



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra technických zařízení budov

Energetická náročnost budov - výpočet a realita

Energy Performace of Buildings - Calculation and Reality

DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Ondřej Horák

Doktorský studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Pozemní stavby

Školitel: prof. Ing. Karel Kabele, CSc.

Praha, 2024

PROHLÁŠENÍ

Jméno doktoranda: Ing. Ondřej Horák

Název disertační práce: Energetická náročnost budov - výpočet a realita

Prohlašuji, že jsem uvedenou disertační práci vypracoval/a samostatně pod vedením školitele prof. Ing. Karla Kabeleho, CSc.

Použitou literaturu a další materiály uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze
dne

13. 3. 2024

.....
podpis

Poděkování

V první řadě děkuji svému školiteli prof. Ing. Karlu Kabelemu, CSc. za cenné rady, lidský přístup, odbornou i morální podporu během výzkumu i během psaní této disertační práce, rovněž za prohloubení mého vědecko-analytického přístupu nejen k práci, ale i k životu obecně. Poděkování náleží i ostatním členům a kolegům z katedry technických zařízení budov Fakulty stavební ČVUT v Praze.

Speciální dík patří profesoru Kwok Wai Thamovi z National University of Singapore, do jehož vědeckého týmu jsem měl možnost se zapojit během své stáže na tamní univerzitě v roce 2019, za rozšíření obzorů v oblasti přístupu ke vědě i za možnost poznat zcela odlišné kulturní prostředí.

A v neposlední řadě děkuji všem svým blízkým, rodině a přátelům, kteří se mnou přečkali krizové situace během psaní této práce, a to především za morální podporu.

Abstrakt

Cílem disertační práce bylo vytvořit výpočtový nástroj pro vyhodnocení energetické náročnosti budovy v průběhu jejího provozu.

V první části je shrnut současný stav poznání v oblasti energetiky budov a legislativní rámec. Následně je sestaven model pro datovou analýzu a čištění dat ze systému měření a regulace budovy. Vyčištěná data jsou základní podmínkou pro optimální a korektní vyhodnocení provozní energetické náročnosti budovy.

V následné kapitole je shrnut výpočet provozní energetické náročnosti budovy. Struktura výstupů odpovídá průkazu energetické náročnosti budovy. Autor se zaměřuje na dílčí dodané energie na vytápění, přípravu teplé vody, osvětlení a větrání. Pro každou dílčí dodanou energii je v úvodu stanoveno, které veličiny je nutné v budově měřit pro řádné vyhodnocení provozní energetické náročnosti.

Dále je proveden a popsán postup samotného vyhodnocení, který vždy zohledňuje období, kdy došlo k výpadkům dat z měřicího systému budovy. Postup výpočtu prvně stanovuje okrajové podmínky, které do výpočtu vstupují, následně je proveden jejich přepočítání pro relevantní srovnání hodnoceného a referenčního roku. Na konci jsou definovány výstupy výpočtového modelu. Samostatná podkapitola je věnována jednotlivým energonositelům a obnovitelným zdrojům energie.

Výpočtový model je v rámci případové studie testován na konkrétní budově, kde je prováděno kontinuální měření.

Závěrečná část práce shrnuje, jak byly splněny její dílčí cíle, jaké jsou její přínosy, a taktéž diskutuje vlastní limity a možnosti dalšího navazujícího výzkumu.

Klíčová slova

Energetická náročnost budov, Inteligentní budovy, Vyhodnocení dat ze systémů budov, Nízkoenergetické budovy, Provozní energetická náročnost budov

Abstract

The aim of the dissertation thesis is to produce a calculation tool for evaluating the energy performance of a building during its operation.

The first part provides an overview of the current state of knowledge in the field of building energy and legislative framework. Subsequently, a model for data analysis and cleaning from the building's measurement and control system is assembled. Cleaned data are a fundamental condition for the optimal and accurate assessment of the operational energy demand of the building.

In the following chapter, the calculation of the operational energy performance of the building is summarized. The structure of the outputs corresponds to the building's energy performance certificate. The author focuses on delivered sub-energy for heating, hot water preparation, lighting and ventilation. For each delivered sub-energy, the introduction specifies which quantities need to be measured in the building for a proper assessment of the operational energy demand. The evaluation procedure is then conducted and described, taking into account periods when data from the building's measurement system were disrupted. The calculation procedure first establishes boundary conditions that enter the calculation, and their recalculation is subsequently performed for relevant comparison between the assessed and reference year. At the end, the outputs of the computational model are defined. A separate subchapter is dedicated to individual energy carriers and renewable energy sources.

Within a case study, the computational model is tested on a specific building with continuous monitoring.

The concluding part of the thesis summarizes how its specific objectives were achieved, discusses its contributions, and also explores its limitations and possibilities for further related research.

Keywords

Building energy performance, Intelligent buildings, Building systems data evaluation, Low-energy buildings, Operational building energy performance

Obsah

1	Úvod	12
1.1	Aktuálnost tématu	12
1.1.1	Energetická krize a z toho plynoucí dynamické pohyby cen energie	12
1.1.2	Zelená dohoda pro Evropu	13
1.1.3	Klimatické změny, klimatická krize	14
1.2	Motivace	15
1.3	Související projekty	15
1.4	Struktura práce	16
2	Cíle práce	17
2.1	Vymezení cílů	17
2.2	Metodika	17
3	Přehled současného stavu	19
3.1	Zakotvení v legislativě	19
3.1.1	Průkaz energetické náročnosti budovy	20
3.1.2	Energetický audit	25
3.1.3	Energetický posudek	27
3.1.4	Energetické projekty se zárukou	28
3.1.5	Ukazatel připravenosti budovy pro chytrá řešení	29
3.2	Rešerše inteligentních systémů věnujících se energetické náročnosti budov	30
3.2.1	Řídicí systém KOBRA (společnost Brand-tech s.r.o.)	31
3.2.2	Siemens Desigo	32
3.2.3	Tecomat Foxtrot	33
3.2.4	ABB-free@home®	33
3.2.5	Loxone	34
3.3	Rešerše vědeckých publikací	34
3.3.1	Využití technologie digitálního dvojčete	34
3.3.2	Indexy energetické náročnosti	35
3.3.3	Energetická náročnost během provozu kancelářské budovy	36
3.3.4	Poznatky autora disertační práce	36
3.4	Statistické údaje o využití energie v budovách v České republice	37
3.4.1	Domácnosti podle využití paliv (energonositelů)	37
3.4.2	Spotřeba energie	39
4	Teorie	41
4.1	Energie	41
4.2	Energie v budovách	41
4.3	Měření a simulace energetických toků v budovách	43

4.4	Provozní energetická náročnost budov	43
5	Sběr dat a data cleaning	45
5.1	Data cleaning pro požadovaný časový krok.....	45
5.2	Získání měsíčních hodnot v případě delšího výpadku dat.....	51
5.2.1	Případ 1: Výpadek dat začal v průběhu měsíce a skončil v průběhu měsíce následujícího	52
5.2.2	Případ 2: Výpadek dat začal v průběhu měsíce a skončil až na konci měsíce následujícího	53
5.2.3	Případ 3: Výpadek dat začal počátkem měsíce a skončil v průběhu měsíce následujícího	54
5.2.4	Případ 4: Výpadek dat začal v průběhu měsíce, pokračoval přes celý následující měsíc a skončil až v dalším měsíci	54
6	Výpočet provozní energetické náročnosti budovy	56
6.1	Souhrnné informace, celková energie, struktura výstupů, dílčí energie	57
6.2	Vytápění.....	58
6.2.1	Měřené veličiny	58
6.2.2	Vyhodnocení	59
6.3	Příprava teplé vody.....	65
6.3.1	Měřené veličiny	66
6.3.2	Vyhodnocení	66
6.4	Větrání.....	73
6.4.1	Měřené veličiny	73
6.4.2	Vyhodnocení	74
6.5	Osvětlení.....	78
6.5.1	Měřené veličiny	78
6.5.2	Vyhodnocení	79
6.6	Energonositelé, primární energie z neobnovitelných zdrojů	80
6.7	Výstupy.....	81
7	Případová studie rodinného domu	85
7.1	Popis domu	85
7.2	Vstupní data, data cleaning.....	88
7.3	Rozklíčování neměřených energetických toků.	94
7.3.1	Postup rozklíčování	95
7.4	Výpočty	98
7.4.1	Vytápění.....	98
7.4.2	Příprava teplé vody.....	103
7.4.3	Osvětlení + Větrání.....	107
7.4.4	Energonositelé	111
7.5	Výstupy.....	111

7.5.1	Souhrnné měsíční výstupy – celkové dodaná energie a dílčí dodané energie	112
7.5.2	Souhrnné měsíční výstupy – primární energie z neobnovitelných zdrojů, energonositele	118
7.5.3	Souhrnné měsíční výstupy – domácí elektrospotřebiče	124
7.5.4	Denní výstupy v rámci měsíce	125
7.5.5	Podrobnější detekce (čtvrthodinový krok).....	133
7.5.6	Další výstupy	137
8	Souhrn výsledků a diskuze.....	138
8.1	Limity disertační práce	138
9	Závěr	140
9.1	Splnění dílčích cílů.....	140
9.1.1	Provést rešerši současného stavu poznání v oblasti užití energie v budovách během jejich provozu a shrnout legislativní rámec EU a ČR týkající se energetiky budov.	140
9.1.2	Soupis veličin v budově, které vstupují do výpočtu energetické náročnosti budov a z ní vyplývající analýza veličin, které je potřeba měřit, aby byl výpočet provozní energetické náročnosti korektní... 140	
9.1.3	Vývoj kalkulačního nástroje, který dokáže data z měřicího systému vyčistit, analyzovat a provést výpočet provozní energetické náročnosti v budově s cílem porovnání více let provozu budovy mezi sebou.....	142
9.1.4	Dokázat vyhodnotit provozní energetickou náročnost budovy i při výpadech dat z měřicího systému.	142
9.1.5	Kalkulační nástroj a jeho správnou funkci otestovat na případě konkrétní budovy, ve které je prováděno kontinuální měření.	142
9.2	Celkové shrnutí	143
9.3	Možný další výzkum.....	143
9.4	Přínosy práce	144
10	Použité zkratky a symboly	145
11	Seznam literatury.....	148
	Vlastní publikace vztahující se k této práci.....	153
	Seznam obrázků a tabulek	157
	Seznam obrázků	157
	Seznam tabulek.....	159

1 Úvod

1.1 Aktuálnost tématu

Téma provozní energetické náročnosti je v současnosti (rok 2024) velmi aktuální, neboť v posledních letech vyvstaly nové výzvy týkající se nejen České republiky, ale i celé Evropy, které obyvatele nutí více přemýšlet o hospodaření s energiemi v jejich budovách.

Problematika energetiky budov i energetiky obecně je ovšem s vyšší mírou intenzity řešena již od 70. let 20. století, kdy došlo k tzv. ropné krizi [1]. Ta měla dvě fáze. V první fázi, která začala v roce 1973, několik arabských zemí sdružených v Organizaci zemí vyvážejících ropu (OPEC), zavedlo ropné embargo proti zemím, které podporovaly Izrael během Jomkipurské války. Cílem bylo ovlivnit politiku těchto států a zároveň zvýšit ceny ropy. Důsledkem bylo skokové zvýšení cen ropy a nedostatek na světovém trhu.

Druhá fáze nastala během války v Íránu v roce 1979, kdy opět došlo ke snížení produkce ropy. Panika na trhu způsobila enormní nárůst cen.

Ropná krize v 70. letech měla řadu důsledků v ekonomické a energetické sféře. V ekonomické oblasti se jedná především o inflaci ve většině světa a následnou ekonomickou recesi. V energetice začalo vlivem ropné krize docházet ke změnám energetických strategií jednotlivých zemí. Začaly se hledat se alternativní zdroje energie s cílem snížit závislost na fosilních palivech a dovozu energetických surovin z nestabilních regionů. Státy začaly prosazovat politiku vedoucí ke snižování spotřeb energie a zvyšování energetické efektivity ve všech odvětvích. Byl též posílen výzkum a vývoj energeticky úsporných technologií.

Ropná krize nebyla jedinou výzvou v oblasti energetiky, která vedla ke změně uvažování nad využíváním zdrojů energie. Další impulsy přišly i v následujících letech (válka v Perském zálivu, invaze USA do Iráku, ekonomický boom zemí Jihovýchodní Asie a s ním spojený nárůst poptávky po ropě, hurikán Katrina a další meteorologické jevy mající rozsáhlý dopad na hospodářství). Současné výzvy vedoucí k dalšímu tlaku na snižování spotřeb energie a zvyšování energetické efektivity, které se týkají České republiky a budov v ní, jsou popsány v následujících podkapitolách.

1.1.1 Energetická krize a z toho plynoucí dynamické pohyby cen energie

V posledních letech se Česká republika potýká s energetickou krizí, z níž plynou rostoucí ceny energií [2]. Ceny začaly růst již během pandemie nemoci Covid-19, která začala v roce 2020. Zásadním zlomem byl ale vpád ruských vojsk na Ukrajinu v březnu 2022 a následná změna strategie nákupu zemního plynu. Do té doby se Česká republika z převážné většiny spoléhala na nákup zemního plynu právě z Ruska. Pozastavení dodávek zemního plynu zapříčinilo nárůst jeho ceny [3].

Dalším impulsem pro nárůst cen energie byly problémy s jadernými elektrárnami ve Francii, kdy některé musely být ostaveny, a to jak kvůli nedostatečné údržbě, tak z důvodu nedostatku chladicí vody kvůli suchému počasí [4].

Důsledkem nedostatku energie a její rostoucí ceny je změna chování obyvatel, kteří více hlídají spotřebu energie ve svých budovách, více se snaží energií šetřit. Dále roste poptávka po energetické soběstačnosti a využívání obnovitelných zdrojů.

Jen v roce 2022 bylo zprovozněno cca 35 tisíc nových fotovoltaických elektráren, což znamená více než čtyřnásobný nárůst oproti roku 2021. Za první pololetí roku 2023 bylo zprovozněno dalších 45 tisíc fotovoltaických elektráren. [5]. Na konci roku 2023 byl v procesu schvalování zákon o komunitní energetice, který umožní obyvatelům mj. využívat elektrickou energii z vlastních zdrojů ve větší vzdálenosti od onoho zdroje (například v bytě ve městě využít elektrickou energii z fotovoltaické elektrárny na střeše chalupy). To pravděpodobně povede k dalšímu nárůstu poptávky po fotovoltaických systémech.

Nárůst poptávky obyvatel je i po tepelných čerpadlech. Podle údajů Ministerstva průmyslu a obchodu [6] bylo za rok 2022 prodáno v České republice téměř 60 tisíc tepelných čerpadel (z nichž 97 % jsou tepelná čerpadla vzduch/voda), což znamená dvojnásobek proti roku 2021 – do té doby byly nárůsty v řádech nižších desítek procent. Za první pololetí roku 2023 bylo prodáno téměř 40 tisíc tepelných čerpadel. Předpokladem ministerstva je celkový prodej na úrovni 75 tisíc tepelných čerpadel za rok 2023. Roste také podíl nově dokončených rezidenčních budov, které jsou vytápěné tepelnými čerpadly. Za rok 2022 se jedná o 20 % všech budov (v roce 2021 to bylo 16,5 %, v roce 2020 cca 13 % dokončených budov) [7].

Na energetiku v České republice budou mít vliv další výzvy dané proměnou energetického mixu. Na straně zdrojů se jedná především o uzavírání uhelných elektráren, nejisté vyhlídky v oblasti jaderné energetiky a rozvoj obnovitelných zdrojů typu fotovoltaika. U jaderné energetiky je nutné zdůraznit pomalý proces a dlouhý časový odstup mezi rozhodnutím elektrárnu vybudovat a jejím zprovozněním. Kupříkladu u prvních dvou bloků JE Temelín začaly projekční práce v roce 1981 a zprovozněny byly až v roce 2002 [8],[9].

Na straně spotřeby pak bude docházet k většímu využívání zejména elektrické energie a nahrazování ostatních zdrojů právě elektřinou. Jak bylo zmíněno v předchozích odstavcích, poptávka po tepelných čerpadlech výrazně roste, a to na úkor například zdrojů tepla spalujících zemní plyn. Do budoucna se dá předpokládat úplně odstavení uhelných zdrojů tepla a jejich nahrazení kupříkladu právě tepelnými čerpadly. Další výzvou je očekávaný nárůst elektromobility [10] či zvyšování výpočetního výkonu vlivem rostoucího objemu datových toků. To vše má zásadní vliv na požadavky na výkon zdrojů elektrické energie, jejich stabilitu a stabilitu celé přenosové sítě.

1.1.2 Zelená dohoda pro Evropu

Další výzvou nejen v oblasti energetiky je tzv. Zelená dohoda pro Evropu (European Green Deal) [11]. jedná se o dokument, který byl představen Evropskou komisí v prosinci 2019 a jehož hlavním cílem je, aby do roku 2050 byla Evropská unie tzv. uhlíkově neutrální [12]. Součástí cíle je energetická transformace s ohledem na ochranu životního prostředí, konkurenceschopnost i růst životní úrovně obyvatel.

Zelená dohoda pro Evropu má více cílů, z nichž se některé dotýkají přímo stavebnictví. Jedná se například o následující body:

- Zlepšení energetické efektivity budov prostřednictvím renovací stávajících budov a výstavby energeticky šetrných nových budov;
- Podpora obnovitelné energie;
- Cirkulární stavebnictví, tedy maximalizace opětovného využívání stavebních materiálů;
- Investice do zelené infrastruktury s cílem minimalizovat městské tepelné ostrovy;
- Využívání moderních technologií ve stavebnictví;
- Používání nízkouhlíkových a udržitelných stavebních materiálů;
- Finanční stimuly pro výše zmíněné.

Tato disertační práce je relevantní pro plnění dílčích cílů Zelené dohody pro Evropu, neboť její výstupy mohou pomoci majitelům či uživatelům budov hlídat jejich energetickou účinnost během provozu.

1.1.3 Klimatické změny, klimatická krize

Zásadní dopad na stavebnictví a energetiku budov mají i změny klimatu, respektive zrychlující se dynamika těchto změn.

Šestá hodnotící zpráva Mezinárodního panelu OSN pro změnu klimatu IPCC, konkrétně report pracovní skupiny WG II (Dopady, adaptace a zranitelnost) [13] hovoří o dopadech na životní prostředí a na lidstvo, které mohou nastat, pokud se teplota atmosféry zvýší o 1,5 °C oproti době před průmyslovou revolucí. Jedná se o ztrátu biodiverzity, růst hladiny moří vlivem tání ledu, změna distribuce srážek, nedostatek energie a vody, rizika v potravinové bezpečnosti a vším výše zmíněným vyvolaná masová migrace.

Zpráva taktéž definuje scénáře, jak dopadům předejít. Nejdůležitější je zásadní snížení produkce skleníkových plynů. Dále se věnuje zlepšení energetické efektivity, přechodu k technologiím s nízkou uhlíkovou stopou, ekologicky udržitelnému zemědělství, adaptaci na projevy změn klimatu a soustředění se na zmírňování dopadů klimatických změn v oblastech, které jsou nejvíce náchylné.

Otázka energetiky je zásadní pro obor stavebnictví. Vzhledem k tomu, že v Evropě je podíl nově postavených budov vůči stávajícím relativně malý, bude potřeba se věnovat zlepšení energetické efektivity stávajících budov, a to především v oblasti zdrojů energie. S tímto souvisí i body, které byly zmíněny v podkapitole věnující se Zelené dohodě pro Evropu.

V České republice se dá vlivem změn klimatu očekávat především nárůst spotřeby energie na chlazení, aby byl zajištěn vnitřní komfort v budovách v letním období. To s sebou ponese nároky na zdroje elektrické energie i celou infrastrukturu.

1.2 Motivace

Prvotní motivací autora pro to věnovat se problematice provozní energetické náročnosti budov byla jeho vlastní zkušenost se snižováním spotřeby energie v domě, v němž žil, a to jak zlepšením vlastností obálky budovy, tak i optimalizací jeho provozu. Z toho vyvstal autorův zájem na hledání potenciálu úspor energie v rámci větších sídelních celků, což popsal ve své diplomové práci s názvem „Energetická a emisní náročnost obce Všenory“ [14], ve které provedl analýzu všech trvale obývaných domů v dané obci (v naprosté většině se jedná o rodinné domy) z hlediska stavu jejich obálek, předpokládané obsazenosti, využívání zdrojů energie a pomocí výpočtového modelu stanovil potenciál snížení spotřeb energie, který u vytápění a přípravy teplé vody dosáhl téměř 60 %. Součástí byla i analýza potenciálu využití obnovitelných zdrojů energie.

V návaznosti na zmíněnou diplomovou práci a studium problematiky energetické náročnosti budov vykrytalizovala motivace věnovat se spotřebám energie v budovách během jejich provozu. Energetická náročnost budovy, jak ji chápe legislativa, vychází z normových hodnot, je zde proveden zjednodušený předpoklad provozu a průkaz energetické náročnosti budovy je u nových budov vypočítávám dříve, než jsou budovy realizovány. Samotný provoz budovy, obzvláště, pokud je budova provozována nešetrně, může reálnou spotřebu energie výrazně ovlivnit. Proto vznikla tato disertační práce, která má za cíl podchytit proměnné související s provozem budov, které reálnou spotřebu energie ovlivňují. Díky těmto proměnným neboli okrajovým podmínkám je možné na základě výpočtového modelu „znormovat“ provoz budovy tak, aby jednotlivé roky provozu byly porovnatelné mezi sebou a rozdíly ve spotřebách energie byly explicitně vyhodnoceny.

Další motivací autora věnovat se této problematice je aktuální stav energetiky v budovách, který je popsán v kapitole 1.1, a snaha o osvětu směrem k veřejnosti. Během autorova doktorského studia se do jeho motivace začaly promítat i události typu energetická krize, problematika energetické soběstačnosti Evropské unie po zahájení války na Ukrajině, legislativní tlak na realizaci a využívání obnovitelných zdrojů a dynamičtější kolísání cen energie, které ovlivňuje rozpočty velkého procenta obyvatel.

1.3 Související projekty

Disertační práce vznikla v souvislosti s řešením následujících projektů, kde byl autor navrhovatelem:

- SGS18/011/OHK1/1T/11 – Vliv provozu na energetickou náročnost budovy
- SGS19/097/OHK1/2T/11 – Nástroj pro online vyhodnocování reálné energetické náročnosti budovy
- SGS21/008/OHK1/1T/11 – Virtuální průkaz energetické náročnosti budovy

Dále byl autor členem týmu v následujících projektech:

- SGS22/010/OHK1/1T/11 – Udržitelné řešení nástavby studentských kolejí – podpora účasti týmu ČVUT v soutěži Solar Decathlon Europe 21/22

- TRIO FV40183 Rozšíření systému řízení produktu inteligentní dům

1.4 Struktura práce

V kapitole 2 jsou formulovány cíle práce a definována metodika, jak autor těchto cílů dosáhne.

V kapitole 3 je shrnut přehled současného stavu poznání v oblasti energetické náročnosti budov, a to jak z pohledu legislativy (evropská, česká), tak z pohledu praxe, kde je provedena rešerše inteligentních systémů, které se energetickým tokům v budovách věnují. V rámci legislativní části jsou shrnuty běžně užívané termíny v oblasti energetické náročnosti budov, např. průkaz energetické náročnosti budovy, energetický audit či energetický posudek. Součástí této kapitoly je i rešerše vědeckých prací, které se problematikou provozní energetické náročnosti budov zabývají. Na závěr jsou shrnuty statistické údaje, které se zabývají strukturou spotřeb energie na vytápění a přípravu teplé vody v budovách v České republice.

Kapitola 4 shrnuje teoretické poznatky o energii jako takové, o tom, jak je energie využívána v budovách a jak je možné simulovat energetické toky v budově. Poprvé je zde definován termín *provozní energetická náročnost budov*, s nímž autor operuje v rámci své disertační práce.

Kapitola 5 se věnuje vstupům do výpočtu provozní energetické náročnosti. Především se jedná o data z měřicích systémů, jejich zpracování, data cleaning a definování období, kdy měřicí systém data z toho či onoho důvodu nedodával.

Rozsáhlá kapitola 6 se pak zabývá výpočtem provozní energetické náročnosti budov. Je rozdělena v souladu se strukturou průkazu energetické náročnosti budovy do jednotlivých dílčích dodaných energií. Autor se zaměřuje na dílčí dodané energie na Vytápění, větrání, přípravu teplé vody a osvětlení. Pro každou dílčí dodanou energii jsou definovány veličiny, které je v budově potřeba měřit, aby byl výpočet korektní, následně je proveden výpočet a definována metodika, jak nakládat s výpadky dat z měřicího systému. Samostatná část se zabývá pokrytím spotřeb energie jednotlivými energonositeli. Na závěr kapitoly je proveden souhrn výstupů.

Kapitola 7 pak v rámci případové studie aplikuje výpočtový program sestavený a popsany v kapitole 6 na konkrétní rodinný dům, v němž jsou kontinuálně sbírána data. Předmětná budova je popsána, je rozepsána struktura dat, jejich množství, data cleaning. Následně jsou některé hodnoty dopočítány a rozklíčovány, aby bylo možné provozní energetickou náročnost korektně vypočítat. V další části je proveden vlastní výpočet všech energetických toků v budově a sestavení výsledků do grafického uživatelského rozhraní.

V kapitole 8 jsou shrnuty poznatky vyplývající z této disertační práce. Jsou též vypsány její limity a diskutovány možnosti dalšího rozvoje výpočtového modelu.

V závěrečné kapitole 9 je kromě popisu, zda byly cíle práce splněny, provedeno celkové shrnutí a nastíněny možnosti dalšího výzkumu a přínosy práce pro autora i pro společnost.

2 Cíle práce

Tato disertační práce reaguje na současný stav energetiky v České republice a v Evropě, na výzvy, které Evropu čekají v rámci současných a budoucích legislativních procesů, i na nečekané události popsané v kapitole 1.1, které se podepsaly na cenách energií a potřebě s nimi šetřit. Cílem autora je přispět k optimalizaci energetických toků v budovách a k větší informovanosti ohledně spotřebovaných energií směrem k uživatelům a vlastníkům budov.

2.1 Vymezení cílů

Cíle disertační práce jsou následující:

- Provést rešerši současného stavu poznání v oblasti užití energie v budovách během jejich provozu a shrnout legislativní rámec EU a ČR týkající se energetiky budov.
- Soupis veličin v budově, které vstupují do výpočtu energetické náročnosti budov a z ní vyplývající analýza veličin, které je potřeba měřit, aby byl výpočet provozní energetické náročnosti korektní.
- Vývoj kalkulačního nástroje, který dokáže data z měřicího systému vyčistit, analyzovat a provést výpočet provozní energetické náročnosti v budově s cílem porovnání více let provozu budovy mezi sebou.
- Dokázat vyhodnotit provozní energetickou náročnost budovy i při výpadcích dat z měřicího systému.
- Kalkulační nástroj a jeho správnou funkci otestovat na případě konkrétní budovy, ve které je prováděno kontinuální měření.

2.2 Metodika

Pro splnění dílčích cílů disertační práce byla provedena rešerše evropské a české legislativy věnující se energetické náročnosti budov. Ta definuje především strukturu informací, která má uživatel o budově z pohledu energetických toků.

Pro korektní informaci o provozní energetické náročnosti je vyvinut výpočtový nástroj, který pracuje s daty z měřicího systému budovy. Data nástroj nejprve vyčistí do potřebné struktury, vyhodnotí výpadky dat a následně provede výpočet provozní energetické náročnosti.

Výpočtový nástroj je následně testován na konkrétní budově, která je vybavena inteligentním měřicím systémem. Na této budově jsou testována i období výpadků dat s cílem výpadky dopočítat nebo popsát ve výstupech.

V rámci práce jsou definovány veličiny, které je pro korektní výpočet provozní energetické náročnosti potřeba měřit, a s jakým časovým krokem je potřeba data ukládat. Cílem metodiky je pokrýt co největší spektrum budov.

Součástí nástroje je i přehledný grafický výstup, jehož cílem je poskytnout informaci o energetických tocích v budově i uživatelům z širší veřejnosti, která se profesně nepohybuje v oblasti energetiky budov.

3 Přehled současného stavu

Tato kapitola se zabývá problematikou energetické náročnosti a důvody, proč ji jako společnost řešíme. V jednotlivých podkapitolách je popsána energetická náročnost budov, jak ji chápe evropská a česká legislativa i technická praxe. Dále se zde autor zabývá příklady systémů měření a regulace, které se věnují kromě jiného i energetickým tokům v budovách a jejich případnému hodnocení. V neposlední řadě jsou popsány výstupy z vědeckých studií, které se tématu věnují a z nichž autor čerpal znalosti pro svoji práci. S legislativou souvisí i výstupy hodnocení energetické náročnosti budov, jejich typy a účel.

Klíčovou roli při zvýšení povědomí o spotřebě energie a jejích úsporách hrála ropná krize v 70. letech 20. století. [1]. V reakci na vysoké ceny ropy a obavy z nedostatku energie začaly mnohé země hledat způsoby, jak snížit závislost na dovozu ropy a zefektivnit svou spotřebu energie. To vedlo k několika důležitým změnám:

- Ropná krize podnítila zájem o zlepšení energetické efektivity ve všech odvětvích ekonomiky. Země začaly hledat způsoby, jak snížit ztráty energie v průběhu výrobního procesu, zlepšit kvalitu obálky budov, modernizovat dopravu a využívat energii efektivněji.
- Zvýšená poptávka po alternativních zdrojích energie (např. solární, větrné, jaderné a geotermální zdroje) byla částečně způsobena ropnou krizí. Státy chtěly snížit závislost na fosilních palivech a hledaly udržitelnější způsoby výroby energie.
- Ropná krize vedla mnoho zemí k zavedení energetických politik a regulací, které měly podpořit úspory energie. To zahrnovalo různé stimulační programy, daně a dotace na podporu energetické efektivity a výzkumu nových technologií.
- Krize také posílila výzkum a vývoj v oblasti energetických technologií. Byly investovány prostředky do vývoje nových a inovativních technologií, které by mohly nahradit neefektivní a znečišťující zdroje energie.
- Situace podnítila i osobní zodpovědnost ve spotřebitelích. Lidé si začali více všimnout své energetické spotřeby, hledali způsoby, jak snížit spotřebu energie v domácnostech a v průmyslu.

Celkově lze říci, že ropná krize v 70. letech měla výrazný vliv na to, jak společnost a vlády přistupují k otázce energetické spotřeby a úsporám. Tento zvýšený důraz na efektivitu a alternativní zdroje energie měl dlouhodobý vliv na energetickou politiku a technologický vývoj po celém světě.

3.1 Zakotvení v legislativě

Pojem energetická náročnost budov je zakotven v zákoně č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií [15], který ji v §2, odst. 1, písm. f) chápe jako „*vypočtené množství energie nutné pro pokrytí potřeby energie spojené s užíváním budovy, zejména na vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení.*“ V tomtéž paragrafu

a odstavci je v písmenu m) definuje průkaz energetické náročnosti jako „*dokument, který obsahuje stanovené informace o energetické náročnosti budovy nebo ucelené části budovy.*“

Vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti [16] dále kromě jiného stanovuje ukazatele energetické náročnosti, výpočet dodané energie, výpočet primární energie z neobnovitelných zdrojů. Je zde též definována struktura průkazu energetické náročnosti budovy (PENB) a všech veličin a referenčních hodnot potřebných pro jeho výpočet, vzor jeho protokolu a grafického výstupu.

Česká legislativa týkající se energetické náročnosti budov navazuje na požadavky evropské směrnice o energetické náročnosti 2018/844 (EPBD III) [17], kterou se mění směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov a směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti.

V evropských směrnicích jsou definovány důvody pro snižování energetické náročnosti budov. Základním předpokladem je, že se budovy podílejí na 36 % emisí CO₂ v EU. Cílem EU je do roku 2030 snížení emisí skleníkových plynů o 40 % oproti stavu z roku 1990 a zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie, a to z důvodu zachování konkurenceschopnosti Evropské unie, zajištění bezpečnosti (což se stalo aktuálním zejména v roce 2022 po ruské agresi na Ukrajinu) [3] a udržitelnosti.

Opatření ke snížení energetické náročnosti budov však mají být nákladově úsporná a mají bojovat proti energetické chudobě. Ve směrnici je zdůrazněno, že opatření se nemají týkat jen obálky budovy, ale i jejích technických systémů. Podporováno je zavádění systémů měření a regulace či pokročilejších systémů inteligentního řízení budov. Zároveň je zde u starších budov požadavek na zachování kulturního dědictví.

V EPBD III jsou též předefinovány články 14 a 15 z předchozí směrnice EPBD II, které se týkají inspekcí otopných soustav a klimatizačních systémů. V odstavci 4 článku 14 je požadavek na zavedení systému „automatizace a kontroly“ u budov se jmenovitým výkonem vytápění či vytápění + větrání nad 290 kW. Rovněž je v odstavci 5 podporováno, aby členské státy EU mohly samy stanovit požadavky k zajištění vybavení budov systémy měření a regulace. Stejně zní odstavce 4 a 5 článku 15, který se věnuje klimatizačním systémům.

Články věnující se inspekcím technických systémů budov jsou důležitým důvodem pro vznik této disertační práce, neboť provozu budov z pohledu energetické náročnosti se tato práce věnuje.

3.1.1 Průkaz energetické náročnosti budovy

Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB) je název pro dokument, který je v evropské směrnici o energetické náročnosti budov [17] popsán jako „certifikát energetické náročnosti“. Zákon č. 406/2000 S. o hospodaření energií [15] definuje PENB jako „*dokument, který obsahuje stanovené informace o energetické náročnosti budovy nebo ucelené části budovy*“. Tyto stanovené informace se nazývají „Ukazatele energetické náročnosti“. Ty jsou podle prováděcího předpisu, tedy vyhlášky č 264/2020 Sb. [16] definovány následovně:

- a) *primární energie z neobnovitelných zdrojů energie vztahovaná na metr čtvereční energeticky vztahné plochy,*

- b)** celková dodaná energie za rok vztážená na metr čtvereční energeticky vztažené plochy,
- c)** dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, nucené větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení vnitřního prostoru budovy za rok vztážené na metr čtvereční energeticky vztažené plochy,
- d)** průměrný součinitel prostupu tepla,
- e)** součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici,
- f)** účinnost technických systémů.

Základním principem vyhodnocení PENB je výpočet roční bilance spotřeb energie a srovnání nové či rekonstruované budovy (dle zákona „větší změna dokončené budovy“) s tzv. referenční budovou. Tu vyhláška v §2 písm. a) definuje jako „*definovanou budovu téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů budovy.*“ [16]

Výpočet má být dle legislativy prováděn s časovým krokem nejvýše jednoho měsíce. Od počátku roku 2023 pak platí, že je-li budova vybavena chlazením, úpravou vlhkosti či výrobou elektrické energie, je výpočet nutné provést s časovým krokem nejvýše jedné hodiny. Pro tento podrobný výpočet vznikla publikace stanovující rámec výpočtu energetické náročnosti v hodinovém kroku [18]. Základním cílem bylo stanovení klimatických dat pro hodinový krok výpočtu energetické náročnosti a typických profilů užívání budov. Na této publikaci se podílel i autor této disertační práce.

Na základě tohoto srovnání a přepočtu spotřeb dílčích dodaných energií, celkové dodané energie a primární energie z neobnovitelných zdrojů na metr čtvereční energeticky vztažené plochy, jsou parametry energetické náročnosti zaříděny do klasifikačních tříd A–G.

Vyhláška dále stanovuje strukturu protokolu průkazu a vzor jeho grafického výstupu. Protokol obsahuje:

- Identifikační údaje:
 - Geografické umístění a základní informace;
 - (Slovní) popis hodnocené budovy;
 - Geometrické charakteristiky;
 - Výpočtové zóny.
- Celková dodaná energie:
 - Paliva (energonositele);
 - Energie okolního prostředí;
 - Celková dodaná energie (celkové součty).

- Podíly dílčích dodaných energií a podíly energonositelů (koláčové grafy).
- Neobnovitelná primární energie:
 - Podíly energonositelů podle účelů
 - Podíly neobnovitelné primární energie podle účelů (koláčový graf)
 - Podíly neobnovitelné primární energie podle energonositelů (koláčový graf)
- Roční průběh dodané energie:
 - Měsíční bilance dodaných energií (dílčí i celkové) – tabulka a sloupcový diagram.
- Bilance tepelných toků:
 - Bilance pro režim vytápění – bilance ztrát energie a bilance potřeby energie na vytápění;
 - Bilance pro režim chlazení – bilance zisků energie a bilance potřeby energie na chlazení.
- Obálka budovy (přehled všech konstrukcí obálky budovy):
 - Stěny vnější;
 - Střechy;
 - Podlahy nad venkovním prostorem;
 - Konstrukce k zemině;
 - Konstrukce k nevytápěným prostorům;
 - Konstrukce k sousední budově;
 - Výplně otvorů;
 - Lehký obvodový plášť;
 - Tepelné vazby.
- Technické systémy budovy (výpis jednotlivých systémů vstupujících do výpočtu PENB):
 - Vytápění;
 - Chlazení;
 - Nucené větrání;
 - Úprava vlhkosti;
 - Příprava teplé vody;
 - Osvětlení;
 - Kombinovaná výroba elektřiny a tepla;

- Solární termický systém;
- Fotovoltaický systém.
- Doporučení pro snížení energetické náročnosti a zvýšení využití alternativních systémů dodávek energie:
 - Snížení celkové dodané energie (zlepšení konstrukcí a prvků obálky budovy, využití zařízení pro ZZT, zlepšení účinnosti systémů TZB);
 - Posouzení proveditelnosti alternativních dodávek energie (místní systémy využívající OZE, KVET, SZTE, tepelná čerpadla);
 - Navržený soubor opatření.
- Přehled plnění závazných požadavků vyhlášky:
 - Celkové hodnocení plnění požadavků vyhlášky;
 - Referenční budova;
 - Měněné a nové stavební prvky a konstrukce;
 - Měněné a nové technické systémy;
 - Obálka budovy;
 - Celková dodaná energie;
 - Neobnovitelná primární energie.
- Ostatní údaje:
 - Metoda výpočtu (včetně klimatických dat a použitém softwaru);
 - Údaje o projektové dokumentaci stavby;
 - Další zdroje informací.
- Energetický specialista:
 - Identifikační údaje o energetickém specialistovi;
 - Určená osoba (je-li energetickým specialistou právnická osoba);
 - Platnost průkazu.

Vzor grafického výstupu PENB dle Přílohy 4 k Vyhlášce č. 264/2020 Sb. [16] je pak znázorněn na Obr. 1. a obsahuje vybrané výše uvedené údaje ve zhuštěné podobě, a to včetně zatřídění do klasifikačních tříd A–G.

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

vydaný podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov

Ulice, č.p./č.o.: PSČ, obec: K.ú., parcelní č.: Typ budovy: Celková energeticky vztažná plocha: m²	FOTO
--	------

KLASIFIKAČNÍ TŘÍDA

Primární energie z neobnovitelných zdrojů
kWh/(m²·rok)

Mimořádně úsporná **A**
← XXX

Velmi úsporná **B**
← XXX

Úsporná **C**
← XXX

Meně úsporná **D**
← XXX

Nehospodárná **E**
← XXX

Velmi nehospodárná **F**
← XXX

Mimořádně nehospodárná **G**

C


XXX

Požadavky pro výstavbu nové budovy po roce 2022
jsou SPLNĚNY

ROZDĚLENÍ DODANÉ ENERGIE

MWh/rok

- Elektřina ze sítě – XX,X
- Slunce a en. prostředí – XX,X
- Zemní plyn – XX,X
- Biomasa – XX,X



UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI

	Průměrný součinitel prostupu tepla budovy	XXX <small>kW/(m²·K)</small>	C
	Měrná potřeba tepla na vytápění	XXX <small>kWh/(m²·rok)</small>	
Celková dodaná energie		XXX <small>kWh/(m²·rok)</small>	B
	Vytápění	XXX <small>kWh/(m²·rok)</small>	A
	Chlazení	XXX <small>kWh/(m²·rok)</small>	C
	Nucené větrání	XXX <small>kWh/(m²·rok)</small>	D
	Úprava vlhkosti	XXX <small>kWh/(m²·rok)</small>	C
	Příprava teplé vody	XXX <small>kWh/(m²·rok)</small>	C
	Osvětlení	XXX <small>kWh/(m²·rok)</small>	F

Obr. 1: Vzor průkazu energetické náročnosti budovy [16]

Výstupy této disertační práce, které jsou popsány v následujících kapitolách, vycházejí z legislativou definované struktury PENB, tedy rozdělení energetické náročnosti budovy na dílčí dodané energie (jejichž součet tvoří celkovou dodanou energii), rozdělení do jednotlivých energonositelů (kteří po vynásobení faktory primární energie tvoří primární energii z neobnovitelných zdrojů). Autor této disertační práce vychází z toho, že pojem PENB je již v obecném povědomí české společnosti.

3.1.2 Energetický audit

Energetickým auditem (EA) se podle §2, odst. 1, písm. n) zákona č. 406/2000 S. o hospodaření energií [15] rozumí: „*systematická kontrola a analýza spotřeby energie za účelem získání dostatečných znalostí o stávajícím nakládání s energií v energetickém hospodářství, která identifikuje a kvantifikuje možnosti nákladově efektivních úspor energie a podává zprávy o zjištěních.*“ Prováděcím předpisem je Vyhláška č. 140/2021 Sb. o energetickém auditu. [19]

Jinými slovy energetický audit je analýzou reálné spotřeby energie v řešené budově za předchozích alespoň 24 měsíců (či 2 ucelené kalendářní roky) a shrnuje je do bilance energetických vstupů, analýzy užití energie a do přehledu stávajících ukazatelů energetické náročnosti.

Nedílnou součástí EA je také definování tzv. příležitostí ke snížení energetické náročnosti. Po jejich návrhu se provede opět bilance energetické náročnosti, která musí vykazat úsporu energie a měrných emisí CO₂ ve výši 10 %. Součástí analýzy příležitostí ke snížení energetické náročnosti je též ekonomické vyhodnocení, kde je dle vyhlášky hlavním kritériem čistá současná hodnota (NPV) a reálná doba návratnosti (Td) doplněna o vnitřní výnosové procento (IRR). V neposlední řadě se vyhodnocují úspory měrných emisí CO₂. Každý energonositel má ve vyhlášce definovanou hodnotu emisí CO₂ na 1 MWh spotřeby.

Zákon o hospodaření energií stanovuje, které subjekty musí EA vyhotovit. Jedná se o:

- Větší podnikatele s obratem nad 1,3 mld Kč a více než 250 zaměstnanci (EA platí 4 roky);
- Podnikatele, jejichž nakládání s energií je dva po době jdoucí kalendářní roky v průměru alespoň 5000 MWh (EA platí 10 let);
- Veřejné a státní instituce, jejichž nakládání s energií je 2 po době jdoucí kalendářní roky v průměru alespoň 500 MWh (EA platí 10 let).

Legislativa týkající se energetického auditu se odkazuje na normu ČSN ISO 50002: Energetické audity – Požadavky s návodem pro použití [20] V této normě je definován EA jako „*systematická analýza užití energie a spotřeby energie v rámci stanoveného předmětu energetického auditu, s cílem specifikovat, výpočtově určit a podávat zprávy o příležitostech ke snížení energetické náročnosti.*“

Užitím energie se dle této normy rozumí způsob nebo druh využití energie, v případě budov se jedná o vytápění, chlazení, větrání, osvětlení, přípravy TV a úpravy vlhkosti. Řadí se sem např. také výtahy, bazénové a jiné technologie.

Postup sestavení energetického auditu je dle ČSN ISO 50002 následující:

- Plánování energetického auditu:
 - Vymezení předmětu energetického auditu, očekávaných cílů EA, lhůta na vyhotovení EA a další časové závazky, stanovení kritérií hodnocení a klasifikace příležitostí pro snížení energetické náročnosti, získání potřebných vstupů pro EA (např. výkresová dokumentace, spotřeby energií atd.);
 - Vyžádání informací ovlivňujících EA, například právní předpisy, správní omezení, strategické plány i osobní názory uživatelů předmětné budovy;
 - Energetický auditor informuje o zařízeních potřebných k vypracování EA, obchodních podmínkách atd.
- Úvodní jednání:
 - Organizace zajistí personál k asistenci na práci na EA, informuje na svojí půdě o probíhajícím EA, ověří okolnosti, které mohou EA ovlivnit;
 - Dohoda o přístupu do prostor potřebných pro vypracování EA, o bezpečnosti práce, o dostupnosti potřebných dat a požadavcích na speciální měření.
- Sběr dat:
 - Zjistit, kde je energie spotřebovávána;
 - Charakteristika systémů;
 - Historické údaje o spotřebě energie a významných proměnných;
 - Plány o budoucích změnách budov, které mohou ovlivnit ENB;
 - Výkresová dokumentace;
 - Předchozí energetické audity či posudky;
 - Data o tarifech a sazbách za spotřebu energie;
 - Systém distribuce a užití tepla.
- Plán měření:
 - Seznam měřicích míst a měřicích přístrojů a jejich požadovanou přesnost a opakovatelnost měření, případná kalibrace přístrojů;
 - Trvání měření a frekvence;
 - Proměnné, které vstupují do měření (například provozní režimy budovy);
- Provedení návštěvy na místě:

- Management práce v terénu (sledování užití energie, průběžně navrhopat příležitosti ke snížení ENB);
- Prohlídka místa realizace.
- Analýza:
 - Obecná analýza;
 - Analýza současného stavu (spotřeby energií a jejich vyúčtování, historické modely, vyhodnocení ukazatelů ENB);
 - Identifikace příležitostí ke snížení ENB;
 - Vyhodnocení příležitostí ke snížení ENB (úspory energie, ekonomické zhodnocení, ekologické zhodnocení, interakce mezi příležitostmi).
- Zpráva z energetického auditu:
 - Shrnutí;
 - Podklady;
 - Podrobnosti EA;
 - Příležitosti ke snížení ENB;
 - Závěry a doporučení.
- Závěrečné jednání.

Problematika energetického auditu je pro účely této disertační práce zásadní, neboť jejím cílem je sledování a vyhodnocování spotřeb energie v budovách v reálném čase. De facto se může jednat o „kontinuální energetický audit“.

3.1.3 Energetický posudek

Energetickým posudkem (EP) se podle §2, odst. 1, písm. o) zákona č. 406/2000 S. o hospodaření energií [15] rozumí: „*písemná zpráva obsahující informace o posouzení plnění předem stanovených technických, ekologických a ekonomických parametrů určených zadavatelem energetického posudku včetně výsledků a vyhodnocení.*“ Prováděcím předpisem je Vyhláška č. 141/2021 Sb. o energetickém posudku a o údajích vedených v Systému monitoringu spotřeby energie. [21]

Kromě jiného se energetické posudky dle §9a, odst. 1 daného zákona musí zajistit v případě realizací projektů snižování energetické náročnosti budov, které jsou financovány ze státních či evropských finančních prostředků a z prodeje emisních povolenek. Dále se posudek vypracovává pro vyhodnocení plnění parametrů realizovaných v rámci dotačních programů.

Další případy povinnosti vypracovat energetický posudek jsou nová či výrazně zrekonstruovaná zařízení kombinované výroby elektřiny a tepla (vyšší tepelné výkony, netýká se jaderných elektráren), využívání tepla z odpadních vod.

Možnost zajistit EP je možné i pro ekonomické posouzení využívání tepla ze SZTE, pro vyhodnocení již realizovaných opatření, která byla navržena v EA, případně při využívání obnovitelných zdrojů energie.

Dle vyhlášky č 141/2001 Sb. energetický posudek kromě identifikačních údajů obsahuje:

- Posouzení nákladů a přínosů, je-li předmětem posudku využívání odpadního tepla či zajištění kombinované výroby elektřiny a tepla;
- Hodnocení ekonomické proveditelnosti;
- Hodnocení ekologické proveditelnosti;
- Hodnocení projektu podle požadavků poskytovatele dotace;
- Ekonomické hodnocení využití energie ze SZTE;

Příloha 7 téže vyhlášky dále stanovuje obsah energetického posudku:

- Výchozí stav:
 - Výchozí stav se stanovuje na základě výpočtu ENB či stávajícího stavu spotřeb energie dle účetních dokladů;
 - Popis objektu a jeho provozu.
- Návrh opatření ke snížení energetické náročnosti:
 - Beznákladová a nízkonákladová opatření;
 - Opatření v obálce budovy;
 - Využívání zpětného získávání tepla a zvyšování účinnosti systémů TZB, získávání energie z OZE.
- Ekonomické zhodnocení.

Z pohledu problematiky energetických posudků je tato disertační práce relevantní, neboť její výstupy mohou v případě realizace sloužit jako podklad pro získávání dat pro kontinuální vyhodnocení energetického posudku, na jehož základě lze algoritmicky navrhovat opatření ke snížení energetické náročnosti budovy. Především se jedná o nízkonákladová opatření v provozu budovy.

3.1.4 Energetické projekty se zárukou

Energetický projekt se zárukou (EPC, z pojmu Energy Performance Contracting) je metoda definovaná směrnicí 2012/27/EU o energetické účinnosti [22]. Cílem metody je realizace opatření vedoucích ke snížení energetické náročnosti, která je financována realizační firmou. Investor pak projekt splácí pomocí finančních prostředků, které jsou ušetřeny díky nižším nákladům za energie. Dodavatelská firma se zároveň stará i o provoz budovy s cílem dosáhnout finančních úspor v nasmlouvaném čase.

Metoda EPC je energetickou službou, která je definována v §10e Zákona o hospodaření energií. Pro realizaci EPC projektu lze vycházet z energetického auditu.

Výstupy této disertační práce se mohou uplatnit během provozní fáze budovy po realizaci úsporných opatření, kdy je v reálném čase vyhodnocována provozní energetická náročnost budovy.

3.1.5 Ukazatel připravenosti budovy pro chytrá řešení

Evropská směrnice EPBD III vytváří rámec pro využívání tzv. Ukazatele připravenosti budovy pro chytrá řešení (Smart Readiness Indicator for Buildings = SRI), který popisuje budovu z hlediska jejího vybavení inteligentními systémy a zároveň potenciálem jejich následného dovybavení. [23] Výsledné skóre je procentuální hodnocení vybavenosti budovy vůči dosažitelnému maximu. Jedná se o vážený průměr následujících kategorií:

- *Úspory energie;*
- *Provoz, údržba a predikce poruch;*
- *Komfort užívání;*
- *Kvalita prostředí;*
- *Ochrana zdraví;*
- *Informace o budově vůči uživatelům;*
- *Flexibilita vůči distribuční síti a ukládání energie.*

Celkové skóre i skóre jednotlivých kategorií se hodnotí i pro jednotlivé oblasti neboli technické systémy, jsou-li v budově obsaženy. Jsou jimi:

- *Vytápění;*
- *Příprava teplé vody;*
- *Chlazení;*
- *Větrání;*
- *Osvětlení;*
- *Dynamická obálka budovy (vnější stínění);*
- *Elektrina;*
- *Nabíjení elektrických vozidel;*
- *Měření a regulace.*

Princip vyhodnocení

V první řadě je nutné definovat typ a užití budovy, dobu výstavby, užžitnou plochu, klimatickou oblast a další vstupní parametry. Dále se definuje přítomnost jednotlivých technických systémů. Nejsou-li systémy přítomny, nejsou ani dále hodnoceny.

Každý technický systém má ve výpočtovém programu definované služby, u nichž se stanovuje jejich úroveň funkce. Čím vyšší číslo, tím pokročilejší úroveň funkce dané služby.

Ve výpočtovém programu je definováno celkem 54 služeb. Zda vstupují do hodnocení budovy, je dáno jednak přítomností a jednak typem technického systému, který se stanovuje ve vstupních údajích o budově. U každé služby lze definovat, zda má vstupovat do celkového hodnocení.

Každý technický systém má vliv na každé hodnoticí kritérium. Tento vliv je předdefinován ve výpočtovém programu pomocí vážení neboli vlivu daného systému na procentuální skóre dané kategorie. Vliv nabývá hodnot 0 až 1. Služby definované v technickém systému jsou bodovány podle dosažené úrovně a vlivu na hodnoticí kritéria. Stejně tak jsou vypočteny maximální možné body pro dané služby. V další fázi je proveden součet bodových hodnocení v každém kritériu a pro každý technický systém. Podobně je proveden součet maximálních možných bodových hodnocení. Výsledné skóre je procentuální vyjádření dosažených bodů vůči bodům dosažitelným, a to pro každou kategorii, pro každou oblast a z nich přes jednotlivé váhy i celkové skóre pro hodnocenou budovu.

Na základě dosaženého skóre je budova zatříděna do klasifikační třídy A–G.

V současné době (2024 je Smart Readiness Indicator ve fázi vývoje a testování. Autor této disertační práce SRI testoval na vybraných budovách. Výsledky testování jsou publikovány v časopise Vytápění, větrání, instalace [24], ve sborníku konference Vykurovanie 2020 [25] a dalších publikacích. [26],[27],[28],[29],[30]

SRI a energetická náročnost

Jednou z kategorií v rámci ukazatele připravenosti budovy pro chytrá řešení je i kategorie Úspory energie. Na toto kritérium mají vliv všechny hodnocené oblasti vyjma nabíjení elektrických vozidel.

Pro klimatickou oblast Severovýchodní Evropa, kam spadá Česká republika, je předdefinován vliv kategorie energetických úspor na celkové skóre ve výši 16,67 %, což je nadprůměrný vliv v rámci hodnocených kritérií. Pro úplnost dodejme, že nejvyšší (oproti energetickým úsporám dvojnásobný) vliv na celkové skóre má kategorie flexibility vůči distribuční síti a ukládání energie.

Z technických systémů má největší vliv na hodnocení kategorie úspor energie oblast vytápění (cca 29 %), následuje měření a regulace (20 %) a větrání (cca 19 %).

3.2 Rešerše inteligentních systémů věnujících se energetické náročnosti budov

Tato podkapitola mapuje známé dostupné systémy inteligentních budov. Vychází z rešerše inteligentních systémů budov, která byla provedena v rámci výroční zprávy projektu TRIO 2019 [31], na níž se podílel autor této disertační práce. Důraz je kladen na problematiku energetické náročnosti a spotřeb energie v celkovém kontextu služeb popisovaných řídicích systémů. Řídicí systémy se skládají z jednotlivých služeb, podrobněji popsány jsou pouze služby relevantní pro tuto disertační práci.

3.2.1 Řídicí systém KOBRA (společnost Brand-tech s.r.o.)

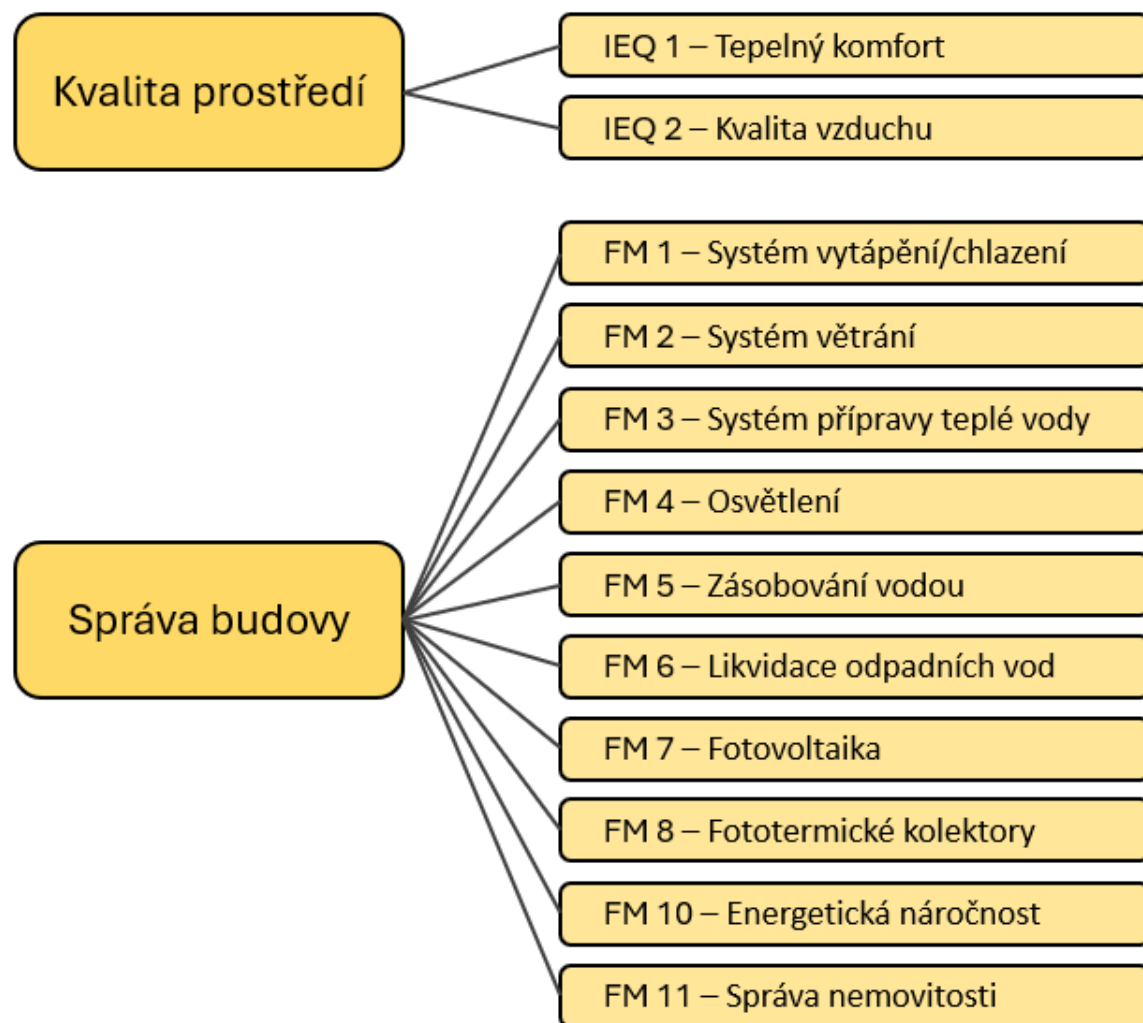
Systém KOBRA je vyvíjen českou společností Brand-tech s.r.o. [32],[33]. Stará se o celkové inteligentní řízení budovy. Ovládání budovy je přes webové rozhraní, tablet či mobilní aplikaci.

Systém KOBRA zajišťuje následující služby:

- Vytápění – možnost nastavit si teploty vzduchu individuálně po místnostech i denní uživatelské profily, doby teplotního útlumu atd.
- Osvětlení – dálkové ovládání osvětlení prostor včetně světelných scén či stmívání.
- Zabezpečení – například kontrola zavřených oken v době nepřítomnosti osob či zastřežení budovy nebo její části.
- Rekuperace – zkrácený název pro řízené větrání se zpětným získáváním tepla. Součástí služby je i měření vnitřního prostředí, na jehož základě je vzduchotechnika řízena.
- Výroba tepla – řízení provozních režimů zdrojů a distribuce tepla po budově. Týká se i výroby elektrické energie z fotovoltaiky.
- Měření spotřeb – systém měří spotřeby energie pomocí kalorimetrů a elektroměrů, a to s časovým krokem až 1 minuta. Data z měření jsou agregována v systému.
- Zastínění – řízení venkovního stínění budov.
- Závlaha zahrady.
- Řízení bazénu.
- Chlazení – podobně jako u vytápění lze volit teplotu vzduchu individuálně po místnostech, včetně provozních režimů v kalendáři.

Pro výpočet provozní energetické náročnosti jsou relevantní téměř všechny služby, neboť některé z nich se starají přímo o okrajové podmínky budovy (měření teploty vzduchu), jiné o detekci přítomnosti osob (měření CO₂, zastřežení budovy).

Autor této disertační práce se podílel na projektu aplikovaného výzkumu Ministerstva průmyslu a obchodu TRIO s názvem „rozšíření systému řízení produktu inteligentní dům“, na němž se podílela Katedra technických zařízení budov Fakulty stavební ČVUT v Praze se společností Brand-tech s.r.o. v letech 2019–2022 [31],[34],[35][36]. Cílem projektu bylo vylepšit stávající služby v rámci řídicího systému KOBRA či vyvinout služby nové. Seznam služeb je znázorněn na Obr. 2.



Obr. 2: Funkcionality řešené v rámci projektu TRIO

Služba FM 10 – Energetická náročnost, na jejímž vývoji se podílel autor této disertační práce spolu se školitelem prof. Ing. Karlem Kabelem, CSc., je základním kamenem této disertační práce. V rámci Služby FM 10 jsou prováděny roční a měsíční vyhodnocení spotřeb energie ve struktuře, která odpovídá struktuře PENB (celková dodaná energie, dílčí dodané energie, energonositelé, produkce energie fotovoltaikou či fototermikou, primární energie z neobnovitelných zdrojů), avšak bez přepočtů okrajových podmínek mezi referenčním a hodnoceným rokem či možností analýzy spotřeb energie v časovém úseku kratším než jeden měsíc. Tato disertační práce navazuje právě na výstupy projektu TRIO a funkcionality FM 10 – Energetická náročnost.

3.2.2 Siemens Desigo

Systém Desigo je vyvinut společností Siemens. Zaměřuje se na řízení budov většího rozsahu (komerční, administrativní budovy, zdravotnická a vzdělávací zařízení, kulturní a sportovní objekty) s cílem snižování provozních nákladů, úspor energie i zajištění zdravého vnitřního prostředí.

System Desigo zajišťuje ovládání následujících služeb:

- Vytápění, větrání, chlazení;
- Osvětlení, stínění;
- Energetický management;
- Bezpečnostní systémy;
- Požární bezpečnost.

System automatizace umožňuje řídit budovu až do úrovně jednotlivých místností.

3.2.3 Tecomat Foxtrot

Tecomat Foxtrot [38],[39] je otevřený modulární sběrníkový řídicí systém pro budovy menšího a středního rozsahu, který je vyvíjen společností Teco a.s. Všechny senzory i akční členy jsou připojeny na sběrnici a přes ní spojeny s procesorem, který je jádrem celého systému. Procesor zpracovává komunikaci právě mezi jednotlivými moduly na základě předem nadefinovaných vazeb v softwaru Mosaic.

Funkce systému jsou následující:

- Světla a světelné scény;
- Vytápění, klimatizace, ventilace, ohřev vody;
- Žaluzie, rolety, markýzy;
- Garážová vrata, brány;
- Zavlažování zahrady;
- Bazén, vířivka;
- Bezpečnostní systém, řízené přístupu;
- Kamerový systém;
- Elektrické spotřebiče, zásuvky;
- Vzdálený přístup;
- Smart metering (měření teplot, spotřeb energie, kvality vzduchu).

