

ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA
PROJEKTU OP PIK
CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024872

**„Modulární systém vytápění a přípravy teplé
vody“**

Zpracoval:	QUANTUM, a.s., ČVUT v Praze, UCEEB
Počet stran textu:	108
Datum zpracování:	31. 05. 2023

OBSAH

Obsah	2
ÚVOD	3
1 Popis řešení projektu.....	4
2 Vývoj „Modulárního systému“	6
2.1 Sestavení základního prototypu Modulárního systému	6
2.2 Experimentální trať	7
2.3 Tvorba matematického modelu ohřívače teplé vody	9
2.4 Popis značení a odečtu veličin z numerického modelu	15
2.5 Popis řešených scénářů nasazení „Modulárního systému“	16
2.6 Verifikace matematických modelů ohřívačů.....	26
3 Vyhodnocení celoročního provozu matematického modelu „Modulárního systému“	34
3.1 Výsledky pro scénář A: ohřívač IR 12-160 v rodinném domě	34
3.2 Výsledky pro scénář B: ohřívač IR 12-160 v rodinném domě	49
3.3 Výsledky pro scénář C: ohřívač IR 12-160 v rodinném domě	60
3.4 Diskuze nad výsledky matematických simulací	71
4 Experimentální ověření matematického modelu	73
4.1 Metodika testování zásobníkových ohřívačů	73
4.2 Verifikace matematického modelu experimentem	74
4.3 Experimentální ověření provozu ohřívače při současném odběru teplé vody a dodávky tepla pro systém vytápění.....	75
5 Výkresová dokumentace nových prototypů QH-25 a QH-80.....	78
5.1 QH-25.....	78
5.2 QH-80	80
5.3 Výkresy QH-25 a QH-80.....	83
6 Webová aplikace pro návrh systémů přípravy teplé vody	84
6.1 Uživatelská příručka NAVO	84
6.1.1. Zadání projektu (1. krok)	86
6.1.2. Křivka dodávky (2. krok).....	93
6.1.3. Výstup (3. krok)	96
6.1.4. Produkt (4. krok).....	96
7 Užitiný vzor	101
7.1 Oblast techniky	101
7.2 Dosavadní stav techniky.....	101
7.3 Podstata technického řešení	101
7.4 Objasnění výkresů	103
7.5 Průmyslová využitelnost	104
7.6 Nároky na ochranu	105
8 Závěr.....	108

ÚVOD

Tato zpráva shrnuje výsledky prací projektu OP PIK CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_321/0024872 „Modulární systém vytápění a přípravy teplé vody“ dosažené za období od 1. 6. 2021 do 31. 5. 2023.

Hlavní cíle projektu jsou:

- Vyvinout Modulární systém vytápění a přípravy teplé vody v závislosti na typu a energetické náročnosti budovy.
- Vytvořit webovou aplikaci pro návrh různých systémů přípravy teplé vody vč. Modulárního systému vytápění a přípravy teplé vody zahrnující vazbu na produkty společnosti Quantum.

Typy výstupu projektu jsou:

- Dva prototypy – Modulárního systému pro vytápění a přípravu teplé vody – koncept „All in one“.
- Software – Projekční software (on-line aplikace).
- Užitný vzor – Ochrana duševního vlastnictví nových konstrukčních prvků.

1 Popis řešení projektu

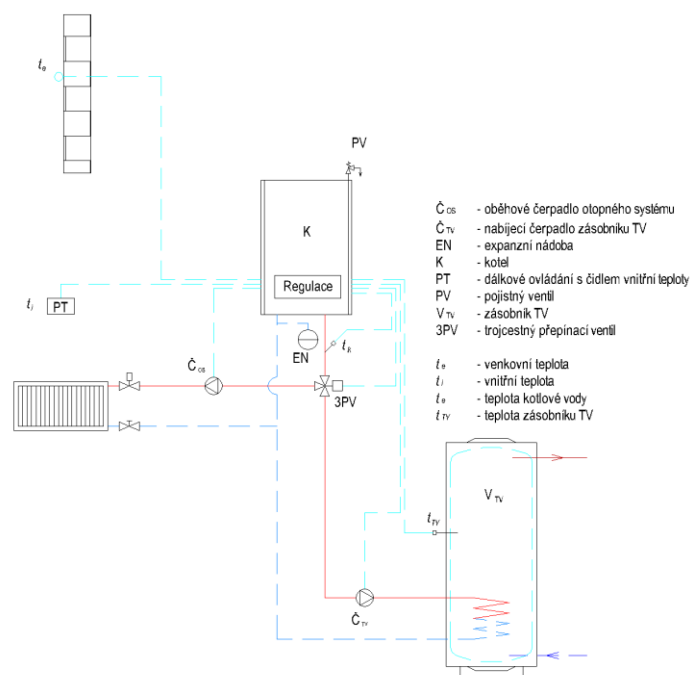
Řešení projektu bylo rozděleno do několika základních bloků:

1. Průzkum trhu
2. Návrh komponent nového systému kompatibilních s ohřivači s přímým ohřevem teplé vody
3. Sestavení základního prototypu pro experimentální testování ve vazbě na charakteristiku použitého ohřivače teplé vody v celém systému vytápění a přípravy teplé vody.
4. Vytvoření matematického modelu ohřivače s přímým ohřevem teplé vody a jeho verifikace dle získaných experimentálních dat.
5. Matematické simulace celoročního provozu navrženého systému pro různé typy budov v závislosti na charakteru odběru teplé vody.
6. Porovnání a vyhodnocení získaných experimentálních a simulačních dat s očekávanými hodnotami využitelnosti systému.
7. Tvorba webové aplikace pro návrh systémů přípravy teplé vody s využitím funkce společné přípravy teplé vody a zásobování systému vytápění.
8. Tvorba výkresové a technické dokumentace nových prototypů QH-25 a QH-80.
9. Stavba navržených systémů QH-25 a QH-80.

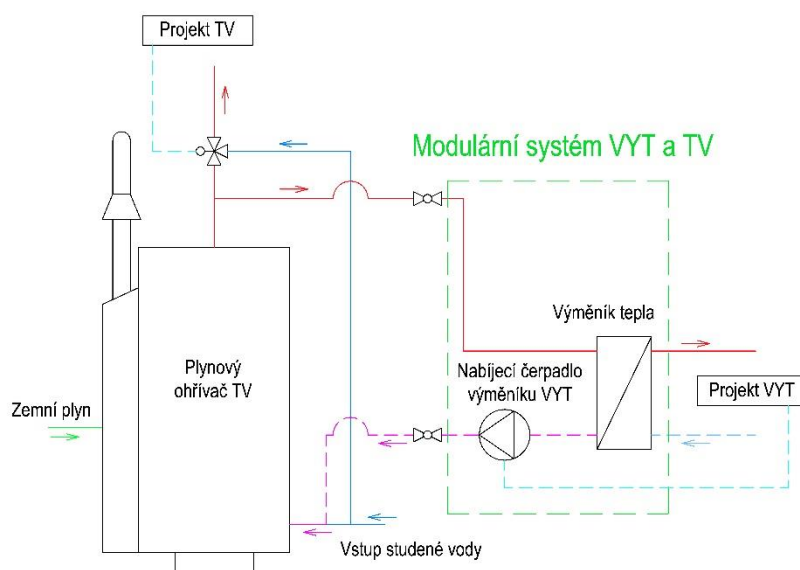
Průzkum trhu se zaměřil na běžné koncepty zásobování teplem s využitím lokálního plynového zdroje tepla pro vytápění a přípravu teplé vody. Tento průzkum ukázal, že většina běžných otopných systémů používaných pro vytápění a přípravu teplé vody je založena na koncepci zdroje tepla, který je ale primárně navržen pro vytápění. Příprava teplé vody je až pak následně realizována v nepřímě ohřivaném zásobníku teplé vody. Běžně tyto zařízení pracují s tzv. přednostním ohřevem teplé vody (Obr. 1). Analýza ukázala, že tento systém obvykle neumožňuje provoz obou systémů současně, tzn. nelze zásobovat tepelnou energií systém vytápění a současně nabíjet zásobník teplé vody. Navíc při současném trendu snižování energetické náročnosti budov analýza prokázala, že např. pro nízkoenergetické či pasivní typy budov nemusí být požadavek systému vytápění rozhodující s ohledem na požadavek velikosti tepelného výkonu instalovaného zdroje tepla, ale naopak dominantní požadavek může mít systém přípravy teplé vody.

Proto byl jako základní cíl projektu stanoven požadavek navrhnout modulární (stavebnicový) systém pro optimalizaci zásobování budovy teplem s ohledem na rozdílné požadavky potřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody v jediném - společném zdroji tepla a to s minimální akumulací tepla. Tímto zdrojem je přímo ohříváný plynový zásobníkový ohřivač, který je standardně určen pouze k přípravě teplé vody. Schéma zapojení pro využití současného zásobování teplem pro vytápění a teplé vody ukazuje (Obr. 2). Ohřivač teplé vody je zapojen tak, aby teplou vodu dodával na odběrná místa přímo a energii do systému vytápění nepřímě, prostřednictvím externího deskového výměníku. Optimalizaci potřebného množství tepla na sekundární straně výměníku tepla pro systém vytápění je součástí řešení projektu vytápění daného objektu (např. ekvitermní systém se směšovacím ventilem apod.). Cirkulaci teplé vody na primární straně zajišťuje oběhové čerpadlo, které má přímou nebo nepřímou regulační vazbu na projekt vytápění v závislosti na použitém typu systému. Dílčím cílem projektu je najít provozní limity použitelnosti daných typů

přímo ohříváných zásobníků teplé vody tak, aby byla zajištěna v každém provozním režimu dostatečná dodávka tepla jak pro systém vytápění, tak i pro potřeby odběru teplé vody.



Obr. 1 Princip zapojení zdroje tepla pro vytápění a přednostní přípravu teplé vody v nepřímo ohříváném zásobníku teplé vody



Obr. 2 Princip zapojení zdroje tepla pro vytápění a přednostní přípravu teplé vody v nepřímo ohříváném zásobníku teplé vody

Celý koncept je proto navržen tak, aby použité komponenty (díly) byly zaměnitelné podle požadavků daného projektu. Z pohledu jmenovitého tepelného výkonu pro systém vytápění je rozhodující charakteristika použitého deskového výměníku. Z pohledu zásobování teplou vodou je pak rozhodující použitý plynový ohřivač vody.

2 Vývoj „Modulárního systému“

Tato část obsahuje výsledky matematické simulace a experimentálního testování základního prototypu Modulárního systému vytápění a přípravy teplé vody ve vazbě na tvorbu matematické simulace a webové aplikace. V rámci vývoje byla akademickým partnerem, tj. Univerzitním centrem energeticky efektivních budov (UCEEB), realizována měřicí trať pro testování plynových ohřivačů teplé vody. Trať umožňuje napojení externího systému pro zásobování teplem systému vytápění halové laboratoře s možností samostatné regulace odebraného tepelného výkonu.

Měření na experimentální trati umožní lépe popsat chování zásobníků teplé vody s přímým ohřevem (integrovaným spalovacím hořákem a odvodem spalin uvnitř zásobníku teplé vody) stran stratifikace energie v zásobníku jak při odběru pouze pro potřeby teplé vody, tak i společném odběru teplé vody a systému vytápění. Tato měření jsou důležitá pro následnou tvorbu matematického modelu celého systému. Matematický model pak umožní zpracovat libovolný projekční požadavek na v rámci návrhu či simulace ročního provozu systému.

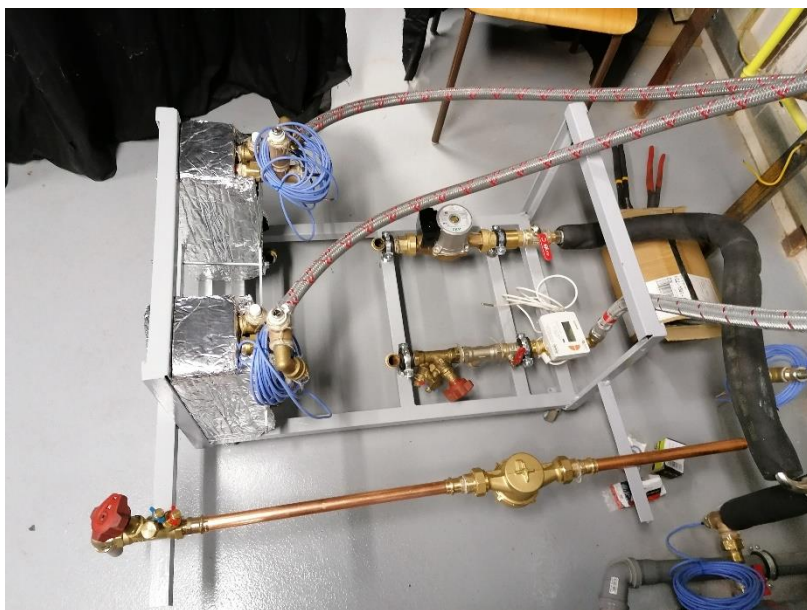
Při vývoji bylo postupováno dle pracovního postupu, který lze stručně shrnout následovně:

- 1) sestavení základního prototypu Modulárního systému (QH-Prototyp),
- 2) stavba experimentální trati,
- 3) tvorba matematického modelu ohřivače teplé vody (TRNSYS),
- 4) testování vybraných typů ohřivačů dle stanového scénáře odběru teplé vody,
- 5) testování základního prototypu pro současný odběr systémů VYT a TV,
- 6) vyhodnocení měření a verifikace dat pro matematický model ohřivače,
- 7) testování matematického modelu systému ohřivače a budovy (TRNSYS),
- 8) analýza výsledků a návrh optimalizace konstrukčního řešení Modulárního systému,

2.1 Sestavení základního prototypu Modulárního systému

V první etapě projektu byl vytvořen základní konstrukční model navrženého systému vycházející ze schématu zapojení viz. Obr. 2 (QH-Prototyp). Na svařenec rámu měřicí stolice modulu vytápění byly následně připevněny základní komponenty, tj. bronzové oběhové čerpadlo, dva výměníky tepla, vyvažovací ventil a průtokoměr (Obr. 3). Dále byly osazeny 4 ks jímkových teplotních čidel PT100. 2 ks teplotních čidel pro stanovení teplot primární (nabíjecí) vody na vstupu a výstupu z výměníků tepla a 2 ks teplotních čidel pro stanovení teplot otopné vody na vstupu a výstupu z otopné soustavy. Součástí měřicí stolice modulu vytápění je také instalace odběrného místa teplé vody z ohřivače. Jedná se o výtokové potrubí simulující odběr teplé vody (Obr. 4). Odběr teplé vody má instalovaný dvoucestný časově ovládaný ventil, teplotní čidlo pro snímání teploty odebírané teplé vody, průtokoměr a regulační ventil STAD.

Celý koncept stavby základního prototypu byl zaměřen na využití měřících ústředen ALMEMO pro monitoring a záznam měřených dat. Jednotlivé průtokoměry, čidla, regulační ventily atd. byly sestaveny tak, aby umožňovali vzájemnou komunikaci s měřicí ústřednou.



Obr. 3 QH-Prototyp modulární systém ve fázi stavby po osazení pozic pro oběhové čerpadlo, výměníky tepla, čidla PT 100, průtokoměr a vyvažovací ventil



Obr. 4 QH-Prototyp modulární systém po připojení na otopnou soustavu haly ČVUT

2.2 Experimentální trať

Pro simulaci odběru tepla pro potřebu vytápění byla využita stávající otopná soustava haly, ve které probíhalo experimentální testování. Mezi stávající plynový kondenzační kotel byl vřazen samostatný vstup měřicí stolice a za něj byl osazen trojcestný ventil s plynulou regulací teploty na výstupu, oběhové čerpadlo a dva kusy teplotních čidel PT 100 pro měření teploty otopné vody na vstupu a výstupu z otopné soustavy. Dále byla tato strana měření na otopné soustavě doplněna o samostatný průtokoměr (Obr. 5).



Obr. 5 Připojení QH-Prototypu modulárního systému na otopnou soustavu haly a ohřívač vody

Každý testovaný ohřívač teplé vody byl osazen celkem 7 ks povrchových čidel PT 100 pro stanovení průběhu teplot v zásobníku v závislosti na způsobu odběru tepla (Obr. 6). Prostupy povrchovou izolací pro teplotní čidla byla zpětně tepelně izolována, tak aby bylo možná jejich demontáž a použití u dalších měřených ohřívačů. Na výstupu ze zásobníku ohřívače byl osazen trojcestný směšovací ventil s přílohným čidlem a automatickou regulací teploty teplé vody dle požadovaných hodnot teploty teplé vody v rozsahu od 5 do 90 °C. Součástí této sestavy je automatický odvzdušňovací ventil, pojistný ventil a jímkové teplotní čidlo PT100 pro měření teploty vody přímo vystupující ze zásobníku. Tato směšovací sestava je vyrobena tak, aby byla přenositelná na libovolný testovaný ohřívač, resp. zásobník ohřívače. Další teplotní čidla jsou osazena na vstupu z vodovodního řadu a vstupu do zásobníku ohřívače. Dále je snímána teplota kulového teploměru vnitřního prostředí laboratoře a teplota spalin na výstupním hrdle ohřívače.

Veškeré měřené veličiny jsou zaznamenávány měřicí ústřednou Ahlborn v online režimu na disk počítače, kde je možné dále provádět vyhodnocení získaných dat (Obr. 7). Z uvedených snímků je patrné, že veškeré funkční celky experimentální trati jsou tepelně izolovány návlekovou izolací Armaflex.

Takto sestavená experimentální trať se základním prototypem QH-Prototyp modulárního systému umožňuje testovat jak samostatné chování zásobníku teplé vody ohřívače, tak i současný odběr teplé vody (např. dle zvoleného profilu uživatele) a vytápění (opět dle daného požadavku kvantitativní či kvalitativní regulace OS).



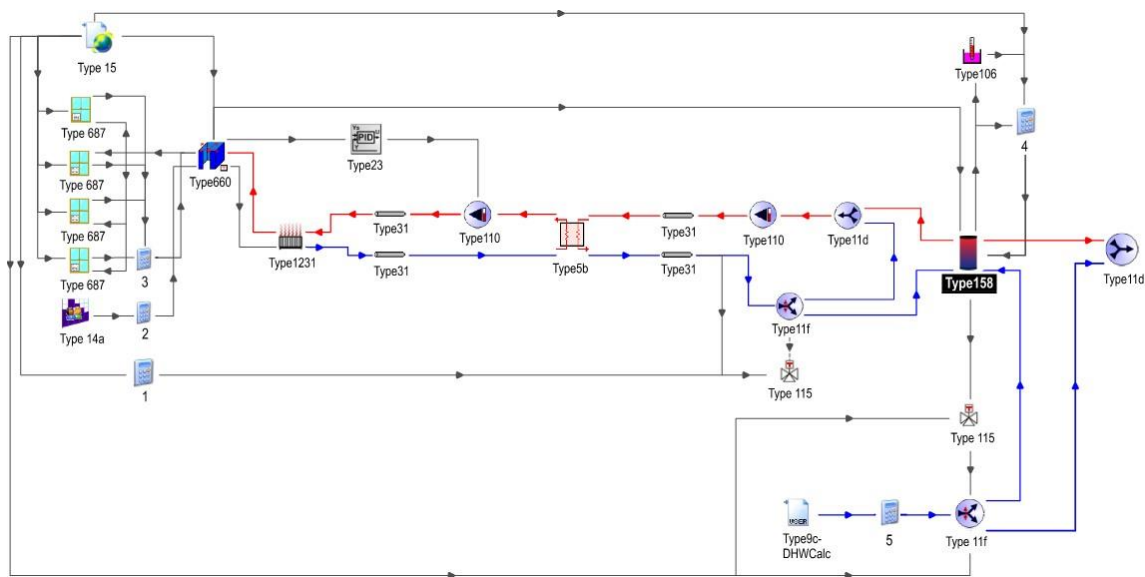
Obr. 6 Umístění povrchových čidel na zásobníku ohřivače vody



Obr. 7 Pohled na měřicí místo v halových laboratořích

2.3 Tvorba matematického modelu ohřivače teplé vody

V první etapě řešení projektu byl sestaven základní matematický model ohřivače. Pro simulační analýzu byl zvolen software TRNSYS. Na základě schématu zapojení dle Obr. 8 bylo sestaveno základní schéma zapojení výpočetních modulů.



Obr. 8 Simulační model ohřivače v prostředí TRNSYS

Řešeným systémem je kombinovaný systém přípravy teplé vody a vytápění v jednom společném zdroji tepla s akumulacím objemem. Zásobníkový ohřivač připravuje teplou vodu pro přímou dodávku tepelné energie do systému přípravy teplé vody. Do systému vytápění je tepelná energie dodávána nepřímo prostřednictvím protiproudého deskového výměníku. Před vstupem do výměníku je teplá voda směřována v motorickém třicestném směšovací ventilu na požadovanou výstupní teplotu. Směšování je řízeno ekvitermní regulací. Cirkulaci teplé vody v sekundárním okruhu systému vytápění zajišťuje oběhové čerpadlo s proměnnými otáčkami. Otáčky čerpadla jsou řízeny PI regulátorem ve vazbě na aktuální teplotu v zóně. V simulacích není uvažována přednostní příprava teplé vody, ale ohřivač musí být schopen připravovat teplou vodu a současně dodávat dostatek energie do systému vytápění.

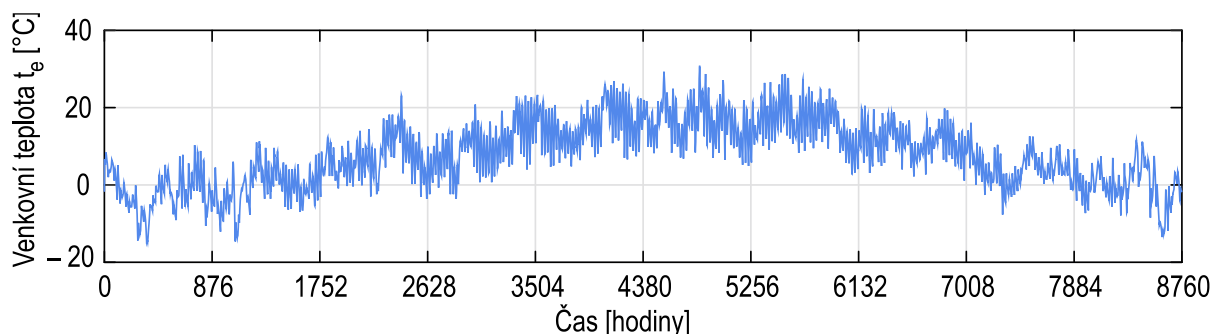
Ohřivač je reprezentován modulem Type 158. Spínání dohřevu je řízeno modulem Type 106, který monitoruje teplotu na termostatu ohřivače a v případě potřeby generuje signál pro spuštění dohřevu. Modul 4 obsahuje rovnice, které simulují modulační hořák. Výkon je modulován lineárně v závislosti na venkovní teplotě. Venkovní teplota je na vstup do modulu 4 přivedena z modulu Type 15, který představuje klimatická data. Do rovnic pro modulaci je dále zahrnuta bezpečnostní funkce pro odběry teplé vody. Ta v případě výskytu odběru teplé vody zajistí modulaci na maximální výkon bez ohledu na to, jaký je aktuální požadavek na dodávku výkonu do vytápění od ekvitermní regulace.

Co se týče odběrových profilů teplé vody, pro jejich generování byl využit program DHWcalc. Pro načtení vygenerovaných profilů do prostředí TRNSYSu slouží modul Type 9c. Pro směšování na požadovanou teplotu je využit modul Type 11f, který představuje rozdělovací ventil, Type 11d který představuje směšovací ventil a Type 115, který slouží ke generování řídicího signálu pro rozdělovací ventil. Systém pracuje s proměnnou teplotou studené vody za rok, která je přejímána z modulu Type 15.

Otopný systém je tvořen primárním a sekundárním okruhem. V primárním okruhu je teplá voda z ohřivače směšována na požadovanou teplotu pomocí soustavy rozdělovacího a směšovacího ventilu Type 11f, resp. Type 11d. Směšování je řízeno ekvitermní regulací, jejíž rovnice jsou obsaženy v modulu 1. Vypočtená požadovaná ekvitermní teplota je přivedena na vstup do modulu Type 115, který generuje řídicí signál pro směšovací a rozdělovací ventil. Cirkulaci teplé vody v

primárním okruhu zajišťuje čerpadlo s konstantními otáčkami. Ke sdílení tepla mezi primárním a sekundárním okruhem slouží výměník, který je reprezentován modulem Type 5b. V sekundárním okruhu zajišťuje cirkulaci otopné vody čerpadlo s proměnnými otáčkami. Čerpadlo je řízeno PI regulátorem, který zajišťuje změnu otáček čerpadla a tedy regulaci přívodní teploty otopné vody v případě, že předmísení v primárním okruhu nebylo pro aktuální podmínky dostatečné. Modul Type 1231 reprezentuje otopnou soustavu. Budova je reprezentována modulem Type 660 a okna budovy modulem Type 687. Oba moduly jsou propojeny s modulem Type 15, ze kterého přebírají informaci o venkovní teplotě, případně o dopadajícím slunečním záření. Proměnnou obsazenost budovy simuluje modul Type 14a.

Pro načítání klimatických dat slouží modul Type 15, data jsou dostupná přímo v knihovných TRNSYSu. Jsou využita klimatická data pro Prahu CZ-Praha-115180.tm2 z databáze Meteonorm V 5.0.13. Roční průběh teplot suchého teploměru ve zvoleném místě je zobrazen na Grafu 15. Roční střední teplota pro Prahu je 7,9 °C, maximální naměřená teplota 30,7 °C, minimální naměřená teplota -15,2 °C. Minimální naměřená teplota ukazuje, že v pomocných výpočtech pro stanovení tepelných ztrát modulu budovy Type 660 a pro návrh parametrů otopné plochy Type 1231 nelze uvažovat jako nejnižší venkovní výpočtovou teplotu -12 °C, ale tato musí být snížena na extrém z použitých klimatických dat.



Obr. 9 Roční průběh venkovních teplot suchého teploměru pro Prahu

Pro modelování budovy je využit modul Type 660. Simulační výpočty jsou založeny na řešení tepelných a hmotnostních bilancí modulu v každém časovém kroku simulace. Do Type 660 je nutné zadat součinitel tepelných ztrát prostupem, tepelnou kapacitu a objem simulované budovy. Pro všechny řešené objekty byly definovány geometrické charakteristiky, skladby konstrukcí a jejich tepelně-technické vlastnosti. Z nich byly dopočteny potřebné parametry pro zadání do modulu Type 660. Pro výpočet tepelných toků neprosklenými částmi obálky budovy je Type 660 nutné propojit s informací o venkovní teplotě z modulu Type 15, který představuje klimatická data. Propojením s modulem Type 687, který představuje prosklenou plochu, se do výpočtu zahrnou tepelné toky skrz okna. Zohledňují se tepelné toky prostupem i tepelné zisky radiací. Do modulu okna je nutné zadat hodnotu SHGC (Solar Heat Gain Coefficient), která vyjadřuje poměr záření, které prošlo celou sestavou okna k záření, které na celou sestavu okna dopadlo. Do simulačního řešení jsou zahrnuty také vnitřní zisky od osob. Profil obsazenosti budovy je definován pomocí Type 14a.

Odběrové profily teplé vody jsou načítány přes Type 9c z externího textového souboru. Externí soubor byl vygenerován pomocí programu DHWCalc. DHWCalc je na základě uživatelsky zadáných parametrů schopný generovat realistické odběrové profily teplé vody v minutovém časovém kroku. Program je založen na využití statistiky a statistického rozdělení odběrů podle zadáných okrajových podmínek. Uživatel zadá celkové množství odebrané teplé vody za den a charakterizuje typy odběrů zadáním průměrného průtoku za daný odběr, zadáním průměrné délky

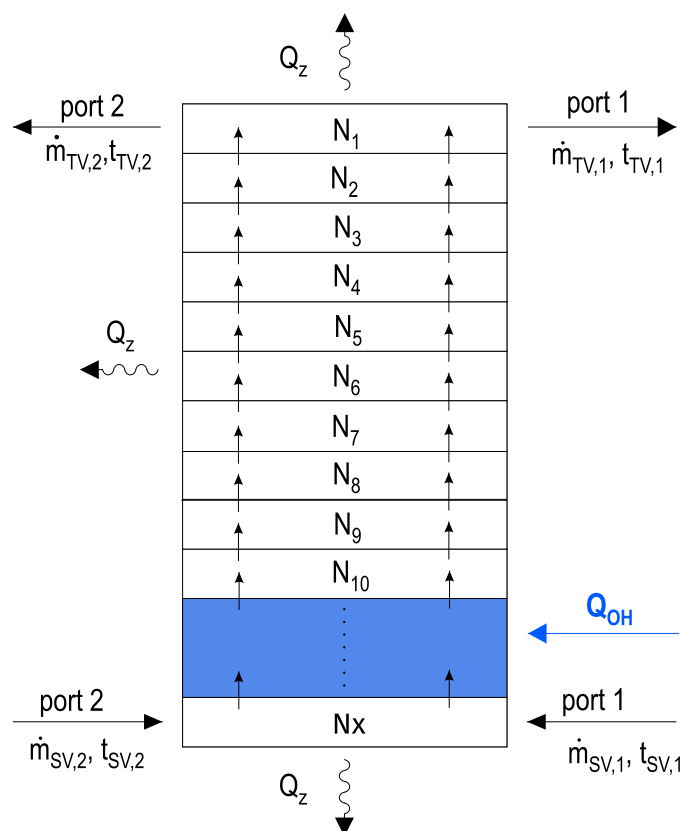
trvání daného odběru a podílu daného typu odběru na celkovém odebraném množství TV za den. Konkrétní hodnoty použité v rámci této práce se pro každý simulovaný objekt liší a jsou uvedeny v příslušných kapitolách. Dále je nutné definovat, s jakou pravděpodobností se dílčí odběry v odběrovém profilu vyskytují. Program nabízí více možností zadání, například pro rodinné domy byla využita volba DHW Standard Distributions, které již obsahuje předdefinované nastavení pravděpodobnostního rozdělení. Toto nastavení uvažuje pro malé a střední odběry konstantní pravděpodobnost výskytu přes den a nulový výskyt přes noc, pro odběry vany a sprchy uvažuje se špičkami ráno a večer. Pro bytový dům a modulární mycí boxy bylo definováno jiné rozdělení a je podrobněji popsáno dále v textu.

Ohříváče jsou modelovány pomocí modulu Type 158. V nastavení modulu se určí celkový objem vody v ohříváči a počet kontrolních objemů N_i , kterými se definuje úroveň stratifikace ohříváče. Hodnota $N_i = 1$ odpovídá plně promíchanému a hodnota $N_i = 100$ dokonale stratifikovanému ohříváči. Pokud je do ohříváče některým ze vstupních portů přivedeno určité množství vody o určité teplotě, dojde nejdříve ke sdílení tepla s vodou v kontrolním objemu, do kterého byla nová voda přivedena. Teprve po promíchání se množství tekutiny o výsledné teplotě $t_{v,i}$ přivede do sousedních kontrolních objemů, kde opět dochází ke sdílení tepla. Při výpočtu jsou uvažovány tepelné ztráty do okolí z vrchní části, z podstaty i z pláště ohříváče. Type 158 umožňuje nadefinovat dva vstupní a dva výstupní porty z ohříváče a jejich umístění. Proudění je modelováno tak, že vstupní port 1 je spárován s výstupním portem 1. Množství tekutiny o teplotě $t_{sv,1}$ vstupující do vstupního portu 1 prochází dílčími kontrolními objemy se kterými sdílí teplo a opouští ohříváč výstupním portem 1 při teplotě $t_{TV,1}$, jak je uvedeno na *Obr. 10 Schéma modulu Type 158*. V TRNSYSu v současné době nejsou k dispozici moduly pro modelování spalovacích komor a plynových přímo ohříváných zásobníků teplé vody. Plynové zásobníkové ohříváče je nutné modelovat zjednodušeně definováním množství energie dodané ze zdroje tepla QOH přes vstup nazvaný Auxiliary Heat Input. Uživatel definuje množství a výšku vstupu, čímž specifikuje, do kterého z dílčích kontrolních objemů je energie přivedena. Z uvedeného vyplývá, že množství dodaného tepla do ohříváče nevychází z řešení rovnic spalování zemního plynu, ale je definováno napřímo výpočtem z rovnic pro modulaci výkonu. Z výše uvedených informací také plyne, že v rámci práce není možné vyhodnocovat provozní charakteristiky spojené s prací v kondenzačním režimu. Sestavené moduly ohříváčů byly ověřeny podle dat od výrobce. Porovnání charakteristik sestavených modulů a skutečných ohříváčů bylo provedeno přes nabíjecí a odběrové charakteristiky přípravy teplé vody. Ověření je uvedeno v navazujících kapitolách spolu s podrobným popisem nastavení parametrů modulu každého ze tří řešených ohříváčů.

Řídicí signál pro spuštění dohřevu vody v ohříváči a rovnice pro modulaci výkonu ohříváčů je řešen modulem Type 106. Modul monitoruje teplotu na termostatu v ohříváči a porovnává ji s uživatelsky nastavenou spínací teplotou se zohledněním nastavené hystereze. Pokud je teplota na termostatu nižší než nastavená spínací teplota mínus polovina nastavené hystereze, Type 106 generuje řídicí signál 1 pro dodávku energie. Řídicí signál je v rovnicích níže označen písmenem Y a je vstupem do rovnic pro modulaci výkonu ohříváče v modulu 4 (kalkulačka). Modulace dodávaného výkonu je řešena ekvitermně s bezpečnostní funkcí dodávky teplé vody pro případ odběrové špičky. Pokud není požadavek na pokrytí špičkového odběru TV, ohříváč moduluje výkon Q_{OH} ekvitermně v závislosti na venkovní teplotě t_{eB} , jak je naznačeno v prvním vztahu. Venkovní teplota je do modulu přivedena z Type 15, který načítá klimatická data. Logika zápisu vztahu říká, že pro teploty nižší než dolní limitní t_{e_limd} bude dodán maximální výkon Q_{OH_max} , pro teploty vyšší než horní limitní t_{e_limh} bude dodán minimální výkon Q_{OH_min} , který je možné modulací dosáhnout.

Pro modulaci výkonu při venkovních teplotách v oblasti mezi dolní a horní limitní teplotou platí poslední část vztahu. Ta uvádí, že pro oblast mezi t_{e_limd} a t_{e_limh} bude výkon ohřívače modulován lineárně podle venkovní teploty.

Pokud se vyskytne odběrová špička, ohřívač dodá maximální výkon Q_{DHW} bez ohledu na aktuální venkovní teplotu podle druhého vztahu. Druhý vztah uvádí, že pokud se na vyskytne větší než nulový průtok (odběr) teplé vody a zároveň bude teplota vody na termostatu t_{SET} nižší než nastavená limitní tlím ohřívač dodá maximální (jmenovitý) výkon Q_{OH_max} . V případě, že je teplota na termostatu vyšší než nastavená limitní teplota nebo v případě, že k odběru teplé vody na odběrná místa nedochází, je Q_{DHW} nulový a je dodáván výkon Q_{OH} vypočtený podle první rovnice. Poslední uvedený vztah zajišťuje výběr většího z obou vypočtených výkonů, tzn. výsledný výkon skutečně dodaný ohřívačem bude mít hodnotu Q_{OH_OUT} .



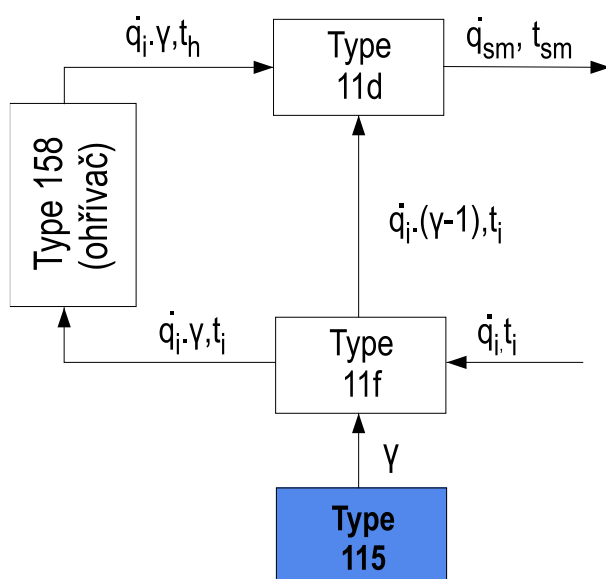
Obr. 10 Schéma modulu Type 158

Deskový protiproudý výměník modulárního systému je modelován pomocí modulu Type 5. Sdílení tepla v Type 5 je modelováno zjednodušeně výpočtem dle metody $\varepsilon - NTU$. Známými veličinami jsou hmotnostní průtoky a teploty obou pracovních kapalin na vstupech do výměníku. Parametrem je teplosměnná plocha výměníku A a hodnota celkového součinitele prostupu tepla U . Z těchto hodnot Type 5 dopočítává termickou účinnost ε a následně výstupní teploty obou proudů. Do modulu výměníku je nutné zadat součin $U \cdot A$ [W/K]. Výměník je simulován zjednodušeně a je předpokládáno, že součin UA zůstává při změně provozních parametrů konstantní. Součin UA je v pomocných výpočtech nutné navrhnout tak, aby byl výměník schopen výkon dodaný v teplé vodě na primární straně přenést do strany sekundární.

Modul potrubí umožňuje zohlednit tepelné ztráty v rozvodech otopné vody. Pro modelování potrubí je využit modul Type 31. Proud vstupující do modulu je rozdělen na několik segmentů, teplota vody vstupující z počátečního segmentu do následujícího je vždy nižší o tepelné ztráty.

Jako moduly směšovacích armatur je použit modul Type 11d, jako rozdělovací armatura modul Type 11f. V modulech dochází ke směšování, resp. rozdělování proudů podle směšovacích rovnic. V případě směšování se výstupní hmotnostní průtok se určí prostým součtem obou vstupních hmotnostních průtoků a teplota proudu po smísení ze směšovací rovnice, viz matematický manuál k TRNSYS. V případě rozdělovacích armatur je nutné definovat, v jakém poměru bude vstupní průtok rozdělen. Tento dělicí poměr je možné definovat buď jako parametr nebo jako proměnnou. Ta musí být určena externím regulátorem a následně přivedena na vstup do rozdělovací armatury. V práci je poměr definován jako proměnná a jako regulátor využit modul Type 115, který je podrobněji popsán dále v textu. Teploty po rozdělení zůstávají rovny teplotě vstupního proudu podle rovnic a průtoky se určí podle rovnic uvedených v matematickém manuálu TRNSYS.

Pro řízení směšování TV je využit modul Type 115. Ten slouží ke generování řídicího signálu, resp. rozdělovacího poměru γ pro rozdělovací ventil. Signál je generován tak, aby byla na výstupu ze směšovacího ventilu udržena požadovaná nastavená teplota. Pro řízení směšování otopné vody je také využit modul Type 115 pracující na stejném principu. Rozdíl je v nastavení požadované výstupní teploty ze směšovacího ventilu – v případě směšování TV byla nastavena jako parametr, ale v případě otopné vody je proměnná – její výpočet probíhá v ekvitermním regulátoru a je přivedena do modulu Type 115 jako vstup. Princip výpočtu je popsán na následujících stranách. Princip řízení směšování je naznačen na Obr. 11.

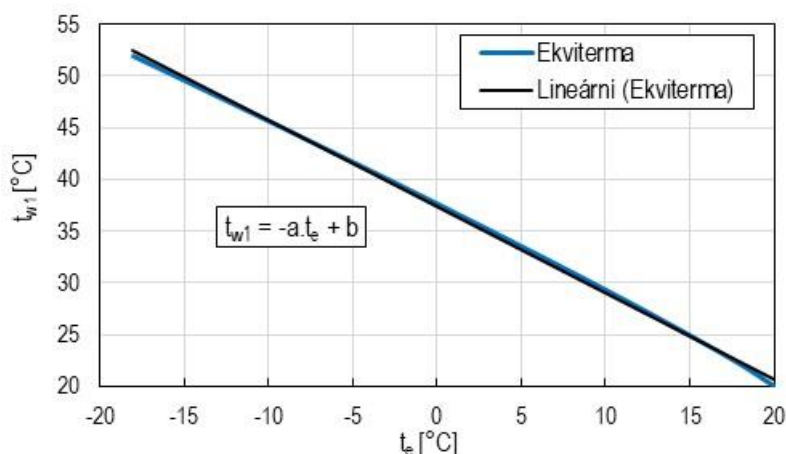


Obr. 11 Princip řešení směšování dle jednotlivých modulů TRNSYS

Pro modelování otopných ploch je využit modul Type 1231. Jeho parametrem je návrhový výkon, návrhová střední teplota otopné vody, návrhová teplota okolního vzduchu, koeficient počtu trubek, vnitřní průměr potrubí a návrhový exponent n , který charakterizuje typ zvolené otopné plochy.

Ekvitermní regulace slouží k regulaci teploty teplé vody vstupující do primárního okruhu systému vytápění. Teplota otopné vody je regulována směšováním pomocí Type 115 a Type 11d tak, aby bylo na výstupu dosaženo vypočtené ekvitermní teploty.

Ekvitermní křivky je možné aproximovat polynomem 1. nebo 2. řádu. Pro zjednodušení výpočtu byla zvolena aproximace polynomem 1. řádu, který vykazoval hodnotu spolehlivosti proložení $R^2=0,999$, což je pro účely práce dostačující. Pro ukázkou je na Obr. 12 zobrazena rovnice ekvitermní křivky pro rodinný dům s podlahovou otopnou plochou simulovaný v kombinaci s ohřívačem IR 12-160. Výsledná rovnice byla implementována do TRNSYSu pomocí modulu 1 (kalkulačka).



