Metoda křivek odběru a dodávky tepla: 1. krok – Zadání projektu

Návrh zásobníku teplé vody

Metoda křivek odběru a dodávky tepla

Zadání projektu **Křivka dodávky** Výstup

← Zpět Znovu → (krok: 2/3)

Poměrný součinitel ztrát z 0,05
 Použít výchozí hodnotu?

Teplné ztráty $Q_{TV,ztráty}$ 0,65 kWh/den
[Nápověda](#)

Celková potřeba tepla $Q_{TV,celk}$ 13,67 kWh/den
[Nápověda](#)

Návrh křivky dodávky tepla

— Křivka odběru tepla — Výchozí křivka dodávky tepla
 — Vlastní křivka dodávky 1 (aktivní)
 ···· Hranice bezp. vzdál. od křivky odběru — Max. rozdíl tepla

Resetovat

[Přidat vlastní křivku odběru tepla](#) [Smazat všechny vlastní křivky](#)

Aktivní profil: Vlastní křivka dodávky 1

Odsazení křivky dodávky od křivky odběru: 0,2

Úseky křivky

Čas od	Čas do	Nárůst	Nástroje
00:00	06:00	0	<input type="button" value="+"/> <input type="button" value="-"/>
06:00	07:30	0,5	<input type="button" value="+"/> <input type="button" value="-"/>
07:30	19:00	0	<input type="button" value="+"/> <input type="button" value="-"/>
19:00	22:00	0,5	<input type="button" value="+"/> <input type="button" value="-"/>
22:00	00:00	0	<input type="button" value="+"/>

[Smazat aktivní křivku](#)

Výsledky

Maximální rozdíl tepla mezi křivkami odběru a dodávky ΔQ_{max} 7,25 kWh

Požadovaný objem zásobníku $O_{zās}$ 156 l
[Nápověda](#)

Požadovaný tepelný výkon zdroje tepla P_{poz} 4,56 kW
[Nápověda](#)

[Předchozí krok](#) [Další krok](#)
 Zadání projektu Výstup

Slouží pouze jako návod. Konečný návrh je na zodpovědnosti projektanta.

© Matěj Mazur 2018-2019

Příloha č. 3 – Aplikace: Metoda křivek odběru a dodávky tepla: 2. krok – Křivka dodávky

Návrh zásobníku teplé vody

Metoda křivek odběru a dodávky tepla

Domů [Nápověda](#)

Zadání projektu Křivka dodávky **Výstup**

(krok: 3/3)

Typ budovy: Rodinný dům s centrálním ohřevem TV

Teplota studené vody: 10 °C

Teplota ohřáté vody: 50 °C

Měrná jednotka: osoba

Počet měrných jednotek: 8

Denní potřeba TV na měrnou jednotku: 0,035 m³/j.den

Poměrný součinitel ztrát: 0,05

Teoretická potřeba tepla: 13,02 kWh/den

Tepelné ztráty: 0,65 kWh/den

Celková potřeba tepla: 13,67 kWh/den

Velikost odsazení křivky dodávky tepla: 0,2

Maximální rozdíl tepla mezi křivkami odběru a dodávky: 7,25 kWh

Požadovaný objem zásobníku: 156 l

Požadovaný tepelný výkon zdroje tepla: 4,56 kW

Grafické vyjádření

Legend: Křivka odběru tepla (red), Křivka dodávky tepla (blue), Max. rozdíl tepla (dashed line)

Čas	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	24:00
0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ΔT	6:00	6:00	1:30	3:00	11:30	3:00	10:00	3:00	3:00	2:00	3:00	2:00	2:00
Other	1%				34%	16%				10%	39%		

Úseky křivky dodávky

Čas od	Čas do	Nárůst
00:00	06:00	0
06:00	07:30	0,5
07:30	19:00	0
19:00	22:00	0,5
22:00	00:00	0

Předchozí krok: Křivka dodávky

Slouží pouze jako návod. Konečný návrh je na zodpovědnosti projektanta.

© Matěj Mazur 2018-2019

Příloha č. 4 – Aplikace: Metoda křivek odběru a dodávky tepla: 3. krok – Výstup

Návrh zásobníku teplé vody Domů [Nápověda](#)

Metoda DIN 4708

Byt A
Smazat byt
Minimalizovat

Označení bytu

Množství

Koeficient obsazenosti

Použít výchozí hodnotu?