Podobně jako u systému KOBRA je většina služeb relevantních pro tuto disertační práci, především služba Smart metering, která se věnuje sběru dat a jejich vyhodnocování na základě požadavků definovaných v softwaru Mosaic.

3.2.4 ABB-free@home®

Dalším ze systémů inteligentního řízení budov je systém ABB-free@home® od společnosti ABB [40]. Podobně jako v předchozích případech se jedná o sběrníkový systém ovládatelný z počítače, tabletu či mobilního telefonu. Systém dokáže ovládat následující:

- Žaluzie;

- Osvětlení;
- Vytápění a klimatizace;
- Ovládání zásuvek a spotřebičů;
- Dveřní komunikace;
- Měření spotřeb energie.

3.2.5 Loxone

Další z řady řídicích systémů ovladatelných z mobilní aplikace je systém Loxone, který automatizuje ovládání domů, bytů i jiných budov.

Systém Loxone nabízí tyto služby:

- Osvětlení;
- Stínění;
- Vytápění a klimatizace;
- Multiroom audio;
- Energie;
- Zabezpečení;
- Přístup;
- Sauna;
- Bazén.

Z pohledu tematiky této disertační práce je relevantní především služba Energie, která se stará o energetický management budovy včetně využívání hybridního fotovoltaického systému s bateriovým úložištěm s cílem o co nejefektivnější využití energie z fotovoltaiky přímo v budově.

3.3 Rešerše vědeckých publikací

Problematikou energetické náročnosti během provozu budov se zabývá i vědecká komunita. V následujících podkapitolách jsou zmíněna témata, kterými se vybrané studie zabývají, v závěrečné podkapitole je poté autorovo shrnutí poznatků ze studií.

3.3.1 Využití technologie digitálního dvojčete

Článek publikovaný v časopisu Energy and Buildings, jehož autory jsou Paulius Spudys, Nicholas Afxentiou, Phoebe-Zoe Georgali, Egle Klumbyte, Andrius Jurelionis, Paris Fokaides z technické univerzity v Kaunasu a Frederickovy univerzity v Nikósii [43] se zabývá hodnocením metodou digitálního dvojčete. Ve své teoretické části dělí okrajové podmínky, které do hodnocení energetické náročnosti během provozu budovy vstupují mezi podmínky

ze strany budovy (obálka budovy, meteorologické podmínky aj.) a podmínky ze strany uživatelů (nastavené parametry vnitřního prostředí, chování uživatelů). Zmiňuje též termín „performance gap“ [44], který značí rozdíl mezi provozní spotřebou energie vůči projektované energetické náročnosti v certifikátu. Digitálním dvojčtem pak studie rozumí model využívající technologii BIM, který je souhrnem statických i dynamických dat, zohledňuje životní cyklus budovy a je možno jej v průběhu doplňovat o reálná naměřená data. Princip digitálního dvojčete může odhalit poruchy v budově, které mohou vést k vyšší spotřebě energie. Studie ovšem popisuje i limity digitálních dvojčat, a to hlavně v malém rozšíření na trhu a nekompatibilitě různých softwarů, které digitální dvojčata budov modelují.

Pro autora této disertační práce je podnětné zejména zavedení nových indikátorů energetického hodnocení budov, než je jen roční spotřeba na metr čtvereční energeticky vztažné plochy. Jedná se především o spotřebu energie na uživatele a na hodinu obsazenosti budovy. Dále také například o spotřebu na metr krychlový obestavěného prostoru.

Tvorba digitálního dvojčete dle publikované studie zahrnuje následující kroky:

- Zaměření budovy;
- Sběr dat, která se dají do BIM modelu vložit;
- Tvorba vlastního 3D BIM modelu;
- Upřesnění modelu, doplnění detailů, oprava nepřesností.

Pro vyhodnocení provozu budovy byla nadefinována místa, kde je vhodné spotřebu energie měřit, dále místa pro osazení senzorů a rozhodnutí o typech použitých senzorů, a zajištění jejich napájení a možností sběru dat. Teprve poté, co je model vytvořen a jsou po dobu jednoho roku měřena data, bylo možné vytvořit digitální dvojče budovy.

V závěrech studie popisuje limity technologie digitálního dvojčete, kterými kromě výše zmíněných jsou taktéž nedostatečná standardizace a interoperabilita mezi jednotlivými softwary či mezi jednotlivými prvky BIM.

3.3.2 Indexy energetické náročnosti

Studie publikovaná Davidem B. Goldsteinem a Eylem Charlesem v časopise *Energy Efficiency* v roce 2014 [45] popisuje jednotlivé indexy energetické náročnosti. Dělí je na *Asset Ratings* (modelovaná spotřeba) a *Operational Ratings* (provozní spotřeba). Druhá zmíněná je vypočítávána na základě nikoli spotřeb energie, ale účtů za spotřebu energie. Základním výpočtem je porovnání minimálně jednoho roku provozu budovy s budovou, která má stejnou podlahovou plochu a provozní podmínky upravené na podmínky hodnocené budovy.

Studie definuje nový *O&M Index (Operation and Maintenance)*, který hodnotí budovu z pohledu úrovně jejího provozu a údržby s cílem ji zlepšovat. Podmínky obálky budovy a dalších parametrů zahrnutých v *Asset Ratings* jsou považovány za fixní, mění se jen podmínky provozu. Index přepočítává například i podmínky různých provozů z hlediska potřeb energie (rozdílné vnitřní teploty nebo úroveň osvětlenosti podle požadavků provozu atd.). Index je počítán jako poměr naměřené spotřeby energie vůči spotřebě modelované.

Dalším indexem je *Index energetických služeb*, který sleduje energetické potřeby uživatelů budov v průběhu času, případně změní-li se uživatelé najímaného prostoru, ale kapacita a obsazenost se nemění. Pokud je index menší než 1, spotřeba energie klesla.

3.3.3 Energetická náročnost během provozu kancelářské budovy

Studie publikovaná v roce 2016 v Číně [46] zkoumá energetickou náročnost kancelářské budovy v Tchien-ťinu v průběhu jejího provozu a pokrytí jejích potřeb fotovoltaickým systémem. Nejprve bylo energetické chování budovy simulováno v softwaru e-QUEST. Následně bylo provedeno měření spotřeby energie i výroby energie fotovoltaikou, a to po dobu 2 let.

Výstupy ukázaly značný rozdíl mezi simulovanou a naměřenou produkcí elektrické energie fotovoltaickým systémem, které byly dány špatným ovzduším (smogem). V simulačním výpočtu měla fotovoltaika pokrývat celou potřebu energie, výsledkem bylo však pokrytí pouze z 58,9 %.

Další rozdíl byl generován nedostatkem informací o všech okrajových podmínkách, jako je provoz nebo obsazenost budovy. Studie porovnávala čistě rok provozu se simulovanými daty bez dalšího přepočtu okrajových podmínek.

3.3.4 Poznatky autora disertační práce

Technologie digitálního dvojčete může mít přínos především v oblasti nové výstavby budov či sídelních celků, pokud se s ní počítá již v projekční fázi. Jako limit autor této práce vnímá hodnocení obsazenosti budovy. V administrativních budovách by nemusel být problém s vyhodnocováním časového plánu provozu a vývoje obsazenosti budovy, neboť tento může být navázán na docházkový systém zaměstnanců. V rezidenční zástavbě by mohla být informace o obsazenosti příliš velkým zásahem do soukromí obyvatel. Autorovou ambicí není pro úsporu energie pomáhat vytvářet dystopický svět, kde je každý obyvatel na každém kroku monitorován a poučován. S obsazeností budovy ovšem autor částečně pracuje i ve svém výpočtovém nástroji a jako indikátor energetické náročnosti může být obsazenost velmi cenným parametrem.

Hodnocení budov formou indexu *O&M* je podle autora přínosné, nicméně vnímá zde jeden limit, a to v požadavcích na vnitřní prostředí budov, které má každý uživatel odlišné. To ovšem řeší *Index energetických služeb*, který již zahrnuje změny chování uživatele v průběhu času.

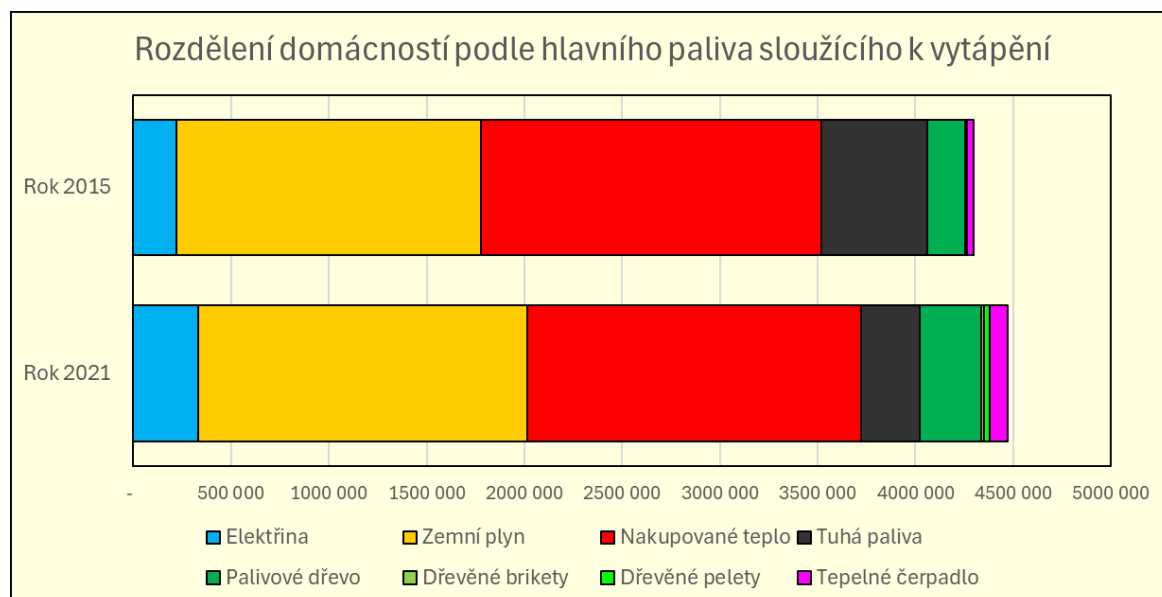
Případová studie kancelářské budovy v Tianjinu popisuje rozdíl mezi simulovanou a skutečnou produkcí energie fotovoltaickým systémem, který je dán smogovou situací ve městě. Autor této disertační práce do výpočtů zahrnuje i produkci energie solárními systémy, avšak okrajové podmínky, jako je intenzita slunečního záření, pokud jsou měřeny, je možné přepočítat na hodnocené období provozu.

3.4 Statistické údaje o využití energie v budovách v České republice

V této podkapitole jsou shrnuta data Českého statistického úřadu věnující se využitím zdrojů energie v budovách a spotřebám energie. Je zde provedeno porovnání mezi jednotlivými statistickými šetřeními. Převážná část kapitoly se věnuje rezidenčním budovám.

3.4.1 Domácnosti podle využití paliv (energonositelů)

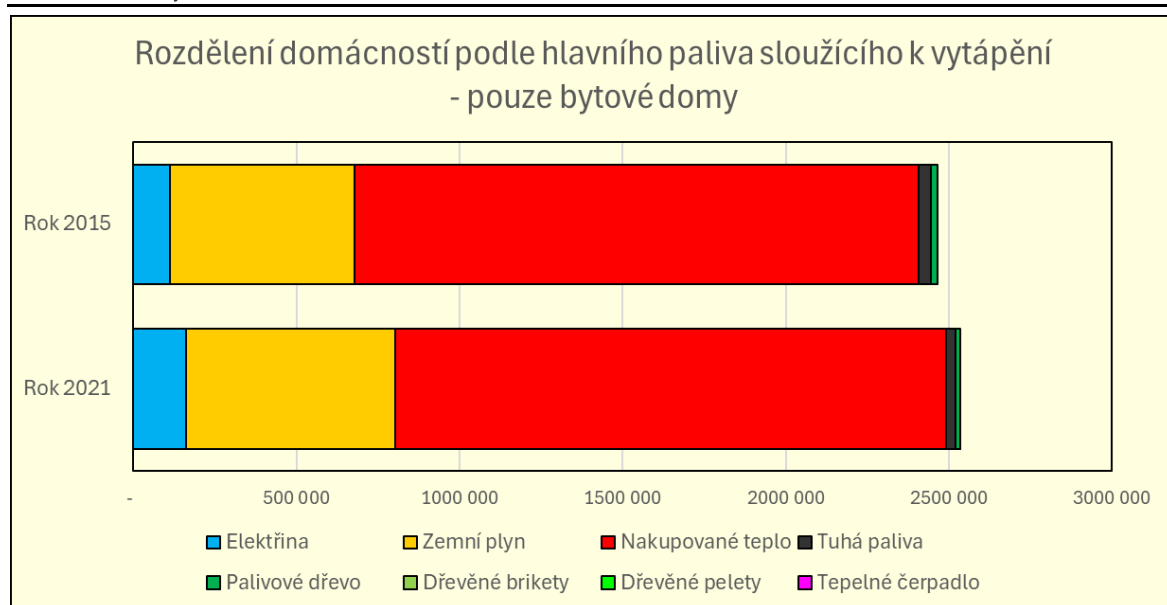
V následujícím diagramu jsou znázorněny počty domácností podle toho, které palivo využívají jako hlavní zdroj pro vytápění. Jedná se o data z Českého statistického úřadu, konkrétně z šetření *Energo 2021* [47]. Diagram je souhrn pro jednotlivé byty (domácnosti) v rodinných domech i v bytových domech. Celkový součet počtu domácností mezi lety 2015 a 2021 vzrostl, proto jsou pruhy různě dlouhé.



Obr. 3: Počty domácností podle hlavního paliva sloužícího k vytápění

Z diagramu je patrné, že v období mezi lety 2015 a 2021, kdy probíhala jednotlivá statistická šetření Energo, dochází k nárůstu podílu zdrojů šetrnějších k životnímu prostředí. Podíl zdrojů na tuhá paliva klesl o téměř 45 %. Došlo i nepatrnému poklesu bytů připojených na centrální zásobování teplem. Naopak zásadní nárůst je u tepelných čerpadel, kdy se jejich počet zvýšil takřka trojnásobně z 35 tisíc na více než 90 tisíc (podíl 2 % na celkovém počtu domácností). Zde je nutné zopakovat, že se jedná o data za rok 2021. Jak je naznačeno v kapitole 1.1.1, za rok 2022 a první pololetí roku 2023 bylo prodáno dalších cca 100 tisíc tepelných čerpadel.

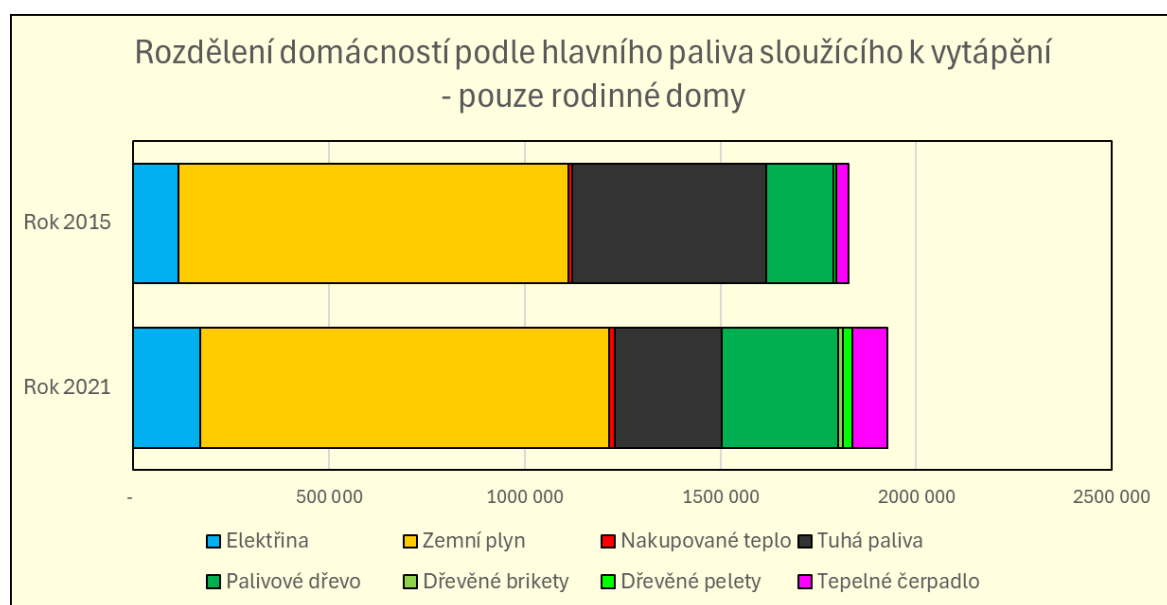
Dále je vhodné rozdělit podíly paliv na rodinné a bytové domy, neboť tyto se zásadně liší. Podíly paliv sloužících k vytápění jsou znázorněny na následujícím diagramu.



Obr. 4: Rozdělení domácností podle hlavních paliv na vytápění – pouze byty v bytových domech

V bytech v bytových domech došlo k nárůstu hlavního zdrojů na elektřinu o cca 40 %, Zemní plyn také zaznamenal nárůst, a to o 12 %. Poklesl ovšem počet bytů připojených na CZT, a sice o 2,5 %. O čtvrtinu pak poklesla tuhá paliva i palivové dřevno. Ostatní zdroje nejsou pro bytové domy ve statistickém šetření Energo 2021 specifikována, patrně se jedná o zanedbatelné hodnoty.

Zaměříme-li se na rodinné domy, zde je situace zcela odlišná:

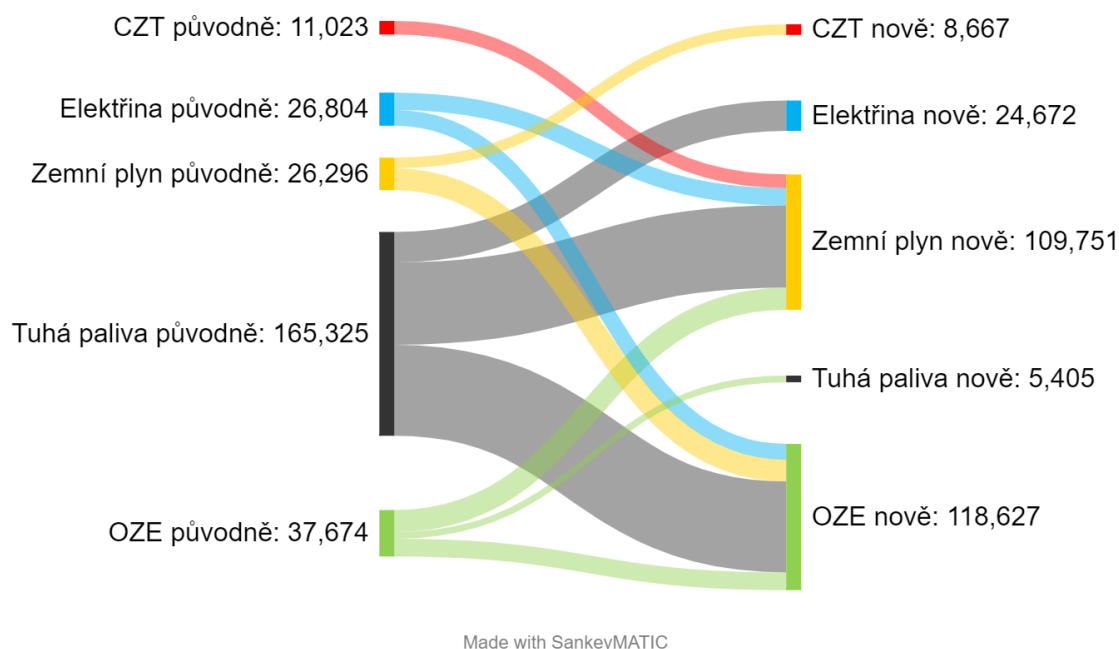


Obr. 5: Rozdělení domácností podle hlavních paliv na vytápění – pouze byty v rodinných domech

Z dat vyplývá, že pouze minimální procento rodinných domů využívá CZT. Důležitý a viditelný nárůst je v počtu tepelných čerpadel. Nutno dodat, že v roce 2021 bylo z celkových 91 tisíc tepelných čerpadel v rodinných domech celých 89 tisíc. Dále dochází k potvrzení

poklesu počtu zdrojů spalujících tradiční tuhá paliva a jejich vykryvání především palivovým dřevem. Roste též počet zdrojů využívajících elektrickou energii a zemní plyn.

V následujícím Sankeyho diagramu je znázorněno, jak byly zdroje v domácnostech nahrazeny mezi lety 2011 a 2021. Celkem došlo k téměř 300 tisícům změn hlavních zdrojů energie, ne všechny jsou ve statistickém šetření uvedeny. [48]

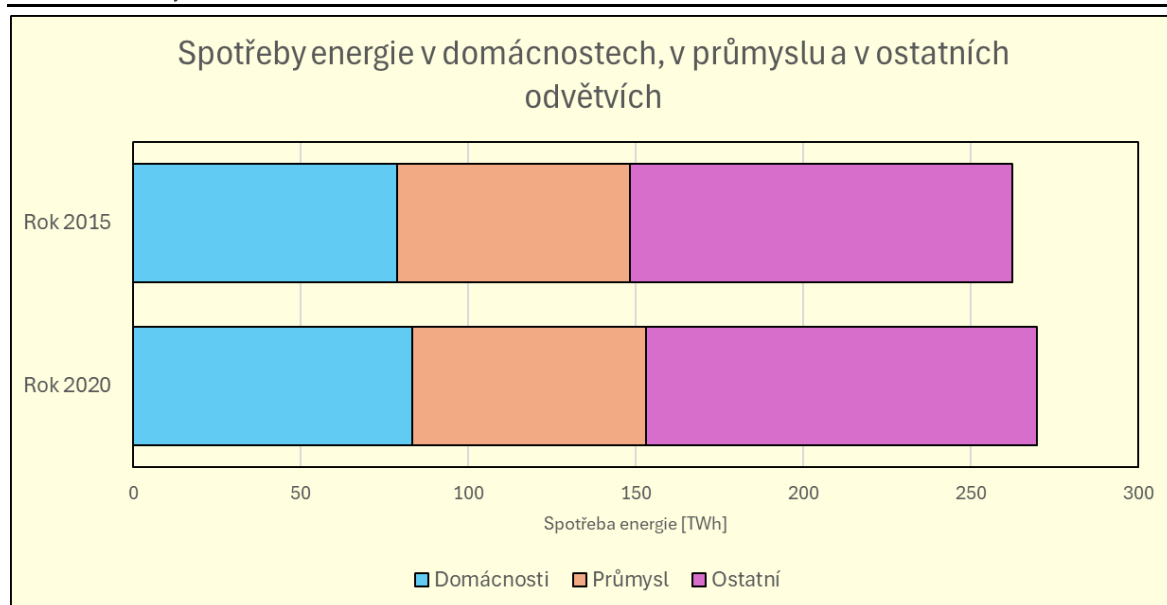


Obr. 6: Změny zdrojů tepla v domácnostech mezi lety 2011 a 2021

Více než polovina změn zdrojů byla z tuhých paliv, přičemž tato byla nahrazena hlavně zemním plynem a obnovitelnými zdroji (palivové dřevo, tepelná čerpadla).

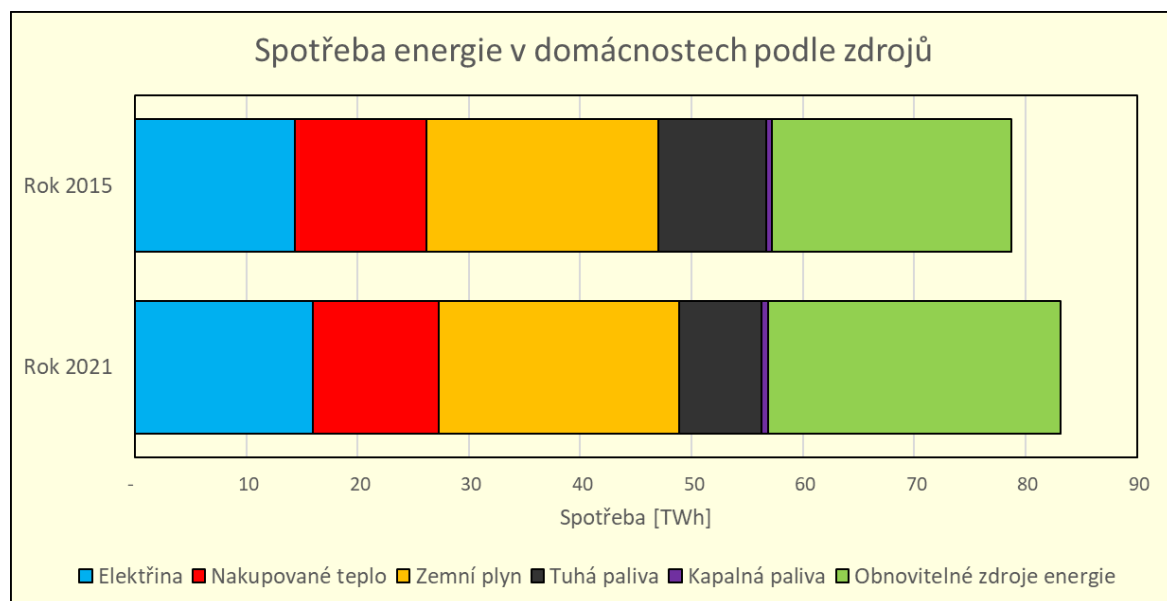
3.4.2 Spotřeby energie

Diagram na Obr. 7 znázorňuje porovnání spotřeb energie pro domácnosti, průmysl a ostatní odvětví. Jedná se o data z šetření Energo publikované Českým statistickým úřadem [49]. Z nich patrný nárůst spotřeby energie mezi lety 2015 a 2020 o cca 2,7 %. Podíl domácností na spotřebě energie je pak 30–31 %.



Obr. 7: Spotřeby energie v domácnostech, v průmyslu a v ostatních odvětvích

Zaměříme-li se na domácnosti, pak změny ve spotřebách jsou znázorněny na následujícím diagramu. [49]



Obr. 8: Spotřeby energie v domácnostech podle zdrojů

Diagram potvrzuje výsledky statistických šetření zmíněných v předchozí podkapitole, tj. že roste podíl obnovitelných zdrojů energie na spotřebě v domácnostech, a to o více než 22 %. Naopak došlo k poklesu spotřeby tuhých paliv téměř o čtvrtinu. Nutno dodat, že v těchto datech jsou zahrnuty i spotřeby energie na vaření a domácími elektrospotřebiči.

4 Teorie

V této kapitole je shrnut teoretický základ v oblasti energetiky, užití energie v budovách, jak je možné energetické toky v budově simulovat. Z toho vychází podkapitola věnující se tématu této disertační práce, tedy provozní energetické náročnosti budov.

4.1 Energie

Energie je fyzikální veličina, která popisuje schopnost systému vykonávat práci nebo přenášet teplo [50]. Existuje několik druhů energie, z nichž každý má specifický způsob projevu. Několik základních forem energie zahrnuje:

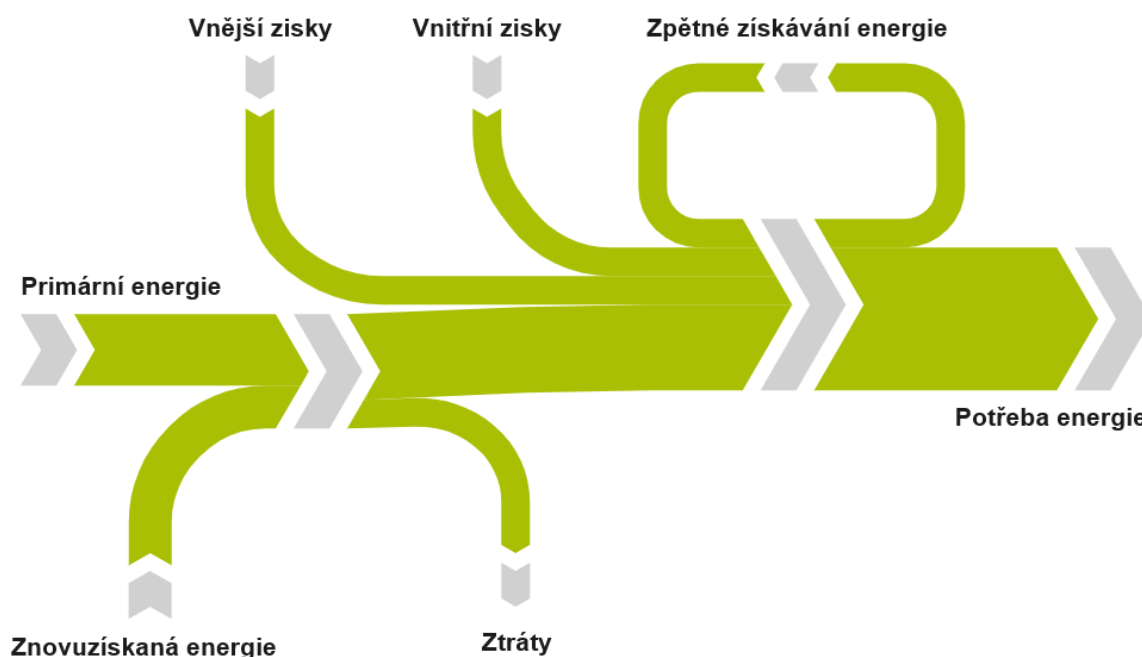
- **Kinetická energie:** Je spojena s pohybem tělesa. Čím rychleji se těleso pohybuje, tím vyšší je jeho kinetická energie.
- **Potenciální energie:** Je spojena s polohou tělesa v gravitačním poli nebo s jeho stavem napnutosti (například pružiny). Těleso ve vyšší poloze nebo napnutá pružina má vyšší potenciální energii.
- **Tepelná energie:** Je spojena s vnitřním pohybem částic v látce. Čím vyšší je teplota látky, tím více tepelné energie obsahuje.
- **Elektrická energie:** Je spojena s pohybem nábojů v elektrickém poli. Elektrická energie se vyskytuje v elektrických obvodech a může být přeměňována na jiné formy energie, jako je světlo nebo teplo.
- **Chemická energie:** Je obsažena v chemických vazbách mezi atomy a molekulami. Při chemických reakcích může být tato energie uvolněna nebo absorbována.
- **Jaderná energie:** Je uvolňována nebo absorbována během jaderných reakcí, kde dochází k přeměně jádra atomu.

Zákon zachování energie tvrdí, že energie nemůže být vytvořena ani zničena, pouze přeměněna z jedné formy na druhou. Energie je tak základním pojmem ve fyzice, který hraje klíčovou roli při studiu chování a interakcí mezi různými systémy. Některé typy energie jsou běžně využívány v budovách, o tom více v následující podkapitole.

4.2 Energie v budovách

Pro zajištění správného provozu budov a vnitřního komfortu je nutné využití energie v různých formách. Jedná se především o tepelnou a elektrickou energii, ve výjimečných případech se v budovách setkáváme i s chemickou energií (absorpční chlazení).

Základní schéma energetických toků v budově věnující se tepelné energii je zobrazeno na schématu na Obr. 9.



Obr. 9: Obecné schéma energetických toků v budově – tepelná energie [50]

Než je energie v budově využita, je potřeba ji nejprve získat. Získáme ji z primární energie, která je zabudována v tzv. energonositeli. Tato primární energie je využívána v tzv. zdroji. Pojmeme zdroj se zde rozumí zdroj přeměny energie, neboť energii neumíme vytvořit ani zničit. Ve zdroji energie v budově je primární energie transformována v teplo, které je následně distribuováno po budově sdíleno v koncových prvcích. Do tohoto základního řetězce ovšem vstupují další parametry a energetické toky. Jako první z nich jmenujme vnější a vnitřní zisky. Vnější zisky jsou dány energií obsažené v okolním prostředí a ve sluneční energii, která může při vhodných podmínkách snižovat potřebu primární energie v budově. Dalšími zisky jsou zisky vnitřní, jedná se především o metabolické teplo (teplo produkované osobami) a teplo produkované stroji a vnitřním vybavením budov.

Součástí energetické bilance jsou také ztráty energie. Důležitou ztrátu zpravidla generuje transformace energie ve zdroji. Ztráty se dělí na dále využitelné a nevyužitelné. Využitelné ztráty jsou jakožto znovuzískaná energie dalším vstupem do energetické bilance budovy. Jako příklad uveďme komínovou ztrátu a použití ekonomizéru ve spalinových cestách. Další ztráta může být generována ztrátami během distribuce, jelikož se může stát, že distribuce energie vede místy, kde tepelnou energii není potřeba využívat.

Součástí energetické bilance je taktéž zpětné získávání energie. Jako příklad lze uvést rekuperační výměník ve vzduchotechnické jednotce, který předehřívá venkovní vzduch díky potenciálu vzduchu odpadního. Klesá tak potřeba primární energie na ohřev vzduchu. Další možností je získávání tepla z odpadních vod.

Výsledkem bilance je poté potřeba energie v budově, která má zajistit správný provoz budovy a zajistit požadovaný komfort, požadovanou kvalitu vnitřního prostředí. Do toho započítáme požadované množství teplé vody o požadované teplotě.

4.3 Měření a simulace energetických toků v budovách

Aby měl uživatel jasnou představu, jak se jeho budova po energetické stránce chová, je nutné provádět jejich měření, a to v dostatečně krátkém časovém kroku, aby byla zachycena dynamika chování budovy. Z hlediska energetické náročnosti budovy je vhodné měřit každý energetický tok v budově, neboť pouze měřením se dají detekovat problémy v chování budov, které mohou zvyšovat spotřebu energie. Výstupem měření jsou data, které je však nutné nadále zpracovat, což může být pro uživatele obtížné.

V současnosti se měří spotřeby především u primárních energií, a to hlavně kvůli vyúčtování nákupu těchto energií.

Podkladem pro uživatele může být provedení simulačního výpočtu energetického chování budovy. K tomu slouží specializovaný software (například DesignBuilder [52] nebo TRNSYS [53]). Základním principem je v softwaru vymodelovat budovu nebo její část tak, aby její vlastnosti odpovídaly realitě (vlastnosti obálky budovy i stav TZB). Dále zadávají parametry provozu budovy, jako jsou vnitřní zisky, vnější stínění, časový plán provozu, stav vnitřního prostředí atd. Výstupem simulačního výpočtu jsou kromě jiného i informace o průběhu energetických potřeb.

Výhodou simulačního výpočtu je podrobnost předpokládaného chování budovy, se kterou se dá pracovat v následujících analýzách či při optimalizaci provozu budovy. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady softwaru, nároky na hardware i určitá úroveň znalostí uživatele softwaru.

Následující podkapitola pracuje s oběma způsoby analýzy budovy – měřením a následnou prací s daty, kdy jsou okrajové podmínky jednoho roku provozu simulovány na okrajové podmínky roku jiného.

4.4 Provozní energetická náročnost budov

Zatímco ENB je soubor vypočtených hodnot, tak provozní ENB již vychází z naměřených hodnot v době provozu budovy. Struktura odpovídá struktuře ENB dle zákona. Je nutné provést přepočty, protože se liší okrajové podmínky. Již z dřívějších autorových publikací a studií [54],[55],[56],[57],[58] vyplynulo, že průkaz energetické náročnosti budovy vychází ze zjednodušeného výpočtového modelu, který pracuje převážně s měsíčním časovým krokem (od roku 2023 se chlazení a solární energie počítá s hodinovým časovým krokem). Okrajové podmínky výpočtu PENB jsou standardizované, průměrné. Měsíční časový krok nemá šanci podchytit dynamiku provozu budovy i vnějších podmínek.

Z toho vyplývá, že PENB sice poskytuje rámcovou představu o energetických tocích v budově, ale je zatížen řadou nejistot.

Ambicí této práce je popsat energetickou náročnost budovy v průběhu jejího provozu, a to se zohledněním okrajových podmínek, především těch, které jsou snadno měřitelné. Týká se to venkovních podmínek (teplota venkovního vzduchu, intenzita slunečního záření, relativní vlhkost vzduchu atd.) a základní informace o provozu budovy (přítomnost osob, chod

systémů TZB atd.). Je samozřejmé, že „poruchovou“ veličinou v energetickém chování budovy je samotný uživatel, který do provozu vnáší řadu nejistot. Cílem autora této práce však není normalizovat chování uživatelů budov, naopak jeho dynamiku uvažovat ve vztahu k budově, jejím systémům a energetickým tokům.

Z tohoto důvodu je zaveden termín „*Provozní energetická náročnost budov*“, který již svým názvem má vycházet z energetické náročnosti budov, jak ji chápe evropská a česká legislativa. Nicméně oproti PENB je zde brán v potaz právě provoz budovy. Základním principem výpočtu provozní energetické náročnosti je srovnání dvou období provozu, které trvají 1 rok, mezi sebou s tím, že jeden rok je nazván hodnoceným (EVL) a jeden referenčním (REF). Referenční rok je přepočten na okrajové podmínky roku hodnoceného, aby bylo možné roky mezi sebou porovnat. Výsledek přepočtu je v této práci nazván „*přepočtený referenční rok*“ a má zkratku CAL.

Výpočtový nástroj, který je prezentován v následujících kapitolách, svojí strukturou odpovídá průkazu energetické náročnosti budovy. Hodnotí tedy celkovou dodanou energii, která je součtem dílčích dodaných energií na vytápění, chlazení, přípravu teplé vody, větrání, úpravu vlhkosti a osvětlení. Dále vyhodnocuje spotřeby jednotlivých energonositelů. Z energonositelů je dopočítána taktéž primární energie z neobnovitelných zdrojů. Samostatná část se věnuje využívání obnovitelných zdrojů energie.

Jak bylo naznačeno, okrajové podmínky, které do výpočtu vstupují, jsou vnější (teplota venkovního vzduchu, intenzita slunečního záření, relativní vlhkost vzduchu) a vnitřní (informace o provozu systému v budově, teplota vnitřního vzduchu, relativní vlhkost vnitřního vzduchu, informace o přítomnosti osob v budově). Ostatní okrajové podmínky nejsou do výpočtu zahrnuty, neboť nevykazují dynamiku. Jedná se o vlastnosti obálky budovy, podíl zasklení a další stavební tepelně-technické údaje. Stejně tak není počítáno s účinností zdrojů tepla. Jejich změna se odrazí až ve výsledném hodnocení provozní energetické náročnosti. Výsledkem výpočtu může být například detekce problematického chování zdrojů tepla vedoucího k jejich snížené účinnosti.

Pokud by byla budova během provozu rekonstruována, přistavována nebo by se změnil počet jejích uživatelů, došlo by k přepočtu dat na celkové úrovni.

Postup výpočtu provozní energetické náročnosti je rozepsán v následujících kapitolách, zde uveďme stručně v bodech:

- Definice veličin, které je nutné pro výpočet provozní energetické náročnosti měřit;
- Sběr dat a data cleaning;
- Dopočet měsíčních hodnot v případě dlouhodobého výpadku dat;
- Výpočet přepočteného referenčního roku CAL;
- Porovnání roku CAL s hodnoceným rokem EVL;
- Výstupy v uživatelském rozhraní.

5 Sběr dat a data cleaning

Základním předpokladem pro vyhodnocení provozní energetické náročnosti je mít dostatek kvalitních dat ze systému měření a regulace budovy. Tato kapitola se věnuje především jejich čištění. Které konkrétní veličiny jsou k vyhodnocení potřeba, je specifikováno v kapitole 6.

Kapitola 5.1 se zabývá cleaningem dat ze systému měření a regulace tak, aby jednotlivé roky provozu budovy byly navzájem porovnatelné. Je sjednocen časový krok, nahrazeny malé výpadky dat a specifikovány delší výpadky dat.

Delším výpapkům dat přesahujícím hranice kalendářních měsíců se pak věnuje kapitola 5.2. Zde je obecně vysvětleno, jak jsou dopočteny stavy měřicích přístrojů zaznamenávajících spotřeby energie (a energonositelů) na rozhraní kalendářních měsíců, aby bylo možné následně provést roční bilanci s měsíčním časovým krokem.

5.1 Data cleaning pro požadovaný časový krok

Dříve, než se začne provádět vlastní posouzení provozní energetické náročnosti na základě dostupných dat z měřicího systému budovy, je nutné načíst potřebná data a provést tzv. data cleaning, tedy pročištění dat. Důvodů, proč je data cleaning potřeba provést, může být více:

- Dvojití či vícenásobné zaznamenání dat ve stejný čas. Data, která jsou navíc, je nutné zprůměrovat nebo vyřadit.
- Není dodržen deklarovaný časový krok a určité záznamy jsou vynechány. Je-li počet vynechaných záznamů menší než dovolený, zkopírují se data z posledního dostupného záznamu. Je-li počet vynechaných záznamů větší než dovolený, v přečištěném datovém setu se zaznamená poznámka N/A, tedy že data pro dané časy nejsou dostupná.
- Je dodržen deklarovaný časový krok, nicméně záznamy nejsou přesně v daný čas, ale s malou odchylkou v řádu sekund. Data je poté potřeba převést do přesně definovaného časového kroku tak, že se časy zaokrouhlí a příslušná data k nim dohledají.

Tato kapitola se věnuje řešení výše zmíněných důvodů pro data cleaning. Čištění dat prezentované v této práci je prováděno v tabulkovém procesoru Microsoft Excel. Schémata v této kapitole popisují postup čištění dat přizpůsobené právě pro MS Excel.

V první fázi se stáhnou „syrová“ data ze systému MaR a převedou se do formátu *.xls či *.xlsx. List s těmito daty je nazván „Data-Input“.

List „Cleaning_1“ je téměř shodný s listem s původními daty, pouze dochází k nahrazení prázdných buněk hodnotou „888888888“, kterou autor zvolil jednak pro snazší zpětnou kontrolu správnosti čistícího algoritmu, a jednak jde o hodnotu, kde je takřka nulová pravděpodobnost, že by ji jakýkoli senzor v budově naměřil.

Aby bylo možné provádět porovnávání roků mezi sebou, je potřeba pro každý časový záznam v rámci karty Cleaning_1 nadefinovat rok, měsíc, den, hodinu a minutu daného

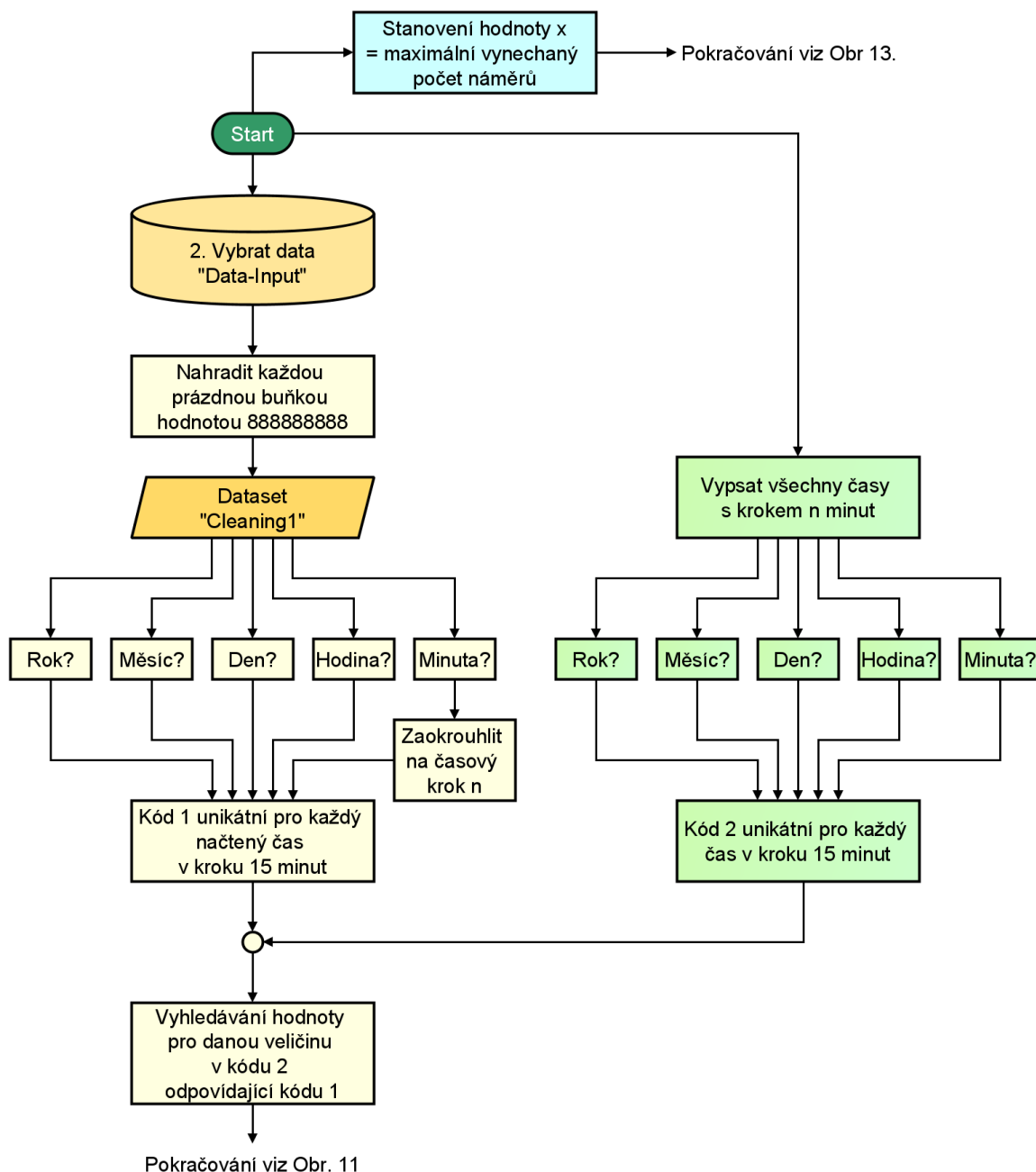
záznamu. Každý zmíněný časový údaj je zaznamenán do samostatného sloupce. Minutové hodnoty jsou následně zaokrouhleny na požadovaný časový krok. Jsou-li data načtena v nepřesném půlhodinovém časovém kroku, sloupec „minuta“ je zaokrouhlen na celé třicítky. Sloupec „minuta“ pak může nabývat pouze hodnot 0 a 30. Výsledkem zaokrouhlení je pak přesný časový krok 30 minut.

Před detekcí vynechaných časových záznamů se z dosud definovaných časových kroků sestaví unikátní vyhledávací kód, který je ve formátu xMyDzHaTb, kdy:

- Velká písmena slouží jako rozhraní roku, měsíce, dne, hodiny a minuty časového záznamu (pro lepší vizuální orientaci v datech);
- x = rok časového záznamu;
- y = měsíc časového záznamu;
- d = den časového záznamu;
- a = hodina časového záznamu;
- b = minuta časového záznamu.

Pro názornost uveďme příklad: Časový záznam ze dne 23. 2. 2018 15:34:26 bude po zaokrouhlení minut na celé půlhodiny vypadat následovně: 2018M2D23H15T30.

Následně se založí list „Cleaning_2“, kde se v první řadě vypíší všechny časy v požadovaném časovém kroku od počátku až do konce hodnoceného období. K nim se obdobným způsobem sestaví vyhledávací kód, opět ve formátu xMyDzHaTb. Tentokrát ovšem nedochází k zaokrouhlování minut a sekund, protože každý následující řádek je o přesnou délku časového kroku „n“ posunutý.



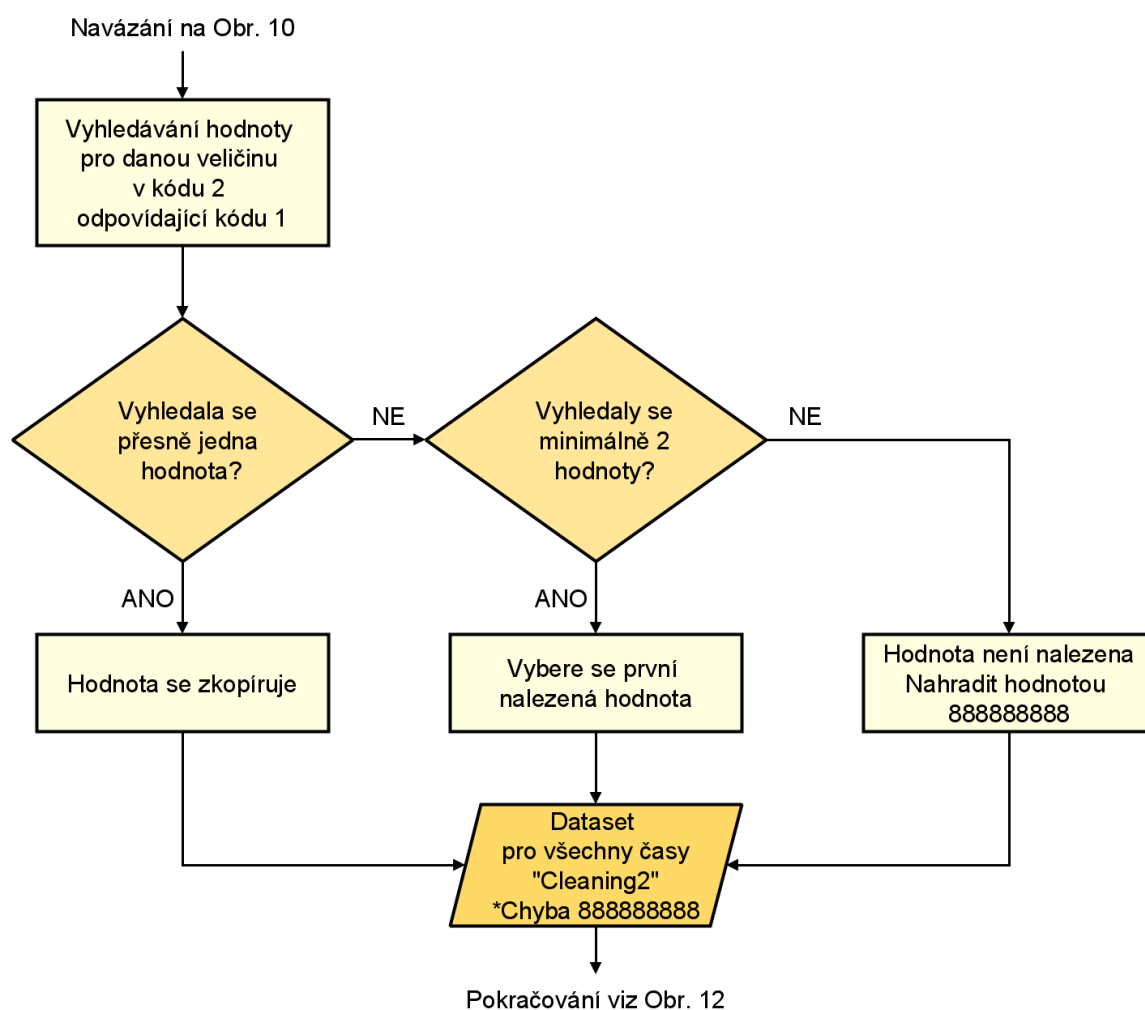
Obr. 10: Vývojový diagram data cleaningu – část 1

V listu „Cleaning_2“ následně dochází k vyhledání hodnot z listu „Cleaning_1“, které odpovídají požadovanému časovému kódu (dodržení přesného časového kroku). Toto platí pro všechny datové body. Zde se nabízejí 3 možnosti vyhledání hodnot:

- a) Vyhledá se přesně jedna hodnota. S tou se následně pracuje v dalších analýzách a není potřeba ji měnit.
- b) Vyhledaly se minimálně dvě hodnoty. K tomuto dochází v situaci, kdy se ve stejný čas v systému MaR načte více řádků naráz. K načtení více hodnot bude pravidelně docházet v situaci, kdy ze systému MaR chodí data v častějším časovém kroku, než je

potřeba pro analýzy. Do listu „Cleaning_2“ se pak zapíše pouze první načtená hodnota. Záznamy v duplicitních časech se zahodí

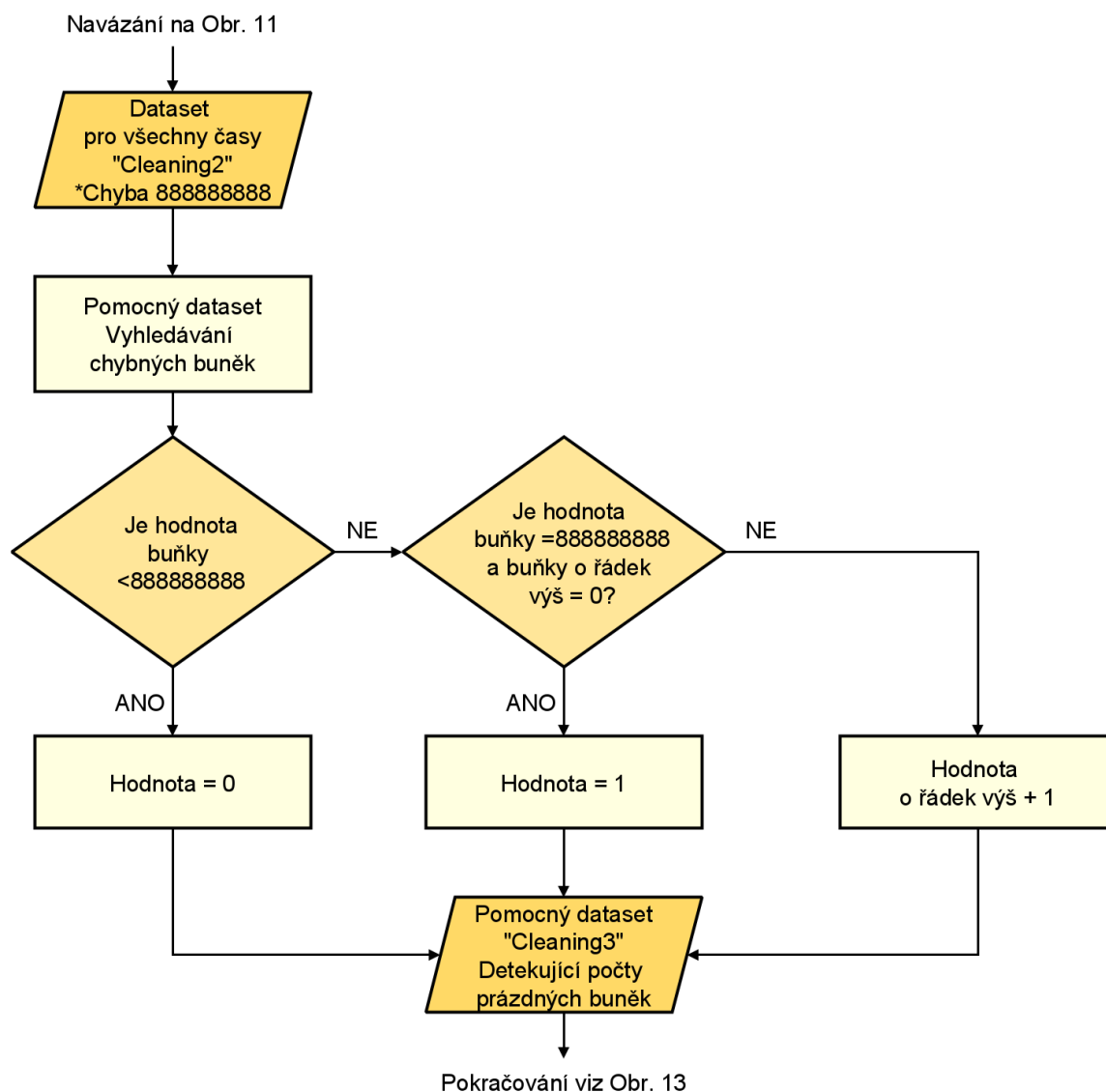
- c) Nenalezla se žádná hodnota neboli časový kód v listě „Cleaning_2“ není v listu „Cleaning_1“ vůbec obsažen. Buňka pak opět nabývá hodnoty 88888888. K tomuto případu dochází, když je časový záznam v původních datech vynechán, případně chceme-li pracovat s častějším časovým krokem, než nám dodává systém MaR.



Obr. 11: Vývojový diagram data cleaningu – část 2

List „Cleaning2“ obsahuje buďto načtené hodnoty pro definovaný přesný časový krok, případně hodnoty 88888888, pokud v původním datasetu není pro daný čas po zaokrouhlení žádný záznam.

Pro zjištění množství vynechaných po sobě jdoucích časových záznamů pro dané datové body je založen list „Cleaning_3“, který bude mít stejný počet řádků jako list „Cleaning_2“

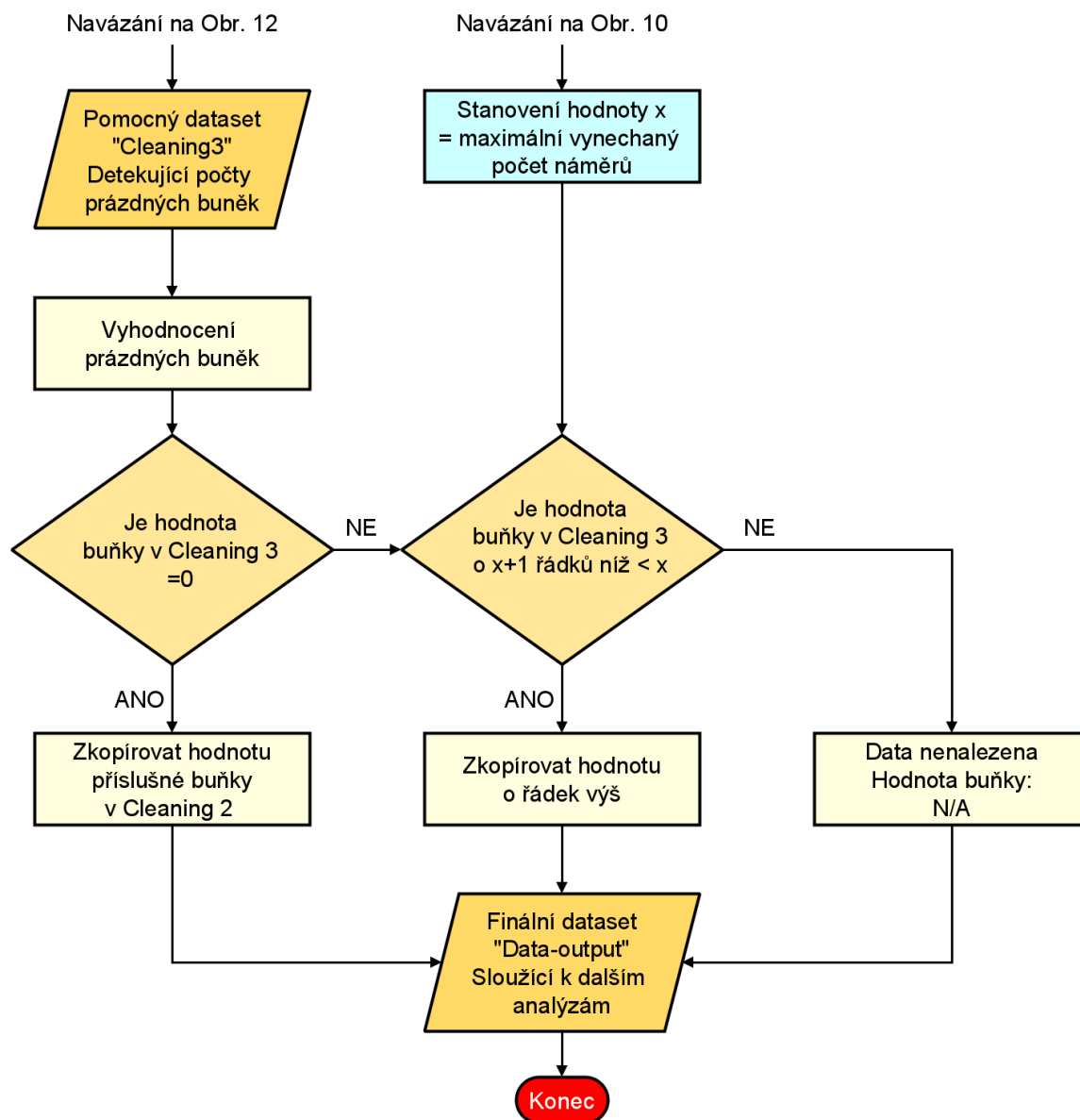


Obr. 12: Vývojový diagram data cleaningu – část 3

V listu Cleaning_3 buňky nabývají hodnot v oboru přirozených čísel či nuly. Principem listu je zjistit, zda je možné vynechaná data nahradit nejbližším předcházejícím časovým záznamem či je ve výsledném datasetu nutné zapsat, že data nejsou k dispozici. Během této kontroly mohou nastat tři možné případy:

- a) Hodnota je v kartě „Cleaning_2“ obsažena, buňka tedy nenabývá hodnoty 888888888. V takovém případě hodnota buňky je rovna nule.
- b) Hodnota buňky v listu „Cleaning_2“ je rovna 888888888, ale zároveň hodnota buňky v listu „Cleaning_3“ o řádek výš je rovna 0. V tomto případě hodnota buňky v listu „Cleaning_3“ nabývá hodnoty 1.
- c) V případě, že hodnota v listu „Cleaning_2“ je rovna 888888888 a v listě „Cleaning_3“ je vyšší než 0, hodnota řešené buňky je vyšší o 1. Pokud je více po sobě jdoucích buněk v listu „Cleaning_2“ s nedefinovanou hodnotou (neboli rovných 888888888), v listu „Cleaning_3“ pak s každým dalším řádkem hodnota buňky stoupne o 1 do té doby,

dokud se v datasetu „Cleaning_2“ nenalezne definovaná hodnota. Pak se načítání vy-
nuluje a v dalších případech vynechaných dat opět roste od 1 výš.



Obr. 13: Vývojový diagram data cleaningu – část 4

Pro sestavení finálního přečištěného datasetu, který bude sloužit pro následující analýzy včetně vyhodnocení provozní energetické náročnosti budovy, je potřeba provést kontrolu dostupnosti dat.

V první řadě je nutné nadefinovat maximální počet dovolených vynechaných časových záznamů „x“. jedná se de facto o maximální možné prodloužení časového kroku v případě výpadku dat, které je ještě přijatelné pro analýzy. Hodnotu „x“ lze definovat volně podle potřeby hodnotitele.

Pro jasnou představu opět uveďme příklad: Systém MaR dodává data v časovém kroku 30 minut. Správce budovy se rozhodne, že pokud je vynecháno 5 hodin dat, neovlivní to následující analýzy a mezilehlá data je možné zanedbat či zjednodušit tím, že se pro mezilehlé

časové kroky pouze zkopíruje poslední dostupná hodnota. Hodnota „x“ tedy bude rovna 9, neboli je dovoleno mít vynechaných 9 mezilehlých časových kroků.