(1)

Obr. 12 příklad možného sestavení ekvitermní křivky pro podlahovou otopnou plochu

Čerpadlo primárního a sekundárního otopného okruhu je modelováno pomocí modulu Type 110. V primárním okruhu je uvažováno čerpadlo pracující s konstantními otáčkami. V sekundárním okruhu je uvažováno čerpadlo s proměnnými otáčkami. Díky změně otáček je schopné udržovat hmotnostní průtok na výstupu mezi dolní mezní hodnotou a maximální hodnotou a tím ovlivňovat výkon dodávaný do vytápěné zóny. Dolní mezní hodnota je nastavena na hodnotu 0,2 z důvodu zachování stability výpočtu. Změna hmotnostního průtoku probíhá lineárně s hodnotou řídicího signálu γ . Řídicí signál γ je generován pomocí modulu PI regulátoru Type 23. Provoz oběhového čerpadla sekundárního okruhu vytápění je řízen pomocí Type 23, který představuje PID regulátor. Derivační složka regulátoru byla vyřazena a do simulace byl použit jako PI regulátor. Odečet parametrů pro nastavení PI regulátoru byl proveden metodou Zieglera–Nicholse z odezvy systému na jednotkový skok řídicího signálu. Odezva byla zjištěna v simulaci tak, že byl od budovy odpojen modul simulující klimatická data, vnitřní a vnější zisky. Venkovní teplota byla nastavena manuálně na stejnou teplotu, jaká byla manuálně nastavena v zóně. Čerpadlo nejdříve pracovalo s řídicím signálem 0 (tzn. stav vypnuto), který byl následně skokově zvýšen na hodnotu 1 a byl zaznamenán nárůst teploty v zóně. Zjištěná odezva byla využita pro nastavení parametrů PI regulátoru.

Pro zjednodušení nejsou v matematických simulacích uvažovány tepelné ztráty v rozvodech teplé vody na odběrná místa, jsou uvažovány pouze pro rozvody systému vytápění. Tepelné ztráty v rozvodech je zpravidla nutné uvažovat zejména v bytových domech, ale v rámci této práce je scénář pro bytový dům již v základu navržen tak, aby nevyhověl, proto nebyla přidána další zátěž v podobě ztrát. V modelovém případě rodinného domu a v automyčce by netvořily zásadní podíl na celkové potřebě tepla pro přípravu teplé vody, proto nebyly do modelu zahrnuty.

2.4 Popis značení a odečtu veličin z numerického modelu

Pro vyhodnocení provozních a odběrových charakteristik jsou z modelu to textového souboru vytištěny následující veličiny:

Teplota v zóně

t_i

Teplota a průtok teplé vody po smísení

$t_{45^{\circ}\text{C}}, q_{45^{\circ}\text{C}}$ příp. $t_{50^{\circ}\text{C}}, q_{50^{\circ}\text{C}}$

Teplota a průtok studené vody

$t_{\text{SV}}, q_{\text{SV}}$

Teplota a průtok teplé vody do prim. okruhu vytápění

$t_{\text{W1}}, \dot{m}_{\text{W}}$

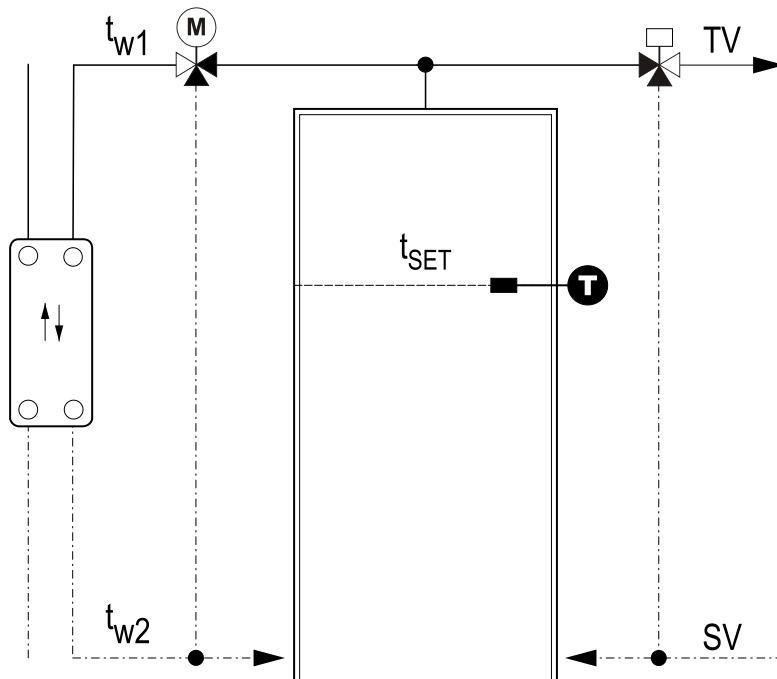
Teplota na termostatu

t_{SET}

Výkon dodaný ohřivačem

Q_{OH}

Pokud je v navazujícím textu uvedeno teplota teplé vody, je tím myšlena teplota teplé vody odečítaná za směšovací ventilem teplé vody podle Obr. 21 níže. Teplota je dále v textu označena podle požadované nastavené hodnoty, například pokud je na směšovacím ventilu nastaven požadavek na teplotu po smísení 45°C , teplota bude označena jako $t_{45^{\circ}\text{C}}$. Pokud je dále v textu uvedeno teplota teplé vody do vytápění, je tím myšlena teplota t_{W1} odečítaná za motorickým směšovacím ventilem vytápění podle Obr. 13 níže.



Obr. 13 Příklad možného sestavení ekvtermní křivky pro podlahovou otopnou plochu

2.5 Popis řešených scénářů nasazení „Modulárního systému“

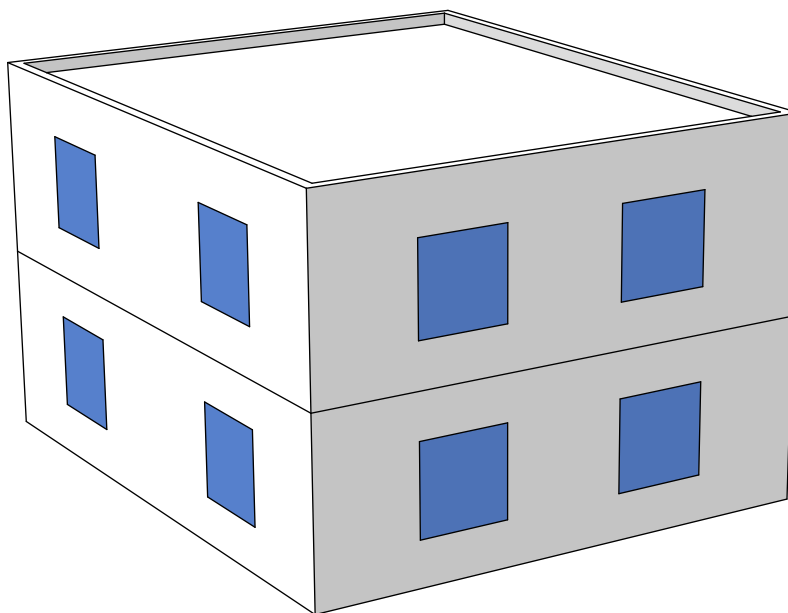
V části kapitole je uveden popis jednotlivých řešených scénářů a jejich hlavní parametry zadávané do numerického modelu. Pro každý scénář jsou uvedeny základní parametry modulu budovy a parametry ohřivače. Na závěr je pro každý scénář uvedena souhrnná tabulka nejdůležitějšího nastavení všech použitých modulů.

Scénář A: Ohřivač IR 12-160 v rodinném domě

Scénář A představuje modelovou situaci současných novostaveb rodinných domů s nízkou tepelnou ztrátou. Je uvažováno, že se rodinný dům nachází v Praze a použitý ohřivač IR 12-160 slouží k vytápění a přípravě teplé vody pro čtyřčlennou rodinu.

Model budovy Obr. 14 je uvažován zjednodušeně jako jednozónový a má tepelnou ztrátu 4,6 kW při návrhových podmínkách, tzn. venkovní výpočtová teplota $t_{\text{e}} = -15^{\circ}\text{C}$ a požadovaná vnitřní

výpočtová teplota $t_i = 20\text{ °C}$. Zasklení tvoří 18 % z povrchu obálky budovy. Budovu obývá čtyřčlenná rodina. Je uvažována podlahová otopná plocha s návrhovým teplotním spádem 45/35 °C. Dimenzování modulu výměníku tepla bylo provedeno metodou středního logaritmického teplotního spádu.



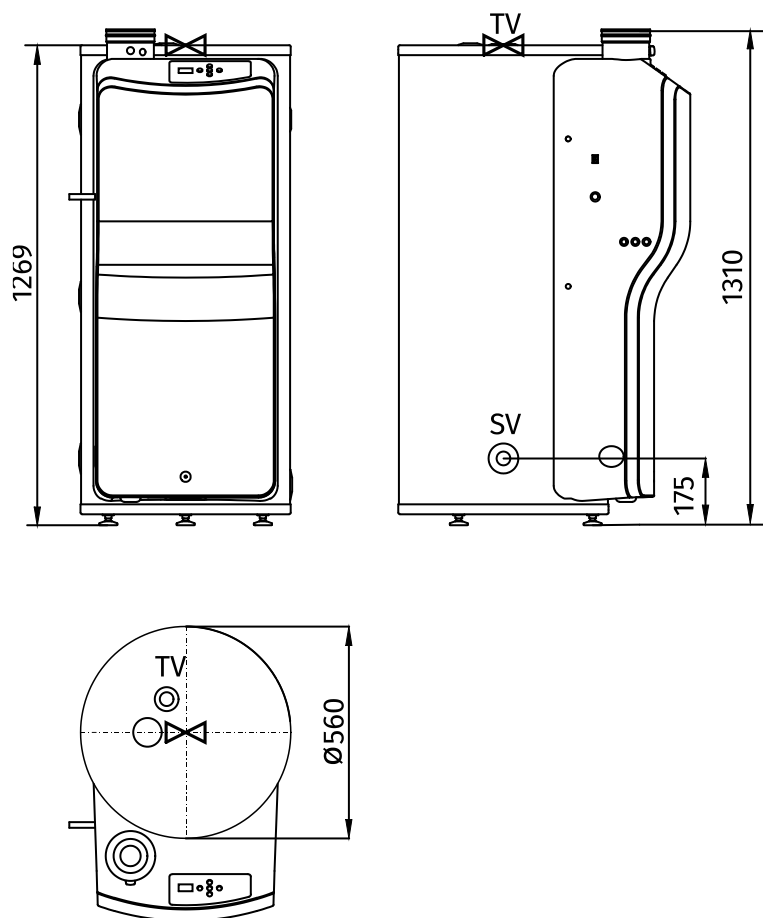
Obr. 14 Referenční budova rodinného domu

Tabulka 1 - Parametry referenční budovy rodinného domu

Budova	RDREF
Lokalita	Praha
Vytápěná podlahová plocha	170 m ²
Počet podlaží	2
Počet obyvatel	4
Počet zón	1
Součinitel tepelných ztrát prostupem	130 W/K
Podíl zasklení	18 %
Otopný systém	podlahové vytápění
Návrhový teplotní spád sekundárního okruhu vytápění	45/35 °C
Požadovaná vnitřní výpočtová teplota	20 °C
Venkovní výpočtová teplota	-15 °C
Návrhový průtok otopnou soustavou	390 kg/h
Teplosměnná plocha výměníku (při $U_{prům} = 2500\text{ W/m}^2\text{K}$, $LMTD = 7,05\text{ K}$)	0,26 m ²
Poměr jmenovitého výkonu pro přípravu TV a vytápění	1,4

Použitý ohřívač IR 12–160 Obr. 15 je plynový kondenzační zásobníkový ohřívač o jmenovitém výkonu 11,7 kW, užitém objemu 160 litrů a třídě energetické účinnosti A. Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, ohřívač je modelován zjednodušeně definováním množství energie dodané přímo do teplé vody, charakteristiky výměníku nejsou zohledňovány, a proto nejsou blíže popsány. Spínací teplota termostatu je nastavitelná v rozsahu 40 až 85 °C, hystereze je

nastavitelná v rozsahu 2 až 15 K. Z výroby je přednastavena spínací teplota 65 °C a hystereze 10 K.



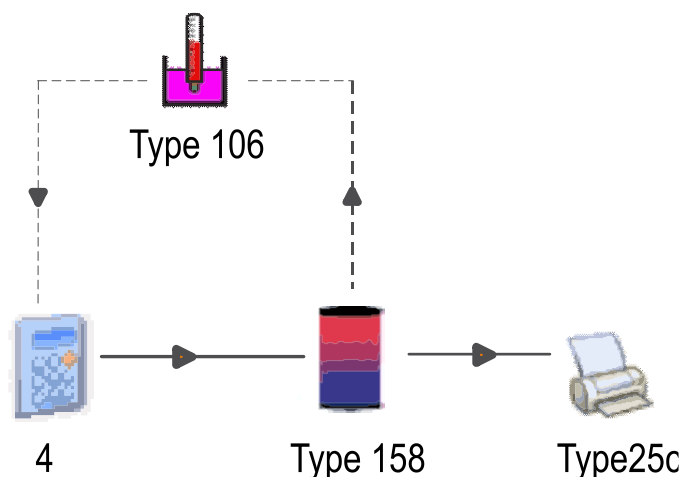
Obr. 15 Rozměrové schéma ohřívače IR 12-160

Parametry ohřívače IR 12-160

Ohřívač	Model IR 12-160
Objem ohřívače	160 litrů
Jmenovitý výkon ohřívače	11,7 kW
Výška ohřívače	1,27 m
Výška připojení studené vody	0,18 m
Výška výstupu teplé vody	1,27 m
Výška umístění termostatu	0,89 m

Pro simulaci zkoušky je zásadní, že reálné měření probíhá při teplotě vody v ohřívači $65\text{ °C} \pm 3\text{ K}$ a při teplotě okolí $20\text{ °C} \pm 3\text{ K}$ po dobu 24 hodin což bylo v laboratořích po celou dobu měření splněno. Při zkoušce se vyhodnocuje průměrná denní spotřeba elektrické energie dodávané pro udržení ohřívače na předepsané teplotě. Výhodou simulačního řešení je možnost vyhodnocovat přímo tepelnou ztrátu, kterou simulační nástroj umožňuje vytisknout jako výstup. V případě řešeného ohřívače IR 12-160 udává výrobce třídu energetické účinnosti A. Přičemž by bylo vhodné, aby statická ztráta simulačního modelu vycházela přibližně uprostřed tohoto intervalu, tzn. okolo hodnoty $S = 35,3\text{ W}$. Pro ověření těchto parametrů byl v simulačním programu sestaven pomocný numerický model podle Obr. 16. Type 25c slouží k tisku výsledků do textového souboru. Type 158 představuje ohřívač, Type 106 slouží k sepnutí ohřevu a monitorování teploty na termostatu

v ohřivači. Modul 4 slouží k dodávce energie do ohřivače. Energie byla dodávána tak, aby byla teplota vody v ohřivači trvale udržována na hodnotě 65 °C. Teplota okolí byla nastavena na 20 °C.



Obr. 16 Pomocný model pro ověření statické ztráty ohřivače

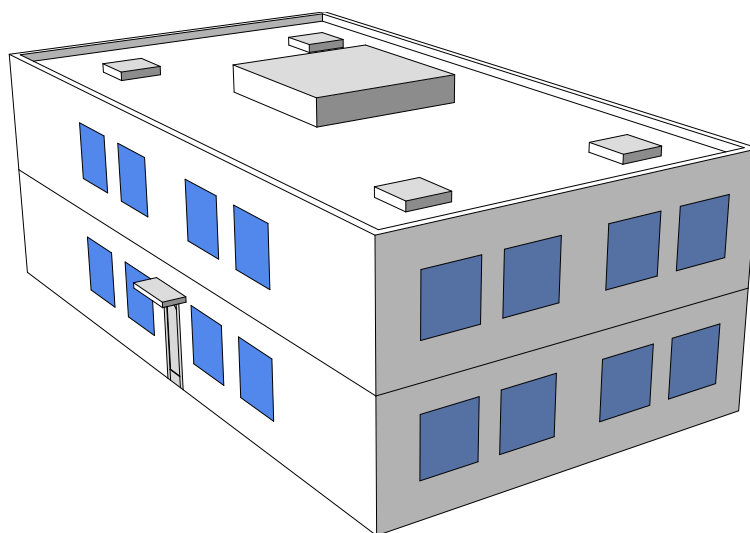
Tepelně izolační vlastnosti modelu se nastavují přes parametr Koeficient (tepelné) ztráty (Loss Coefficient). Za tento koeficient byly postupně dosazovány různé hodnoty a byla sledována statická ztráta ohřivače za 24 hodin při teplotě vody v ohřivači 65 °C a teplotě okolí 20 °C. Z této ztráty byla určena průměrná tepelná ztráta ohřivače za 24 hodin a ta byla porovnána s požadavkem uvedeným výše. Za vyhovující hodnotu koeficientu tepelné ztráty považuji 0,43 W/m²·K, tzn. 1,55 kJ/h·m²·K, při němž byla dosažena hodnota průměrné statické ztráty 35,5 W. Tento koeficient je nastaven do modelu pro všechny navazující simulace. V Tabulce 5 na následující straně je uveden souhrn nastavení základního modelu pro simulaci ohřivače IR 12-160. Pod tabulkou jsou uvedeny použité rovnice pro modulaci výkonu ohřivače a použité rovnice pro ekvitermní řízení směšování v primárním okruhu vytápění.

Souhrn nastavení modelu pro simulaci ohřívače IR 12–160

Komponenta	Parametr	Hodnota	Jednotka	Modul
Ohřívač	Jmenovitý výkon	11,7	kW	Type 158
	Objem ohřívače	160	l	
	Výška ohřívače	1,27	m	
	Počet kontrolních objemů	25	–	
	Relativní výška portu 1 a 2 – vstupní	0,138	–	
	Relativní výška portu 1 a 2 – výstupní	1	–	
	Relativní výška umístění termostatu	0,7	–	
	Relativní výška umístění zdroje tepla	0,39	–	
	Součinitel prostupu tepla podstavy, plášť	0,43	W/m2K	
Čerpadlo	Jmenovitý průtok okruh zdroje tepla	390	kg/h	Type 110
	Jmenovitý průtok otopným systémem	390	kg/h	
Potrubí	Vnitřní průměr	0,035	m	Type 31
	Součinitel prostupu tepla	0,075	W/m2K	
Výměník	Součin UA	648	W/K	Type 5b
Otop. těleso	Návrhový výkon	4,6	kW	Type 1231
	Návrhová střední teplota otopné vody	40	°C	
	Návrhová vnitřní výpočtová teplota	20	°C	
	Exponent n	1,1	–	
Budova	Součinitel tepelných ztrát prostupem neprosklenými konstrukcemi	91	W/K	Type 660
	Tepelná kapacita	218286	kJ/K	
	Objem	510	m3	
Okno	Plocha oken celkem	36	m2	Type 687
	Součinitel prostupu tepla	0,27	W/m2	
	SHG koeficient	0,25	–	
PI regulátor	K	1,29	–	Type 23
	Ti	0,45	–	

Scénář B: Ohřívač IR 20-200 v bytovém domě

Scénář B představuje modelovou situaci nevhodného návrhu ohřívače vzhledem k parametrům připojené budovy. Návrhová tepelná ztráta simulovaného objektu představuje 89 % jmenovitého výkonu ohřívače. Očekávaným výstupem ze simulace tohoto scénáře je, že ohřívač bude mít problém splnit požadavky na vytápění a přípravu teplé vody. Model budovy je uvažován zjednodušeně jako jednozónový. Navržená referenční budova má tepelnou ztrátu 16,7 kW při návrhových podmínkách, tzn. venkovní výpočtová teplota $t_e = -15\text{ °C}$ a požadovaná vnitřní výpočtová teplota $t_i = 20\text{ °C}$. Zasklení tvoří 22 % z povrchu obálky budovy. Je uvažováno, že v bytovém domě žije celkem 12 domácností. Je uvažována podlahová otopná plocha s návrhovým teplotním spádem 45/35 °C. Navržený výměník tepla má teplosměnnou plochu 0,95 m².



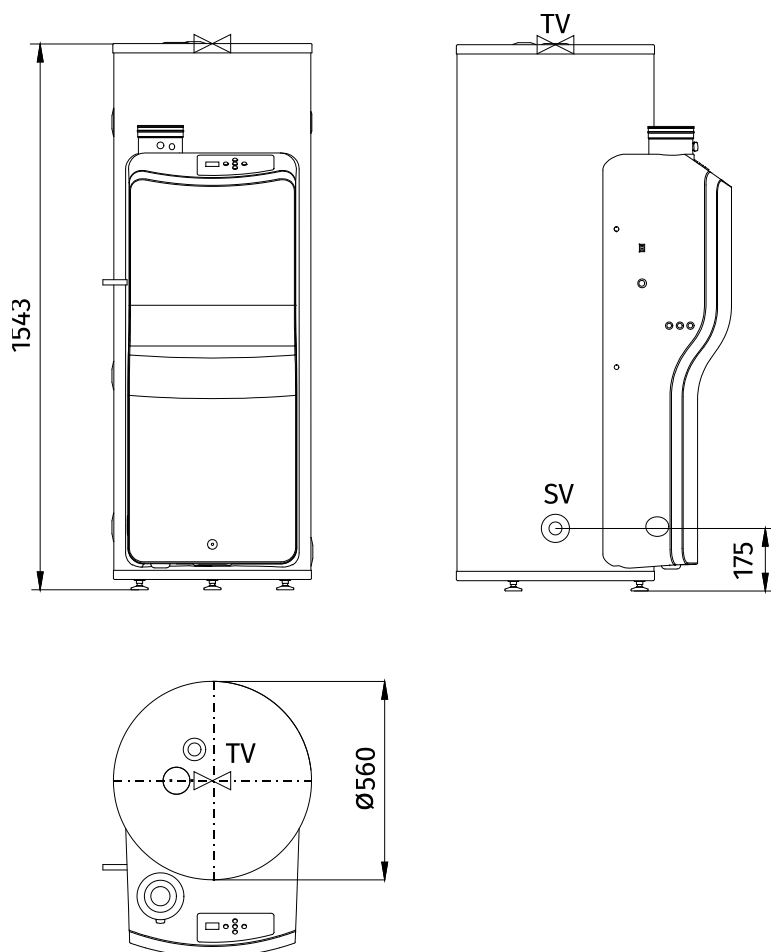
Obr. 17 Referenční budova bytového domu

Hlavní charakteristiky referenčního bytového domu

Budova	BDREF
Lokalita	Praha
Vytápěná podlahová plocha	900 m ²
Počet podlaží	2
Počet obyvatel	30
Počet zón	1
Součinitel tepelných ztrát prostupem	477 W/K
Podíl zasklení	20 %
Otopný systém	Podlahové vytápění
Návrhový teplotní spád otopného systému	45/35 °C
Požadovaná vnitřní výpočtová teplota	20 °C
Venkovní výpočtová teplota	-15 °C
Návrhový průtok otopnou soustavou	1425 kg/h
Teplosměnná plocha výměníku (při $U_{prům} = 2500 \text{ W/m}^2\text{K}$, LMTD = 7,05 K)	0,95 m ²
Poměr jmenovitého výkonu pro přípravu TV a vytápění	0,85

Ohřívač IR 20-200

IR 20–200 je plynový kondenzační zásobníkový ohřívač o jmenovitém výkonu 19,1 kW, užitém objemu 200 litrů a třídě energetické účinnosti A. Pro rozsah nastavení spínací teploty a hystereze na termostatu platí stejné hodnoty jako pro předchozí ohřívač.



Obr. 18 Rozměrové schéma ohřívače IR 20-200

Parametry ohřívače IR 20-200

Ohřívač	Model IR 20-200
Objem ohřívače	200 litrů
Jmenovitý výkon ohřívače	19,1 kW
Výška ohřívače	1,5 m
Výška připojení studené vody	0,18 m
Výška výstupu teplé vody	1,5 m
Výška umístění termostatu	1,1 m

Odhad tepelné ztráty zásobníku je opět proveden tak, aby průměrná statická ztráta zjištěná za periodu 24 hodin vyšla přibližně uprostřed intervalu, tzn. okolo hodnoty 37,7 W. Z provedené zkoušky vyplynulo, že za vyhovující hodnotu koeficientu tepelné ztráty lze považovat 0,38 W/m²K, tzn. 1,35 kJ/h·m²K, při němž byla dosažena požadovaná hodnota statické ztráty 37,4 W. Tento koeficient je nastaven do modelu pro všechny navazující simulace.

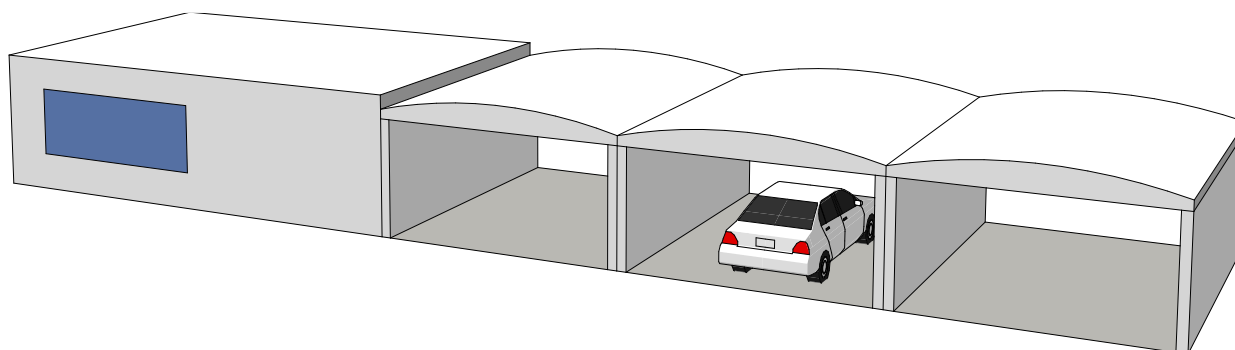
Souhrn nastavení modelu pro simulaci ohřívače IR 20–200

Komponenta	Parametr	Hodnota	Jednotka	Modul
Ohřívač	Jmenovitý výkon	19,1	kW	Type 158
	Objem ohřívače	200	litrů	
	Výška ohřívače H	1,5	m	
	Počet kontrolních objemů	38	–	
	Relativní výška portu 1 a 2 – vstupní	0,12	–	
	Relativní výška portu 1 a 2 – výstupní	1	–	
	Relativní výška umístění termostatu	0,7	–	
	Relativní výška umístění vstupu zdroje tepla	0,2	–	
	Součinitel prostupu tepla podstavy, plášť	0,38	W/m2K	
Čerpadlo	Jmenovitý průtok okruh zdroje tepla	1425	kg/h	Type 110
	Jmenovitý průtok otopným systémem	1425	kg/h	
Potrubí	Vnitřní průměr	0,05	m	Type 31
	Součinitel prostupu tepla	0,075	W/m2K	
Výměník	Součin UA	2366	W/K	Type 5b
Otop. těleso	Návrhový výkon	16,7	kW	Type 1231
	Návrhová střední teplota otopné vody	40	°C	
	Návrhová vnitřní výpočtová teplota	20	°C	
	Exponent n	1,1	–	
Budova	Součinitel tepelných ztrát prostupem	477	W/K	Type 660
	Tepelná kapacita	620743	kJ/K	
	Objem	2430	m3	
Okno	Plocha oken celkem	86	m2	Type 687
	Součinitel prostupu tepla	0,27	W/m2	
	SHG koeficient	0,25	–	
PI regulátor	K	4,5	–	Type 23
	Ti	0,96	–	

Scénář C: Ohřívač IR 32-380 v mycím centru

Scénář C představuje typickou situaci v objektu s nízkou tepelnou ztrátou. Rozdílem oproti scénáři A jsou charaktery odběrů teplé vody, které se v objektu vyskytují. Na rozdíl od scénáře A se nejedná o krátké nahodilé odběry, ale o pravidelné dlouhotrvající odběry. Ty představují výrazně odlišný charakter zatížení než odběry v rodinném domě. Podoba uvažovaného mycího centra je schematicky znázorněna na Obr. 19 níže. Pro účely simulací je uvažováno, že je vytápěna pouze buňka pro zaměstnance. Většina samoobslužných mycích stanic má vzhledem k potřebě zabránit vzniku námrazy v zimním období zavedeno také podlahové vytápění pod mycími boxy, nicméně v rámci této práce není uvažováno. Uvažovat podlahové vytápění pod boxy by znamenalo zásadním způsobem přestavět model a provést řadu pomocných výpočtů, což vzhledem k rozsahu práce není možné. Buňka pro zaměstnance je uvažována jako jednozónová a má tepelnou ztrátu 3 kW při návrhových podmínkách, tzn. při venkovní výpočtové teplotě $t_e = -15\text{ °C}$ a požadované vnitřní výpočtové teplotě $t_i = 20\text{ °C}$. Zasklení tvoří 7 % z povrchu obálky buňky. Pro vytápění buňky pro zaměstnance je navržena podlahová otopná plocha s návrhovým teplotním spádem 45/35 °C.

Navržený výměník má teplosměnnou plochu 0,19 m². Myčka je provozována nepřetržitě po celý den 7 dní v týdnu. V čase od 7.00 do 16.00 je přítomen jeden zaměstnanec zajišťující obsluhu myčky, mimo tento časový úsek je buňka pro zaměstnance neobsazená. Je uvažováno, že část buňky pro zaměstnance zabírá vytápěný technologický box, ve kterém je umístěn ohřívač, chemikálie a další komponenty pro zajištění mycího procesu. K buňce jsou připojena 3 krytá otevřená mycí stání.

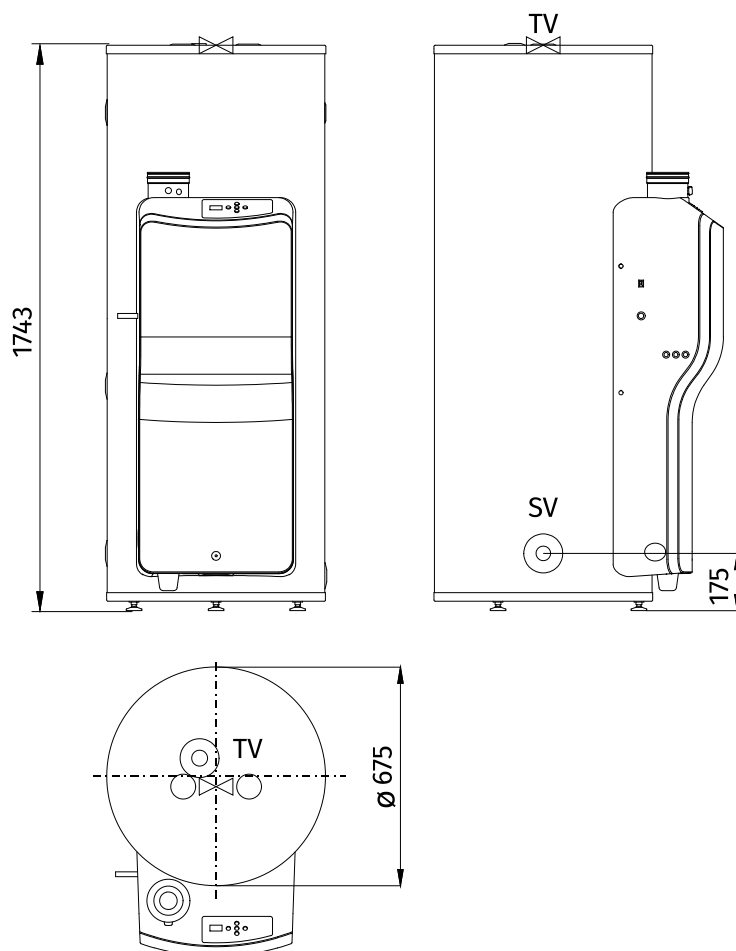


Obr. 19 Referenční objekt mycího centra

Parametry referenčního objektu automyčky

Budova	AMREF
Lokalita	Praha
Vytápěná podlahová plocha	67 m ²
Počet podlaží	1
Počet zaměstnanců	1
Počet zón	1
Součinitel tepelných ztrát prostupem	95 W/K
Podíl zasklení	7 %
Otopný systém	Podlahové vytápění
Návrhový teplotní spád otopného systému	45/35 °C
Požadovaná vnitřní výpočtová teplota	20 °C
Návrhová venkovní výpočtová teplota	-15 °C
Návrhový průtok otopnou soustavou	285 kg/h
Teplosměnná plocha výměníku (při $U_{prům} = 2500 \text{ W/m}^2\text{K}$, LMTD = 7,05 K)	0,19 m ²
Poměr jmenovitého výkonu pro přípravu TV a vytápění	7,7

Ohřívač IR 32-380



Obr. 20 Rozměrové schéma ohřívače IR 32-380

IR 32–380 je plynový kondenzační zásobníkový ohřívač o jmenovitém výkonu 31,3 kW, užitém objemu 380 litrů a třídě energetické účinnosti A. Stejně jako u předchozího případu je ohřívač modelován zjednodušeně definováním množství energie dodané přímo do teplé vody, a proto nejsou zohledňovány charakteristiky výměníku. Pro rozsah nastavení spínací teploty a hystereze na termostatu platí stejné hodnoty jako pro předchozí ohřívač.

Parametry ohřívače IR 32-380

Ohřívač	Model IR 32-380
Objem ohřívače	380 litrů
Jmenovitý výkon ohřívače	31,3 kW
Výška ohřívače	1,7 m
Výška připojení studené vody	0,17 m
Výška výstupu teplé vody	1,7 m
Výška umístění termostatu	1,2 m

Odhad statické ztráty byl proveden stejným postupem jako v případě předchozího ohřívače. Z provedené zkoušky vyplynulo, že za vyhovující hodnotu koeficientu tepelné ztráty lze považovat $0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$, tzn. $1,1 \text{ kJ/h}\cdot\text{m}^2\text{K}$, při němž byla dosažena požadovaná hodnota statické ztráty $45,6 \text{ W}$. Tento koeficient je nastaven do modelu pro všechny navazující simulace.

Souhrn nastavení modelu pro simulaci ohřívače IR 32–380

Komponenta	Parametr	Hodnota	Jednotka	Modul
Ohřívač	Jmenovitý výkon	31,3	kW	Type 158
	Objem ohřívače	380	l	
	Výška ohřívače	1,7	m	
	Počet kontrolních objemů	40	–	
	Relativní výška portu 1 a 2 – vstupní	0,1	–	
	Relativní výška portu 1 a 2 – výstupní	1	–	
	Relativní výška umístění termostatu	0,7	–	
	Relativní výška umístění zdroje tepla	0,15	–	
	Součinitel prostupu tepla podstavy, plášť	0,31	W/m ² K	
Čerpadlo	Jmenovitý průtok okruh zdroje tepla	285	kg/h	Type 110
	Jmenovitý průtok otopným systémem	285	kg/h	
Potrubí	Vnitřní průměr	0,035	m	Type 31
	Součinitel prostupu tepla	1,2	W/m ² K	
Výměník	Součin UA	473	W/K	Type 5b
Otop. těleso	Návrhový výkon	3,3	kW	Type 1231
	Návrhová střední teplota otopné vody	40	°C	
	Návrhová vnitřní výpočtová teplota	20	°C	
	Exponent n	1,1	–	
Budova	Součinitel tepelných ztrát prostupem	95	W/K	Type 660
	Tepelná kapacita	105063	kJ/K	
	Objem	181	m ³	
Okno	Plocha oken celkem	6	m ²	Type 687
	Součinitel prostupu tepla	0,27	W/m ²	
	SHG koeficient	0,25	–	
PI regulátor	K	4,5	–	Type 23
	Ti	1,14	–	

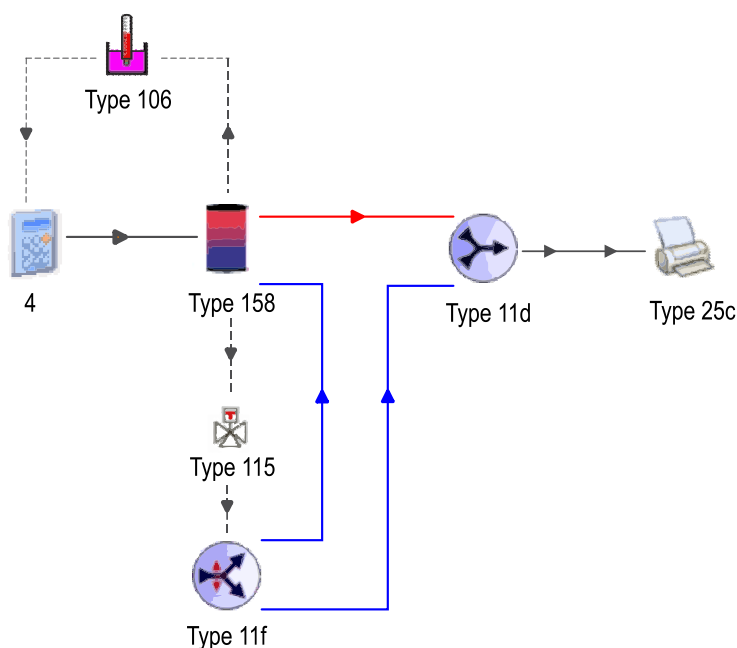
2.6 Verifikace matematických modelů ohřívačů

Vzhledem k tomu, že bylo zanedbáno sdílení tepla mezi výměníkem a vodou v ohřívači a dodávka výkonu je simulována zjednodušeně, je nutné ověřit, jestli charakteristiky ohřívače z numerického modelu odpovídají charakteristikám skutečného ohřívače. Porovnání s daty od výrobce je nutné také vzhledem k tomu, že je potřeba zkontrolovat správnost zadání počtu kontrolních objemů do modulu ohřívače. Počet kontrolních objemů ovlivňuje stratifikaci, a tedy i charakteristiky nabíjení a vybíjení ohřívače. Níže uvedené porovnání je myšleno pouze jako orientační kontrola, nikoli jako ověření modelu v plné míře. Pro kontrolu byly sestaveny dva pomocné TRNSYS modely. Kontrola proběhla dvěma testy:

- Test nabíjecí charakteristiky
- Test odběrové charakteristiky – trvalý průtok teplé vody bez vlivu odběru do vytápění

Test nabíjecí charakteristiky byl proveden simulací jednorázového ohřevu vody v ohřivači z počáteční teploty 10 °C na konečnou teplotu 85 °C. Sledována byla teplota na termostatu, který byl umístěn ve třetí čtvrtině výšky ohřivače. Test trvalého průtoku teplé vody byl proveden porovnáním dat ze simulace a dat z měření od výrobce. Výrobce uvádí naměřené hodnoty průtoku teplé vody, které je ohřivač schopen trvale dodávat při určitém teplotním rozdílu mezi studenou a teplou vodou.

Pomocný numerický model sestavený pro test nabíjecí charakteristiky je shodný s modelem pro zkoušku koeficientu tepelné ztráty z Obr. 21. Type 106, který monitoruje teplotu na termostatu a generuje řídicí signál pro sepnutí dodávky energie v tomto případě generuje signál pro dodávku energie okamžitě po spuštění simulace. Funkce modulace výkonu ohřivače nebyla použita a ohřivač po celou dobu jednorázového ohřevu dodával maximální množství energie. Na vstup do Type25c je přivedena sledovaná teplota na termostatu, která je vytištěna do textového souboru pro vyhodnocení. V Type 11f byla nastavena teplota studené vody 10 °C a příslušný průtok. V Type 115 byla nastavena požadovaná teplota teplé vody po smísení tak, aby odpovídala příslušnému teplotnímu rozdílu mezi studenou a teplou vodou. Např. pokud je požadovaný teplotní rozdíl mezi studenou a teplou vodou roven 55 °C a teplota studené vody je 10 °C, potom musí být teplota teplé vody po smísení nastavena na 65 °C. Type 106 a Modul 4 slouží k dodávce energie do ohřivače. Opět nebyla uvažována modulace, ale trvalá dodávka jmenovitého výkonu daného ohřivače. Pro vyhodnocení byl snímán průtok a teplota teplé vody na výstupu ze směšovacího ventilu Type 11d, které byly pomocí Type 25c vytištěny do textového souboru pro vyhodnocení.

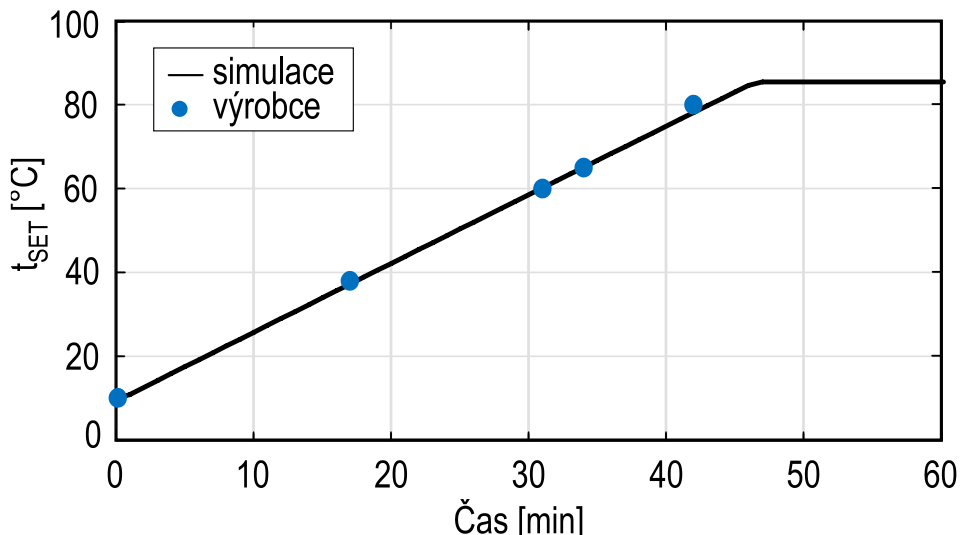


Obr. 21 Pomocný numerický model pro zkoušku odběrové charakteristiky

Ověření kvality modelu ohřivače IR 12-160

Test nabíjecí charakteristiky byl proveden pomocí pomocného modelu Obr. 21. Počet kontrolních objemů ohřivače byl nastaven na 25. Sledována byla teplota na termostatu, který byl umístěn ve třetí čtvrtině výšky ohřivače. Průběh nabíjecí charakteristiky získaný ze simulace byl porovnán

s kontrolními body, které uvádí výrobce v dokumentaci. Porovnání je znázorněno na Obr. 22 níže. Výrobce neuvádí nabíjecí charakteristiku ve formě křivky, ale pouze jako dosaženou teplotu v kontrolních časech 17, 27, 31, 34 a 42 minut. Číselné porovnání teplot dosažených v kontrolních bodech při simulaci s teplotami od výrobce je uvedeno v tabulce níže. Nejvyšší dosažená odchylka výsledků nabíjecí charakteristiky z numerického modelu oproti výsledkům skutečného měření je 2,3 %. Pro účely této práce je odchylka přijatelná a takto nastavený modul ohřívače vyhovuje.