Místnosti s odběrnými místy TV

Hlavní koupelna Množství
Hlavní koupelna s koupací vanou v bytové jednotce [Ukončit úpravy místnosti](#)

Popis místnosti

Název vybavení	Energie [kWh]	Množství [ks]	
Koupací vana (1600 mm x 700 mm)	5,82	<input type="text" value="1"/>	Smazat
Umyvadlo (17 l)	0,7	<input type="text" value="1"/>	Smazat
Vlastní vybavení	2,4	<input type="text" value="1"/>	Smazat

Kuchyně Množství
Místnost s kuchyňským dřezem [Upravit místnost](#)

Místnosti bez odběrných míst TV

Obývací místnost Množství

Ložnice Množství

Obytná předsíň Množství

Zimní zahrada Množství

Další obytná místnost Množství

Byt B
Smazat byt
Rozbalit

Množství: 1x | Koeficient obsazenosti: 3,5
Místnosti: 1x hlavní koupelna, 1x kuchyně, 1x obývací místnost, 2x ložnice, 1x obytná předsíň, 1x zimní zahrada

Závěr

Koeficient potřeby N

[Nápověda](#)

Při následném výběru zásobníku je nutné zohlednit následující požadavky:

1. Koeficient potřeby vybraného typu zásobníku teplé vody N_L musí být minimálně tak velký, jak je velký vypočtený koeficient potřeby N (tj. $N_L \geq N$).
2. Tepelný výkon kotle musí být minimálně tak velký, jako je trvalý tepelný výkon Q_D (údaj výrobce zásobníku teplé vody pro teplotní rozdíl při ohřevu 10/45 °C), potřebný k dosažení koeficientu potřeby zásobníku N_L .
3. Bude-li kotel uvažován jak pro otopnou soustavu, tak i pro ohřev teplé vody, je požadován zvýšený výkon kotle $Q_D = Q_{budovy} + \Delta Q_{TV}$ (viz obrázek níže), kde Q_{budovy} představuje tepelný výkon pro pokrytí nároků tepla (vytápění, vzduchotechnika apod.) pro budovu.

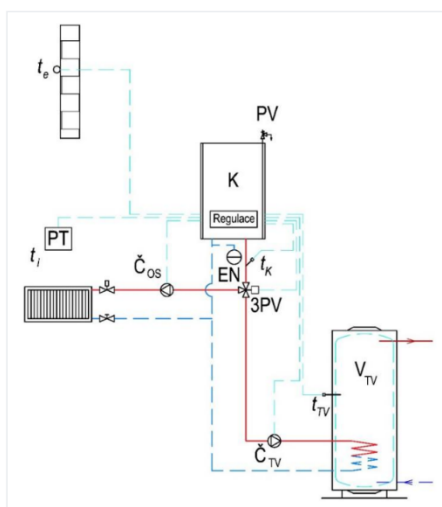
Slouží pouze jako návod. Konečný návrh je na zodpovědnosti projektanta.

© Matěj Mazur 2018-2019

Návrh zásobníku teplé vody

Domů [Nápověda](#)

Metoda přednostního ohřevu TV



Příklad zapojení zdroje tepla s přednostní přípravou TV

Značení:

\check{C}_{os} - oběhové čerpadlo otopného systému,
 \check{C}_{TV} - nabíjecí čerpadlo zásobníku TV,
 EN - expanzní nádoba,
 K - kotel,
 PT - dálkové ovládání s čidlem vnitřní teploty,
 PV - pojistný ventil,
 3PV - trojcestný přepínací ventil,
 V_{TV} - zásobník teplé vody,
 t_e - venkovní teplota,
 t_i - vnitřní teplota,
 t_k - teplota kotlové vody,
 t_{TV} - teplota vody v zásobníku teplé vody.

Chci objem zásobníku teplé vody

Druh zásobníku TV

Vertikální zásobník

[Nápověda](#)

Teplný výkon zdroje tepla	P	<input type="text" value="2"/>	kW
Doba ohřevu TV při teplotním rozdílu pro dohřev	τ_a	<input type="text" value="10"/>	min
Spínací diference pro dohřev TV	X_p	<input type="text" value="5"/>	K
Objem zásobníku TV	V_{TV}	<input type="text" value="64"/>	l

[Nápověda](#)

Slouží pouze jako návod. Konečný návrh je na zodpovědnosti projektanta.

© Matěj Mazur 2018-2019

Příloha č. 6 – Aplikace: Metoda přednostního ohřevu teplé vody