Sestavení finálního datasetu vychází z definování dostupnosti dat v listu „Cleaning_3“. Skládá se ze 3 fází:

- a) V listu „Cleaning_3“ buňka odpovídající danému časovému záznamu nabývá hodnoty rovné 0. Pro daný časový záznam se tedy zkopíruje hodnota z listu „Cleaning_2“
- b) Hodnota buňky v listu „Cleaning_3“ není rovna nule, ale zároveň platí, že hodnota o $x+1$ řádků níže je menší než definovaný počet maximálních možných vynechaných záznamů „x“. V takovém případě se zkopíruje hodnota o řádek výš.
- c) Hodnota buňky v listu „Cleaning_3“ není rovna nule a o $x+1$ řádků níže je hodnota vyšší než definovaný počet maximálních možných vynechaných záznamů „x“. V tomto případě hodnota buňky není definována a buňka zahlásí nedostupná data „N/A“.

Finální dataset „Data_output“ tedy pro každý datový bod obsahuje hodnoty dat ze systému MaR zaokrouhlené na přesný časový krok, v případě delšího výpadku dat (definovaného hodnotou „x“) pak data nedostupná. Počet řádků datového setu odpovídá počtu časových kroků o délce „n“ v rámci definovaného hodnoceného období.

5.2 Získání měsíčních hodnot v případě delšího výpadku dat

Tato podkapitola popisuje případy, kdy nastal výpadek dat, který přesahuje hranice jednotlivých měsíců. Vzhledem k tomu, že by v budově mělo být možné získat měsíční spotřeby energie a měsíční souhrny dat, je třeba dopočítat stavy měřicích přístrojů (kalorimetry, elektroměry) pro poslední čas v daném měsíci. Získání měsíčních odečtů platí pro data, která jsou aditivní, načítají se v průběhu času (typicky stavy elektroměrů a kalorimetrů).

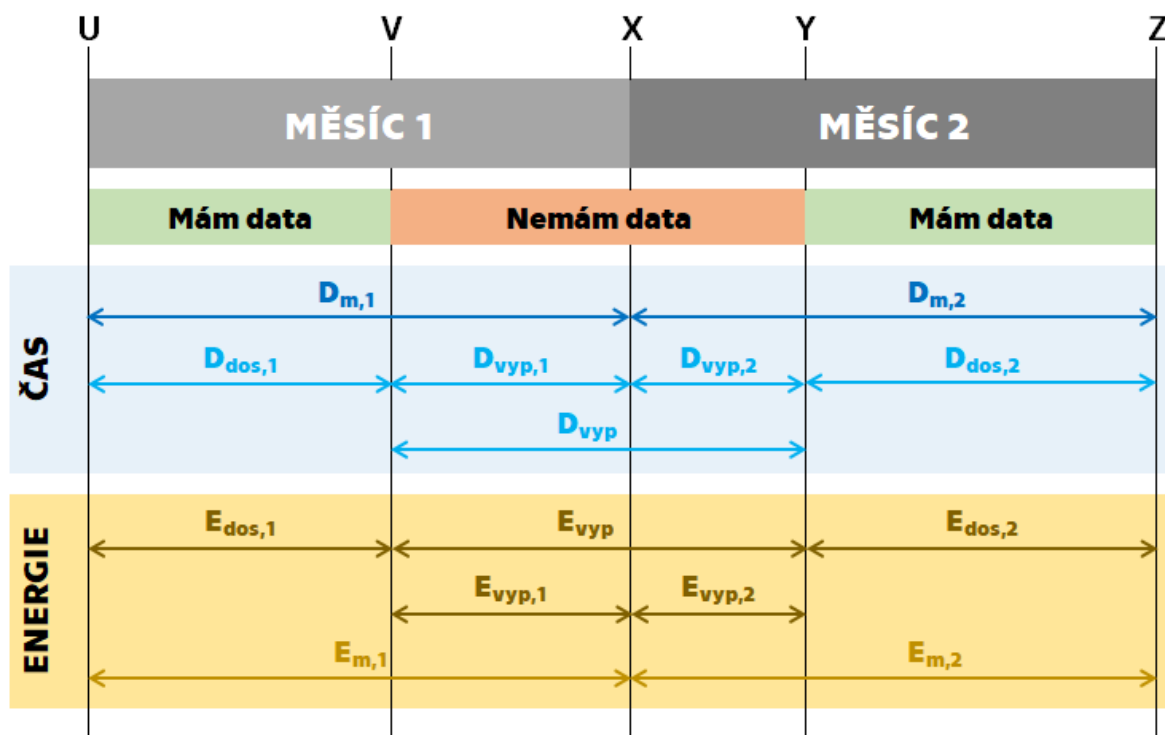
Výpadky dat, které trvají více než měsíc a lze z nich měsíční spotřeby odhadnout, se dělí do 4 případů:

- Výpadek dat začal v průběhu měsíce a skončil v průběhu měsíce následujícího;
- Výpadek dat začal v průběhu měsíce a skončil na konci měsíce následujícího;
- Výpadek dat začal na začátku měsíce a skončil v průběhu měsíce následujícího;
- Výpadek dat začal v průběhu měsíce, pokračoval přes celý následující měsíc a skončil až v dalším měsíci.

Delší výpadky dat už by znamenaly, že je třeba odhadnout hranice tří měsíců, což by pravděpodobně generovalo příliš velkou chybu ve výpočtu a bylo by nutné se dodatečně opřít o dynamickou simulaci budovy či získat alespoň meteorologická data z okolí budovy.

5.2.1 Příklad 1: Výpadek dat začal v průběhu měsíce a skončil v průběhu měsíce následujícího

Obecný postup odhadu stavu měřičů spotřeb je znázorněn v následujícím schématu.



Obr. 14: Schéma případu 1

Ze schématu na Obr. 14 vyplývá, že výpadek začal v průběhu prvního měsíce a pokračoval přes konec měsíce až do měsíce následujícího, v jehož průběhu se opět data začala načítat. Dále vyplývá, že jsou známy stavy měřičů v čase U (počátek prvního měsíce), V (poslední zaznamenaná hodnota před výpadkem dat), Y (první zaznamenaná hodnota po výpadku dat) a Z (konec druhého měsíce). Cílem je odhadnout stavy měřících přístrojů v čase X, tedy poslední záznam na konci měsíce.

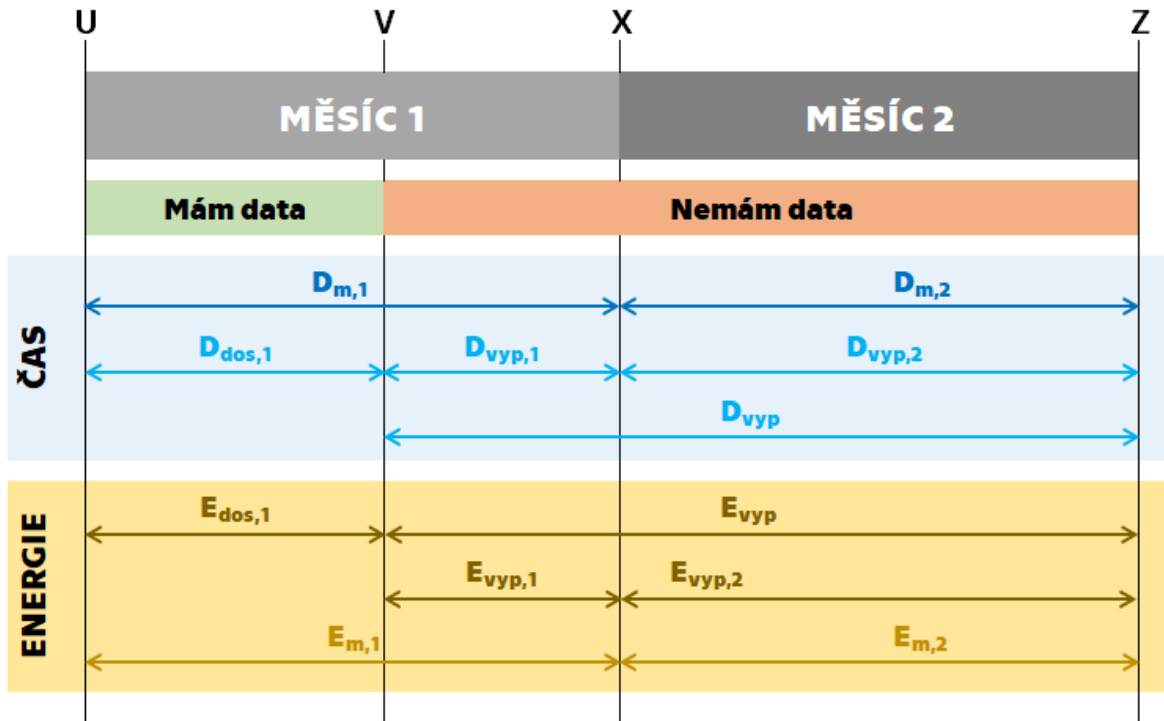
V první řadě je potřeba zjistit, kolik dnů výpadek dat trval. $D_{m,1}$ a $D_{m,2}$ značí celkový počet dnů prvního a druhého měsíce. $D_{vyp,1}$ a $D_{vyp,2}$ pak označuje počty dnů v prvním a druhém měsíci, po které výpadek dat trval. Jejich součet je pak hodnota D_{vyp} . Dále lze dopočítat počty dnů v prvním a druhém měsíci, kdy byla data dostupná ($D_{dos,1} = D_{m,1} - D_{vyp,1}$, resp. $D_{dos,2} = D_{m,2} - D_{vyp,2}$).

Na základě prostých odečtů v časech U, V, Y a Z je snadné zjistit spotřebu energie za období výpadku dat (E_{vyp}), a za období dostupných dat v prvním a druhém měsíci ($E_{dos,1}$, resp. $E_{dos,2}$). Cílem je dopočítat odhad stavu X, tedy rozdělit E_{vyp} do prvního a druhého měsíce, tedy do hodnot $E_{vyp,1}$, a $E_{vyp,2}$.

Na konci se sečtou hodnoty $E_{dos,1} + E_{vyp,1}$ a $E_{dos,2} + E_{vyp,2}$. Výsledkem součtů je pak odhadovaná spotřeba energie v prvním a ve druhém měsíci ($E_{m,1}$ a $E_{m,2}$).

5.2.2 Příklad 2: Výpadek dat začal v průběhu měsíce a skončil až na konci měsíce následujícího

V této podkapitole je popsán delší výpadek dat než v podkapitole předchozí. Princip odhadu měsíční spotřeby a stavu v bodě X je ovšem podobný.



Obr. 15: Schéma příkladu 2

Ze schématu na Obr. 15 vyplývá, že výpadek začal v průběhu prvního měsíce a pokračoval přes konec měsíce až do konce měsíce následujícího. Další měsíc se již data opět načítala. Dále vyplývá, že jsou známy stavy měřičů v čase U (počátek prvního měsíce), V (poslední zaznamenaná hodnota před výpadkem dat), a Z (konec druhého měsíce). Cílem je odhadnout stavy měřicích přístrojů v čase X, tedy poslední záznam na konci měsíce.

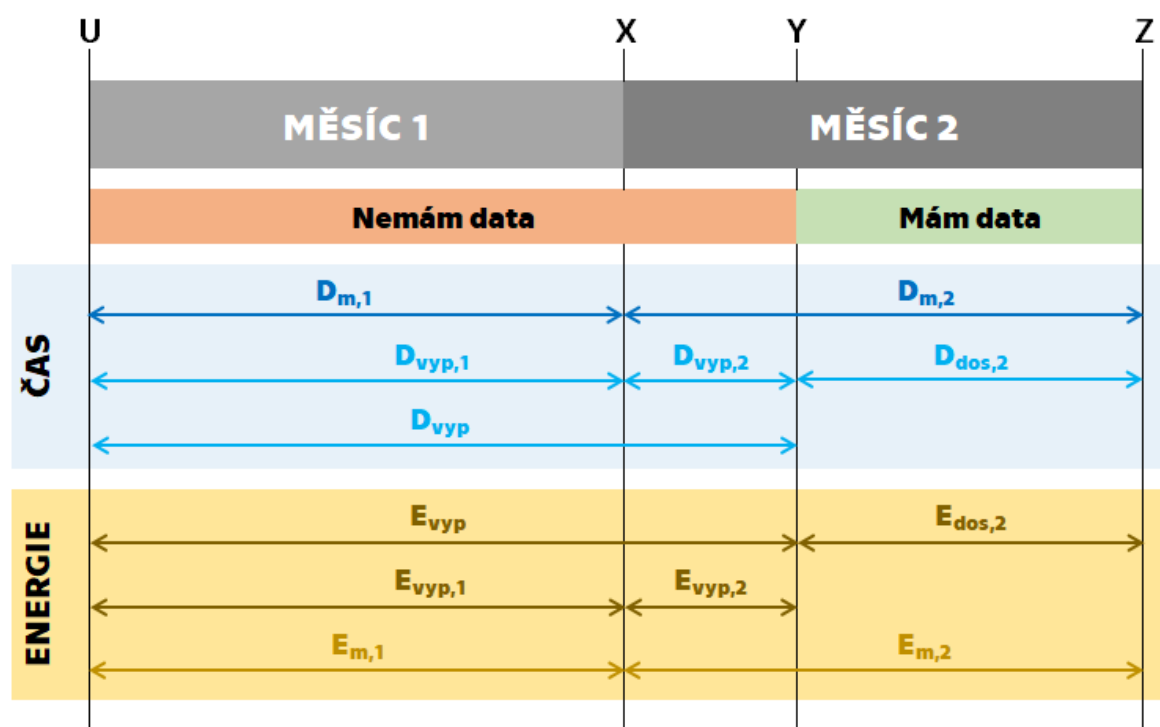
V první řadě je potřeba zjistit, kolik dnů výpadek dat trval. D_{m1} a D_{m2} značí celkový počet dnů prvního a druhého měsíce. $D_{vyp,1}$ a $D_{vyp,2}$ pak označuje počty dnů v prvním a druhém měsíci, po které výpadek dat trval. Jejich součet je pak hodnota D_{vyp} . Zde nutno dodat, že $D_{vyp,2} = D_{m,2}$. Dále lze dopočítat počty dnů v prvním měsíci, kdy byla data dostupná ($D_{dos,1} = D_{m,1} - D_{vyp,1}$).

Na základě prostých odečtů v časech U, V a Z lze podobně jako v předchozí podkapitole zjistit spotřebu energie za období výpadku dat (E_{vyp}), a za období dostupných dat v prvním měsíci ($E_{dos,1}$). Cílem je dopočítat odhad stavu X, tedy rozdělit E_{vyp} do prvního a druhého měsíce, tedy do hodnot $E_{vyp,1}$, a $E_{vyp,2}$. Toto rozdělení je provedeno i v kapitole 6 pro každou dílčí dodanou energii zvlášť, neboť každá z nich má jiný výpočet. V tomto případě se jedná o odečtení hodnoty $E_{vyp,1}$ z celkového E_{vyp} . $E_{vyp,1}$ je dopočtena na základě dat z prvního měsíce.

Na konci se sečte hodnota $E_{dos,1} + E_{vyp,1}$. Vyjde hodnota $E_{m,1}$. Spotřeba za druhý měsíc $E_{m,2}$ je pak rozdílem $E_{vyp} - E_{vyp,1}$.

5.2.3 Příklad 3: Výpadek dat začal počátkem měsíce a skončil v průběhu měsíce následujícího

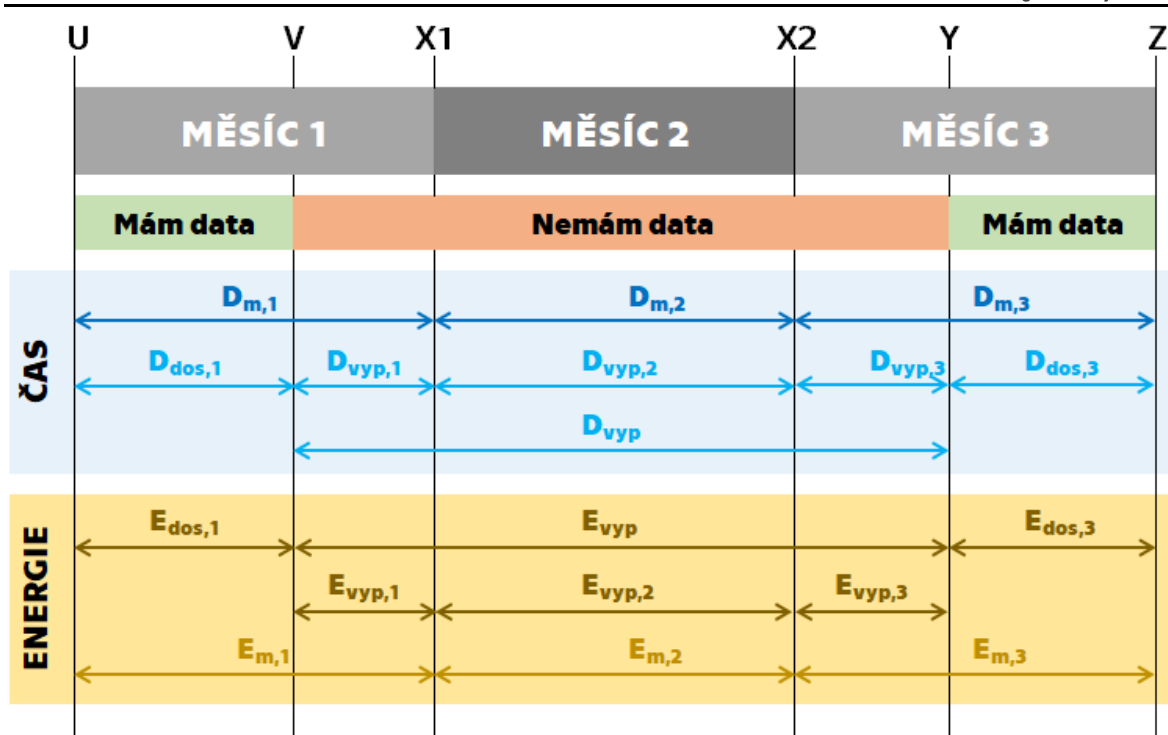
Tento případ je zrcadlově podobný případu předcházejícímu. Rozdíl je pouze v indexech 1 a 2. Na základě dat z měsíce s částečně dostupnými daty se dopočítá celková spotřeba za zbytek tohoto měsíce, kdy probíhal výpadek dat. Tato hodnota se pak odečte od celkové spotřeby energie za dobu výpadku, aby vyšla spotřeba energie za dobu měsíce, kdy nebyla dodávána žádná data.



Obr. 16: Schéma příkladu 3

5.2.4 Příklad 4: Výpadek dat začal v průběhu měsíce, pokračoval přes celý následující měsíc a skončil až v dalším měsíci

Příklad 4 je de facto kombinací případů 2 a 3. Cílem je zjistit stavy měřicích přístrojů v bodech X1 a X2, tedy v rozhraních jednotlivých měsíců. Stav X1 se dopočítá na základě dostupných dat z 1. měsíce ($E_{dos,1}$), stav X2 se pak dopočítá podle dat ze 3. měsíce ($E_{dos,3}$). Spotřeba za 2. měsíc ($E_{vyp,2} = E_{m,2}$) je pak rozdíl $E_{vyp} - (E_{vyp,1} + E_{vyp,3})$.

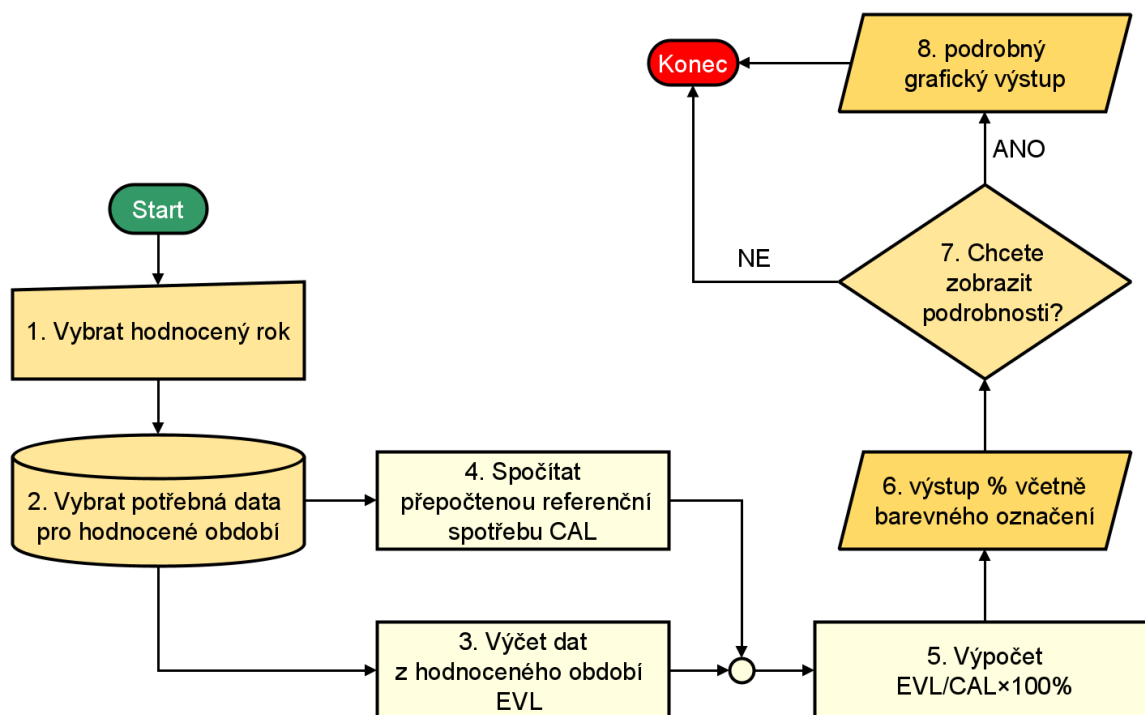


Obr. 17: Schéma případu 4

6 Výpočet provozní energetické náročnosti budovy

V této kapitole je popsán kompletní postup vyhodnocení provozní energetické náročnosti budovy. Jsou vyhodnoceny dílčí dodané energie (vytápění, chlazení, větrání, úprava vlhkosti, příprava teplé vody, osvětlení), jejich součet pak tvoří celkovou dodanou energii. Dále je provedeno vyhodnocení jednotlivých energonositelů a na jejich základě pak primární energie z neobnovitelných zdrojů. Základní doba hodnocení je 1 rok s tím, že je poté možno zobrazit a provést vyhodnocení pro jednotlivé měsíce v roce, následně pro jednotlivé dny ve vybraném měsíci a nejmenší dostupný časový krok (daný měřicím systémem budovy, například 1 hodina) v rámci jednoho dne.

Obecný postup vyhodnocení je znázorněn na Obr. 18. V první řadě se vybere období trvající 1 rok, které chce uživatel či správce budovy zhodnotit. Následně se načtou relevantní data z měřicího systému, která dříve prošla data cleaningem. Dále se načtou data z referenčního roku provozu, ta se přepočítají pro srovnání okrajových podmínek mezi rokem referenčním a hodnoceným. Hodnocený a referenční rok se porovnají a výsledkem je procentuální hodnocení, které značí, o kolik procent se v hodnoceném roce změnila spotřeba oproti roku referenčnímu. Toto hodnocení je doplněno i barevným emotikonem, který naznačuje, jak se spotřeba energie změnila oproti referenčnímu roku. Dále je pro uživatele možnost zobrazit si grafické a tabulární výstupy s podrobnými analýzami. Cílem je možnost detekce problematických období v roce, kdy došlo k nadměrné spotřebě energie.



Obr. 18: Základní vývojový diagram vyhodnocení provozní energetické náročnosti

V kapitolách 6.2 až 6.5 se provádí výpočet referenční spotřeby (viz pole 4 na Obr. 18), která následně slouží k vyhodnocení provozní energetické náročnosti. Přepočtená referenční spotřeba je výsledkem výpočtu spotřeby za referenční období přizpůsobené okrajovým podmínkám hodnoceného roku.

6.1 Souhrnné informace, celková energie, struktura výstupů, dílčí energie

Vyhodnocení provozní energetické náročnosti má podobnou strukturu jako průkaz energetické náročnosti budovy. Struktura PENB je dána legislativou a bylo již popsána v kapitole 3.1.1. [16]

Než výpočtový program zahájí vyhodnocení, je nejprve potřeba nadefinovat, které výstupy bude zobrazovat a které dílčí energie a energonositele bude vyhodnocovat. K tomu slouží Tab. 1. Do ní se zapíše, které dílčí dodané energie jsou v hodnocené budově přítomny a kterými energonositeli jsou pokrývány.

Tab. 1: Tabulka dílčích energií a energonositelů obsažených v budově

Energonositel	VYT	CHL	VĚT	VLH	TV	OSV
Zemní plyn						
Černé uhlí						
Hnědé uhlí						
Propan-butan/LPG						
Topný olej						
Elektřina						
Dřevěné peletky						
Kusové dřevo, dřevní štěpka						
Energie okolního prostředí (elektřina, teplo)						
Elektřina – dodávka mimo budovu						
Teplo – dodávka mimo budovu						
Účinná SZTE s vyšším než 80% podílem OZE						
Účinná SZTE s podílem OZE 80 % a méně						
Ostatní soustavy SZTE						
Ostatní neuvedené energonositele						
Odpadní teplo z technologie						

Následně se do výpočtového nástroje vloží data potřebná pro vyhodnocení provozní energetické náročnosti. Tato data jsou předem vyčištěna v nástroji pro data cleaning (postup data cleaningu byl zmíněn v kapitole 5.1). V nástroji je také definováno, která data nejsou dostupná, což automaticky ve výstupech vygeneruje poznámku o možných nepřesnostech výpočtu daných vlivem nedostupných dat.

Načtená data projdou vyhodnocovacím procesem (podrobně popsáno v následujících podkapitolách pro jednotlivé dílčí dodané energie a energonositele). Výsledky jsou zobrazeny v rozhraní výpočtového programu, který sestává z více obrazovek.

Dílčí dodané energie jsou vyhodnocovány samostatně, podobně jako v průkazu energetické náročnosti budovy. Jejich suma pak tvoří celkovou dodanou energii.

Postup vyhodnocení u všech dílčích dodaných energií je shodný:

- a) Stanovit, které veličiny je potřeba v budově měřit, aby daná dílčí energie mohla být správně vyhodnocena.
- b) Odhad souhrnných měsíčních spotřeb v případě výpadku dat, který přesahuje hranice měsíců (postup viz kapitola 5.2).
- c) Algoritmus přepočtu referenčního roku, který srovná okrajové podmínky s rokem hodnoceným.
- d) Případné rozdělení dílčích energií do jednotlivých energonositelů.

6.2 Vytápění

V našich zeměpisných šířkách je vytápění přítomno v podstatě u všech budov. Základní okrajovou podmínkou pro výpočet přepočteného referenčního roku CAL je chod otopné soustavy a počet denostupňů (neboli rozdíl mezi průměrnou vnitřní a venkovní teplotou vzduchu ve dnech, kdy je otopná soustava v provozu) a detekce provozu otopné soustavy.

Provoz otopné soustavy je detekován chodem oběhových čerpadel a průběhem teplot otopné vody.

6.2.1 Měřené veličiny

Pro správné vyhodnocení provozní energetické náročnosti budovy v oblasti vytápění je nutné v budově měřit následující veličiny:

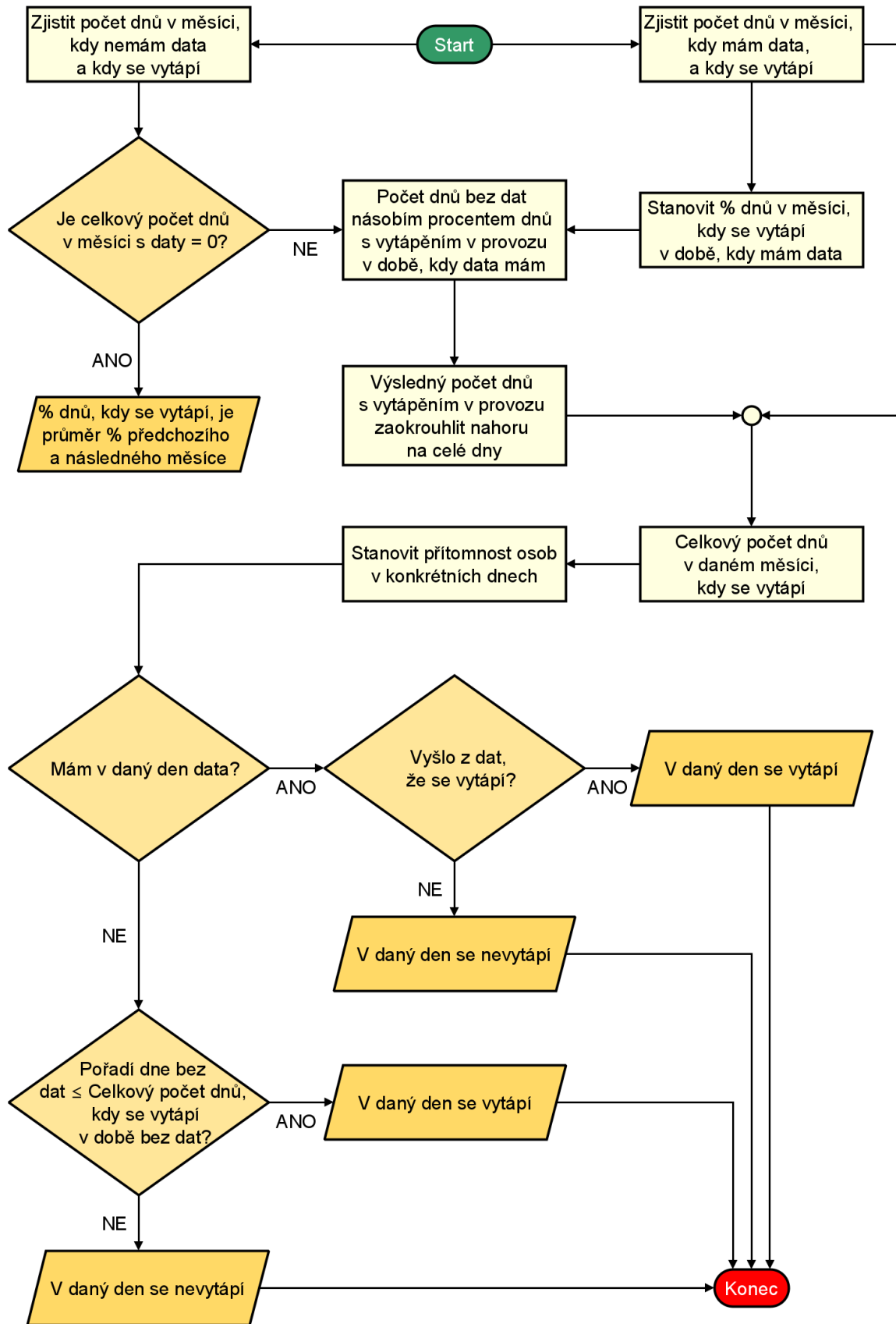
- Teplota venkovního vzduchu;
- Teploty vnitřního vzduchu v jednotlivých místnostech či zónách; z nich se poté vypočítá vážený průměr vnitřních teplot přes objemy místností; lze řešit pomocí měření teploty vnitřního vzduchu v referenční místnosti;
- Spotřeby energie podle jednotlivých energonositelů:
 - Kotel na zemní plyn: spotřeba zemního plynu;
 - Elektrické zdroje tepla: Spotřeba elektrické energie;
 - Kotle na tuhá paliva: Produkce tepla zdroji – kalorimetrické měření; výpočet lze doplnit a zpřesnit množstvím spotřebovaného (nakoupeného) tuhého paliva; platí pro dřevo, pelety, uhlí, topný olej atd.
 - Tepelná čerpadla: Spotřeba elektrické energie, kalorimetrické měření tepla produkovaného TČ;

- Teplota otopné vody na přívodním potrubí okruhu u zdroje tepla;
- Teplota otopné vody na zpětném potrubí okruhu u zdroje tepla;
- Průtok otopné vody na okruhu u zdroje tepla;
- Detekce chodu teplovodní otopné soustavy (hodnoty 1/0), například chod oběhových čerpadel;
- Je-li přítomno více zdrojů tepla pro vytápění, pak detekce jejich chodu.

V případě kalorimetrického měření či měření spotřeby elektrické energie je nutné v deklarovaném časovém kroku zaznamenávat stav měřících přístrojů, nikoli okamžité hodnoty průtoku či příkonu. Z rozdílů stavů se pak dopočítává spotřeba dané energie mezi jednotlivými odečty.

6.2.2 Vyhodnocení

Než se spustí výpočet provozní energetické náročnosti, je nutné vyčistit z datasetu období, ve kterém nejsou dostupná data, a provést pro toto období odhad provozu systému vytápění. Postup odhadu je znázorněn na Obr. 19.



Obr. 19: Stanovení dnů v měsíci, kdy je budova vytápěna

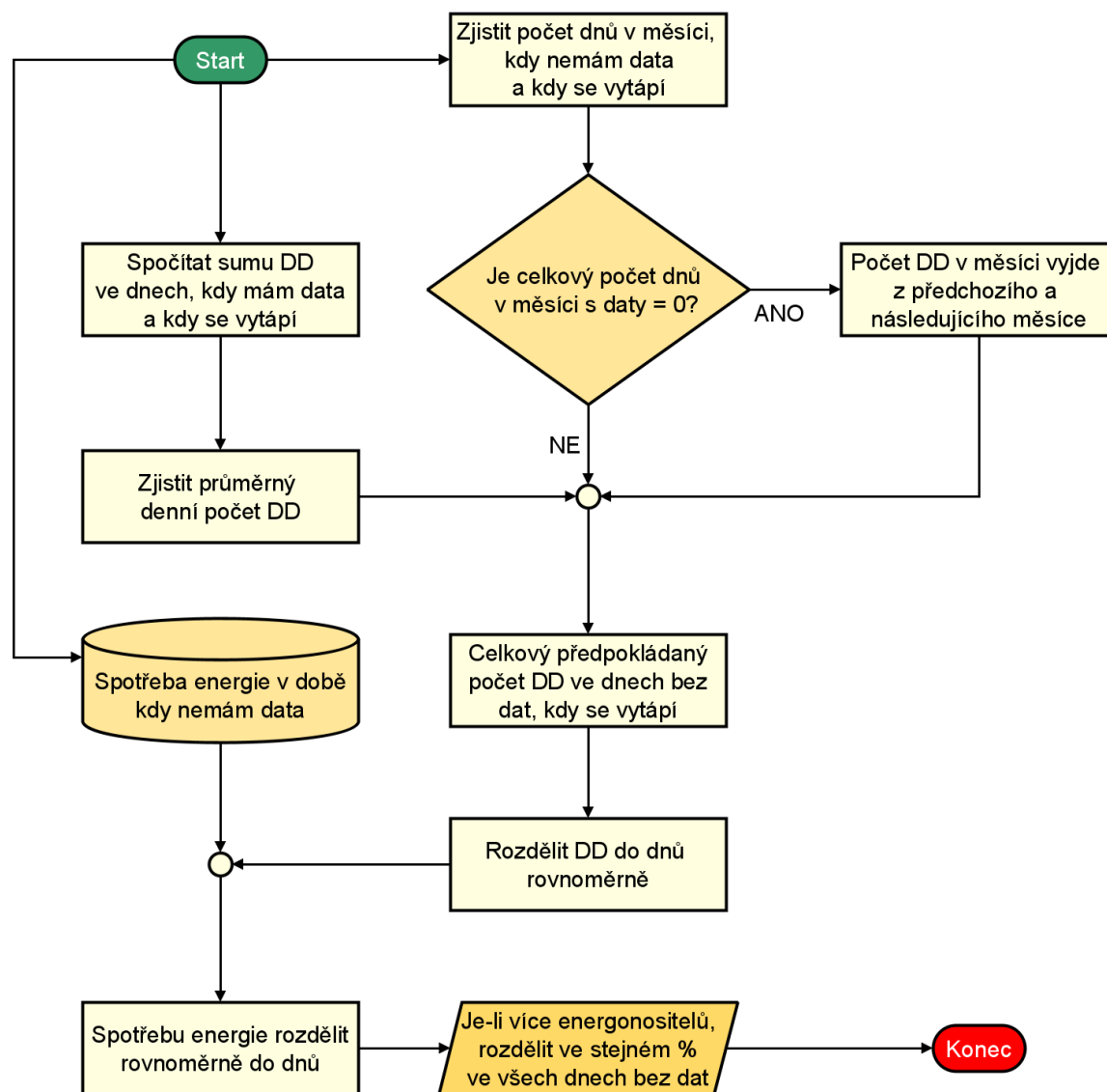
V první řadě se zjistí počet dnů s daty a bez dat v daném měsíci. Ve dnech, kdy jsou data dostupná, se detekuje počet dnů, kdy je vytápění v provozu. To se vyjádří procentuálně jako podíl z celkového počtu dnů v měsíci. Na základě tohoto procentuálního vyjádření se stanoví počet dnů ve stejném měsíci, ale v období, kdy data nejsou dostupná. Výsledkem je počet dnů bez dat, kdy se předpokládá, že je vytápění v provozu (po zaokrouhlení nahoru na celé číslo). Pokud nejsou k dispozici žádná data v daném měsíci, a tedy ani podíl dnů, kdy se vytápí, předpokládá se, že procento dnů s vytápěním v provozu je průměr hodnot předcházejícího a následujícího měsíce, počet dnů je opět zaokrouhlen nahoru na celé číslo.

Následně se stanovují konkrétní dny bez dat, kdy se předpokládá, že je vytápění v provozu. Pokud je pořadí dne bez dat v měsíci menší nebo rovno celkovému počtu dnů v daném měsíci, kdy nejsou dostupná data, ale zároveň se předpokládá, že je v provozu vytápění, je v tomto konkrétním dnu předpokládáno, že je vytápění v provozu. Ve zbytku dnů se předpokládá, že je vytápění mimo provoz.

Denní spotřeba energie ve dnech, kdy je vytápění v provozu, ale nejsou dostupná data, vychází z předpokládaného počtu denostupňů v daném měsíci. Výsledkem je, že denní spotřeba energie ve všech dnech v měsíci, kdy nejsou dostupná data a kdy je předpokládáno, že je vytápění v provozu, je stejná. Stejný je i případný poměr energonositelů ve dnech bez dat. Množství spotřebované energie za období bez dat se zjistí odečtením spotřeby ve dnech s daty od celkové spotřeby energie v daném měsíci. Pokud výpadek dat přesahuje hranici měsíců, provede se výpočet předpokládaného stavu měřících přístrojů a tím i spotřeby energie na přelomu měsíců podle postupu v kapitole 5.2.

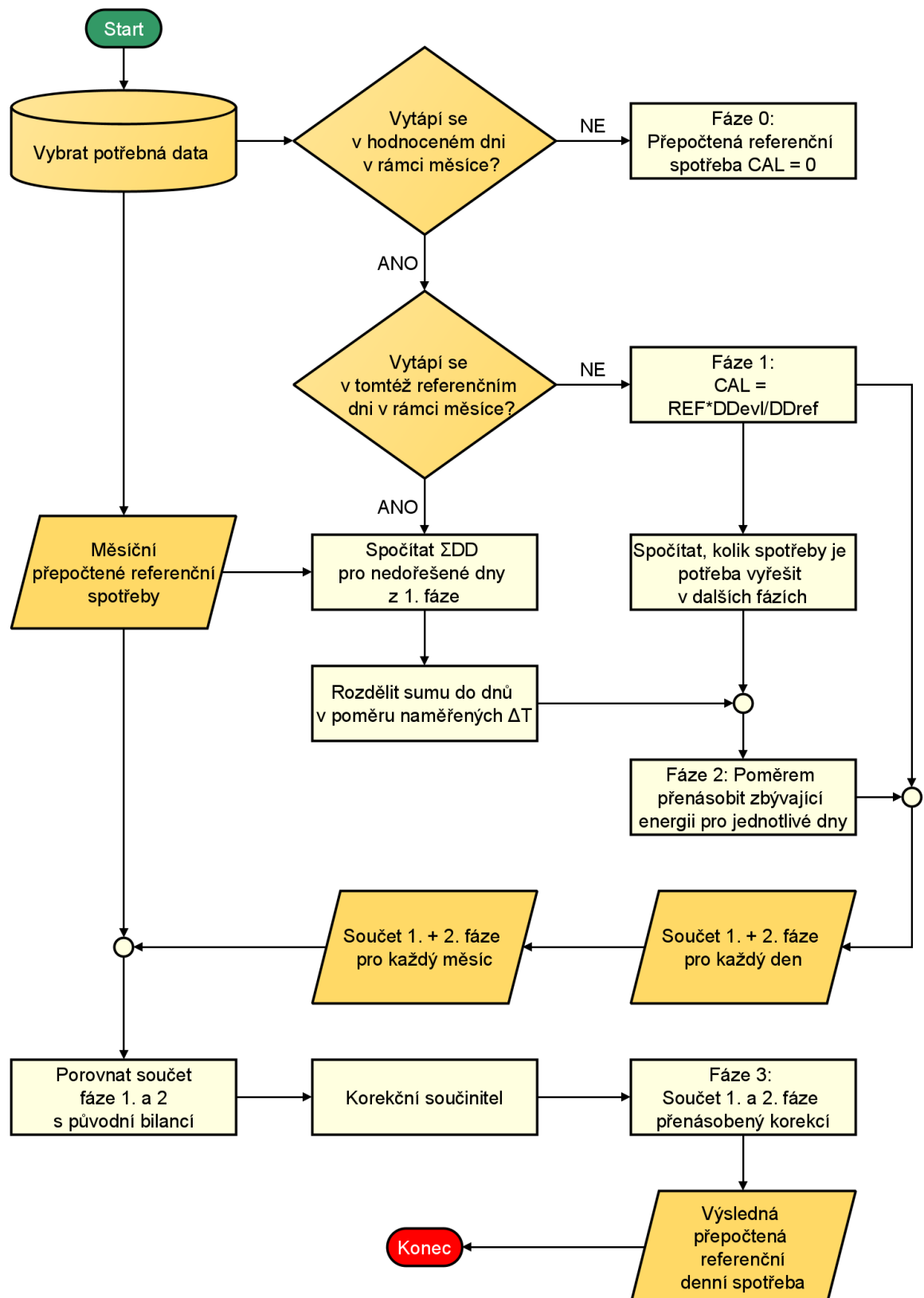
Výstupem je i denní počet denostupňů (DD) vycházející z měsíčních hodnot. K měsíčním hodnotám ve dnech s dostupnými daty se dostaneme tak, že sečteme průměrné rozdíly vnitřní (váženého průměru teplot vnitřního vzduchu podle objemů místností) a venkovní teploty vzduchu ve dnech, kdy je vytápění v provozu. Z této sumy je proveden denní průměr. Tato průměrná hodnota je předpokládaný počet denostupňů ve dnech, kdy nejsou dostupná data. Zjednodušeně se tak předpokládá, že ve dnech bez dat, kdy je vytápění v provozu, je rozdíl mezi teplotou vnitřního a venkovního vzduchu konstantní.

Pokud výpočet provozní energetické náročnosti operuje s dopočítanými hodnotami ve dnech, kdy nejsou dostupná data, bude ve výstupním uživatelském rozhraní na tento fakt upozorněno (podrobněji viz kapitola 6.7 a v rámci případové studie v kapitole 7.5).



Obr. 20: Odhad počtu denostupňů a spotřeb ve dnech bez dat

Poté, co je proveden odhad provozu v době, kdy nejsou dostupná data, je proveden výpočet spotřeby tepla na vytápění pro přepočtený referenční rok (CAL) podle vývojového diagramu na Obr. 21.



Obr. 21: Výpočet spotřeby tepla na vytápění v přepočteném referenčním roce

Nejprve je potřeba vyhodnotit měsíční data neboli spotřeby energie na vytápění za každý měsíc pro hodnocený (EVL) a referenční (REF) rok. Spotřeba energie na vytápění pro jednotlivé měsíce přepočteného referenčního (CAL) roku se stanovuje podle vzorce:

$$C_{h,cal,m} = \frac{HDD_{evl,m}}{HDD_{ref,m}} \cdot C_{h,ref,m} \quad [\text{kWh}] \quad (1)$$

kde:

$HDD_{evl,m}$ Denostupně pro vytápění za daný měsíc v hodnoceném roce; [K·D]

$HDD_{ref,m}$ Denostupně pro vytápění za daný měsíc v referenčním roce; [K·D]

$C_{h,ref,m}$ Spotřeba energie na vytápění za daný měsíc v referenčním roce. [kWh]

Následně je třeba vyhodnotit, zda byla řešená budova vytápěna v rámci jednotlivých dnů v referenčním a hodnoceném období. Vznikají tak 3 případy uvedené v Tab. 2.

Tab. 2 Případy detekce chodu otopné soustavy v hodnoceném a referenčním roce

Případ	Je vytápěno v daném dni hodnoceného roku?	Je vytápěno v daném dni referenčního roku?
1	NE	Není relevantní
2	ANO	ANO
3	ANO	NE

Případ 1 se zabývá situací, kdy v daném dni hodnoceného roku se budova nevytápí. Ve stejném přepočteného referenčního roku je poté spotřeba energie na vytápění rovna nule (v diagramu i následujících textech je tento případ označován jako Fáze 0). V tomto případě není relevantní, zda byla budova vytápěna v nepřepočteném referenčním roce.

V případě 2 je v daném dni hodnoceného i referenčního roku budova vytápěna. Výpočet přepočtené referenční spotřeby se pak podobá měsíčnímu výpočtu uvedeném ve vzorci (1), k přepočtu okrajových podmínek ovšem slouží denostupně pro daný den hodnoceného a referenčního roku:

$$C_{h,cal,d} = \frac{HDD_{evl,d}}{HDD_{ref,d}} \cdot C_{h,ref,d} \quad [\text{kWh}] \quad (2)$$

kde:

$HDD_{evl,d}$ Denostupně pro vytápění za daný den v hodnoceném roce; [K·D]

$HDD_{ref,d}$ Denostupně pro vytápění za daný den v referenčním roce; [K·D]

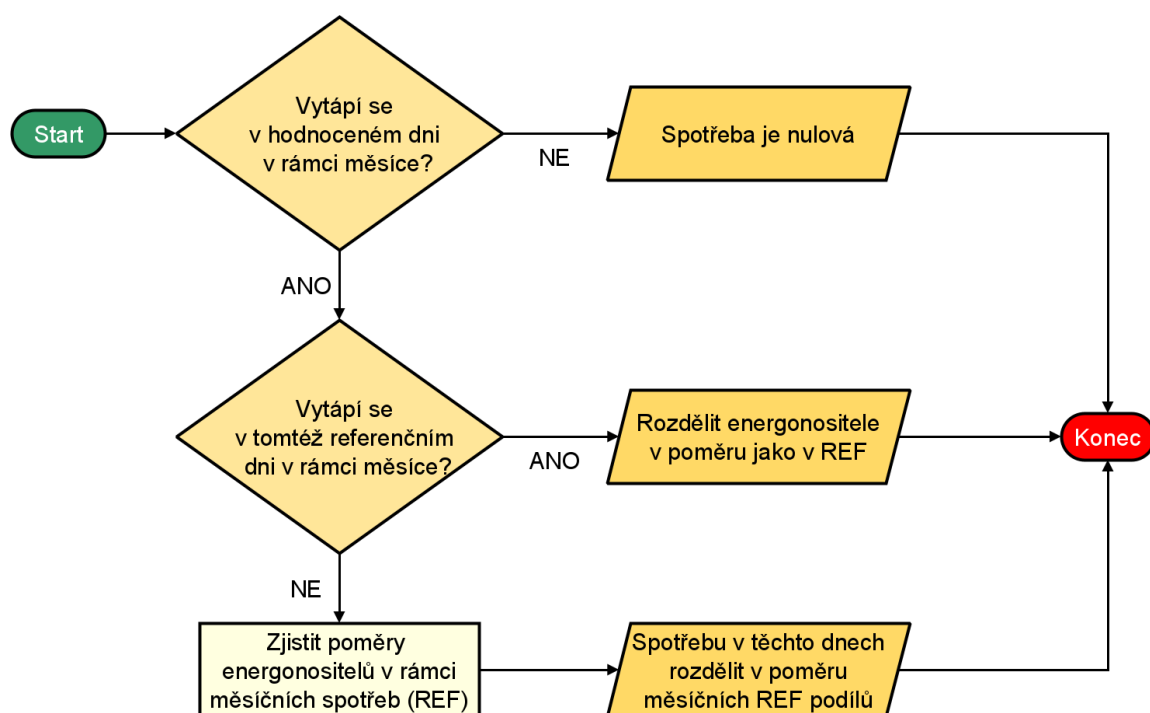
$C_{h,ref,d}$ Spotřeba energie za daný den v referenčním roce. [kWh]

Případ 2 je v diagramu popisován jako Fáze 1 výpočtu.

Případ 3 pak popisuje situaci, kdy je vytápěno v daném dni hodnoceného, nicméně není vytápěno v daném dni referenčního roku. V první řadě je potřeba odečíst spotřebu energie vzešlou z fáze 1 výpočtu od přepočtené referenční měsíční spotřeby $C_{cal,m}$. Výsledkem je spotřeba, kterou je nutné rozdělit do zbývajících ještě nedořešených dnů. Pro tyto dny se dopočítají denostupně na základě průměrných denních rozdílů teplot vnitřního a venkovního vzduchu (ΔT_d). V poměru denostupňů se zbývajících energie rozpočítá do daných dnů. Výsledek této operace je v diagramu označen jako Fáze 2. Následně se fáze 1 a 2 sečtou pro celý

měsíc a porovnájí se s původní bilancí vzešlou ze vzorce (1). Výsledkem je korekční součinitel, kterým se upraví denní spotřeby tak, aby bilance byly shodné (popsáno jako Fáze 3).

Podílí-li se na vytápění budovy více energonositelů, je třeba přepočtenou referenční spotřebu mezi ně rozdělit. Opět vyjdeme z případů zmíněných v Tab. 2. Případy rozdělení celkové denní spotřeby energie na vytápění mezi jednotlivé energonositele popisuje vývojový diagram na Obr. 22. V případě 1 je v daném dni přepočteného referenčního roku spotřeba nulová. V případě 2 (v hodnoceném roce se budova vytápí, v referenčním též) se energie rozdělí mezi energonositele ve stejném poměru jako v referenčním roce. Případ 3 (v hodnoceném roce je vytápění v provozu, v referenčním ne) se spotřeba mezi energonositele rozdělí v poměru typickém pro měsíc, ve kterém se hodnocený den nachází.



Obr. 22: Rozdělení přepočtené referenční spotřeby energie na vytápění mezi energonositele

6.3 Příprava teplé vody

Obdobně jako u vytápění je příprava teplé vody přítomna v naprosté většině budov v České republice. Vyhodnocení přepočteného referenčního roku (CAL) je zde jednodušší, protože do výpočtu vstupuje informace o přítomnosti osob. Ta vychází z počtu osob v hodnocené budově a z toho, zda jsou v budově osoby přítomné nebo ne. Detekci přítomnosti osob lze provést napojením na docházkový systém nebo pomocí měření průběhu koncentrace CO₂ v řešené budově. Další možností je detekovat odběr studené nebo teplé vody, nicméně zde je riziko, že systém nebude schopen vyhodnotit, zda se jedná o odběr běžný nebo o havarijní (úniky vody).

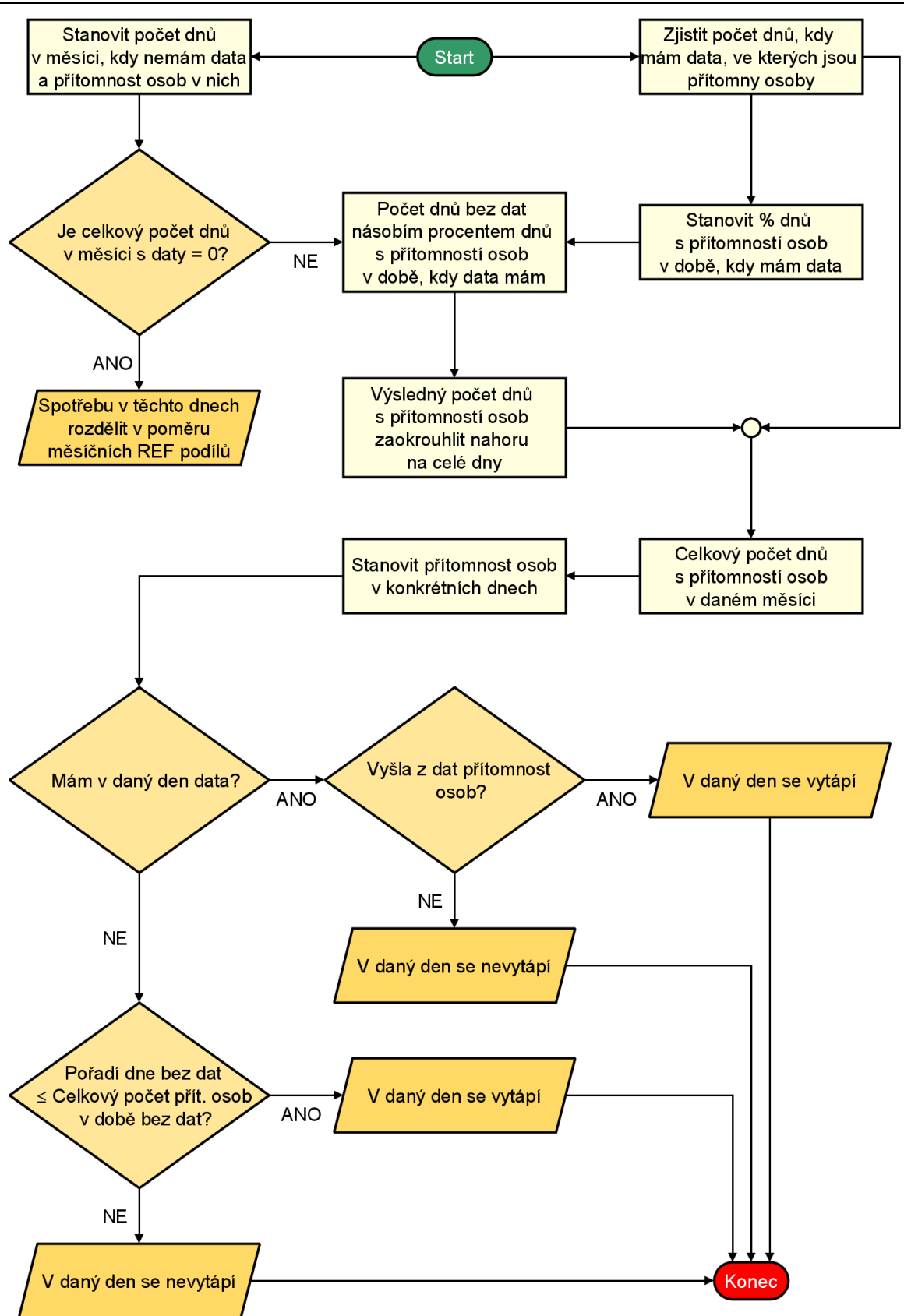
6.3.1 Měřené veličiny

Pro správné vyhodnocení provozní energetické náročnosti budovy v oblasti přípravy teplé vody je nutné v budově měřit následující veličiny:

- Přítomnost osob:
 - Spotřeba studené vody (vodoměr na patě budovy či zóny) – hlavní parametr: Je-li spotřeba studené vody za den nulová, nepředpokládá se přítomnost osob v budově.
 - Spotřeba teplé vody (vodoměr) – doplňkový parametr, slouží i jako detekce úniků vody a dalších havarijních stavů.
 - Koncentrace CO₂ – doplňkový parametr. Jako vhodná detekce přítomnosti osob může sloužit rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou koncentrací CO₂ v obytných místnostech (či referenční místnosti) budovy nebo její zóny.
 - Informace ze zabezpečovacího systému – je-li budova nebo zóna po celý den zastřežena, nejsou zde přítomny žádné osoby.
- Při přípravě TV elektrickou topnou patronou – spotřeba elektrické energie.
- Při teplovodní přípravě TV – kalorimetr na větvi otopné soustavy sloužící k přípravě TV. Při více zdrojích tepla je pro správné rozdělení přípravy TV do energonositelů nutné měřit i spotřebu energií dodaných do těchto zdrojů.
- Solární kolektory:
 - Kalorimetrické měření dodávky tepla do ohřívače TV (teplota teplotnosné látky na přívodním a zpětném potrubí, průtok).
 - Množství dopadajícího slunečního záření.

6.3.2 Vyhodnocení

V první řadě je potřeba stanovit počet dnů s přítomností osob v době, kdy jsou nebo nejsou dostupná data. K tomu se využije postup ze schématu na Obr. 23.

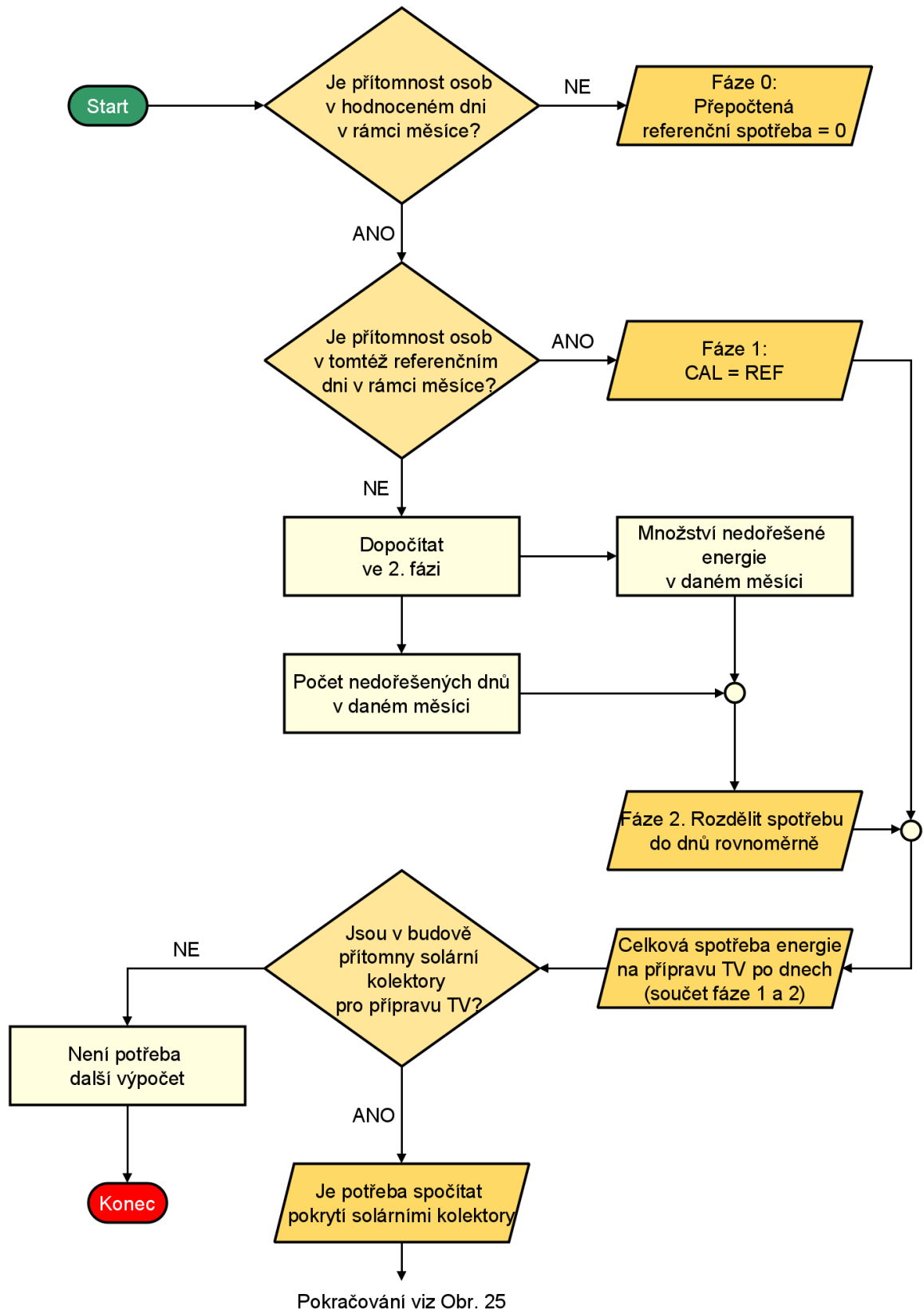


Obr. 23: Postup stanovení počtu dnů s přítomností osob v době, kdy nejsou dostupná data

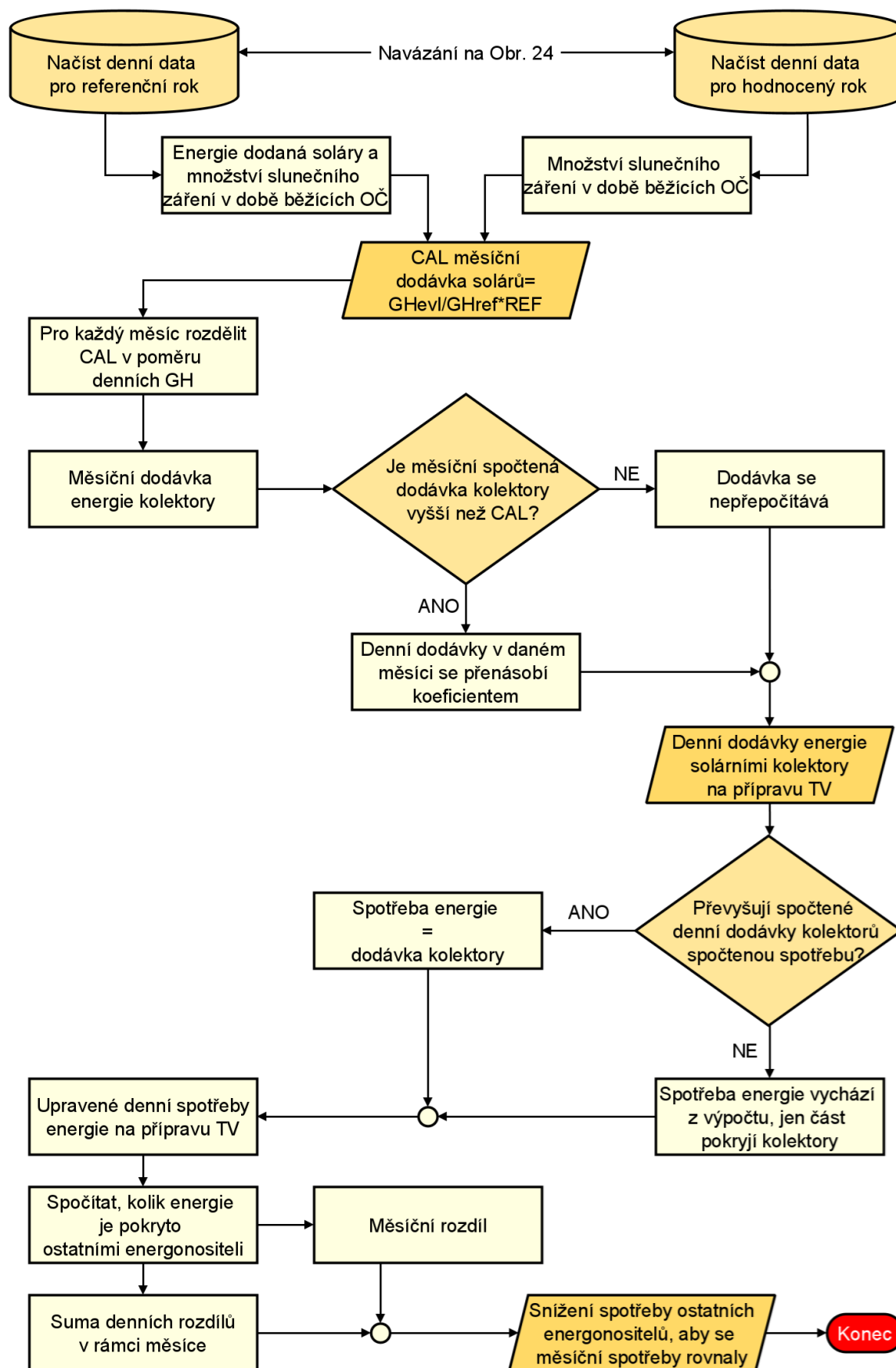
Nejprve se stanoví počet dnů v daném měsíci s přítomností osob v době, kdy jsou dostupná data, a podíl dnů oproti celku se vyjádří procentuálně. Následně stanovíme počet dnů, kdy data nejsou dostupná a pro něž je potřeba dopočítat podíl dnů s přítomností osob. Pokud nemáme data ani v jednom dni v měsíci, bere se, že ve všech dnech byly v budově přítomny osoby. Pokud chybí data jen v části měsíce, počet dnů s chybějícími daty se násobí procentuálním podílem přítomnosti osob. Výsledek se zaokrouhlí na celé dny nahoru, sečte se s počtem dnů v daném měsíci s přítomností osob v době, kdy jsou data dostupná. Výsledkem je celkový počet dnů s přítomností osob v daném měsíci.