Obr. 22 Grafické porovnání matematické simulace s daty od výrobce pro ohřívač IR 12-160

Číselné porovnání simulace s daty od výrobce

Čas kontroly		17 min	27 min	31 min	34 min	42 min
Dosažená teplota výrobce [°C]	–	38,0	54,0	60,0	65,0	80,0
Dosažená teplota simulace [°C]	–	37,2	53,6	60,1	65,1	78,1
Odchylka výrobce a simulace [%]	a	+2,20	+0,80	-0,20	-0,10	+2,30

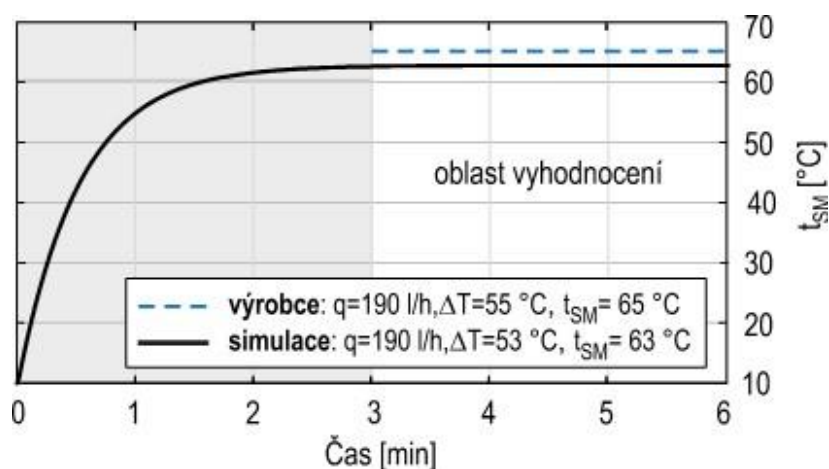
Test odběrové charakteristiky byl proveden pomocí druhého pomocného modelu. Počet kontrolních objemů ohřívače byl opět nastaven na 25. Podle výrobce je ohřívač IR 12-160 při uvažování teploty studené vody 10 °C schopen trvale dodávat:

- Teplou vodu průtokem 190 l/h při $\Delta T = 55$ °C, tzn. při teplotě po smísení $t_{sm} = 65$ °C
- Teplou vodu průtokem 210 l/h při $\Delta T = 50$ °C, tzn. při teplotě po smísení $t_{sm} = 60$ °C
- Teplou vodu průtokem 230 l/h při $\Delta T = 44$ °C, tzn. při teplotě po smísení $t_{sm} = 54$ °C

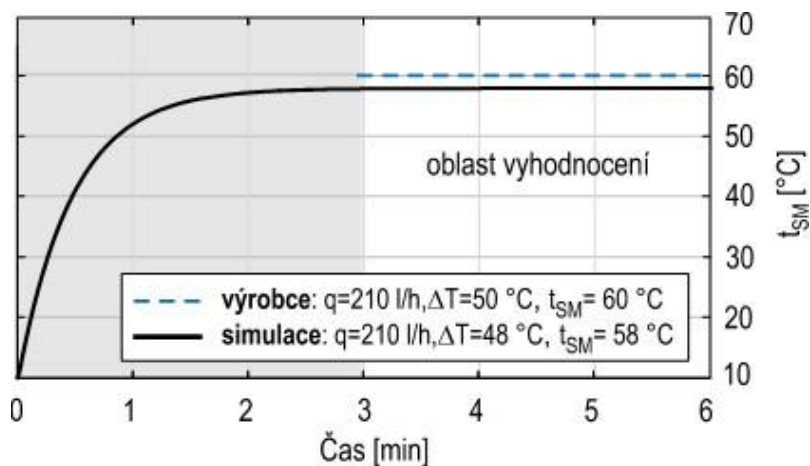
V numerickém modelu byla počáteční teplota vody v ohřívači nastavena na 10 °C a průtok trvale nastaven na požadovanou hodnotu podle výčtu výše. Voda v ohřívači byla nejdříve dohřáta na požadovanou teplotu, což je zobrazeno v první části grafu. Schopnost trvalé dodávky byla vyhodnocena po ustálení teploty na termostatu na požadované hodnotě, což je zobrazeno v druhé části grafu.

Při požadavku na trvalý průtok 190 l/h a $\Delta T = 55$ °C viz Obr. 23, resp. 210 l/h a $\Delta T = 50$ °C viz Obr. 24 nebyla při simulaci dodržena požadovaná teplota po smísení o 2 °C. Při průtoku 230 l/h a při požadavku na $\Delta T = 44$ °C viz Obr. 25 byla teplota po smísení dodržena. Pro účely výzkumu

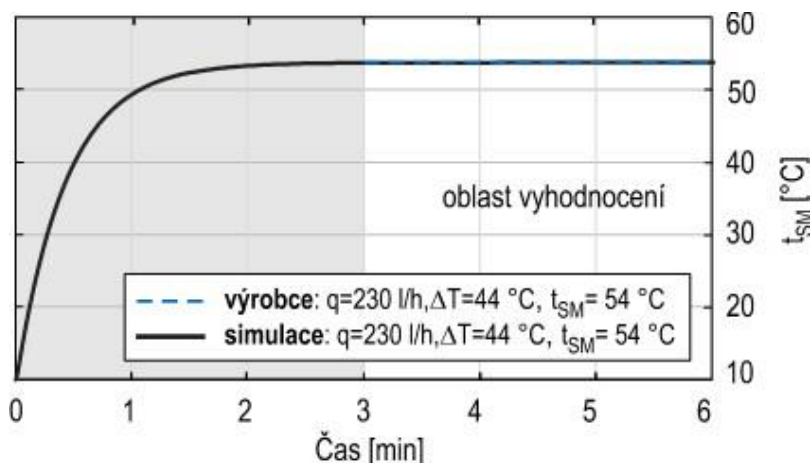
v oblasti přímých ohřivačů vody lze tyto výsledky považovat za vyhovující. I přes zanedbání vlivu výměníku tepla a jeho nahrazení prostým definováním dodaného množství energie přes vstup Auxiliary Heat Input se podařilo dosáhnout hodnot uváděných výrobcem pouze s malou odchylkou.



Obr. 23 Charakteristika trvalé dodávky pro průtok 190 l/h



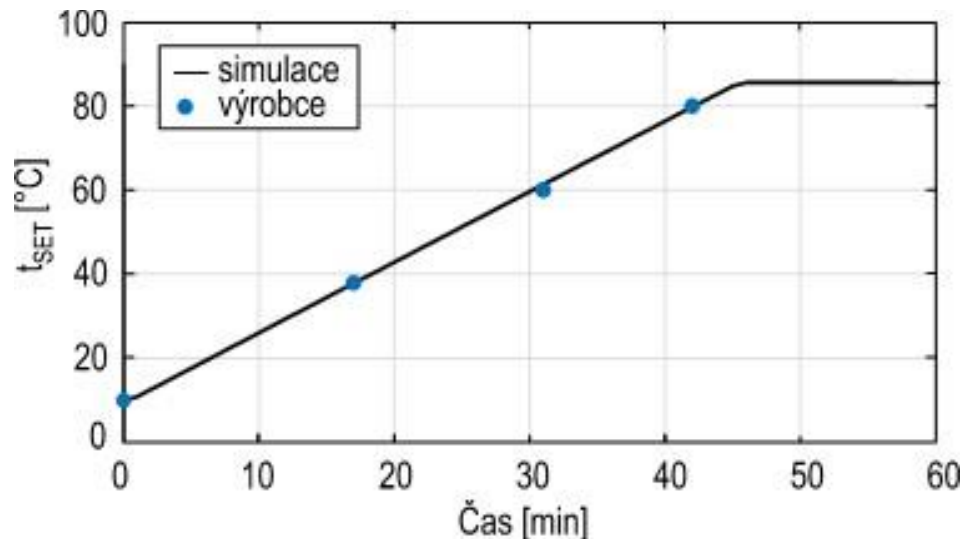
Obr. 24 Charakteristika trvalé dodávky pro průtok 210 l/h



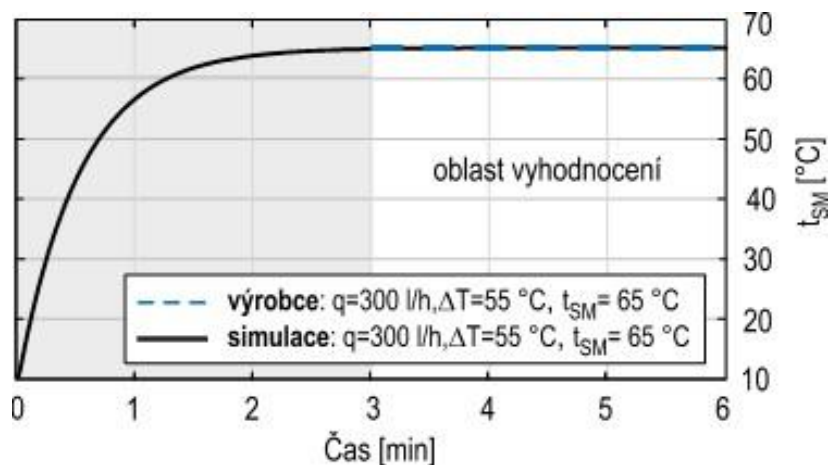
Obr. 25 Charakteristika trvalé dodávky pro průtok 230 l/h

Ověření kvality modelu ohřivače IR 20-200

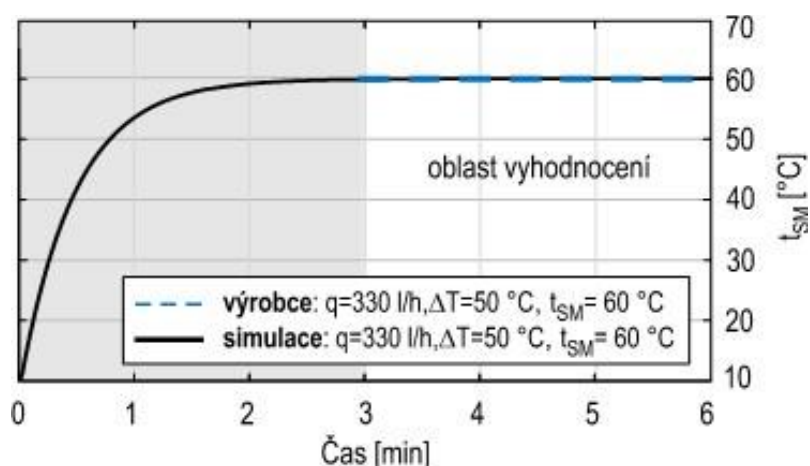
Porovnání nabíjecí charakteristiky numerického modelu ohřivače s daty od výrobce je na Obr. 26 níže a dále je Obr. 27, Obr. 28 a Obr. 29 uvedeno porovnání simulace trvalé dodávky průtoku s daty od výrobce. Vzhledem dosaženým výsledkům považuji zvolené nastavení modulu ohřivače pro účely této práce za vyhovující. Počet kontrolních objemů ohřivače byl nastaven na 38.



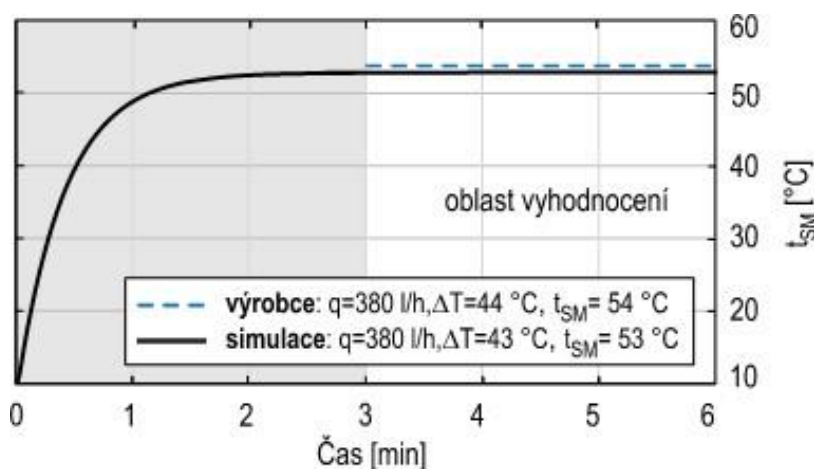
Obr. 26 Grafické porovnání matematické simulace s daty od výrobce pro ohřivač IR 20-200



Obr. 27 Charakteristika trvalé dodávky pro průtok 300 l/h



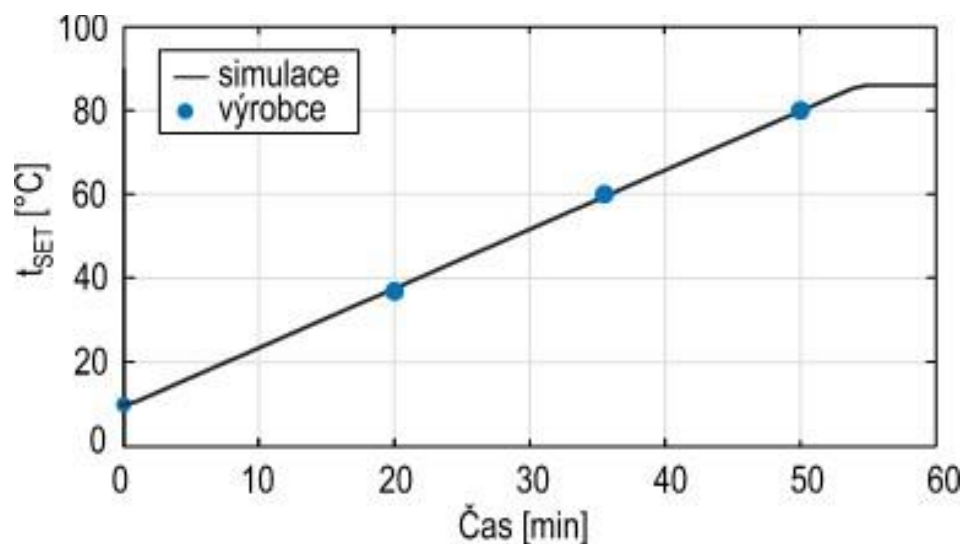
Obr. 28 Charakteristika trvalé dodávky pro průtok 330 l/h



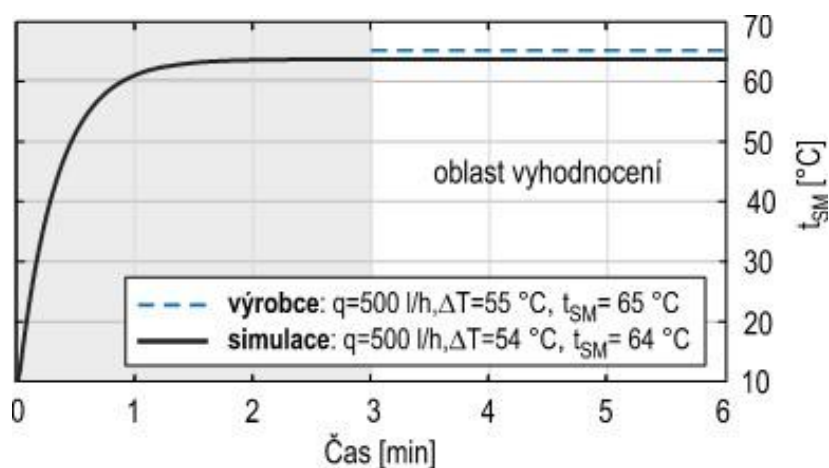
Obr. 29 Charakteristika trvalé dodávky pro průtok 380 l/h

Ověření kvality modelu ohřivače IR 32-380

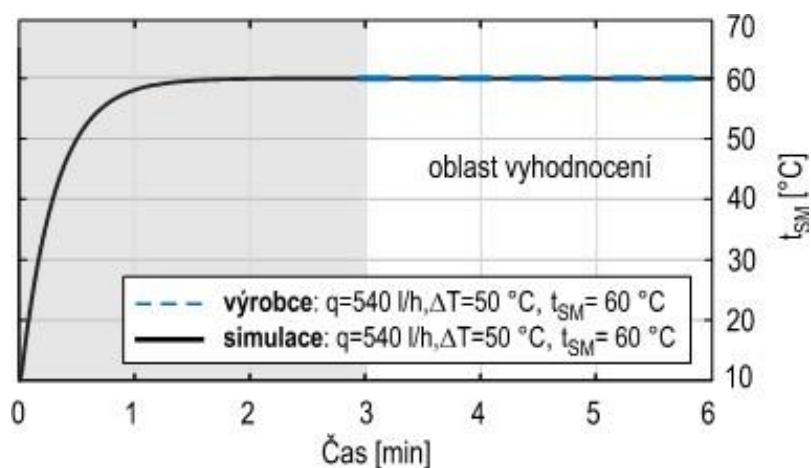
Porovnání nabíjecí charakteristiky numerického modelu ohřivače s daty od výrobce je uvedeno na Obr. 30 níže. Na Obr. 31, Obr. 32 a Obr. 33 je uvedeno porovnání simulace trvalé dodávky průtoku s daty od výrobce. Vzhledem dosaženým výsledkům považuji zvolené nastavení modulu ohřivače pro účely této práce za vyhovující. Počet kontrolních objemů byl nastaven na 40.



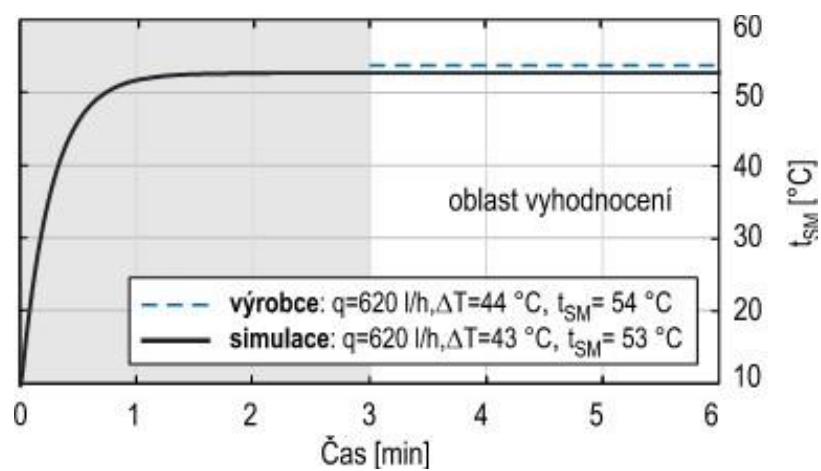
Obr. 30 Grafické porovnání matematické simulace s daty od výrobce pro ohřivač IR 32-380



Obr. 31 Charakteristika trvalé dodávky pro průtok 500 l/h



Obr. 32 Charakteristika trvalé dodávky pro průtok 540 l/h



Obr. 33 Charakteristika trvalé dodávky pro průtok 620 l/h

3 Vyhodnocení celoročního provozu matematického modelu „Modulárního systému“

Pro každý ohřívač jsou uvedeny výsledky parametrické studie optimálního nastavení, výsledky testu odběrové charakteristiky při zatížení jednorázovým souvislým odběrem, je zhodnocena hranice limitního zatížení ohřívače a jsou uvedeny výsledky testu provozní a odběrové charakteristiky při zatížení zátěžovým profilem vyhodnocené pro vybrané typické dny a následně vyhodnocené pro celoroční provoz.

3.1 Výsledky pro scénář A: ohřívač IR 12-160 v rodinném domě

Parametrická studie pro určení optimálního nastavení

Cílem parametrické studie je určení optimálního nastavení spínací teploty a hystereze na termostatu. Parametrickou studii je nutné provést, protože nevhodné nastavení by mohlo negativně ovlivnit výsledky simulace. Jak bylo uvedeno v rešeršní části práce, výška umístění termostatu, nastavená spínací teplota a hystereze mohou významně ovlivňovat uživatelský komfort dodávky teplé vody.

Výška umístění termostatu je dána konstrukcí ohřívače, ale spínací teplota a hystereze je nastavitelná volitelně v rozsahu 40 až 85 °C, resp. 2 až 15 K. Z výroby je dle výrobce přednastavena hystereze 10 K a spínací teplota 65 °C. Ta je pro řešený systém zbytečně vysoká. Do parametrické studie jsou vybrány spínací teploty použitelné pro řešený systém tzn. 50 a 55 °C a hystereze 2, 10 a 15 K. Tento výběr dává celkem 6 kombinací, které jsou shrnuty v další tabulce níže. Jako indikátory pro výběr optimálního řešení byly zvoleny ukazatele provozní a odběrové charakteristiky a ukazatel udržení požadované teploty v zóně. Hledaná je taková kombinace nastavení, při které bude počet startů za rok nejmenší, průměrná souvislá doba chodu ohřívače co nejdelší a zároveň budou splněny požadavky dodávku teplé vody a udržení teploty v zóně.

Pro každou z uvedených kombinací byla provedena roční simulace s časovým krokem 1 minuta. Simulace proběhla pro referenční nastavení shrnuté v kapitole 2. Pro simulaci byl použit referenční zátěžový profil teplé vody uvedený v dalším textu této kapitoly. Výpočet počtu startů za rok, souvislé doby chodu a ukazatelů splnění požadavků proběhl v Matlabu. Předpokladem bylo, že optimální kombinace z hlediska počtu startů a průměrné doby chodu bude ta s nejvyšší nastavenou hysterezí, nicméně bylo potřeba ověřit, jestli se takto vysoká hystereze negativně nepromítne do schopnosti ohřívače splnit dodávku teplé vody nebo do schopnosti udržet požadovanou teplotu v zóně. Z výsledků roční simulace v je patrné, že se výše uvedený předpoklad potvrdil a jako optimální možnost vychází stav s nejvyšší možnou nastavitelnou hysterezí 15 K. Nejmenší počet startů a nejdelší průměrná souvislá doba chodu byla zjištěna pro kombinaci spínací teplota 55 °C a hystereze 15 K. Toto nastavení je použito pro všechny následující simulace.

Výsledky parametrické studie

Termostat 0,7.H	Spínací teplota	50 °C			55 °C		
	Hystereze	2	10	15	2	10	15
Počet startů za rok		9213	5270	4191	7737	5270	3816
Maximální souvislá doba chodu [min]		41	61	86	60	61	100
Průměrná souvislá doba chodu [min]		12	21	26	14	21	30
Minimální souvislá doba chodu [min]		3	8	11	4	5	9
Stavy, kdy splněny požadavky na TV [%] ¹⁾		100	100	100	100	100	100
Stavy, kdy splněny požadavky na vytápění [%] ²⁾		100	100	100	100	100	100

1) tzn. kdy dodán požadovaný průtok o teplotě t_{sm} ($45 \pm 0,5$) °C, vztaženo k celkovému požadovanému objemu o teplotě 45 °C za rok

2) kdy teplota v zóně udržena na požadovaných t_i ($20 \pm 0,5$) °C, vztaženo k počtu hodin otopného období

Test odběrové charakteristiky při zatížení jednorázovým odběrem, hledání limitu použití ohřívače

V této části jsou uvedeny výsledky testu odběrové charakteristiky a jsou zhodnoceny okrajové podmínky použití ohřívače v řešeném systému. Test odběrové charakteristiky jednorázovým nepřerušovaným odběrem spočívá v zatížení ohřívače trvalým zvoleným průtokem teplé vody, přičemž současně musí dodávat dostatek teplé vody do vytápění. Test je proveden s aktivním zdrojem tepla, tzn. ohřívač může v případě potřeby sepnout a dodávat energii. Cílem tohoto testu je zjistit:

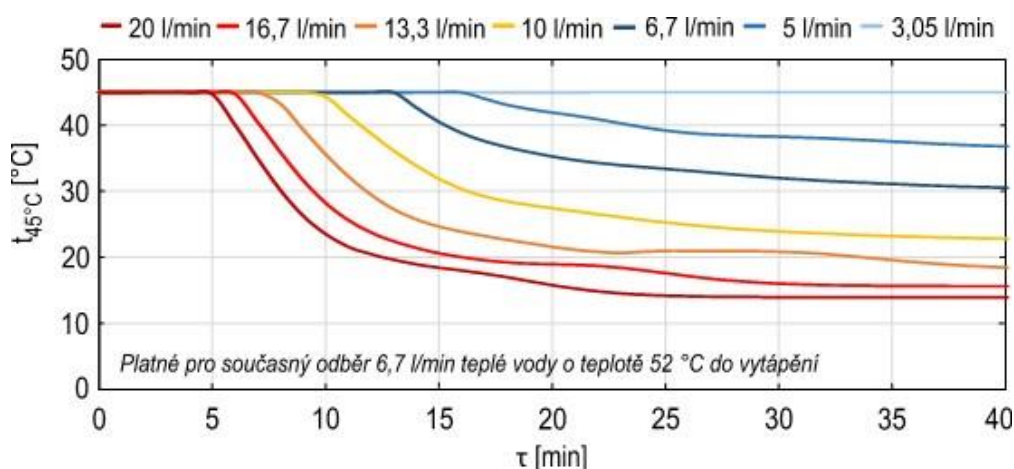
- Jaký průtok je ohřívač zapojený v kombinovaném systému schopen dodávat trvale
- Jaká je maximální možná doba trvání vybraných odběrů

Co se týče prvního cíle, pro testování byla vybrána sada průtoků teplé vody, které se typicky vyskytují v rodinných domech. Testování probíhalo ze stavu plně nabitého ohřívače. Požadovaná teplota teplé vody dodávané na odběrná místa byla nastavena na směšovací ventilu na 45 °C, teplota přírodní studené vody byla nastavena na 5 °C. Takto nízká teplota přírodní studené vody reprezentuje zimní extrém. TRNSYS umožňuje do simulace zahrnout změnu teplot studené vody v závislosti na průběhu venkovní teploty. Nastavená teplota 5 °C je průměrná teplota studené vody určená pro 15. ledna, což je den reprezentující jmenovité venkovní výpočtové podmínky (-15 °C) pro použitá klimatická data.

Z hlediska vytápění byly v numerickém modelu nastaveny jmenovité podmínky. Ty představují nejnáročnější podmínky, které mohou z hlediska vytápění v navržené budově nastat. Jmenovitý průtok navržený pro vytápění řešené budovy je 400 kg/h tzn. 6,7 l/min, návrhová teplota přírodní vody do vytápění je 52 °C. Ohřívač musí během testu dodávat trvale průtok do vytápění současně s dodávkou trvalého průtoky teplé vody na odběrná místa. Simulace proběhla pro ohřívač zapojený v základním numerickém modelu popsáném v kapitole 2.

Na jsou Obr. 34 zobrazeny výsledky testu odběrové charakteristiky pro zvolené průtoky. Odběry o průtoku 10 l/min odpovídají odběrům při sprchování, odběry o průtoku 20 l/min jsou typické pro odběry do vany nebo pro velkokapacitní sprchy. Odběry o průtoku okolo 5 l/min odpovídají odběrům pro umyvadla. Graf na Obr. 34 zobrazuje průběh poklesu teplot za směšovací ventilem teplé vody v závislosti na odebíraném průtoku teplé vody na odběrná místa a do systému vytápění. Z grafu je patrné, že při současné dodávce jmenovitého průtoky 6,7 l/min vody o teplotě 52 °C do vytápění je ohřívač schopen na odběrná místa teplé vody trvale dodávat průtok 3,05 l/min vody o teplotě 45 °C. Při navýšení průtoky nad tuto hodnotu jsou z grafu patrné limity použití ohřívače.

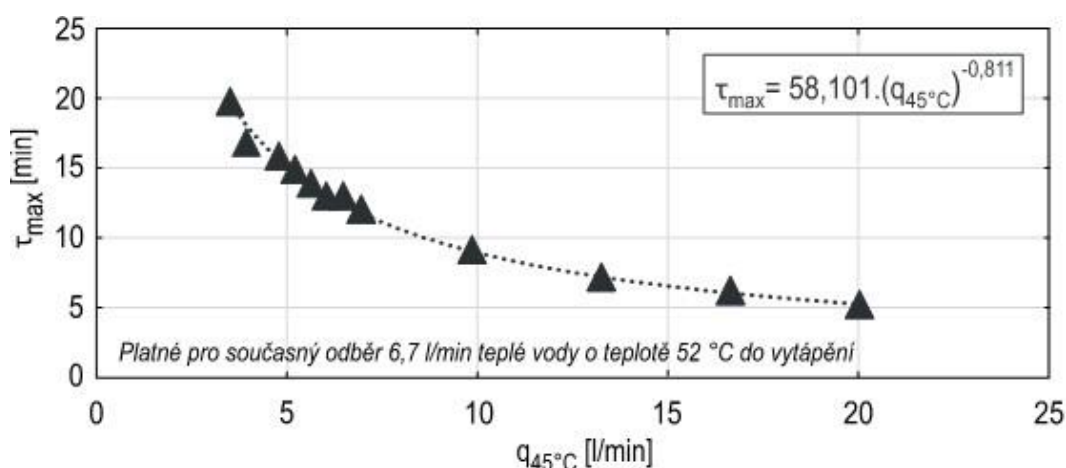
Např. průtok 6,7 l/min do vytápění současně s průtokem 10 l/min na odběrná místa bude ohřivač schopen dodávat pouze 10 minut, než dojde k trvalému poklesu teplé vody za směšovací ventilem TV pod požadovaných 45 °C. Odběrovou špičku o průtoku 20 l/min při současné dodávce teplé vody do vytápění bude ohřivač schopen pokrývat 5 minut, než dojde k poklesu teploty pod požadovaných 45 °C.



Obr. 34 Pokles teploty za směšovacím ventilem TV v závislosti na odebíraném průtoku teplé vody pro IR 12-160

Druhým cílem tohoto testu je určit závislost maximální možné doby trvání odběrové špičky na odebíraném průtoku teplé vody. Maximální možná doba trvání odběru udává, jak dlouho je ohřivač schopen daným průtokem dodávat teplou vodu o požadované teplotě. Jakmile je tato doba překročena, ohřivač přestane být schopen dodávat požadovaný průtok vody o požadované teplotě a dojde k poklesu teploty dodávané vody.

Pro okrajové podmínky z předchozí strany je tato závislost zobrazena na Obr. 35 níže. Na grafu jsou zobrazeny maximální možné doby trvání odběrových špiček $\tau_{\max}$ v závislosti na průtocích teplé vody q_{TV} při současné dodávce 6,7 l/min teplé vody do vytápění a požadované teplotě po smísení 45 °C. Z hlediska zatížení ohřivače jsou rozhodující průtoky teplé vody na odběrná místa TV, protože odebíraná teplá voda je nahrazovaná studenou vodou z řady, kterou je nutné dohřívát z výrazně nižších teplot, než z jakých je nutné dohřívát vratnou vodu z primárního okruhu vytápění.



Obr. 35 Maximální možná doba pokrytí odběrových špiček teplé vody při současném odběru tepla pro vytápění

Test provozní a odběrové charakteristiky při zatížení zátěžovými profily – denní zhodnocení

V této části jsou uvedeny parametry použitých zátěžových profilů a výsledné charakteristiky ohřívače při zatížení těmito profily. Charakteristiky jsou vyhodnoceny pro vybrané typické dny. Tento test slouží ke zhodnocení chování ohřívače při zatížení přerušovanými odběry o různých průtocích a době trvání. Podává informace o tom, jakým způsobem je ohřívač schopen reagovat na změnu provozních podmínek. Je nutné zdůraznit, že dosažené výsledky jsou do značné míry závislé na kvalitě navržené regulace provozu ohřívače a připojených systémů.

Celkem byly sestaveny 4 zátěžové profily, z toho RDREF je referenční a RDEXT1, RDEXT2, RDEXT3 představují modifikaci referenčního. Pro vygenerování odběrových profilů byl využit program DHWCalc. Odběrové profily byly vygenerovány pro domácnost o 4 osobách. Bylo uvažováno, že na jednu osobu připadá spotřeba teplé vody 39 l/den při teplotě 60 °C, tzn. tomu odpovídá 56 l/den při teplotě 45 °C. Pro celou domácnost o 4 osobách je celková spotřeba za den 224 litrů vody o teplotě 45 °C. Souhrn nastavení pro generování odběrových profilů je uveden v tabulce níže.

Charakteristiky odběrů TV v referenčním rodinném domě, pro teplotu dodávky 45 °C

Profil	RDREF, RDEXT1, RDEXT2, RDEXT3
Počet osob	4
Průměrná spotřeba TV (45 °C) na osobu	56 l/den
Průměrná spotřeba TV (45 °C) celkem	224 l/den
Pravděpodobnostní rozdělení	DHW Standard Distributions
Sezonní vlivy, vliv prázdnin a svátků	nezahrnut
Rozdíl mezi víkendy a pracovními dny	nezahrnut

Charakteristiky použitých kategorií odběrů při generování odběrových profilů, pro teplotu dodávky 45 °C

Profil	Kategorie odběru	krátký odběr	střední odběr	sprcha	vana
RDREF	Průměrný průtok [l/min]	1	6	6	7
	Průměrná doba trvání odběru [min]	1	1	5	5
	Podíl na celkových odběrech [%]	14	36	10	40
RDEXT1	Průměrný průtok [l/min]	1	6	12	8
	Průměrná doba trvání odběru [min]	1	1	5	5
	Podíl na celkových odběrech [%]	14	36	10	40
RDEXT2	Průměrný průtok [l/min]	1	6	12	8
	Průměrná doba trvání odběru [min]	1	1	10	10
	Podíl na celkových odběrech [%]	14	36	10	40
RDEXT3	Průměrný průtok [l/min]	1	6	12	8
	Průměrná doba trvání odběru [min]	1	1	15	15
	Podíl na celkových odběrech [%]	14	36	10	40

Byly uvažovány 4 kategorie odběrů. Maximální špičkový průtok, který se může vyskytnout byl pro profil RDREF nastaven na 7 l/min, pro RDEXT1 a RDEXT2 byl nastaven na 12 l/min a pro profil RDEXT3 na 20 l/min. Pro tyto profily byla v základním simulačním modelu provedena celoroční simulace s časovým krokem 1 minuta. Z celoročního souboru dat byly následně vybrány typické dny, pro které byla vyhodnocena provozní a odběrová charakteristika ohřívače. Pro referenční profil RDREF je záměrně provedeno podrobnější grafické zhodnocení provozu. Zhodnocení je doplněno komentářem. Pro zátěžové profily RDEXT1, RDEXT2 a RDEXT3 je proveden zkrácený rozbor. Typické dny je nutné volit s ohledem na to, že nejnáročnější den z hlediska vytápění nutně nemusí být nejnáročnější den z hlediska přípravy teplé vody. Pro profil RDREF byl vybrán den, který:

- Je jmenovitým dnem z hlediska vytápění
- Je běžným dnem otopného období
- Je mimo otopné období
- Je jmenovitým dnem z hlediska energetické náročnosti přípravy teplé vody
- Je běžným dnem z hlediska energetické náročnosti přípravy teplé vody
- Je nejméně náročným dnem z hlediska energetické náročnosti přípravy teplé vody

Pro profily RDEXT1, RDEXT2 a RDEXT3 byl pro zjednodušení vybrán pouze den, který:

- Je jmenovitým dnem z hlediska vytápění
- Je jmenovitým dnem z hlediska energetické náročnosti přípravy teplé vody

Cílem podrobnějšího rozboru v případě profilu RDREF je ukázat rozdíl v provozu ohřívače při jmenovitých podmínkách a při sníženém zatížení. Rozbor zároveň umožňuje zkontrolovat funkčnost rovnice pro modulaci výkonu, která byla navržena při vývoji numerického modelu.

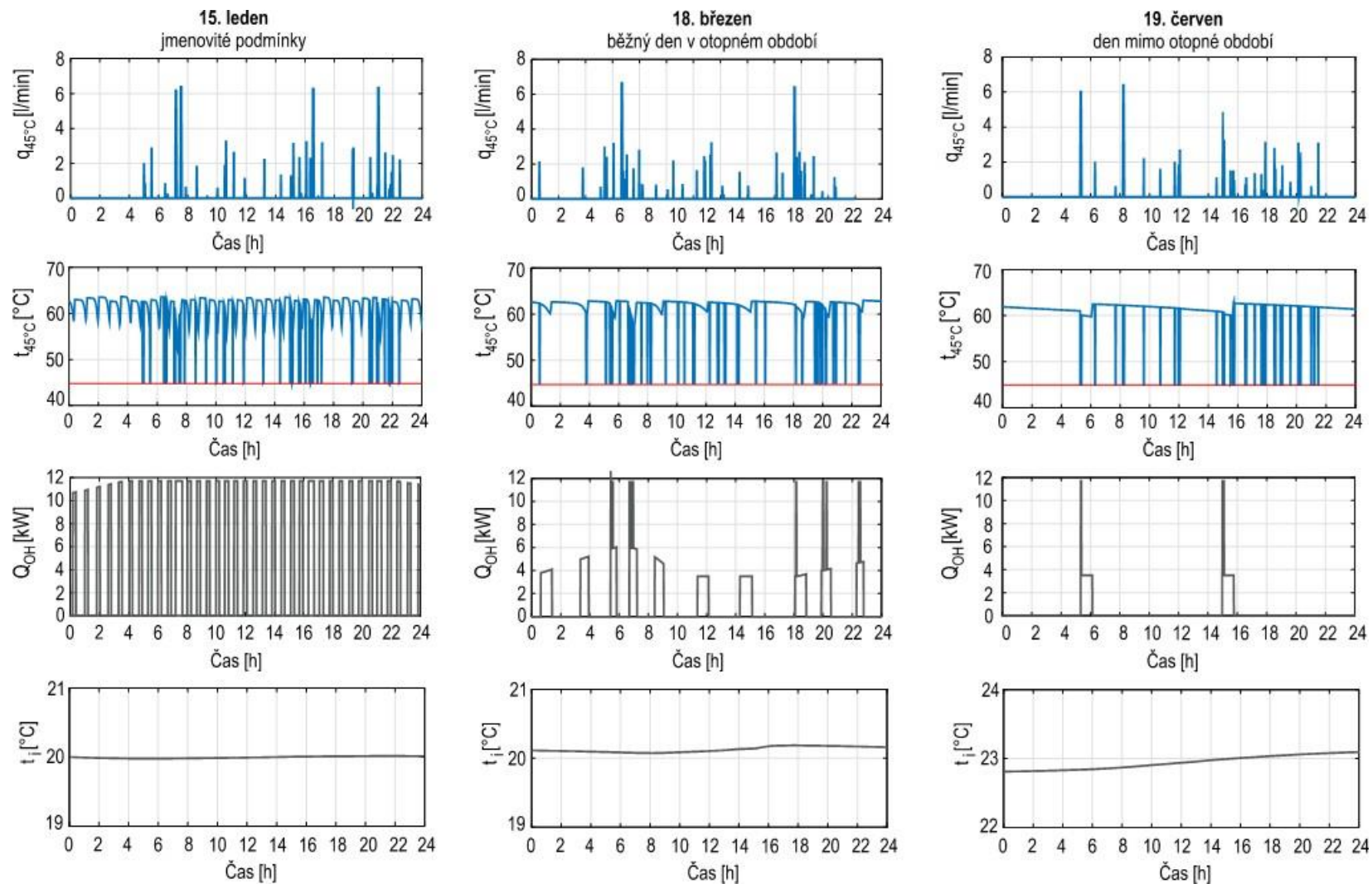
V navazujících částech práce je uvedeno grafické zhodnocení odběrových a provozních charakteristik. Zhodnocení odběrových charakteristik proběhlo dvěma způsoby – formou zobrazení průběhu teplot teplé vody odebírané během dne a formou křivek odběru. Grafické zhodnocení provozní charakteristiky je provedeno prostřednictvím zobrazení průběhu dodávky výkonu během dne. Z tohoto zobrazení je možné odečíst, jak počet sepnutí ohřívače během dne, tak dobu chodu ohřívače při jednotlivých sepnutích. Zhodnocení požadavku na udržení teploty je provedeno přes zobrazení průběhu teplot v zóně za daný den.

Na grafech na následujících stranách je zobrazeno vyhodnocení pro zatížení ohřívače profilem RDREF. Na Obr. 36 jsou zobrazeny charakteristiky pro typické dny z hlediska vytápění. Zobrazeny jsou průtoky a teploty teplé vody a pod nimi výkon dodaný ohřívačem a teplota v zóně. Požadovaná teplota vody po smísení je vyznačena červenou přímkou (45 °C). Jak je patrné, ohřívač byl schopen splnit požadavek na dodávku teplé vody o požadované teplotě při všech odběrech. Z porovnání vrchních grafů se spodními je patrné, která sepnutí ohřívače a dodaný výkon souvisí s odběry teplé vody a která souvisí s odběry pro vytápění. Dle nastavení regulace ohřívač spíná ve chvíli, kdy teplota na termostatu poklesne pod 55 °C mínus polovina hystereze, tzn. při 47,5 °C. Špičky v dodávce výkonu na prostředním a pravém grafu souvisí s použitou regulační strategií, která říká, že ohřívač dodá maximální výkon bez ohledu na aktuální požadavek ekvitermní regulace ve chvíli, kdy dochází k odběru teplé vody a zároveň poklesne teplota na termostatu pod 55 °C.