Dále je potřeba pro denní hodnocení provést výpočet, zda jsou v daném dni přítomny nebo nepřítomny osoby. Pokud jsou dostupná data, vychází se z nich, tedy osoby jsou či nejsou přítomny. V dnech, kdy data dostupná nejsou, se v rámci každého měsíce nejprve stanoví pořadí dne, kdy nejsou dostupná data. Pokud je pořadové číslo takového dne menší nebo rovno celkovému počtu dnů bez dat, ale s přítomností osob, bere se, že v takovém dni jsou osoby přítomny. Ve výsledku jsou dny s přítomností osob seřazeny v rámci měsíce na začátku. Poslední dny bez dat a bez přítomnosti osob, pokud nějaké vycházejí z měsíční bilance, se zařadí na konec. Jako příklad uveďme, že máme 6 dní bez dat, z nich v 4 z nich jsou osoby přítomny, v 2 nepřítomny. V denní bilanci je tedy poslední 2 dny bez dat v rámci daného měsíce brány, že jsou bez přítomnosti osob.

Výpočet přepočteného referenčního roku vychází z vývojového diagramu na Obr. 24 a Obr. 25.



Obr. 24: Vývojový diagram výpočtu přepočtené referenční spotřeby energie na přípravu teplé vody – 1. část



Obr. 25: Vývojový diagram výpočtu přepočtené referenční spotřeby energie na přípravu teplé vody – 2. část (hodnocení dodávky tepla solárními kolektory)

Podobně jako u vytápění se vyhodnocení spotřeby TV v přepočteném referenčním roce provádí přes měsíční bilance roz distribuované do jednotlivých dnů. Obtížnější je zde vyhodnocení energonositelů, je-li v budově přítomna příprava TV pomocí solárních termických kolektorů.

Pro vyhodnocení měsíční přepočtené referenční spotřeby jako podmínka přepočtu slouží přítomnost osob. Tu lze detekovat více způsoby. Prvním z nich je odběr teplé a studené vody. Pokud je odběr nenulový, je možné tvrdit, že v budově jsou přítomny osoby. Daný den pak může vstupovat do výpočtu jako den přítomnosti osob. Problémem tohoto způsobu vyhodnocení je, že může docházet k únikům vody například nedovřením nebo netěsností vodovodních baterií, protékající toaletou či špatně fungujícím pojistným ventilem. Proto je dobré do vyhodnocení zahrnout další parametry, které by přítomnost osob detekovaly. Jednou z možností je navázání systému na systém zabezpečení. Je-li budova nebo její zóna zastřežena po celý den, je jasné, že je neobsazená, a tudíž spotřeba vody by měla být nulová. Výhodou je snadná detekce kontinuálních úniků teplé vody. Jako doplňkový parametr může sloužit rozdíl mezi maximální a minimální koncentrací oxidu uhličitého v rámci jednoho dne uvnitř jednotlivých místností budovy.

Čím podrobnější měření, tím lze snadněji detekovat i počet osob v budově. Pro účely výpočtu provozní energetické náročnosti v rámci této disertační práce je řešeno jen, zda se v budově či zóně někdo nachází či ne (hodnoty 1 nebo 0).

Před samotným vyhodnocením jednotlivých dnů se provede měsíční bilance spotřeby energie pro přípravu TV v hodnoceném a v referenčním roce. Spotřeba v měsících přepočteného referenčního roku se počítá podle vzorce:

$$C_{dhw,cal,m} = \frac{PP_{evl,m}}{PP_{ref,m}} \cdot C_{dhw,ref,m} \quad [\text{kWh}] \quad (3)$$

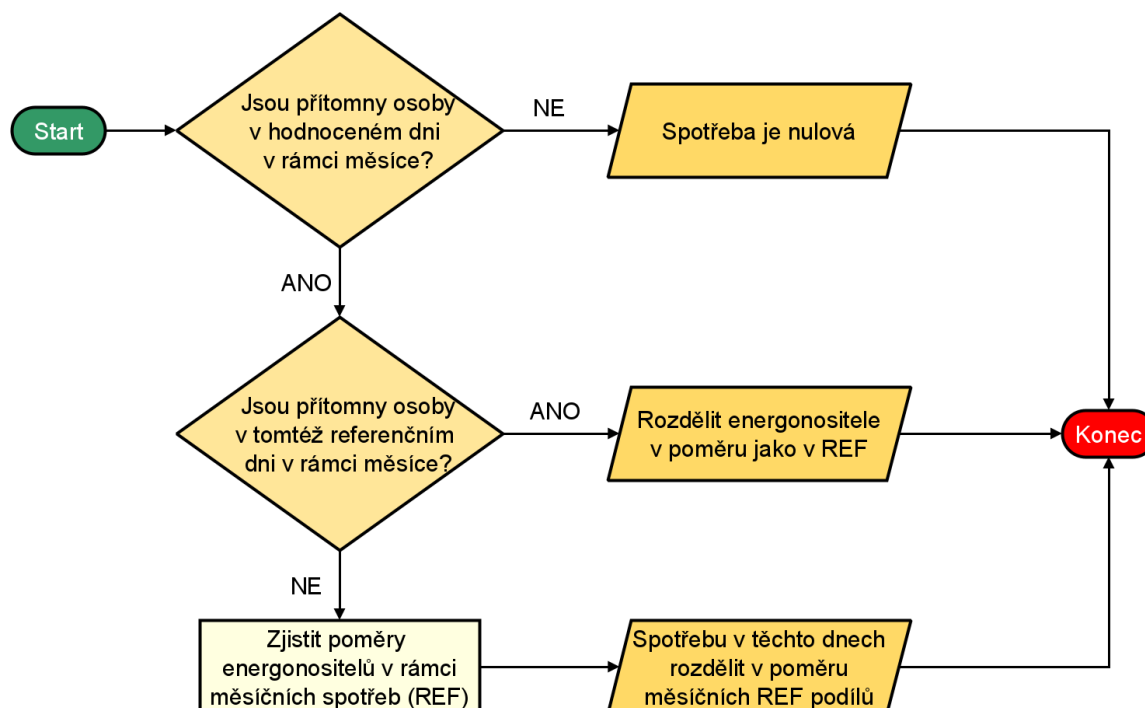
kde:

$PP_{evl,m}$	Počet dnů s přítomností osob za daný měsíc v hodnoceném roce; [dny]
$PP_{ref,m}$	Počet dnů s přítomností osob za daný měsíc v referenčním roce; [dny]
$C_{dhw,ref,m}$	Spotřeba energie na přípravu TV za daný měsíc v ref. roce. [kWh]

Jak je naznačeno v diagramu na Obr. 24, rozpadá se denní výpočet na tři případy, obdobně jako u vytápění. Příklad 1 popisuje situaci, kdy nejsou v řešeném dni hodnoceného roku přítomny žádné osoby. Ve stejném dnu přepočteného referenčního roku je pak spotřeba energie na přípravu teplé vody nulová. Příklad 2 popisuje situaci, kdy jsou v řešeném dni hodnoceného i referenčního roku osoby přítomny. Pak se denní spotřeba v přepočteném referenčním roce rovná denní spotřebě v nepřepočteném referenčním roce.

V případě 3 (v řešeném dni hodnoceného roku jsou v budově přítomny osoby, v referenčním roce ovšem ne) je potřeba spotřebu dopočítat. Provede se to tak, že se sečte měsíční spotřeba energie ve dnech vyřešených v případě 2 a odečte se od původní celkové měsíční bilance. Rozdíl se poté rovnoměrně rozdělí do dnů spadajících pod případ 3.

Není-li přítomna příprava TV pomocí solárních kolektorů, lze vypočtenou spotřebu energie na přípravu TV rozdělit mezi energonositele, a to podle vývojového diagramu na Obr. 26.



Obr. 26: Rozdělení spotřeby energie na přípravu teplé vody v přepočteném referenčním roce mezi jednotlivé energonositele

Pokud je teplá voda připravována i pomocí solárních kolektorů, je potřeba ještě pro přepočtený referenční rok provést výpočet pokrytí solárními kolektory. Tento výpočet je schematicky popsán na Obr. 25. Výpočet je prováděn jen pro dny, kdy jsou v budově přítomny osoby. Pokud by měřicí přístroje naměřily dodávku tepla solárními kolektory v době nepřítomnosti osob, považuje se tato energie za zmařenou a do dalších bilancí se nezahrnuje.

Po načtení dat (sluneční záření v době provozu solární soustavy v hodnoceném a referenčním roce a množství energie dodané solárními kolektory) se provede měsíční bilance produkce solárními kolektory v přepočteném referenčním roce podle vzorce:

$$P_{PT,cal,m} = \frac{G_{H,evl,m}}{G_{H,ref,m}} \cdot P_{PT,ref,m} \quad [\text{kWh}] \quad (4)$$

kde:

- | | | |
|----------------|--|----------------------|
| $G_{evl,m}$ | Suma slunečního záření v době provozu solární soustavy (oběhové čerpadlo běží a systém dodává teplo do zásobníku TV) za daný měsíc v hodnoceném roce; | [Wh/m ²] |
| $G_{ref,m}$ | Suma slunečního záření v době provozu solární soustavy (oběhové čerpadlo běží a systém dodává teplo do zásobníku TV) za daný měsíc v referenčním roce; | [Wh/m ²] |
| $P_{PT,ref,m}$ | Produkce tepla sol. kolektory za daný měsíc v ref. roce. | [kWh] |

Výsledné měsíční bilance jsou pak do jednotlivých dnů přepočteného referenčního roku rozpočítány v poměru množství slunečního záření. Tento přepočet ale může obzvláště v letních měsících zapříčinit, že je množství slunečního záření vyšší než spotřeba energie pro přípravu teplé vody. Proto se následně provede snížení denní dodávky tepla v rámci daného měsíce tak, aby se měsíční bilance spotřeby tepla na přípravu teplé vody s dodávkou tepla solárními kolektory vyrovnala.

Následně je třeba vyřešit situaci, kdy denní dodávka tepla solárními kolektory v přepočteném referenčním roce převyšuje spotřebu tepla na přípravu TV. Pokud tomu tak není, spotřeba tepla se v rámci daného dne nezmění, pouze její část je pokryta solárními kolektory. Pokud ovšem z dosavadního výpočtu přepočteného referenčního roku vyplývá, že by produkce tepla solárními kolektory byla vyšší než spotřeba tepla na přípravu TV, tak se za denní spotřebu tepla považuje právě dodávka tepla solárními kolektory. Výsledkem je průběh denních spotřeb tepla na přípravu TV a dodávky tepla solárními kolektory. Pro dodávku tepla solárními kolektory se provede měsíční součet, který se odečte z celkové měsíční dodávky tepla solárními kolektory $P_{PT,cal,m}$ spočítané ve vzorci (4).

Dále se pro každý jednotlivý den přepočteného referenčního roku odečte od celkové spotřeby tepla pro přípravu TV dodávka tepla solárními kolektory (již předchozí část algoritmu zajistila, aby tato hodnota nebyla záporná). Rozdíly se poté také sečtou po jednotlivých měsících. Tyto sumy se porovnají s měsíčními bilancemi popsány v předchozí kapitole a vznikne tak korekční koeficient pro ostatní energonositele a jednotlivé měsíce přepočteného referenčního roku. Tím se poté vynásobí spotřeba ostatních energonositelů v rámci jednotlivých dnů. Výsledkem je spotřeba tepla na přípravu teplé vody pro jednotlivé dny přepočteného referenčního roku, která je pokrývána ostatními energonositeli. Tu pak lze dále rozdělit do jednotlivých energonositelů podle vývojového diagramu na Obr. 26. Součet výsledných denních spotřeb tepla na přípravu TV (součet pokrytí solárními kolektory a ostatními energonositeli) pro jednotlivé měsíce se pak rovná celkové měsíční bilanci provedené v úvodu výpočtu podle vzorce (3).

6.4 Větrání

Spotřeba energie na větrání je vyhodnocena podobně jako spotřeba energie na přípravu teplé vody. Základní okrajovou podmínkou je zde informace o stavu provozu větracího systému: Zda je v plném provozu či v útlumovém režimu. Pokud systém spouští on/off, útlumovým režimem se rozumí situace, kdy je systém vypnutý. Na rozdíl od přípravy teplé vody je zde nutné hlídat stav systému v co nejkratším časovém kroku (alespoň 1 hodina).

6.4.1 Měřené veličiny

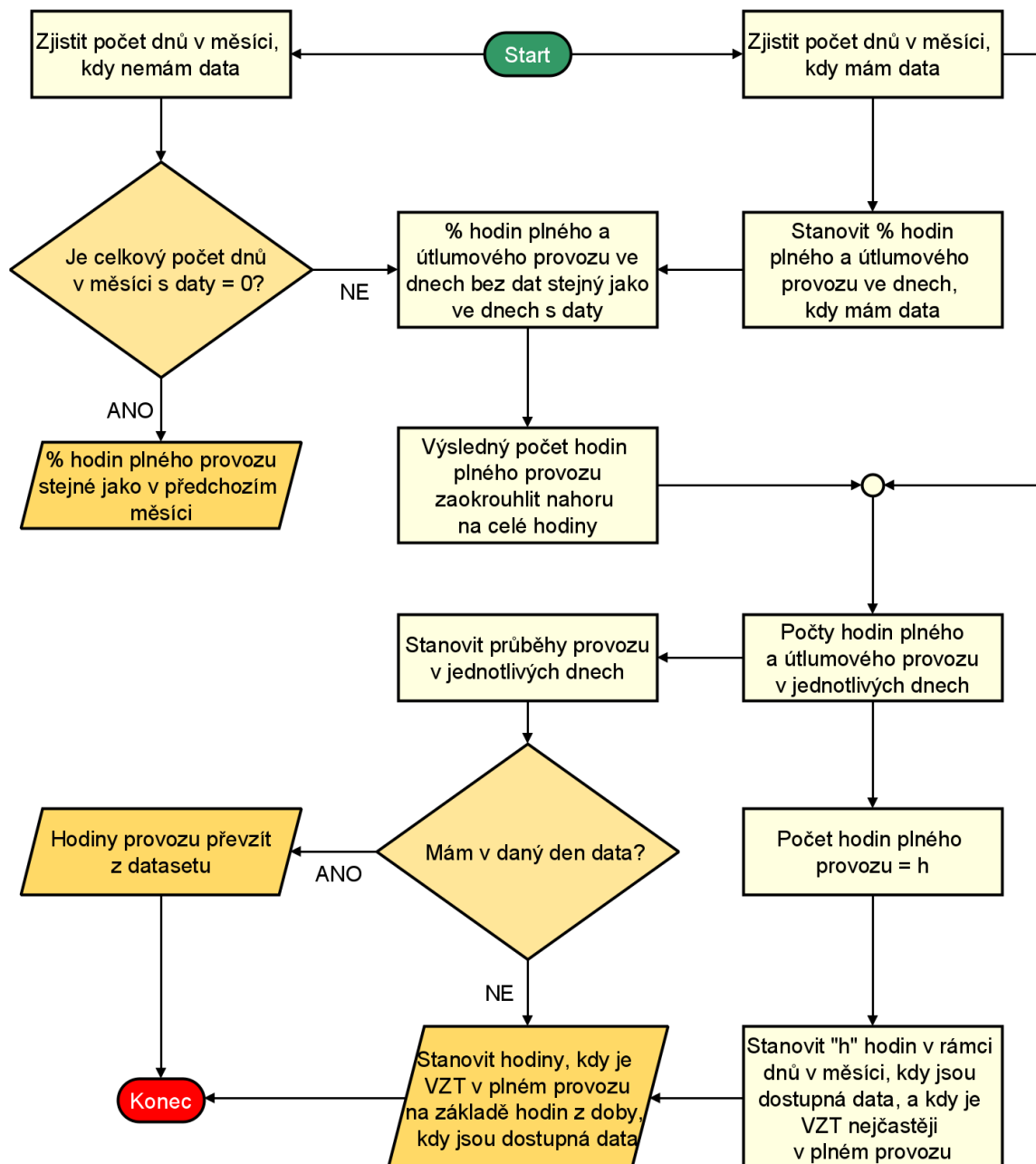
Pro správné vyhodnocení provozní energetické náročnosti budovy v oblasti větrání, je nutné v budově měřit následující veličiny:

- Spotřeba elektrické energie na pohon ventilátorů (nutno měřit samostatně);

- Informace o stavu větracího systému: Plný provoz, útlumový provoz. Stav provozu je důležité evidovat alespoň v hodinovém kroku;
- Informace o spotřebě (příkonu) v době plného provozu a v době útlumového provozu.

6.4.2 Vyhodnocení

V první řadě je potřeba stanovit průběh provozu systému větrání v době, kdy nejsou dostupná data. Stanovení je znázorněno na Obr. 27.



Obr. 27: Postup stanovení hodin plného a útlumového provozu větracího systému v době, kdy nejsou dostupná data

Podobně jako u přípravy teplé vody se nejprve stanoví dny, ve kterých jsou a nejsou dostupná data. Ve dnech s dostupnými daty se vyčtou počty hodin, kdy je systém v plném provozu (ve zbývajících hodinách se předpokládá útlumový provoz), počet hodin plného provozu se vyjádří procentuálně.

Ve dnech bez dat se postupuje tak, že pokud chybí data po dobu celého měsíce, procento hodin plného provozu v jednotlivých dnech se převezme z měsíce předchozího. Pokud chybí data jen v části měsíce, procento hodin plného provozu v jednotlivých dnech se převezme ze dnů ve stejném měsíci, kdy data dostupná jsou.

Na základě procentuálního vyjádření se počet hodin plného provozu ve dnech bez dat zaokrouhlí na celé hodiny nahoru.

Prvotním výstupem je tedy informace, kolik hodin v jednotlivých dnech je systém v plném a v útlumovém provozu. Pokud systém disponuje daty z měřicího systému, hodiny plného provozu se převezmou (vstupují pak do výpočtu provozní energetické náročnosti). Pokud data v daném dnu nejsou, je na základě výše zmíněného výpočtu znám jen počet hodin plného provozu, nikoli však konkrétní hodiny. K nim se systém dopracuje tak, že si spočítá průměrný počet hodin h plného provozu ve dnech v rámci řešeného měsíce, kdy jsou dostupná data. Najdou se konkrétní hodiny ve dnech, kdy jsou dostupná data, kdy je systém v provozu nejčastěji. Počet nejčastějšího hodin plného provozu je roven počtu h . Tyto konkrétní hodiny se pak předpokládá plný provoz systému ve dnech, kdy data dostupná nejsou.

Výstupem Obr. 27 je informace o provozu systému větrání (plný či útlumový provoz) v hodinovém kroku.

Dále je potřeba stanovit spotřebu energie na pohon ventilátorů ve dnech, kdy nejsou dostupná data. Celková spotřeba za období bez dostupných dat je známá z měřicího systému. Rozdělí se rovnoměrně do jednotlivých dnů. Následně je třeba v rámci dnů bez dostupných dat spočítat spotřebu v době plného provozu a v době útlumu. Využijí se k tomu dny ve stejném měsíci, kdy jsou data dostupná, a sice tak, že se spočítá hodinová spotřeba energie na provoz VZT systému v plném a v útlumovém provozu. Tyto hodinové hodnoty se ve dnech bez dat vynásobí příslušným počtem hodin plného a útlumového provozu. Výsledkem je denní spotřeba. Tu je nakonec nutné přepočíst na spotřebu naměřenou a rozdělenou do jednotlivých dnů, aby součet jednotlivých dnů odpovídal spotřebě naměřené.

Pro vyhodnocení provozní energetické náročnosti větrání se postupuje podle následujících vzorců. Nejprve je vyjádřena celková měsíční spotřeba energie na větrání:

$$C_{ven,cal,m} = C_{ven,cal,o,m} + C_{ven,cal,a,m} \quad [\text{kWh}] \quad (5)$$

Kde:

$C_{ven,cal,o,m}$ Spotřeba energie na větrání v době plného provozu za daný měsíc v roce CAL; [kWh]

$C_{ven,cal,a,m}$ Spotřeba energie na větrání v době útlumového provozu za daný měsíc v roce CAL. [kWh]

Dále se měsíční spotřeby v plném a v útlumovém provozu v přepočteném referenčním roce CAL přepočítávají dle hodin daného provozu následovně:

$$C_{ven,cal,o,m} = \frac{H_{evl,o,m}}{H_{ref,o,m}} \cdot C_{ven,ref,o,m} \quad [\text{kWh}] \quad (6)$$

kde:

$H_{evl,o,m}$ Počet hodin plného provozu VZT za daný měsíc v roce EVL; [h]

$H_{ref,o,m}$ Počet hodin plného provozu VZT za daný měsíc v roce REF; [h]

$C_{ven,ref,o,m}$ Spotřeba energie na větrání v plném provozu za daný měsíc v roce REF. [kWh]

$$C_{ven,cal,a,m} = \frac{H_{evl,a,m}}{H_{ref,a,m}} \cdot C_{ven,ref,a,m} \quad [\text{kWh}] \quad (7)$$

kde:

$H_{evl,a,m}$ Počet hodin útlumového provozu VZT za daný měsíc v roce EVL; [h]

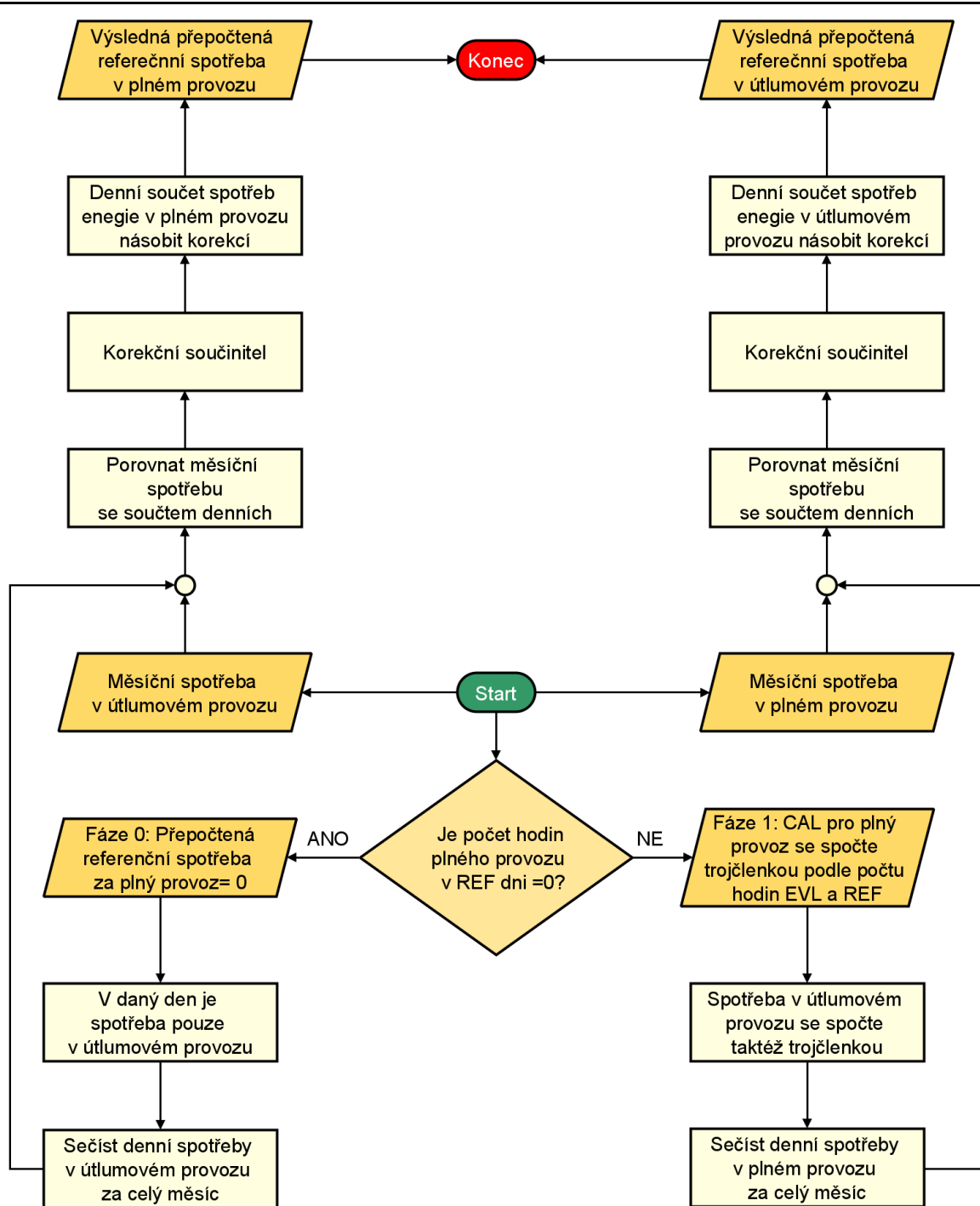
$H_{ref,a,m}$ Počet hodin útlumového provozu VZT za daný měsíc v roce REF; [h]

$C_{ven,ref,a,m}$ Spotřeba energie na větrání v útlumovém provozu za daný měsíc v roce REF. [kWh]

Dále je proveden výpočet denních spotřeb v roce CAL. Výpočet je znázorněn na Obr. 28.

Nejprve stanoví dny, kdy je budova pouze v útlumovém provozu. Spotřeba energie v daném dni roku CAL je plném provozu nulová. V ostatních dnech se provádí odděleně přepočet spotřeby energie v plném i útlumovém provozu pomocí počtu hodin daného provozu. Denní hodnoty se sečtou a porovnají se s celkovým měsíčním přepočtem. Aby součet denních spotřeb byl stejný jako základní přepočet měsíčních spotřeb, denní spotřeby se násobí korekčním součinitelem.

Dělení na energonositele není prováděno, neboť se předpokládá, že větrání spotřebovává pouze elektrickou energii na pohon ventilátorů.



Obr. 28: Vývojový diagram výpočtu přepočtené referenční spotřeby energie na větrání

6.5 Osvětlení

Podobně jako u přípravy teplé vody i do výpočtu provozní energetické náročnosti osvětlení vstupuje informace o přítomnosti osob. Hodnocení osvětlení je jednodušší, neboť spotřeba energie na osvětlení je vždy pokryta jen jedním energonositelem, tedy elektrickou energií.

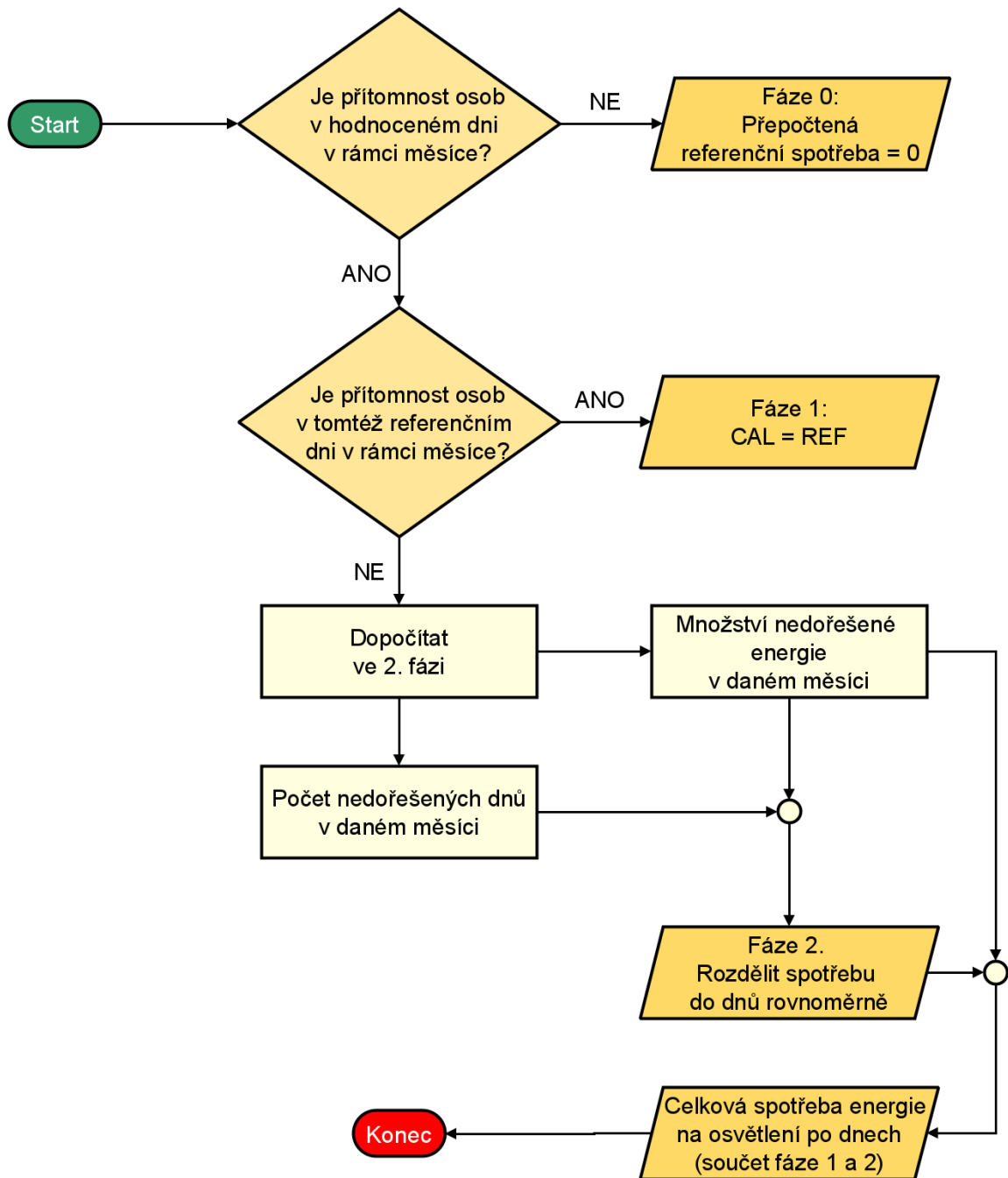
6.5.1 Měřené veličiny

Pro správné vyhodnocení provozní energetické náročnosti budovy v oblasti osvětlení je nutné v budově měřit následující veličiny:

- Spotřeba elektrické energie na osvětlení (nutné měřit samostatně)
- Koncentrace CO₂ – Doplnkový parametr. Jako vhodná detekce přítomnosti osob může sloužit rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou koncentrací CO₂ v pobytových místnostech (či referenční místnosti) budovy nebo její zóny.
- Informace ze zabezpečovacího systému – je-li budova nebo zóna po celý den zastřežena, nejsou zde přítomny žádné osoby.

6.5.2 Vyhodnocení

Výpočet přepočteného referenčního roku vychází z vývojového diagramu na Obr. 29.



Obr. 29: Vývojový diagram osvětlení

Podobně jako u přípravy TV je i zde nejprve potřeba vyhodnotit přítomnost osob v jednotlivých dnech. Postup je stejný jako u přípravy TV, tedy například pomocí čidel CO₂, které by vyhodnocovaly produkci tohoto plynu osobami, případně propojení se zabezpečovacím systémem budovy. V době, kdy nejsou dostupná data, se postupuje stejně jako u teplé vody (viz schéma na Obr. 23). Využije se podíl dnů s přítomností osob oproti celkovému počtu dnů s daty a stejný podíl po zaokrouhlení na celé dny nahoru se využije ve dnech bez dat s tím, že případné dny bez přítomnosti osob se v rámci daného měsíce řadí na konec.

Před samotným vyhodnocením jednotlivých dnů se provede měsíční bilance spotřeby energie pro přípravu TV v hodnoceném a v referenčním roce. Spotřeba v měsících přepočteného referenčního roku se počítá podle vzorce:

$$C_{lgt,cal,m} = \frac{PP_{evl,m}}{PP_{ref,m}} \cdot C_{lgt,ref,m} \quad [\text{kWh}] \quad (8)$$

kde:

$PP_{evl,m}$	Počet dnů přítomnost osob za daný měsíc v hodnoceném roce;	[dny]
$PP_{ref,m}$	Počet dnů přítomnost osob za daný měsíc v referenčním roce;	[dny]
$C_{lgt,ref,m}$	Spotřeba energie na osvětlení za daný měsíc v ref. roce.	[kWh]

Stejně jako u teplé vody a vytápění se i zde denní výpočet rozpadá na tři případy (viz diagram na Obr. 18): Příklad 1 popisuje situaci, kdy nejsou v řešeném dni hodnoceného roku přítomny žádné osoby. Ve stejném dnu přepočteného referenčního roku je pak spotřeba energie na přípravu teplé vody nulová. Příklad 2 popisuje situaci, kdy jsou v řešeném dni hodnoceného i referenčního roku osoby přítomny. Pak se denní spotřeba v přepočteném referenčním roce rovná denní spotřebě v nepřepočteném referenčním roce.

V případě 3 (v řešeném dni hodnoceného roku jsou v budově přítomny osoby, v referenčním roce ovšem ne) je potřeba spotřebu dopočítat. Provede se to tak, že se sečte měsíční spotřeba energie ve dnech vyřešených v případě 2 a odečte se od původní celkové měsíční bilance. Rozdíl se poté rovnoměrně rozdělí do dnů spadajících pod případ 3.

Dělení do energonositelů zde není prováděno, neboť osvětlení je vždy pokrýváno elektrickou energií.

6.6 Energonositelé, primární energie z neobnovitelných zdrojů

Součástí hodnocení je též bilance jednotlivých energonositelů, které jsou v budově využívány. Pokud se na dílčí dodané energii podílí více energonositelů, jejich poměr v přepočteném referenčním roce CAL odpovídá původnímu referenčnímu roku REF, protože vyhodnocení provozní energetické náročnosti je vztaženo přímo k dodané energii na základě definovaných okrajových podmínek. Rozdělení spotřeby mezi energonositele není okrajovou podmínkou, která podléhá přepočtu mezi hodnoceným a přepočteným referenčním rokem. Výstup poslouží uživateli budovy jako informace o využití jednotlivých energonositelů s cílem upřednostňovat energonositele s nižším konverzním faktorem. Příklad uživatelského výstupu je zmíněn v případové studii v kapitole 7.4.4.

Součástí hodnocení provozní energetické náročnosti je taktéž primární energie z neobnovitelných zdrojů. Její výpočet vychází z platné legislativy [16], jedná se o sumu spotřeb jednotlivých energonositelů přenásobených faktorem primární energie. Faktory primární energie jsou vypsány v Tab. 3.

Tab. 3: Faktory primární energie [16]

Energonositel	Faktor primární energie
Zemní plyn	1,0
Tuhá fosilní paliva	1,0
Propan-butan/LPG	1,2
Topný olej	1,2
Elektřina	2,6
Dřevěné peletky	0,2
Kusové dřevo, dřevní štěpka	0,1
Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)	0
Elektřina – dodávka mimo budovu	-2,6
Teplo – dodávka mimo budovu	-1,3
Účinná soustava zásobování tepelnou energií s vyšším než 80% podílem obnovitelných zdrojů energie	0,2
Účinná soustava zásobování tepelnou energií s 80% a nižším podílem obnovitelných zdrojů energie	0,9
Ostatní soustavy zásobování tepelnou energií	1,3
Ostatní neuvedené energonositele	1,2
Odpadní teplo z technologie	0

Vyhodnocení primární energie z neobnovitelných zdrojů je principiálně stejné jako u ostatních energetických toků, tedy porovnání přepočteného referenčního roku CAL s rokem hodnoceným EVL, procentuální vyjádření a emotikon. Lze je taktéž rozkliknout do úrovně nejkratších časových kroků pro detekci změn energonositele atd.

6.7 Výstupy

Výstupy výpočtu provozní energetické náročnosti svojí strukturou odpovídají struktuře průkazu energetické náročnosti budovy. Základním principem je porovnání spotřeb v hodnoceném roce EVL s přepočteným referenčním rokem CAL, vzájemné procentuální vyhodnocení, doplněno je i hodnocení pomocí barevného emotikonu, které má dát uživateli budovy rychlou informaci o stavu daného energetického toku.

Základní struktura výstupů je znázorněna na Obr. 30. Platí, že co obdélníček ve schématu, to jedna obrazovka. Hlavní obrazovka grafického uživatelského rozhraní (znázorněna žlutou barvou) je základní interface, kde je možnost zvolit hodnocené období a referenční rok, který se bude přepočítávat. Přímou na hlavní obrazovce je pak zobrazena celková dodaná energie a dílčí dodaná energie – srovnání hodnoceného roku s rokem referenčním včetně procentuálního vyhodnocení a barevného emotikonu, který znázorňuje změnu spotřeby energie v hodnoceném roce oproti roku referenčnímu. Po rozkliknutí na podrobnosti u dodaných energií se zobrazí roční bilance v měsíčním časovém kroku ve formě tabulky a grafu. Součástí tabulky je taktéž procentuální hodnocení dílčí či celkové dodané energie pro dané měsíce a barevný emotikon. Mezi ročními bilancemi dílčí a celkové dodané energie lze přepínat.

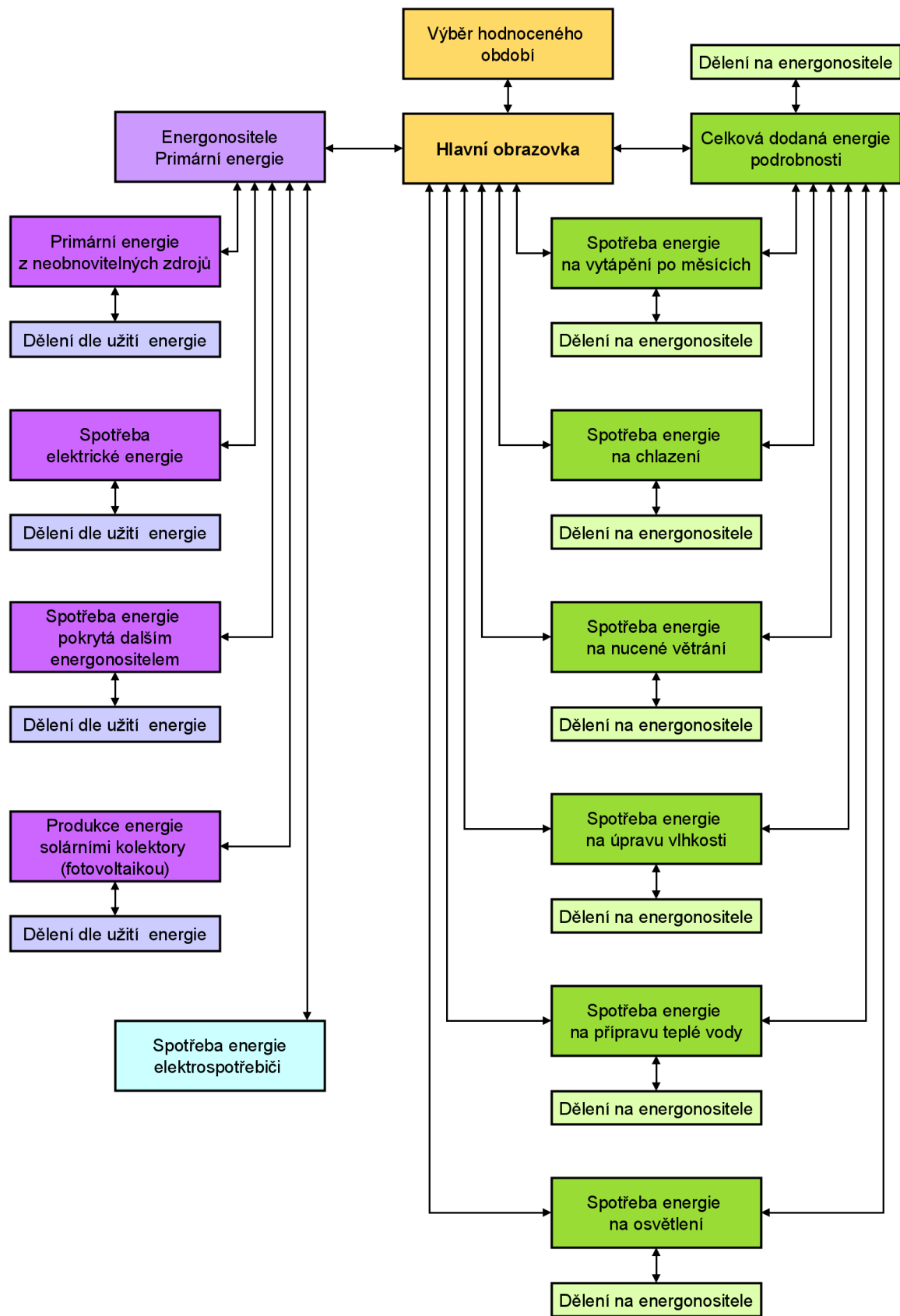
Kliknutím na zvolený měsíc v rámci roční bilance lze dále zobrazit denní hodnocení v rámci měsíce. Kliknutím na vybraný den se zobrazí hodnocení spotřeb v nejkratším časovém kroku (např. 1 hodina – dáno tím, jak častá data poskytuje systém měření a regulace) v rámci dne. I denní hodnocení v rámci měsíce obsahuje tabulku spotřeb dané dílčí či celkové dodané energie po dnech včetně procentuálního vyhodnocení a barevného emotikonu. Hodnocení spotřeby v průběhu dne pak zobrazuje jen srovnávací hodnoty za celý den (sloupcový diagram, tabulka, procentuální zhodnocení, emotikon).

Z hlavní obrazovky se dále lze dostat do základní obrazovky věnující se primárním energiím a energonositelům (ve schématu označeno jako „Energonositele, primární energie“). Zde jsou vypsané všechny energonositele, které se podílejí na energetické náročnosti dané budovy, a to včetně produkce elektrické energie fotovoltaickým systémem či produkce tepla fototermitickými kolektory, jsou-li přítomny. Spotřeby jednotlivých energonositelů lze dále, podobně jako u dílčích dodaných energií, rozkliknout až na úroveň nejnižšího časového kroku v rámci dne. Princip zobrazení je stejný jako u dílčích dodaných energií.

Primární energie z neobnovitelných zdrojů je pak sumou spotřeb jednotlivých energonositelů přenásobených faktory primární energie, které jsou dány legislativou. Princip jejího vyhodnocení je opět totožný.

Na obrazovce primárních energií se dále vyskytují dva koláčové grafy, které znázorňují podíly jednotlivých energonositelů v hodnoceném a referenčním roce s tím, že lze dále rozkliknout podrobnější měsíční údaje.

Součástí vyhodnocení je i spotřeba elektrické energie domácími spotřebiči. Tato položka je nad rámec klasické struktury vyhodnocení energetické náročnosti budovy dané legislativou, avšak může se jednat o nezanedbatelnou spotřebu v rámci celkové energetické bilance hodnocené budovy. O tomto faktu hovoří i data Českého statistického úřadu [59]. Konkrétní ukázka porovnání spotřeb domácích elektrospotřebičů je provedena v kapitole 7.5.3.








Obr. 30: Struktura výstupů uživatelského rozhraní

Každý výstup (modré a zelené obdélníčky ve schématu na Obr. 30) značí vyhodnocení přepočteného referenčního roku CAL vůči roku hodnocenému EVL v měsíčním kroku. Dále ho lze rozkliknout do úrovně dní v měsíci. Každý den je možno dále rozevřít do nejkratšího časového úseku, který měřicí systém umožňuje (například hodina).

Konkrétní grafická podoba výstupů je prezentována v rámci případové studie v kapitole 7.5. Součástí výstupů je rovněž „klasifikace“ energetického toku pomocí barevného emotikonu. Toto hodnocení vychází z toho, o kolik se změnila spotřeba energie v hodnoceném období (rok, měsíc, den) oproti přepočtenému referenčnímu období. K odstupňování hodnocení slouží Tab. 4

Tab. 4 Hodnocení energetických toků pomocí emotikonů

Klasifikace	Spotřeba energie <ul style="list-style-type: none"> • Dílčí dodané energie • Celková dodaná energie • Spotřeby jednotlivých energonositelů • Primární energie z neobnovitelných zdrojů 	Produkce energie <ul style="list-style-type: none"> • Fotovoltaické moduly • Fototermické kolektory
	(0 %, 80 %)	(150 %, ∞)
	(80 %, 100 %)	(100 %, 150 %)
	(100 %, 120 %)	(80 %, 100 %)
	(120 %, 150 %)	(50 %, 80 %)
	(150 %, ∞)	(0 %, 50 %)

Obecně platí, že pokud spotřeba energie v hodnoceném nepřesáhla spotřebu v přepočteném referenčním období, tak se emotikon zbarví zeleně a „usmívá se“. V případě produkce energie fotovoltaikou či fototermikou je stejná klasifikace provedena opačně: Přesáhne-li produkce v hodnoceném období produkci v referenčním období, hodnocení je pozitivnější.

7 Případová studie rodinného domu

Výpočtový nástroj vyhodnocující provozní energetickou náročnost byl otestován na konkrétním rodinném domě. V této kapitole je nejprve popsáno, o jakou budovu se jedná, a to včetně podrobného výpisu měřicích míst se zdůrazněním, která data jsou relevantní pro výpočet provozní ENB. Data nejprve prošla data cleaningem, následně byly dopočteny potřebné hodnoty v případech delších výpadků dat. Takto vyčištěná a doplněná data vstoupila do samotného výpočtu.

7.1 Popis domu

Předmětem případové studie je rodinný dům nacházející se ve městě Rýmařov v Moravskoslezském kraji. Jedná se o jednopodlažní nízkoenergetickou montovanou dřevostavbu s nevytápěným podkrovím. Zastavěná plocha činí 146,1 m². [54],[60]



Obr. 31: Fotografie objektu během výstavby [61]



Obr. 32: Schematický půdorys řešeného objektu (jednočarový obrys značí tvar střechy)

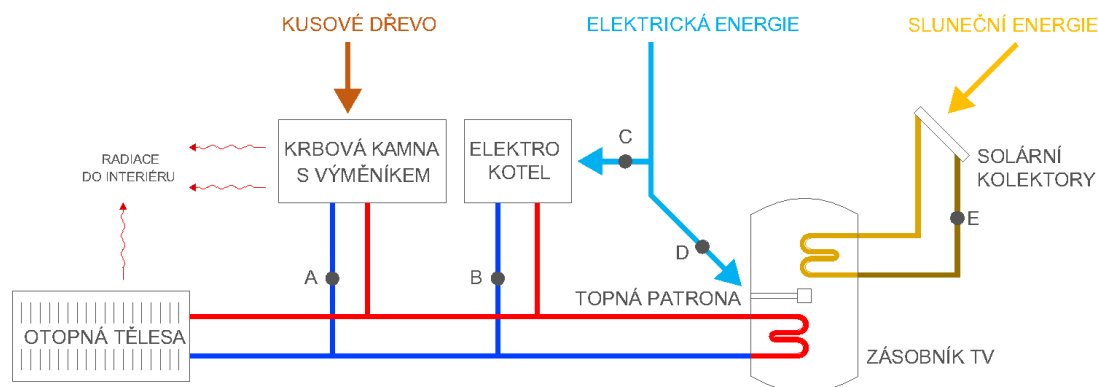
Tab. 5: Seznam místností

Číslo místnosti	Název místnosti	Plocha [m ²]
101	Zádveří	8,33
102	Chodba	12,58
103	WC	1,86
104	Spíž	1,72
105	Kuchyně	10,45
106	Obývací pokoj s jídelnou	38,53
107	Pokoj 1 (Masérna)	14,26
108	Pokoj 2	11,82
109	Koupelna + WC	8,95
110	Technická místnost	5,25
111	Pokoj 3	9,38

Hlavním zdroj tepla, který slouží pro vytápění a přípravu teplé vody, jsou krbová kamna spalující kusové dřevo. Krbová kamna jsou vybavena výměníkem tepla do teplovodní dvoutrubkové otopné soustavy, v níž je teplo sdíleno deskovými a trubkovými otopnými tělesy. Doplňkovým zdrojem tepla je elektrokotel.

Zásobník teplé vody o objemu 300 litrů je napojen trubkovým výměníkem na výše zmíněnou otopnou soustavu. Dále je osazen výměníkem na okruh se dvěma solárními kolektory. Jako doplňkový zdroj slouží elektrická topná patrona.

Osvětlení budovy je řešeno standardními zářivkovými a LED svítilny.[54]



Obr. 33: Schéma technických systémů s vyznačením hlavních měřicích míst [54]

Objekt je řízen systémem měření a regulace s názvem Kobra od společnosti Brand-tech s.r.o., datové body jsou popsány v následující podkapitole. Tabulka níže zaznamenává, které energonositele se podílejí na které dílčí dodané energii. Z ní pak vychází počet výstupů v uživatelském rozhraní.

Tab. 6: Tabulka energonositelů a dílčích dodaných energií

Ergonositel	VYT	CHL	VĚT	VLH	TV	OSV
Zemní plyn						
Černé uhlí						
Hnědé uhlí						
Propan-butan/LPG						
Topný olej						
Elektřina	X				X	X
Dřevěné peletky						
Kusové dřevo, dřevní štěpka	X				X	
Energie okolního prostředí (elektřina, teplo)					X	
Elektřina – dodávka mimo budovu						
Teplo – dodávka mimo budovu						
Účinná SZTE s vyšším než 80% podílem OZE						
Účinná SZTE s podílem OZE 80 % a méně						
Ostatní soustavy SZTE						
Ostatní neuvedené energonositele						
Odpadní teplo z technologie						

7.2 Vstupní data, data cleaning

V řešeném objektu jsou sbírána data v celkem 105 měřicích místech. Seznam měřicích míst viz Tab. 7 až Tab. 13. Tabulky jsou rozděleny podle skupin měření. V každé tabulce je pořadové číslo měřicího bodu, jeho popis a veličina. Ve sloupci Relevance je pak popsáno, zda je daná veličina relevantní pro výpočet provozní dílčí energie. Hodnota 0 znamená, že veličina není relevantní, hodnota 1 značí, že je relevantní omezeně (například jako detekce provozu), hodnoty 2 pak nabývají měřicí místa, která jsou nutná pro korektní výpočet energetické náročnosti. Právý sloupec pak obsahuje poznámku. Z důvodu přehlednosti tabulek jsou poznámky označeny písmenem a v Tab. 14 jsou tyto poznámky rozepsány.

Tab. 7: Seznam měřicích míst – venkovní podmínky, které uživatel neovlivňuje

Číslo	Veličina	Jednotka	Relevance			Pozn.
			VYT	TV	OSV	
1	Venkovní teplota sever	°C	2	2	0	
2	Venkovní teplota jih	°C	1	1	0	A
3	Vítr – rychlost	m/s	0	0	0	
4	Vítr – směr	°	0	0	0	
5	Slunce – intenzita	W/m ²	0	2	0	
6	Srážky úhrn	mm	0	0	0	
7	Vlhkost venkovního vzduchu	%	0	0	0	
8	HDO – aktivní	1/0	0	0	0	B

Tab. 8: Seznam měřicích míst – teploty vnitřního vzduchu

Číslo	Veličina	Jednotka	Relevance			Pozn.
			VYT	TV	OSV	
9	Obývací – teplota	°C	2	0	0	C
10	Kuchyně – teplota	°C	2	0	0	C
11	Ložnice – teplota	°C	2	0	0	C
12	Dětský pokoj – teplota	°C	2	0	0	C
13	Masérna – teplota	°C	2	0	0	C
14	Koupelna – teplota	°C	2	0	0	C
15	WC – teplota	°C	2	0	0	C
16	Spíž – teplota	°C	2	0	0	C
17	Chodba – teplota	°C	2	0	0	C
18	Technická místnost – teplota	°C	2	0	0	C
19	Zádveří – teplota	°C	2	0	0	C
20	Podkroví – teplota	°C	2	0	0	C

Tab. 9: Seznam měřicích míst – ostatní parametry vnitřního prostředí

Číslo	Veličina	Jednotka	Relevance			Pozn.
			VYT	TV	OSV	
21	Obývací – vlhkost	%	0	0	0	D
22	Kuchyně – vlhkost	%	0	0	0	D
23	Ložnice – vlhkost	%	0	0	0	D
24	Dětský pokoj – vlhkost	%	0	0	0	D
25	Masérna – vlhkost	%	0	0	0	D
26	Koupelna – vlhkost	%	0	0	0	D
27	Technická místnost – vlhkost	%	0	0	0	D
28	Záďveří – vlhkost	%	0	0	0	D
29	Obývací – CO ₂	ppm	1	1	0	E
30	Ložnice – CO ₂	ppm	1	1	0	E
31	Dětský pokoj – CO ₂	ppm	1	1	0	E
32	Masérna – CO ₂	ppm	1	1	0	E
33	Obývací – VOC	%	0	0	0	
34	Kuchyně – VOC	%	0	0	0	
35	Ložnice – VOC	%	0	0	0	
36	Dětský pokoj – VOC	%	0	0	0	
37	Masérna – VOC	%	0	0	0	
38	WC – VOC	%	0	0	0	
39	Obývací – CO	ppm	0	0	0	

Tab. 10: Seznam měřicích míst – stavy systémů TZB v domě

Číslo	Veličina	Jednotka	Relevance			Pozn.
			VYT	TV	OSV	
40	Aku nádrž – horní teplota	°C	0	0	0	
41	Aku nádrž – střední teplota	°C	0	0	0	
42	Aku nádrž – dolní teplota	°C	0	0	0	
43	Soláry – teplota na solárech	°C	0	0	0	
44	Soláry – oběhové čerpadlo běží	1/0	0	1	0	F
45	Kamna – teplota na výměníku	°C	0	0	0	G
46	Kamna – oběhové čerpadlo běží	1/0	1	1	0	
47	Radiátory – oběhové čerpadlo	1/0	1	0	0	
48	Cirkulace TV – OČ v provozu	1/0	0	0	0	

Tab. 11: Seznam měřicích míst – stav vytápění

Číslo	Veličina	Jednotka	Relevance			Pozn.
			VYT	TV	OSV	
49	Dětský pokoj – vytápí se	1/0	1	0	0	H
50	Ložnice – vytápí se	1/0	1	0	0	H
51	Kuchyně – vytápí se	1/0	1	0	0	H
52	Obývací – vytápí se	1/0	1	0	0	H
53	Masérna – vytápí se	1/0	1	0	0	H
54	Koupelna – vytápí se	1/0	1	0	0	H
55	Technická m. – vytápí se	1/0	1	0	0	H
56	Zádveří – vytápí se	1/0	1	0	0	H
57	Podkroví – vytápí se	1/0	0	0	0	
58	Obývací – pož. teplota	°C	0	0	0	I
59	Kuchyně – pož. teplota	°C	0	0	0	I
60	Ložnice – pož. teplota	°C	0	0	0	I
61	Dětský pokoj – pož. teplota	°C	0	0	0	I
62	Koupelna – pož. teplota	°C	0	0	0	I
63	Technická m. – pož. teplota	°C	0	0	0	I
64	Zádveří – pož. teplota	°C	0	0	0	I
65	Podkroví – pož. teplota	°C	0	0	0	I
66	Masérna – pož. teplota	°C	0	0	0	I

Tab. 12: Seznam měřicích míst – spotřeba elektrické energie

Číslo	Veličina	Jednotka	Relevance			Pozn.
			VYT	TV	OSV	
67	Elektroměr – Bojler výkon	W	1	1	0	J, N
68	Elektroměr – Bojler suma	kWh	2	2	0	J, O
69	Elektroměr – EK výkon	W	1	1	0	K, N
70	Elektroměr – EK suma	kWh	2	2	0	K, O
71	Elektroměr – Světla výkon	W	0	0	1	L, N
72	Elektroměr – Světla suma	kWh	0	0	2	L, O
73	Elektroměr – Total výkon	W	0	0	0	M, N
74	Elektroměr – Total suma	kWh	0	0	0	M, O

Tab. 13: Seznam měřicích míst – stavy kalorimetrů

Číslo	Veličina	Jednotka	Relevance			Pozn.
			VYT	TV	OSV	
75	Kalor. – Cirkulace TV výkon	W	0	0	0	
76	Kalor. – Cirkulace TV průtok	l/s	0	0	0	
77	Kalor. – Cirkulace TV zpátečka	°C	0	0	0	
78	Kalor. – Cirkulace TV přívod	°C	0	0	0	
79	Kalor. – EK výkon	W	0	0	0	
80	Kalor. – EK průtok	l/s	1	1	0	P
81	Kalor. – EK zpátečka	°C	0	0	0	
82	Kalor. – EK přívod	°C	0	0	0	
83	Kalor. – Kamna výkon	W	1	1	0	G
84	Kalor. – Kamna průtok	l/s	1	1	0	G
85	Kalor. – Kamna zpátečka	°C	0	0	0	
86	Kalor. – Kamna přívod	°C	0	0	0	
87	Kalor. – AKU výkon	W	0	0	0	
88	Kalor. – AKU průtok	l/s	0	0	0	
89	Kalor. – AKU zpátečka	°C	0	0	0	
90	Kalor. – AKU přívod	°C	0	0	0	
91	Kalor. – Soláry výkon	W	0	1	0	F
92	Kalor. – Soláry průtok	l/s	0	1	0	F
93	Kalor. – Soláry zpátečka	°C	0	0	0	
94	Kalor. – Soláry přívod	°C	0	0	0	
95	Kalor. – SV průtok	l/s	0	1	0	Q
96	Kalor. – TV výkon	W	0	1	0	R
97	Kalor. – TV průtok	l/s	0	1	0	R
98	Kalor. – TV zpátečka	°C	0	0	0	
99	Kalor. – TV přívod	°C	0	0	0	
100	Kalor. – Cirkulace TV suma	kWh	0	0	0	
101	Kalor. – EK suma	kWh	1	1	0	S
102	Kalor. – Kamna suma	kWh	2	2	0	T
103	Kalor. – Soláry suma	kWh	2	2	0	U
104	Kalor. – SV suma	l	1	1	0	V
105	Kalor. – TV suma	kWh	1	1	0	X

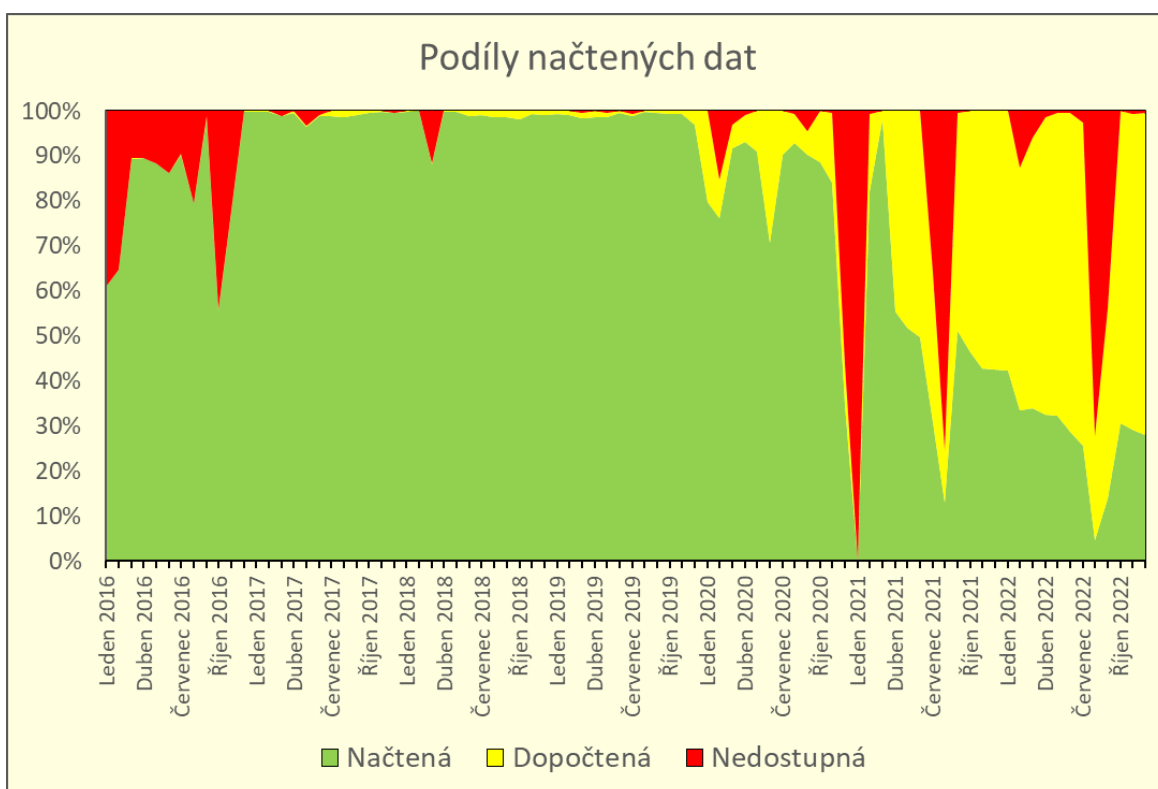
Tab. 14: Tabulka poznámek k měřeným veličinám

Poznámka	Znění poznámky
A	Venkovní teplota na jižní straně může sloužit jako doplňkový parametr v případě výpadku dat z teploměru na severní straně. Jinak relevantní není.
B	HDO je systém hromadného dálkového ovládní. Slouží k přepínání vysokého a nízkého tarifu spotřeby elektrické energie.
C	Do výpočtu provozní energetické náročnosti vstupuje vážený průměr teplot vnitřního vzduchu podle ploch (objemů) místností. Teplota vzduchu v podkroví do výpočtu nevstupuje, neboť podkroví je nevytápěné.
D	Jedná se o relativní vlhkost vzduchu.
E	Koncentrace CO ₂ slouží jako detekce přítomnosti osob v domě.
F	Detekce dodávky tepla solárními kolektory
G	Detekce chodu krbových kamen
H	Detekce chodu otopné soustavy
I	Uživatelé nastavený setpoint
J	Topná patrona
K	Elektrokotel
L	Pravděpodobně se jedná o součet osvětlení a odtahových ventilátorů
M	Celková spotřeba elektrické energie, včetně domácích elektrospotřebičů
N	Okamžitý výkon v čase měření
O	Hodnota odečtená z elektroměru. Nabývá od počátku měření
P	Detekce chodu elektrokotle
Q	Detekce přítomnosti osob skrz spotřebu studené vody. Může též detekovat případné úniky vody
R	Detekce přítomnosti osob skrz spotřebu teplé vody.
S	Spotřeba elektrické energie elektrokotlem je detekována elektroměrem. Zde lze detekovat například snížení účinnosti vlivem vodního kamene.
T	Produkce tepla krbovými kamny. Je třeba dále dopočítat účinnost krbových kamen (viz kapitola 7.3) a množství vložené energie v palivu.
U	Produkce energie solárními kolektory
V	Spotřeba studené vody pro detekci přítomnosti osob. Výpočtový nástroj může být doplněn i o provozní náročnost spotřeby studené vody.
X	Spotřeba teplé vody pro detekci přítomnosti osob. Slouží též k rozklíčování dodávek energie z krbu a elektrokotle, kde nejsou samostatně měřeny spotřeba na přípravu TV a na vytápění.