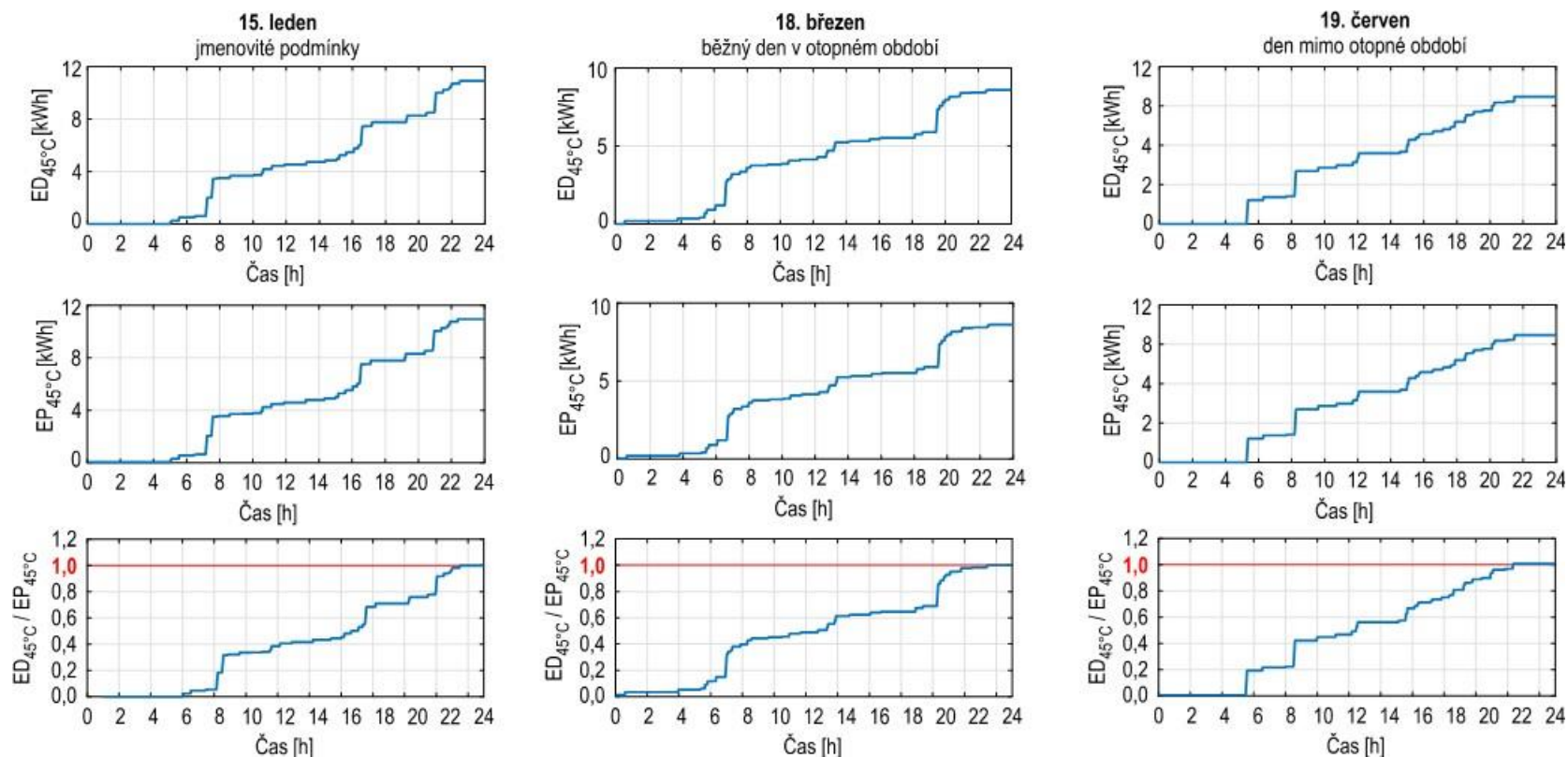
Tyto výsledky je možné porovnat s *Obr. 37*, na kterém je odběrová charakteristika dodávky teplé vody vyznačena v kumulativním vyjádření. Z kumulativního vyjádření je možné snadno odečíst, jestli byl požadavek na dodávku energie v průběhu dne splněn. Zároveň je z nich možné odečíst celkové množství odebrané energie za den. Na grafu je v kumulativním vyjádření shora dolů zobrazeno: dodaná energie v teplé vodě za daný den, požadovaná energie v teplé vodě za den a dále poměr dodané a požadované energie za den. V případě, že je poměr nižší než 1, nebyly splněny všechny požadavky na dodávku. Jak je patrné, tak i v nejchladnější a energeticky nejnáročnější den v roce z hlediska vytápění byl ohřívač schopen dodávat dostatek energie přípravu teplé vody i pro vytápění. Problém s dodávkou se nevyskytl ani v ostatní zobrazené dny. V nejchladnější den a v běžný den se vyskytl odběrový profil s ranní a večerní odběrovou špičkou a ve dni mimo otopné období odběrový profil s nevýraznou ranní odběrovou špičkou. Vzhledem k tomu, že je simulován plynový ohřívač, jehož provoz není závislý na venkovních klimatických podmínkách, není nutné věnovat času výskytu odběrových špiček větší pozornost. Naopak v případě simulací některého z obnovitelných zdrojů energie má načasování výskytu odběrových špiček na výslednou provozní charakteristiku zásadní vliv, může značně ovlivnit dosažené výsledky a je nutné jej řešit podrobněji.

Na *Obr. 38* jsou zobrazeny charakteristiky pro typické dny z hlediska přípravy teplé vody. Z grafu je patrné, že i v těchto dnech ohřívač bez problému splnil požadavek na dodávku teplé vody o požadované teplotě 45 °C, vyznačeno červenou přímkou. Ze spodních grafů je dobře patrný přínos použití modulačních hořáků. Za jmenovitých podmínek jsou ohřívače během otopného období provozovány minimální dobu a většinu času pracují pouze pod částečným zatížením. Při sníženém zatížení je vyžadována dodávka výrazně nižšího výkonu, než při jmenovitém zatížení. Ohřívač má možnost modulovat a přizpůsobovat svůj výkon aktuálním provozním podmínkám, což je patrné z tvaru křivky dodávky výkonu na grafech. V případě, že by byl využit pouze ohřívač s ON/OFF hořákem, byl by při provozu za sníženého zatížení nucen cyklovat, což by se negativně projevilo na jeho životnosti a hospodárnosti provozu. Z grafu je také dobře patrný výrazně nižší počet startů ve dnech mimo otopné období, kdy není nutné dodávat energii do vytápění.

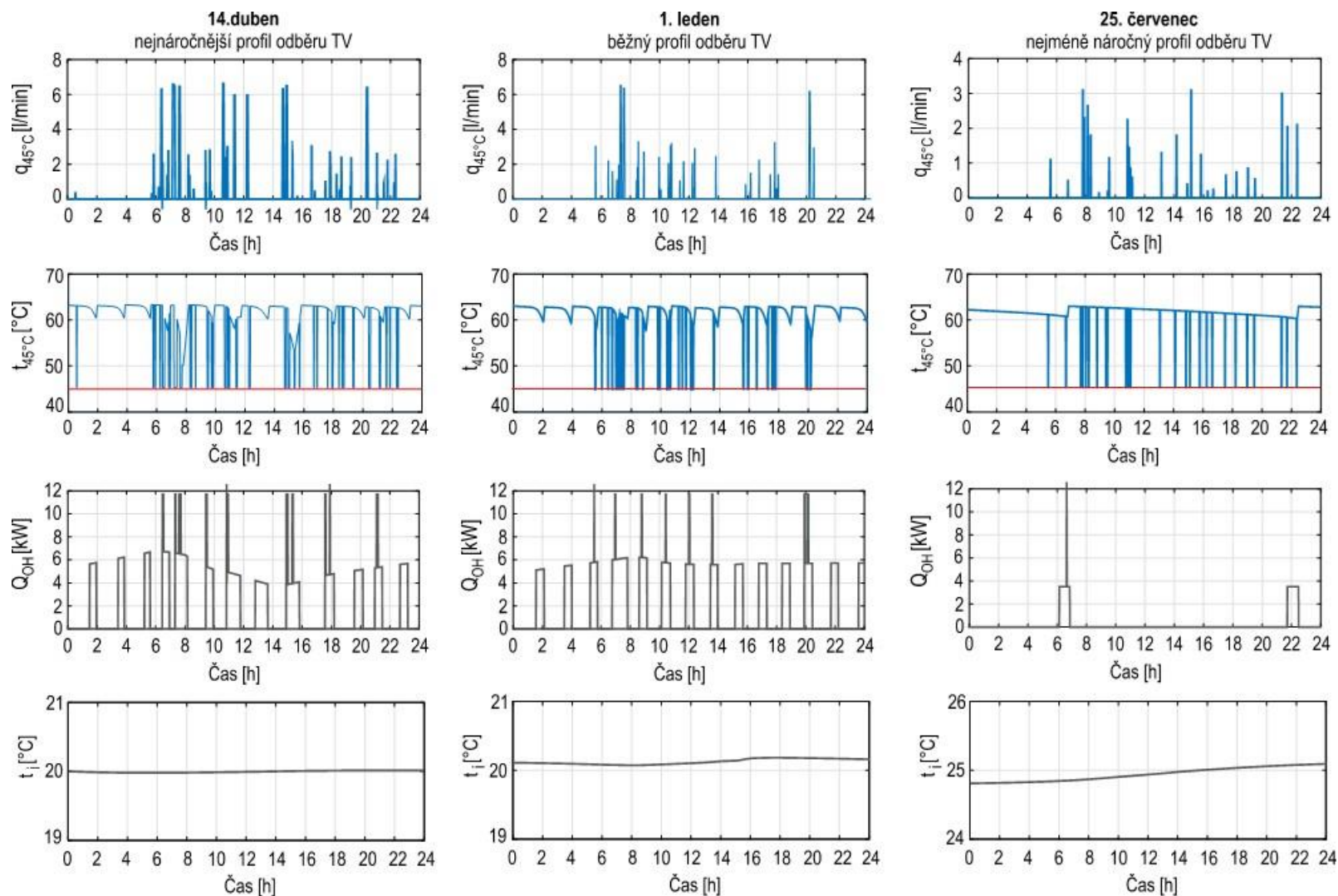
Tyto výsledky je možné porovnat s odběrovými charakteristikami teplé vody na *Obr. 39*. Na rozdíl od předchozího grafu v kumulativním vyjádření zobrazuje tento graf charakteristiku odběrových profilů ve dnech, kdy se vyskytly energeticky nejnáročnější, běžné a energeticky nejméně náročné odběry teplé vody. Jak je patrné z grafu, při výskytu energeticky nejnáročnějšího odběrového profilu bylo za den v teplé vodě celkem odebráno 20 kWh energie. Ohřívač dodávku splnil ve všech případech.



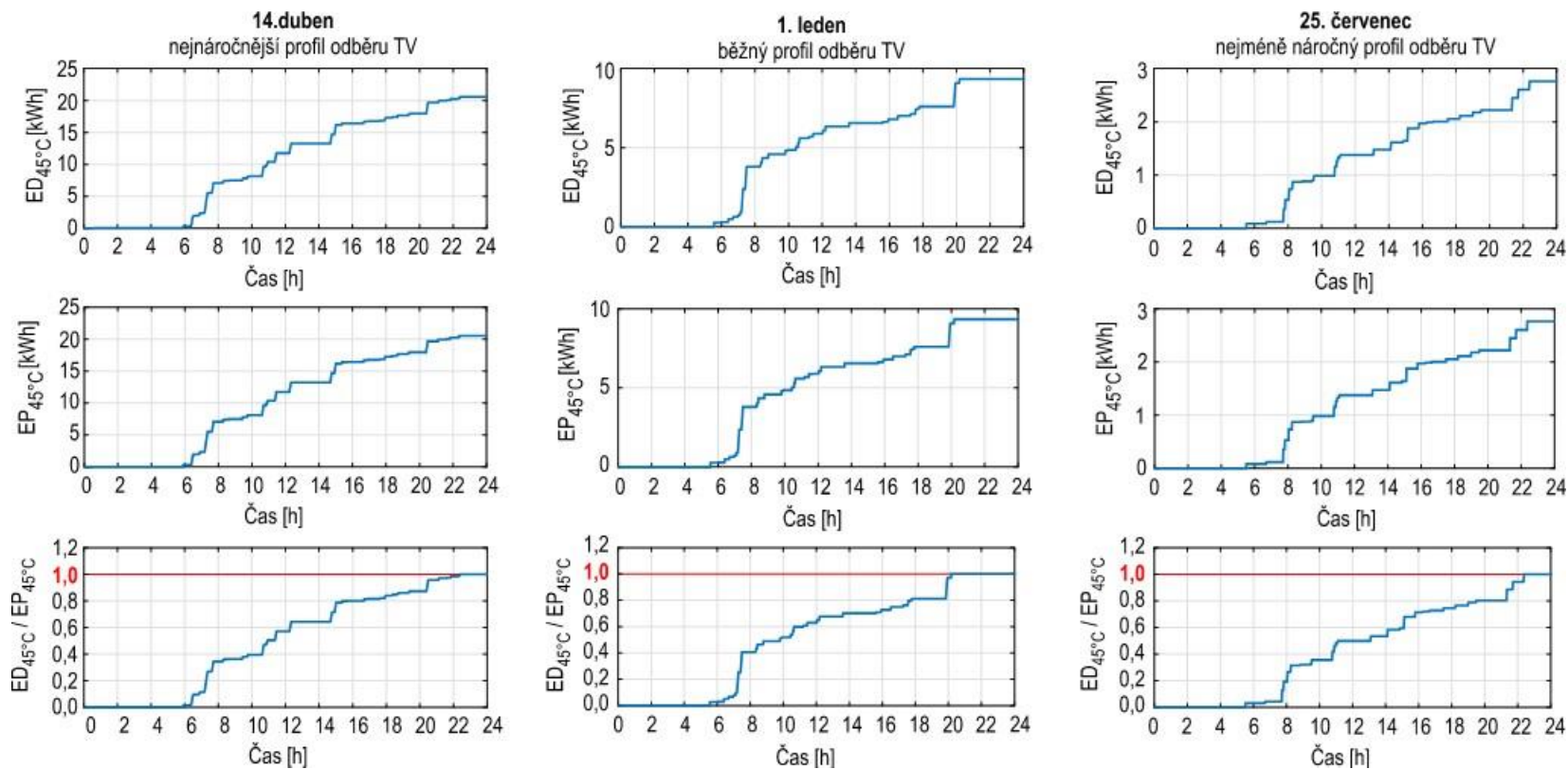
Obr. 36 Charakteristiky teploty ve vytápěné zóně a dodávky teplé vody v typických dnech z hlediska vytápění pro ohřívač IR 12-160



Obr. 37 Kumulativní charakteristiky dodávky teplé vody v typických dnech z hlediska vytápění pro ohřivač IR 12-160, ED-skutečně dodaná energie v teplé vody, EP – požadovaná energie v teplé vodě



Obr. 38 Charakteristiky teploty ve vytápěné zóně a dodávky teplé vody v typických dnech z hlediska přípravy teplé vody pro ohřivač IR 12-160

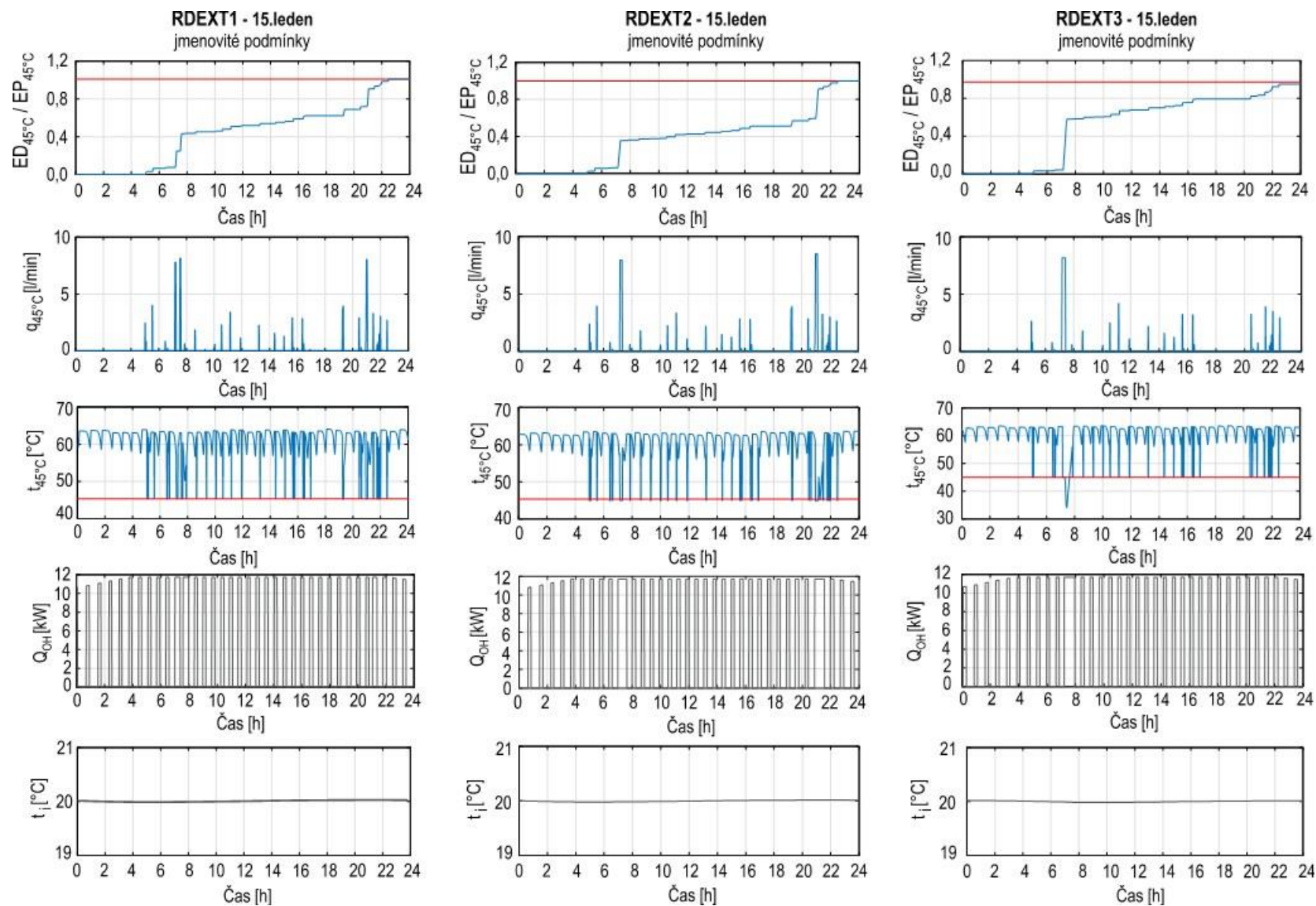


Obr. 39 Kumulativní charakteristiky dodávky teplé vody v typických dnech z hlediska přípravy teplé vody pro ohřivač IR 12-160, ED-skutečně dodaná energie v teplé vody, EP – požadovaná energie v teplé vodě

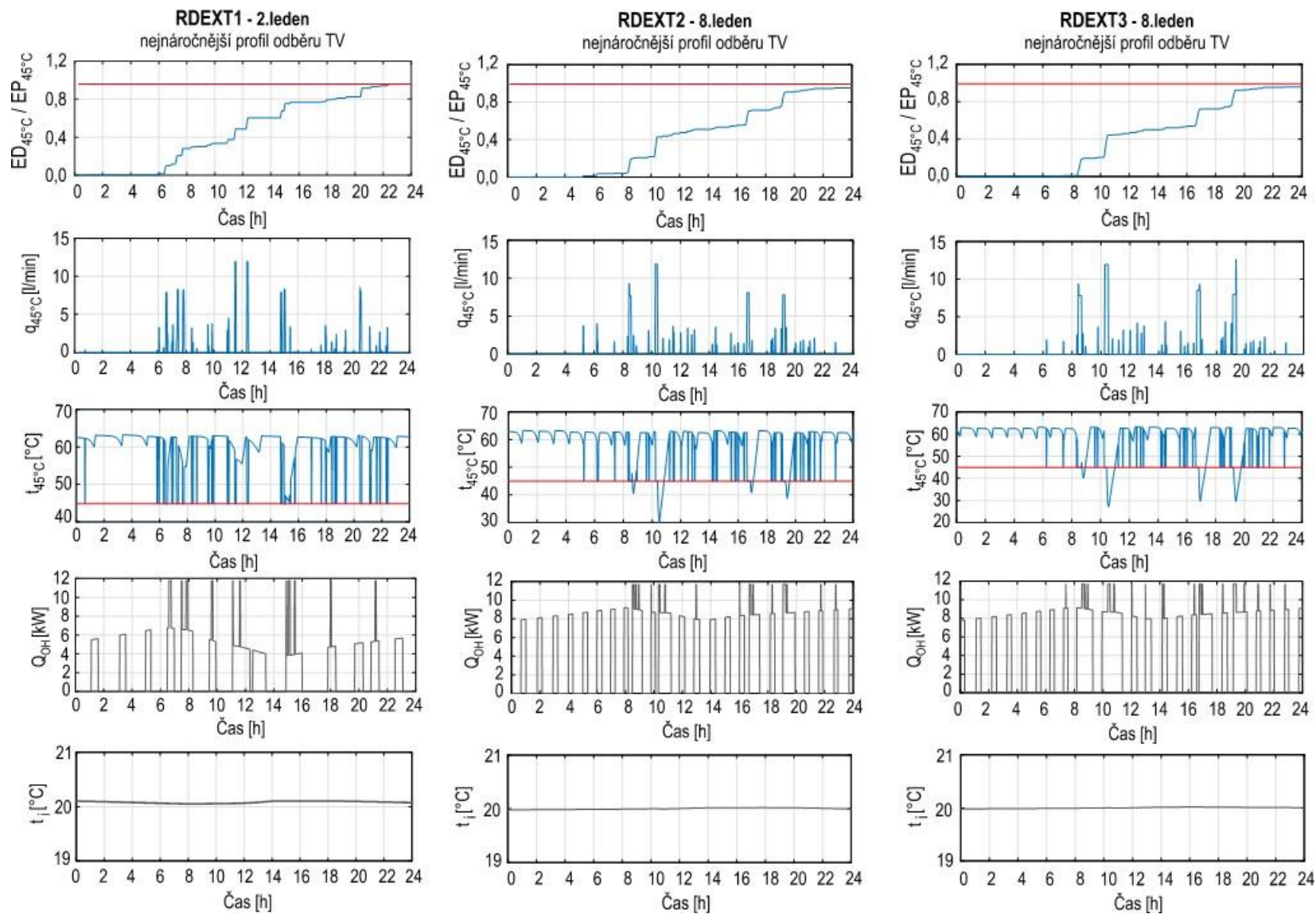
Na dalších grafech na následujících stranách je zobrazeno vyhodnocení pro zatížení ohřivače profily RDEXT1, RDEXT2 a RDEXT3.

Na *Obr. 40* jsou zobrazeny provozní a odběrové charakteristiky ohřivače ze dne, kdy nastaly jmenovité podmínky z hlediska vytápění. Na grafu je shora dolů zobrazen: poměr dodané a požadované energie v teplé vodě v kumulativním vyjádření, použitý odběrový profil vyjádřený ve formě průtoků teplé vody, teplota dodávané teplé vody, dodávka výkonu v průběhu dne a průběh teploty v zóně během dne. V zobrazených dnech se v případě profilu RDEXT1 a RDEXT2 nevyskytl problém s dodávkou teplé vody. Ohřivač byl schopen dodat teplou vodu o požadované teplotě 45 °C při všech odběrech, které se během dne vyskytly. V případě profilu RDEXT3 se vyskytl problém s dodávkou vody o požadované teplotě během ranní odběrové špičky, která trvala celkem 15 minut při průtoku 8,2 l/min při současné dodávce 6,7 l/min o teplotě 52 °C do vytápění, přičemž k poklesu teploty pod 45 °C došlo až po 11 minutách doby trvání odběrové špičky. Z rozlišení grafu to není patrné, lepší pohled poskytuje *Obr. 42*. Z grafů je zároveň patrné, že vyčerpání kapacity ohřivače se projevilo pouze na teplotě dodávané teplé vody, ale na teplotě v zóně se vzhledem k tepelné kapacitě budovy projevit nestačilo. Vliv nedostatečné teploty dodávané teplé vody na křivku kumulativního vyjádření je zanedbatelný, protože všechny ostatní odběry ohřivač splnil. Objem dodaný o nižší než požadované teplotě se na poměrové kumulativní křivce dodané a požadované energie za den téměř neprojevil. To ukazuje nevýhodu využití kumulativního vyjádření pro případy, kdy je nutné řešit detailně kvalitu každé dílčí dodávky teplé vody. Kumulativní vyjádření není schopné tyto dílčí energeticky málo významné případy v grafickém vyjádření viditelně rozlišit.

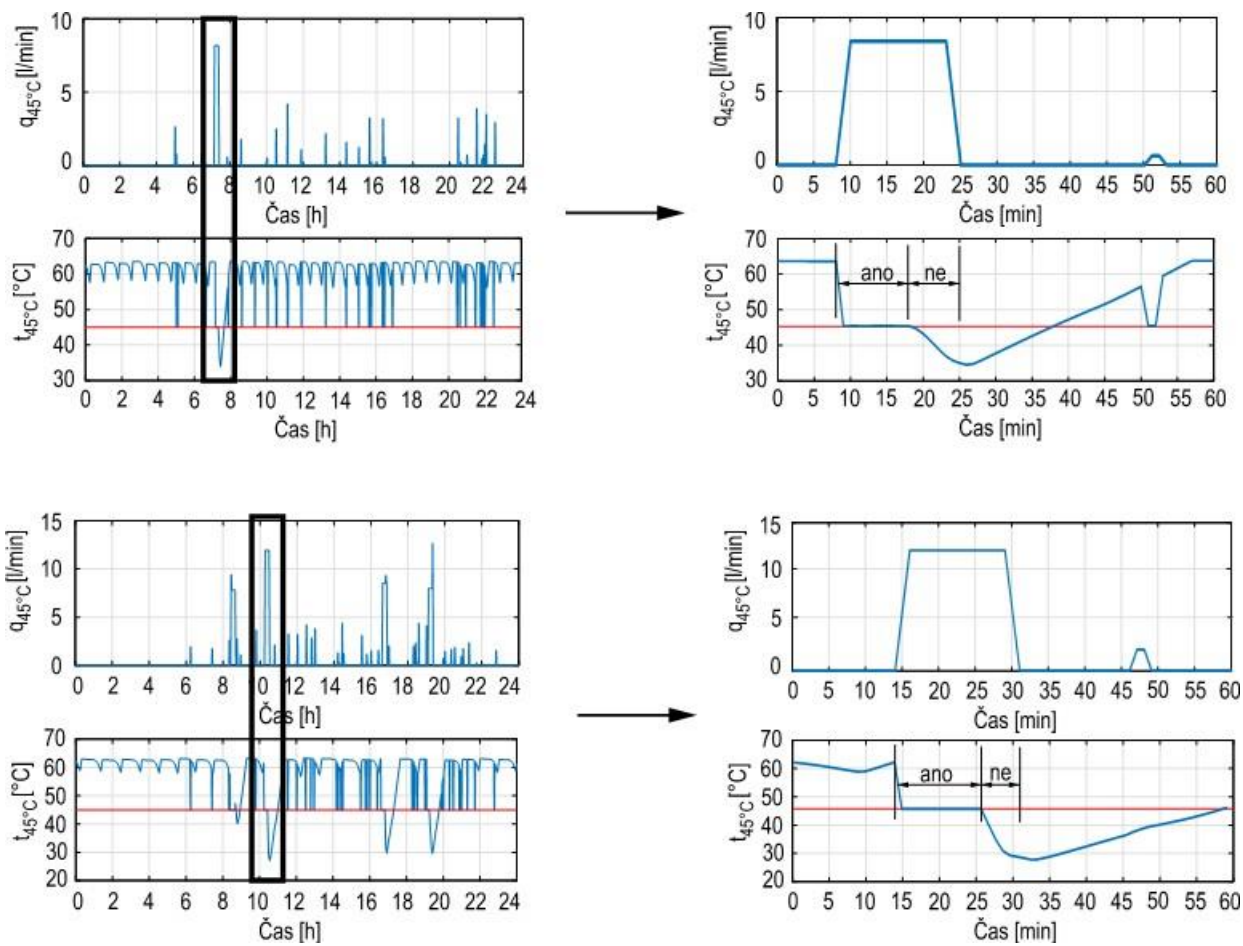
Na *Obr. 41* jsou zobrazeny provozní a odběrové charakteristiky ohřivače ze dní, kdy nastaly energeticky nejnáročnější odběry teplé vody. Při zatížení ohřivače profilem RDEXT1 byly požadavky na dodávku teplé vody a udržení teploty v zóně splněny v průběhu celého dne. Při zatížení profilem RDEXT2 a RDEXT3 nastal problém s dodávkou vody o dostatečné teplotě při výskytu odběrových špiček. Například v případě profilu RDEXT3 se jednalo o odběrovou špičku, která trvala 13 minut při průtoku 12 l/min, přičemž ohřivač přestal být schopen splnit požadavek na dodávku teplé vody po 11 minutách trvání této odběrové špičky. Protože v tento den nenastaly z hlediska vytápění jmenovité podmínky, ohřivač byl schopen splnit odběrovou špičku po delší dobu, než jaká by vycházela z *Obr. 35*, který byl sestaven pro jmenovité podmínky z hlediska vytápění. V případě této odběrové špičky teplé vody se vyskytl současný požadavek na dodávku 6,7 l/min o teplotě pouze 42 °C do vytápění. Jmenovité podmínky předpokládají průtok 6,7 l/min při teplotě 52 °C, pro ohřivač se tedy jednalo z hlediska vytápění o méně náročnou situaci, než pro kterou byl sestaven *Obr. 35* a proto byl ohřivač schopen odběrovou špičku splnit po delší dobu. Příklad podrobné analýzy průběhu této odběrové špičky je uveden na *Obr. 42*.



Obr. 40 Charakteristiky provozu ohřivače IR 12-160 při jmenovitých podmínkách z hlediska vytápění



Obr. 41 Charakteristiky provozu ohřivače IR 12-160 při výskytu energeticky nejnáročnějších odběrů teplé vody



Obr. 42 Analýza odběrové špičky pro RDEXT3

Test provozní a odběrové charakteristiky při zatížení zátěžovým profilem – roční zhodnocení

Roční zhodnocení je provedeno vyhodnocením úrovně nabití, na kterém se ohřívač během odběrů teplé vody nacházel. Vyhodnocení proběhlo pro čtyři úrovně. Úroveň přebito obsahuje všechny situace, kdy byla teplota na termostatu ohřívače vyšší než 55 °C, tzn. přestože docházelo k odběru teplé vody, ohřívač byl schopen udržovat teplotu vysoko nad teplotou požadovanou na odběrném místě. Tento stav je typický pro energeticky nenáročné odběry, při kterých ohřívač vždy splnil požadavek na dodávku teplé vody. Stav nabito zahrnuje všechny situace, kdy během byla teplota na termostatu ohřívače v rozmezí 45 až 55 °C. Tato kategorie představuje situace, kdy docházelo k energeticky náročnějším odběrům než v případě přebito, ale voda v ohřívači stále měla dostatečnou teplotu, aby bylo možné na odběrná místa dodat vodu o požadované teplotě 45 °C. Stav nedostatečně nabito představuje všechny situace, při kterých byla teplota vody na termostatu ohřívače 35 až 45 °C, tzn. na odběrné místo nemohla být dodána teplá voda o požadované teplotě. Stav vybito představuje situace, kdy teplota na termostatu poklesla pod 35 °C, tzn. jednalo se o dodávky, při kterých nemohly být splněny požadavky na uživatelský komfort. Okrajové podmínky vyhodnocení jsou uvedeny níže. Část skriptu pro vyhodnocení úrovně nabití je uvedena v Příloze 4.

Okrajové podmínky

Spínací teplota na termostatu t_{SET} : 55 °C

Požadovaná teplota teplé vody t_{TV} : 45 °C

Intervaly

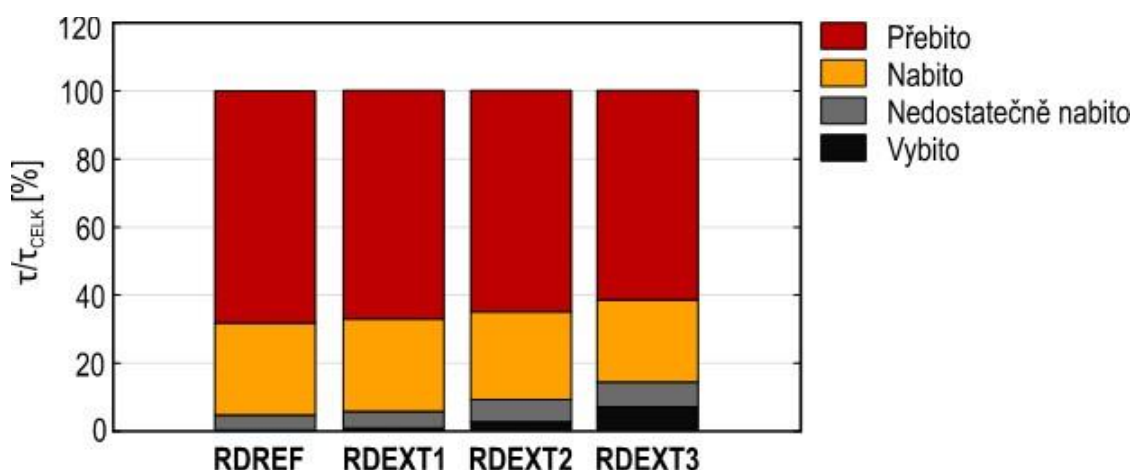
Přebito $t_{SET} \geq 55 \text{ °C}$

Nabito $45 \text{ °C} \leq t_{SET} < 55 \text{ °C}$

Nedostatečně nabito $35 \text{ °C} \leq t_{SET} < 45 \text{ °C}$

Vybito $t_{SET} < 35 \text{ °C}$

Dosažené výsledky jsou zobrazeny na Obr. 43 níže v procentuálním vyjádření. Poměr τ ku τ_{celk} v procentuálním vyjádření představuje celkovou dobu strávenou v daném stavu vydělenou celkovou dobou, po kterou byla teplá voda odebírána. Například v případě profilu RDREF zůstal ohřívač během většiny odběrů teplé vody na odběrná místa ve stavu přebito. Z grafu je patrné, že v případě odběrů teplé vody podle profilu RDREF nenastala během roku žádná situace, při které by došlo k vybití kapacity ohřívače. Čas, kdy byl ohřívač nedostatečně nabit tvoří 4,7 % z celkového času, kdy byla teplá voda během roku odebírána. V případě zatížení profilem RDEXT1, RDEXT2 a RDEXT3 došlo během roku k situacím, kdy byla kapacita ohřívače vybita. Nejnáročnějším profilem je profil RDEXT3. V něm tvoří čas ve stavu vybito 6,8 % z celkového času, kdy byla teplá voda odebírána. U všech profilů převažuje doba ve stavu přebito, tzn. při většině odběrů teplé vody byla teplota na termostatu ohřívače vyšší než 55 °C.



Obr. 43 Rozložení úrovně nabití ohřívače IR 12-160 během všech odběrů teplé vody za rok

3.2 Výsledky pro scénář B: ohřívač IR 12-160 v rodinném domě

Parametrická studie optimálního nastavení

Cílem parametrické studie je určení optimálního nastavení spínací teploty a hystereze na termostatu. Výška umístění termostatu je dána konstrukcí ohřívače, ale spínací teplota a hystereze je nastavitelná volitelně v rozsahu 40 až 85 °C, resp. 2 až 15 K. Do parametrické studie jsou vzhledem k vysokému zatížení ohřívače vybrány vyšší spínací teploty tzn. 60 a 65 °C a hystereze 2, 10 a 15 K. Použité kombinace jsou shrnuty v následující tabulce níže.

Pro každou z uvedených kombinací byla provedena roční simulace provozu s krokem 1 minuta. Simulace proběhla pro referenční nastavení shrnuté v kapitole 6.2. Pro simulaci byl použit referenční zátěžový profil teplé vody. Vzhledem k tomu, že tento scénář simuluje nevhodný návrh, došlo během roku ve všech případech ke stavům, kdy nebyl splněn požadavek na dodávku teplé vody o požadované teplotě a průtoku.

Na základě výsledků roční simulace byla pro všechny navazující simulace zvolena varianta nastavení spínací teploty na 65 °C s hysterezí 10 K. Varianta nastavení spínací teploty 65 °C a hystereze 2 K dává sice mírně vyšší procento případů, kdy byly splněny požadavky na dodávku teplé vody, ale také výrazně vyšší počet startů za rok, proto nebyla zvolena.

Výsledky parametrické studie

Termostat 0,7.H	Spínací teplota	60 °C			65 °C		
	Hystereze	2	10	15	2	10	15
Počet startů za rok		4402	3037	2520	3665	2520	2207
Maximální souvislá doba chodu [min]		927	946	1066	1060	1264	1232
Průměrná souvislá doba chodu [min]		75	109	133	91	134	155
Minimální souvislá doba chodu [min]		16	26	32	19	30	36
Stavy, kdy splněny požadavky na TV [%] ¹⁾		69	69	69	77	75	73
Stavy, kdy splněny požadavky na vytápění [%] ²⁾		100	100	100	100	100	100

1) tzn. kdy dodán požadovaný průtok o teplotě t_{sm} ($45 \pm 0,5$) °C, vztaženo k celkovému požadovanému objemu o teplotě 45 °C za rok

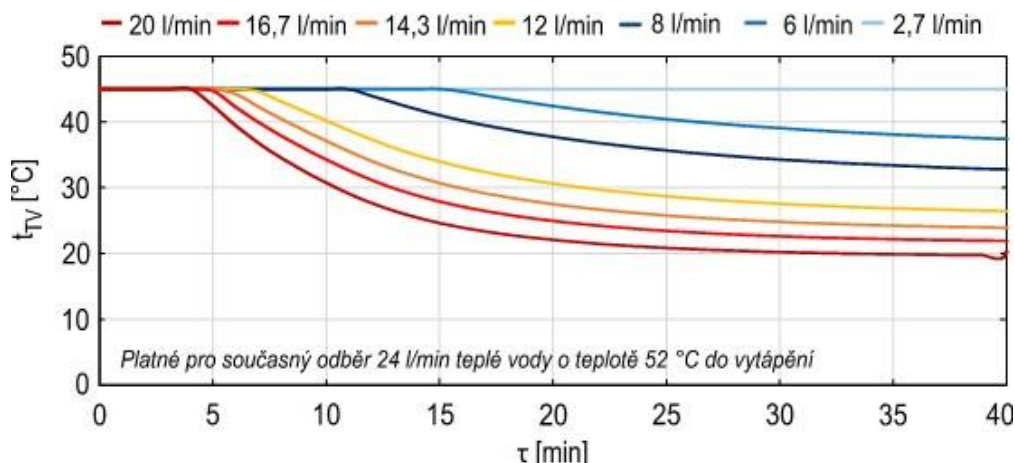
2) kdy teplota v zóně udržena na požadovaných t_i ($20 \pm 0,5$) °C, vztaženo k počtu hodin otopného období

Test odběrové charakteristiky při zatížení jednorázovým odběrem, hledání limitu použití ohřívače

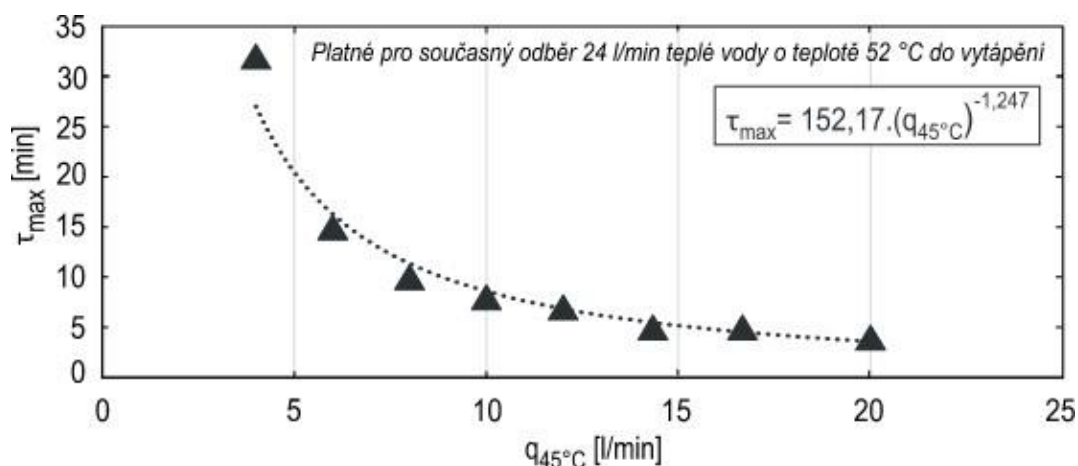
Test odběrové charakteristiky proběhl shodným způsobem jako u předchozího scénáře, tzn. nepřerušovaným odběrem a s aktivním zdrojem tepla. Testování probíhalo ze stavu plně nabitého ohřívače. Požadovaná teplota teplé vody dodávané na odběrná místa byla nastavena na 45 °C, teplota přívodní studené vody byla nastavena na 5 °C.

Jmenovitý průtok pro vytápění bytového domu je 1425 kg/h, tzn. 24 l/min, návrhová teplota přívodní vody do vytápění je 52 °C. Ohřívač musí během testu dodávat trvale průtok do vytápění současně s dodávkou trvalého průtoku teplé vody na odběrná místa. Simulace proběhla pro ohřívač zapojený v základním numerickém modelu popsaném v kapitole 5. Na Obr. 44 jsou zobrazeny výsledky testu odběrové charakteristiky pro zvolené průtoky.

Z grafu je patrné, že při současné dodávce průtoku 24 l/min vody o teplotě 52 °C do vytápění je ohřívač schopen na odběrná místa teplé vody trvale dodávat průtok 2,7 l/min vody o teplotě 45 °C. Odběrová špička o průtoku 20 l/min může dle výsledků trvat maximálně 4 minuty, než dojde k poklesu teplé vody pod požadovaných 45 °C. Závislost maximální možné délky trvání odběrové špičky na trvalém průtoku je zobrazena na Obr. 45.