Data jsou sbírána od 1. 1. 2016 v deklarovaném čtvrt hodinovém kroku. Pro následné analýzy bylo potřeba provést data cleaning podle postupu popsaném v kapitole 5.1. Data cleaning je pro řešený dataset prováděn z důvodu potřebného výpočetního výkonu, kapacitě softwaru MS Excel a pro celkovou přehlednost po jednotlivých měsících. Pro dopočet vynechaných záznamů je stanovena hodnota „x=11“, což znamená, že lze dokopírovat data při max tříhodinovém výpadku. Je-li výpadek delší, do výsledných buněk datasetu se zapíše N/A, tedy že data nejsou dostupná.

Výsledkem data cleaningu je dataset, kdy každý rok je pro každý měřicí bod provedeno či dopočteno 35 040 záznamů (čtvrt hodinový krok). Pokud data nebyla dostupná a nepodařilo se je dopočítat, je v buňkách uvedeno N/A. Celkový počet buněk v datasetu je pak cca 25,8 milionu, z nichž 19,7 milionu jsou data načtená z měřicího systému, 4 miliony buněk jsou dopočteny, 2 miliony buněk data neobsahují.

Podíly načtených, dopočtených a nedostupných dat po jednotlivých měsících jsou zaznamenány v diagramu na Obr. 34.



Obr. 34: Podíly načtených dat

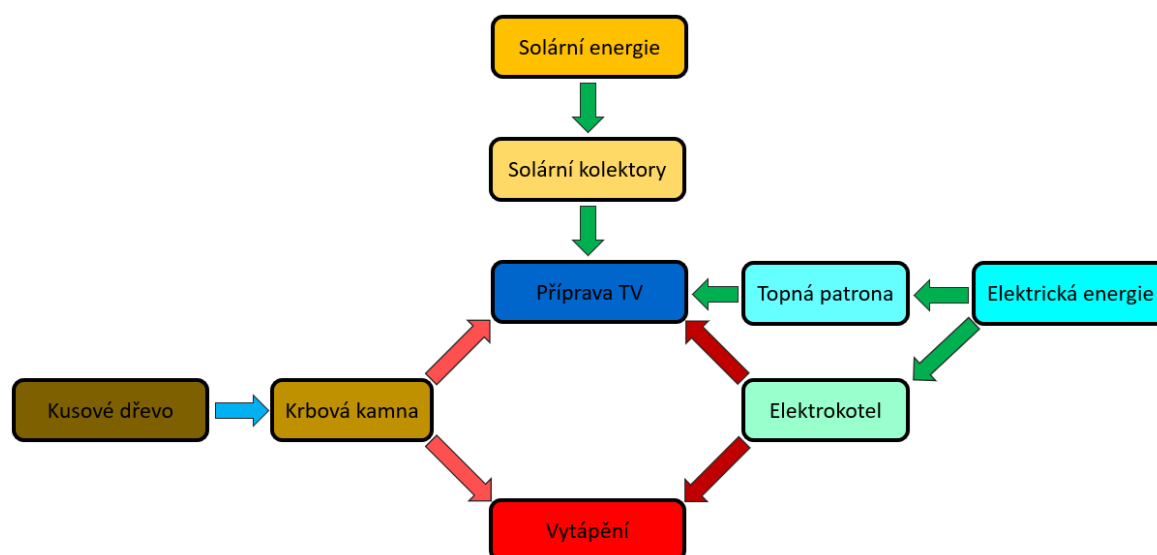
Z diagramu na Obr. 34 a z celkového data cleaningu je patrné následující:

- V prvním roce měření je několik datových bodů nedostupných. Jedná se především o hodnoty požadovaných teplot vnitřního vzduchu. Od ledna 2017 jsou tato data zaznamenávána takřka kompletně.
- První větší úplný výpadek dat s přesahem do různých měsíců proběhl od 18. října do 7. listopadu 2016.

- V letech 2017–2020 jsou data až na výjimky (9.–12. března 2018) zaznamenávána kompletně, dochází pouze k ojedinělým výpadkům. Podíl dopočtených hodnot je cca 1 %.
- Počínaje rokem 2020 roste podíl dopočítávaných dat, neboť dochází k častějším výpadkům. Od jara 2021 je časový krok cca půl hodiny (tomu odpovídá více než 50% podíl dopočtených dat) a postupně se prodlužuje, proto například v prosinci 2022 je podíl dopočtených dat více než 70 %, neboť časový krok záznamů je průměrně 45 minut.
- Od roku 2020 také dochází k dlouhodobějším výpadkům dat ($x > 11$), které přesahují hranice měsíců. Nejdelší výpadek je od 14. prosince 2020 do 31. ledna 2021. Další výpadky zasahující do dvou měsíců jsou zaznamenány v období červenec/srpen 2021 a srpen/září 2022.

7.3 Rozklíčování neměřených energetických toků.

Ze schématu na Obr. 33 vyplývá, kde jsou umístěna jednotlivá měřicí místa a které dílčí energie jsou pokryty kterými zdroji. Teplo produkované krbovými kamny a elektrokotlem je měřeno přímo na potrubí u zdroje, dále je měřena spotřeba elektrické energie přímo elektrokotlem. Není zde provedeno rozdělení mezi vytápění a přípravu teplé vody. Než se provede výpočet provozní energetické náročnosti, je nejprve nutné v případě řešeného rodinného domu rozklíčovat jednotlivé energetické toky. Schéma energetických toků je znázorněno na Obr. 35.



Obr. 35: Schéma energetických toků

Zelené šipky značí jednoznačně měřený energetický tok. Jedná se o elektroměry měřící spotřebu elektrické topné patrony v zásobníku TV a spotřebu elektrokotle. Teplo produkované elektrickou topnou patronou je díky elektroměru také jasně měřeno. Dále je měřena produkce tepla solárními kolektory, které se starají o část přípravy teplé vody.

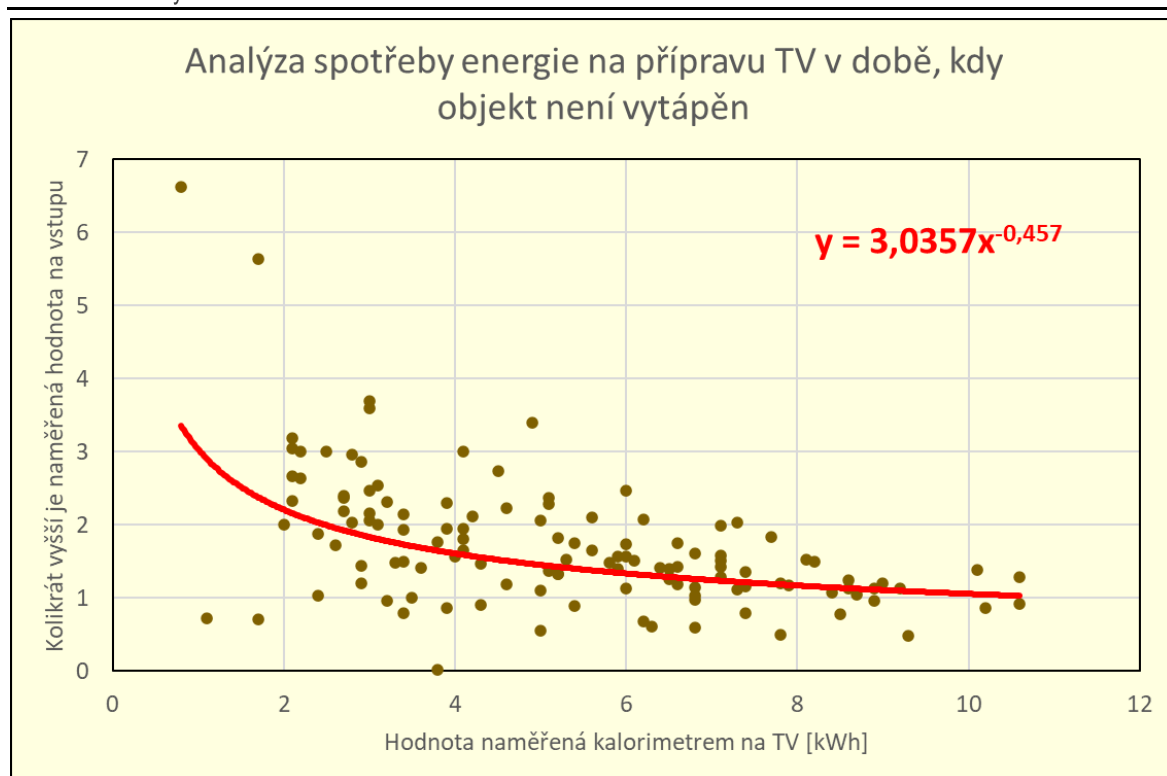
Tmavě červené šipky pak značí, že elektrokotel se stará jak o část přípravy TV, tak o vytápění řešeného domu. Na výstupu z elektrokotle je instalován kalorimetr, který teplo produkováné kotlem pro obě dílčí spotřeby měří dohromady. Cílem této kapitoly je spočítat podíl přípravy TV a podíl vytápění.

Podobně jako u elektrokotle je měřena produkce energie na výstupu z výměníku krbových kamen. Světle červené šipky pak značí, že i tuto produkci energie je nutné rozklíčovat mezi vytápění a přípravu TV.

Dalším úkolem je stanovit podíl energie produkováné krbovými kamny, která se s interiérem domu sdílí sáláním a tím pádem není její produkce kalorimetricky měřena, avšak podílí se na celkové bilanci. Modrá šipka pak znázorňuje, že autorovi práce není známo přesné množství spáleného kusového dřeva. V rámci rozklíčování spotřeb energie pak jako vstup do výpočtu provozní energetické náročnosti bude sloužit množství tepla naměřené kalorimetrem a dopočtené množství tepla sdílené sáláním. Komínová ztráta není v tomto případě započítána do celkové bilance pro nedostatek vstupních informací, případně může být stanovena koeficientem daným informací od výrobce krbových kamen.

7.3.1 Postup rozklíčování

V první řadě je možné provést analýzu kalorimetru na teplé vodě (rozdíl teplot mezi studenou a teplou vodou + průtok teplé vody) v době, kdy objekt není vytápěn, a porovnat ji se spotřebou energie pro přípravu teplé vody (elektroměr na elektrokotli, elektroměr na elektrické topné patroně, kalorimetr na okruhu se solárními kolektory). Zjistilo se, že hodnota naměřená kalorimetrem na teplé vodě je menší než spotřeba energie na vstupu do zásobníku teplé vody a rozdíl se zvyšuje se spotřebou teplé vody. V následujícím diagramu je na vodorovné ose znázorněna kalorimetrem zaznamenaná hodnota spotřeby teplé vody. Na svislé ose je pak zaznačeno, kolikrát vyšší spotřeba energie byla naměřena na vstupu (tedy energie na přípravu TV). Jednotlivé body diagramu jsou dny v roce 2018, kdy není dům vytápěn.



Obr. 36: Analýza spotřeby energie na přípravu teplé vody

Diagram byl proložen spojnicí trendu s předpisem $y = 3,0357x^{-0,457}$. Tato funkce dopočte na základě hodnot naměřených kalorimetrem teplé vody celkovou spotřebu energie na přípravu teplé vody ve dnech, kdy je dům vytápěn.

Dále je potřeba provést analýzu naměřených dat tak, aby nedošlo k situaci, kdy přepočtená hodnota spotřeby energie na přípravu TV převyšuje celkovou spotřebu tepla na vytápění a teplé vody v daný den. Pokud k tomu dojde, sníží se přepočtená hodnota vzešlá výše zmíněnou funkcí, aby příprava teplé vody pokryla 100 % spotřeby energie. Spotřeba energie na vytápění pak bude nulová.

Druhá sporná situace může nastat v období, kdy dům není vytápěn a na přípravě teplé vody se podílí jen solární kolektory a elektrická topná patrona. Pokud je přepočtená spotřeba daná funkcí vzešlá z diagramu na Obr. 36 nižší než spotřeba na přípravu TV pokrytá solárními kolektory a elektrickou topnou patronou, do výstupu rozklíčování se zapíše naměřené hodnoty produkce tepla kolektory a spotřeby elektrické energie topnou patronou.

V ostatních dnech platí výsledná spotřeba energie na přípravu teplé vody, která je zčásti pokryta solárními kolektory, zčásti elektrickou topnou patronou a na zbytku se podílí elektrokotel a krbová kamna. Lze ji pro daný n-tý den popsat vzorcem:

$$C_{DHW,d} = C_{DHW,sol,d} + C_{DHW,ec,d} + C_{DHW,eb,d} + \frac{C_{DHW,f,d}}{\eta_f} \quad [\text{kWh}] \quad (9)$$

kde:

$C_{DHW,sol,d}$ Denní spotřeba tepla na přípravu TV pokrytá sol. i kolektory; [kWh]

$C_{DHW,ec,d}$ Denní spotřeba tepla na přípravu TV pokrytá el. topnou patronou; [kWh]

$C_{DHW,eb,d}$	Denní spotřeba tepla na přípravu TV pokrytá elektrokotlem;	[kWh]
$C_{DHW,f,d}$	Denní spotřeba tepla na přípravu TV pokrytá křbovými kamny;	[kWh]
η_f	Účinnost křbových kamen.	[-]

Spotřeba tepla na přípravu teplé vody pokrytou křbovými kamny a elektrokotlem se odečte od celkové spotřeby tepla (křbová kamna a elektrokotel). Rozdíl je pak spotřeba tepla na vytápění. Poměr elektrokotle a křbových kamen na celkové spotřebě je pro vytápění a přípravu teplé vody totožný.

Pro korektní výpočet spotřeby tepla na přípravu TV a vytápění pokryté křbovými kamny je potřeba dopočítat tzv. účinnost křbových kamen. Jedná se o hodnotu, kterou se navýší produkce tepla křbovými kamny naměřená kalorimetrem na výstupu z výměníku. Nejprve je pro stanovení této účinnosti potřeba stanovit dny, kdy je objekt vytápěn. V případě řešeného rodinného domu se chod otopné soustavy dá detekovat jednak podle teplot na výměníku v křbových kamnech a jednak podle chodu oběhových čerpadel vytápění. Pro tyto dny se zjistí rozdíl průměrné teploty vnitřního a venkovního vzduchu. Průměrná teplota vnitřního vzduchu je vypočítána jako vážený průměr teplot vnitřního vzduchu jednotlivých místností podle jejich vnitřního objemu.

Účinnost křbových kamen se stanoví tak, že se iteruje její hodnota do doby, dokud nebude nejvyšší korelace mezi celkovou spotřebou energie na vytápění a rozdílem průměrné teploty vnitřního a venkovního vzduchu.

Z této analýzy vychází účinnost křbových kamen 0,53, což znamená, že do otopné soustavy se uloží 53 % tepla generovaného spalováním kusového dřeva v křbových kamnech. Ostatních 47 % je do interiéru sdíleno konvekcí a sáláním přímo z křbových kamen. Při této účinnosti vychází korelace mezi spotřebou tepla a rozdílem teplot ve výši 0,905. Při zvyšování i snižování hodnoty účinnosti korelace klesá.

Výstupem této kapitoly jsou následující denní energetické toky:

- Spotřeba tepla na vytápění pokrytá křbovými kamny;
- Spotřeba tepla na vytápění pokrytá elektrokotlem;
- Spotřeba tepla na přípravu teplé vody pokrytá solárními kolektory (byla naměřena a rozklíčováním se nezměnila, pouze byla odečtena naměřená hodnota produkce tepla solárními kolektory v době nepřítomnosti osob);
- Spotřeba tepla na přípravu teplé vody pokrytá elektrickou topnou patronou;
- Spotřeba tepla na přípravu teplé vody pokrytá elektrokotlem;
- Spotřeba tepla na přípravu teplé vody pokrytá křbovými kamny;
- Spotřeba elektrické energie na osvětlení;
- Spotřeba elektrické energie na ostatní spotřebiče (je spočtena tak, že od celkové spotřeby elektrické energie je odečtena spotřeba elektrokotle, topné patrony a osvětlení, které jsou měřeny zvlášť).

Tyto energetické toky jsou vstupním podkladem pro výpočet provozní energetické náročnosti řešeného rodinného domu.

7.4 Výpočty

V rámci případové studie je jako referenční rok zvoleno období od 1. 1. do 31. 12. 2017, což je druhý rok provozu budovy. V tomto roce systém dodává kompletní data ze všech měřicích míst. Dopočítáno je jen malé procento dat. Není zde ani žádný delší výpadek dat zasahující do dvou měsíců. Tento rok je ve výpočtu přepočten na okrajové podmínky roku hodnoceného.

Jako hodnocený rok je zvoleno období od 1. 1. do 31. 12. 2019. Tento rok byl zvolen proto, aby se zde otestoval výpadek dat začínající 18. ledna a končící až 28. února. Dále jsou zde drobné výpadky dat v rámci jednoho, maximálně dvou dnů, a jeden sedmidenní výpadek v průběhu prosince. I tyto výpadky dat se projeví v grafickém výstupu. Uměle je pro demonstrativní účely doplněn i výpadek od 22. září do 10. října. Dopočty stavů měřicích přístrojů v době výpadku dat na hranici měsíců jsou provedeny a popsány v následujících podkapitolách.

Hodnoceny jsou dílčí dodané energie na vytápění, přípravu teplé vody a osvětlení. Dům je osazen odtahovými ventilátory v hygienických místnostech, které jsou pravděpodobně připojeny na světelný obvod. Hodnoceny budou tedy v rámci osvětlení. Chlazení a úprava vlhkosti nejsou v domě přítomny. Samostatně je hodnocena dodávka energie solárními kolektory (v rámci přípravy teplé vody).

7.4.1 Vytápění

V první řadě je proveden dopočet stavu měřicích přístrojů na vytápění na přelomu ledna a února na základě postupu zmíněného v kapitole 5.2.2. Nejprve jsou odečteny stavy měřicích přístrojů.

Tab. 15: Stav na rozhraní výpadků dat

	Elektrokotel Elektroměr [kWh]	Krbová kamna Kalorimetr [kWh]
Stav 1. 1. 2019 0:00	10280	15771
Stav 18. 1. 2019 8:45	10606	16251
Stav 28. 2. 2019 23:45	10946	17456

Následně je potřeba vyhodnotit množství energie spotřebované během výpadku.

Z analýzy dostupných dat vyplývají následující hodnoty zmíněné v Tab. 16.

Tab. 16: Tabulka hodnot vycházejících z analýzy dat

	Veličina ve schématu [jednotka]	Hodnota
Počet dní v prvním měsíci celkem	$D_{m,1}$ [dny]	31
Počet dní ve druhém měsíci celkem	$D_{m,2}$ [dny]	28
Počet dní v prvním měsíci, kdy jsou dostupná data	$D_{dos,1}$ [dny]	17,36
Počet dní v prvním měsíci, kdy nejsou dostupná data	$D_{vyp,1}$ [dny]	13,64
Naměřená energie produkovaná krbovými kamny (kalorimetr) v době, kdy jsou dostupná data (kWh)	$E_{dos,1}$ [kWh]	480
Naměřená elektrická energie (elektrokotel) v době, kdy jsou dostupná data (kWh)	$E_{dos,1}$ [kWh]	326
Naměřená energie kalorimetr v době, kdy nejsou dostupná data (kWh)	E_{vyp} [kWh]	1205
Naměřená elektrická energie (elektrokotel) v době, kdy nejsou dostupná data (kWh)	E_{vyp} [kWh]	340

Spotřeba energie ve zbytku ledna je dopočtena trojčlenkou pro krbová kamna podle počtu dnů následovně:

$$E_{vyp,1} = \frac{E_{dos,1}}{D_{dos,1}} \cdot D_{vyp,1} = \frac{480}{17,36} \cdot (13,64) = 394,7 \text{ kWh} \quad (10)$$

Pro elektrokotel pak po podobném přepočtu vychází spotřeba za období v měsíci lednu, kdy nejsou dostupná data, spotřeba ve výši 111,4 kWh. Výsledné hodnoty se přičtou k odečtu v 18. lednu. Výsledek je stav měřicího přístroje na přelomu ledna a února a celková spotřeba v únoru. Je nutno zde upozornit, že se jedná o přibližnou hodnotu, na což bude upozorněno i ve výstupním uživatelském rozhraní.

Druhý výpadek pak proběhl v období 23. 9. až 9. 10. 2019.

K dopočtení potřebných stavů měřicích přístrojů opět poslouží následující dvě tabulky.

Tab. 17: Stav na rozhraní výpadků dat

	Elektrokotel Elektroměr [kWh]	Krbová kamna Kalorimetr [kWh]
Stav 1. 9. 2019 0:00	11168	18649
Stav 22. 9. 2019 9:30	11265	18674
Stav 10. 10. 2019 7:15	11296	18881
Stav 31. 10. 2019 23:45	11300	19133

Tab. 18: Tabulka hodnot vycházejících z analýzy dat

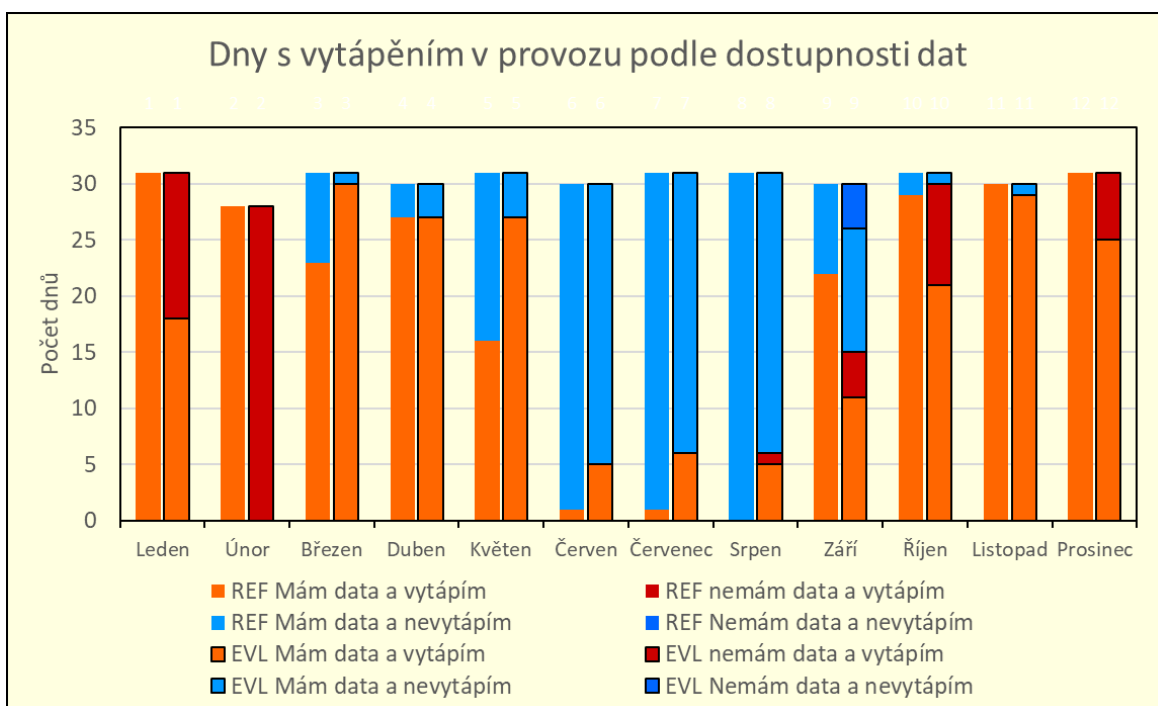
	Veličina ve schématu [jednotka]	Hodnota
Počet dní v prvním měsíci celkem	$D_{m,1}$ [dny]	31
Počet dní ve druhém měsíci celkem	$D_{m,2}$ [dny]	30
Počet dní v prvním měsíci, kdy jsou dostupná data	$D_{dos,1}$ [dny]	21,41
Počet dní v prvním měsíci, kdy nejsou dostupná data	$D_{vyp,1}$ [dny]	8,59
Počet dní ve druhém měsíci, kdy nejsou dostupná data	$D_{vyp,2}$ [dny]	9,69
Počet dní ve druhém měsíci, kdy jsou dostupná data	$D_{dos,2}$ [dny]	21,31
Naměřená energie produkovaná křbovými kamny (kalorimetr) v prvním měsíci ve dnech, kdy jsou dostupná data (kWh)	$E_{dos,1}$ [kWh]	25
Naměřená elektrická energie (elektrokotel) v prvním měsíci ve dnech, kdy jsou dostupná data (kWh)	$E_{dos,1}$ [kWh]	97
Naměřená energie kalorimetr v době, kdy nejsou dostupná data (kWh)	E_{vyp} [kWh]	207
Naměřená elektrická energie (elektrokotel) v době, kdy nejsou dostupná data (kWh)	E_{vyp} [kWh]	31
Naměřená energie produkovaná křbovými kamny (kalorimetr) ve druhém měsíci ve dnech, kdy jsou dostupná data (kWh)	$E_{dos,2}$ [kWh]	252
Naměřená elektrická energie (elektrokotel) ve druhém měsíci ve dnech, kdy jsou dostupná data (kWh)	$E_{dos,2}$ [kWh]	4

Dopočet množství energie a stavu na rozhraní měsíců se provádí přes rozdíl průměrné vnitřní a venkovní teploty vzduchu v obdobích, kdy jsou dostupná data. Z nich jsou za období dostupných dat spočteny denostupně (v září 215,3, v říjnu 293,9). Přes trojčlenku jsou dopočteny pro jednotlivé měsíce denostupně pro dny, kdy nejsou dostupná data (v září 86,4, v říjnu 134,1). Následně je pro oba energetické toky (křbová kamna, elektrokotel) pro oba měsíce zvlášť spočtena spotřeba energie na jeden denostupeň, pro dny, kdy jsou dostupná data). Pro výslednou spotřebu ve zbytku měsíce, kdy data nejsou dostupná, se použije opět trojčlenka. Výsledek pro oba měsíce se přenásobí koeficientem, aby součet spotřeby v době, kdy nejsou dostupná data v prvním a druhém měsíci, odpovídal spotřebě naměřené měřicím systémem (rozdíl odečtů před začátkem a po konci výpadku dat).

Naměřená hodnota tepla produkovaného křbovými kamny v době výpadku dat ve výši 207 kWh je pro září vypočtena na 16,7 kWh a v říjnu 190,3 kWh. Spotřeba elektrokotle během výpadku dat ve výši 31 kWh je pak rozpočítána na 29,6 kWh v září a 1,4 kWh v říjnu.

Dopočtené stavy měřicích přístrojů se ručně zapíše do kalkulačního nástroje.

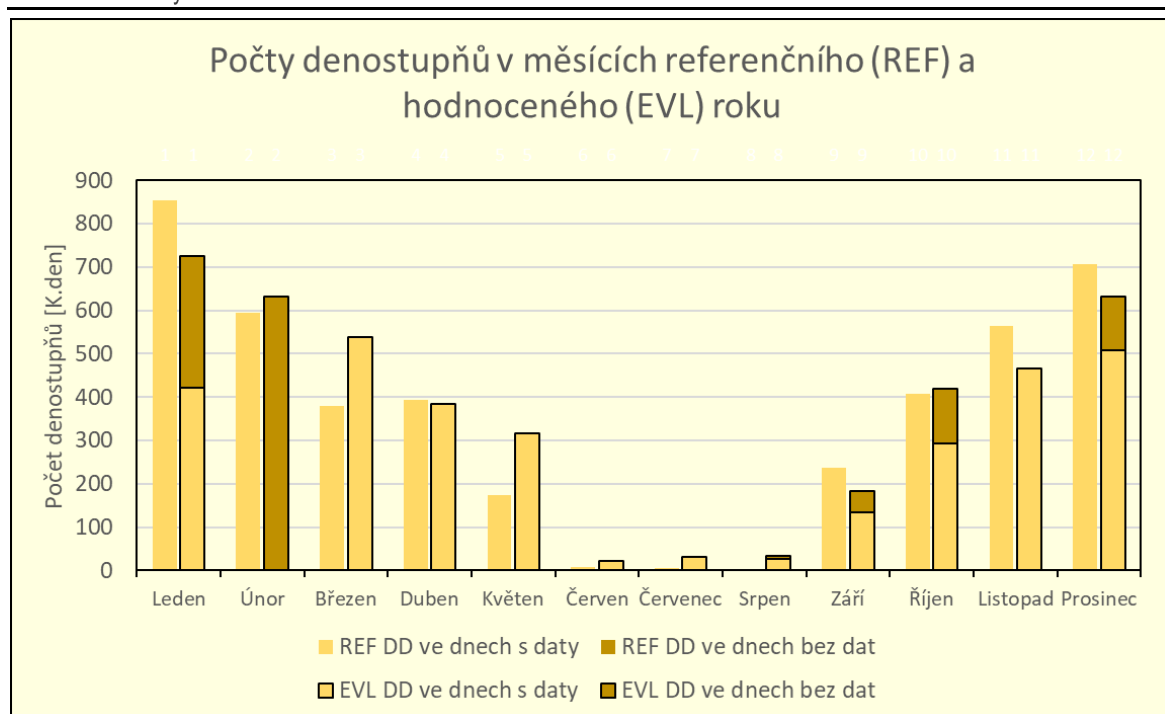
Nyní je třeba na základě dat stanovit, zda je v jednotlivých dnech v provozu systém vytápění. To je zjištěno na základě postupu zmíněném na Obr. 19 v kapitole 6.2.2. Výstupem jsou počty dnů v jednotlivých měsících referenčního a hodnoceného roku, kdy je systém vytápění v provozu. To je znázorněno na grafu na Obr. 37.



Obr. 37: Dny v jednotlivých měsících referenčního a hodnoceného roku, kdy je systém vytápění v provozu

Levé sloupce značí referenční rok, pravé hodnocený rok. Fialové odstíny barev značí, kdy je systém vytápění v provozu, modré pak, kdy je vytápění mimo provoz. Tmavší odstíny jsou dopočtené dny v době výpadků dat. V tomto případě jsou dopočtené jen dny v hodnoceném roce, protože referenční rok je kompletní.

Dále jsou na základě naměřených teplot vypočteny počty denostupňů ve dnech s daty, postup viz Obr. 20. Ve dnech bez dostupných dat se vychází z průměrného denního počtu denostupňů v daném měsíci. Počty denostupňů pro měsíce referenčního a hodnoceného roku dělené podle dnů, kdy jsou nebo nejsou dostupná data, jsou znázorněny na grafu na Obr. 38.



Obr. 38: Počty denostupňů v referenčním a hodnoceném roce

Princip zobrazení je podobný jako v předchozím diagramu, tedy že levý sloupec značí referenční rok, pravý pak hodnocený rok.

Nyní je čas začít vyhodnocovat přepočtený referenční rok (CAL) podle postupu popsaného na Obr. 21 v kapitole 6.2.2. Počet denostupňů v přepočteném referenčním roce je roven počtu denostupňů v roce hodnoceném. Pomocí trojčlenky se tak přepočte i spotřeba energie z referenčního roku na přepočtený referenční rok. Pro názornost uveďme příklad, že v březnu referenčního roku je počet denostupňů 380,3 a v březnu hodnoceného roku 538,6, tedy cca $1,41 \times$ více. $1,41 \times$ se tedy navýší i naměřená spotřeba energie na vytápění v referenčním roce. Tato zvýšená hodnota je pak v přepočteném referenčním roce. Tímto způsobem se přepočítají celkové spotřeby ve všech měsících.

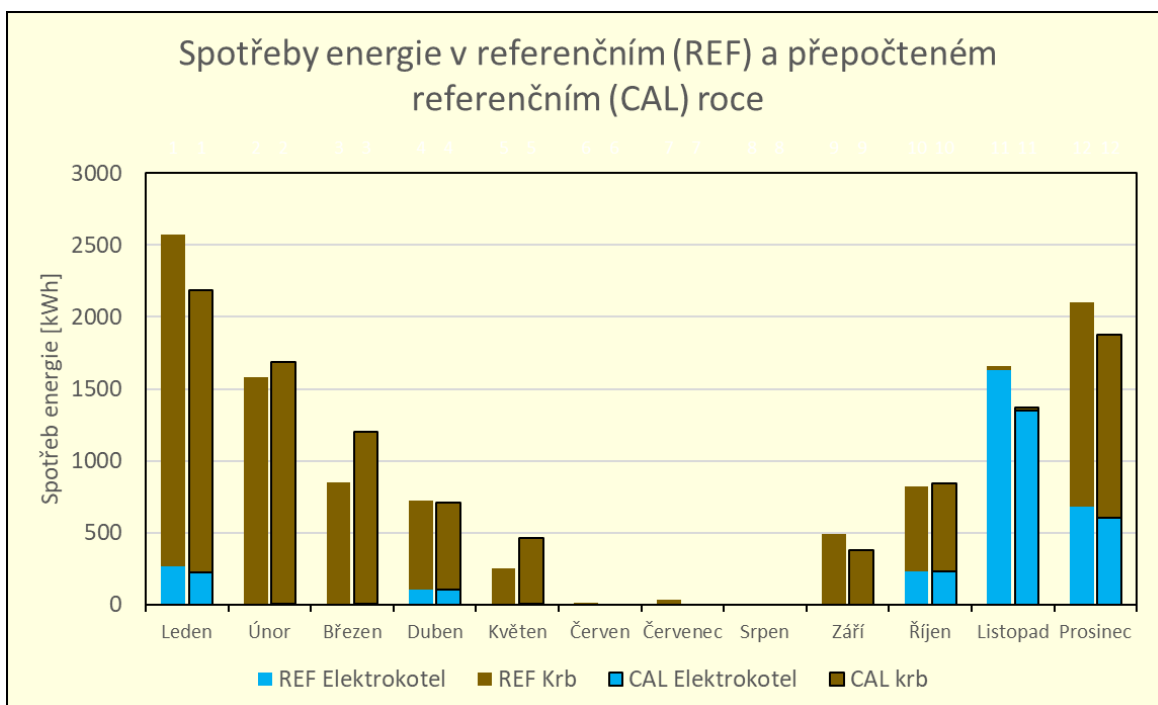
Dále se postupuje po jednotlivých dnech v souladu s výpočtovým postupem. V tzv. Fázi 0 se stanovují dny hodnoceného roku, kdy není dům vytápěn. V této fázi platí, že ve stejných dnech referenčního roku se taktéž nevytápí. Pokud se vytápí ve stejném dni referenčního a hodnoceného roku, provede se přepočet přímo pro daný den podle počtu denostupňů. Ve vývojovém diagramu je toto nazváno Fáze 1. Ve Fázi 2 se vyčtou dny, které ještě nejsou přepočtené a spotřeba energie v měsíci, která ještě nebyla rozpočtena do dnů. Tato zbývající energie je pro přepočtený hodnocený rok rozdělena do zbývajících dnů v poměru počtu denostupňů.

Na závěr je provedena kontrola, zda součet spotřeb energie po dnech odpovídá součtu spotřeb počítaných v měsíčním kroku. Pokud je zde nesoulad, denní spotřeby se přenásobí korekčním koeficientem, který odpovídá navýšení či snížení množství přepočtené energie v roce CAL počítané po jednotlivých dnech oproti měsíčnímu základnímu přepočtu.

Jako příklad uveďme měsíc leden. Měsíční spotřeba energie v přepočteném referenčním roce podle počtu denostupňů je 2188,26 kWh. Pokud postupujeme po jednotlivých dnech (v lednu je vytápění v referenčním i v hodnoceném roce provozu po celou dobu, což příklad trochu zjednodušuje), vychází pak hodnota 2199,6 kWh. Tuto hodnotu musíme snížit na původních 2188,26 kWh, tedy cca 0,9948x. Tímto koeficientem jsou tedy korigovány denní spotřeby energie.

Protože se na vytápění v tomto případě podílejí dva energonositelé, kusové dřevo a elektrická energie, je následně provedeno rozdělení celkové denní i měsíční spotřeby energie mezi tyto energonositele ve stejném poměru, v jakém jsou tyto spotřeby v původním referenčním roce s tím, že pokud v původním referenčním roce je v daném dni spotřeba nulová, dosadí se poměry za daný měsíc.

V následujícím diagramu je provedeno porovnání spotřeb energie mezi referenčním (REF) a přepočteným referenčním rokem (CAL).



Obr. 39: Spotřeby energie v preferenčním a přepočteném referenčním roce

Jak je vidět, přepočet spotřeby energie odpovídá rozdílu počtu denostupňů mezi referenčním a hodnoceným rokem (viz diagram na Obr. 39 výše). Právě sloupce tohoto diagramu pak vstupují do samotného porovnání provozní energetické náročnosti (porovnání CAL a EVL) budovy a do grafických výstupů, které budou shrnuty v kapitole 7.5.

7.4.2 Příprava teplé vody

Podobně jako u vytápění je potřeba nejprve provést odhad odečtu stavů měřicích přístrojů. Elektrokotel a krb jsou dopočteny v předchozí podkapitole. Z těchto dat se podle postupu zmíněném v kapitole 7.3 rozklíčovala spotřeba energie na přípravu teplé vody. K té je potřeba doplnit stav elektroměru, který měří spotřebu elektrické topné patrony a stav

kalorimetru sledujícího energii dodanou solárními kolektory. Stavby měřicích přístrojů v období ledna a února 2019 jsou zaznamenány v následující tabulce.

Tab. 19: Stavby na rozhraní výpadků dat (kWh)

	Patrona Elektroměr [kWh]	Solární kolektory Kalorimetr [kWh]
Stav 1. 1. 2019 0:00	1163,2	4087,0
Stav 18. 1. 2019 8:45	1179,1	4089,1
Stav 28. 2. 2019 23:45	1185,1	4203,3

Následně je potřeba vyhodnotit množství energie spotřebované během výpadku a stav měřicích přístroje na rozhraní ledna a února.

Z analýzy dostupných dat vyplývají následující hodnoty zmíněné v Tab. 20. Některé údaje se opakují z tabulky pro vytápění, ale pro úplnost je zde zopakovat.

Tab. 20: Tabulka hodnot vycházejících z analýzy dat

	Veličina ve schématu [jednotka]	Hodnota
Počet dní v prvním měsíci celkem	$D_{m,1}$ [dny]	31
Počet dní ve druhém měsíci celkem	$D_{m,2}$ [dny]	28
Počet dní v prvním měsíci, kdy jsou dostupná data	$D_{dos,1}$ [dny]	17,36
Počet dní v prvním měsíci, kdy nejsou dostupná data	$D_{vyp,1}$ [dny]	13,64
Naměřená spotřeba topné patrony v době, kdy jsou dostupná data	$E_{dos,1}$ [kWh]	15,8
Naměřená energie produkovaná solárními kolektory v době, kdy jsou dostupná data	$E_{dos,1}$ [kWh]	2,1
Naměřená spotřeba topné patrony v době, kdy nejsou dostupná data	E_{vyp} [kWh]	6,1
Naměřená energie produkovaná solárními kolektory v době, kdy nejsou dostupná data	E_{vyp} [kWh]	114,2

Spotřeba elektrické energie pro topnou patronu ve zbytku ledna je doložena trojčlenkou podle počtu dnů následovně:

$$E_{vyp,1} = \frac{E_{dos,1}}{D_{dos,1}} \cdot D_{vyp,1} = \frac{15,8}{17,36} \cdot (13,64) = 17,8 \text{ kWh} \quad (11)$$

V lednu tedy vychází spotřeba elektrické energie na ohřev vody topnou patronou 17,8 kWh (z toho 2 kWh v době výpadku dat), za únor pak topná patrona spotřebovala 4,1 kWh.

Pro solární kolektory je výpočet obdobný. Z odhadu vyplývá, že spotřeba energie solárními kolektory v lednových dnech, kdy nejsou dostupná data, je 39,5 kWh (z toho 37,4 kWh v době výpadku dat) a za únor pak 76,8 kWh. V obou případech došlo k rozdělení celkové naměřené spotřeby rovnoměrně do dnů.

Podíváme-li se na odhad stavů na přelomu září a října, jako vstup slouží následující tabulky.

Tab. 21: Stav na rozhraní výpadků dat

	Patrona Elektroměr [kWh]	Solární kolektory Kalorimetr [kWh]
Stav 1. 9. 2019 0:00	1222,5	5442,3
Stav 22. 9. 2019 9:30	1234,9	5547,5
Stav 10. 10. 2019 7:15	1259,1	5615,5
Stav 31. 10. 2019 23:45	1260,6	5713,5

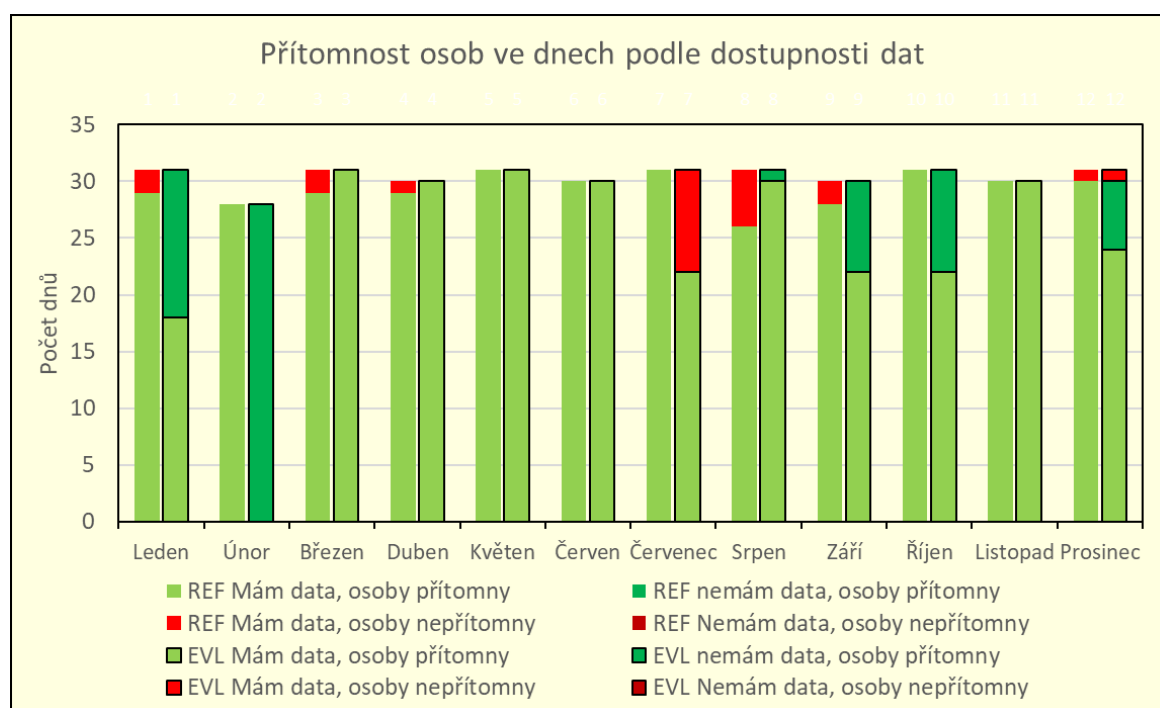
Tab. 22: Tabulka hodnot vycházejících z analýzy dat

	Veličina ve schématu [jednotka]	Hodnota
Počet dní v prvním měsíci celkem	$D_{m,1}$ [dny]	31
Počet dní ve druhém měsíci celkem	$D_{m,2}$ [dny]	30
Počet dní v prvním měsíci, kdy jsou dostupná data	$D_{dos,1}$ [dny]	21,41
Počet dní v prvním měsíci, kdy nejsou dostupná data	$D_{vyp,1}$ [dny]	8,59
Počet dní ve druhém měsíci, kdy nejsou dostupná data	$D_{vyp,2}$ [dny]	9,69
Počet dní ve druhém měsíci, kdy jsou dostupná data	$D_{dos,2}$ [dny]	21,31
Naměřená energie spotřebovaná topnou patronou v prvním měsíci ve dnech, kdy jsou dostupná data	$E_{dos,1}$ [kWh]	12,4
Naměřená energie produkovaná solárními kolektory v prvním měsíci ve dnech, kdy jsou dostupná data	$E_{dos,1}$ [kWh]	105,2
Naměřená energie spotřebovaná topnou patronou v době, kdy nejsou dostupná data	E_{vyp} [kWh]	24,2
Naměřená energie produkovaná solárními kolektory v době, kdy nejsou dostupná data	E_{vyp} [kWh]	68
Naměřená energie spotřebovaná topnou patronou ve druhém měsíci ve dnech, kdy jsou dostupná data	$E_{dos,2}$ [kWh]	1,5
Naměřená energie produkovaná solárními kolektory ve druhém měsíci ve dnech, kdy jsou dostupná data	$E_{dos,2}$ [kWh]	98

Spotřeba elektrické topné patrony v době výpadku dat je rozdělena v počtu dnů, vychází tedy 23,8 kWh za září (z toho 11,4 kWh v době výpadku dat), v říjnu pak 37,0 kWh (z toho 12,8 kWh v době výpadku dat).

Energie produkovaná solárními kolektory je dopočtena tak, že je spočítána dávka slunečního záření za období, kdy jsou dostupná data, pro září i pro říjen. Z toho je dopočtena denní průměrná dávka v září a v říjnu. Následně je spočtena odděleně pro září a pro říjen předpokládaná dávka slunečního záření v období, kdy nejsou dostupná data. V poměru září:říjen je rozdělena produkovaná energie solárními kolektory. Výsledkem je produkce solárními kolektory 145,6 kWh v září (z toho 40,4 kWh za dobu bez dostupných dat) a 125,6 kWh v říjnu (z toho 27,6 kWh v době bez dostupných dat).

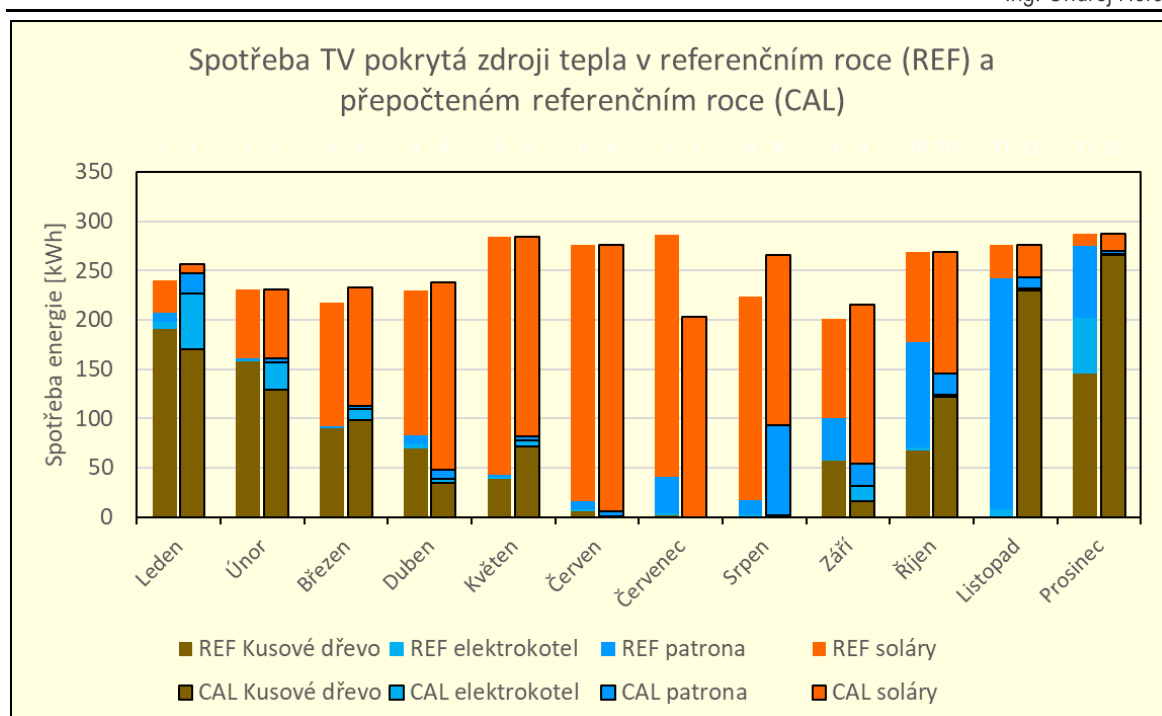
Jako okrajová podmínka pro přepoččet spotřeby energie na přípravu teplé vody slouží přítomnost osob v domě během dne. Vzhledem k tomu, že nejsou dostupné údaje ze systému zabezpečení a hodiny, kdy byl dům zastřežen, byla přítomnost osob odhadnuta na základě výkyvu koncentrace CO₂ v obytných místnostech a spotřeby studené a teplé vody za den. Dále proběhl dopočet předpokládaných dnů přítomnosti a nepřítomnosti osob v době, kdy systém nedodával data. Výsledné počty dnů s přítomností a nepřítomností osob vycházejí z postupu popsáném na Obr. 23 v kapitole 6.3.2. a jsou znázorněny v následujícím diagramu na Obr. 40.



Obr. 40: Přítomnost osob ve dnech s daty a bez dat pro referenční a hodnocený rok

Výstup je podobný jako u detekce vytápění v předchozí kapitole. Z analýzy je patrné, že osoby jsou přítomny téměř po celý rok. Nicméně rozdíly v přítomnosti a nepřítomnosti osob je pro účely přepočteného referenčního roku nutné brát v potaz.

Porovnání původního referenčního roku REF a přepočteného referenčního roku CAL podle jednotlivých energonositelů je provedeno v následujícím diagramu.



Obr. 41: Porovnání původního a přepočteného referenčního roku v pokrytí potřeby tepla na přípravu TV jednotlivými zdroji energie

Z diagramu jsou patrné dvě skutečnosti. První z nich je, že celková měsíční spotřeba se mění dle počtu dnů s předpokládanou přítomností osob. Dále je patrný rozdíl pokrytí spotřeba solárními kolektory, který je dán rozdílnou sumou dopadajícího slunečního záření mezi referenčním a hodnoceným rokem. Přepočtený referenční rok vychází ze slunečního záření pro hodnocený rok dle postupu na Obr. 24 a Obr. 25 v kapitole 6.3.2.

7.4.3 Osvětlení + Větrání

Tak jako u přípravy TV, i zde se nejprve dopočítají stavy elektroměru na rozhraní měsíců s výpadky dat.

Tab. 23: Stavy na rozhraní výpadků dat (kWh)

	Osvětlení Elektroměr [kWh]
Stav 1. 1. 2019 0:00	2085,9
Stav 18. 1. 2019 8:45	2114,5
Stav 28. 2. 2019 23:45	2184,3

Následně je potřeba vyhodnotit množství energie spotřebované během výpadku a stav měřícího přístroje na rozhraní ledna a února.

Z analýzy dostupných dat vyplývají následující hodnoty zmíněné v Tab. 24. Některé údaje se opakují z tabulky pro vytápění, ale pro úplnost je vhodné je zde zopakovat.

Tab. 24: Tabulka hodnot vycházejících z analýzy dat

	Veličina ve schématu [jednotka]	Hodnota
Počet dní v prvním měsíci celkem	$D_{m,1}$ [dny]	31
Počet dní ve druhém měsíci celkem	$D_{m,2}$ [dny]	28
Počet dní v prvním měsíci, kdy jsou dostupná data	$D_{dos,1}$ [dny]	17,36
Počet dní v prvním měsíci, kdy nejsou dostupná data	$D_{vyp,1}$ [dny]	13,64
Naměřená spotřeba elektrické energie na osvětlení v době, kdy jsou dostupná data	$E_{dos,1}$ [kWh]	28,6
Naměřená spotřeba elektrické energie na osvětlení v době, kdy nejsou dostupná data	E_{vyp} [kWh]	69,8

Spotřeba elektrické energie pro topnou patronu ve zbytku ledna je dopočtena trojčlenkou podle počtu dnů následovně:

$$E_{vyp,1} = \frac{E_{dos,1}}{D_{dos,1}} \cdot D_{vyp,1} = \frac{28,6}{17,36} \cdot (13,64) = 22,9 \text{ kWh}$$

V lednu tedy vychází spotřeba elektrické energie na osvětlení 51,5 kWh (z toho 22,9 kWh v době výpadku dat), za únor pak topná patrona spotřebovala 46,9 kWh.

Na přelomu září a října je výpočet taktéž obdobný, viz následující tabulky

Tab. 25: Stav na rozhraní výpadků dat

	Osvětlení Elektroměr [kWh]
Stav 1. 9. 2019 0:00	2483,4
Stav 22. 9. 2019 9:30	2518,8
Stav 10. 10. 2019 7:15	2549,6
Stav 31. 10. 2019 23:45	2587,0

Tab. 26: Tabulka hodnot vycházejících z analýzy dat

	Veličina ve schématu [jednotka]	Hodnota
Počet dní v prvním měsíci celkem	$D_{m,1}$ [dny]	31
Počet dní ve druhém měsíci celkem	$D_{m,2}$ [dny]	30
Počet dní v prvním měsíci, kdy jsou dostupná data	$D_{dos,1}$ [dny]	21,41
Počet dní v prvním měsíci, kdy nejsou dostupná data	$D_{vyp,1}$ [dny]	8,59
Počet dní ve druhém měsíci, kdy nejsou dostupná data	$D_{vyp,2}$ [dny]	9,69
Počet dní ve druhém měsíci, kdy jsou dostupná data	$D_{dos,2}$ [dny]	21,31
Naměřená spotřeba elektrické energie na osvětlení v prvním měsíci ve dnech, kdy jsou dostupná data	$E_{dos,1}$ [kWh]	35,4
Naměřená spotřeba elektrické energie na osvětlení v době, kdy nejsou dostupná data	E_{vyp} [kWh]	30,8
Naměřená spotřeba elektrické energie na osvětlení ve druhém měsíci ve dnech, kdy jsou dostupná data	$E_{dos,2}$ [kWh]	37,4

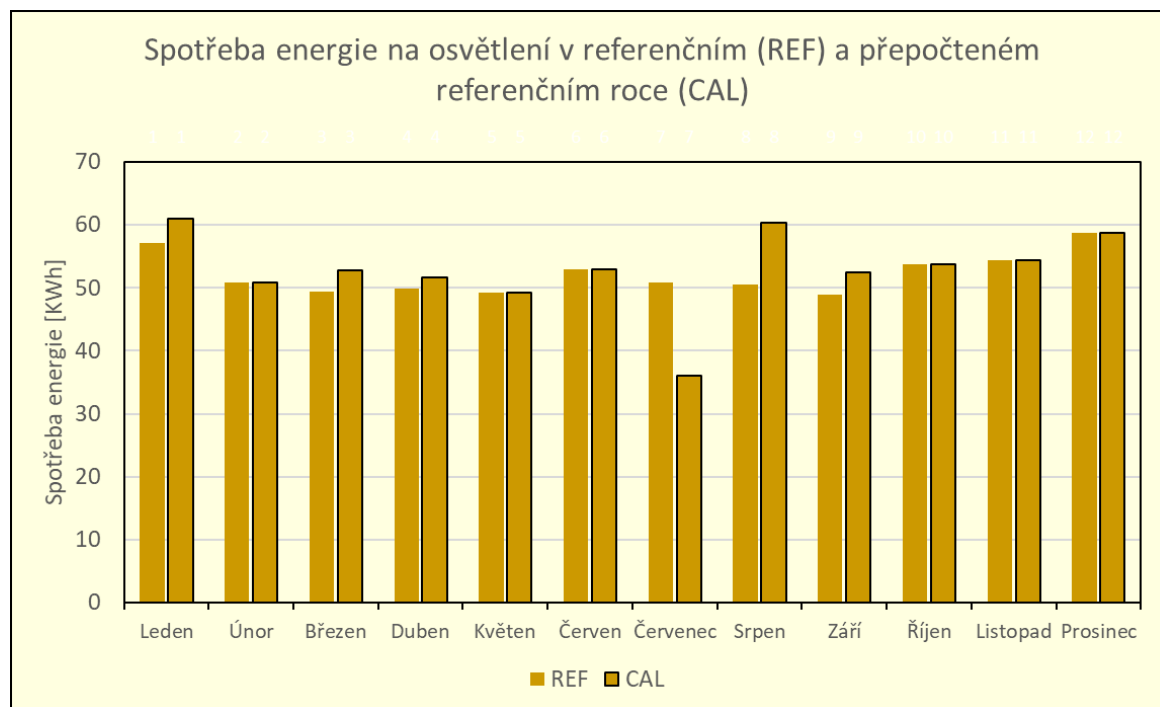
Spotřeba elektrické energie na osvětlení v době výpadku dat je rozdělena v počtu dnů, vychází tedy 49,9 kWh za září (z toho 14,5 kWh v době výpadku dat), v říjnu 53,7 kWh (z toho 16,3 kWh v době výpadku dat).

Postup přepočtu referenčního na přepočtený referenční rok je obdobný jako u přípravy teplé vody, vychází totiž ze dnů provozu budovy. Osvětlení a větrání je zde počítáno dohromady, jelikož u nich autor předpokládá, že se odtahové ventilátory spínají současně s osvětlením daných místností. Dle normy ČSN 33 2130 [62] se počítá též s doběhem odtahových ventilátorů po vypnutí osvětlení v koupelně či na WC. Dále lze předpokládat, že odtahové ventilátory pracují i po dobu nepřítomnosti osob, aby zajistily trvalé hygienické větrání objektu rodinného domu.

Přítomnost osob v budově je detekována stejně jako u přípravy TV, neboť větrání je zahrnuto pod osvětlením, výstup detekce je zmíněn v předchozí kapitole.

Měsíční spotřeby energie na osvětlení jsou známy z naměřených dat, případně doložené na přelomu ledna s únorem a září se říjnem, kdy došlo k výpadkům dat. Ve dnech, kdy data nejsou dodávána, ale předpokládá se přítomnost osob, je nerozklíčovaná spotřeba rozložena rovnoměrně.

Následně je proveden výpočet přepočteného referenčního roku CAL, a to nejprve tak, že v jednotlivých měsících přepočteného referenčního roku je stejný počet dní bez přítomnosti osob jako v roce hodnoceném. Jako příklad uveďme červenec, kdy v referenčním roce jsou osoby přítomny ve 31 dnech, v hodnoceném pouze ve 22 dnech, tedy v cca 71 % dnů. Spotřeba přepočteného referenčního roku oproti původnímu referenčnímu roku je tedy o 29 % nižší. A tato hodnota je porovnána ve výstupech. Porovnání původního referenčního roku (REF) s přepočteným referenčním rokem (CAL) je provedeno v následujícím diagramu.



Obr. 42: Spotřeba energie na osvětlení v referenčním roce (REF) a přepočteném referenčním roce (CAL)

Jak je v diagramu vidět, kromě letních měsíců, není spotřeba v přepočteném referenčním roce příliš ovlivněna. Do porovnání s hodnoceným rokem (viz výstupy v kapitole 7.5) tak vstupují hodnoty z pravých sloupců. V červenci je v hodnoceném roce o 29 % nižší počet dnů s přítomností osob, proto musí být v přepočteném referenčním roce spotřeba snížena. V srpnu je to naopak.

Dále je potřeba provést srovnání na denní bázi v souladu s výpočtem popsáním v kapitole 6.5. Nejprve se hlídají dny přítomnosti osob v hodnoceném roce. Pokud osoby nejsou přítomny, počítá se s tím, že nejsou přítomny ani ve stejných dnech přepočteného referenčního roku a spotřeba v ten den je nulová. Pokud jsou osoby přítomny v hodnoceném i přepočteném referenčním roce, provede se prosté srovnání spotřeb energie. Zbývající dny (v hodnoceném roce osoby přítomny, v původním referenčním ovšem ne, ale v přepočteném referenčním ano) přepočteného referenčního roku se dopočítají v tzv. 2. fázi, kdy se dosud nerozpočítaná spotřeba energie rozdělí rovnoměrně mezi ně. Nakonec se opět provede kontrola, zda součet spotřeb po dnech odpovídá celkové měsíční spotřebě na základě přepočtu přes počet dnů s přítomností osob. Pokud ne, násobí se denní spotřeby korekčním činitelem a výsledky jsou pak zobrazeny v uživatelském rozhraní.

7.4.4 Energonositelé

Do energetické bilance vstupují celkem 3 energonositelé: Elektrická energie (osvětlení, část vytápění a přípravy TV), kusové dřevo (vytápění, příprava TV) a solární energie (příprava TV), viz schéma energetických toků na Obr. 35 v kapitole 6.6.

V případové studii je přepočítáván pouze jeden energonositel, a to produkce tepla solárními kolektory, která vychází z odběru teplé vody a množství dopadajícího slunečního záření. Postup tohoto přepočtu je znázorněn na vývojovém diagramu na Obr. 24 a Obr. 25 v kapitole 6.3.2.

V případě vytápění je vypočtena nejprve celková spotřeba energie v přepočteném referenčním roce CAL. Ta je rozdělena mezi jednotlivé energonositele ve stejném poměru jako v roce referenčním REF. Poměr energonositelů je závislý na chování uživatelů, případných výpadech dodávek kusového dřeva. Chování uživatelů není v přepočtu na rok CAL zohledňováno.