Obr. 44 Pokles teploty za směšovacím ventilem teplé vody v závislosti na odebíraném průtoku teplé vody pro IR 20-200



Obr. 45 Maximální možné doby trvání odběrových špiček teplé vody při současné dodávce 24 l/min teplé vody do vytápění

Test provozní a odběrové charakteristiky při zatížení zátěžovými profily – denní zhodnocení

V této části jsou uvedeny parametry použitých zátěžových profilů a výsledné charakteristiky ohřívače při zatížení těmito profily. Charakteristiky jsou vyhodnoceny pro vybrané typické dny.

Pro vygenerování celoročního odběrového profilu BDERF v minutovém kroku byl využit program DHWcalc. Charakteristiky odběrů teplé vody jsou uvedeny v následujících tabulkách. Bylo uvažováno, že na jednu osobu připadá průměrná denní spotřeba teplé vody 50 l/den při teplotě 45 °C. V navrženém bytovém domě je celkem uvažováno s 30 obyvateli. Tomu odpovídá celková průměrná denní spotřeba teplé vody 1500 l/den při teplotě 45 °C. Zátěžový profil BDEXT1 byl sestaven pro stejné celkové množství odebrané teplé vody a stejný průtok jako v referenčním profilu, ale byla navýšena průměrná doba trvání odběru. V zátěžových profilech BDEXT2 a BDEXT3 bylo navýšeno celkové odebrané množství za den, ale byl snížen průměrný požadovaný průtok.

Charakteristické rozdělení odběrů bylo zadáno uživatelsky, přičemž byly rozlišeny pracovní dny a víkendy. V pracovních dnech je uvažováno s ranní a večerní odběrovou špičkou, o víkendech s výraznější ranní špičkou. V případě bytových domů je nutné uvažovat snížení spotřeby teplé vody během letního období. Snížení je způsobeno prázdninami a dovolenými a spotřeby vody jsou zpravidla o 25 % menší než v ostatních částech roku. Z tohoto důvodu bylo do generování odběrového profilu zadáno pravidlo pro snížení spotřeby teplé vody na 75 % jmenovité spotřeby. Snížení bylo nastaveno pro období od 1.7 do 1.9.

Charakteristiky odběrů, pro teplotu TV 45 °C

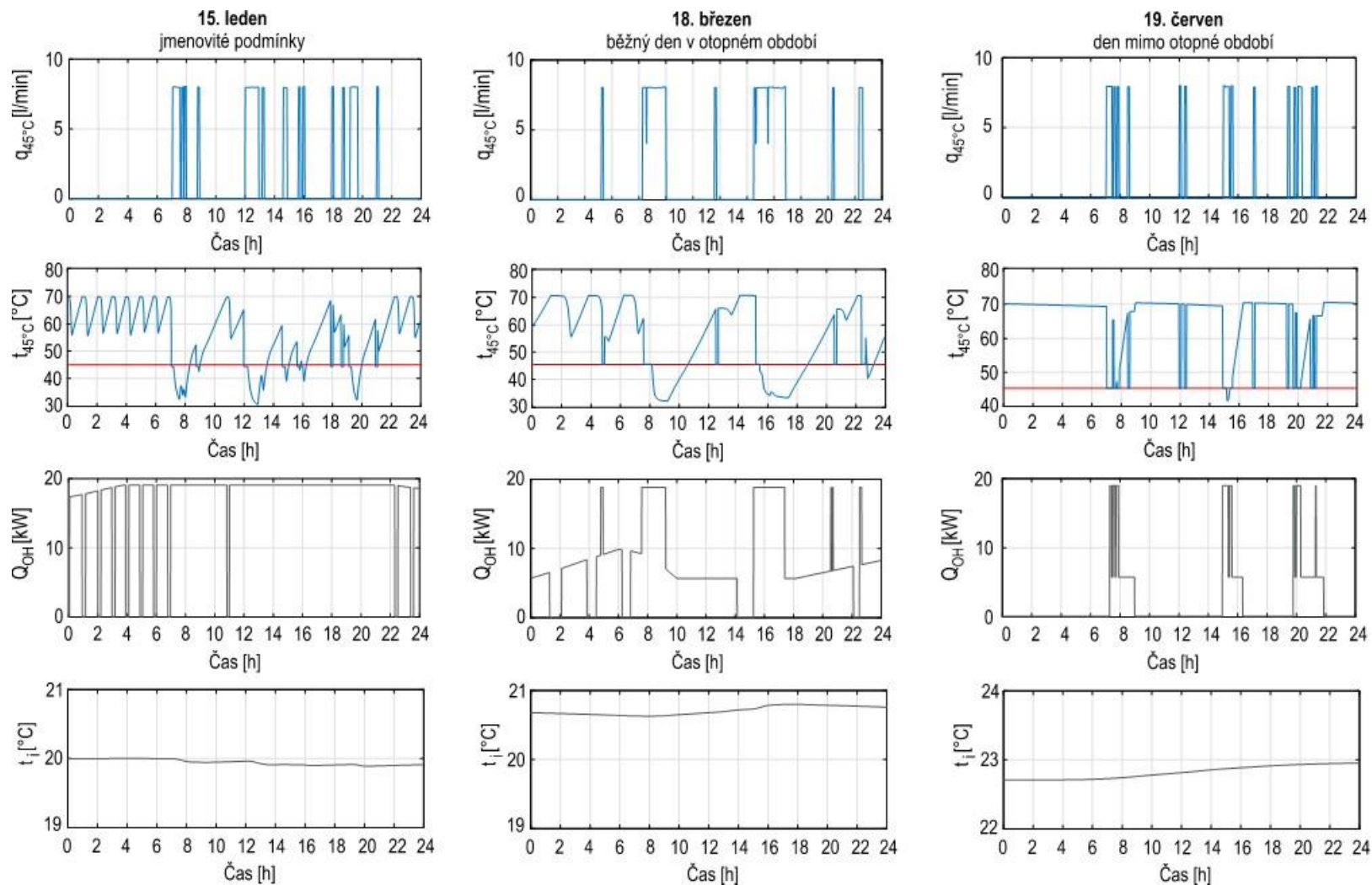
Zátěžový profil	BDERF	BDEXT1	BDEXT2	BDEXT3
Průměrná spotřeba TV (45 °C) celkem	1500 l/den	1500 l/den	2000 l/den	2000 l/den
Průměrný průtok [l/min]	8	8	5	5
Průměrná doba trvání odběru [min]	8	10	8	10
Max. možný průtok [l/min]	12	12	8	8

Charakteristiky rozdělení odběrů, pro teplotu 45 °C

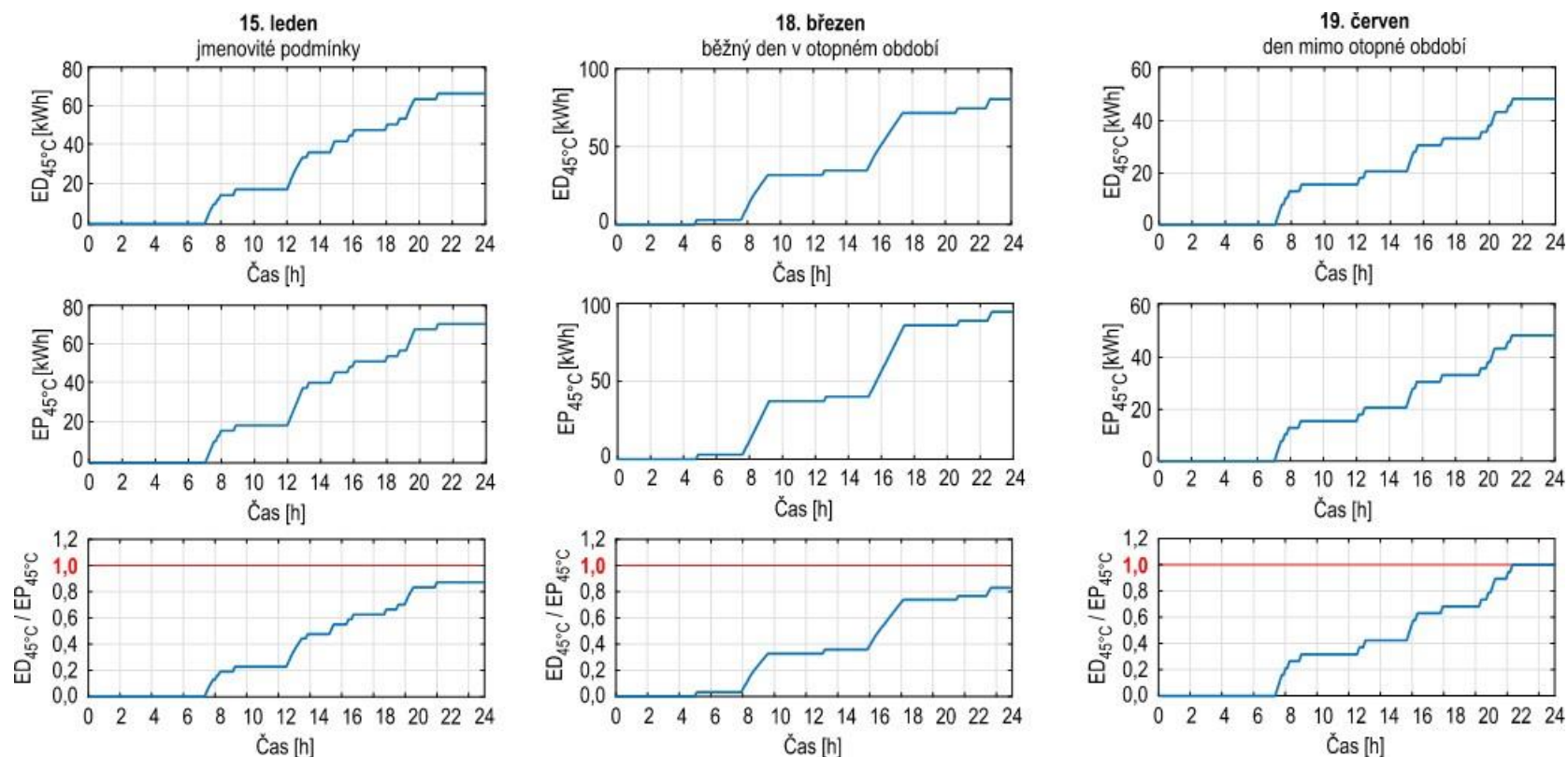
Profil	BDERF, BDEXT1,BDEXT2,BDEXT3
Pracovní dny	Odebráno z celkové denní spotřeby
22:00-06:30	0 %
06:30-07:30	22 %
07:30-12:00	9,8 %
12:00-13:00	22 %
13:00-18:00	11 %
18:00-22:00	35,2 %
Víkendy	Odebráno z celkové denní spotřeby
23:00-07:00	5 %
07:00-09:00	31,6 %
09:00-15:00	9,3 %
15:00-17:00	31 %
17:00-20:00	4,6 %
20:00-23:00	18,6 %

Na grafech na následujících stranách je zobrazeno vyhodnocení pro zatížení ohřívače profilem BDREF. Z odběrových charakteristik a z kumulativního vyjádření je patrné, že ohřívač má problém splnit dodávku teplé vody ve chvíli, kdy zároveň dochází k odběrům do vytápění. Problematické jsou dlouhodobé odběry energie a krátkodobé několikanásobné odběry v rychlém sledu za sebou, mezi kterými nemá ohřívač dostatek času na dohřev vody na požadovanou teplotu. Oproti provozní charakteristice ohřívače simulovaného v předchozím případě je z grafů dodávky výkonu patrná podstatně delší souvislá doba chodu. Prodloužení doby chodu je dané skutečností, že odběry energie pro vytápění i přípravu teplé vody způsobují trvalý pokles teploty na termostatu pod spínací teplotu a regulace trvale dostává požadavek na dohřev.

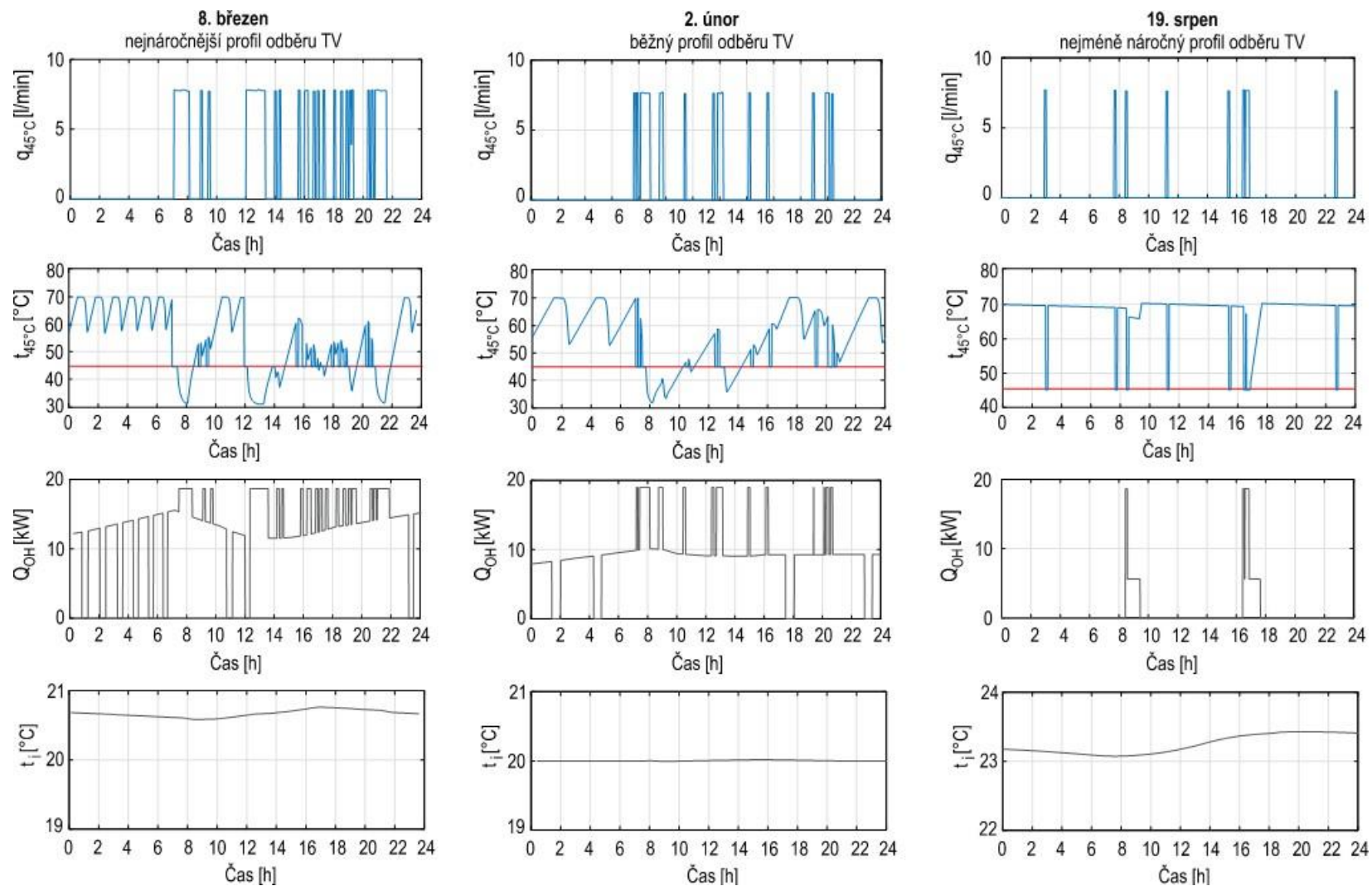
Při použití odběrových profilů BDEXT1, BDEXT2 a BDEXT3 ohřívač také nesplnil požadavky na dodávku teplé vody, poddimenzování se v případě provozu za jmenovitých podmínek projevuje i na teplotě ve vytápěném prostoru, i když pouze minimálně. Ohřívač nesplnil dodávku ani v případě odběrového profilu BDEXT1, který obsahuje méně výrazné odběrové špičky než ostatní profily.



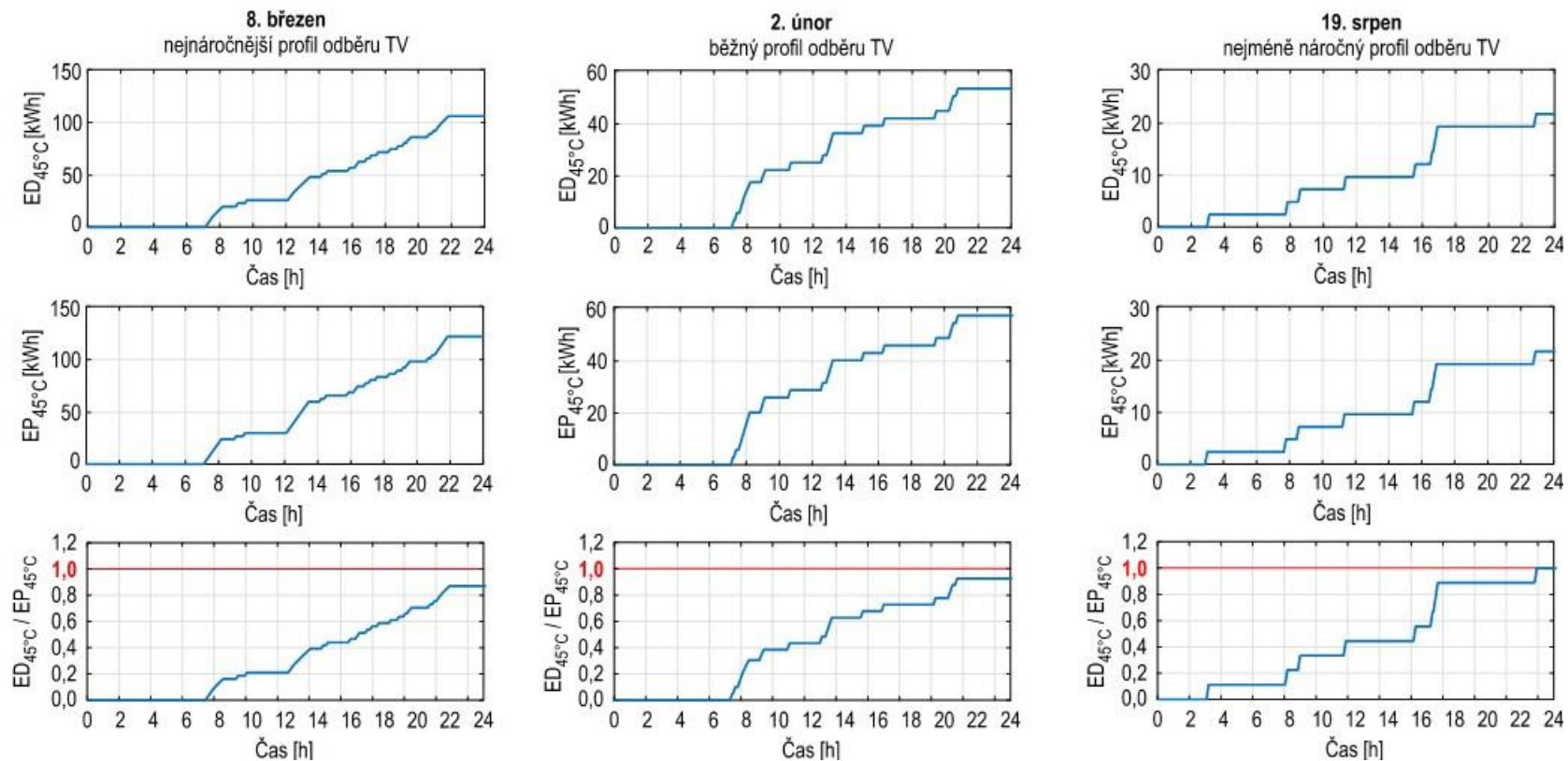
Obr. 46 Charakteristiky teploty ve vytápěné zóně a dodávky teplé vody v typických dnech z hlediska vytápění pro ohřívač IR 20-200



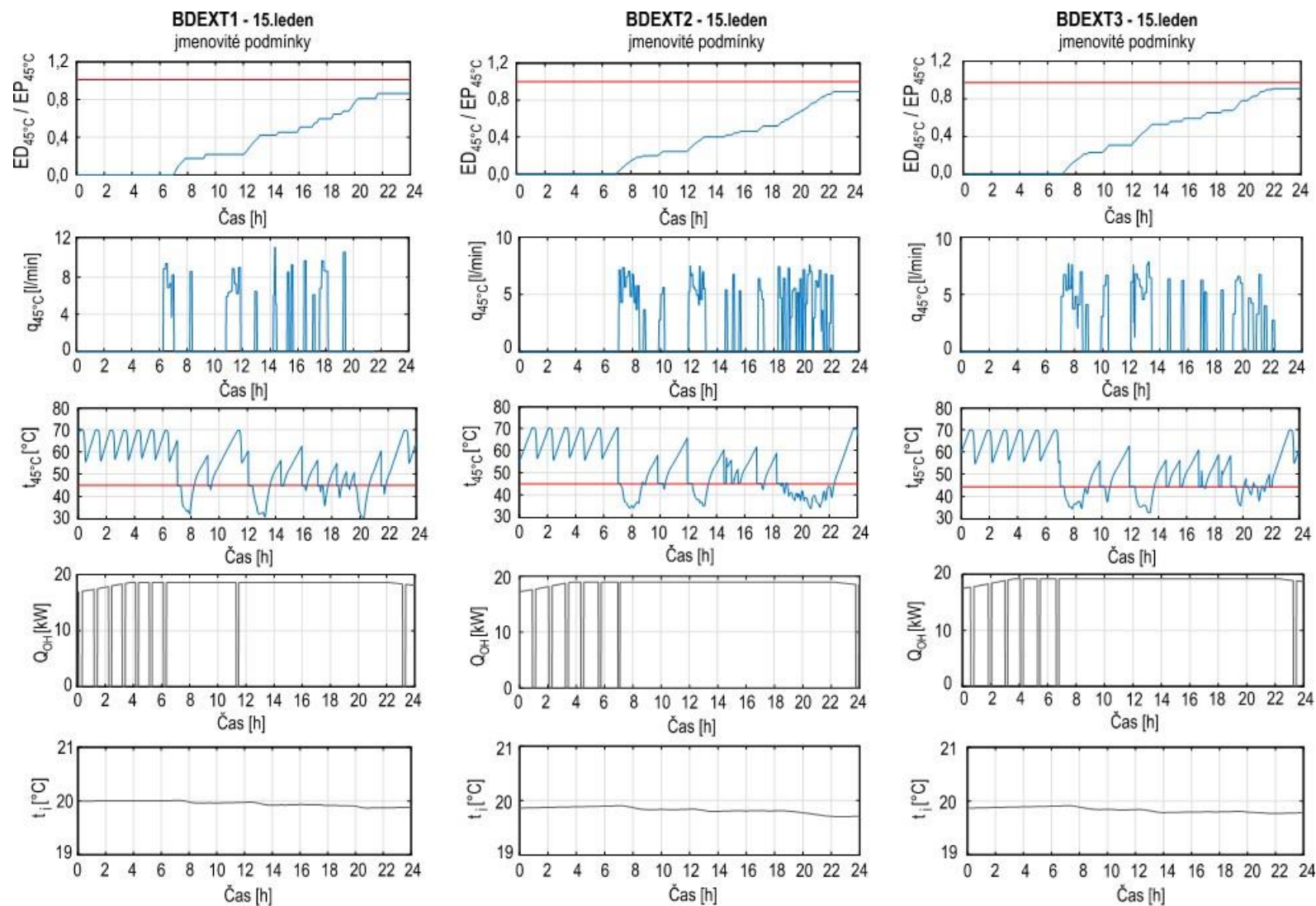
Obr. 47 Kumulativní charakteristiky dodávky teplé vody v typických dnech z hlediska přípravy teplé vody pro ohřivač IR 20-200, ED-skutečně dodaná energie v teplé vody, EP – požadovaná energie v teplé vodě



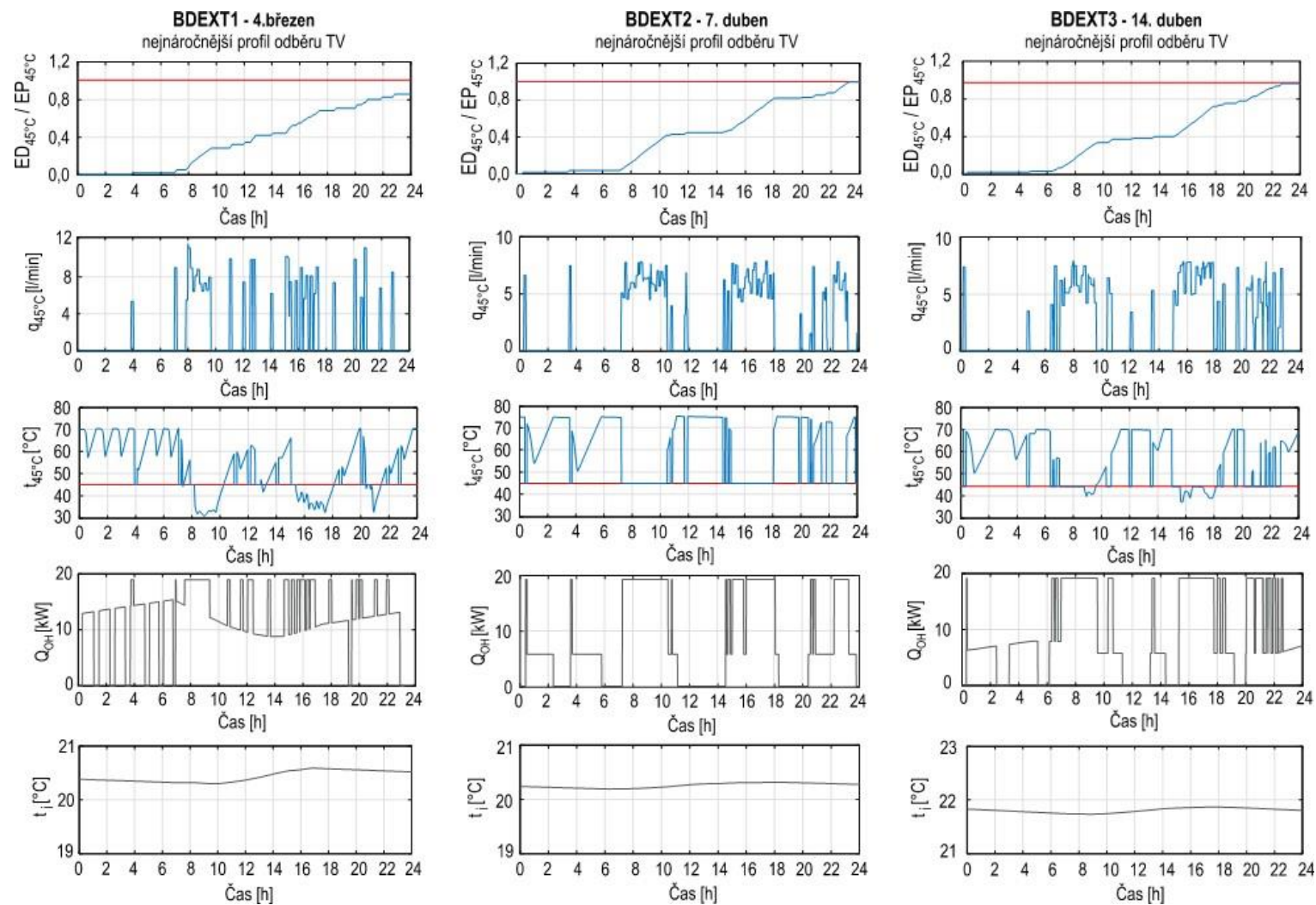
Obr. 48 Charakteristiky teploty ve vytápěné zóně a dodávky teplé vody a tepelného výkonu IR 20-200 v typických dnech z hlediska přípravy teplé vody



Obr. 49 Kumulativní charakteristiky dodávky pro IR 20-200 v typickém dni z hlediska přípravy teplé vody, ED – skutečně dodaná energie v teplé vodě, EP – požadovaná energie v teplé vodě



Obr. 50 Charakteristiky provozu ohřivače IR 20-200 při jmenovitých podmínkách z hlediska vytápění



Obr. 51 Charakteristika provozu ohřivače IR 20-200 při výskytu energeticky nejnáročnějších odběrů teplé vody

Test provozní a odběrové charakteristiky při zatížení zátěžovým profilem – roční zhodnocení

Roční zhodnocení je provedeno vyhodnocením úrovně nabití. Okrajové podmínky pro vyhodnocení úrovně nabití jsou uvedeny níže.

Okrajové podmínky

Spínací teplota na termostatu t_{SET} : 65 °C

Požadovaná teplota teplé vody t_{TV} : 45 °C

Intervaly

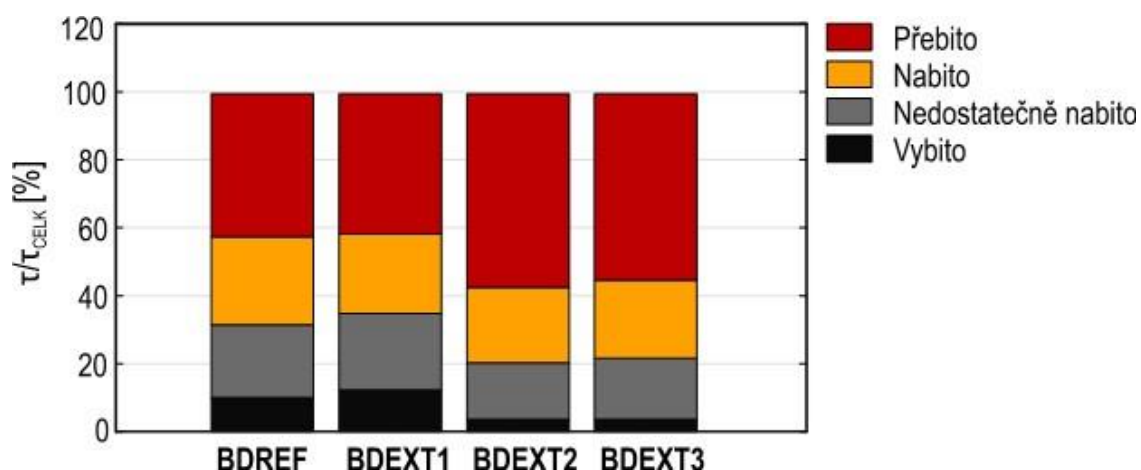
Přebito $t_{SET} \geq 55$ °C

Nabito 45 °C $\leq t_{SET} < 55$ °C

Nedostatečně nabito 35 °C $\leq t_{SET} < 45$ °C

Vybito $t_{SET} < 35$ °C

Dosažené výsledky jsou zobrazeny na Obr. 52 níže v procentuálním vyjádření. Procentuální vyjádření představuje dobu trvání daného stavu (přebito, nabito, nedostatečně nabito, vybito) během odběrů teplé vody v roce vztaženou k celkové době, kdy byla teplá voda během roku z ohřívače odebírána. Z grafu je patrné, že profil s největší četností výskytu stavu vybito je profil BDEXT1, pro který jsou charakteristické časově náročné odběry s průměrnou délkou trvání 10 minut. Profily BDEXT2 a BDEXT3 mají nejnižší četnost výskytu stavu vybito i přes skutečnost, že při nich bylo v celkovém součtu odebráno větší množství vody než při zbylých profilech. To ukazuje na fakt, že z hlediska hodnocení odběrů teplé vody není rozhodující pouze celkové množství odebrané teplé vody, ale také časové rozložení odběrů, jejich délka a odebíraný průtok.



Obr. 52 Rozložení úrovně nabití ohřívače IR 20-200 během všech odběrů teplé vody

3.3 Výsledky pro scénář C: ohřívač IR 12-160 v rodinném domě

Parametrická studie optimálního nastavení

Použité kombinace pro parametrickou studii jsou shrnuty v tabulce níže. Pro každou z uvedených kombinací byla provedena roční simulace provozu s krokem 1 minuta. Simulace proběhla pro referenční nastavení shrnuté v kapitole 6.3. Pro simulaci byl použit referenční zátěžový profil teplé vody. Na základě výsledků roční simulace byla jako optimální varianta zvolena kombinace 65 °C a 2 K hystereze, protože při ní byly splněny jak požadavky na dodávku teplé vody, tak na vytápění.

Výsledky parametrické studie

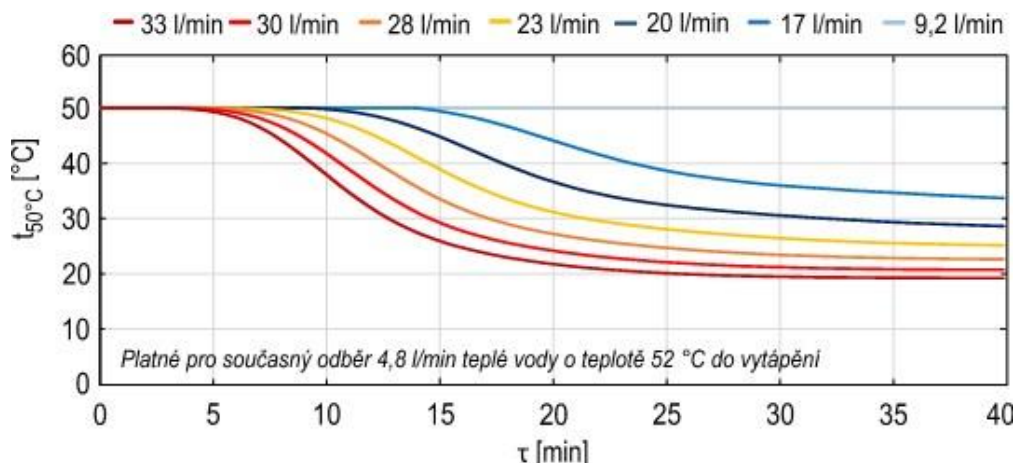
Termostat 0,7.H	Spínací teplota	60 °C			65 °C		
	Hystereze	2	10	15	2	10	15
Počet startů za rok		4743	3694	3301	4367	3404	3092
Maximální souvislá doba chodu [min]		60	77	84	68	87	96
Průměrná souvislá doba chodu [min]		26	34	38	27	38	41
Minimální souvislá doba chodu [min]		7	10	13	10	15	17
Stavy, kdy splněny požadavky na TV [%] ¹⁾		99	97	96	100	99	99
Stavy, kdy splněny požadavky na vytápění [%] ²⁾		100	100	100	100	100	100

1) tzn, kdy dodán požadovaný průtok o teplotě $t_{sm} (45 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$, vztaženo k celkovému požadovanému objemu o teplotě 45 °C za rok

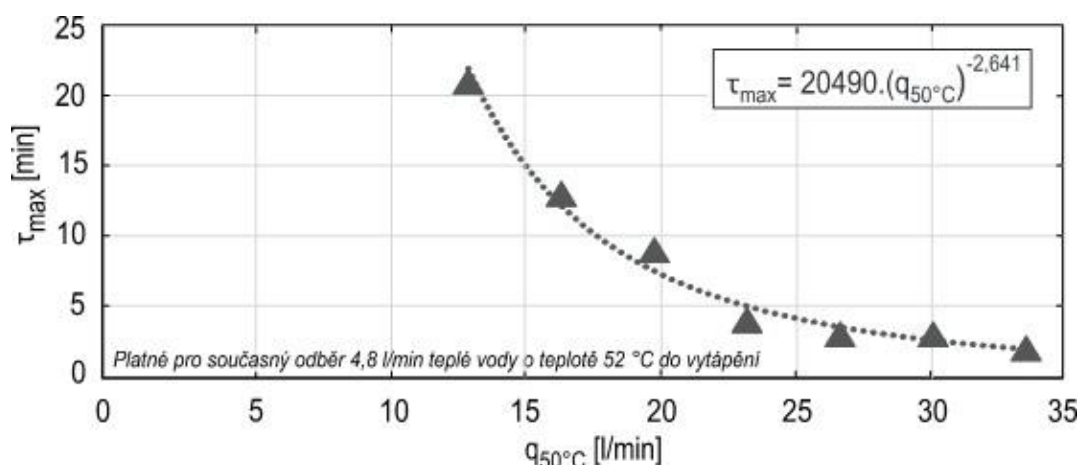
2) kdy teplota v zóně udržena na požadovaných $t_i (20 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$, vztaženo k počtu hodin otopného období

Test odběrové charakteristiky při zatížení jednorázovým odběrem, hledání limitu použití ohřívače

Test odběrové charakteristiky proběhl shodným způsobem jako u předchozího scénáře, tzn. nepřerušovaným odběrem a s aktivním zdrojem tepla. Ohřívač musí během testu dodávat trvale průtok do vytápění současně s dodávkou trvalého průtoku teplé vody na odběrná místa. Simulace proběhla pro ohřívač zapojený v základním numerickém modelu popsaném v kapitole 2. Testování probíhalo ze stavu plně nabitého ohřívače. Požadovaná teplota teplé vody dodávané na odběrná místa byla 50 °C, teplota přívodní studené vody byla nastavena na 5 °C. Jmenovitý průtok pro vytápění buňky pro zaměstnance je 285 kg/h, tzn. 4,8 l/min, návrhová teplota přívodní vody do vytápění je 52 °C. Na Obr. 53 jsou zobrazeny výsledky testu odběrové charakteristiky pro zvolené průtoky. Při současné dodávce průtoku 4,8 l/min vody o teplotě 52 °C do vytápění je ohřívač schopen na odběrná místa teplé vody trvale dodávat průtok 9,2 l/min vody o teplotě 50 °C. Odběrová špička o průtoku 33 l/min může dle výsledků trvat maximálně 5 minut, než dojde k poklesu teplé vody pod požadovaných 50 °C. Závislost maximální možné délky trvání odběrové špičky na trvalém průtoku je zobrazena na Obr. 54.



Obr. 53 Test odběrové charakteristiky ohřivače IR 32-380



Obr. 54 Maximální možná délka trvání odběrových špiček v závislosti na odebíraném průtoku

Parametry systému přípravy teplé vody a referenční odběrový profil teplé vody

Referenční odběrový profil teplé vody AMREF byl vygenerován programem DHWcalc. Uvažovaná propustnost mycích boxů je 60 vozidel za den celkem, přičemž referenční spotřeba teplé vody je stanovena na 55 l/vozidlo. Z toho vychází celková spotřeba teplé vody v hodnotě 3 300 l/den. Pro účely této práce byla požadovaná teplota po smísení stanovena na 50 °C pro celý mycí cyklus. Pro víkendy bylo uvažováno s 20 % navýšením celkového odebraného množství teplé vody oproti pracovnímu týdnu. Je uvažováno, že je myčka v provozu nepřetržitě během celého dne. Rozložení odběrů je rovnoměrné bez odběrových špiček podle tabulky níže. Zátěžové profily AMEXT1, AMEXT2 a AMEXT3 byly generovány pro stejné rozložení odběrů jako AMREF, změnily se pouze charakteristiky průměrného průtoku, doby trvání odběru nebo průměrné spotřeby teplé vody jsou uvedeny v tabulce.

Charakteristiky zátěžových profilů AMREF, AMEXT1, AMEXT2, AMEXT3

Zátěžový profil	AMREF	AMEXT1	AMEXT2	AMEXT3
Průměrná spotřeba TV (50 °C) celkem	3300 l/den	3300 l/den	3300 l/den	5300 l/den
Průměrný průtok [l/min]	6,7	6,7	10	10
Průměrná doba trvání odběru [min]	8	10	10	20
Max. možný průtok [l/min]	6,7	6,7	20	20

Charakteristiky rozdělení odběrů v profilu AMREFTV, pro teplotu 50 °C

Pracovní dny	Odebráno z celkové denní spotřeby
22:00-06:30	17 %
06:30-07:30	17 %
07:30-12:00	17 %
12:00-13:00	17 %
13:00-18:00	17 %
18:00-22:00	15 %
Víkendy	Odebráno z celkové denní spotřeby
23:00-07:00	17 %
07:00-09:00	17 %
09:00-15:00	17 %
15:00-17:00	17 %
17:00-20:00	17 %
20:00-23:00	15 %

Na Obr. 55 jsou zobrazeny provozní a odběrové charakteristiky ohřívače IR 32-380 při zatížení profilem AMREF. Charakteristiky jsou zobrazeny pro vybrané typické dny z hlediska vytápění, tzn. pro den, kdy se z hlediska vytápění vyskytly jmenovité podmínky, pro běžný den z hlediska vytápění a pro den mimo otopné období. Vzhledem k předpokladu trvale vysokého zatížení i přes letní období nebyla pro ohřívač navržena modulace výkonu, takže je z grafů dodávky výkonu patrné, že v případě potřeby je vždy dodán jmenovitý výkon. Ohřívač požadavek na dodávku splnil ve všech případech. Požadavek na teplotu v zóně v otopném období byl dodržen. Z kumulativního vyjádření dodávky energie v teplé vodě na Obr. 56 je patrné, že sestavený odběrový profil je rovnoměrný bez odběrových špiček, což je zásadní rozdíl oproti charakteru odběrů v rodinném nebo bytovém domě.