V případě přípravy TV je proveden výše zmíněný přepočet dodávky tepla solárními kolektory. Elektrická energie spotřebovaná topnou patronou se přepočítá snadno, neboť je samostatně měřena, a to pomocí dnů přítomnosti osob v jednotlivých měsících. Ostatní zdroje jsou, podobně jako v případě vytápění, rozděleny ve stejném poměru jako v původním referenčním roce. Důležité je zmínit, že celkový součet všech zdrojů v přepočteném referenčním roce odpovídá počtu dnů s přítomností osob v roce hodnoceném.

Osvětlení není na energonositele děleno, je pokryto jen elektrickou energií.

7.5 Výstupy

Výstupy ve formě uživatelského rozhraní vycházejí ze struktury a grafické úpravy výstupů, na kterých se autor této disertační práce podílel v projektu TRIO [36].

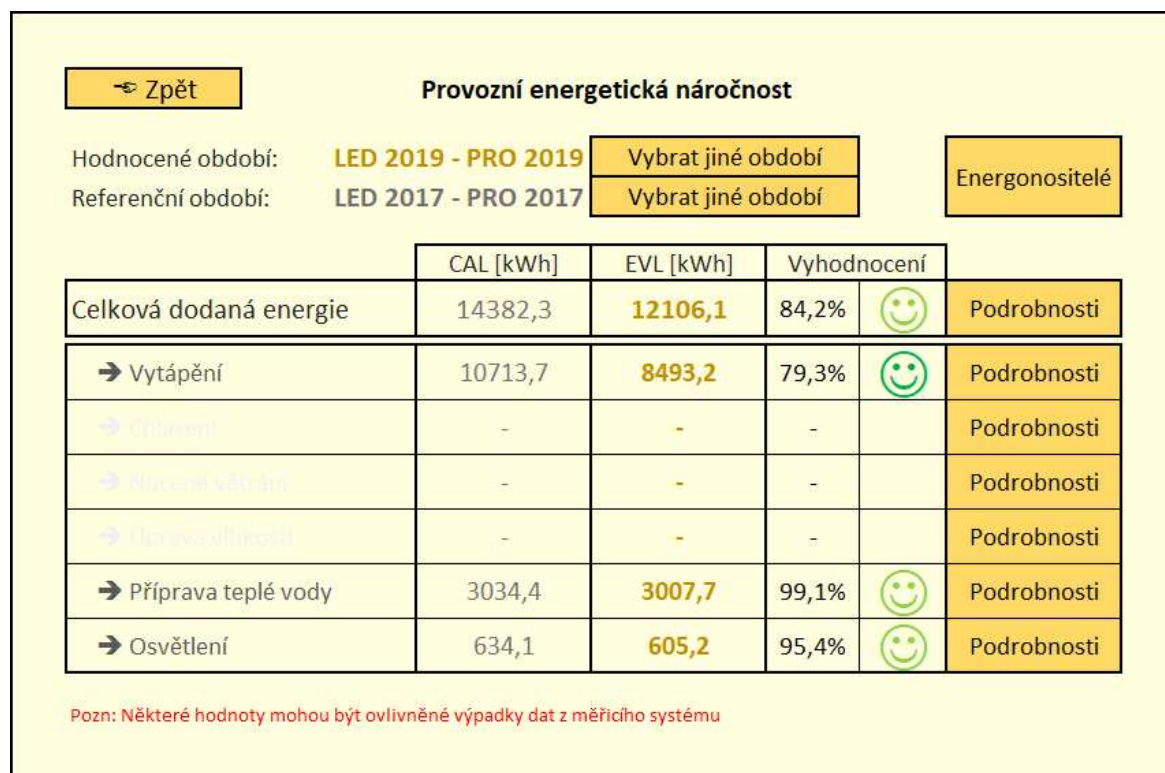
Hlavní grafické rozhraní je znázorněno na Obr. 43. Toto rozhraní shrnuje jednotlivé dílčí dodané energie v hodnoceném roce (EVL) a přepočteném referenčním roce (CAL). Tyto dva roky jsou mezi sebou porovnány, což je vyjádřeno procentuálně. Hodnocení je doplněno o emotikon, který značí, zda došlo v budově v hodnoceném roce k úspoře vůči roku přepočteném referenčnímu.

Všechny tmavší obdélníčky mají sloužit jako tlačítka, jimiž se uživatel dostane do dalších analýz. Tlačítko „Energonositelé“ přenese uživatele do hodnocení primárních energií a jejich užití v budově. Tlačítko „Zpět“ vlevo nahoře uživatele dostane do nadřazeného rozhraní (v případě tohoto hlavního rozhraní je uživatel přesunut do hlavního inteligentního systému budovy). Dále je zde možnost vybrat hodnocené období a referenční rok. U každé dodané energie je tlačítko „Podrobnosti“, které zobrazí měsíční vyhodnocení.

Jsou-li v datech dlouhodobější výpadky (v řádu dnů), zobrazí se na rozhraní poznámka, že jimi data mohou být ovlivněna.

Z hlavního rozhraní je patrné, že porovnáme-li přepočtený referenční rok 2017 s hodnoceným rokem 2019, dochází k úspoře energie především na vytápění, a to o cca 20 %. Příprava

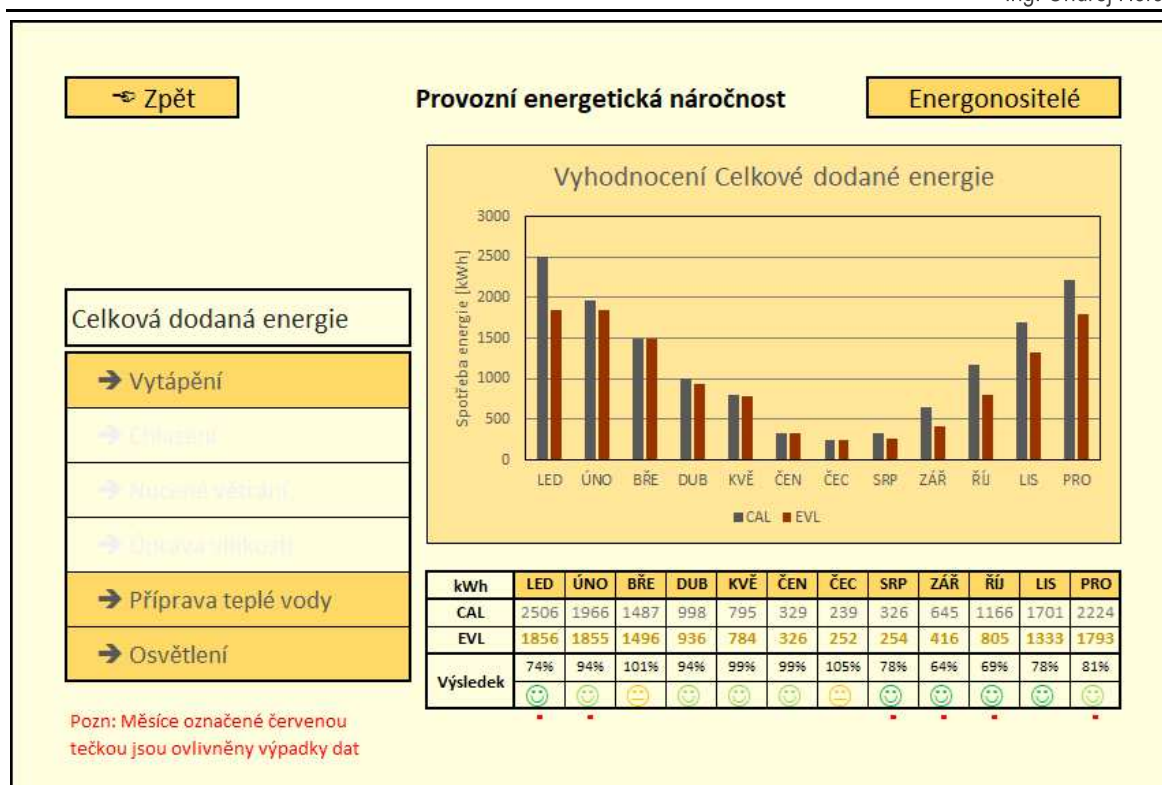
TV a osvětlení má v hodnoceném roce téměř totožnou spotřebu energie jako v přepočteném referenčním roce.



Obr. 43: Hlavní grafické rozhraní

7.5.1 Souhrnné měsíční výstupy – celkové dodaná energie a dílčí dodané energie

Po rozkliknutí podrobností se zobrazí měsíční analýza spotřeb energie. Celková dodaná energie je vyhodnocena na následujícím obrázku.



Obr. 44: Grafické rozhraní – měsíční vyhodnocení celkové dodané energie

Měsíční hodnocení celkové dodané energie a dalších dílčích dodaných energií je principiálně stejné. V levé části lze přepínat mezi jednotlivými dílčími dodanými energiemi, pokud jsou v budově využívány. Vpravo nahoře je pak možnost dělení dílčích dodaných energií mezi energonositele.

V průměrném rodinném domě není přítomno chlazení a úprava vlhkosti vzduchu, větrání domu je započítáno pod osvětlení (důvody jsou zmíněny v kapitole 7.4.3.), proto tyto tři dodané energie nelze rozklíknout a jsou jen šedě popsány.

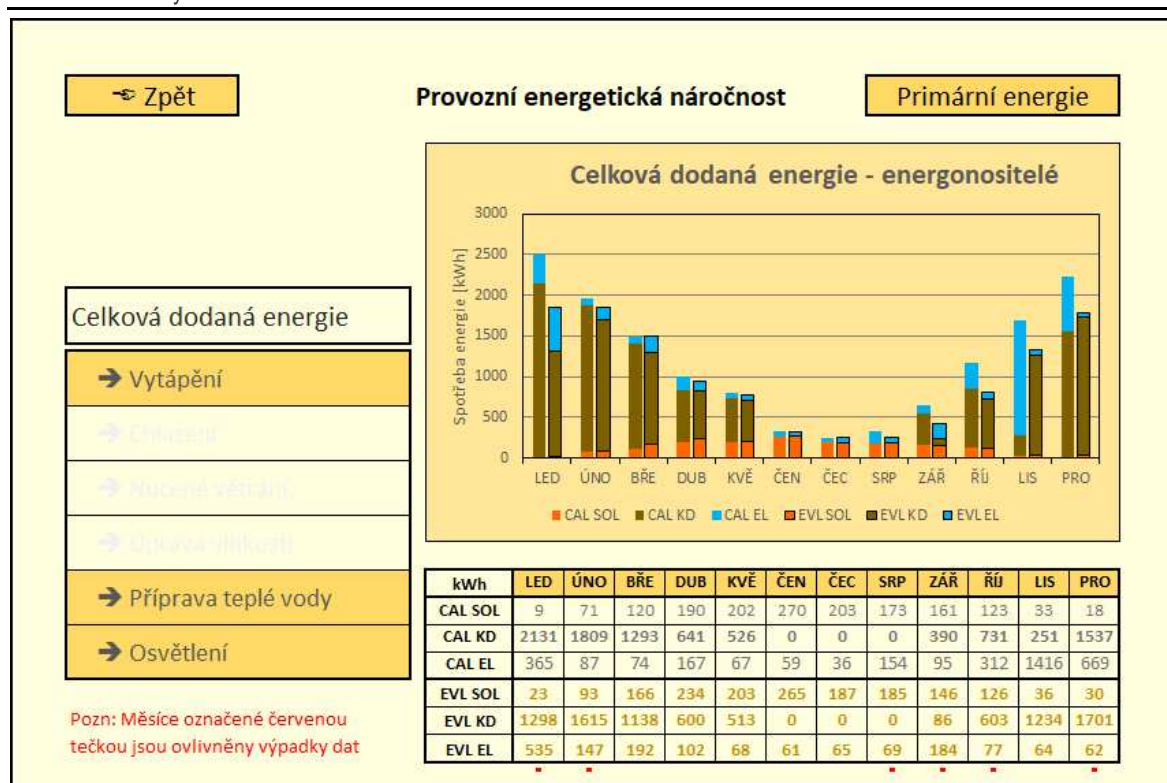
Tabulka vlevo dole je vyhodnocení spotřeb mezi hodnoceným a přepočteným referenčním rokem podobně, jako tomu je v hlavním grafickém rozhraní. Stejně tak je provedeno procentuální hodnocení a grafické hodnocení pomocí emotikonu.

Dochází-li v jednotlivých měsících v výpadkům dat v řádu dnů, zobrazí se pod každým měsícem červená tečka, která upozorňuje na ovlivněná data.

Při kliknutí na název měsíce lze zobrazit denní analýzu celkové dodané energie.

Jak je z výpočtu patrné, v hodnoceném roce je až na výjimky spotřeba energie nižší než v přepočteném referenčním roce. Může to být způsobeno tím, že referenční rok je teprve druhým rokem provozu budovy a hodnocený rok je o dva roky dále, čili se provoz domu mohl postupně ustalovat s tím, jak si na dům jeho uživatelé zvykali.

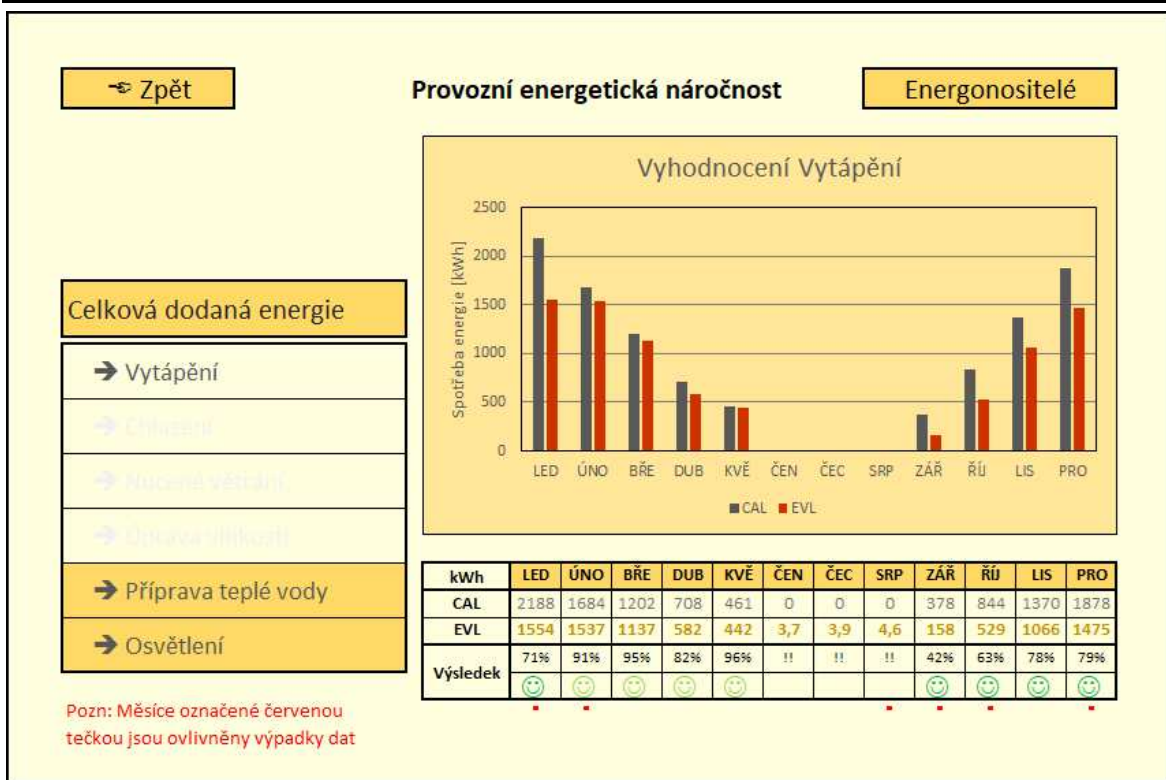
Rozdělení celkové dodané energie mezi energonositele je znázorněno na následujícím obrázku.



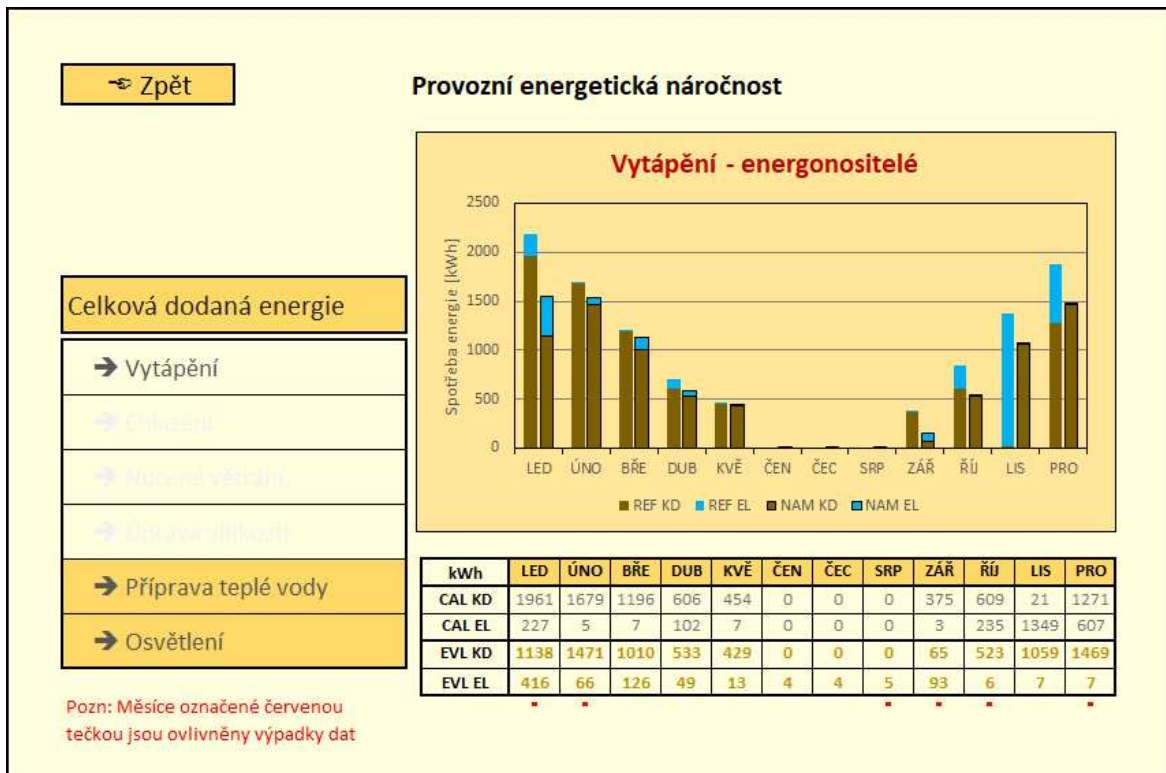
Obr. 45: Celková dodaná energie – měsíční vyhodnocení – dělení podle energonositelů

Každá dílčí dodaná energie je rozdělena do energonositelů, které dají uživateli informaci o využívání jednotlivých energonositelů v budově. Největší rozdíl je zde patrný v listopadu, kdy v referenčním roce uživatelé častěji upřednostňovali elektrickou energii před kusovým dřevem než v roce hodnoceném. To velmi výrazně ovlivní hodnocení primární energie z neobnovitelných zdrojů (viz Obr. 51). Z tohoto grafického výstupu je taktéž patrné, jak velkým podílem se na energetické bilanci podílí solární energie.

V následujících výstupech jsou provedena podrobná měsíční hodnocení dílčích dodaných energií a jejich rozdělení na energonositele pro vytápění, přípravu teplé vody a osvětlení.



Obr. 46: Měsíční vyhodnocení dílčí dodané energie na vytápění

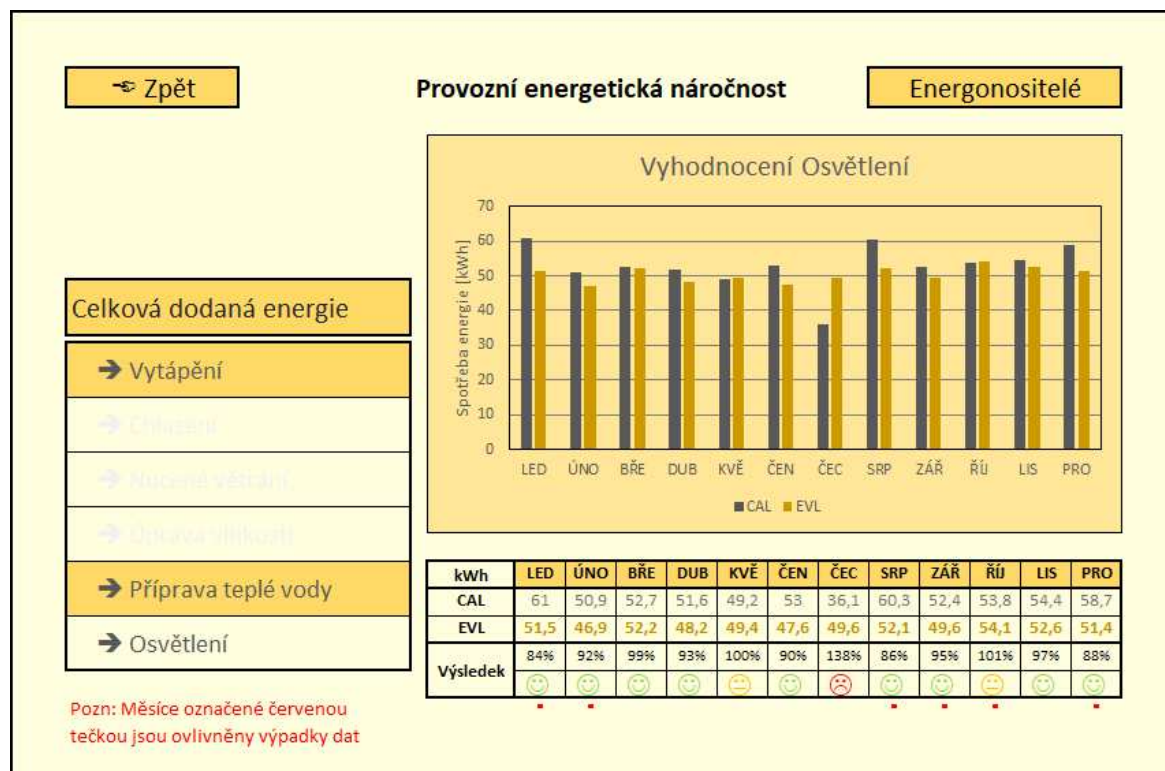


Obr. 47: Dílčí dodaná energie na vytápění – měsíční srovnání – ergonositelé

Vzhledem k tomu, že vytápění zabírá více než 70 % celkové dodané energie, jsou diagramy na první pohled podobné právě celkové energii. Je patrné, že došlo k poklesu spotřeby

energie na vytápění, což může být dáno již zmíněným důvodem sžívání uživatelů s jejich novým domem. Dále je možné si všimnout, že v hodnoceném roce jsou naměřeny drobné spotřeby elektrické energie na vytápění i v letních měsících. Tyto spotřeby skutečně vycházejí z dat a patrně se jedná o spotřebu energie ve standby režimu elektrokotle. V daných měsících je v rámci výpočtového nástroje vyhodnoceno, že dům není vytápěn, proto v přepočteném referenčním roce spotřeba nulová (byť v původním referenčním roce je zaznamenána opět podobná zanedbatelná spotřeba).

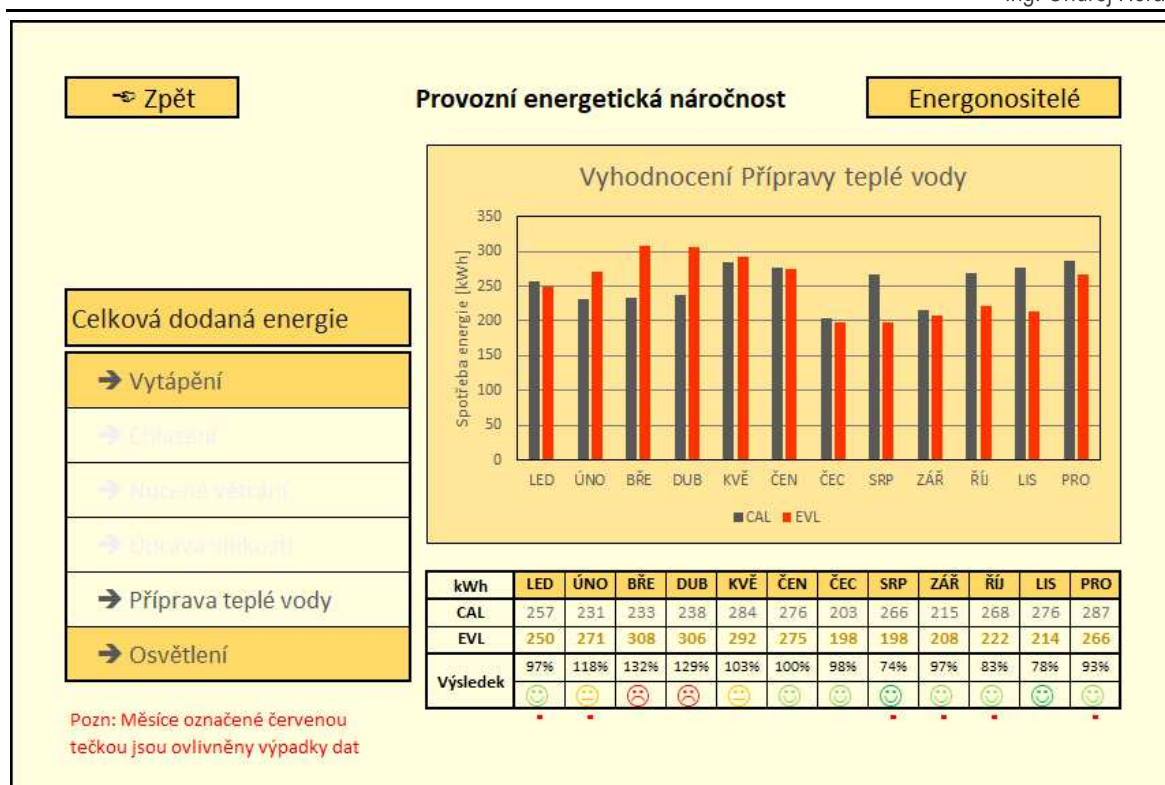
Dále je provedeno vyhodnocení osvětlení. Zde jen dílčí dodaná energie, osvětlení je pokryto pouze elektrickou energií.



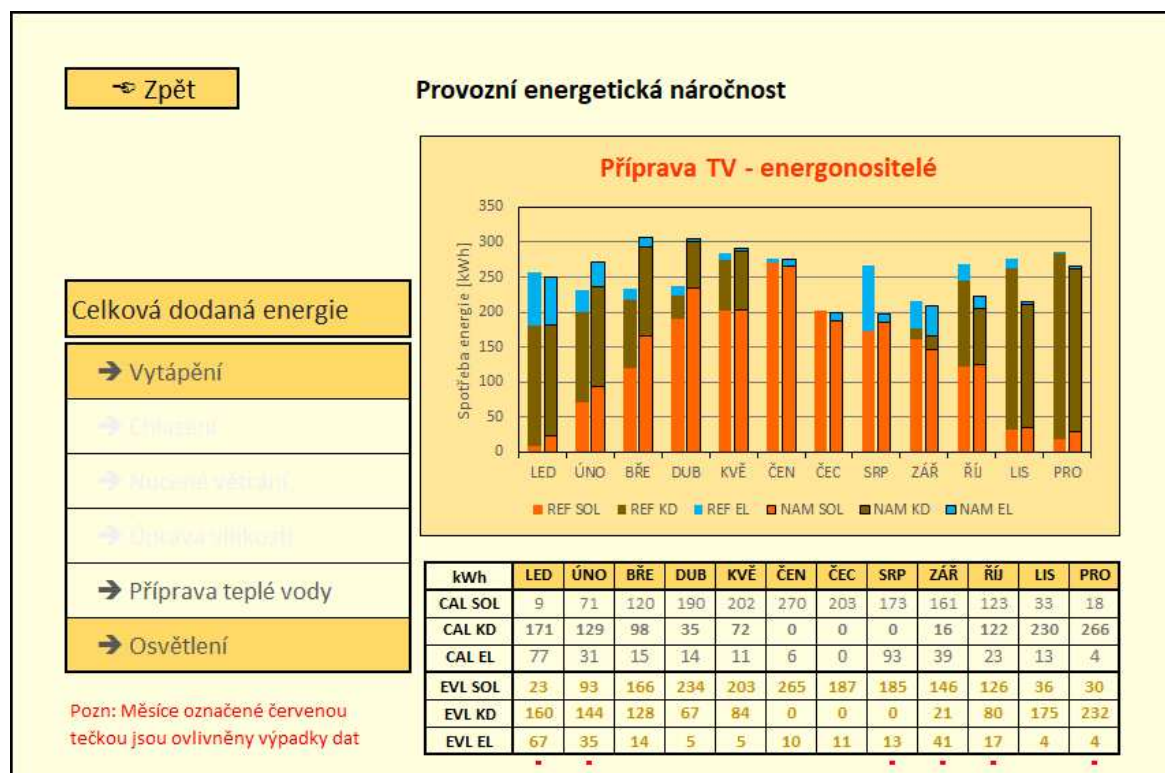
Obr. 48: Měsíční vyhodnocení dílčí dodané energie na osvětlení (+větrání)

Z diagramu je patrné, že spotřeba energie na osvětlení je v roce víceméně konstantní. To pravděpodobně potvrzuje informaci, že dům je kontinuálně podtlakově větrán a větrání je napojeno na světelné obvody. Tuto domněnku potvrzuje i výkyv v červenci a srpnu přepočteného referenčního roku. Z dat vyplývá, že v červenci hodnoceného roku je jen 22 dnů s přítomností osob, v referenčním roce pak 31 dnů. Proto se spotřeba v přepočteném referenčním roce snižuje na 22/31. Naopak v srpnu je v hodnoceném roce 31 dnů s přítomností osob, ale v referenčním roce jen 26, proto se srpnová spotřeba zvyšuje 31/26×. Pokud by se jednalo jen o osvětlení, výkyv by byl pravděpodobně menší nebo žádný. Ale tím, že je budova pravděpodobně kontinuálně větrána bez ohledu na přítomnost osob, může dojít k nepřesnostem v přepočtu. Autor proto doporučuje spotřebu na osvětlení a na větrání měřit pro korektní přepočty odděleně.

Nakonec je vyhodnocena příprava teplé vody, viz následující dva obrázky.



Obr. 49: Měsíční vyhodnocení dílčí dodané energie na přípravu teplé vody



Obr. 50: Dílčí dodaná energie na přípravu TV – měsíční srovnání – energonositelé

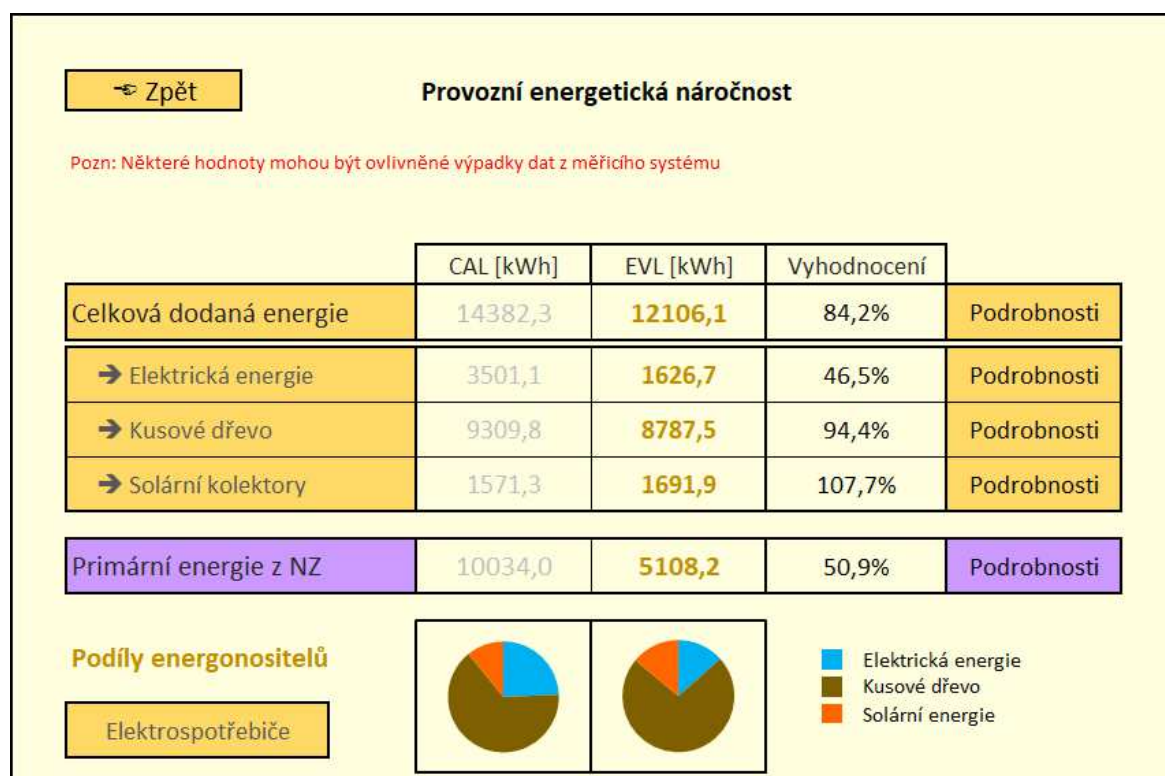
Podle očekávání je spotřeba energie na přípravu teplé vody během zobrazovaného roku téměř konstantní. Výkyvy jsou pouze v měsících, kdy je větší počet dní bez přítomnosti osob. V hodnoceném roce se jedná o červenec. Dále je patrný podíl solární energie na

přípravě teplé vody. V letních měsících dosahuje téměř 100 %. V rámci celého roku se solární energie na přípravě teplé vody podílí cca z 53 %.

7.5.2 Souhrnné měsíční výstupy – primární energie z neobnovitelných zdrojů, energonositele

Tato podkapitola se věnuje jednotlivým energonositelům, primární energii z neobnovitelných zdrojů.

Základní rozhraní věnující se energonositelům a primárním energiím je znázorněno níže na Obr. 51.



Obr. 51: Grafické rozhraní – energonositele, primární energie, elektrospotřebiče

Vyhodnocení je velmi podobné jako u základního souhrnu, tedy přepočtený referenční rok v prvním sloupci, hodnocený rok ve druhém sloupci a procentuální vyjádření ve třetím sloupci. Zde není provedeno vyhodnocení pomocí emotikonů, neboť by mohlo být zavádějící (u produkce solárními kolektory se hodnocení s rostoucími procenty zlepšuje, u ostatních spotřeb se zhoršuje). Hodnocení pomocí emotikonů je provedeno v měsíčních analýzách.

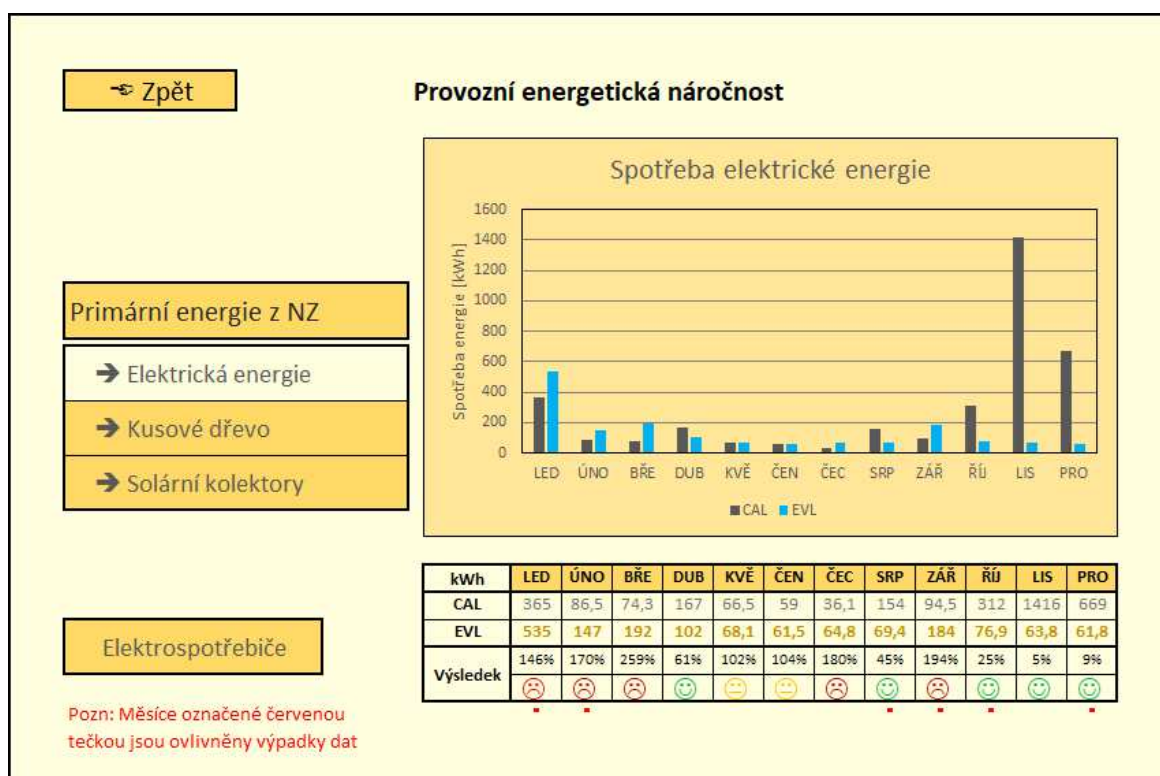
Stejně jako u dílčích dodaných energií i zde je možnost si rozkliknout podrobnější analýzy spotřeb v měsíčním kroku.

Hlavní obrazovka dále obsahuje vyhodnocení primární energie z neobnovitelných zdrojů, neboli hodnoty spotřeb jednotlivých energonositelů přenásobených jejich faktory primární energie. Zhodnoceny jsou formou koláčových grafů taktéž podíly energonositelů v přepočteném referenčním roce a v hodnoceném roce.

Vlevo dole je pak odkaz na samostatné vyhodnocení spotřeby elektrické energie domácími spotřebiči.

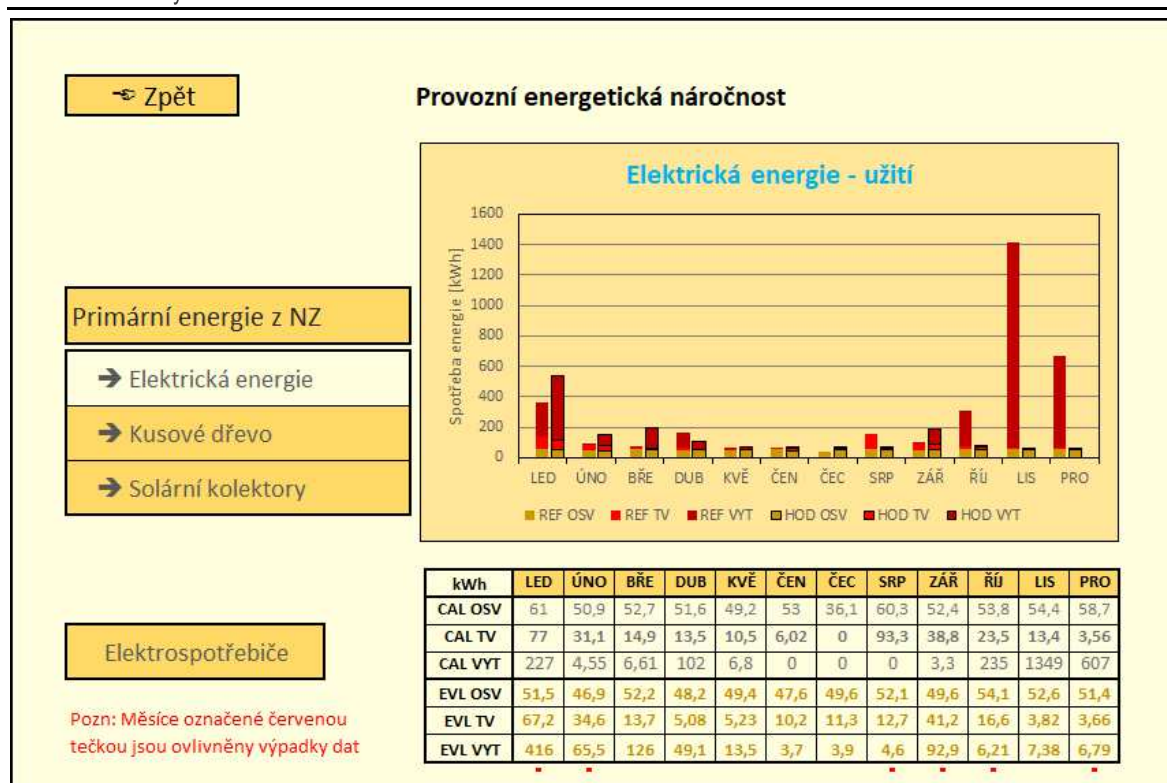
Jak naznačuje základní výstup, je v hodnoceném roce o cca 15 % nižší spotřeba energie oproti roku přepočtenému referenčnímu (CAL). Rozdělíme-li celkovou spotřebu mezi energonositele, je patrný výrazný pokles spotřeby elektrické energie, a to o více než polovinu, ale jen drobný pokles spotřeby kusového dřeva. Již z tohoto vyplývá, že uživatelé domu v hodnoceném roce více upřednostňovali kusové dřeva před elektrickou energií na vytápění a přípravu TV. Dále je patrný mírný nárůst produkce tepla solárními kolektory.

Měsíční analýzy spotřeb energonositelů jsou zmíněny níže. První je na Obr. 52 znázorněna analýza spotřeby elektrické energie.



Obr. 52: Spotřeba elektrické energie – měsíční srovnání

Z analýzy je patrné, že na konci roku 2019 je spotřeba elektrické energie výrazně nižší než v přepočteném referenčním roce 2017. Toto snížení je způsobeno upřednostněním kusového dřeva, což bude patrné na Obr. 54. V listopadu byla elektrická energie používána prakticky jen na osvětlení domu, což je viditelné na následujícím Obr. 53, kde je elektrická energie rozdělena podle užití.



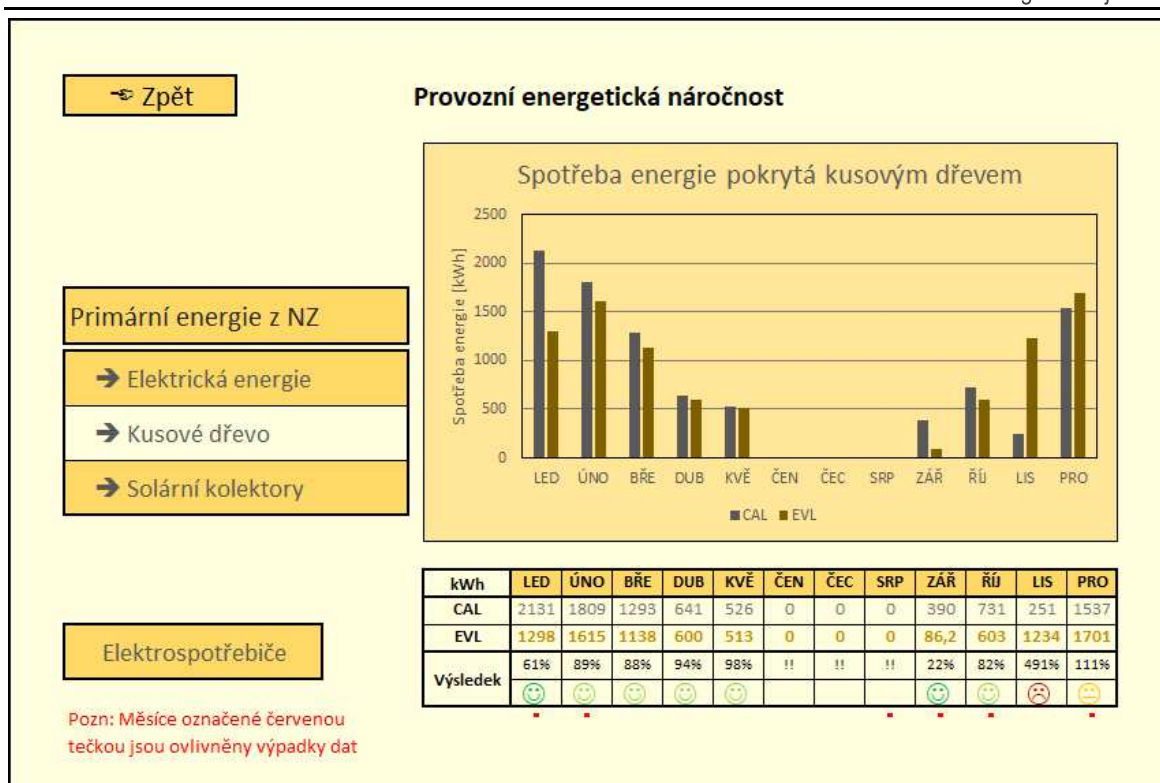
Obr. 53: Spotřeba elektrické energie – měsíční srovnání – užití energie

Velké rozdíly ve spotřebách elektrické energie v přepočteném referenčním roce a v roce hodnoceném jsou dány tím, že přepočet zahrnuje pouze celkovou spotřebu dílčích energií podle okrajových podmínek hodnoceného roku EVL, bez ohledu na energonositele. Podíl energonositelů v přepočteném referenčním roce CAL odpovídá podílu původního referenčního roku REF. Výjimku tvoří solární energie, která se taktéž přepočítává podle okrajových podmínek (intenzita slunečního záření). Postup vyhodnocení je popsán v kapitole 6.3.2.

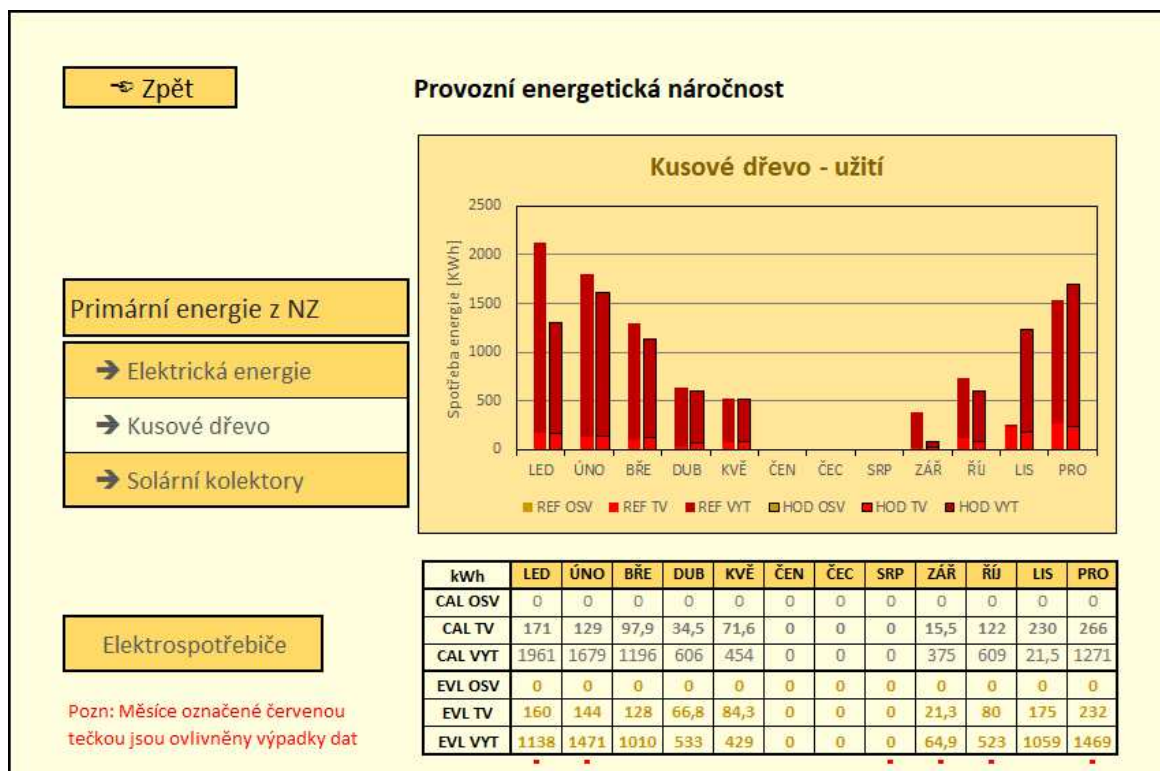
V letních měsících je elektrická energie spotřebovávána prakticky jen na osvětlení a standby režim elektrokotle.

Podobně jako elektrická energie je vyhodnocena spotřeba energie pokrytá kusovým dřevem, viz Obr. 54. Diagram potvrzuje vzájemné vykrývání spotřeb elektrické energie a kusového dřeva na vytápění a přípravu TV. Vyšší spotřeba elektrické energie a nižší spotřeba kusového dřeva je viditelná v lednu, únoru, březnu a září. Opačný případ nastává v listopadu a prosinci.

U obou spotřeb je provedeno též vyhodnocení pomocí emotikonu, což v měsících, kdy je více využíváno kusové dřevo „na úkor“ elektrické energie, může být zavádějící, neboť byl využíván obnovitelný materiál. Nicméně pro uživatele budovy to může sloužit jako na první pohled viditelný podklad pro včasný nákup kusového dřeva například na následující sezónu.

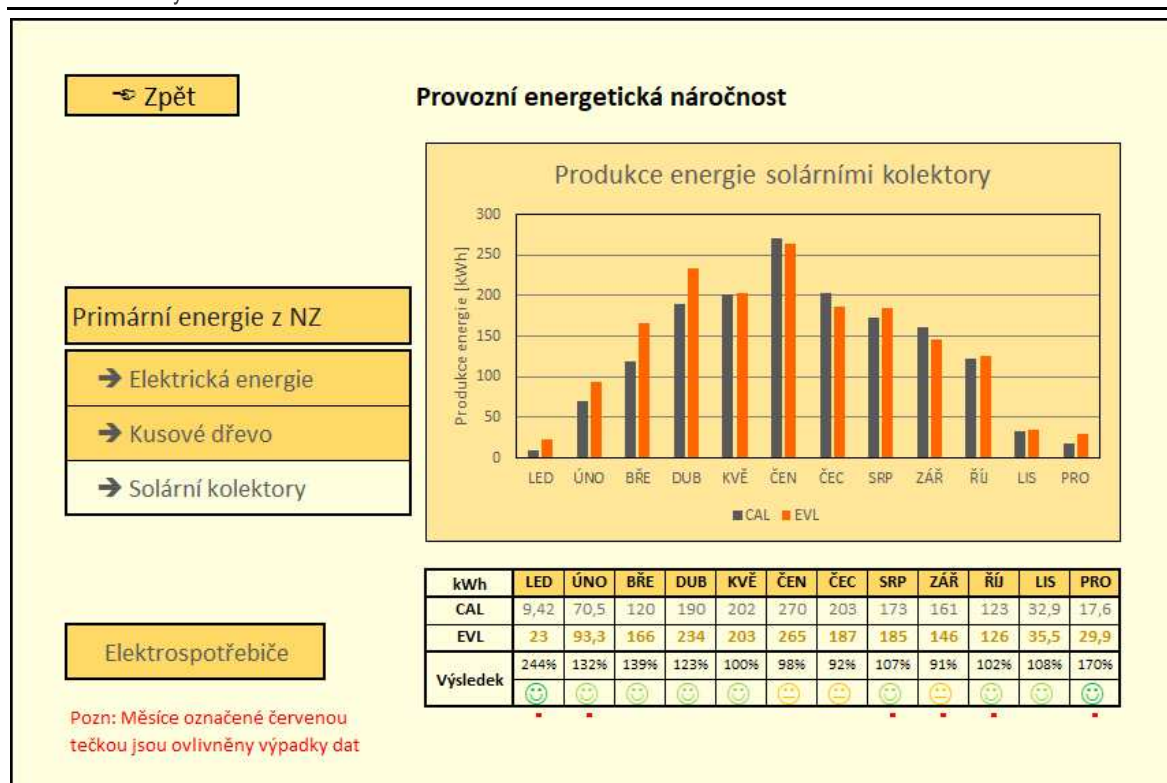


Obr. 54: Spotřeba energie pokrytá kusovým dřevem – měsíční srovnání



Obr. 55: Spotřeba energie pokrytá kusovým dřevem – měsíční srovnání – užití energie

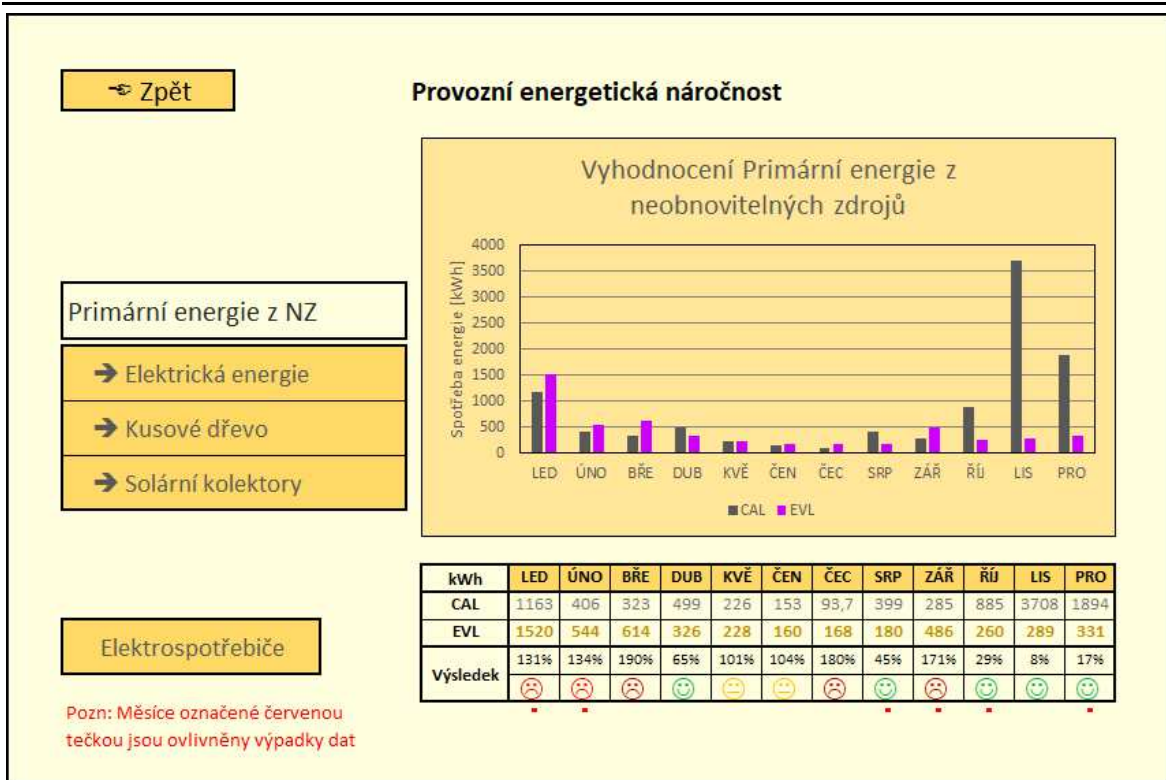
Z diagramu užití kusového dřeva je dále patrný výkyv mezi zimou a létem v případě přípravy TV. Tento výkyv je dán solárními kolektory, viz Obr. 56 níže.



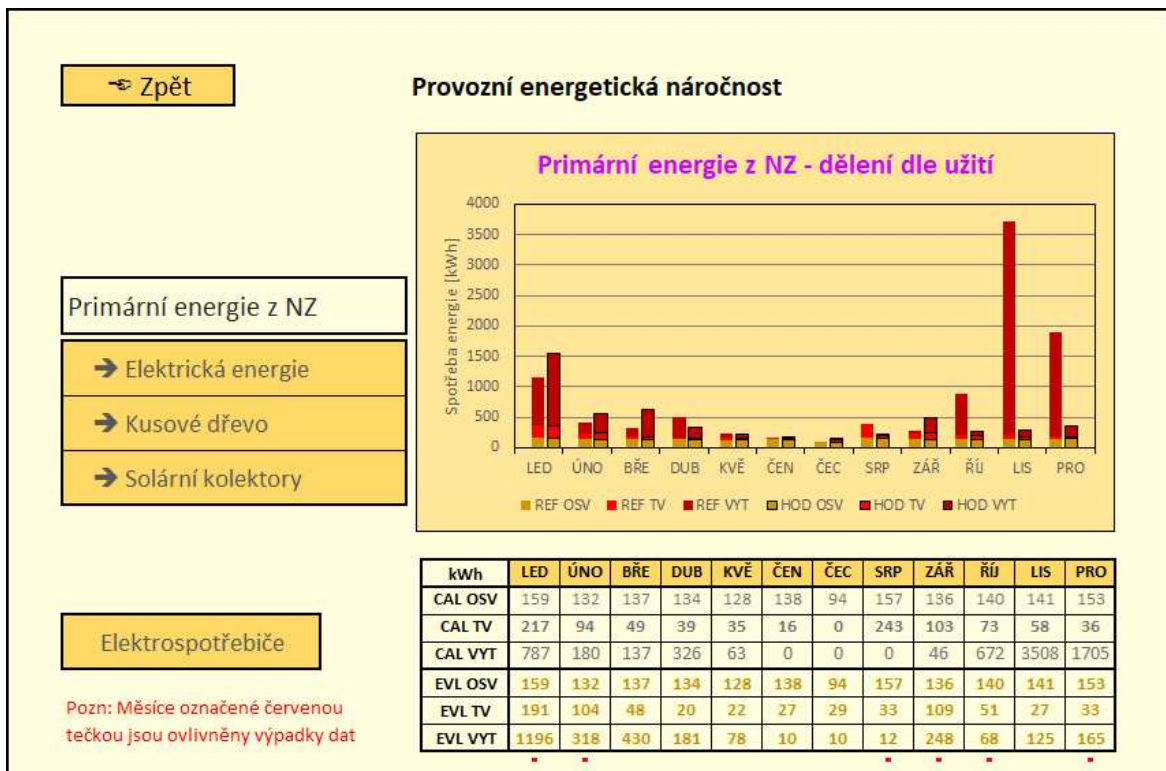
Obr. 56: Produkce energie solárními kolektory – měsíční srovnání

Na diagramu je vidět, že produkce energie solárními kolektory je velmi podobná v přepočteném referenčním roce a roce hodnoceném.

Podíváme-li se na hodnocení budovy z pohledu primární energie z neobnovitelných zdrojů, je patrné, že v měsících, kdy je před kusovým dřevem upřednostňována elektrická energie, je značný výkyv spotřeby primární energie. To je dáno 26× vyšším konverzním faktorem elektrické energie (2,6) oproti kusovému dřevu (0,1). Vzhledem k tomu, že solární energie má konverzní faktor 0, je v letním období patrná zanedbatelná spotřeba primární energie z neobnovitelných zdrojů na přípravu TV. Ve výsledku tak v letním období je primární energie využívána jen na osvětlení. Měsíční vyhodnocení primární energie z neobnovitelných zdrojů a její využití v budově je vyhodnoceno na Obr. 57 a Obr. 58.



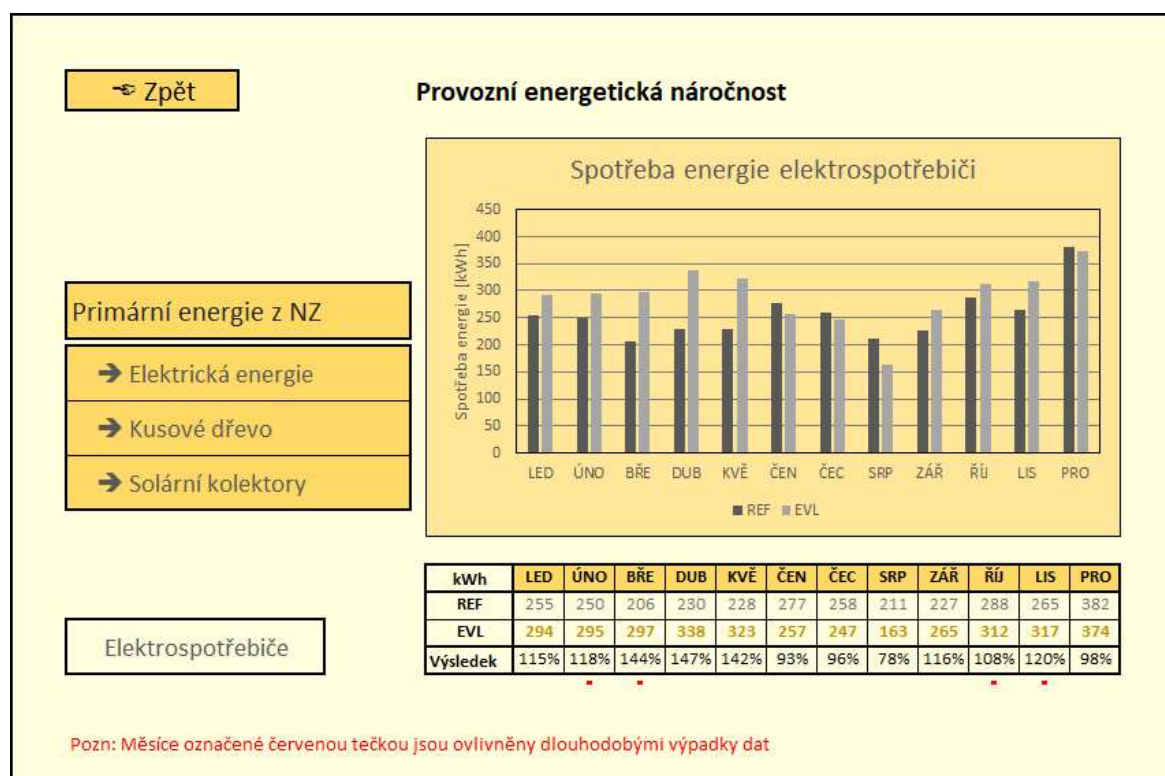
Obr. 57: Primární energie z neobnovitelných zdrojů – měsíční srovnání



Obr. 58: Primární energie z neobnovitelných zdrojů – měsíční srovnání – užití energie

7.5.3 Souhrnné měsíční výstupy – domácí elektrospotřebiče

Samostatně nad rámec legislativního zakotvení energetické náročnosti budov je provedeno vyhodnocení spotřeby energie domácími elektrospotřebiči. Dům, který je předmětem případové studie, je osazen centrálním elektroměrem na patě budovy, dále samostatnými elektroměry měřícími spotřebu topné patry, elektrokotle a dohromady osvětlení + větrání. Tyto spotřeby jsou v rozklíčování energetických toků odečteny od celkové spotřeby, rozdílem je pak spotřeba elektrické energie na ostatní spotřebiče. Vzhledem k tomu, že autorovi práce není známa sestava elektrospotřebičů, jejich počet a hodiny provozu a změna počtu a příkonu spotřebičů v čase, je provedeno prosté meziroční porovnání bez přepočtů. Převáděno na strukturu práce, srovnáváme zde původní referenční rok REF s rokem hodnoceným EVL. Srovnání spotřeb v letech 2017 a 2019 je provedeno na Obr. 59 níže.



Obr. 59: Spotřeba elektrické energie domácími spotřebiči – měsíční srovnání

Z diagramu je patrný průměrný nárůst spotřeby elektrické energie mezi lety 2017 a 2019. Ten může být dán postupným vybavováním domu novými elektrospotřebiči.

Toto porovnání je zde přidáno ze dvou důvodů. Prvním z nich jsou dostupná data, která spotřebu popisují. Autor disertační práce je přesvědčen, že i spotřebu elektrické energie nad rámec legislativně zakotvené energetické náročnosti budov by měl uživatel budovy znát a měl by mít možnost s ní pracovat, vyhodnocovat ji a hledat příležitosti k jejímu snížení.

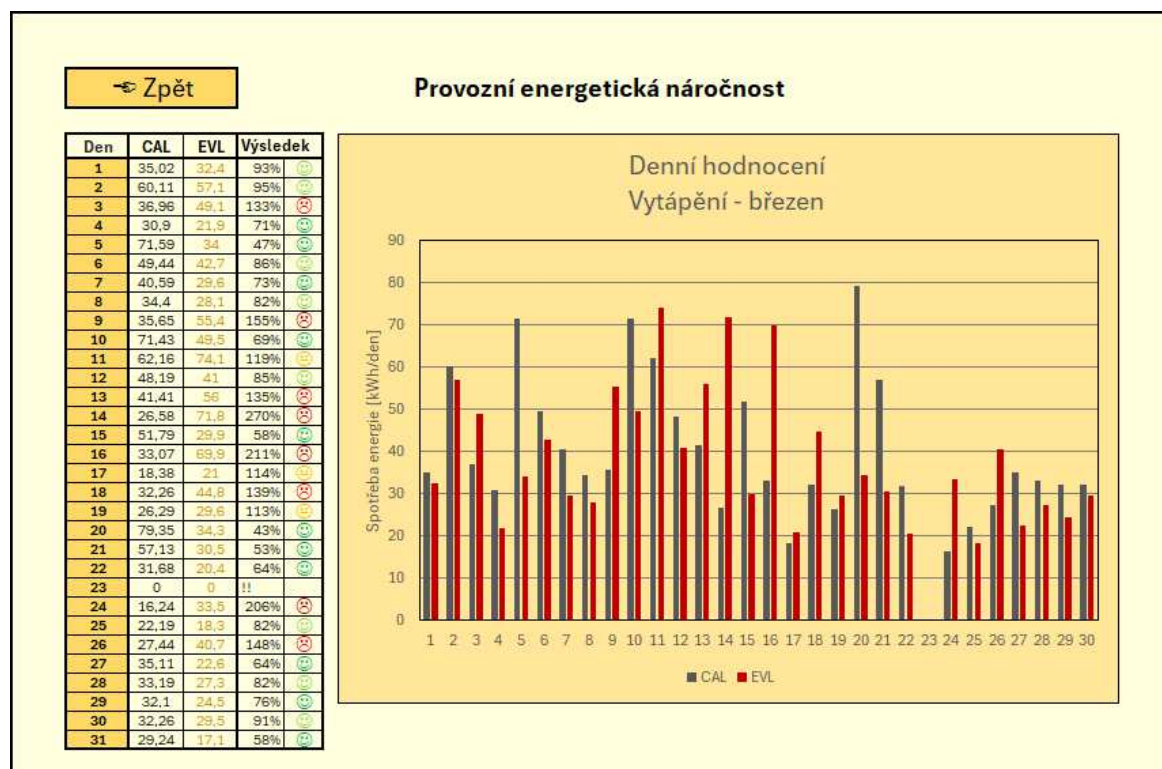
Druhý důvod vyvstal až během vyhodnocování spotřeby. Je jím fakt, že spotřeba domácích elektrospotřebičů je nezanedbatelná a v celkové energetické bilanci hraje poměrně významnou roli. V roce 2019 byla spotřeba elektrické energie cca 3481 kWh, což odpovídá přibližně součtu dodané energie na přípravu teplé vody a osvětlení s větráním, tj. přibližně 40 %

celkové dodané energie (součet vytápění, přípravy TV, osvětlení, větrání). Sečteme-li všechny energetické toky v budově dohromady, elektrospotřebiče se podílejí z cca 22 %. Srovnáme-li primární energie z neobnovitelných zdrojů, je podíl domácích spotřebičů ještě mnohem markantnější, a sice přibližně 64 %. Nutno dodat, že rodinný dům ve velkém využívá obnovitelné zdroje energie s nízkým nebo nulovým konverzním faktorem.

Oba výše zmíněné důvody mohou pro uživatele domu být cenným podkladem pro snižování spotřeby elektrické energie např. prostřednictvím instalace fotovoltaického systému.

7.5.4 Denní výstupy v rámci měsíce

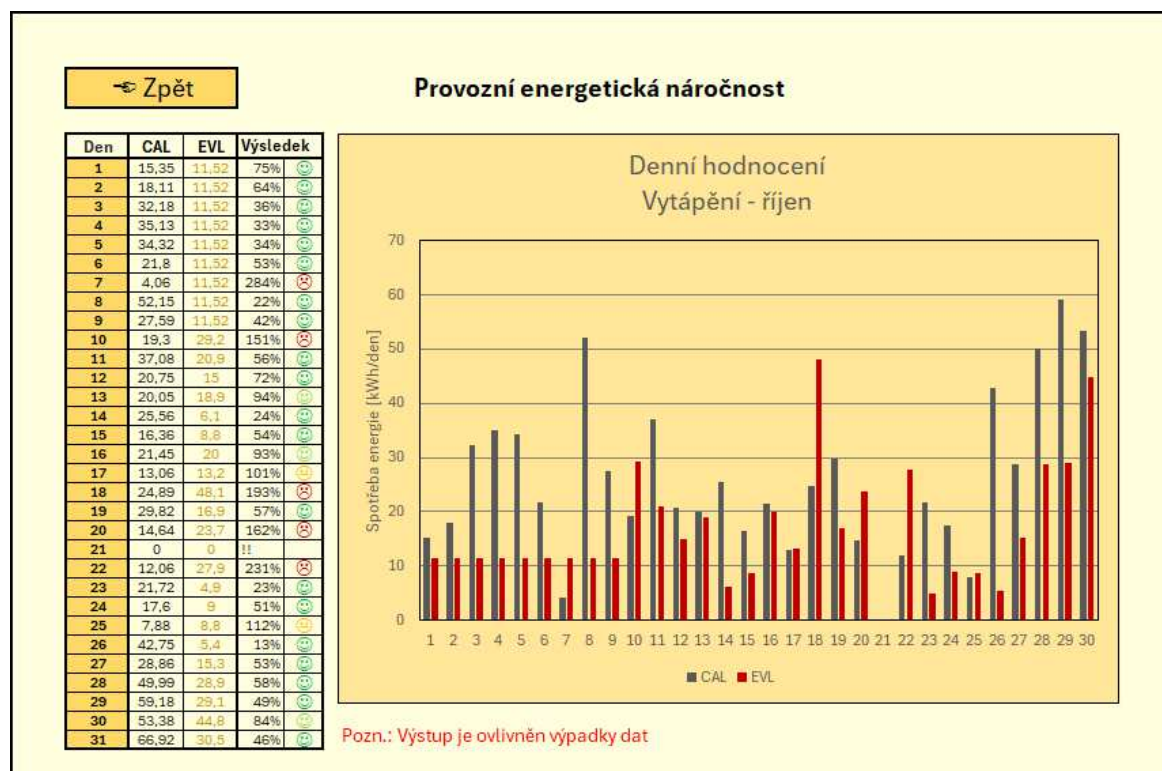
Jak bylo naznačeno v kapitole 6.7, každý energetický tok je možno zobrazit v kratším časovém úseku, než je 1 měsíc. V této podkapitole jsou prezentovány příklady srovnání vybraných měsíců v denním kroku pro některé energetické toky. Jsou vybrány signifikantní příklady, kdy jsou v daném měsíci referenčního i hodnoceného roku dostupná všechna data, kdy dochází k výpadkům dat. Taktéž je ukázáno srovnání měsíců s výrazně odlišnými okrajovými podmínkami.



Obr. 60: Denní hodnocení spotřeby vytápění v březnu

První příklad je znázorněn na Obr. 60 výše. Jedná se o březnovou bilanci vytápění. Černé sloupce značí přepočtený referenční rok CAL, barevné sloupce naměřenou hodnotu v roce hodnoceném EVL. Příklad je zmíněn proto, že jednak jsou dostupná všechna data a jednak je zde provedena detekce provozu otopné soustavy. V hodnoceném roce bylo detekováno, že 22. března soustava v provozu nebyla. Výpočtový nástroj proto z hodnocení taktéž vyjmul 22. březen z přepočteného referenčního roku. Velké rozdíly v předchozích dnech

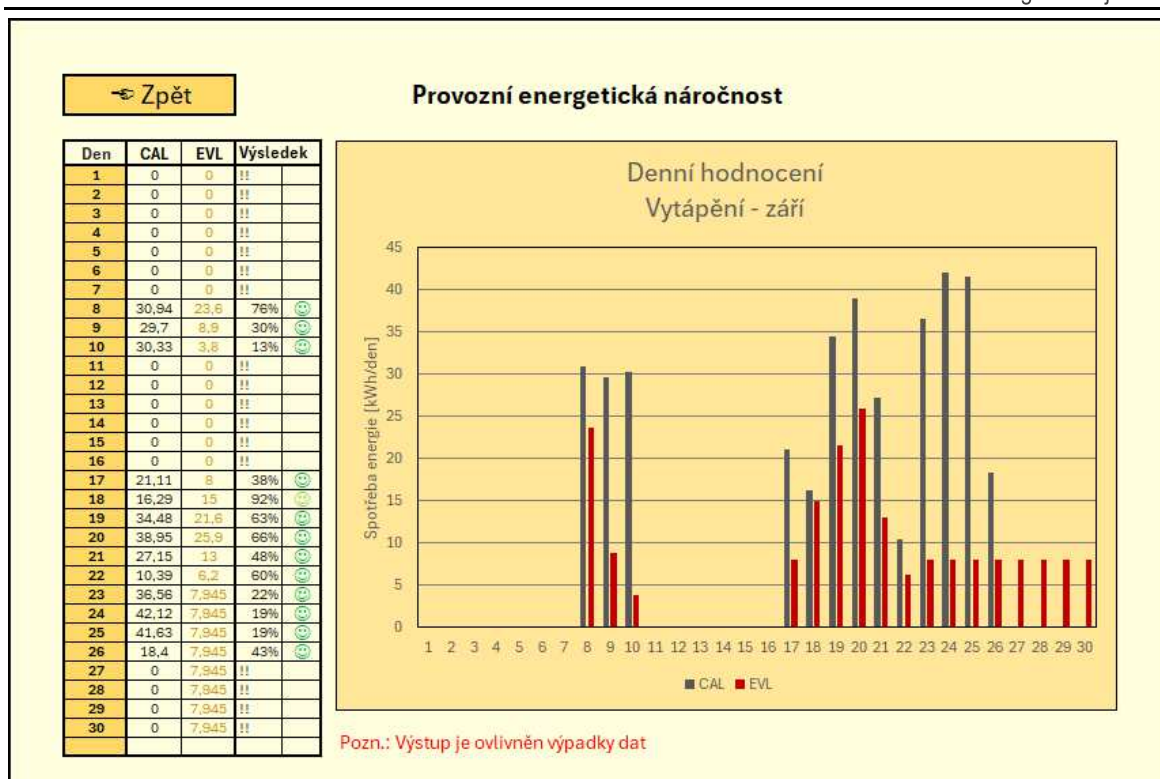
mohou být způsobeny dalšími okrajovými podmínkami, které autor disertační práce nemá možnost změřit, například nadměrným větráním budovy okny.



Obr. 61: Denní hodnocení spotřeby vytápění v říjnu

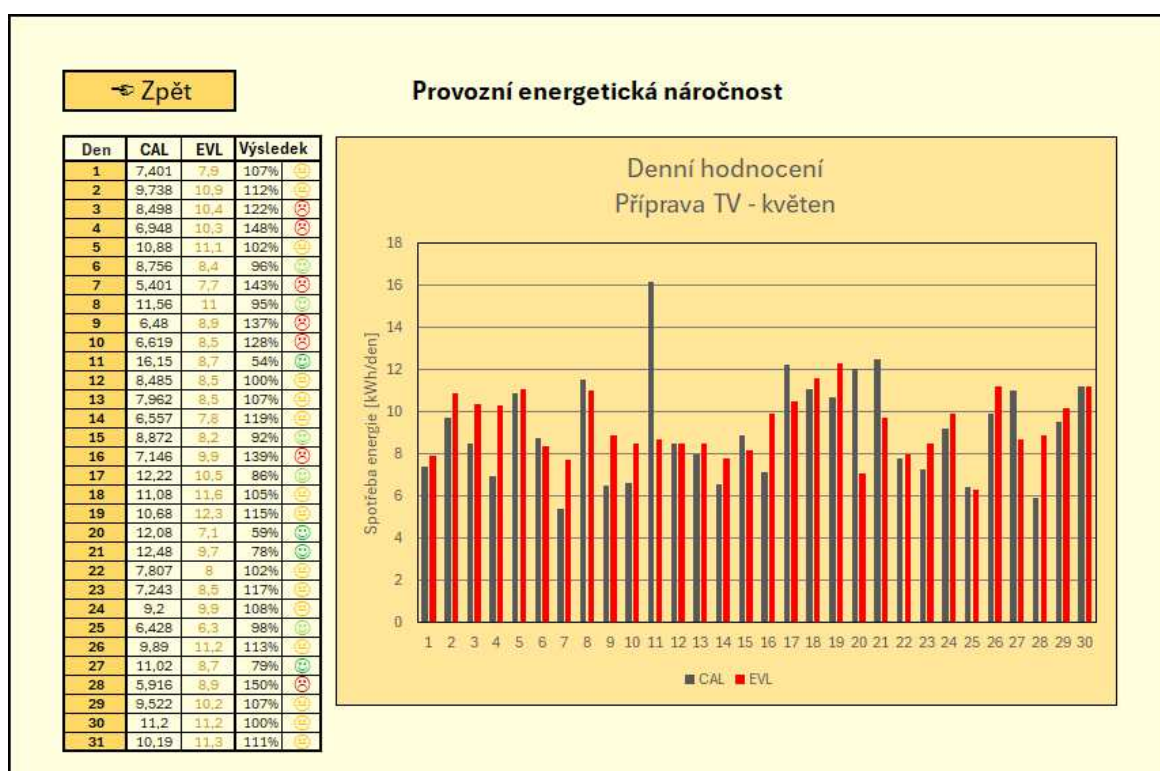
Druhý příklad vyhodnocení vytápění je pro měsíc říjen. Kromě dne, kdy otopná soustava nebyla v hodnoceném roce v provozu, je zde zaznamatelný výpadek dat počátkem měsíce, díky kterému je naměřená energie rozpočítána mezi jednotlivé dny rovnoměrně, neboť nejsou známy okrajové podmínky. Na výpadek dat je upozorněno červenou poznámkou v uživatelském rozhraní. Dále je zde patrný den 21. října, kdy v hodnoceném roce nebyla otopná soustava dle dostupných dat v provozu, proto je i v přepočteném referenčním roce vymodelováno, že otopná soustava v provozu není.

Pro vytápění je ještě vyhodnoceno září jakožto počátek otopné sezóny. Jak je z diagramu na Obr. 62 níže patrné, okrajové podmínky z hlediska provozních dnů vytápění jsou srovnány na hodnocený rok, proto se v obou letech vytápí ve stejné dny, byť realita byla odlišná. Zároveň je zde zaznamenaný výpadek dat v hodnoceném roce na konci měsíce.



Obr. 62: Denní hodnocení spotřeby vytápění v září

Dále je ukázán příklad pro přípravu teplé vody.

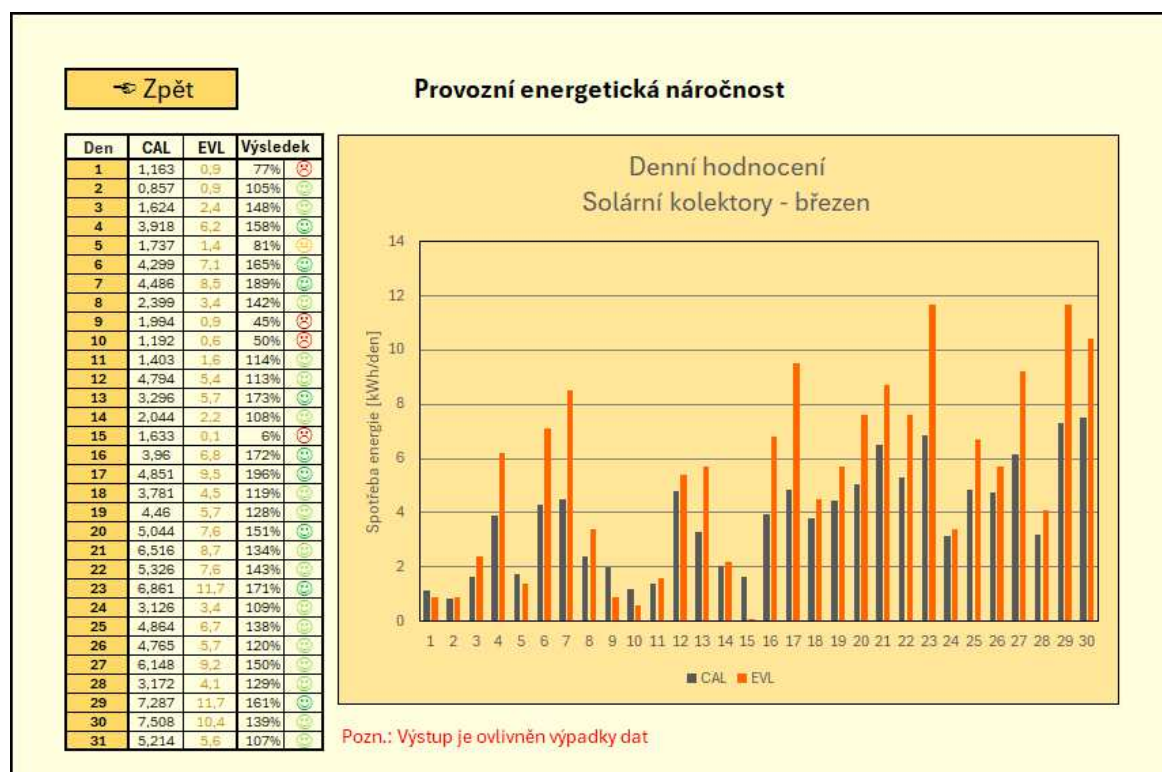


Obr. 63: Denní hodnocení spotřeby tepla na přípravu teplé vody v květnu

Květen je prezentován jako běžný měsíc, kdy jsou dostupná kompletní data a zároveň je v hodnoceném roce každodenní přítomnost osob. Rozdíly jsou dány proměnlivými

potřebami uživatelů či jejich proměnlivým počtem v budově, který není možné detekovat. Také je možné si všimnout, že 11. 5. 2017 je spotřeba oproti ostatním dnům výrazně vyšší. Takovýto nárůst má uživatele upozornit, že se v rámci přípravy teplé vody stala nějaká událost. Vyšší spotřeba může být dána vyšší potřebou teplé vody (např. přijela návštěva), ale může se jednat i o havarijní stav.

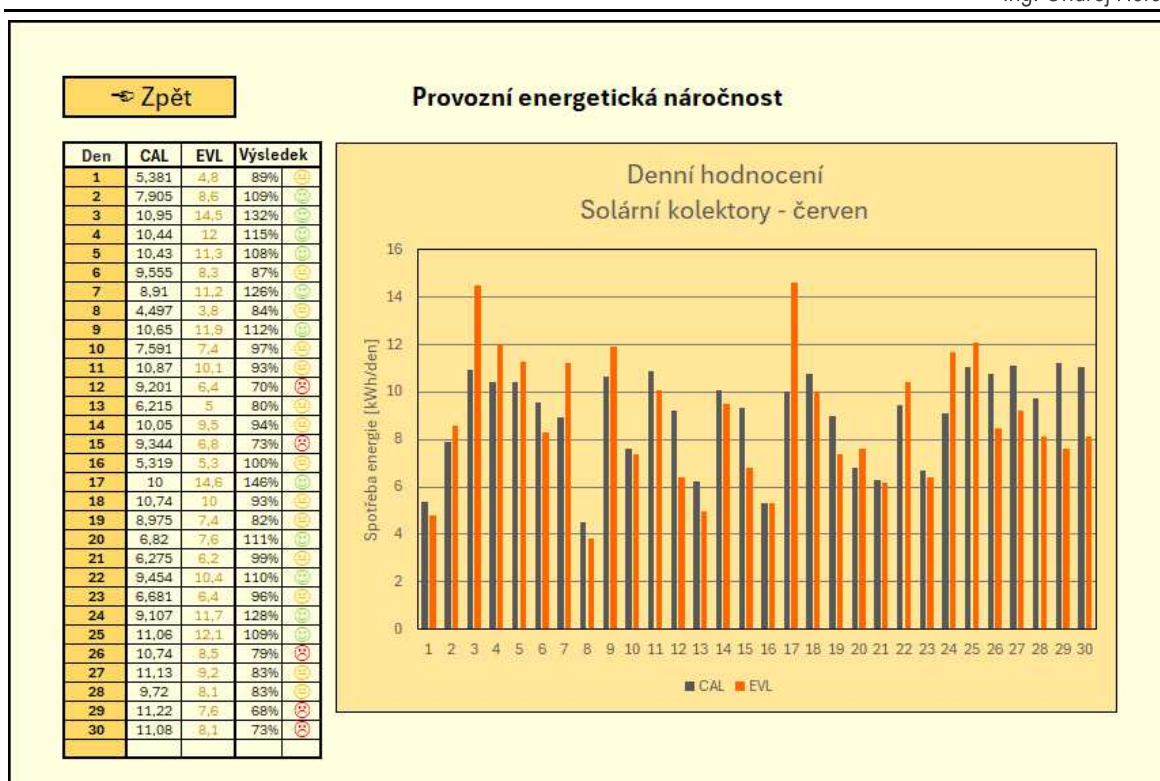
Součástí detekce potřeby tepla na přípravu TV je i produkce tepla solárními kolektory. Ta je znázorněna na Obr. 64 níže.



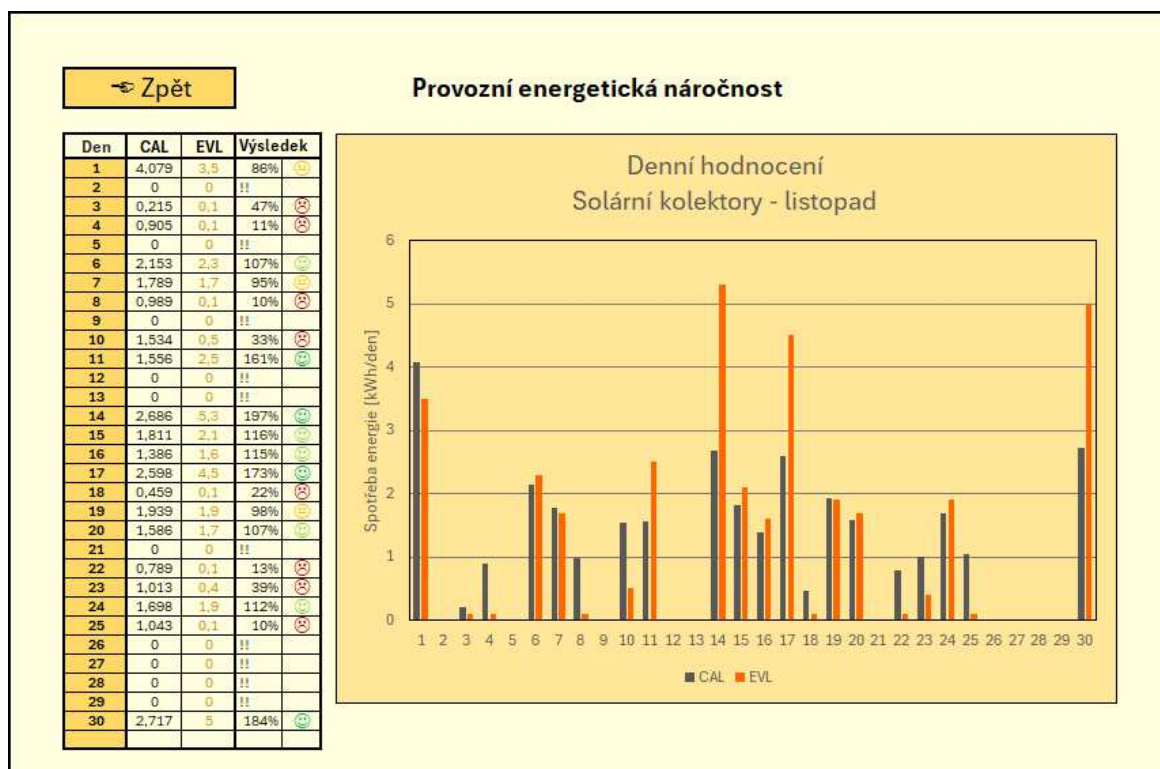
Obr. 64: Denní hodnocení produkce tepla solárními kolektory v březnu

Zde je patrný především nástup slunečného počasí v průběhu měsíce března. Okrajovou podmínkou je denní dávka slunečního záření, ta je v přepočteném referenčním roce přepočítávána na podmínky roku hodnoceného.

Další dva příklady se týkají června a listopadu. Jsou prezentovány proto, že se jedná o měsíce s opačným extrémem v zisku energie ze Slunce a zároveň jsou to měsíce s dostupnými daty. Zatímco v červnu je dodávka relativně stabilní a z měsíčních dat vyplývá, že solární energie pokrývá potřebu tepla na přípravu TV z cca 96 %, v listopadu je využití energie ze Slunce minimální (jen cca 17 %). Součástí hodnocení je též detekce chodu oběhového čerpadla solárního okruhu, to bylo detekováno jen ve vybraných dnech. V těchto dnech hodnoceného roku se počítá s dopadajícím slunečním zářením jakožto s okrajovou podmínkou. V přepočteném referenčním roce je díky algoritmu počítáno se stejnými dny provozu jako v roce hodnoceném.

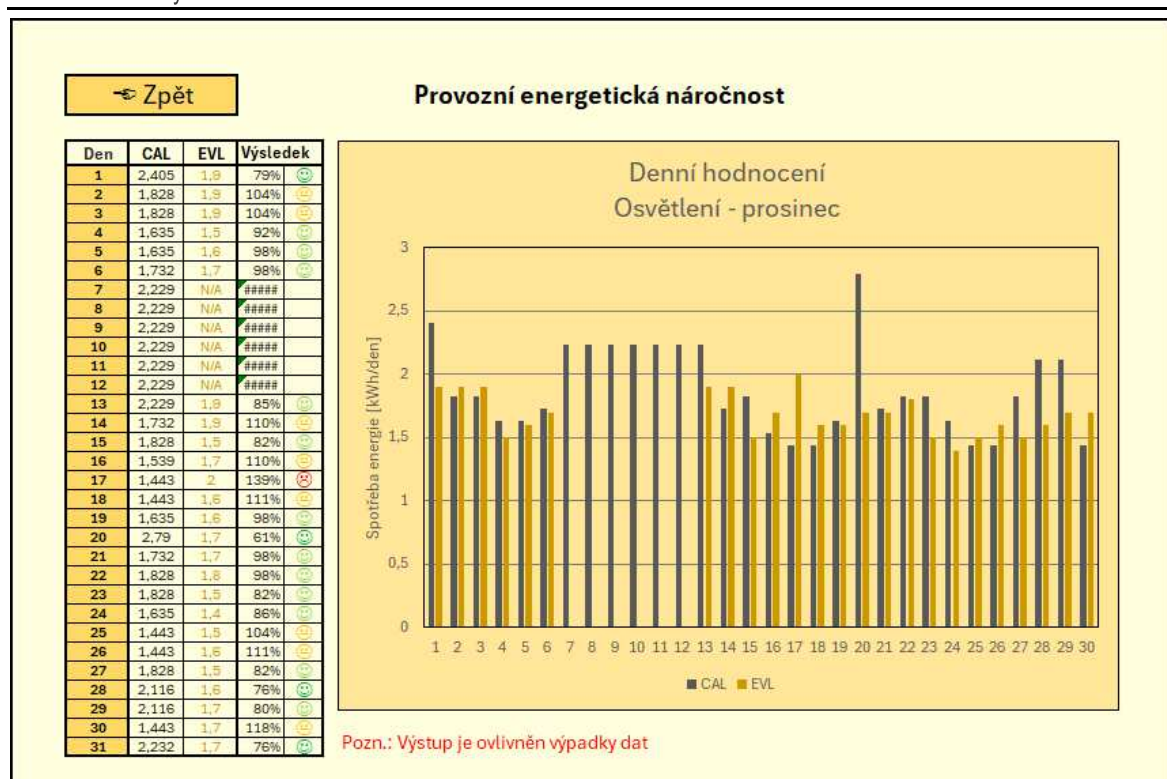


Obr. 65: Denní hodnocení produkce tepla solárními kolektory v červnu



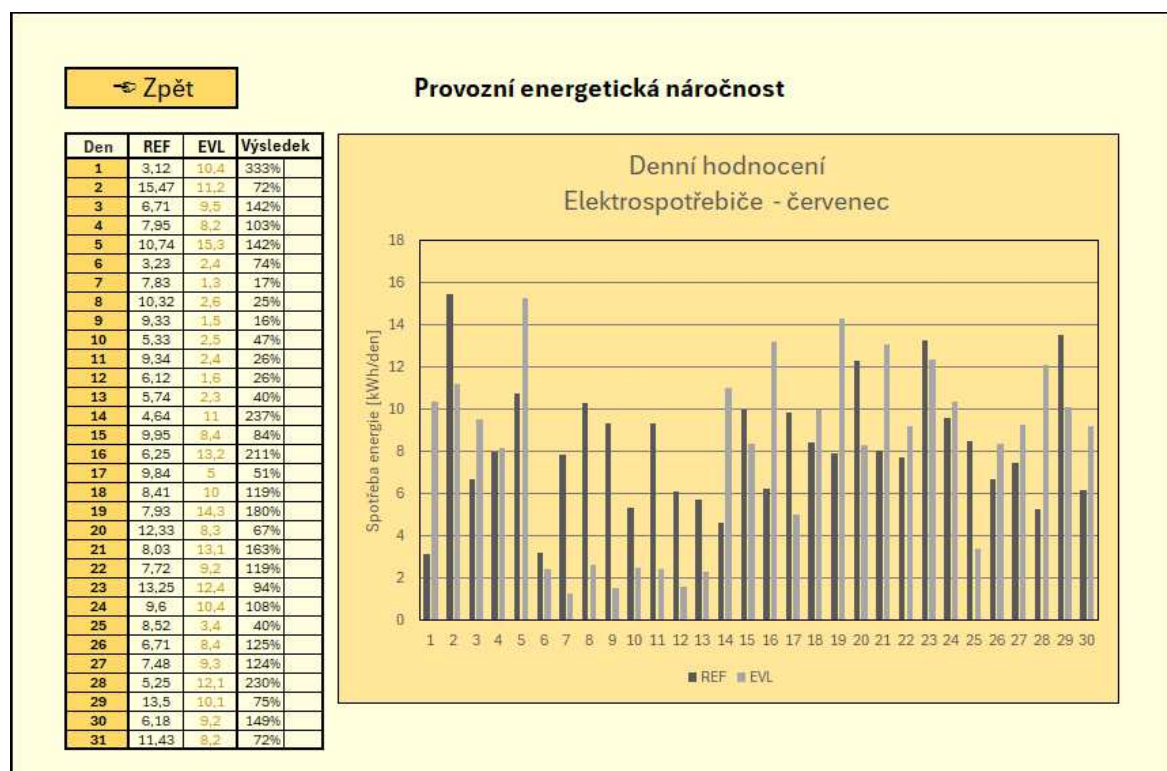
Obr. 66: Denní hodnocení produkce tepla solárními kolektory v listopadu

Následující diagram se věnuje osvětlení. Zde je patrný především výpadek dat během prosince 2019. Rozdíly ve spotřebách jsou dány individuálními požadavky uživatelů.

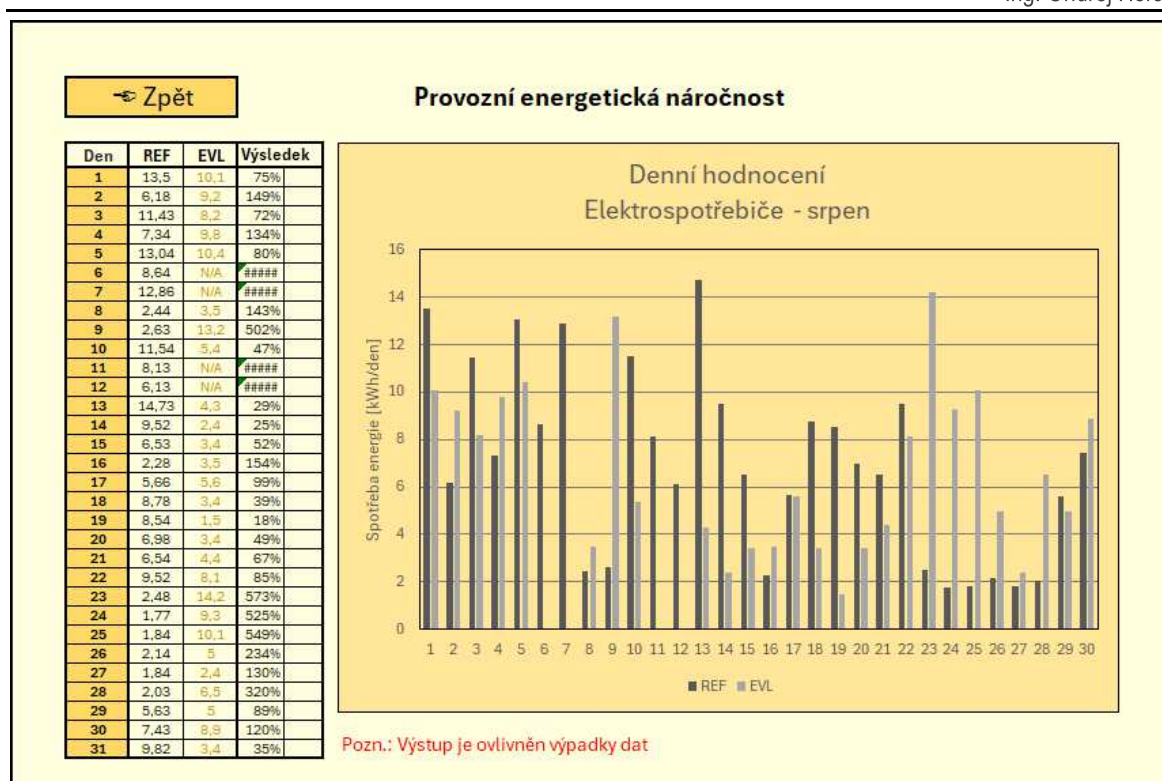


Obr. 67: Denní hodnocení spotřeby elektrické energie na osvětlení + větrání

Další diagram se věnuje elektrospotřebičům. Zde jsou prezentovány měsíce červenec a srpen.



Obr. 68: Denní hodnocení spotřeby elektrospotřebičů v červenci

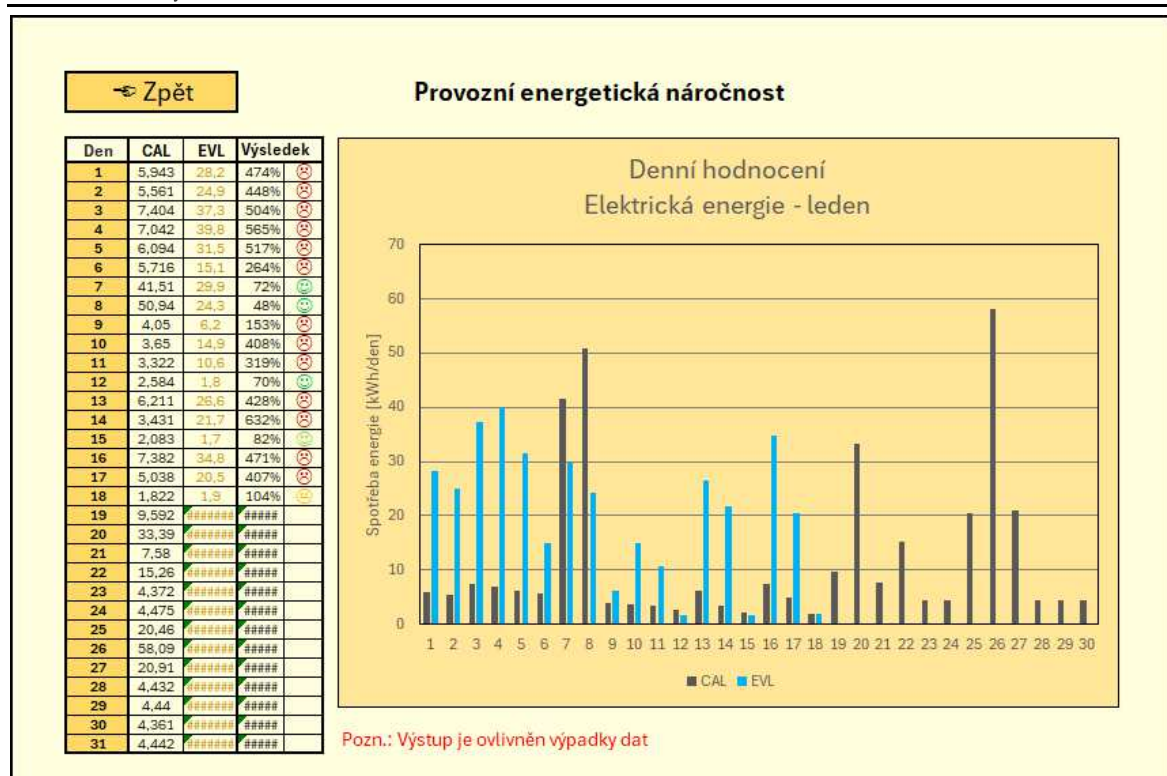


Obr. 69: Denní hodnocení spotřeby elektrospotřebičů v srpnu

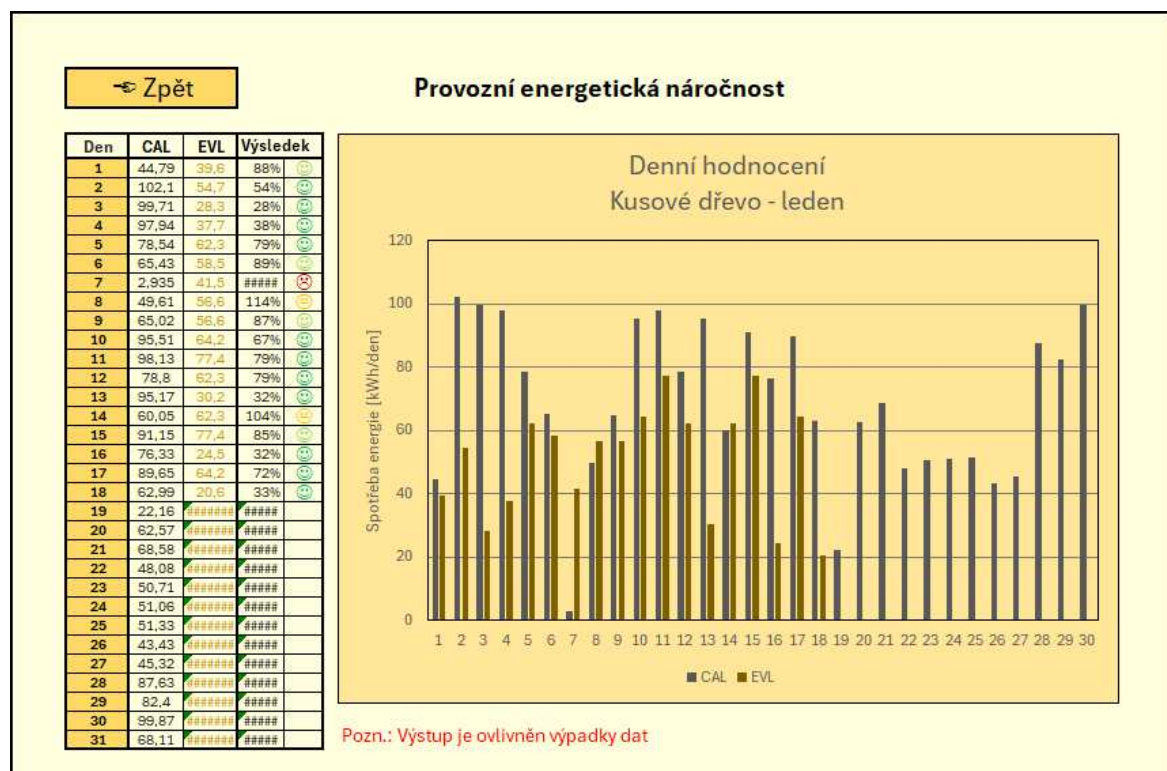
Zde nejzajímavějším výstupem kromě celkové spotřeby domácích elektrospotřebičů je spotřeba domu v tzv. standby režimu, kdy v domě nejsou přítomny osoby. V referenčním roce se jedná o období od 23. do 27. srpna. V hodnoceném roce pak od 6. do 13. července. V těchto dnech se denní spotřeba pohybuje okolo 2 kWh.

Co se energonositelů týče, je prezentována spotřeba elektrické energie a kusového dřeva v lednu a v listopadu. Leden je zvolen jednak kvůli dlouhodobému výpadku dat v hodnoceném roce, proto jsou v tabulce vykázány chyby, dole je poté červené upozornění na výpadky dat. A jednak je dobře patrný 7. leden, kdy v přepočteném referenčním roce je upřednostněna elektrická energie před kusovým dřevem. V ostatních dnech je tomu naopak.

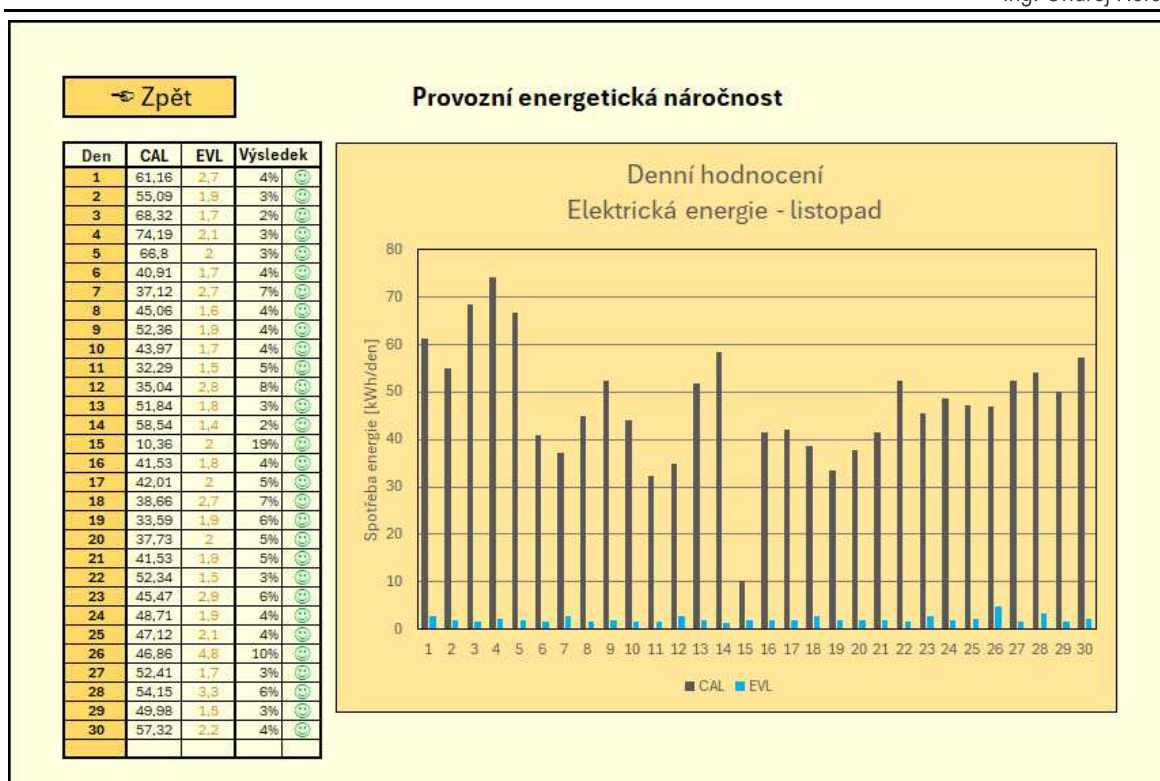
Listopad je zmíněn především proto, že v hodnoceném roce je spotřeba elektrické energie minimální – prakticky je spotřebována jen na osvětlení a standby režim elektrokotle. O vytápění a přípravu teplé vody se starají křbová kamna podpořená solárními kolektory.



Obr. 70: Denní hodnocení spotřeby elektrické energie v lednu



Obr. 71: Denní hodnocení spotřeby energie pokryté kusovým dřevem v lednu

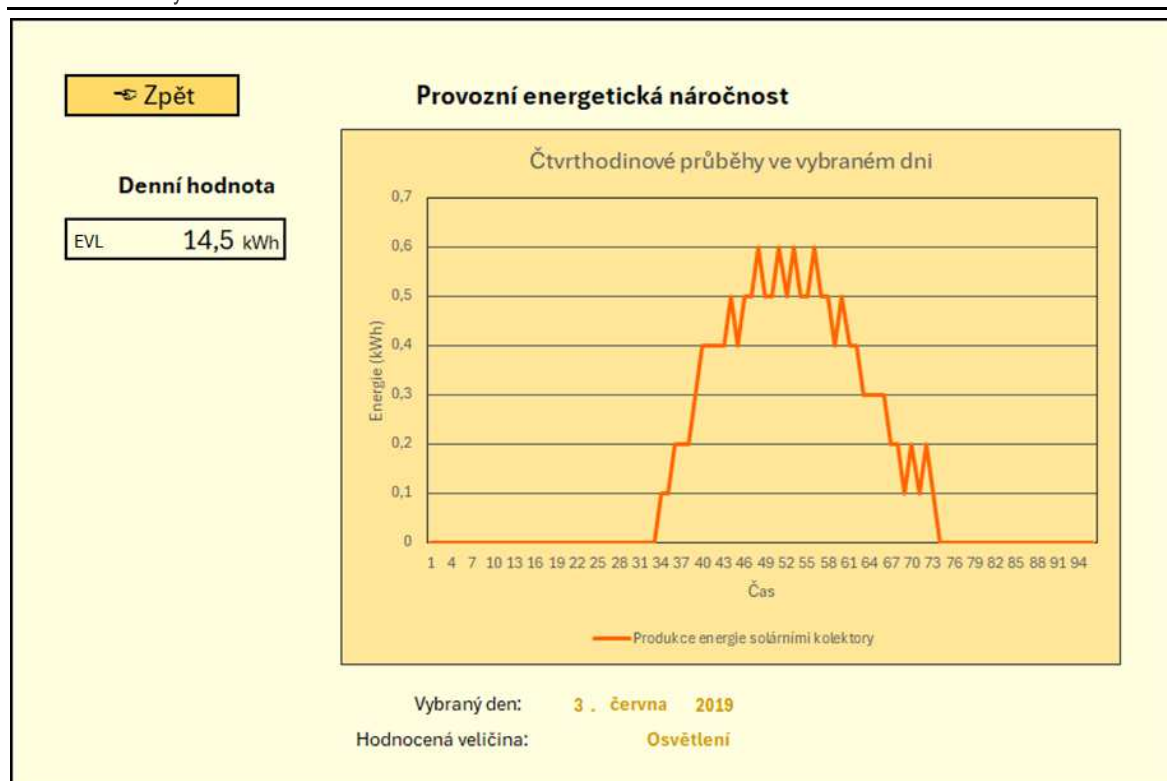


Obr. 72: Denní hodnocení spotřeby elektrické energie v listopadu

Kromě jednotlivých energetických toků systém umí vyhodnotit i spotřeby celkové dodané energie i primární energie z neobnovitelných zdrojů. Je taktéž možné zobrazit podíly energonositelů v jednotlivých dnech pro dílčí dodané energie.

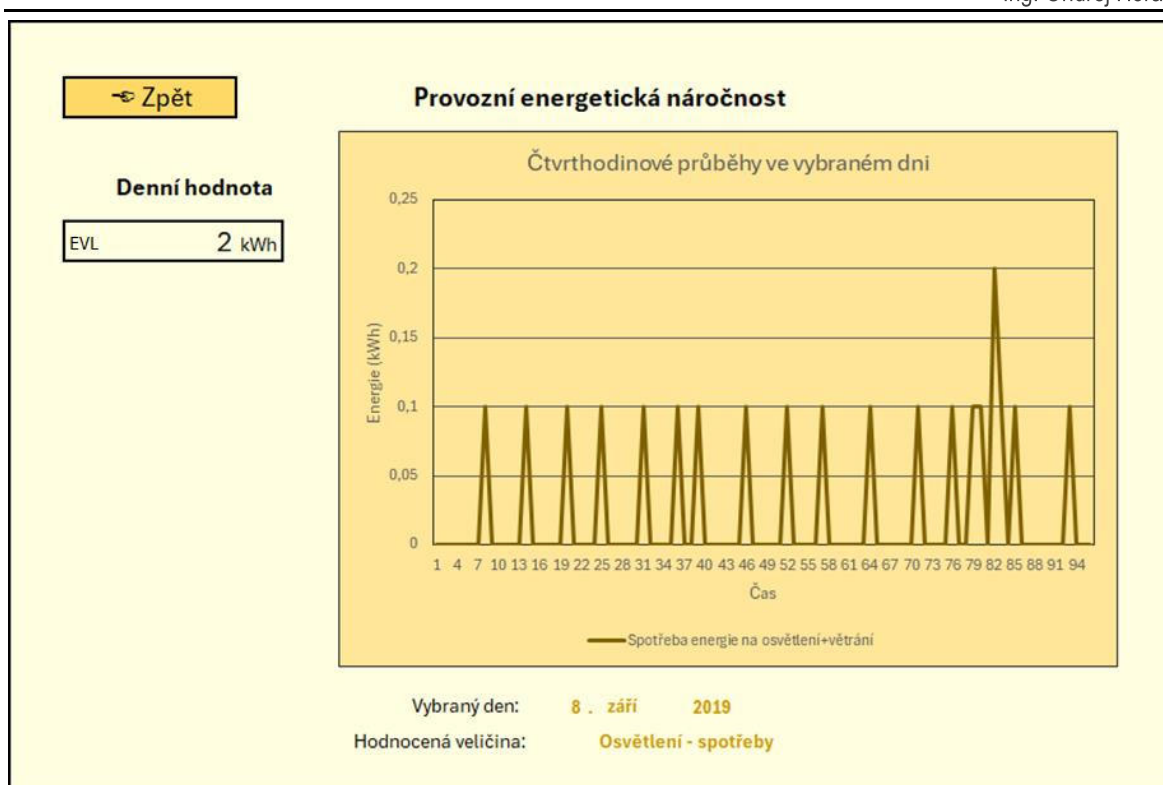
7.5.5 Podrobnější detekce (čtvrthodinový krok)

Naměřená data je možné zobrazit až do úrovně časového kroku z měřicího systému. V případě řešeného rodinného domu se jedná o čtvrthodinový krok. Data v krátkém časovém kroku mají za cíl detekci nadměrných spotřeb energie, kupříkladu se může jednat o zapnutá svítidla v době, kdy v domě nikdo není, nebo protékající pojistný ventil u teplé vody. Zde není prováděno porovnání referenčního a hodnoceného roku, v takto krátkém časovém kroku postrádá smysl. Níže je uvedeno několik příkladů, jak vypadá grafické rozhraní s výběrem čtvrthodinových dat.

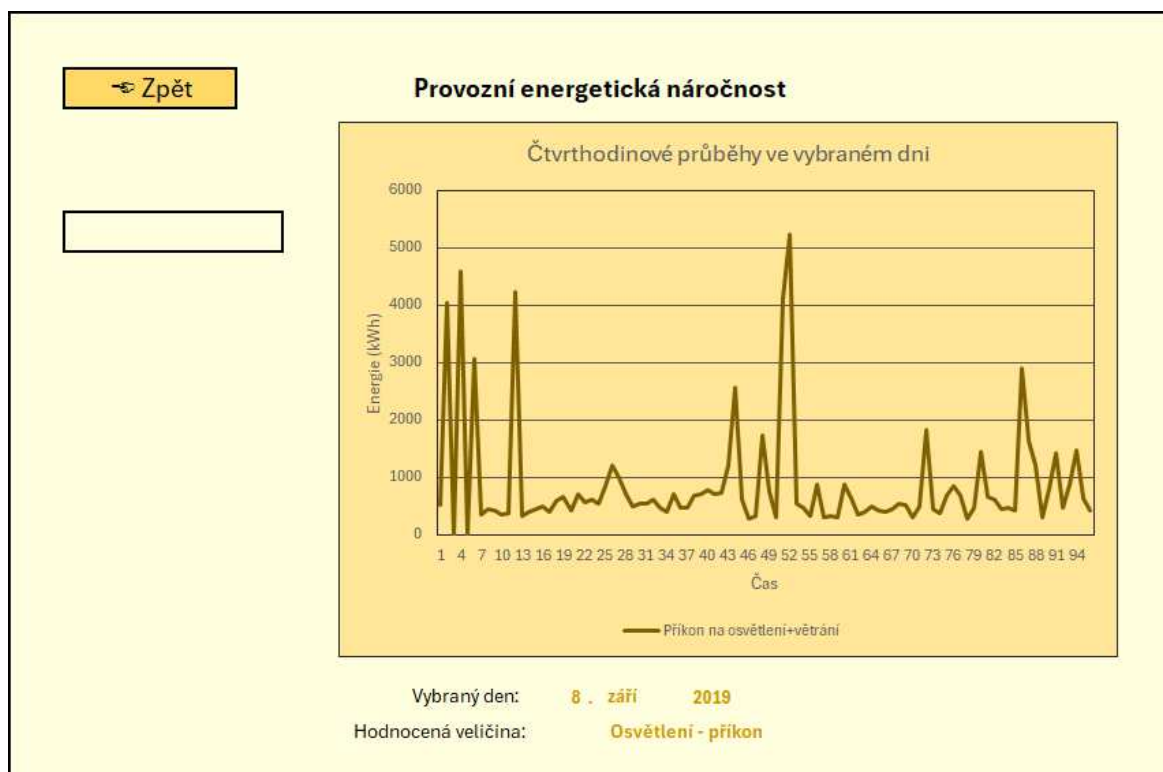


Obr. 73: Produkce energie solárními kolektory 3. června 2019

Pokud je hodnota odečtu na měřicím přístroji nižší než 10 000, pak nejmenší jednotkou měření je 0,1 kWh. Při vyšších číslech je zaokrouhlováno na jednotky. Tím pádem není systém schopen zachytit přesnou dynamiku budovy při nižších spotřebách. Nejmarkantněji je to vidět u nižších spotřeb typu osvětlení + větrání, kdy je denní spotřeba průměrně ve výši cca 1,6 kWh, tedy cca 16x za den na stavu elektroměru poskočí hodnota o 0,1 kWh, což se v čtvrt hodinovém diagramu projeví jako puls o hodnotě 0,1 kWh. Další možností je měřit okamžitý příkon, což měřicí systém taktéž umožňuje. Ale ten příliš nevypovídá o spotřebě mezi jednotlivými odečty, neboť příkony naměřené v konkrétní čas nelze integrovat před délku dne, abychom se dobrali spotřebě. Pokud bychom toto provedli, spotřeba by vyšla více než desetinásobná oproti naměřené. Pro názornost jej zde uvedme příklad odečtu spotřeby a průběhu příkonu v jeden den.



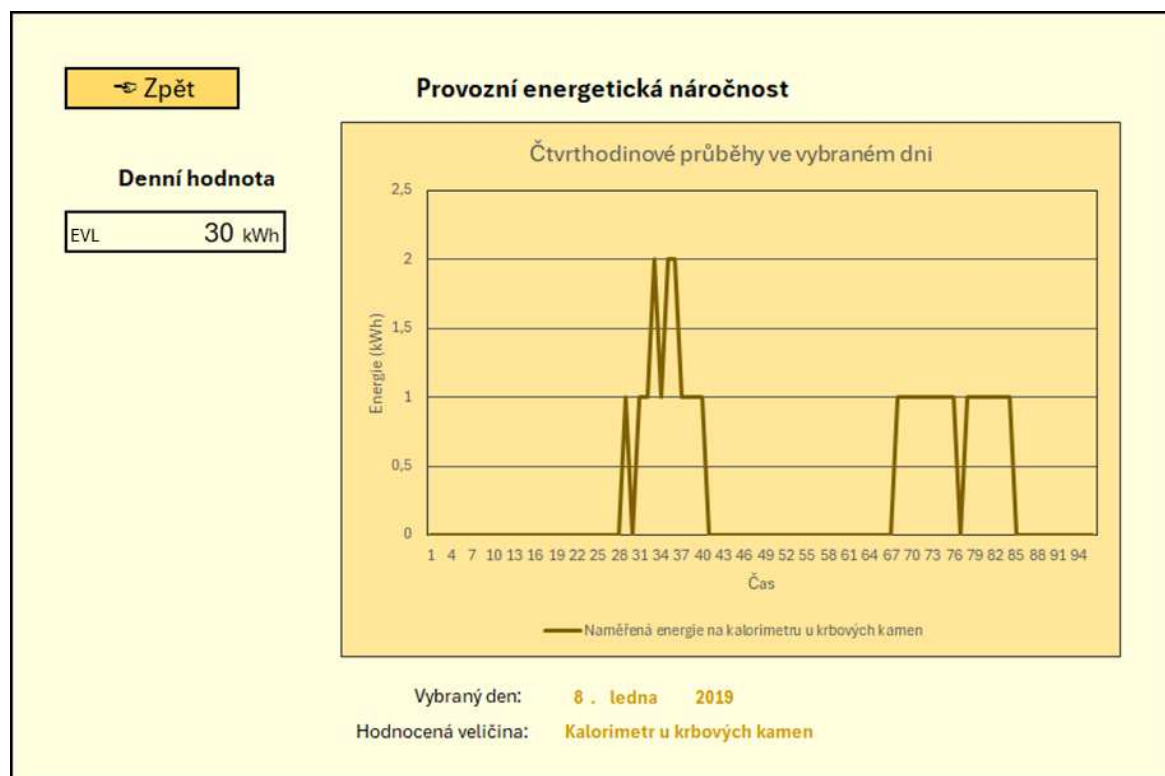
Obr. 74: Spotřeba elektrické energie na osvětlení + větrání 8. září 2019



Obr. 75: Denní průběh příkonu osvětlení + větrání

Jako další příklad je uvedena naměřená spotřeba tepla v den, kdy je v provozu elektrokotel i krb. Takový případ nastal mj. 8. ledna 2019. Hodnoty jsou měřeny na kalorimetru, který je

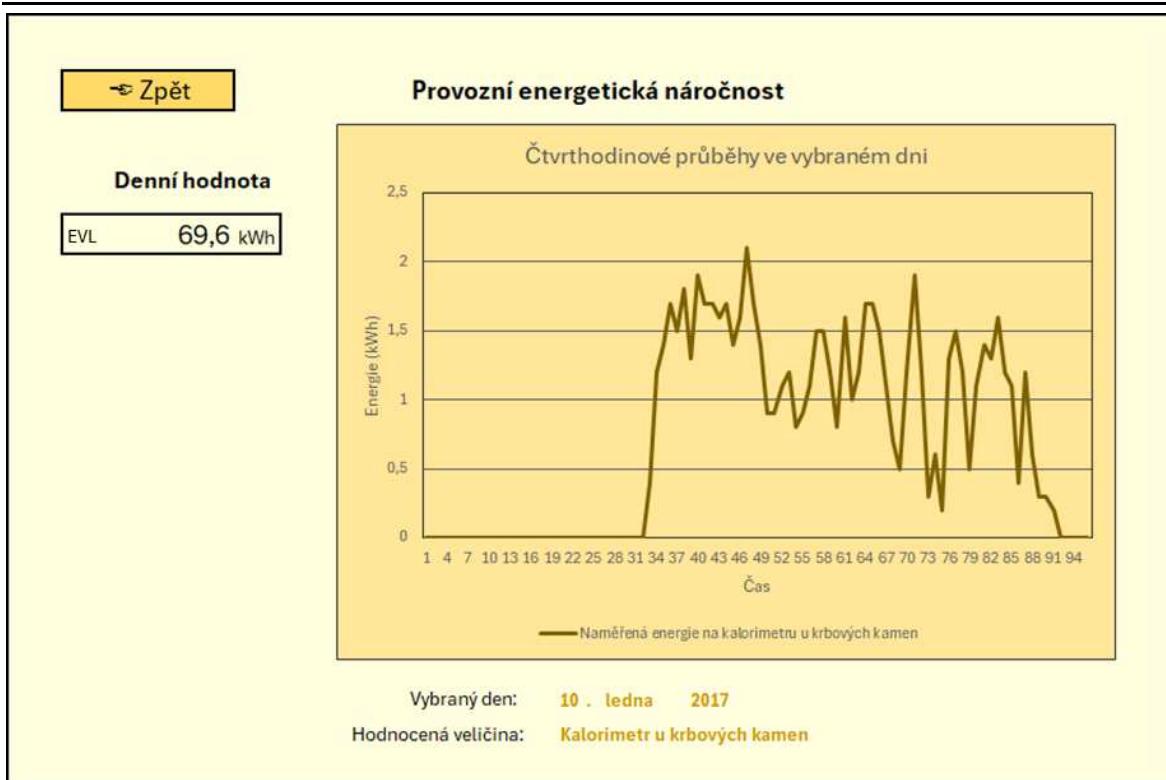
osazen na větvi od krbové vložky (Bod A na schématu na Obr. 33 v kapitole 7.1., tento bod je taktéž v Tab. 13 v kapitole 7.2 pod číslem 102).



Obr. 76: Čtvrt hodinové spotřeby energie pokryté kusovým dřevem 8. ledna 2019

Z výstupu jsou patrné dvě věci: jednak, že nejmenší jednotkou je celá kilowatthodina, proto při nižší produkci tepla krbovými kamny nelze podchytit celou dynamiku, a jednak, že uživatelé domu během dne dvakrát zatopili v krbu, a sice v dopoledních a ve večerních hodinách. V mezičase se využila akumulace domu a vyla navýšena i spotřeba elektrické energie, protože byl v provozu elektrokotel.