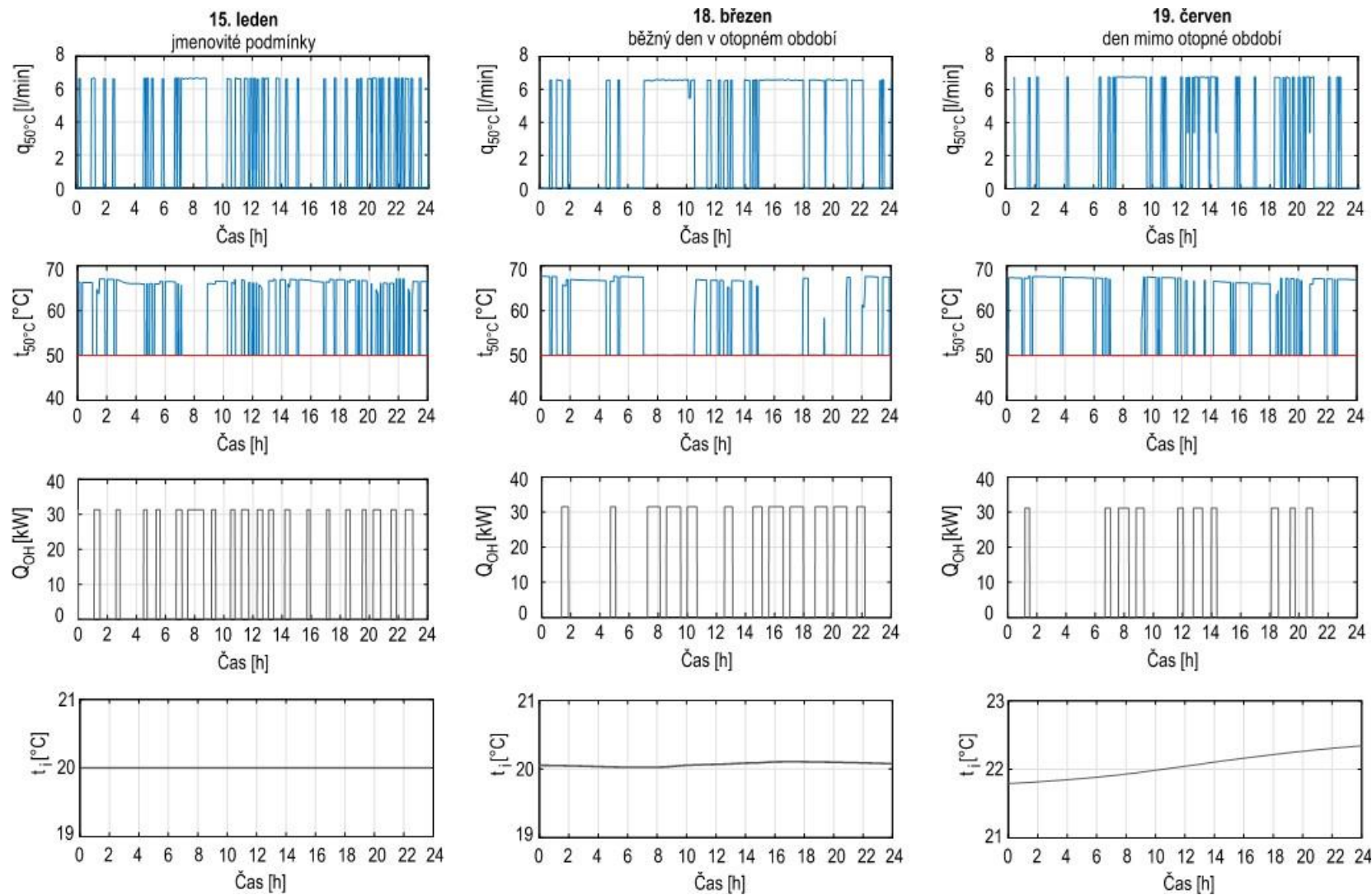
Na Obr. 57 jsou zobrazeny provozní a odběrové charakteristiky ohřívače pro vybrané typické dny z hlediska přípravy teplé vody, tzn. dny kdy se vyskytl energeticky nejnáročnější, běžný a nejlehčí profil odběru. Opět je patrné, že se nevyskytl problém s dodávkou teplé vody o požadované teplotě nebo udržení požadované teploty v zóně. Ohřívač spíná méně často než v případě ohřívače v rodinném domě, a to i přes vyšší četnost odběrů. Nižší potřeba spínání může být způsobena větším objemem ohřívače udržovaným na vyšší teplotě, který je schopen méně náročné odběry teplé vody pokrýt bez nutnosti spínat. Z kumulativního vyjádření na Obr. 58 je patrné, že ohřívač byl schopen splnit požadavek na dodávku energie ve všech vybraných typických dnech.

Na

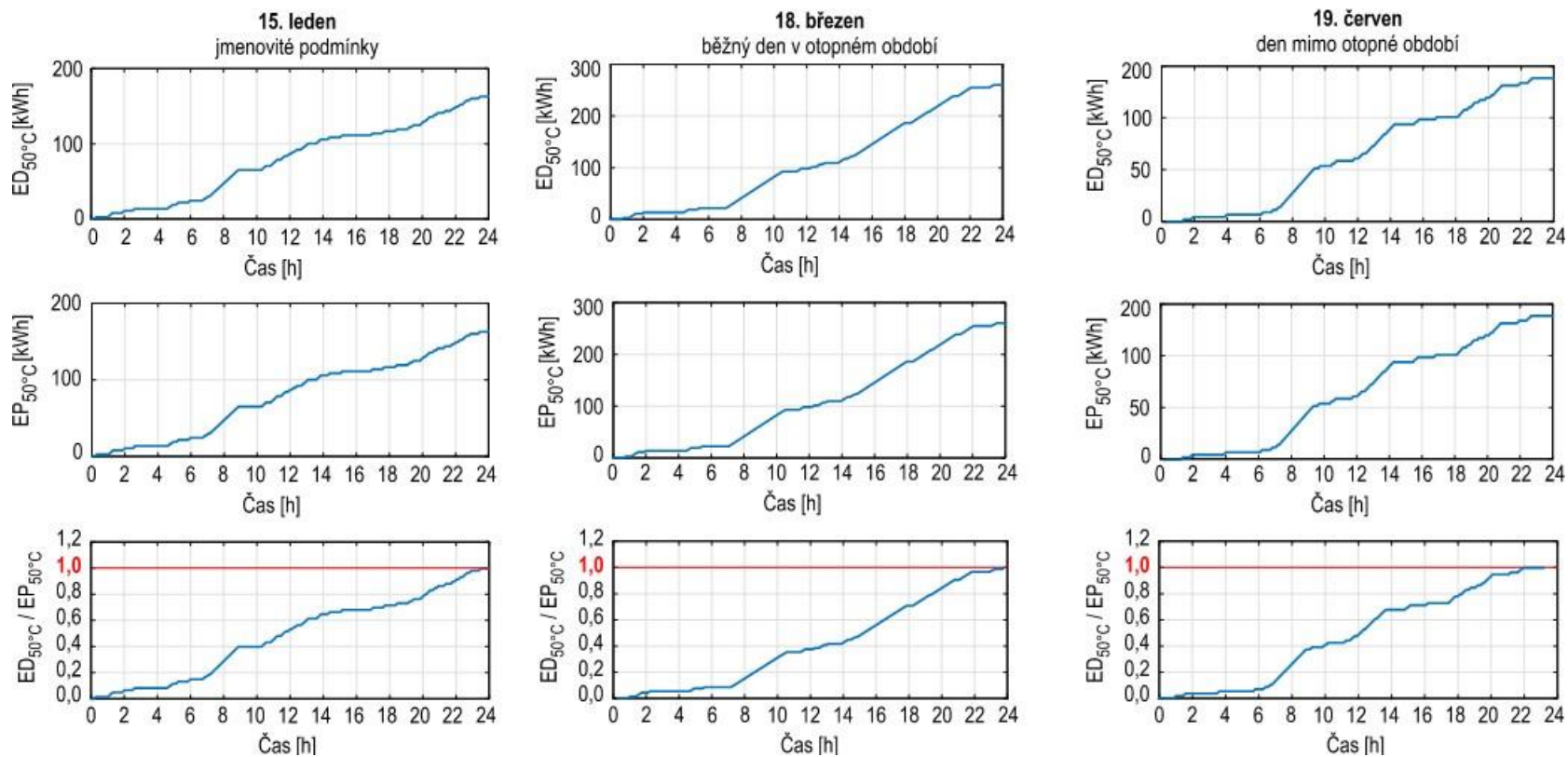
Obr. 60 jsou zobrazeny provozní a odběrové charakteristiky ohřívače při zatížení profily AMEXT1, AMEXT2 a AMEXT3, které byly záměrně navrženy náročnější než profil AMREF. Ohřívač nemá problém se splněním požadavku na dodávku při zatížení profilem AMEXT1. Profil AMEXT1 je shodný s profilem AMREF co se týče průměrného odebíraného průtoku, ale liší se v průměrných dobách trvání odběrů. Průměrná doba trvání odběrů byla v případě profilu AMEXT1 navýšena o 2 minuty oproti profilu AMREF. Toto navýšení se na změně provozní a odběrové charakteristiky neprojevilo.

V profilu AMEXT2 byl kromě průměrné doby trvání odběru navýšen také průměrný odebíraný průtok teplé vody, což už se negativně projevilo na schopnosti ohřívače splnit dodávku teplé vody. Kritické jsou zejména odběry teplé vody s dobou trvání přes 30 minut a s průtokem teplé vody nad 10 l/min. Na teplotě v zóně se snížení teploty dodávané teplé vody žádným způsobem neprojevilo ani v případě jmenovitých podmínek z hlediska vytápění.

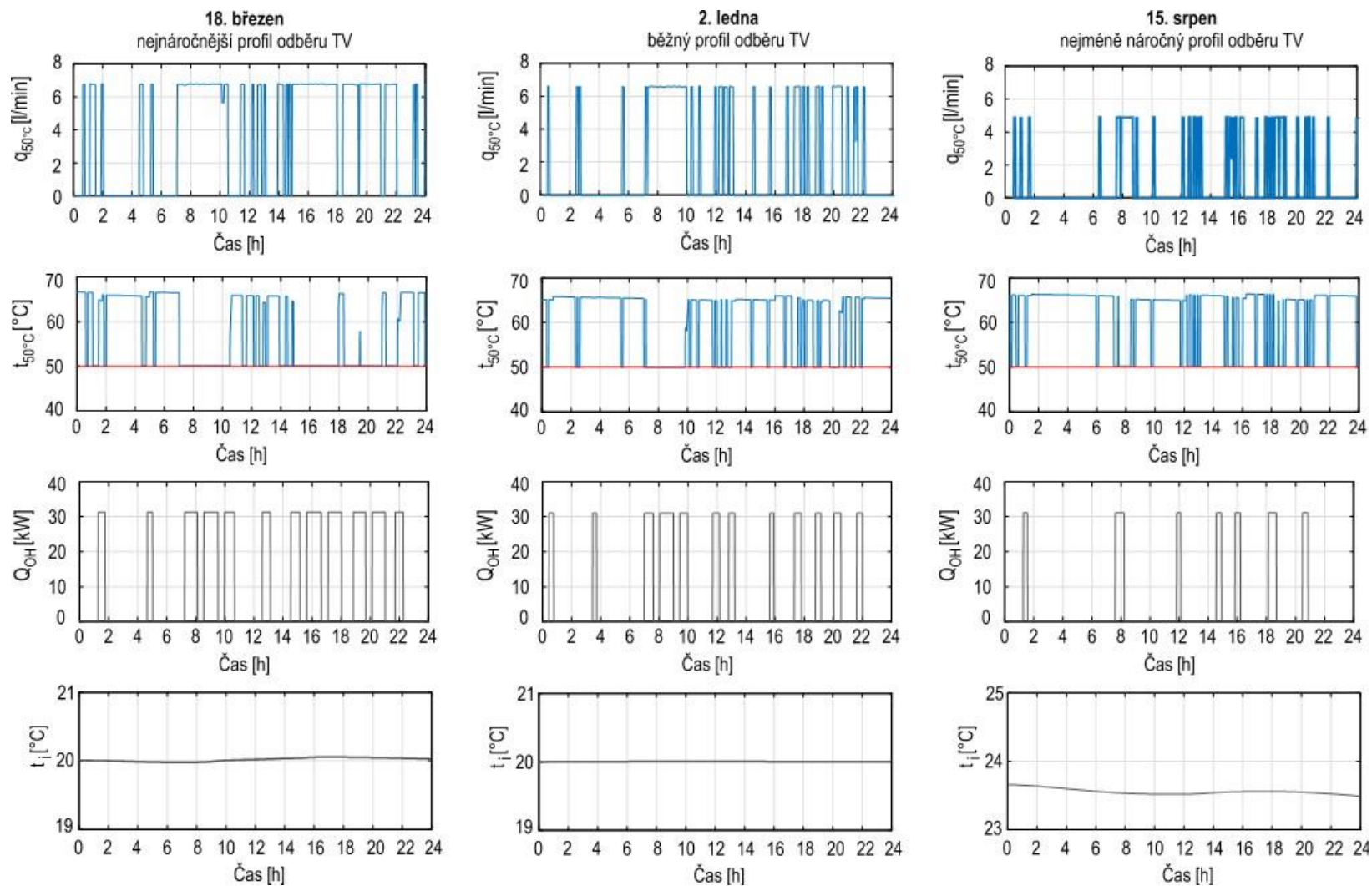
V profilu AMEXT3 došlo k navýšení průměrného odebíraného množství teplé vody za den, k navýšení odebíraného průtoku a doby trvání odběrů, tudíž představuje nejnáročnější profil odběru teplé vody z celé sady.



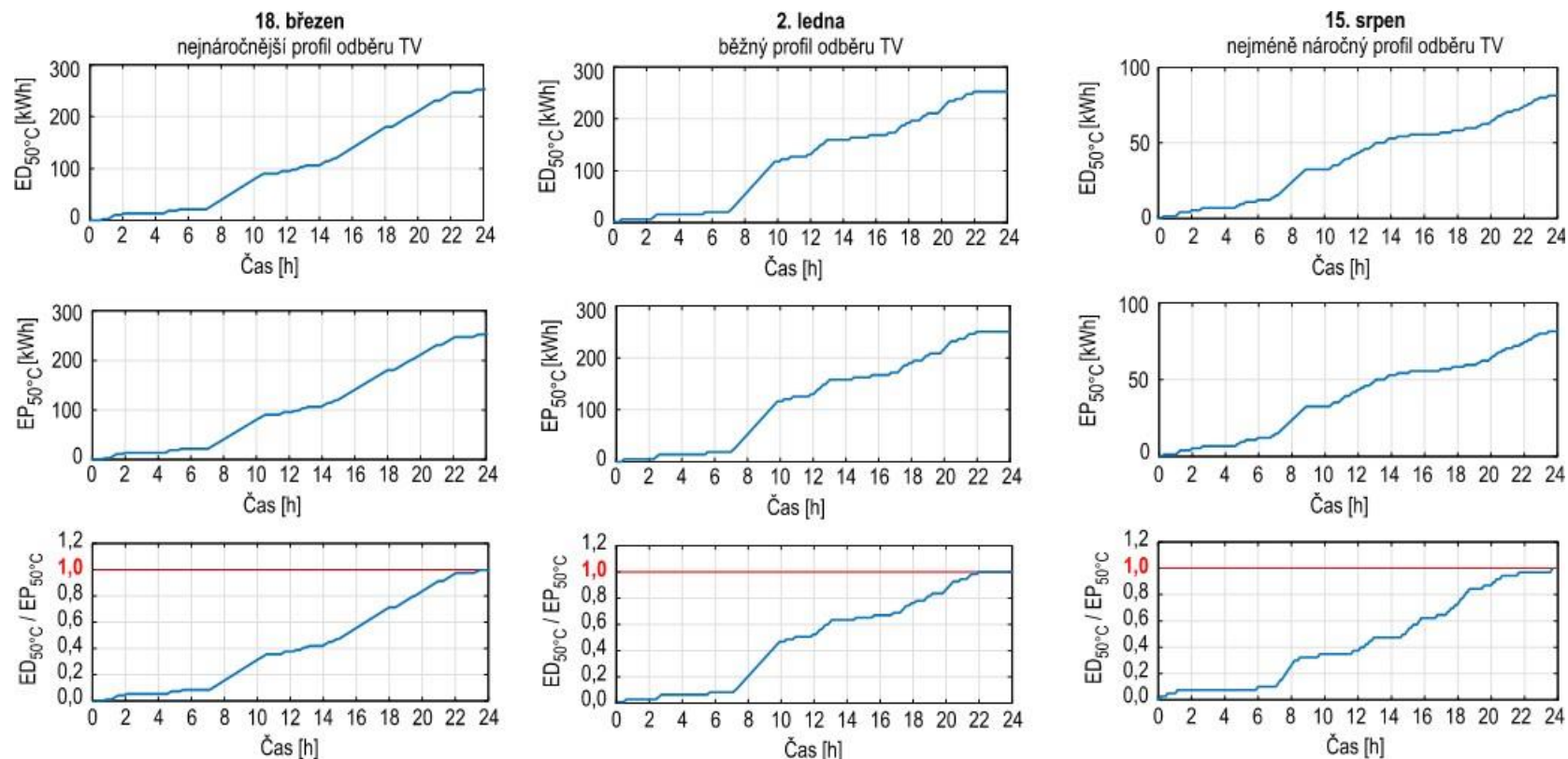
Obr. 55 Charakteristiky teploty ve vytápěné zóně a dodávky teplé vody v typických dnech z hlediska vytápění pro ohřivač IR 32-380



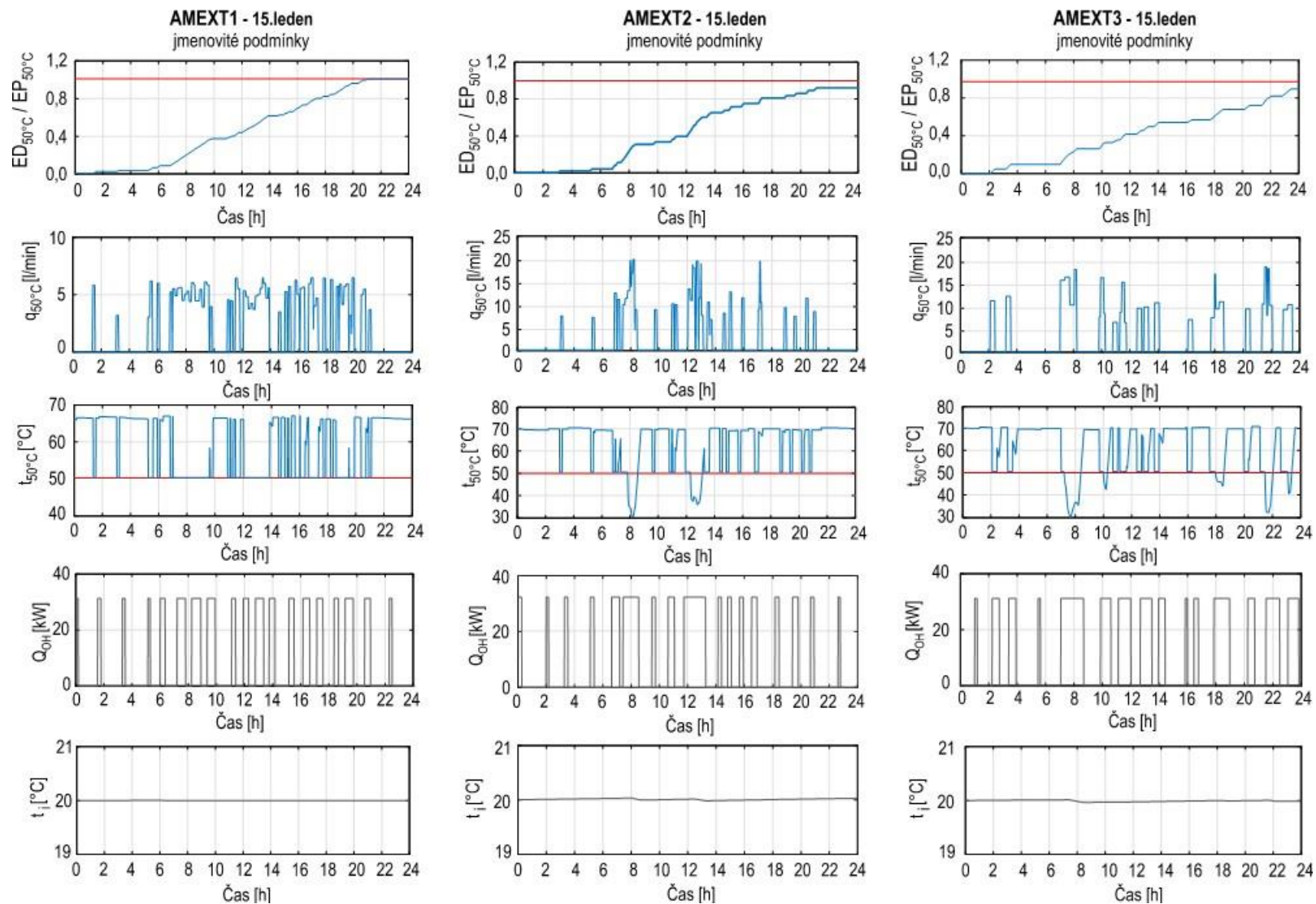
Obr. 56 Kumulativní charakteristiky dodávky teplé vody pro IR 32-380 v typických dnech z hlediska vytápění, ED – skutečně dodaná energie v teplé vodě, EP – požadovaná energie v teplé vodě



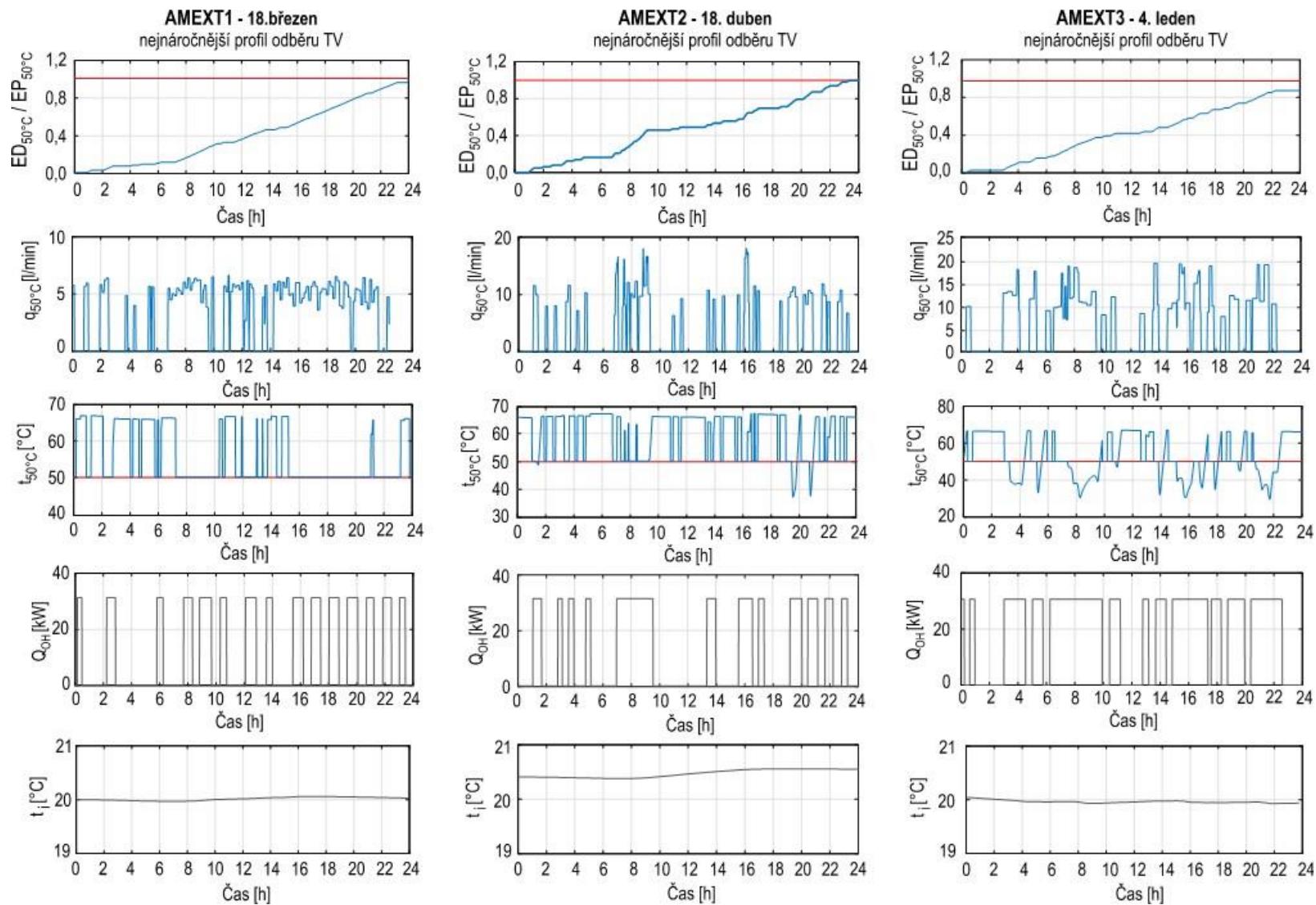
Obr. 57 Charakteristiky teploty ve vytápěné zóně a dodávky teplé vody pro IR 32-380 v typických dnech z hlediska přípravy teplé vody



Obr. 58 Kumulativní charakteristiky dodávky pro IR 32-380 v typické dny z hlediska přípravy teplé vody, ED – skutečně dodaná energie v teplé vodě, EP – požadovaná energie v teplé vodě



Obr. 59 Charakteristiky provozu ohřivače IR 32-380 při jmenovitých podmínkách z pohledu vytápění



Obr. 60 Charakteristiky provozu ohřivače IR 32-380 při výskytu energeticky nejnáročnějších odběrů teplé vody

Test provozní a odběrové charakteristiky při zatížení zátěžovým profilem – roční zhodnocení

Roční zhodnocení je provedeno vyhodnocením úrovně nabití. Okrajové podmínky pro vyhodnocení úrovně nabití se od předchozích případů vzhledem k vyšší požadované teplotě na odběrných místech liší.

Okrajové podmínky

Spínací teplota na termostatu t_{SET} : 65 °C

Požadovaná teplota teplé vody t_{TV} : 50 °C

Intervaly

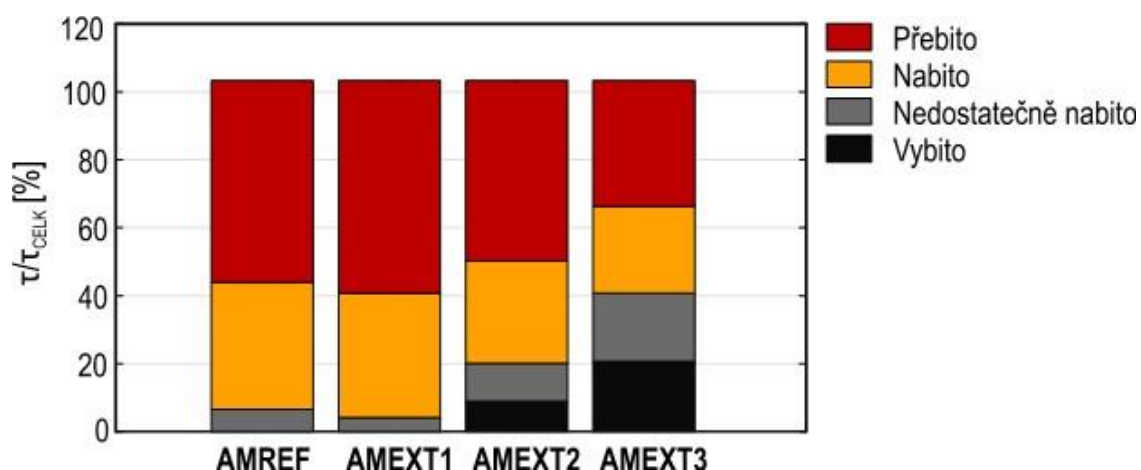
Přebito $t_{SET} \geq 65$ °C

Nabito 50 °C $\leq t_{SET} < 65$ °C

Nedostatečně nabito 40 °C $\leq t_{SET} < 50$ °C

Vybito $t_{SET} < 40$ °C

Dosažené výsledky jsou zobrazeny na Obr. 61 níže v procentuálním vyjádření. Jak je patrné z grafu, ohřívač nemá problém splnit dodávku teplé vody v případě zatížení odběrovým profilem AMREF a AMEXT1, ve kterých se vyskytují odběry o průměrné době trvání 8, resp. 10 minut a průměrném průtoku 6,7 l/min. V těchto profilech nikdy nedošlo k úplnému vybití kapacity ohřívače a ve stavu nedostatečně nabito se ohřívač nacházel pouze ve velmi malém procentu odběrů. Odběry o průměrném průtoku 10 l/min a průměrné délce trvání 10, resp. 20 minut, které se vyskytují v zátěžových profilech AMEXT2 a AMEXT3 představují pro ohřívač vyšší zatížení. Vysoká četnost výskytu stavu vybití ohřívače během odběru teplé vody je patrná zejména u profilu AMEXT3, ve kterém se vyskytují odběry o průměrné době trvání 20 minut.



Obr. 61 Rozložení úrovně nabití ohřívače IR 32-380 během všech odběrů teplé vody

3.4 Diskuze nad výsledky matematických simulací

Za účelem analýzy provozních a odběrových charakteristik přímo ohříváných zásobníků instalovaných v kombinovaných systémech přípravy teplé vody a vytápění byly sestaveny a simulovány tři scénáře. Scénář A představoval správně navržený ohříváč provozovaný v rodinném domě, scénář B byl modelovým příkladem chybně navrženého ohříváče pro bytový dům a scénář C představoval správně navržený ohříváč používaný v modulárních mycích boxech.

Ve scénáři A byl simulován ohříváč IR 12-160 jmenovitým výkonu 11,7 kW a o užitém objemu 160 litrů provozovaný v rodinném domě o jmenovité tepelné ztrátě 4,6 kW. Poměr potřebného výkonu pro přípravu teplé vody a pro vytápění za jmenovitých podmínek byl 1,4. Pro ohříváč byla provedena parametrická studie optimálního nastavení. Bylo zjištěno, že nejmenšího množství startů za rok a nejdelší průměrné souvislé doby chodu se dosáhne, pokud je nastavena nejvyšší možná nastavitelná hodnota hystereze, tzn. 15 K. Z hlediska spínací teploty bylo zjištěno, že nastavení vyšší spínací teploty vede ke snížení počtu startů za rok a k prodloužení průměrné souvislé doby chodu ohříváče. Udržování vyšší teploty v ohříváči ke zvýšení pohotovostní kapacity a k lepší schopnosti pokrytí náročnějších odběrů. Zároveň ale vede k navýšení tepelných ztrát z ohříváče do okolí. Dále byl proveden test jednorázového zatížení ohříváče a byly hledány limity jeho použití. Pro test byly použity průtoky teplé vody typické pro rodinné domy, z hlediska vytápění byly uvažovány jmenovité podmínky, tzn. dodávka 6,7 l/min vody o teplotě 52 °C do primárního okruhu vytápění. Z testu bylo zjištěno, že s požadavkem na dodávku vyššího průtoku teplé vody na odběrná místa klesá doba, po kterou je ohříváč schopen tuto dodávku splnit. Výslednou závislost maximální možné doby trvání průtoku do poklesu teploty teplé vody pod požadovanou hodnotu lze aproximovat klesající mocninnou funkcí. Z testu odběrovým profilem teplé vody vyplynulo, že z hlediska zatížení ohříváče nejsou rozhodující krátké odběry (do 5 minut) o malých průtocích (do 5 l/min) a to ani v případě, že probíhají v rychlém sledu za sebou. Problémy s dodávkou teplé vody o požadované teplotě nastávaly výhradně v případě dlouhotrvajících odběrů o vysokém průtoku (nad 10 minut o průtoku nad 10 l/min).

Ve scénáři B byl simulován ohříváč IR 20-200 o jmenovitým výkonu 19,7 kW a užitém objemu 200 litrů provozovaný v bytovém domě o jmenovité tepelné ztrátě 17 kW. Poměr potřebného výkonu pro přípravu teplé vody a vytápění byl 0,85, tzn. náročnějším systémem byl systém vytápění. Scénář B byl sestaven jako modelový případ projekční chyby, což se výrazným způsobem projevilo na provozní charakteristice simulovaného ohříváče. Požadavek na pokrytí vysoké tepelné ztráty připojeného objektu způsobil, že ohříváč neměl kapacitu na splnění dodávky energie pro přípravu teplé vody. Z testu jednorázového zatížení trvalým průtokem vyplývá, že ohříváč by byl schopen splnit pouze dodávku teplé vody ekvivalentní k dodávce v případě scénáře A v rodinném domě. Například odběrová špička o průtoku 20 l/min by za daných podmínek z hlediska vytápění nesměla být delší než 10 minut. Po uplynutí této doby by ohříváč dále nebyl schopen tímto průtokem teplotu vodu o požadované teplotě dodávat. Přestože se jedná o ohříváč s vyšším výkonem a objemem než v případě scénáře A, vysoké zatížení od systému vytápění způsobilo, že z hlediska kapacity pro dodávku teplé vody není mezi ohříváči z obou scénářů v podstatě rozdíl. Z testu odběrovým profilem je zároveň patrné, že ohříváč má problém nejen s dlouhotrvajícími odběry o vysokém průtoku, ale i s krátkodobými odběry o výrazně menším průtoku, které nastávají v rychlém sledu za sebou. Zajímavým zjištěním je, že neschopnost ohříváče splnit požadavek na dodávku dostatečného množství energie se negativně projevila pouze na systému přípravy teplé vody. Zatímco zde došlo k poklesu teploty dodávané teplé vody pod požadovanou hodnotu, v případě vytápění se krátkodobé snížení teploty dodávané teplé vody výraznějším způsobem neprojevilo na teplotě ve vytápěném prostoru. To je dáno zejména vysokou tepelnou kapacitou budovy. Závěrem pro praktická řešení je skutečnost, že na případné projekční chyby bude více citlivý systém přípravy teplé vody. Pouze v případě budov s velmi

malou tepelnou kapacitou nebo v případě dlouhodobé neschopnosti ohříváče dodat dostatečné množství energie (v řádu hodin) by mohl nastat problém také s udržení požadované teploty ve vytápěném prostoru.

Ve scénáři C byl simulován ohříváč IR 32-380 o jmenovitém výkonu 31,3 kW a užitém objemu 380 litrů provozovaný v modulárních mycích boxech. Připojená buňka pro zaměstnance měla jmenovitou tepelnou ztrátu 3 kW. Poměr potřebného výkonu pro přípravu teplé vody a pro vytápění za jmenovitých podmínek byl 7,7. Scénář C je modelovým případem instalace s extrémními nároky na přípravu teplé vody v porovnání s nároky na vytápění. Charakter odběrového profilu je výrazně odlišný od charakteru odběrů v předchozích dvou scénářích. Pro rodinné domy jsou obecně typické velmi výrazné odběrové špičky, pro bytové domy méně výrazné, ale přesto stále patrné. Pro objekty mycích boxů se jako návrhový stav uvažují odběry bez výraznějších odběrových špiček. Zatížení je dáno počtem mycích boxů a nastavením průtoku v boxech. Z testu jednorázového odběru a z testu zatížení odběrovými profily byly zjištěny podobné trendy v provozních a odběrových charakteristikách jako v případě rodinného domu. Pro ohříváč je možné za daných okrajových podmínek definovat průtok, který je schopen dodávat trvale a dále maximální možnou délku trvání vyšších průtoků. Závislost maximální možné délky trvání odběru na odebíraném průtoku je možné aproximovat mocninnou funkcí stejně jako v případě rodinného a bytového domu. Pro ohříváč nejsou problematické krátké odběry o malém průtoku (do 10 l/min) a to ani v případě, že nastávají rychle po sobě. Stejně jako v případě rodinného domu jsou při hodnocení limitního zatížení rozhodující dlouhotrvající odběry o vysokých průtocích (zde nad 10 l/min s délkou trvání nad 10 minut). Krátkodobé snížení dodávané teploty teplé vody se na teplotě ve vytápěném prostoru neprojevovalo.

4 Experimentální ověření matematického modelu

Ke zjištění kapacity ohřivače pro pokrytí odběrové špičky teplé vody se provádí tzv. testování výtoče. Test výtoče podává informaci o tom, jak dlouho je ohřivač schopen pokrývat odběrovou špičku teplé vody, než dojde k poklesu teploty za termostatickým směšovacím ventilem teplé vody pod požadovanou hodnotu. V této fázi vývoje bylo důležité verifikovat zvolený matematický model a jeho nastavení s experimentem. Návrh experimentální trati byl proveden tak, aby bylo možné nezávisle testovat ohřivač jak pro samostatný odběr tepla v teplé vodě, tak i pro současný odběr tepla pro systém vytápění i teplé vody. Byl sestaven tzv. základní prototyp (viz. Kapitola 2.1.) Modul byl sestaven na měřicí stolici a byl napojen na otopnou soustavu halových laboratoří (Obr. 5). Pro možnost plynulé regulace odebraného množství tepla v otopné soustavě byl přímo do otopné soustavy laboratoře za napojení měřicí stolice modulu instalován termostatický směšovací ventil, oběhové čerpadlo s proměnnou regulací otáček, dvě teplotní jímková čidla Pt100 (vstupní a výstupní teplota otopné vody do otopných těles), průtokoměr a regulační ventil STAD. Měřicí stolice modulu vytápění dále obsahuje samostatný kalorimetr pro měření množství odebraného tepla z ohřivače do výměníků systému vytápění a regulační ventil STAD pro regulaci průtoku primárního nabíjecího okruhu z ohřivače. Součástí měřicí stolice modulu vytápění je také instalace odběrného místa teplé vody z ohřivače. Jedná se o výtokové potrubí simulující odběr teplé vody. Odběr teplé vody má instalovaný dvoucestný časově ovládaný ventil, teplotní čidlo pro snímání teploty odebírané teplé vody (Pt100), průtokoměr a regulační ventil STAD.

Každý testovaný přímo ohříváný zásobníkový ohřivač teplé vody byl současně osazen celkem 7 ks povrchových čidel Pt100 pro stanovení průběhu teplot v zásobníku v závislosti na způsobu odběru tepla (Obr. 6). Prostupy povrchovou izolací pro teplotní čidla byly zpětně tepelně izolovány. Na výstupu ze zásobníku ohřivače je osazen trojcestný směšovací ventil s příložným čidlem a automatickou regulací teploty vody v rozsahu od 5 do 90 °C. Součástí této sestavy je automatický odvzdušňovací ventil, pojistný ventil a jímkové teplotní čidlo Pt100 pro verifikaci nastavení trojcestného ventilu na požadovanou teplotu teplé vody odebírané do soustavy teplé vody. Další teplotní čidla jsou osazena na vstupu z vodovodního řádu a vstupu do zásobníku ohřivače. Veškeré měřené veličiny jsou zaznamenávány měřicí ústřednou Ahlborn v online režimu.

4.1 Metodika testování zásobníkových ohřivačů

Měření bylo prováděno dle následujících metodik.

1. Výtoč zásobníku 24h – Jedná se provozní o stav, kdy ohřivač po dobu 24 hodin nedodával žádné teplo pro potřebu teplé vody ani vytápění, ale byl v tzv. pohotovosti, tzn. zásobník je nabitý, podle nastavené požadované teploty v zásobníku a spínací hystereze nabíjecího čidla ohřivače. Následně dojde k vyčerpání tepelného obsahu zásobníku při jeho zapnutém stavu a trvalém odběru tepla. Je zjišťována teplota vody na výstupu ze zásobníku po ustálení provozu a maximální tepelná kapacita zásobníku ohřivače.

2. Okamžitá výtoč zásobníku (Ok) – Jedná se o provozní stav, kdy po úplném vyčerpání tepelného obsahu zásobníku dochází k jeho nabití (odběr tepla je zastaven) a následně jeho opětovnému vybití. Testována je tak provozní kapacita zásobníku ohřivače. K opětovnému odběru tepla ze zásobníku ohřivače dochází při vypnutí hořáku v nabíjecím režimu. Je zjišťována teplota vody na výstupu ze zásobníku po ustálení provozu (vybití, resp. nabití) a časové intervaly k dosažení jednotlivých spínacích režimů.

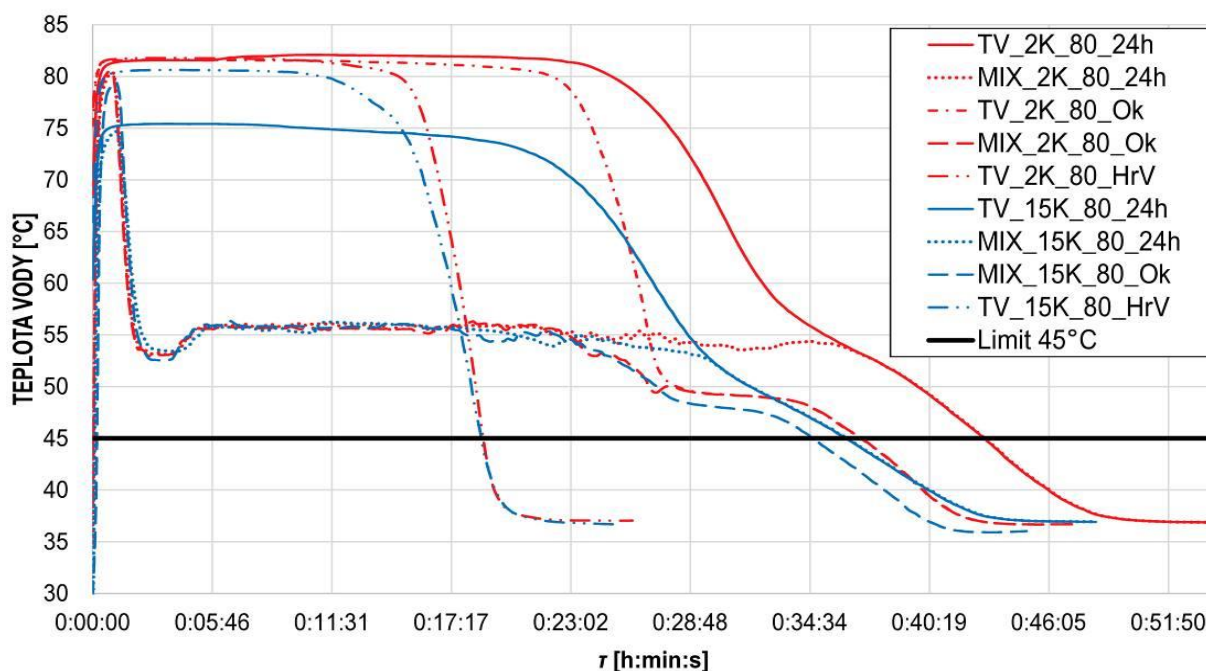
3. Hrubá výtoč zásobníku (HrV) – Jedná se o provozní stav, kdy je ze zásobníku ohřivače odebírána tepelný obsah na teplotní úrovni požadované nabitím zásobníku, tj. teplotou na výstupu ze zásobníku, nikoli

požadovanou teplotou teplé vody (např. pro Obr. 8 je teplota nabití zásobníku $t_{SET} = 80\text{ °C}$). Měřen je pokles teploty vody v zásobníku a jeho čas do ustálení v závislosti na průtoku odebíraného množství vody.

Ve všech provozních stavech je snímán čas, jednotlivé teploty a množství teplé vody. Pojem vyčerpání tepelného obsahu zásobníku je stav, kdy je teplotním čidlem požadované teploty teplé vody indikována konstantní hodnota a zároveň je po celou dobu ohřívač zapnut. Tímto způsobem testování lze zjistit oblasti množství dodávané teplé vody v závislosti na požadovaném průtoku a teplotě teplé vody, spínací hysterezi a nastavené teplotě v zásobníku ohřívače. Tedy data potřebná k ověření simulačního výpočtu.

Měření byla prováděna pro hodnoty spínací hystereze čidla zásobníku ohřívače 2, 4, 6, 10 a 15 K, požadovanou teplotu nabití zásobníku $t_{SET} = 80$ a 60 °C a průtoky odběru teplé vody 6, 10 a 20 l/min. Dále uváděné grafy prezentují jen některé dosažené výsledky.

Graf na Obr. 62 ukazuje výsledky měření ohřívače IR 20-200. Obr. 62 znázorňuje výstup měřených dat pro požadovaný průtok odběru teplé vody 10 l/min o teplotě teplé vody dodávané do vodovodu $t_{MIX} = 55\text{ °C}$ (měřeno za trojcestným směšovacím ventilem zásobníku teplé vody), teplotu nabití zásobníku $t_{SET} = 80\text{ °C}$ (měřeno na výstupu ze zásobníku) a spínací hysterezi čidla ohřívače 2, resp. 15 K.

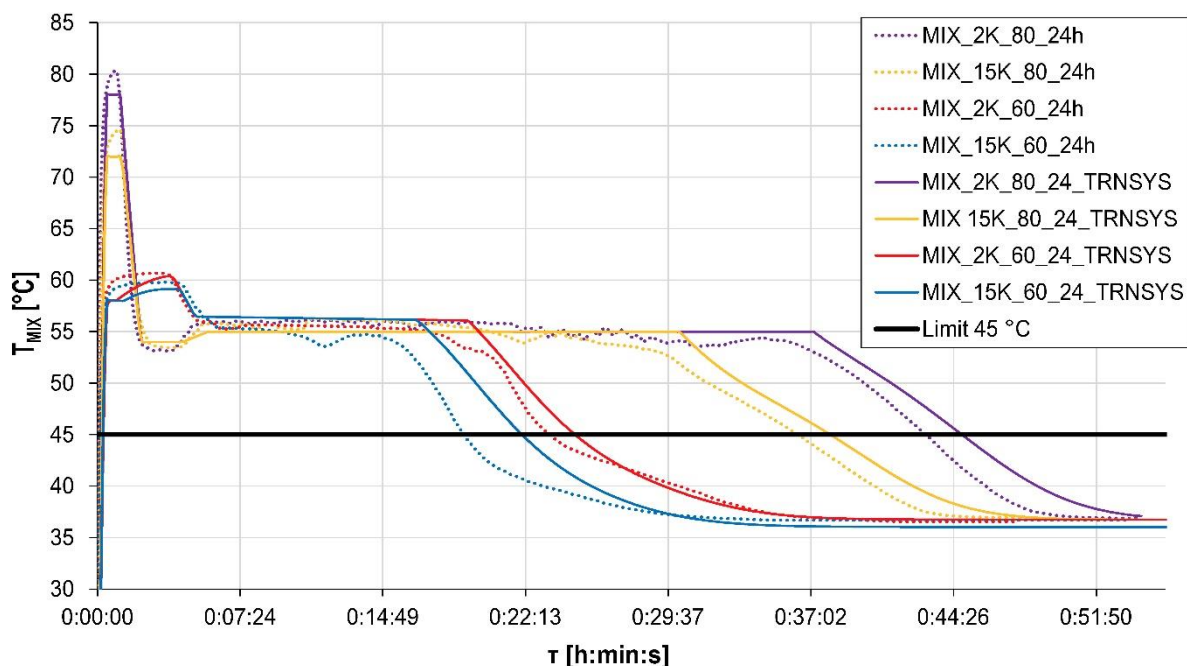


Obr. 62 Měření výtoče zásobníku ohřívače IR 20-200 pro odběr teplé vody 10 l/min, teplotu nabití zásobníku $t_{SET} = 80\text{ °C}$, požadovanou teplotu teplé vody do vodovodu $t_{MIX} = 55\text{ °C}$ a spínací hysterezi ohřívače 2 K (červené křivky) a 15 K (modré křivky)

4.2 Verifikace matematického modelu experimentem

Dalším krokem tak bylo ověření matematického modelu ohřívače, který je podrobně popsán v kapitole 2. Jednalo se o sledování poklesu teploty za směšovacím ventilem teplé vody v závislosti na odebíraném průtoku teplé vody. Na Obr. 63 jsou vyneseny jednak výsledky matematické simulace a také experimentu pro ohřívač IR 20-200 a odběr teplé vody 10 l/min. Na grafickém porovnání je v úvodní fázi výtoče patrná zřetelná odlišnost reálného chování trojcestného směšovacího ventilu (daná spojitou regulací), v porovnání s matematickou simulací, kdy chování trojcestného ventilu bylo nastaveno na pevné spínací cykly. Porovnání dosažené výtoče

tohoto zásobníku mezi simulací a reálným měřením pak vykazuje největší rozdíly pro nastavení vyšší teploty t_{SET} což je pravděpodobně způsobeno právě rozdílným chováním trojcestného ventilu v experimentu oproti základnímu nastavení výpočetního modelu. Další roli může hrát použitý matematický model zásobníku, který byl navržen pro zásobníky s nepřímým ohřevem vody. Velikost teplosměnné plochy, pozice čidla a způsob provozu je však u zásobníků s přímým ohřevem odlišný. Nicméně i tak lze konstatovat, že i tento základní model zahrnutý v knihovně TRNSYS vykazuje poměrně dobrou shodu s provedeným experimentem.



Obr. 63 Porovnání výsledků matematické simulace a experimentu výtoče zásobníku 24h u ohřivače IR 20-200 při odběru teplé vody 10 l/min, teplotu nabití zásobníku $t_{SET} = 80\text{ °C}$ a 60 °C , s požadovanou teplotou teplé vody pro domovní vodovod $t_{MIX} = 55\text{ °C}$ a spínací hysterezi ohřivače 2 a 15 K

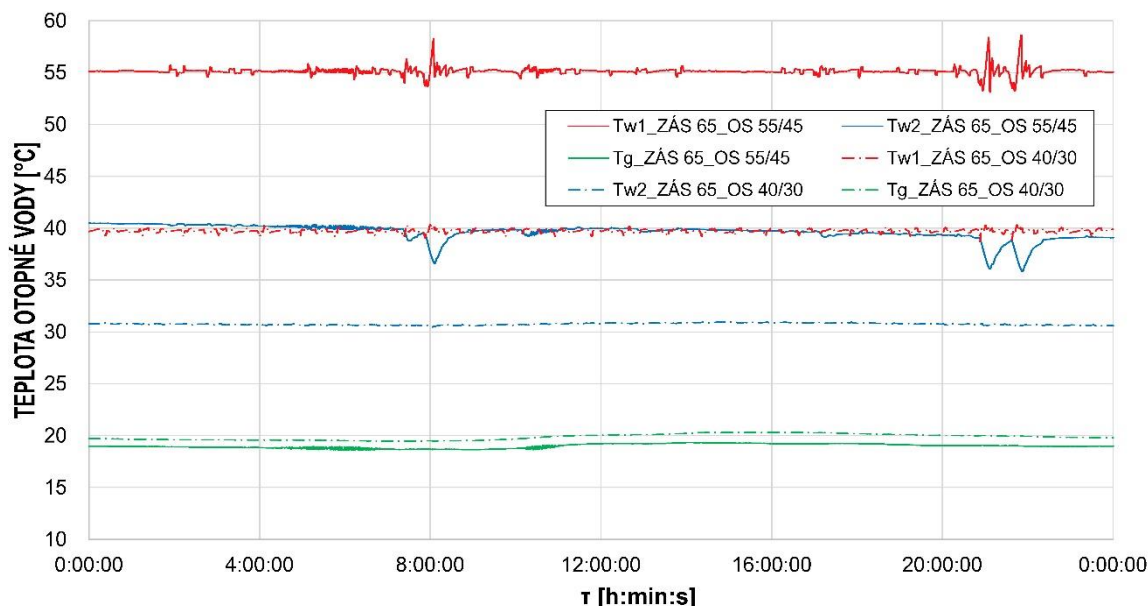
4.3 Experimentální ověření provozu ohřivače při současném odběru teplé vody a dodávky tepla pro systém vytápění

Okrajové podmínky testování byly stanoveny s ohledem na odběrové profily teplé vody stanovené dle Nařízení evropské komise č. 811 až 814/2013. Pro verifikaci chování napojeného modulárního systému na otopnou soustavu tak byly dodrženy následující nastavení:

- Příprava teplé vody – odpovídá vždy danému odběrovému profilu teplé vody.
- Vytápění – testováno pro teplotní spád otopné soustavy $55/45\text{ °C}$ (otopná tělesa) a $40/30\text{ °C}$ (podlahové vytápění).

Typický výsledek 24 hodinového sledování schopnosti dodržení podmínek dodávky tepla do systému vytápění při současném spínání odběrových špiček teplé vody dle nastaveného typu profilového odběru vody ukazuje pro ohřivač IR 20-200 Obr. 64, který je certifikován pro odběrový profil teplé vody XL, což odpovídá potřebě pro menší bytový dům cca 3 až 5 bytů. Pro tento z pohledu ohřivače jmenovitý odběrový profil teplé vody byly hledány možnosti pro v případě současného pokrytí potřeb otopné soustavy s otopnými tělesy ($55/45\text{ °C}$) a otopné soustavy s podlahovým vytápěním ($40/30\text{ °C}$). Výsledky na Obr. 64 prezentují 24hodinový záznam měření, kdy byla požadována trvalá konstantní dodávka tepla pro systém vytápění při spínání odběru teplé vody dle

odběrového profilu XL (ten vykazuje výrazné odběrové špičky teplé vody v 7:15, 7:30, 17:00, 20:45 a 21:30). Jako hodnotícím kritériem pro splnění současné dodávky tepla pro přípravu teplé vody a tepla pro systém vytápění byl zvolen časový záznam teploty na vstupu t_{w1} a výstupu t_{w2} z otopné soustavy. Dále byla ve vytápěném prostoru snímána teplota kulového teploměru t_g jako zpětná vazba na splnění požadavku dosažení tepelné pohody vytápěného prostoru (v tomto případě haly laboratoře ČVUT).



Obr. 64 24hodinový záznam průběhu teploty otopné vody na vstupu t_{w1} a výstupu t_{w2} z otopné soustavy a teplot kulového teploměru ve vytápěném prostoru haly laboratoře pro ohřívač IR 20-200 při nastaveném odběrovém profilu teplé vody XL, $t_{SET} = 65\ ^\circ\text{C}$ a spínací hysterezi 5 K

Je vidět, že v případě nízkoteplotní otopné soustavy (40/30 °C čerchované křivky Obr. 64, trvale požadován tepelný výkon systému vytápění cca 4 kW) a nastavení odběrového profilu teplé vody XL nedošlo za 24 hodin k žádnému poklesu teploty otopné vody ani v odběrových špičkách profilu. Naopak při testování stejného odběrového profilu XL, ale pro požadavek teplotního spádu otopné soustavy 55/45 °C jsou právě v odběrových špičkách teplé vody vidět teplotní výkyvy. Zde se projevilo ovšem více faktorů. Je zřejmé, že při současném odběru teplé vody v odběrových špičkách není schopen ohřívač udržet požadovanou teplotu na vstupu do otopné soustavy, kde byl trvale po dobu 24 hodin požadován tepelný výkon cca 10 kW. Je vidět, že při odběrové špičce teplé vody (v 7:30, 20:45 a 21:30) dochází k poklesu teplot otopné vody t_{w1} a t_{w2} . Nicméně dále se zde projevuje časová konstanta servopohonu trojcestného ventilu a podmínkami pro směšování trojcestného ventilu, resp. krajními hodnotami teplot pro směšování, kdy rozdíl mezi vstupem do trojcestného ventilu a požadavkem na výstupní teplotu z trojcestného ventilu je v ustáleném stavu 10 K, ale při současném odběru teplé vody a podpoře vytápění tento rozdíl výrazně klesá v závislosti na spínací diferenci ohřívače vody. Při pohledu na průběh teploty kulového teploměru ve vytápěném prostoru je ale zřejmé, že po celou dobu kombinovaného provozu ohřívače tj. 24 hodin, byla tato teplota vyrovnaná. Proto lze konstatovat, že se výkyvy teplot otopné vody v odběrových špičkách teplé vody na tepelné pohodě vytápěného prostoru neprojevily. Je jasné, že pro výkonově nižší odběrový profil teplé vody např. L, by schopnosti ohřívače dle Obr. 64 stran přeneseného tepelného výkonu pro otopnou soustavu byly vyšší. Zároveň také experiment nezohledňuje změnu potřeby tepla pro otopnou soustavu na základě změny venkovní teploty, dynamického chování budovy a dynamiky celé otopné soustavy jako celku. Je zřejmé, že časové prodlevy možného nezajištění požadované teploty otopné vody např. pro systém s podlahovým vytápěním by se s ohledem na výrazně vyšší časové konstanty této otopné

plochy (setrvačnost chladnutí je např. u mokrého systému podlahové vytápění v řádech několika hodin) na poklesu teploty kulového teploměru ve vytápěném prostoru výrazně neprojevily. V dalším výzkumu bude tento verifikovaný matematický model použit pro testování na konkrétních typech budov, různých typech otopných ploch právě s ohledem na jejich dynamické provozní vlastnosti a ve vazbě na celoroční provoz s ohledem na reálné klimatické podmínky.

Rozsáhlé testování tak ověřilo skutečnost, že pro použitý ohřívač s přímým ohřevem teplé vody lze vždy pro nízkoteplotní podmínky otopné soustavy, tj. do požadavku teplotního spádu 40/30 °C a vlastní testovaný profil odběru teplé vody v souladu s Nařízením evropské komise č. 811 až 814/2013 splnit podmínky pro současnou dodávku tepla jak pro systém vytápění, tak i pro systém přípravy teplé vody.

Navržený matematický model je plně vyhovující a lze ho využít přímo pro simulaci libovolného stavu požadovaného ze strany projektanta profese vytápění či zdravotně technických instalací.

5 Výkresová dokumentace nových prototypů QH-25 a QH-80

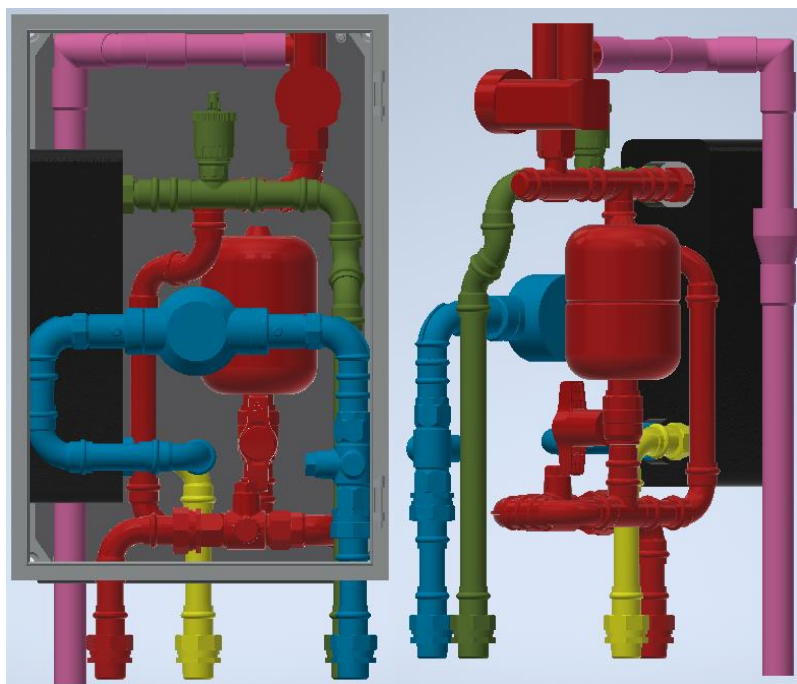
Na základě poznatků získaných experimentálním ověřením provozu navrženého modulárního systému byly sestaveny dva výrobní prototypy s označením QH-25 a QH-80. Číselné označení odpovídá jmenovitému tepelnému výkonu použitého deskového výměníku tepla.

5.1 QH-25

Jedná se modulární systém využívající běžné komponenty dostupné na trhu. Použité potrubí je v dimenzi 28 x 1 mm. Nabíjecí paralelní větev za ohřívače teplé vody, tj. vstup do výměníku je na obrázcích označena zelenou barvou. Výstup z výměníku (vratná paralelní větev do ohřívače) je označen modrou barvou. Výstup z výměníku směrem do sekundární větve, tj. přívodní potrubí do systému vytápění je označen červenou barvou. Vstup do výměníku ze sekundární větve, tj. vratné potrubí ze systému vytápění je označen žlutou barvou.



Obr. 65 3D pohled na prototyp QH-25



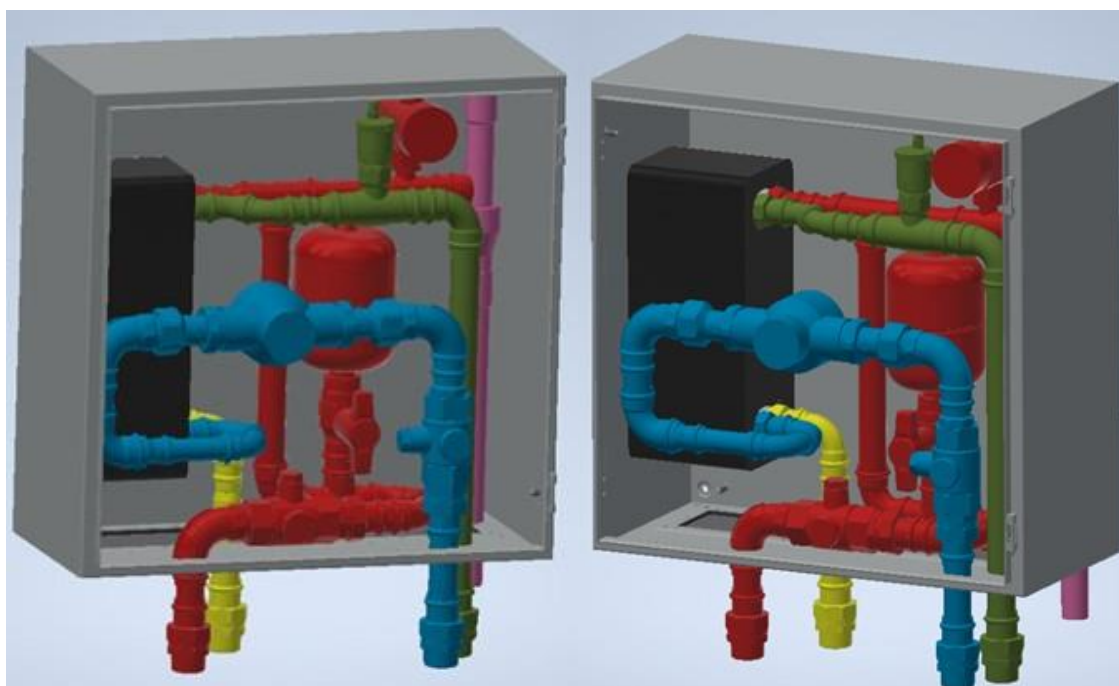
Obr. 66 Základní pohledy (přední pohled a pohled bez obalové skříně)

Dle výkresové dokumentace, která je součástí samostatné přílohy k této závěrečné zprávě je úplný výpis z kusovníku následující.

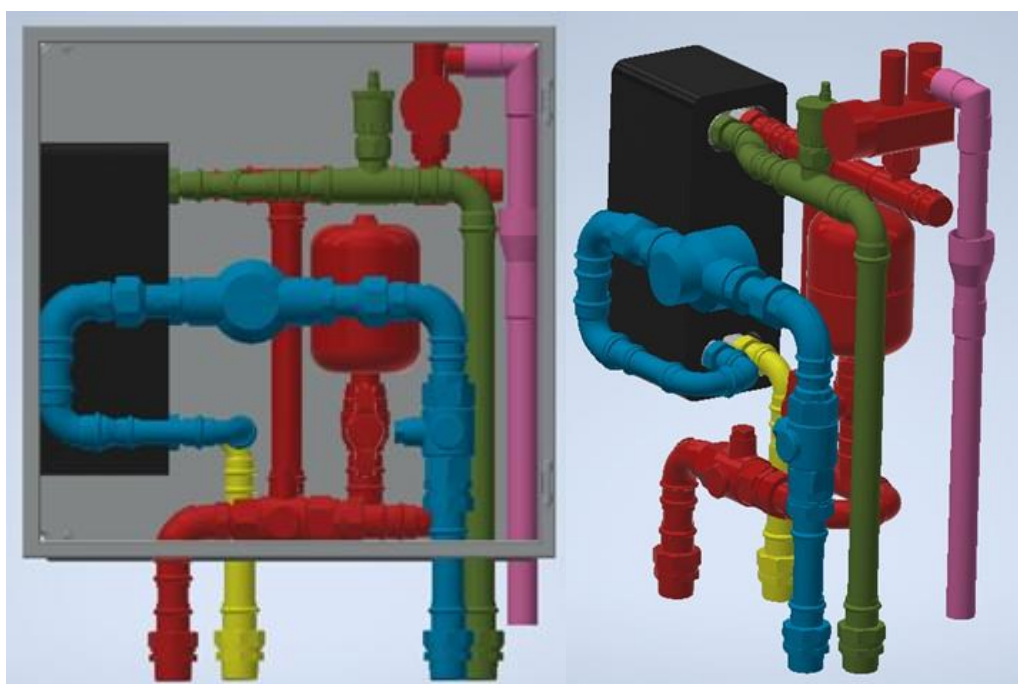
ODKAZ	NÁZEV	KS
1	Deskový výměník tepla SWEP E8TH 14 + izolace	1
2	oblouk 90°profipress	7
3	přechodový oblouk 90°sunpress	3
4	Šroubení k čerpadlu s kulovým kohoutem	2
5	Oběhové čerpadlo willo star Z-20	1
6	Kulový ventil s filtrem - fireball	2
7	přechodový kus (šroubení) sunpress	1
8	připojovací šroubení sanpress	4
9	T-kus sanpress (vnitřní závit)	1
10	automatický odvzdušňovací ventil	1
11	bezpečnostní skupina s izolací	1
12	T-kus profipress	2
13	oblouk 45°profipress	2
14	nástěnná skříň MAS-Mild steel	1
15	Tlaková nádoba s membránou 2l	1
16	Easytop - kulový kohout	1
17	koleno HTB 87°-DN32	1
18	HT potrubí DN32	2
19	redukce HTR DN50/32	1
20	Koleno HTB 45°- DN32	1
21	oblouk 90°profipress	3
22	Přechodové šroubení Sunpress	6
23	T-kus se závitěm sunpress	1
24	Profipress - Zátka	1
25	redukce 3/4" x 1" PN16	1
	měděné potrubí	1,5 m

5.2 QH-80

Jedná se modulární systém využívající běžné komponenty dostupné na trhu. Použité potrubí je v dimenzi 28 x 1 mm (nabíjení ze strany ohřívače teplé vody) a 35 x 1 mm (sekundárně připojený systém – vytápění). Nabíjecí paralelní větev za ohřívače teplé vody, tj. vstup do výměníku je na obrázcích označena zelenou barvou. Výstup z výměníku (vratná paralelní větev do ohřívače) je označen modrou barvou. Výstup z výměníku směrem do sekundární větve, tj. přívodní potrubí do systému vytápění je označen červenou barvou. Vstup do výměníku ze sekundární větve, tj. vratné potrubí ze systému vytápění je označen žlutou barvou.



Obr. 67 3D pohled na prototyp QH-80

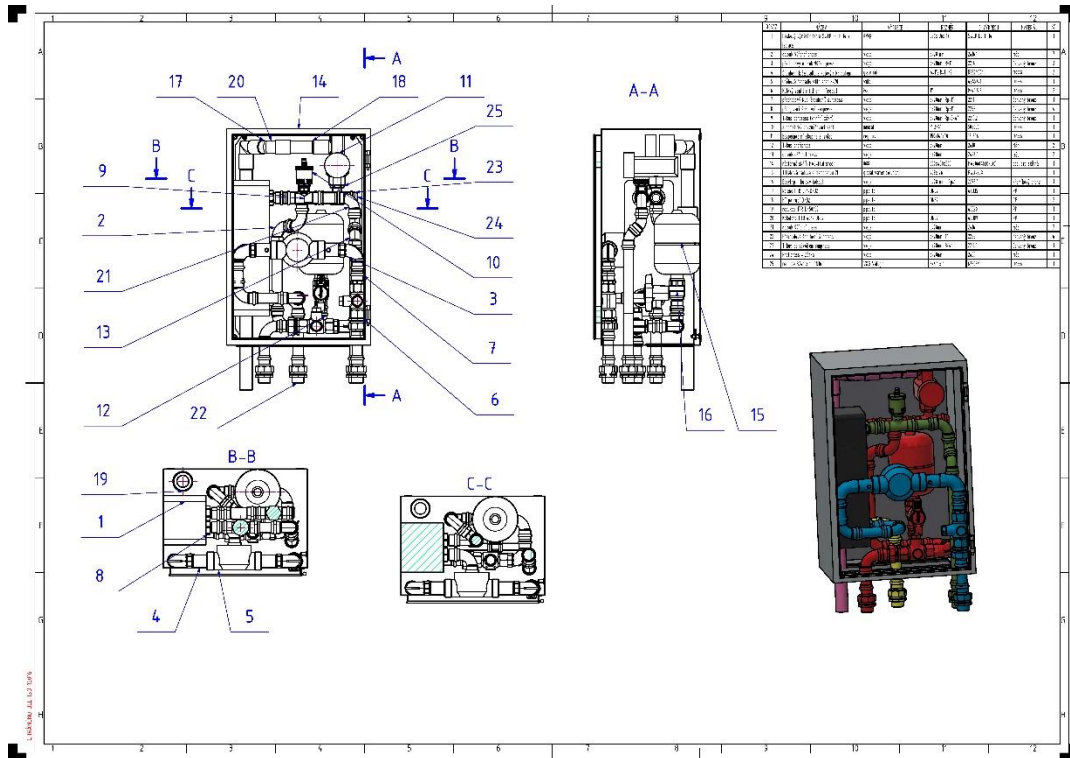


Obr. 68 Základní pohledy (přední pohled a pohled bez obalové skříně)

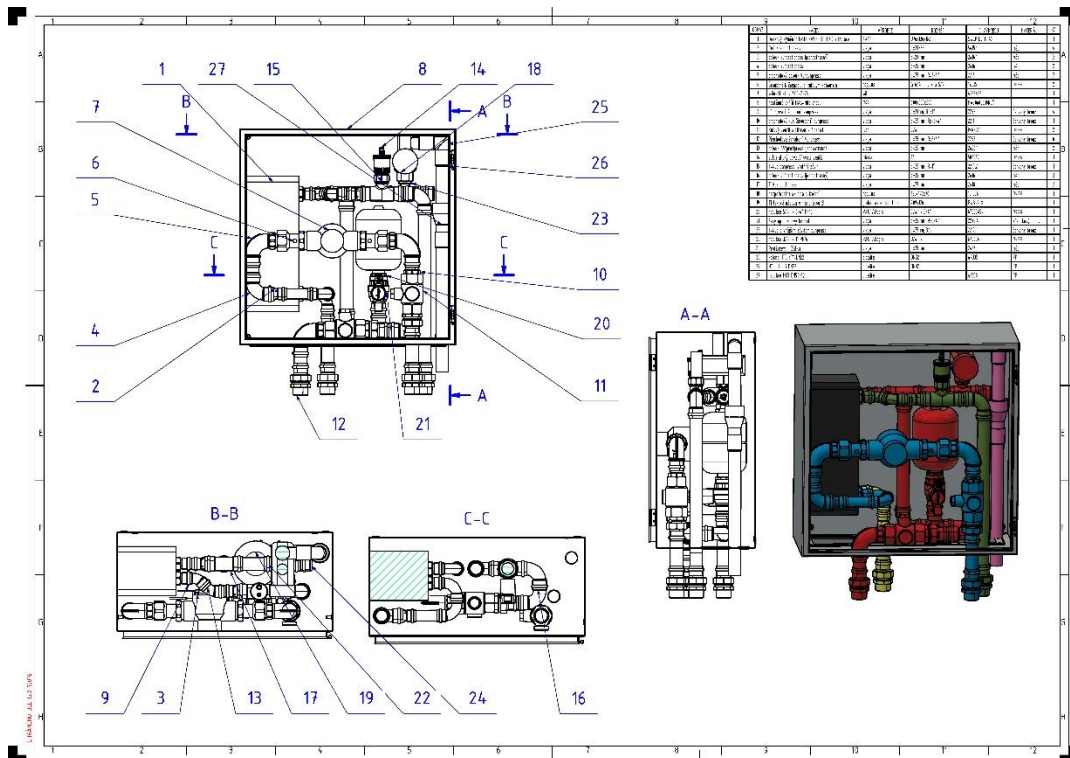
Dle výkresové dokumentace, která je součástí samostatné přílohy k této závěrečné zprávě je úplný výpis z kusovníku následující.

ODKAZ	NÁZEV	KS
1	Deskový výměník tepla SWEPE E8TH 40 + izolace	1
2	Redukce profipress	4
3	oblouk 90° profipress (jednostranný)	3
4	oblouk 90° profipress	2
5	přechodový oblouk 90° sunpress	3
6	Šroubení k čerpadlu s kulovým kohoutem	2
7	Wilo-Stratos PICO-Z-25	1
8	nástěnná skříň MAS-Mild steel	1
9	připojovací šroubení sanpress	4
10	přechodový kus (šroubení) sunpress	1
11	Kulový ventil s filtrem - fireball	2
12	Přechodové šroubení Sunpress	6
13	oblouk 45° profipress (jednostranné)	2
14	automatický odvzdušňovací ventil	1
15	T-kus sanpress (vnitřní závit)	1
16	oblouk 90° profipress (jednostranný)	3
17	T-kus profipress	2
18	bezpečnostní skupina s izolací	1
19	Tlaková nádoba s membránou 2l	1
20	redukce 5/4" x 3/4" PN16	1
21	Easytop - kulový kohout	1
22	T-kus s vnějším závitem sunpress	1
23	redukce 3/4" x 1" PN16	1
24	Profipress - Zátka	1
25	koleno HTB 87°-DN32	1
26	HT potrubí DN32	1
27	redukce HTR DN50/32	1
	měděné potrubí 35x1,5 mm	0,12 m
	měděné potrubí 28x1 mm	1,5 m

5.3 Výkresy QH-25 a QH-80



Obr. 69 Výrobní výkres sestavy QH-25



Obr. 70 Výrobní výkres sestavy QH-80

6 Webová aplikace pro návrh systémů přípravy teplé vody

Uživatelská příručka navržené webové aplikace NAVO je součástí samostatné přílohy k této závěrečné zprávě. Software bude přístupný v rámci extranetu společnosti Quantum. Pro testování pro účely této závěrečné zprávy a oponentního posudku lze využít interní odkaz a logovací údaje:

<https://quantum.testx2.cz/cs/uzivatel/prihlaseni>

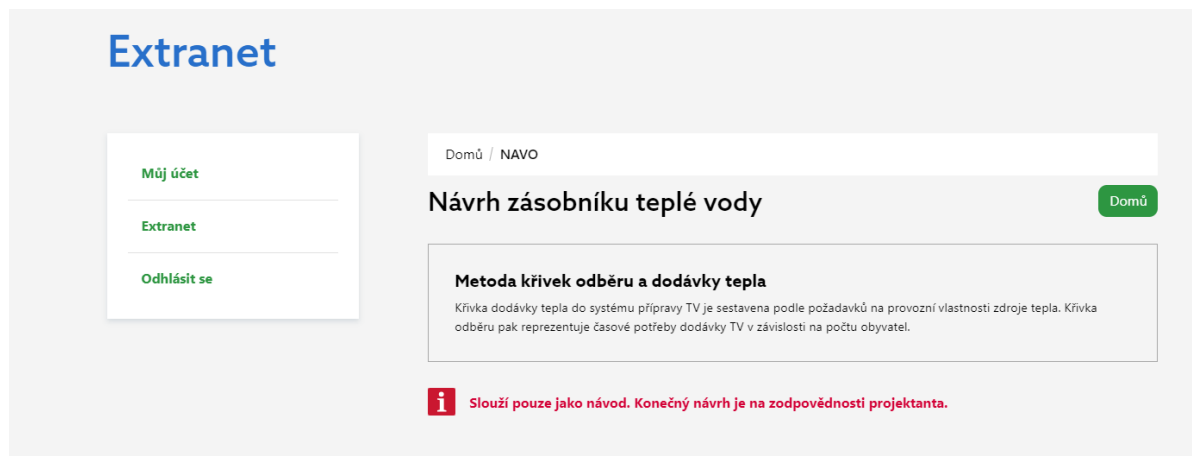
Uživatelské jméno: quantum

Heslo: tester

Záznam funkčnosti webové aplikace je součástí samostatné přílohy k této závěrečné zprávě ve formě videozáznamu a formátu mp4.

6.1 Uživatelská příručka NAVO

Vstupní portál pro webovou aplikaci po přihlášení uživatele je zobrazen na Obr. 71.

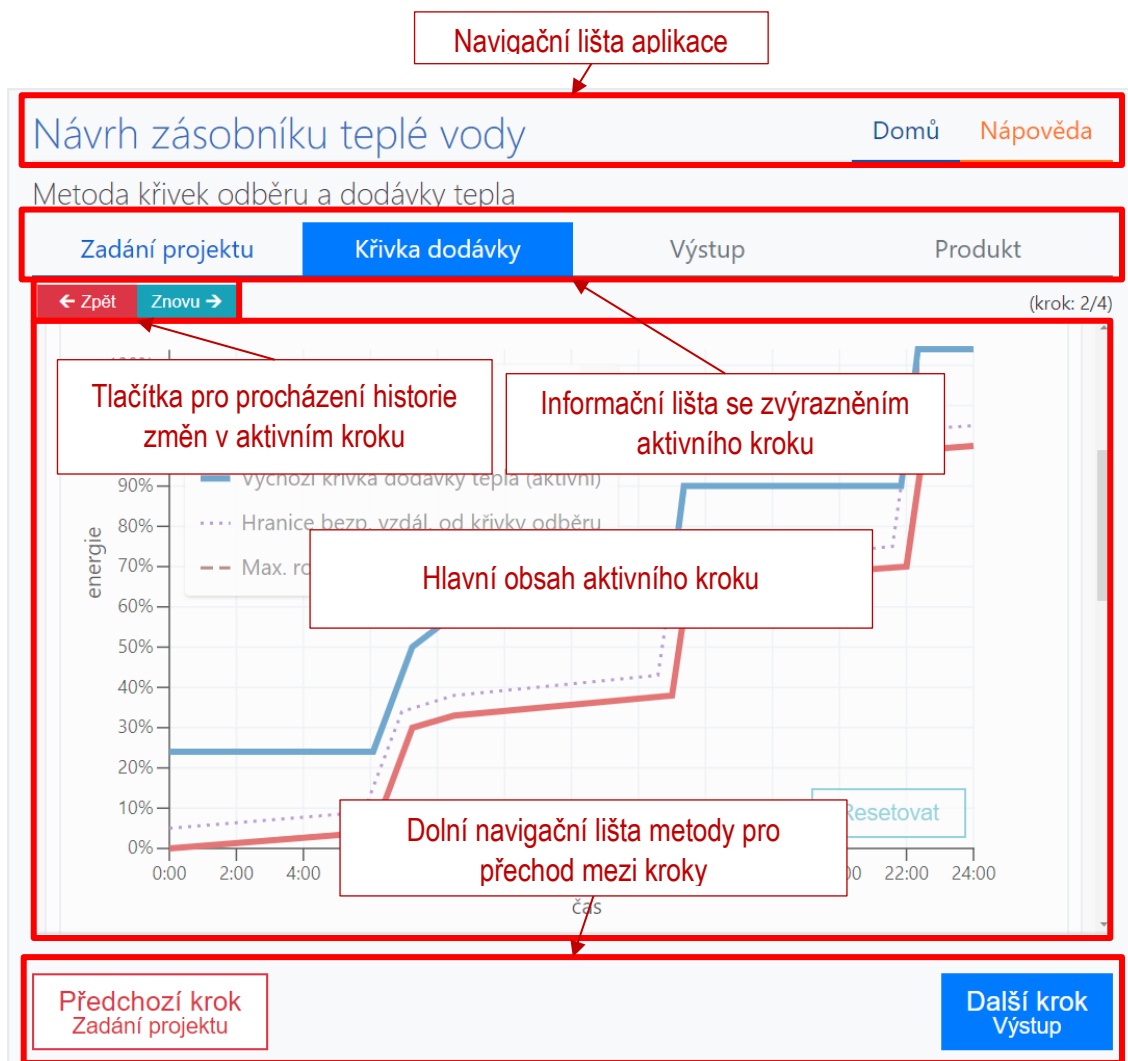


Obr. 71 Úvodní obrazovka webové aplikace NAVO

Software byl sestaven tak, aby pracoval na základě metody křivek dodávky a odběru teplé vody. To v praxi znamená jeho univerzálnost stran použití na libovolný projekt systému přípravy teplé vody. Jednotlivé kroky návrhu lze charakterizovat jako:

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

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. 72). 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. 72 – Popis rozhraní metody křivek odběru a dodávky tepla

Formuláře v prvním a druhém kroku obsahují vstupní i závislá výstupní pole (obr. 73). 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. 74). Pokud bychom ale chtěli změnit tuto hodnotu na vlastní, tak je možné pod vstupním políčkem zrušit zaškrtnutí u textu „Použít výchozí hodnotu“ (obr. 75).

Denní potřeba TV na měrnou jednotku	V_i	0,04	$\text{m}^3/\text{j.den}$
Použít výchozí hodnotu? ☐			
Teoretická potřeba tepla	$Q_{TV, \text{teor}}$	16,74	kWh/den
Nápověda			

Obr. 73 – Ukázka vstupních a výstupních polí s nápovědou a možností použití výchozí hodnoty

Denní potřeba TV na měrnou jednotku	V_i	0,035	$m^3/j.den$
Použít výchozí hodnotu? ☒			

Obr. 74 – 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. 75 – 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 tlačítka 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.

6.1.1. 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 V_i [$m^3/j \cdot den$],
- poměrný součinitel ztrát z [-],
- výchozí průběh křivky odběru tepla.

Závislost výchozích hodnot je popsána v tab. 1 a tab. 2. 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 hodnoty nevyhovují řešenému projektu, může je uživatel nahradit vlastními.

Tab. 1 – Výchozí hodnoty pro jednotlivé typy budov

Typ budovy	Měrná jednotka $j [-]$	Denní potřeba TV $V_i [m^3/j\cdot den]$	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

Pozn. 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.

Tab. 2 – Pomocné křivky odběru tepla pro restaurace, administrativní budovy, 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

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

Výchozí hodnoty denní potřeby teplé vody byly odvozeny z normy ČSN EN 15 316-3 (od 1. 3. 2018 je tato norma nahrazena normou ČSN EN 12 831-3) s přihlédnutím k reálně měřeným spotřebám teplé vody. 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 tzv. špičkových odběrů a křivka odběru pak přechází téměř do přímkového tvaru.

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 vody ρ , která je pevně nastavena na hodnotu 1000 kg/m³ (jedná se pouze o návod pro výběr zásobníku, změna hustoty v řádu jednotek

není klíčovým parametrem k výběru). Zároveň je pevně nastavena měrná tepelná kapacita vody 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 pak další část formuláře zaměřená na samotný návrh průběhu křivky odběru tepla (obr. 76).

V této části se vyskytuje grafické vyjádření průběhu křivky odběru tepla a její příslušný tabulkový popis křivky. Průběh křivky je v grafu popsán jako závislost energie [%] na čase [h:mm]. Uživatel zde má možnost navrhnout vlastní křivku odběru kliknutím na modře orámované tlačítko „Přidat vlastní křivku odběru tepla“. Po kliknutí se stane několik změn (obr. 77):

- 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 změní 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.

V návrhu může existovat více variant křivek odběru tepla, ale pouze jedna může být aktivní pro další kroky návrhu.

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 tzv. „živě“ (přetažením po kliknutí myši), nebo v tabulce. Změny v grafu či tabulce jsou navzájem synchronizovány.



Obr. 76 – Formulářová část s popisem křivky odběru tepla



Obr. 77 – Formulářová část s popisem křivky odběru tepla (vlastní křivka)

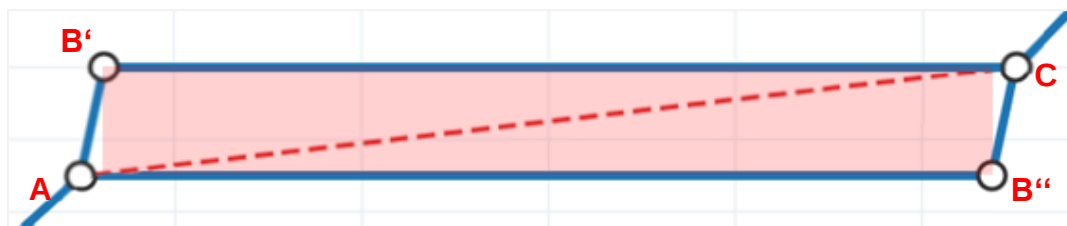
Úprava tzv „živého“ v grafu funguje na principu přetahování jednotlivých bodů křivky. Počáteční a koncový bod nelze přetahovat, protože křivka odběru musí vždy začínat v počátku souřadnicového systému pro danou periodu. A koncový bod musí mít vždy na konci periody hodnotu spotřebované energie 100 % (průběh 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. 78).



Obr. 78 – 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.

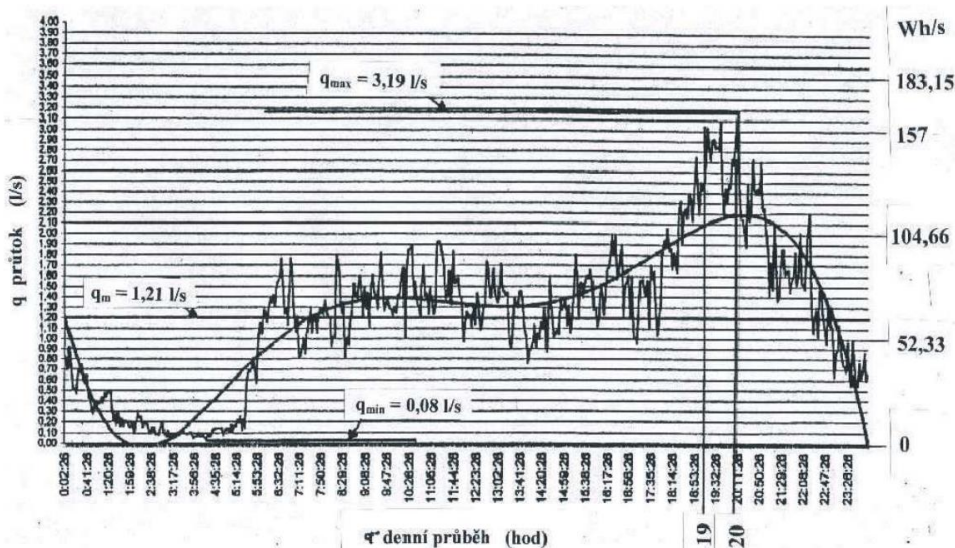
Z tohoto důvodu toto tlačítko chybí u posledního úseku, protože nelze smazat poslední pevně daný bod křivky odběru.

6.1.2. 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. 1. 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. 80), která je ovládáním totožná s předchozím návrhem křivky odběru tepla. Pouze v závěrečné části formuláře se vyskytují hlavní vypočtené hodnoty (výsledky) návrhu.

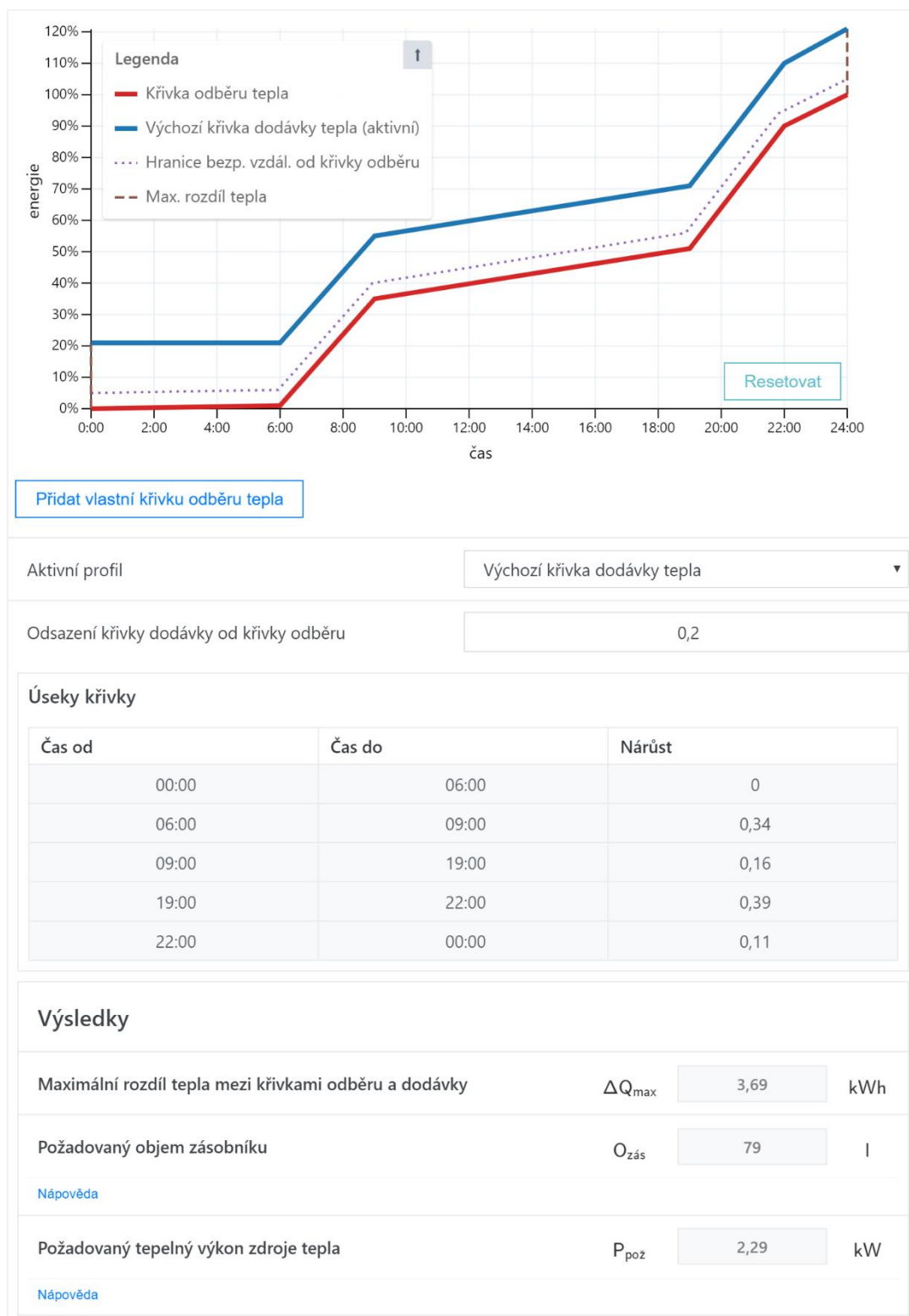
Křivka dodávky je ve výchozím stavu odvozena z křivky odběru. Odvození je provedeno odsazením od křivky odběru. Odsazení je vyhodnoceno ve směru osy x i y . Nicméně kvůli odlišným stupnicím je velikost odsazení ve směru osy x (čas) pevně stanovena na 15 minut a ve směru osy y (energie [%]) je ve výchozím stavu velikost odsazení 20 % z celkově spotřebované energie. Odsazení křivky dodávky je provedeno z důvodu pokrytí případných neočekávaných špičkových odběrů. Na Obr. 79 je graficky vyjádřen možný průběh odběru teplé vody měřený u bytového domu, který reprezentuje právě takové odběrové špičky. Je vidět, že odběrové špičky se nacházejí v době, kdy lze předpokládat vyšší nárůst potřeby teplé vody, ale zároveň je také patrné, že tyto výrazné špičky jsou časově velice krátké.



Obr. 79 – Příklad záznamu průběhu odběru TV u bytového domu za 24 hod

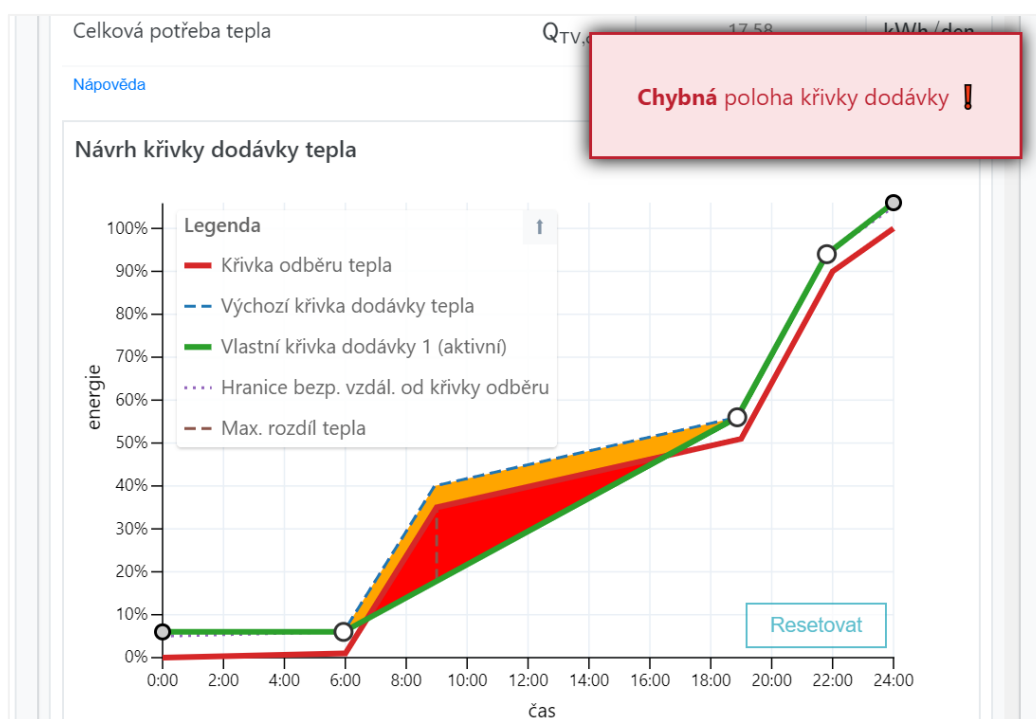
Z dosavadních měření se došlo k závěru, že pro pokrytí těchto špičkových odběrů je vhodné udržovat 10 % až 20 % odsazení (ve směru osy y) kumulativní křivky dodávky tepla od kumulativní křivky odběru tepla. Samozřejmě toto závisí na konkrétním typu řešeného objektu.

Hodnotu odsazení ve směru osy y je možné změnit pod grafem ve vstupním poli „Odsazení křivky dodávky od křivky odběru“. Minimální hodnota odsazení křivky je 5 % a maximální hodnota je 25 %.



Obr. 80 – Návrh křivky dodávky tepla a závěrečné výsledky

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. 81), protože křivka dodávky nesmí být v žádném úseku pod křivkou odběru. Dokud uživatel křivku dodávky neopraví, nelze se přesunout na následující krok.



Obr. 81 – 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] dle rovnice

$$O_{zás} = \frac{\Delta Q_{max} \cdot 3600 \cdot 1000}{\rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})}.$$

Jako poslední je uvedena vypočtená hodnota požadovaného tepelného výkonu zdroje tepla $P_{pož}$ [kW]. Tato hodnota se vypočítá z maximálního sklonu křivky dodávky tepla v daném časovém úseku, kdy zdroj tepla dodává energii do zásobníku teplé vody. Výpočet je možné zapsat ve tvaru rovnice

$$P_{pož} = \left(\frac{\Delta Q_s}{t} \right)_{max}.$$

Uživatel může samostatně 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.

6.1.3. Výstup (3. krok)

Předposlední 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.

6.1.4. Produkt (4. krok)

Společnost QUANTUM, a.s. nabízí ve svém sortimentu plynové zásobníkové ohřívače vody, plynové kondenzační zásobníkové ohřívače vody a plynové kondenzační průtokové ohřívače vody. V aplikaci se pracuje pouze se zásobníkovými ohřívači a nepřímo ohřívánými zásobníky (Obr. 82). Poskytnutá data obsahují produkty se základními technickými údaji:

- označení produktu,
- typ ohřevu,
- výkon,
- objem nádrže,
- objemový průtok teplé vody pro zajištění trvalé dodávky teplé vody při ohřevu z 10 °C na 45 °C, tzn. trvalý objemový průtok teplé vody bez akumulace
- URL adresu s detaily produktu.

Ve čtvrtém kroku se na základě předchozího zadání navrhne vyhovující produkt výrobce. Počáteční výchozí volbu je možné změnit výběrem alternativního zásobníkového ohřívače ze seznamu produktů (Obr. 83), který lze zobrazit kliknutím na oranžové tlačítko „Vybrat jiný produkt“ vpravo pod aktivním plynovým zásobníkovým ohřívačem vody. 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 TV bez akumulace,
- 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.

Zadání projektu
Křivka dodávky
Výstup
Produkt

(krok: 4/4)

Q7-50-NODS/E

Vybraný produkt

	Přímý ohřev
Výkon ohřívače:	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]
		vše ▼	od: 17l do: 24l	od: 3 do:	od: 84 do:
☐	Q7-50-NBRS	Přímý	181 ✗	10 ✓	302 ✓
☐	Q7-50-NRRS	Přímý	181 ✗	14 ✓	430 ✓
☐	Q7P-50-155 nerez	Přímý	189 ✓	45 ✓	1500 ✓
☐	Q7-50-VENT-B/E	Přímý	195 ✓	9 ✓	451 ✓
☐	Q7-50-NBRT/E	Přímý	195 ✓	9 ✓	293 ✓
☒	Q7-50-NODS/E	Přímý	195 ✓	5 ✓	155 ✓
☐	Q7-200-ZJV	Nepřímý	200 ✓	40 ✓	980 ✓
☐	Q7-200-ZDV	Nepřímý	200 ✓	40 ✓	980 ✓
☐	IR-12-200	Přímý	200 ✓	12 ✓	370 ✓
☐	IR-20-200	Přímý	200 ✓	19 ✓	590 ✓
☐	Q7-220-VENT-C...	Přímý	200 ✓	24 ✓	817 ✓
☐	Q7C-60-120	Přímý	217 ✓	31 ✓	960 ✓
☐	Q7-220-34 ZP	Přímý	220 ✓	30 ✓	1043 ✓

Předchozí

Stránka 1 z 1

20 řádků ▼

Další

Obr. 82 – Produkt – čtvrtý krok návrhu v metodě křivek odběru a dodávky tepla

V seznamu produktů je kontrola podmínek ověřena též a její hodnocení je zobrazeno u každého parametru zvlášť jako symbol zelené „fajfky“ v případě úspěšné kontroly nebo symbol červeného křížku v případě neúspěšné kontroly (obr.13).

Další produkty společnosti Quantum a.s.:

Filtiry

Aktivní	Jméno	Typ ohřevu	O [l]	P [kW]	V [l/h]
		vše ▾	od: do: 81	od: 2 do:	od: 44 do:
☐	Q7-13-KMZ/E	Přímý	47	3	103
☐	Q7-13-KMZ	Přímý	50	4	119
☒	Q7-20-NORS	Přímý	72	6	173
☐	Q7-20-NODZ/E	Přímý	75	3	100
☐	Q7-20-KMZ/E	Přímý	75	4	151

Přepínač aktivního produktu

Kontrola podmínek

Obr. 83 – Seznam produktů

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

$$O_{produkt} \geq O_{pož}.$$

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

$$P_{produkt} \geq P_{pož}.$$

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

$$V_{produkt} \geq V_{pož}.$$

Kde $V_{produkt}$ [l/h] je u produktu výrobcem garantovaný trvalý průtok TV o teplotě 45 °C bez akumulace, $V_{pož}$ [l/h] předpokládaný maximální průtok TV o teplotě 45 °C bez akumulace. Hodnota $V_{pož}$ je získána ze vztahu

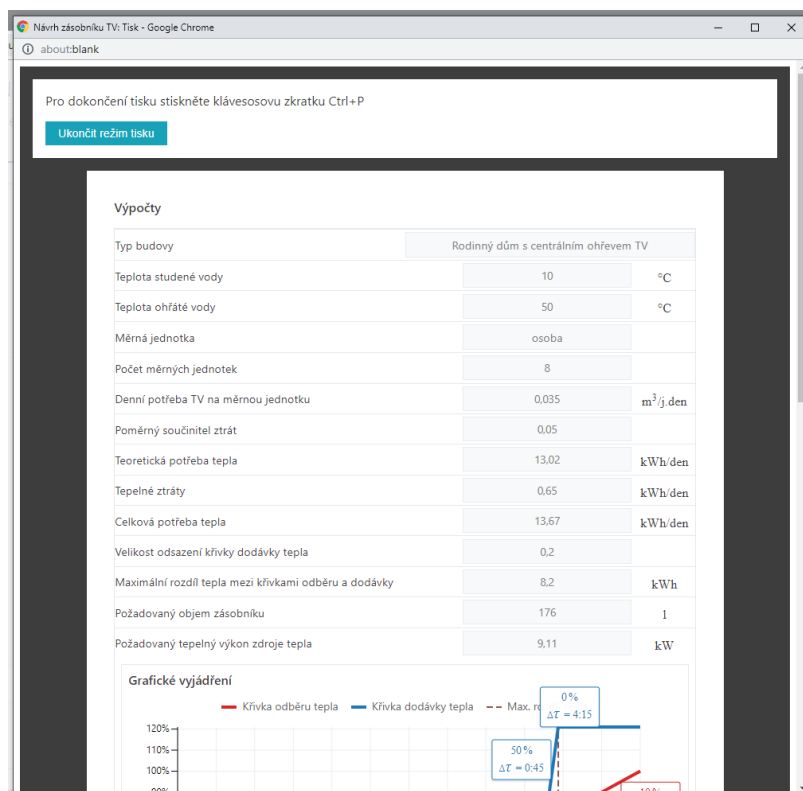
$$V_{pož} = \frac{P_{pož} \cdot 1000}{\rho \cdot c \cdot (t_{TV} - t_{SV})} \cdot 1000 \cdot 3600.$$

V případě výsledku směřujícího k objemu navrženého zásobníku větším jak 1000 l, není aplikací vybrán žádný produkt. U takových projektů nelze předpokládat použití „pouze“ jednoho zásobníku teplé vody a je proto nutné, aby uživatel vhodně poskládal celou sestavu přípravy teplé vody. Podobně je tomu i v případě, že vychází velice 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 redukují 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. 84).

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.



Obr. 84 – Náhled dokumentu před tiskem

7 Užitiný vzor

7.1 Oblast techniky

Toto technické řešení se týká modulárního systému pro vytápění a přípravu teplé vody, zejména v oblasti vytápění, zdravotně technických instalací a technických zařízení budov. Přihláška Užitého vzoru na Úřadu průmyslového vlastnictví byla podána pod spisovou značkou PUV 2023-41082.

7.2 Dosavadní stav techniky

V patentovém spise US 8763564 B2 je popsán ohřívač vody obsahující nádrž pro úschovu vody, spalovací komoru s hořákem pro generování spalin a tepelný výměník v nádrži pro tepelnou výměnu mezi spaliny a vodou. Tepelný výměník obsahuje vrchní část, která je uspořádána nad spalovací komorou a zahrnuje vrchní závitnici s prvním průměrem a s výhodou s vyšším stoupáním závitu, a spodní část, která je uspořádána pod spalovací komorou a zahrnuje spodní závitnici s druhým průměrem a s výhodou s nižším stoupáním závitu.

V patentovém spise US 9568213 B2 je popsán plynový ohřívač vody obsahující nádrž pro úschovu vody, spalovací komoru s hořákem pro generování spalin a tepelný výměník v nádrži pro tepelnou výměnu mezi spaliny a vodou, a ventilátor. Do hořáku ústí první vstup směsi paliva a primárního vzduchu pro vytvoření plynu s koncentrací nad horním vznětlivým limitem směsi paliva a primárního vzduchu, a do spalovací komory dále ústí druhý vstup sekundárního vzduchu pro vytvoření plynu s mírným nadbytkem vzduchu v poměru k palivu (méně než 1,5) pro spálení ve spalovací komoře. Spaliny jsou následně hnány ventilátorem do tepelného výměníku.

V patentovém spise US 11435113 B2 je popsán systém pro ohřev vody nádrž pro úschovu vody, tepelný výměník v nádrži pro tepelnou výměnu mezi spaliny a vodou, hořák ve fluidním kontaktu s tepelným výměníkem, a ventilátor ve výfukové sestavě. Hořák má vysoký a nízký dodávací režim pro dodání spalin do tepelného výměníku, a ventilátor zajišťuje kondenzaci spalin v tepelném výměníku v nízkém dodávacím režimu a snižuje teplotu spalin ve výfukové sestavě ve vysokém dodávacím režimu.

Nevýhodou výše uvedených systémů je neucelenost samostatných prvků používaných v různých kombinacích pro různé zdroje tepla, zejména pro vytápění a přípravu teplé vody.

Ve stavu techniky tedy vzniká potřeba poskytnout systém pro vytápění a přípravu teplé vody, realizovaný jako celek – tj. poskytující kompletní dodávku všech komponent v jednom „boxu“ se základním konceptem připojení pro otopnou soustavu a rozvody teplé vody v budovách.

7.3 Podstata technického řešení

Cílem technického řešení je poskytnout modulární systém umožňující současnou dodávku tepla pro vytápění a přípravu teplé vody.

Uvedeného cíle je dosaženo modulárním systémem pro vytápění a přípravu teplé vody, který je zapojitelný mezi primární systém pro přípravu teplé vody a sekundární systém pro vytápění, a který obsahuje

- vstup ohřáté vody směrem z primárního systému (tj. zdroje tepla), ústící přes vstup ohřáté vody do deskového výměníku tepla, a dále výstup ochlazené vody z deskového výměníku tepla, a přes výstup ochlazené vody směrem zpět do primárního systému, přičemž za výstupem ochlazené vody

z deskového výměníku tepla (tj. na primární straně deskového výměníku tepla) je uspořádáno oběhové čerpadlo vody pro čerpání ochlazené užitkové vody do primárního systému,

- vstup ochlazené topné vody směrem ze sekundárního systému, ústící přes vstup ochlazené topné vody do deskového tepelného výměníku, a dále výstup ohřáté topné vody z deskového tepelného výměníku a přes výstup ohřáté topné vody směrem zpět do sekundárního systému,
- deskový tepelný výměník tepla pro přivedení ohřáté vody ze vstupu do deskového výměníku tepla na jeho teplosměnnou plochu a pro uskutečnění přenosu tepla do ochlazené topné vody z ohřáté vody, tj. z primární strany výměníku (od zdroje tepla) na sekundární stranu (na topnou vodu).

Podstata tohoto technického řešení spočívá v tom, že na základě propojení primárního systému pro přípravu teplé užitkové vody a sekundárního systému pro vytápění pomocí externího deskového výměníku tepla a oběhového čerpadla lze využívat část akumulované energie v primárním zdroji tepla (kterým může být libovolný zdroj s akumulačním objemem, např. ohříváč vody) i pro další samostatný systém zásobování teplem.

Mezi výstupem ohřáté topné vody z deskového výměníku tepla a výstupem ohřáté topné vody do sekundárního systému je s výhodou jako paralelní odbočná větev uspořádána expanzní nádoba pro vyrovnávání změn objemu topné vody, způsobenými změnami její teploty, a pro udržování požadovaného přetlaku v sekundárním systému.

Za paralelní odbočnou větví s akumulační nádrží směrem k deskovému výměníku tepla je s výhodou uspořádána bezpečnostní skupina zahrnující pojistný ventil, odvzdušňovací ventil se zpětným ventilem, manometr se zpětným ventilem, přičemž z bezpečností skupiny vystupuje samostatné pojistné potrubí, a vše je osazeno tepelnou izolací. Bezpečnostní skupina je navržena jednak pro odvzdušnění paralelní větve akumulační nádrže primární strany deskového výměníku tepla a zároveň jako ochrana proti překročení maximálního provozního tlaku soustavy. Bezpečnostní skupina chrání sekundární systém proti překročení nastaveného přetlaku automatickým otevřením pojistného ventilu a odvedení přebytečného množství vody pojistným potrubím mimo modulární systém.

Výstup ohřáté topné vody do sekundárního systému a výstup ochlazené vody z deskového výměníku tepla jsou s výhodou opatřeny kulovými kohouty pro možnost odpojení modulárního systému od zdroje tepla.

Mezi vstupem ohřáté užitkové vody směrem z primárního systému a vstupem ohřáté užitkové vody do deskového tepelného výměníku může být z bezpečnostních důvodů uspořádán automatický odvzdušňovací ventil.

Výhoda daného řešení je v kompatibilitě s libovolným zdrojem tepla či akumulačním zásobníkem tepla a jednoduchosti pro napojení na další (sekundární) odběr tepla. Další výhodou je, že díky tomuto modulu je možné provozovat dodávku tepla pro oba systémy současně. Standardní zdroj tepla pracuje v režimu, kdy zásobování energií je možné pouze pro jeden okruh, nebo musí být využit hydraulický rozdělovač s napojením ovládacích prvků (směšovací ventily, oběhová čerpadla, čidla, zkratky apod.) pro jednotlivé větve. Navržený modulární systém rozšiřuje využitelnost takového zdroje tepla bez nutnosti použití složité elektroniky či hydraulického zapojení potrubí sekundární strany tepla.

Pro standardní, přímo ohřívání, plynový zásobník teplé vody je tedy navržen doplňující modul, který po připojení k ohříváči umožňuje současně s dodávkou teplé vody z akumulačního objemu ohříváče zásobovat systém vytápění ve stejné budově. Na základě experimentů a matematické simulace byla optimalizována velikost teplosměnné plochy použitých tepelných výměníků tak, aby dle daného typu ohříváče bylo možné maximálně využít akumulační potenciál nádrže teplé vody ohříváče, a to jak pro splnění požadavků na zásobování teplou vodou, tak i požadavků vytápění.

Výsledkem experimentů a matematické simulace jsou dva funkční prototypy: první pro ohřivače teplé vody s tepelným výkonem do 25 kW, druhý pro ohřivače teplé vody s tepelným výkonem do 80 kW.

Jedinečnost tohoto technického řešení je možnost napojení uvedeného modulárního systému v podstatě na jakýkoli ohřivač teplé vody, čímž je zajištěna dodávka tepla z jediného zdroje jak pro systémy teplé vody, tak i vytápění. Modulární systém tak rozšiřuje možnosti využití ohřivačů teplé vody.

Dále jeho využití může být s ohledem na jmenovité tepelné výkony až do 80 kW nejen pro vytápění daného objektu, ale například i pro jiné technologie, např. dodávku tepla pro konkrétní technologii ve výrobním či nevýrobním procesu.

Výhodou je také jednoduchost vazby na regulaci modulárního systému. Buď je spínání oběhového čerpadla řešeno samostatně na základě požadavků on/off dle sekundární strany odběru tepla, nebo je možné jej připojit přímo na standardní regulaci ohřivače teplé vody.

7.4 Objasnění výkresů

Obrázek 1 znázorňuje 3D řez sestavou modulárního systému (zelená – nabíjení výměníku tepla ze strany zdroje tepla, modrá – zpětné potrubí do zdroje tepla, červená – výstup z tepelného výměníku tepla na sekundární straně pro odběr tepla, žlutá – zpětné potrubí sekundární strany odběru tepla, fialová – pojistné potrubí modulárního systému).

Obrázek 2 znázorňuje schéma zapojení předkládaného modulárního systému pro vytápění a přípravu teplé vody v rámci primárního systému pro přípravu teplé vody a sekundárního systému pro vytápění.

Příklady uskutečnění technického řešení

Na obr. 1 je znázorněn modulární systém 1 pro vytápění a přípravu teplé vody, který je zapojitelný mezi primární systém 22 pro přípravu teplé vody a sekundární systém 28 pro vytápění. Uvedený modulární systém 1 lze umístit do nástěnné skříně 7.

Uvedený modulární systém 1 obsahuje vstup 2 ohřáté vody směrem z primárního systému 22, ústící přes vstup 12 ohřáté vody do deskového výměníku 8 tepla, a dále přes výstup 13 ochlazené vody vystupující z deskového výměníku 8 tepla a přes výstup 3 ochlazené vody směrem zpět do primárního systému 22. Mezi výstupem 13 a výstupem 3 je uspořádáno oběhové čerpadlo 11 pro nabíjení výměníku 8 tepla do primárního systému 22, a mezi oběhovým čerpadlem 11 a výstupem 3 ochlazené vody do primárního systému 22 může být uspořádán ještě třetí kulový kohout 19. Mezi vstupem 2 ohřáté vody směrem z primárního systému 22 a vstupem 12 ohřáté vody do deskového výměníku 8 tepla je uspořádán automatický odvzdušňovací ventil 16.

Uvedený modulární systém 1 dále obsahuje vstup 4 ochlazené topné vody směrem ze sekundárního systému 28, ústící přes vstup 14 ochlazené topné vody do deskového výměníku 8 tepla, a dále přes výstup 15 ohřáté topné vody vystupující z deskového výměníku 8 tepla a přes výstup 5 ohřáté topné vody směrem zpět do sekundárního systému 22. Mezi výstupem 15 a výstupem 5 je jako paralelní odbočná větev z prvního větvení 20 uspořádána expanzní nádoba 9 pro vyrovnání změn objemu topné vody, způsobenými změnami její teploty a zároveň pro udržení požadovaného přetlaku vody v sekundárním systému 28 v předepsaném rozsahu. Vstup z expanzní nádoby 9 směrem k výstupu 5 ohřáté topné vody do sekundárního systému 28 (před druhým větvením 21) je opatřen prvním kulovým kohoutem 17. Za paralelní odbočnou větví s expanzní nádobou 9 směrem od výstupu 15 ohřáté topné vody z deskového výměníku 8 tepla je uspořádána bezpečnostní skupina 10 zahrnující pojistný ventil, odvzdušňovací ventil se zpětným ventilem, manometr se zpětným ventilem, přičemž z bezpečností skupiny 10 vystupuje pojistné odtokové potrubí 6. Veškeré rozvody jsou opatřeny tepelnou izolací.

Mezi druhým větvením 21 a výstupem 5 ohřáté topné vody do sekundárního systému 22 může být uspořádán ještě druhý kulový kohout 18.

Uvedený modulární systém 1 dále obsahuje deskový výměník 8 tepla pro přenos tepla mezi primární stranou zdroje tepla (vstup 12 ohřáté vody, výstup 13 ochlazené vody) a sekundární stranou připojeného systému (vstup 14 ochlazené topné vody, výstup 15 ohřáté topné vody).

Modulární systém lze využít ve spojení s libovolným zdrojem tepla či akumulačním zásobníkem vody. Typickým příkladem uskutečnění je spojení s primárním systémem 22 pro ohřev teplé vody a sekundárním systémem 28 pro vytápění (obr. 2). Výhodou této realizace je možnost přímého využití akumulace energie pro sekundární dodávku tepla, např. vytápění, technologický ohřev apod.

Primární systém 22 obsahuje ohříváč 26 vody (primární zdroj tepla), s přívodem 23 studené vody, přívodem 25 plynu a odvodem 24 teplé vody. Mezi ohříváčem 26 vody a odvodem 24 teplé vody je uspořádána odbočka do modulárního systému 1, konkrétně do vstupu 2 ohřáté užitkové vody. Mezi přívodem 23 studené vody a ohříváčem 26 vody je uspořádána přípojka z modulárního systému 1, konkrétně z výstupu 3 ochlazené užitkové vody. Mezi přívodem 23 studené vody a odvodem 24 teplé vody je dále uspořádána spojka přes první třicečný směšovací ventil 27.

Příklad zapojení sekundárního systému 28 ukazuje obr. 2. Sekundární systém obsahuje vlastní oběhové čerpadlo, odvod 30 ohřáté topné vody do otopné soustavy, přívod 29 ochlazené topné vody z otopné soustavy a zkrat mezi přívodem 29 ochlazené topné vody a přívodem 30 ohřáté topné vody přes druhý třicečný směšovací ventil 31, do kterého ústí i výstup 5 ohřáté topné vody z modulárního systému 1. Přívod 29 ochlazené topné vody po odbočení spojky ústí do vstupu 4 ochlazené topné vody do modulárního systému 1. Řídicí jednotka 32 sekundárního systému 28 řídí druhý třicečný směšovací ventil 31, a je spojena s teplotním snímačem 33 ohřáté topné vody a termostatem 34 pro regulaci teploty otopné vody. Zapojení sekundárního systému je variabilní dle požadavků topného systému.

7.5 Průmyslová využitelnost

Výše popsaný modulární systém lze využít v oblasti vytápění, zdravotně technických instalací a technických zařízení budov.

Seznam vztahových značek

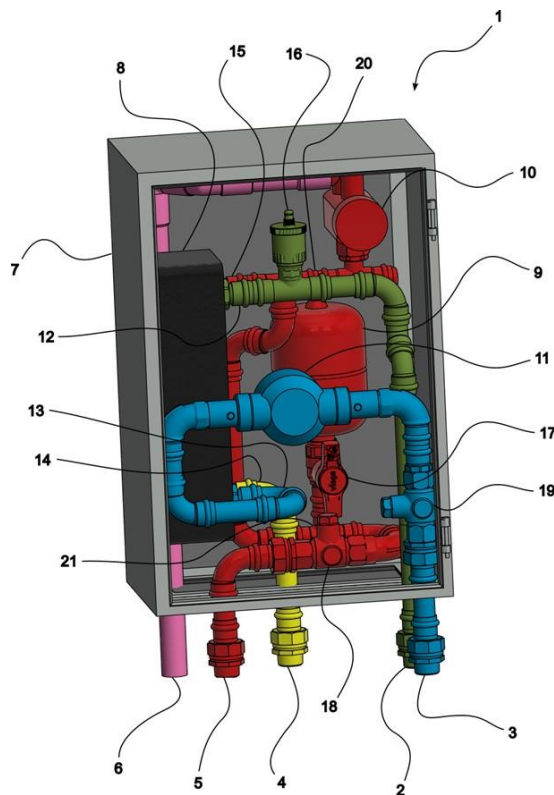
- | | |
|---|---|
| 1 | modulární systém pro vytápění a přípravu teplé vody |
| 2 | vstup ohřáté vody z primárního zdroje do modulárního systému 1 |
| 3 | výstup ochlazené vody z modulárního systému 1 do primárního zdroje |
| 4 | vstup ochlazené topné vody z topného systému do modulárního systému 1 |
| 5 | výstup ohřáté topné vody z modulárního systému 1 do topného systému |
| 6 | pojistné potrubí z modulárního systému 1 |
| 7 | nástěnná skříň |
| 8 | deskový výměník tepla |
| 9 | expanzní nádoba |

- 10 bezpečnostní skupina
- 11 oběhové čerpadlo vody
- 12 vstup ohřáté vody do deskového tepelného výměníku 8
- 13 výstup ochlazené vody z deskového tepelného výměníku 8
- 14 vstup ochlazené topné vody do deskového tepelného výměníku 8
- 15 výstup ohřáté topné vody z deskového tepelného výměníku 8
- 16 automatický odvzdušňovací ventil
- 17 první kulový kohout expanzní nádoby 9
- 18 druhý kulový kohout (výstup do modulárního systému)
- 19 třetí kulový kohout (výstup z modulárního systému)
- 20 první větvení
- 21 druhé větvení
- 22 primární systém pro přípravu teplé vody
- 23 přívod studené vody
- 24 odvod teplé vody
- 25 přívod plynu
- 26 primární zdroj, ohřívač vody
- 27 první třicestý směšovací ventil
- 28 sekundární systém pro vytápění
- 29 přívod ochlazené topné vody
- 30 odvod ohřáté topné vody
- 31 druhý třicestý směšovací ventil
- 32 řídicí jednotka
- 33 teplotní snímač
- 34 termostat

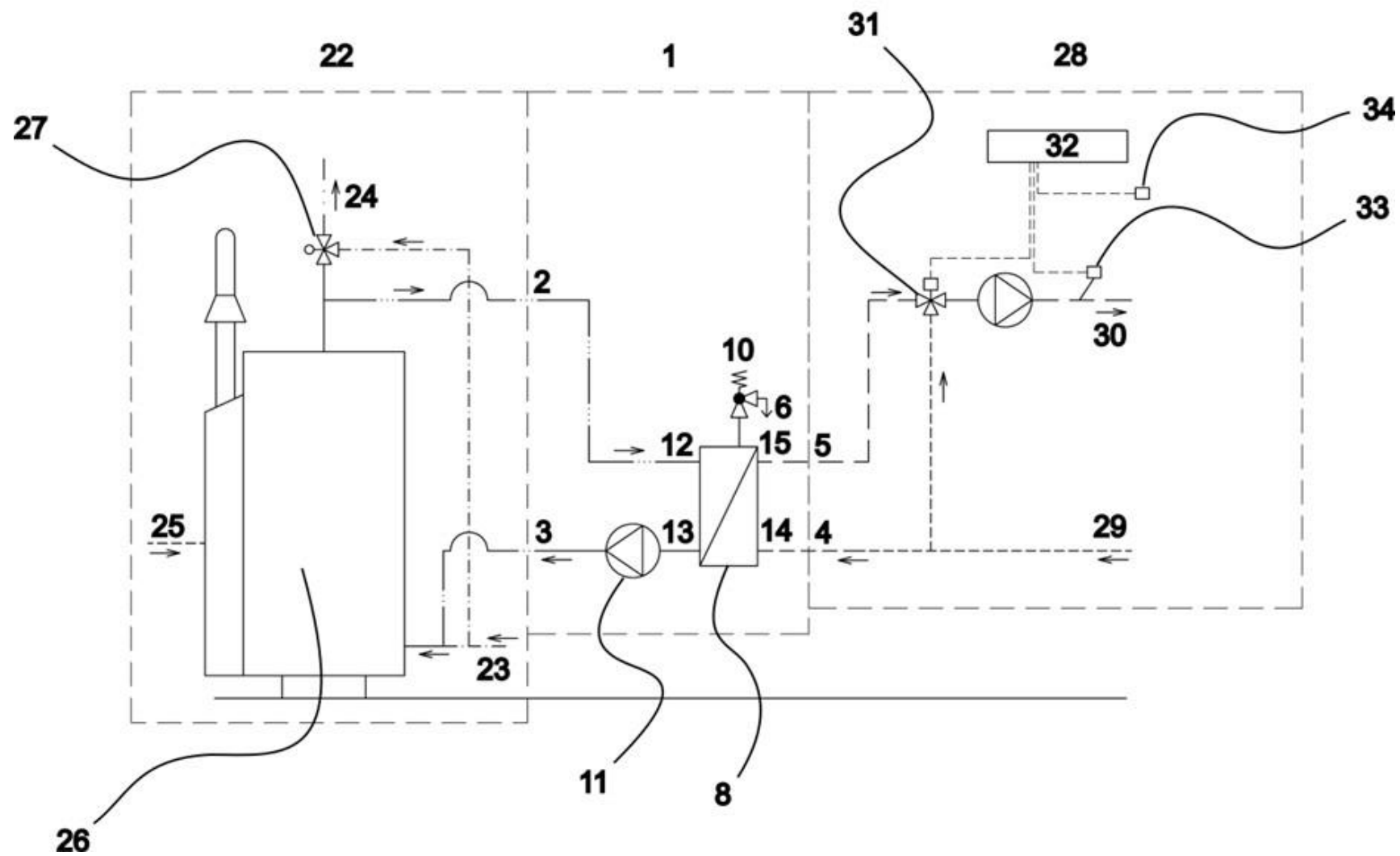
7.6 Nároky na ochranu

1. Modulární systém (1) pro vytápění a přípravu teplé vody, který je zapojitelný mezi primární systém (22) pro přípravu teplé vody a sekundární systém (28) pro vytápění, vyznačující se tím, že obsahuje
 - a) vstup (2) ohřáté vody směrem z primárního systému (22), ústící přes vstup (12) ohřáté vody do deskového výměníku (8) tepla, a dále výstup (13) ochlazené vody z deskového výměníku (8) tepla a přes výstup (3) ochlazené vody směrem zpět do primárního systému (22), přičemž mezi výstupem (13)

- a výstupem (3) je uspořádáno oběhové čerpadlo (11) pro čerpání ochlazené užitkové vody do primárního systému (22),
- b) vstup (4) ochlazené topné vody směrem ze sekundárního systému (28), ústící přes vstup (14) ochlazené topné vody do deskového výměníku (8) tepla, a dále výstup (15) ohřáté topné vody z deskového výměníku (8) tepla a přes výstup (5) ohřáté topné vody směrem zpět do sekundárního systému (22), a
 - c) deskový výměník (8) tepla pro přivedení ohřáté vody ze vstupu (12) na jeho teplosměnnou plochu a pro uskutečnění přenosu tepla do ochlazené topné vody ze vstupu (14) z ohřáté vody ze vstupu (12).
2. Modulární systém (1) podle nároku 1, vyznačující se tím, že mezi výstupem (15) a výstupem (5) je jako paralelní odbočná větev uspořádána expanzní nádoba (9) pro vyrovnávání změn objemu topné vody, způsobenými změnami její teploty, a pro udržování požadovaného přetlaku v sekundárním systému (28).
 3. Modulární systém (1) podle nároku 1 nebo 2, vyznačující se tím, že za paralelní odbočnou větví s expanzní nádobou (9) směrem k deskovému výměníku (8) tepla je uspořádána bezpečnostní skupina (10) zahrnující pojistný ventil, odvzdušňovací ventil a manometr, přičemž z bezpečnostní skupiny (10) vystupuje samostatné pojistné potrubí (6).
 4. Modulární systém (1) podle kteréhokoli z předchozích nároků, vyznačující se tím, že výstup (5) ohřáté topné vody do sekundárního systému (28) a výstup (3) ochlazené vody z deskového výměníku (8) tepla jsou opatřeny kulovými kohouty (18, 19).
 5. Modulární systém (1) podle kteréhokoli z předchozích nároků, vyznačující se tím, že mezi vstupem (2) ohřáté vody směrem z primárního systému (22) a vstupem (12) ohřáté užitkové vody do deskového výměníku (8) tepla je uspořádán automatický odvzdušňovací ventil (16).



Obr. 85 – Náhled dokumentu před tiskem



Obr. 86 – Náhled dokumentu před tiskem

8 Závěr

Hlavní cíle projektu byly stanoveny:

Vyvinout Modulární systém vytápění a přípravy teplé vody v závislosti na typu a energetické náročnosti budovy.

Vytvořit webovou aplikaci pro návrh různých systémů přípravy teplé vody vč. Modulárního systému vytápění a přípravy teplé vody zahrnující vazbu na produkty společnosti Quantum.

Typy výstupu projektu byly stanoveny jako:

Dva prototypy – Modulárního systému pro vytápění a přípravu teplé vody – koncept „All in one“.

Software – Projekční software (on-line aplikace).

Užitný vzor – Ochrana duševního vlastnictví nových konstrukčních prvků.

VŠECHNY VYTYČENÉ CÍLE A TYPY VÝSTUPŮ PROJEKTU BYLY SPLNĚNY.