Pro krbová kamna uvedme ještě příklad ze 10. ledna 2017, kdy k vytápění a přípravě teplé vody nebyl elektrokotel vůbec využíván. Naměřená produkce tepla je tak více než 2× vyšší než v předchozím případě. Tím, že se jedná o historicky dřívější období, jsou tu spotřeby zaokrouhlovány ještě na desetiny, neboť stav kalorimetru byl menší než 10 000. V tento den je vidět kontinuální odběr tepla z krbové vložky začínající již v dopoledních hodinách a končící před půlnocí.



Obr. 77: Čtvrt hodinové spotřeby energie pokryté kusovým dřevem 10. ledna 2017

7.5.6 Další výstupy

Další možností je zobrazení agregovaných dat za více let, kdy se k hodnocenému roku přepočítávají roky jiné – je tedy více přepočtených referenčních roků CAL.

Součástí agregovaných dat může být vývoj podílu energonositelů, detekce účinnosti solárního systému, vlečené součty jednotlivých spotřeb atd. Každý tento energetický tok lze nadefinovat podle potřeb uživatele.

8 Souhrn výsledků a diskuze

Hlavním principem disertační práce je vzájemný přepočítání více let provozu budovy z hlediska jejích energetických toků. K tomu, aby byl výpočet proveden korektně, je třeba zohlednit co největší počet okrajových podmínek, které do něj vstupují. Velkou část okrajových podmínek je možné měřit. Měřené veličiny autor této práce zahrnuje do přepočtu. Z výpočtu provozní energetické náročnosti, konkrétně z případové studie rodinného domu, ovšem vyplývá, že i po přepočtu okrajových podmínek je generován rozdíl ve spotřebě mezi hodnoceným rokem EVL a přepočteným referenčním rokem CAL. Tento rozdíl může být důsledkem problematického chování systémů TZB v budově (degradace, havarijní stav), ale také dalšími okrajovými podmínkami, které není možné měřit. Základní „poruchovou veličinou“ v provozu budovy je její uživatel.

Pro korektní přepočítání je nutné veličiny nejen měřit, ale data také náležitě sbírat v podrobném časovém kroku. Data musejí být také vyčištěná a srovnaná. Autor disertační práce vyvinul systém data cleaningu, který data dokáže srovnat do přesného časového kroku, vyhodit duplicitní odečty, případně dopočítat ojedinělé výpadky dat. Je-li výpadek dat delší, do výpočtu provozní energetické náročnosti pak vstupují období, kde je vyznačeno, že data nejsou dostupná. Tato období je nutné pro výpočet provozní energetické náročnosti zjednodušeně domodelovat na základě spotřeby energie za dobu výpadku dat a za pomoci okrajových podmínek v době před a po výpadku dat.

Během tvorby výpočtového nástroje autor dospěl k závěru, že samotný přepočítání okrajových podmínek je jen dílčí částí výpočtu provozní energetické náročnosti. Mnohem důležitější je práce s daty, jejich čištění a řešení období, kdy měřicí systém data nedodává nebo je dodává v nedostatečné kvalitě.

8.1 Limity disertační práce

Limitem této disertační práce je množství okrajových podmínek, které by bylo nutné sledovat. Jako příklad pro výpočet větrání, přípravy teplé vody a osvětlení uvedeme přítomnost a počet osob. V rezidenčních budovách je složité počítat počet osob hlídat, jedná se o přílišný zásah do soukromí. V administrativních budovách lze navázat informaci o počtu osob například na docházkový systém. V dalších budovách záleží na konkrétní náplni. Vždy se bude ovšem jednat o určité zjednodušení.

Dalším limitem je informace o konkrétním chování osob, např. informace o přirozeném větrání v zimním období. To je pro výpočty provozní energetické náročnosti zahrnuto rozdílu mezi přepočteným referenčním rokem a rokem hodnoceným. Nicméně rozklíčovat, čím vším jsou rozdíly dány, je málo reálné. Do bilance jistě vstupuje i degradace stavebních materiálů, technických systémů i jednotlivých měřicích senzorů.

Samostatným limitem jsou alternativní zdroje energie, především ty, jejichž chod člověk nemůže ovlivnit (slunce, vítr). Nicméně ani tepelná čerpadla či kogenerace nejsou primárně zahrnuty ve výpočtu, neboť zde se pracuje především s dodanými energiemi. Vývoj COP

tepelného čerpadla v čase výpočtový nástroj nevyhodnocuje. Autor této disertační práce se ovšem problematikou obnovitelných a alternativních zdrojů energie plánuje ve svém výzkumu dále zabývat.

9 Závěr

Tato kapitola shrnuje poznatky disertační práce. Popisuje, zda byly cíle práce splněny, jak bylo cílů dosaženo a kde je toto splnění v práci popsáno. Součástí jsou taktéž vyhlídky dalšího výzkumu a přínosy celé práce.

9.1 Splnění dílčích cílů

V této sekci jsou okomentovány jednotlivé cíle práce vymezené v kapitole 2.1. Každý cíl je okomentován v samostatné podkapitole.

9.1.1 Provést rešerši současného stavu poznání v oblasti užití energie v budovách během jejich provozu a shrnout legislativní rámec EU a ČR týkající se energetiky budov.

Rešerše současného stavu se věnuje legislativě, vědeckým studiím a inteligentním systémům věnujícím se monitoringu spotřeb energie v budově. Tato rešerše je provedena v kapitole 3.

Energetická náročnost budov je zahrnuta v českém legislativním rámci, který vychází z evropské legislativy. Autor shrnuje problematiku průkazu energetické náročnosti, energetického auditu a energetického posudku. Dále se věnuje energetickým projektům se zárukou (EPC) a nově vznikající Ukazatel připravenosti budovy pro chytrá řešení, který autor i dříve testoval.

Na trhu je celá řada inteligentních systémů budov, z nichž některé se částečně věnují i monitoringu spotřeb energie. Jmenovitě se může jednat například o ABB-free@home®, systém Loxone nebo Tecomat Foxtrot. V rámci projektu TRIO byl autor v týmu zdokonalujícímu systém KOBRA od společnosti Brand-tech, kde se věnoval právě problematice energetické náročnosti budov v době jejich provozu.

Autor provedl i rešerši vědeckých studií. Vědecká komunita se zabývá porovnáváním předpokládané spotřeby energie s reálným provozem. Jiná vědecká studie se zabývá modelováním tzv. digitálního dvojčete budovy, kde kromě vnitřního prostředí je zkoumána právě i spotřeba energie v čase. Další vědecká práce shrnuje poznatky ohledně indexů energetické náročnosti.

9.1.2 Soupis veličin v budově, které vstupují do výpočtu energetické náročnosti budov a z ní vyplývající analýza veličin, které je potřeba měřit, aby byl výpočet provozní energetické náročnosti korektní.

V rámci výzkumu autor shrnuje, které veličiny ve zkoumané budově či její zóně je třeba měřit, aby byl výpočet provozní energetické náročnosti proveden korektně. Veličiny a jejich relevance pro jednotlivé dílčí dodané energie, které jsou řešeny v této práci, jsou vypsány v následující tabulce. Relevance pro jednotlivé dílčí energie je vyznačena písmene A.

Tab. 27: Celkový souhrn veličin, které je nutné měřit a jejich relevance pro dílčí dodané energie

Veličina	Jednotka	Relevance			
		VYT	TV	VĚT	OSV
Teplota venkovního vzduchu	°C	A	A		
Množství dopadajícího slunečního záření	kWh/m ²		A		
Teplota vnitřního vzduchu (referenční místnost či vážený průměr místností podle ploch)	°C	A			
Spotřeba energonositele primární energie	kWh	A			
Produkce tepla zdroji tepla	kWh	A			
Teplota otopné vody na přívodním porubí okruhu zdroje tepla	°C	A			
Teplota otopné vody na zpětném porubí okruhu zdroje tepla	°C	A			
Průtok otopné vody okruhu u zdroje tepla	l/s	A			
Detekce chodu teplovodní otopné soustavy (chod oběhových čerpadel)	-	A			
Detekce chodu dalších zdrojů tepla	-	A			
Spotřeba studené vody	l		A		
Spotřeba teplé vody	l		A		
Koncentrace CO ₂	ppm		A		A
Informace ze zabezpečovacího či docházkového systému o přítomnosti osob	-	A	A	A	A
Spotřeba elektrické energie topnou patronou	kWh		A		
Spotřeba energie na okruhu přípravy TV (kalorimetr) – na každém zdroji	kWh		A		
Spotřeba elektrické energie na osvětlení	kWh				A
Spotřeba elektrické energie na pohon ventilátorů	kWh			A	
Informace o stavu větracího zařízení (plný provoz/útlum)	-			A	

9.1.3 Vývoj kalkulačního nástroje, který dokáže data z měřicího systému vyčistit, analyzovat a provést výpočet provozní energetické náročnosti v budově s cílem porovnání více let provozu budovy mezi sebou.

Vývoj kalkulačního nástroje, který provádí výpočet provozní energetické náročnosti budovy, je popsán v kapitole 6. Než je provozní energetická náročnost vyhodnocena, je data ze systému měření a regulace nutno vyčistit, aby byla v kalkulačním nástroji zpracovatelná. Data cleaningu se věnuje kapitola 5.

Postup vyhodnocení provozní energetické náročnosti zpočátku tkví v definování měřicích míst v budově, která jsou pro výpočet potřeba. Následně je nutné vyřešit období, kdy systém nedodával data – i v těchto obdobích je energie spotřebovávána. V době výpadků dat je spotřeba energie domodelována na základě hodnot z období, která výpadku předcházejí a následují. Poté je proveden samotný výpočet provozní energetické náročnosti.

Principem je porovnání hodnoceného roku EVL s rokem přepočteným referenčním CAL. Přepočtený referenční rok vychází z dat z referenčního roku REF, která jsou ovšem přepočtena na okrajové podmínky roku hodnoceného.

Výstupy výpočtu provozní energetické náročnosti jsou prezentovány v uživatelském rozhraní.

9.1.4 Dokázat vyhodnotit provozní energetickou náročnost budovy i při výpadcích dat z měřicího systému.

Samostatná část výpočtu provozní energetické náročnosti se zabývá obdobími, kdy systém nedodává žádná data. Výpočtový nástroj zná pouze délku výpadku a spotřebu energie za celé období.

Pokud výpadek je dlouhodobý a přesahuje hranici více měsíců, je možné spočítat stav měřicího přístroje na rozhraní měsíců na základě výpočtů, které jsou rozepsány v kapitole 5. Výpočet provozní energetické náročnosti pak vychází z dat, která výpadku předcházejí nebo následují. To platí i pro definici okrajových podmínek, které do výpočtu provozní energetické náročnosti vstupují. Hodnocení během výpadků dat pro jednotlivé dílčí dodané energie je popsáno pro každou dílčí energii zvlášť v kapitole 6.

Krátkodobé výpadky dat v řádu hodin výpočtový nástroj umí dopočítat. Délku maximálního výpadku, který může být dopočten, lze ve výpočtovém nástroji nadefinovat.

Jsou-li v dodávkách dat výpadky a data není možné v původním časovém kroku dopočítat, je na tento fakt v uživatelském rozhraní upozorněno, neboť výsledek výpočtu provozní energetické náročnosti může být výpadky dat zkreslen.

9.1.5 Kalkulační nástroj a jeho správnou funkci otestovat na případě konkrétní budovy, ve které je prováděno kontinuální měření.

Výpočtový nástroj, který je předmětem disertační práce, včetně jeho uživatelského rozhraní, je testován na případu konkrétního rodinného domu nacházejícího se v Rýmařově. V práci

je jako hodnocený rok zvolen rok 2019, což je rok, kdy dochází k výpadkům dat přesahujícím hranice měsíců. Je proto nutné provést dopočet. Jako referenční rok, který je přepočítáván, je zvolen rok 2017. V tomto roce je provoz domu již ustálený.

Případová studie rodinného domu a její výsledky a výstupy jsou prezentovány v kapitole 7. Jak je ve výstupech vidět, systém si umí poradit s přepočtem okrajových podmínek i s výpadky dat.

9.2 Celkové shrnutí

Autor této disertační práce je přesvědčen, že i díky situaci posledních let roste povědomí o energetice budov a možnostech snižování energetické náročnosti. Disertační práce si klade za ambici celkové povědomí ještě zvýšit, a to především v oblasti provozu budov.

Výpočtový nástroj poskytuje jasnou a přehlednou informaci o energetických tocích v budově, zároveň dokáže sledovat trendy ve spotřebách energie. Nicméně základním předpokladem správného vyhodnocení je poměrně podrobné měření nejen energetických toků, ale i stavu vnitřního prostředí, venkovních meteorologických podmínek a detekci provozu budovy. Veličiny jsou rozepsány v kapitole 9.1.2.

Výpočtový nástroj, který je předmětem disertační práce, dokazuje, že je při náležitém měření energetických toků možné velmi jednoduše detekovat problémy, které jednotlivé technické systémy v budově mají. Díky výstupům výpočtového nástroje se dají stanovovat předpoklady, kdy některý technický systém selhává (klesá mu účinnost) a jak se může například správná údržba projevit na celkové energetické bilanci a provozních nákladech budovy.

9.3 Možný další výzkum

I když byly cíle práce autora splněny, je zde potenciál dalšího výzkumu v oblasti provozní energetické náročnosti budov. Autor disertační práce by se rád zaměřil především na problematiku alternativních a obnovitelných zdrojů energie, mapování provozu tepelných čerpadel, využívání geotermální energie pro vytápění, přípravu teplé vody a chlazení.

Kalkulační nástroj, který je výstupem disertační práce, byl vyvinut v softwaru MS Excel, jehož limitů bylo dosaženo během data cleaningu, který musel být fázován po měsících, což výrazně prodlužovalo čas čištění dat. Na limity softwaru bylo naráženo i během vyhodnocování provozní energetické náročnosti. Je zde proto potenciál zjednodušení, ale zároveň i rozšíření kalkulačního nástroje, pokud by se pro vyhodnocení provozní energetické náročnosti využilo pokročilejšího programovacího nástroje, například s využitím programovacího jazyka Python. Při využití pokročilejšího programování by mohlo být automatizováno i vyhodnocování více roků provozu budovy, sestavovány agregované výstupy.

9.4 Přínosy práce

Hlavním přínosem této práce je výpočtový nástroj, který může být díky své univerzalitě využíván ve většině budov v Evropě a většinu systémů TZB. Výjimku tvoří pouze budovy s alternativními zdroji energie, budovy se složitým provozem, větší polyfunkční budovy (náraželo by se na limity kalkulačního nástroje a faktu, že je vyvinut v MS Excel) či stavby obsahující technologie, které mohou sloužit jako zdroj tepla (další typ alternativních zdrojů energie).

Důležitým výstupem je též možnost detekce provozu budovy ve velmi krátkém časovém kroku (v závislosti na tom, s jak malým časovým krokem pracuje systém MaR), včetně detekcí poruch, přetápění objektu, využívání OZE či detekci úniků vody.

Přínosem směrem k širší veřejnosti je jednoduchost výstupů vyvinutého kalkulačního nástroje, jelikož struktura výstupů odpovídá legislativou zakotvenému průkazu energetické náročnosti budovy, s nímž je veřejnost poměrně široce obeznámena. Tím, že kalkulační nástroj sleduje všechny energetické toky v budově i jednotlivé energonositele, je pro uživatele budovy snadné se zorientovat ve hledání potenciálu úspor energie.

Výstupy této disertační práce by mohly sloužit k revizi stávající legislativy věnující se energetické náročnosti budov. §6a zákona 406/2000 Sb. [15] se věnuje kontrole systémů vytápění a klimatizace o jmenovitém výkonu nad 70 kW. Kalkulační nástroj může sloužit jako podklad pro kontrolu systémů s nižším výkonem. Dalším bodem vedoucím ke snížení spotřeb energie v budovách je vyhodnocování spotřeb energie domácími elektrospotřebiči, které dosud není ve vyhlášce o energetické náročnosti zakotveno a které, jak ukazují výstupy případové studie, se na celkových energetických tocích v budovách může podílet v řádu desítek procent v závislosti na typu a užití budovy.

10 Použité zkratky a symboly

PENB	Průkaz energetické náročnosti budovy
EN	Energetická náročnost
ENB	Energetická náročnost budov
EA	Energetický audit
EP	Energetický posudek
EPBD	Evropská směrnice o energetické náročnosti
EPC	Energetický projekt se zárukou (Energy Performance Contracting)
OZE	Obnovitelné zdroje energie
SRI	Ukazatel připravenosti budovy pro chytrá řešení (Smart Readiness Indicator for Buildings)
CZT	Centrální zásobování teplem
SZTE	Soustava zásobování tepelnou energií
TČ	Tepelné čerpadlo
TZB	Technická zařízení budov
EVL	Hodnocený rok v rámci hodnocení provozní EN
REF	Referenční rok v rámci hodnocení provozní EN
CAL	Přepočtený referenční rok v rámci hodnocení provozní EN
DD	Počet denostupňů
VYT	Vytápění
CHL	Chlazení
TV	Teplá voda; Příprava teplé vody (ve výstupech kalkulačního nástroje)
VĚT	Větrání
OSV	Osvětlení
VLH	Úprava vlhkosti
KD	Kusové dřevo
EL	Elektrická energie
SOL	Solární energie

D_{m1}	Počet dnů v prvním měsíci	[dny]
D_{m2}	Počet dnů ve druhém měsíci	[dny]
D_{m3}	Počet dnů ve třetím měsíci	[dny]
$D_{dos,1}$	Počet dnů v prvním měsíci, kdy jsou dostupná data	[dny]

$D_{vyp,1}$	Počet dnů v prvním měsíci, kdy nejsou dostupná data	[dny]
$D_{dos,2}$	Počet dnů ve druhém měsíci, kdy jsou dostupná data	[dny]
$D_{vyp,2}$	Počet dnů ve druhém měsíci, kdy nejsou dostupná data	[dny]
$D_{dos,3}$	Počet dnů ve třetím měsíci, kdy jsou dostupná data	[dny]
$D_{vyp,3}$	Počet dnů ve třetím měsíci, kdy nejsou dostupná data	[dny]
D_{vyp}	Počet dnů, kdy došlo k výpadku dat	[dny]
$E_{m,1}$	Spotřeba energie v prvním měsíci	[Wh]
$E_{m,2}$	Spotřeba energie ve druhém měsíci	[Wh]
$E_{m,3}$	Spotřeba energie ve třetím měsíci	[Wh]
$E_{dos,1}$	Spotřeba energie v prvním měsíci v době, kdy jsou dostupná data	[Wh]
$E_{vyp,1}$	Spotřeba energie v prvním měsíci v době, kdy nejsou dostupná data	[Wh]
$E_{dos,2}$	Spotřeba energie ve druhém měsíci v době, kdy jsou dostupná data	[Wh]
$E_{vyp,2}$	Spotřeba energie ve druhém měsíci v době, kdy nejsou dostupná data	[Wh]
$E_{dos,3}$	Spotřeba energie ve třetím měsíci v době, kdy jsou dostupná data	[Wh]
$E_{vyp,3}$	Spotřeba energie ve třetím měsíci v době, kdy nejsou dostupná data	[Wh]
E_{vyp}	Spotřeba energie za období, kdy nejsou dostupná data	[Wh]
ΔT_d	Rozdíl denní průměrné vnitřní a venkovní teploty	[K]
$C_{h,cal,m}$	Spotřeba energie na vytápění za daný měsíc v roce CAL	[Wh]
$HDD_{evl,m}$	Denostupně pro vytápění za daný měsíc v roce EVL	[K·den]
$HDD_{ref,m}$	Denostupně pro vytápění za daný měsíc v roce REF	[K·den]
$C_{h,ref,m}$	Spotřeba energie na vytápění za daný měsíc v roce REF	[Wh]
$C_{h,cal,d}$	Spotřeba energie na vytápění za daný den v roce CAL	[Wh]
$HDD_{evl,d}$	Denostupně pro vytápění za daný den v roce EVL	[Wh]
$HDD_{ref,d}$	Denostupně pro vytápění za daný den v roce REF	[Wh]
$C_{h,ref,d}$	Spotřeba energie na vytápění za daný den v roce REF	[Wh]
$C_{dhw,cal,m}$	Spotřeba energie na přípravu TV za daný měsíc v roce CAL	[Wh]
$PP_{evl,m}$	Počet dnů přítomnost osob za daný měsíc v roce EVL	[dny]
$PP_{ref,m}$	Počet dnů přítomnost osob za daný měsíc v roce REF	[dny]
$C_{dhw,ref,m}$	Spotřeba energie na přípravu TV za daný měsíc v roce REF	[Wh]
$P_{PT,cal,m}$	Produkce tepla solárními kolektory za daný měsíc v roce CAL	[Wh]

$G_{evl,m}$	Suma slunečního záření v době provozu solární soustavy (oběhové čerpadlo běží a systém dodává teplo do zásobníku TV) za daný měsíc v roce EVL	[J/m ²]
$G_{ref,m}$	Suma slunečního záření v době provozu solární soustavy (oběhové čerpadlo běží a systém dodává teplo do zásobníku TV) za daný měsíc v roce REF	[J/m ²]
$P_{PT,ref,m}$	Produkce tepla solárními kolektory za daný měsíc v roce REF	[Wh]
$C_{igt,ref,m}$	Spotřeba energie na osvětlení za daný měsíc v roce CAL	[Wh]
$PP_{evl,m}$	Počet dnů s přítomností osob za daný měsíc v roce EVL	[dny]
$PP_{ref,m}$	Počet dnů s přítomností osob za daný měsíc v roce REF	[dny]
$C_{igt,ref,m}$	Spotřeba energie na osvětlení za daný měsíc v roce REF	[Wh]
$C_{DHW,d}$	Denní spotřeba tepla na přípravu TV	[Wh]
$C_{DHW,sol,d}$	Denní spotřeba tepla na přípravu TV pokrytá solárními kolektory	[Wh]
$C_{DHW,ec,d}$	Denní spotřeba tepla na přípravu TV pokrytá el. topnou patronou	[Wh]
$C_{DHW,eb,d}$	Denní spotřeba tepla na přípravu TV pokrytá elektrokotlem	[Wh]
$C_{DHW,fd}$	Denní spotřeba tepla na přípravu TV pokrytá krbovými kameny	[Wh]
η_f	Účinnost krbových kamen	[-]
$C_{ven,cal,m}$	Spotřeba energie na větrání za daný měsíc v roce CAL	[Wh]
$C_{ven,cal,o,m}$	Spotřeba energie na větrání v době plného provozu za daný měsíc v roce CAL	[Wh]
$C_{ven,cal,a,m}$	Spotřeba energie na větrání v době útlumového provozu za daný měsíc v roce CAL	[Wh]
$H_{evl,o,m}$	Počet hodin plného provozu VZT za daný měsíc v roce EVL;	[h]
$H_{ref,o,m}$	Počet hodin plného provozu VZT za daný měsíc v roce REF;	[h]
$C_{ven,ref,o,m}$	Spotřeba energie na větrání v plném provozu za daný měsíc v roce REF.	
$H_{evl,a,m}$	Počet hodin útlumového provozu VZT za daný měsíc v roce EVL;	[h]
$H_{ref,a,m}$	Počet hodin útlumového provozu VZT za daný měsíc v roce REF;	[h]
$C_{ven,ref,a,m}$	Spotřeba energie na větrání v útlumovém provozu za daný měsíc v roce REF.	[kWh]

11 Seznam literatury

- [1] **KETTEL, Steven.** Oil Crisis. *Encyclopaedia Britannica* [online]. 2014 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/money/oil-crisis>.
- [2] Infografika – Nárůst cen energií od roku 2021. *Evropská rada, Rada Evropské unie* [online]. 2023 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/infographics/energy-prices-2021/>
- [3] Ceny energií a bezpečnost dodávek. *Evropská rada Rada Evropské Unie.* 2022 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/energy-prices-and-security-of-supply/>.
- [4] **OČENÁŠKOVÁ, Adéla.** Vyděšený trh, panikařící Češi. Co se vlastně teď děje s energiemi a jak ceny zkrotit. *Aktuálně.cz* [online]. 2022 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/otazky-a-odpovedi-k-trhu-s-elektrinou/r~1f43036822da11ed8b4e0cc47ab5f122/>.
- [5] Počet fotovoltaických elektráren zapojených do sítě se od začátku roku 2022 více než zdvojnásobil. MPO pracuje na zjednodušení jejich povolování. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2023 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/pocet-fotovoltaickyh-elektraren-zapojenych-do-site-se-od-zacatku-roku-2022-vice-nez-zdvojnasil--mpo-pracuje-na-zjednoduseni-jejich-povolovani--275690/>.
- [6] Tepelná čerpadla – prodeje 2010–2023. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2023 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/tepelna-cerpadla-_prodeje-2010_2023--275595/.
- [7] **HODBOŤ, Josef.** Tepelná čerpadla: Prodeje v roce 2022, scénáře do 2040 a (ne)dostatek elektřiny. *Tzb-info* [online]. 2023 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/25042-tepelna-cerpadla-prodeje-v-roce-2022-scenare-do-2040-a-ne-dostatek-elektriny>.
- [8] Historie a současnost Elektrárny Temelín. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/jaderna-energetika/jaderna-energetika-v-ceske-republice/ete/historie-a-soucasnost>.
- [9] Budoucnost energetiky v ČR. *Skupina ČEZ* [online]. 2022 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/nove-jaderne-zdroje/budoucnost-energetiky-v-cr>.
- [10] **LÁZŇOVSKÝ, Matouš a KASÍK, Pavel.** Kalkulačka: Kolik elektráren bude Česko potřebovat, až propadne elektrovozům? *Seznam Zprávy* [online]. 2021 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/kalkulacka-kolik-elektraren-bude-cesko-potrebovat-az-propadne-elektrovozum-170398>.
- [11] Zelená dohoda pro Evropu. *Evropská komise* [online]. 2019 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_cs.

- [12] **PŘIBYLA, Ondráš.** Co přesně znamená uhlíková neutralita? *Fakta o klimatu* [online]. 2021 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: https://faktaoklimatu.cz/explainery/uhlikova-neutralita?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAz8GuBhCxARIsAOpzk8w-je47LrfkRdchLAO_9M4WBfOddpAEmZ3qoCyqRd0uu1ewUv-6x7MaAj-yEALw_wcB.
- [13] Summary for Policymakers Headline Statements. *IPCC Sixth Assessment Report* [online]. 2022 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/resources/spm-headline-statements/>.
- [14] **HORÁK, O.** *Energetická a emisní náročnost obce Všenory*. Praha, 2015. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov
- [15] Zákon č. 406/2000 Sb. Zákon o hospodaření energií. In: *Zákony pro lidi* [online]. 2000 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-406>
- [16] Vyhláška č. 464/2020 Sb. Vyhláška o energetické náročnosti. In: *Zákony pro lidi* [online]. 2020 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-264>
- [17] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/844 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov a směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti, Úřední věstník Evropské unie L 156, dne 19.6.2018, S0075- 0091
- [18] **KABELE, K.; URBAN, M.; HORÁK, O.; SVOBODA, Z.; VARGA, M.** Hodinová klimatická data a parametry typického užívání budov a zón s chlazením, úpravou vlhkosti nebo s výrobou elektrické energie pro výpočet dodané energie a pomocné energie v souladu s § 4 odst. 1 vyhlášky č. 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov Praha: *Společnost pro techniku prostředí*, 2022. vol. 1. ISBN 978-80-02-02987-8.
- [19] Vyhláška č. 140/2021 Sb. Vyhláška o energetickém auditu. In: *Zákony pro lidi* [online]. 2021 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-140>
- [20] ČSN ISO 50002 (011514). *Energetické audity - Požadavky s návodem pro použití*. 1. vyd. Praha: ÚNMZ, květen 2016
- [21] Vyhláška č. 141/2021 Sb. Vyhláška o energetickém posudku a o údajích vedených v Systému monitoringu spotřeby energie. In: *Zákony pro lidi* [online]. 2021 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-141>
- [22] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2012/27/EU ze dne 25. října 2012 o energetické účinnosti, o změně směrnic 2009/125/ES a 2010/30/EU a o zrušení směrnic 2004/8/ES a 2006/32/ES. Úřední věstník EU L 315, dne 14.11.2012
- [23] Smart readiness indicator. *European Commission* [online]. 2018 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/smart-readiness-indicator_en.
- [24] **HORÁK, O.; KABELE, K.** Testing of Pilot Buildings by the SRI Method. In: Vytápění, větrání, instalace. 2019, 28(6), 331-334. ISSN 1210-1389.

- [25] **HORÁK, O.; KABELE, K.** Citlivostní analýza ukazatele připravenosti budovy na chytrá řešení. In: zborník prednášok 28. medzinárodnej vedecko-odbornej konferencie VYKUROVANIE 2020. NITRA: SSTOP - Slovenská spoločnosť pro techniku prostredia, 2020. p. 311-315. ISBN 978-80-89878-58-1.
- [26] **HORÁK, O.; KABELE, K.** Ukazatel připravenosti budovy pro chytrá řešení a virtuální průkaz energetické náročnosti budovy. In: 26. konference Vytápění Třeboň 2021. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2021. p. 25-30. ISBN 978-80-02-02942-7.
- [27] **HORÁK, O.; KABELE, K.** Ukazatel připravenosti budovy pro chytrá řešení – případová studie konkrétních budov. In: Architecture and Sustainable Development 20. Praha: Czech Technical University in Prague, 2020. p. 6-13. ISBN 978-80-01-06770-3.
- [28] **HORÁK, O.; KABELE, K.** Výsledky testování výpočtu SRI na pilotních objektech v ČR. In: XI. symposium GREEN WAY 2020. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2020. p. 36-38. ISBN 978-80-02-02906-9.
- [29] **HORÁK, O.; KABELE, K.** Testing of Pilot Buildings by SRI Method. In: Indoor Climate of Buildings 2019 Energy Management for Better Indoor Environment. Bratislava: Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2019. p. 87-94. ISBN 978-80-89878-55-0.
- [30] **HORÁK, O.; KABELE, K.** Ukazatel připravenosti budovy pro chytrá řešení a virtuální průkaz energetické náročnosti budovy. TZB-info: portál pro technická zařízení budov. 2022, ISSN 1801-4399.
- [31] **KABELE, K.; KABRHEL, M.; VEVERKOVÁ, Z.; DVOŘÁKOVÁ, P.; FROLÍK, S.; URBAN, M.; HORÁK, O.; BRŮHA, P. et al.** PROJEKT TRIO – FV40183 ROZŠÍŘENÍ SYSTÉMU ŘÍZENÍ PRODUKTU INTELIGENTNÍ DŮM Podrobný popis realizovaných aktivit za rok 2019. [Annual Report] Brand-Tech, 2019. Report no. 1.
- [32] Kobra - je inteligentní dům dostupný všem [online]. [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.ikobra.com/?page=public&id=cojeto>
- [33] Řídicí systém Kobra. *Brand-tech* [online]. [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.brandtech.cz/slovník-pojmu/ridici-system-kobra>.
- [34] **KABELE, K.; KABRHEL, M.; VEVERKOVÁ, Z.; DVOŘÁKOVÁ, P.; FROLÍK, S.; URBAN, M.; HORÁK, O.; BRŮHA, P. et al.** PROJEKT TRIO – FV40183 ROZŠÍŘENÍ SYSTÉMU ŘÍZENÍ PRODUKTU INTELIGENTNÍ DŮM Podrobný popis realizovaných aktivit za rok 2020. [Annual Report] Brand-Tech, 2020. Report no. 2.
- [35] **KABELE, K.; KABRHEL, M.; VEVERKOVÁ, Z.; DVOŘÁKOVÁ, P.; FROLÍK, S.; URBAN, M.; HORÁK, O.; BRŮHA, P. et al.** PROJEKT TRIO – FV40183 ROZŠÍŘENÍ SYSTÉMU ŘÍZENÍ PRODUKTU INTELIGENTNÍ DŮM Podrobný popis realizovaných aktivit za rok 2021. [Annual Report] Brand-Tech, 2021. Report no. 3.

- [36] **KABELE, K.; BRŮHA, P.; DVOŘÁKOVÁ, P.; FROLÍK, S.; HORÁK, O.; KABRHEL, M.; URBAN, M.; VEVERKOVÁ, Z. et al.** PROJEKT TRIO – FV40183 ROZŠÍŘENÍ SYSTÉMU ŘÍZENÍ PRODUKTU INTELIGENTNÍ DŮM Podrobný popis realizovaných aktivit za rok 2022. [Annual Report] Brand-Tech, 2022. Report no. 4.
- [37] Desigo – řídicí systém pro moderní energeticky efektivní budovy. *Siemens* [online]. [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.siemens.com/cz/cs/products/technologie-budov/automation/desigo.html>.
- [38] PLC Tecomat Foxtrot. *TECO* [online]. [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.tecomat.cz/products/cat/cz/plc-tecomat-foxtrot-3/>.
- [39] Ovládej svůj dům. *Ovládej svůj dům* [online]. [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: https://ovladejsvujdum.cz/files/media_files/0/am12p/foxtrot-web-cz.pdf.
- [40] Inteligentní instalace ABB-free@home®. *ABB* [online]. [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://nizke-napeti.cz.abb.com/inteligentni-instalace-abb-freehome>.
- [41] Chytrá domácnost od Loxone. *Loxone* [online]. [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.loxone.com/cscz/chytry-dum/>.
- [42] Efektivní a ucelený energetický management. *Loxone* [online]. [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.loxone.com/cscz/produkty/energie/>.
- [43] **SPUDYS, P.; AFXENTIOU, N.; GEORGALI, Z.; KLUMBYTE, E.; JURELIONIS, A.; FOKAIDES, P.** Classifying the operational energy performance of buildings with the use of digital twins. In: *Energy and Buildings*. 2023, 290, Article 113106, ISSN 0378-7788. dostupné z: 10.1016/j.enbuild.2023.113106
- [44] **BRADY, L.; ABDELLATIF, M.** Assessment of energy consumption in existing buildings. In: *Energy and Buildings*. 2017, 149. ISSN 0378-7788. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778817307545>
- [45] **GOLDSTEIN, D.B.; ELEY, C.** A classification of building energy performance indices. In: *Energy Efficiency*. 2014, pp. 353-375. ISSN 1570-6478. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12053-013-9248-0>
- [46] **ZHOU, Z.; FENG, L.; ZHANG, S.; WANG, C.; CHEN, G.; DU, T.; LI, Y.; ZUO, J.** The operational performance of “net zero energy building”: A study in China. In: *Applied Energy*. 2016, 177. pp 716-728. ISSN 0306-2619. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.093>
- [47] Rozdělení domácností podle hlavního paliva, energie. *Český statistický úřad* [online]. 2021 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/196217611/150189220312.pdf/99f4e1a4-e20a-4acb-a06f-d8584cea9fce?version=1.1>.
- [48] Domácností podle změny paliv, energie k vytápění ke které došlo v průběhu 10 let. *Český statistický úřad* [online]. 2021 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/196217611/150189220322.pdf/38dee5b2-04e0-4ec8-9b76-1f05f25fe246?version=1.1>.

- [49] Vývoj konečné spotřeby v členění podle paliv a sektorů v ČR. *Český statistický úřad* [online]. 2021 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/196217611/150189220111.pdf/5f99892d-c51b-40d0-87af-877610fa7a36?version=1.1>.
- [50] Energy. *Encyclopaedia Britannica* [online]. 1998 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/potential-energy>.
- [51] **LULKOVÍČOVÁ, O.** Zdroje tepla a domovní kotelny. Vytápění. Bratislava: Jaga, 2004. ISBN 80-8076-002-0.
- [52] DesignBuilder [online]. [cit. 2024-02-18]. Dostupné z: <https://designbuilder.co.uk/>
- [53] TRNSYS: Transient System Simulation Tool. [online]. [cit. 2024-02-18] Dostupné z: <https://www.trnsys.com/>.
- [54] **HORÁK, O.; KABELE, K.** Průkaz energetické náročnosti a reálné užívání budovy - případová studie rodinného domu. In: Simulace budov a techniky prostředí 2018. Praha: IBPSA-CZ, 2018. p. 45-49. ISBN 978-80-907423-0-7.
- [55] **HORÁK, O.; KABELE, K.** Energetická náročnost rodinného domu - předpoklad a realita. In: Letní škola TZB 2018 - Energetický a environmentální koncept chytrého sídelního celku. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2018. ISBN 978-80-02-02808-6.
- [56] **HORÁK, O.; KABELE, K.** Energy Certificate and Real Building Energy Performance – Czech Case Study. In: Book of Abstracts. College Station - Texas: IBPSA world, 2019. p. 754.
- [57] **HORÁK, O.; KABELE, K.** Energetická náročnost a skutečná spotřeba energie. In: Konference Vytápění Třeboň 2019. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2019. p. 27-31. ISBN 978-80-02-02847-5.
- [58] **HORÁK, O.; KABELE, K.** Energetická náročnost budov přidružených ke sportovním stavbám. In: Sborník příspěvků 18. Letní školy TZB 2020 - TZB pro sportovní stavby s téměř nulovou spotřebou energie. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2020. p. 12-20. ISBN 978-80-02-02911-3.
- [59] Spotřeba základních spotřebičů v domácnostech. *Český statistický úřad* [online]. 2021 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/196217611/15018922029.pdf/022d3299-53c0-4ce4-be47-09d2c6919238?version=1.3>.
- [60] **HORÁK, O.; KABELE, K.** Predicted and Actual Energy Performance of Residential Buildings in Czechia. Case Study on Evaluation of Detailed Energy and IEQ Monitoring in Family House. In: Roomvent&Ventilation 2018: Excellent Indoor Climate and High Performing Ventilation. Helsinki: SIY Indoor Air Information Oy, 2018. ISBN 978-952-5236-48-4.
- [61] **KABELE, K.; URBAN, M.** Grant no: te02000077 Smart Regions – buildings and settlements information modelling, technology and infrastructure for sustainable development)
- [62] ČSN 33 2130 ED.3 (332130). *Elektrické instalace nízkého napětí – Vnitřní elektrické rozvody*. 1. vyd. Praha: ÚNMZ, prosinec 2014

Vlastní publikace vztahující se k této práci

- **URBAN, M.; KABELE, K.; SVOBODA, Z.; HORÁK, O.** Vliv hodinového kroku pro výpočet energetické náročnosti budovy. TZB info. 2024, ISSN 1801-4399.
- **URBAN, M.; KABELE, K.; HORÁK, O.; SVOBODA, Z.; VARGA, M.** Okrajové podmínky pro výpočet a hodnocení energetické náročnosti budov v hodinovém kroku. In: Vytápění, větrání, instalace. 2024, 33(1), ISSN 1210-1389.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Výpočtová a provozní energetická náročnost budov. In: 27. konference Vytápění Třeboň 2023. Praha: Společnost pro techniku prostředí - odborná sekce 02 Vytápění, 2023. p. 38-42. ISBN 978-80-02-03004-1.
- **KABELE, K.; URBAN, M.; SVOBODA, Z.; HORÁK, O.** Vliv hodinového kroku pro výpočet energetické náročnosti budovy. In: 27. konference Vytápění Třeboň 2023. Praha: Společnost pro techniku prostředí - odborná sekce 02 Vytápění, 2023. p. 19-23. ISBN 978-80-02-03004-1.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Operational building energy performance. In: The REHVA European HVAC Journal. 2023, 60(1), 10-14. ISSN 1307-3729.
- **KABELE, K.; URBAN, M.; HORÁK, O.; SVOBODA, Z.; VARGA, M.** Hodinová klimatická data a parametry typického užívání budov a zón s chlazením, úpravou vlhkosti nebo s výrobou elektrické energie pro výpočet dodané energie a pomocné energie v souladu s § 4 odst. 1 vyhlášky č. 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2022. vol. 1. ISBN 978-80-02-02987-8.
- **HORÁK, O.** Metody hodnocení provozní energetické náročnosti budov. In: 21. letní škola TZB 2023 - Moderní trendy v TZB pro budovy s nulovými emisemi a principy cirkulární ekonomiky. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2023. p. 26-35. ISBN 978-80-02-03029-4.
- **KABELE, K.; BRŮHA, P.; DVOŘÁKOVÁ, P.; FROLÍK, S.; HORÁK, O.; KABRHEL, M.; URBAN, M.; VEVEKOVÁ, Z. et al.** PROJEKT TRIO – FV40183 ROZŠÍŘENÍ SYSTÉMU ŘÍZENÍ PRODUKTU INTELIGENTNÍ DŮM Podrobný popis realizovaných aktivit za rok 2022. [Annual Report] Brand-Tech, 2022. Report no. 4.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Operational Building Energy Performance. In: Indoor Climate of Buildings 2022 Healthy Built Environment and Energy Security. Bratislava: Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2022. p. 196-203. ISBN 978-80-8284-004-2.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Operational Building Energy Performance. In: Indoor Climate of Buildings 2022 Healthy Built Environment and Energy Security.

- Bratislava: Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2022. p. 196-203. ISBN 978-80-8284-004-2.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Ukazatel připravenosti budovy pro chytrá řešení a virtuální průkaz energetické náročnosti budovy. TZB-info: portál pro technická zařízení budov. 2022, ISSN 1801-4399.
 - **HORÁK, O.; KABELE, K.** Energetická náročnost v průběhu provozu budovy. In: Sborník příspěvků 20. Letní školy TZB - Resilientní systémy TZB pro budovy 21. století. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2022. p. 36-49. ISBN 978-80-02-02984-7.
 - **KABELE, K.; KABRHEL, M.; VEVEKOVÁ, Z.; DVOŘÁKOVÁ, P.; FROLÍK, S.; URBAN, M.; HORÁK, O.; BRŮHA, P. et al.** PROJEKT TRIO – FV40183 ROZŠÍŘENÍ SYSTÉMU ŘÍZENÍ PRODUKTU INTELIGENTNÍ DŮM Podrobný popis realizovaných aktivit za rok 2021. [Annual Report] Brand-Tech, 2021. Report no. 3.
 - **HORÁK, O.; KABELE, K.** Vyhodnocení provozní energetické náročnosti budovy. In: VNÚTORNÁ KLÍMA BUDOV 2021 COVID-19 je stále tu. Bratislava: Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia ZSVTS, 2021. p. 127-132. ISBN 978-80-89878-86-4.
 - **HORÁK, O.; KABELE, K.** Ukazatel připravenosti budovy pro chytrá řešení a virtuální průkaz energetické náročnosti budovy. In: 26. konference Vytápění Třeboň 2021. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2021. p. 25-30. ISBN 978-80-02-02942-7.
 - **HORÁK, O.; KABELE, K.** Provozní energetická náročnost budov. In: Sborník příspěvků 19. Letní školy TZB 2021 - TZB pro zdravé vnitřní prostředí v budovách s téměř nulovou spotřebou energie. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2021. p. 21-29. ISBN 978-80-02-02940-3.
 - **KABELE, K.; KABRHEL, M.; VEVEKOVÁ, Z.; DVOŘÁKOVÁ, P.; FROLÍK, S.; URBAN, M.; HORÁK, O.; BRŮHA, P. et al.** PROJEKT TRIO – FV40183 ROZŠÍŘENÍ SYSTÉMU ŘÍZENÍ PRODUKTU INTELIGENTNÍ DŮM Podrobný popis realizovaných aktivit za rok 2020. [Annual Report] Brand-Tech, 2020. Report no. 2.
 - **HORÁK, O.; KABELE, K.** Ukazatel připravenosti budovy pro chytrá řešení – případová studie konkrétních budov. In: Architecture and Sustainable Development 20. Praha: Czech Technical University in Prague, 2020. p. 6-13. ISBN 978-80-01-06770-3.
 - **HORÁK, O.; KABELE, K.** Příspěvek k problematice online vyhodnocení dat z řídicího systému inteligentních budov. In: VNÚTORNÁ KLÍMA BUDOV 2020 Vnútorne prostredie budov. Bratislava: Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia ZSVTS, 2020. p. 39-40. ISBN 978-80-89878-68-0.

- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Výsledky testování výpočtu SRI na pilotních objektech v ČR. In: XI. symposium GREEN WAY 2020. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2020. p. 36-38. ISBN 978-80-02-02906-9.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Energetická náročnost budov přidružených ke sportovním stavbám. In: Sborník příspěvků 18. Letní školy TZB 2020 - TZB pro sportovní stavby s téměř nulovou spotřebou energie. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2020. p. 12-20. ISBN 978-80-02-02911-3.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Citlivostní analýza ukazatele připravenosti budovy na chytrá řešení. In: zborník prednášok 28. medzinárodnej vedecko-odbornej konferencie VYKUROVANIE 2020. NITRA: SSTP - Slovenská spoločnosť pre techniku prostředí, 2020. p. 311-315. ISBN 978-80-89878-58-1.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Energetická náročnost a skutečná spotřeba energie. TZB info. 2019, ISSN 1801-4399.
- **KABELE, K.; KABRHEL, M.; VEVERKOVÁ, Z.; DVOŘÁKOVÁ, P.; FROLÍK, S.; URBAN, M.; HORÁK, O.; BRŮHA, P. et al.** PROJEKT TRIO – FV40183 ROZŠÍŘENÍ SYSTÉMU ŘÍZENÍ PRODUKTU INTELIGENTNÍ DŮM Podrobný popis realizovaných aktivit za rok 2019. [Annual Report] Brand-Tech, 2019. Report no. 1.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Testing of Pilot Buildings by the SRI Method. In: Vytápění, větrání, instalace. 2019, 28(6), 331-334. ISSN 1210-1389.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Testing of Pilot Buildings by SRI Method. In: Indoor Climate of Buildings 2019 Energy Management for Better Indoor Environment. Bratislava: Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2019. p. 87-94. ISBN 978-80-89878-55-0.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Energy Certificate and Real Building Energy Performance – Czech Case Study. In: Book of Abstracts. College Station - Texas: IBPSA world, 2019. p. 754.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Energetická náročnost a skutečná spotřeba energie. In: Konference Vytápění Třeboň 2019. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2019. p. 27-31. ISBN 978-80-02-02847-5.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Energetická náročnost historických budov. In: Sborník příspěvků 17. Letní školy TZB 2019 - Revitalizace hradu na kongresové centrum. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2019. p. 1-10. ISBN 978-80-02-02869-7.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Energetická náročnost rodinného domu - průkaz vs. Realita. In: VNÚTORNÁ KLÍMA BUDOV 2018 Úspory energie versus vnútorné prostredie. Bratislava: Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2018. p. 91-94. ISBN 978-80-89878-39-0.

- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Případová studie rodinného domu - průkaz energetické náročnosti a reálné užívání. In: IX. symposium GREEN WAY 2018. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2018. p. 17-18. ISBN 978-80-02-02809-3.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Průkaz energetické náročnosti a reálné užívání budovy - případová studie rodinného domu. In: Simulace budov a techniky prostředí 2018. Praha: IBPSA-CZ, 2018. p. 45-49. ISBN 978-80-907423-0-7.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Predicted and Actual Energy Performance of Residential Buildings in Czechia. Case Study on Evaluation of Detailed Energy and IEQ Monitoring in Family House. In: Roomvent&Ventilation 2018: Excellent Indoor Climate and HighPerforming Ventilation. Helsinki: SIY Indoor Air Information Oy, 2018. ISBN 978-952-5236-48-4.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Energetická náročnost rodinného domu - předpoklad a realita. In: Letní škola TZB 2018 - Energetický a environmentální koncept chytrého sídelního celku. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2018. ISBN 978-80-02-02808-6.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Faktory ovlivňující spotřebu energie na vytápění. In: Vykurovanie 2018: Nové trendy v zásobování budov teplom. Bratislava: Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2018. p. 51-54. ISBN 978-80-89878-19-2.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Využití sluneční energie pro snižování energetické náročnosti osvětlení. In: Vnútorná klíma budov 2017. Bratislava: Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, 2017. pp. 101-104. ISBN 978-80-89878-18-5.
- **HORÁK, O.** Vliv systémů větrání na hodnocení energetické náročnosti administrativních budov. In: Letní škola TZB 2017 - Technická zařízení pro zdravé vnitřní prostředí v energeticky úsporných administrativních budovách. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2017. pp. 1-9. ISBN 978-80-02-02743-0.
- **HORÁK, O.; KABELE, K.** Energetická náročnost budov - teorie a praxe. In: Konference Vytápění Třeboň 2017. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2017. pp. 318-322. ISBN 978-80-02-02712-6.

Vlastní publikace nevztahující se k této práci

- **YANG, J.; THAM, K.W.; SANTAMOURIS, M.; SEKHAR, C.; MOHAN KUMAR, D.I.; HORÁK, O.** The impact of cooling and ventilation strategies on exposure in lecture rooms using CO₂ as surrogate. In: 2019 ISES ISIAQ Joint Annual Meeting - Abstracts. Overland Park: International Society of Exposure Science, 2019. p. 343.

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1: Vzor průkazu energetické náročnosti budovy	24
Obr. 2: Funkcionality řešené v rámci projektu TRIO	32
Obr. 3: Počty domácností podle hlavního paliva sloužícího k vytápění	37
Obr. 4: Rozdělení domácností podle hlavních paliv na vytápění – pouze byty v bytových domech	38
Obr. 5: Rozdělení domácností podle hlavních paliv na vytápění – pouze byty v rodinných domech	38
Obr. 6: Změny zdrojů tepla v domácnostech mezi lety 2011 a 2021	39
Obr. 7: Spotřeby energie v domácnostech, v průmyslu a v ostatních odvětvích	40
Obr. 8: Spotřeby energie v domácnostech podle zdrojů	40
Obr. 9: Obecné schéma energetických toků v budově – tepelná energie [50]	42
Obr. 10: Vývojový diagram data cleaningu – část 1	47
Obr. 11: Vývojový diagram data cleaningu – část 2	48
Obr. 12: Vývojový diagram data cleaningu – část 3	49
Obr. 13: Vývojový diagram data cleaningu – část 4	50
Obr. 14: Schéma případu 1	52
Obr. 15: Schéma případu 2	53
Obr. 16: Schéma případu 3	54
Obr. 17: Schéma případu 4	55
Obr. 18: Základní vývojový diagram vyhodnocení provozní energetické náročnosti	56
Obr. 19: Stanovení dnů v měsíci, kdy je budova vytápěna	60
Obr. 20: Odhad počtu denostupňů a spotřeb ve dnech bez dat	62
Obr. 21: Výpočet spotřeby tepla na vytápění v přepočteném referenčním roce	63
Obr. 22: Rozdělení přepočtené referenční spotřeby energie na vytápění mezi energonositele	65
Obr. 23: Postup stanovení počtu dnů s přítomností osob v době, kdy nejsou dostupná data	67
Obr. 24: Vývojový diagram výpočtu přepočtené referenční spotřeby energie na přípravu teplé vody – 1. část	69
Obr. 25: Vývojový diagram výpočtu přepočtené referenční spotřeby energie na přípravu teplé vody – 2. část (hodnocení dodávky tepla solárními kolektory)	70
Obr. 26: Rozdělení spotřeby energie na přípravu teplé vody v přepočteném referenčním roce mezi jednotlivé energonositele	72
Obr. 27: Postup stanovení hodin plného a útlumového provozu větracího systému v době, kdy nejsou dostupná data	74
Obr. 28: Vývojový diagram výpočtu přepočtené referenční spotřeby energie na větrání ..	77
Obr. 29: Vývojový diagram osvětlení	79
Obr. 30: Struktura výstupů uživatelského rozhraní	83
Obr. 31: Fotografie objektu během výstavby [61]	85
Obr. 32: Schematický půdorys řešeného objektu (jednočarový obrys značí tvar střechy) ..	86
Obr. 33: Schéma technických systémů s vyznačením hlavních měřicích míst [54]	87
Obr. 34: Podíly načtených dat	93
Obr. 35: Schéma energetických toků	94
Obr. 36: Analýza spotřeby energie na přípravu teplé vody	96

Obr. 37: Dny v jednotlivých měsících referenčního a hodnoceného roku, kdy je systém vytápění v provozu	101
Obr. 38: Počty denostupňů v referenčním a hodnoceném roce	102
Obr. 39: Spotřeby energie v preferenčním a přepočteném referenčním roce	103
Obr. 40: Přítomnost osob ve dnech s daty a bez dat pro referenční a hodnocený rok.....	106
Obr. 41: Porovnání původního a přepočteného referenčního roku v pokrytí potřeby tepla na přípravu TV jednotlivými zdroji energie	107
Obr. 42: Spotřeba energie na osvětlení v referenčním roce (REF) a přepočteném referenčním roce (CAL).....	110
Obr. 43: Hlavní grafické rozhraní	112
Obr. 44: Grafické rozhraní – měsíční vyhodnocení celkové dodané energie	113
Obr. 45: Celková dodaná energie – měsíční vyhodnocení – dělení podle energonositelů.	114
Obr. 46: Měsíční vyhodnocení dílčí dodané energie na vytápění.....	115
Obr. 47: Dílčí dodaná energie na vytápění – měsíční srovnání – energonositelé	115
Obr. 48: Měsíční vyhodnocení dílčí dodané energie na osvětlení (+větrání)	116
Obr. 49: Měsíční vyhodnocení dílčí dodané energie na přípravu teplé vody.....	117
Obr. 50: Dílčí dodaná energie na přípravu TV – měsíční srovnání – energonositelé	117
Obr. 51: Grafické rozhraní – energonositele, primární energie, elektrospotřebiče	118
Obr. 52: Spotřeba elektrické energie – měsíční srovnání	119
Obr. 53: Spotřeba elektrické energie – měsíční srovnání – užití energie	120
Obr. 54: Spotřeba energie pokryté kusovým dřevem – měsíční srovnání.....	121
Obr. 55: Spotřeba energie pokryté kusovým dřevem – měsíční srovnání – užití energie	121
Obr. 56: Produkce energie solárními kolektory – měsíční srovnání	122
Obr. 57: Primární energie z neobnovitelných zdrojů – měsíční srovnání	123
Obr. 58: Primární energie z neobnovitelných zdrojů – měsíční srovnání – užití energie..	123
Obr. 59: Spotřeba elektrické energie domácími spotřebiči – měsíční srovnání.....	124
Obr. 60: Denní hodnocení spotřeby vytápění v březnu	125
Obr. 61: Denní hodnocení spotřeby vytápění v říjnu.....	126
Obr. 62: Denní hodnocení spotřeby vytápění v září.....	127
Obr. 63: Denní hodnocení spotřeby tepla na přípravu teplé vody v květnu	127
Obr. 64: Denní hodnocení produkce tepla solárními kolektory v březnu	128
Obr. 65: Denní hodnocení produkce tepla solárními kolektory v červnu	129
Obr. 66: Denní hodnocení produkce tepla solárními kolektory v listopadu.....	129
Obr. 67: Denní hodnocení spotřeby elektrické energie na osvětlení + větrání	130
Obr. 68: Denní hodnocení spotřeby elektrospotřebičů v červenci.....	130
Obr. 69: Denní hodnocení spotřeby elektrospotřebičů v srpnu	131
Obr. 70: Denní hodnocení spotřeby elektrické energie v lednu.....	132
Obr. 71: Denní hodnocení spotřeby energie pokryté kusovým dřevem v lednu	132
Obr. 72: Denní hodnocení spotřeby elektrické energie v listopadu	133
Obr. 73: Produkce energie solárními kolektory 3. června 2019.....	134
Obr. 74: Spotřeba elektrické energie na osvětlení + větrání 8. září 2019.....	135
Obr. 75: Denní průběh příkonu osvětlení + větrání	135
Obr. 76: Čtvrthodinové spotřeby energie pokryté kusovým dřevem 8. ledna 2019	136
Obr. 77: Čtvrthodinové spotřeby energie pokryté kusovým dřevem 10. ledna 2017	137

Seznam tabulek

Tab. 1: Tabulka dílčích energií a energonositelů obsažených v budově	57
Tab. 2 Případy detekce chodu otopné soustavy v hodnoceném a referenčním roce	64
Tab. 3: Faktory primární energie	81
Tab. 4 Hodnocení energetických toků pomocí emotikonů	84
Tab. 5: Seznam místností	86
Tab. 6: Tabulka energonositelů a dílčích dodaných energií	87
Tab. 7: Seznam měřicích míst – venkovní podmínky, které uživatel neovlivňuje	88
Tab. 8: Seznam měřicích míst – teploty vnitřního vzduchu	88
Tab. 9: Seznam měřicích míst – ostatní parametry vnitřního prostředí	89
Tab. 10: Seznam měřicích míst – stavy systémů TZB v domě	89
Tab. 11: Seznam měřicích míst – stav vytápění	90
Tab. 12: Seznam měřicích míst – spotřeba elektrické energie	90
Tab. 13: Seznam měřicích míst – stavy kalorimetrů	91
Tab. 14: Tabulka poznámek k měřeným veličinám	92
Tab. 15: Stavy na rozhraní výpadků dat	98
Tab. 16: Tabulka hodnot vycházejících z analýzy dat	99
Tab. 17: Stavy na rozhraní výpadků dat	99
Tab. 18: Tabulka hodnot vycházejících z analýzy dat	100
Tab. 19: Stavy na rozhraní výpadků dat (kWh)	104
Tab. 20: Tabulka hodnot vycházejících z analýzy dat	104
Tab. 21: Stavy na rozhraní výpadků dat	105
Tab. 22: Tabulka hodnot vycházejících z analýzy dat	105
Tab. 23: Stavy na rozhraní výpadků dat (kWh)	107
Tab. 24: Tabulka hodnot vycházejících z analýzy dat	108
Tab. 25: Stavy na rozhraní výpadků dat	108
Tab. 26: Tabulka hodnot vycházejících z analýzy dat	109
Tab. 27: Celkový souhrn veličin, které je nutné měřit a jejich relevance pro dílčí dodané energie	141

Přílohy

Příloha 1: Výřezy z kalkulačního nástroje

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Sloupec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2												
3					REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF
4					Soláry	Patrona		EK		Krb		
5		Pořadí měsíce v hodnoce ní	Číslo měsíce v kalendář i	Měsíc	Ručně min	Ručně max	Ručně min	Ručně max	Ručně min	Ručně max	Ručně min	Ručně max
6		1	1	LED								
7		2	2	ÚNO								
8		3	3	BŘE								
9		4	4	DUB								
10		5	5	KVĚ								
11		6	6	ČEN								
12		7	7	ČEC								
13		8	8	SRP								
14		9	9	ZÁŘ								
15		10	10	ŘÍJ								
16		11	11	LIS								
17		12	12	PRO								
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24					REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF
25									TV	TV	TV	
26	Pořadí dne	Pořadí měsíce v hodnoce ní	Číslo měsíce v kalendář i	Datum	Přítomno st osob	Gh v době odběru	delta T	Vytápí se?	DD	Soláry	Patrona	EK
27	1	1	1	1.1	1	6509	26,35689	1	26,35689	4,8	0,08	0,02
28	2	1	1	2.1	1	0	27,42629	1	27,42629	0	0,07	0,02
29	3	1	1	3.1	1	0	24,51631	1	24,51631	0	0,07	0,02
30	4	1	1	4.1	1	0	22,21425	1	22,21425	0	0,06	0,01
31	5	1	1	5.1	1	0	27,47518	1	27,47518	0	0,07	0,02
32	6	1	1	6.1	1	0	33,27892	1	33,27892	0	0,07	0,02
33	7	1	1	7.1	1	7803	36,64628	1	36,64628	1,1	5,89	0
34	8	1	1	8.1	1	7773	32,30808	1	32,30808	2,3	1,23	0,59
35	9	1	1	9.1	1	5096	32,94237	1	32,94237	1,1	0,07	0,01
36	10	1	1	10.1	1	0	33,50224	1	33,50224	0	0,06	0,02
37	11	1	1	11.1	1	7565	33,27658	1	33,27658	4,2	0,07	0,01
38	12	1	1	12.1	1	0	25,7416	1	25,7416	0	0,07	0,01

O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
HOD Soláry	HOD	HOD Patrona	HOD	HOD EK	HOD	HOD Krb	HOD	HOD Osvětlení		REF	REF	HOD	HOD
										Min	Max	Min	Max
Ručně min	Ručně max	Ručně min	Ručně max	Ručně min	Ručně max	Ručně min	Ručně max	Ručně min	Ručně max	záznam v měsíci REF	záznam v měsíci REF	záznam v měsíci HOD	záznam v měsíci HOD
										1	2976	1	2976
4110		1181		10850		16600		2137,4		2977	5664	2977	5664
										5665	8640	5665	8640
										8641	11520	8641	11520
										11521	14496	11521	14496
										14497	17376	14497	17376
										17377	20352	17377	20352
										20353	23328	20353	23328
										23329	26208	23329	26208
5587,9		1245		11280		18794		2533		26209	29184	26209	29184
										29185	32064	29185	32064
										32065	35040	32065	35040
REF Osvětlení VYT	REF	REF VYT	REF VYT	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD TV	HOD TV	HOD TV	HOD TV
Osvětlení													
I	EK	Krb	Celkem	Přítomno st osob	Gh v době odběru	delta T	Vytápi se?	DD	Soláry	Patrona	EK	Krb	Celkem
2,1	0,18	48,4	48,58	1	0	21,55952	1	21,55952	0	0,1	2,5	3,8	6,4
2,04	0,18	110,09	110,27	1	0	23,63894	1	23,63894	0	0,1	2,66	6,34	9,1
2,22	0,18	92,09	92,27	1	0	25,77194	1	25,77194	0	0,7	3,82	3,08	7,6
2,25	0,09	80,07	80,16	1	3222	26,48366	1	26,48366	0,1	1,9	2,93	3,07	8
1,44	0,18	95,69	95,87	1	4250	21,5097	1	21,5097	1,5	4,8	2,66	6,64	15,6
1,56	0,18	81,19	81,37	1	0	24,24804	1	24,24804	0	2,6	1,16	6,14	9,9
1,55	51,2	0	51,2	1	3253	26,58932	1	26,58932	0,3	1,2	2,09	3,21	6,8
1,67	63,21	62,62	125,83	1	0	24,30547	1	24,30547	0	1,9	2,06	5,54	9,5
1,64	0,09	89,68	89,77	1	0	21,25693	1	21,25693	0	1,7	0,34	6,46	8,5
1,48	0,18	121,18	121,36	1	0	24,27602	1	24,27602	0	0,3	1,28	6,32	7,9
2,11	0,19	113,38	113,57	1	6259	26,52435	1	26,52435	0,2	0,1	0,86	7,44	8,6
2,39	0,09	78,38	78,47	1	0	23,11348	1	23,11348	0	0,1	0	7,7	7,8

AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP
28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
										Měsíční spotřeby v době, kdy mám data			
REF/HOD	REF	REF	HOD	HOD	REF	REF	HOD	HOD	REF	REF	REF	REF	REF
Počet dnů v měsíci celkem	Počet dnů v měsíci s daty	Počet dnů v měsíci bez dat	Počet dnů v měsíci s daty	Počet dnů v měsíci bez dat	Mám data na začátku měsíce	Mám data na konci měsíce	Mám data na začátku měsíce	Mám data na konci měsíce	TV Soláry	TV Patrona	TV EK	TV Krb	TV Celkem
31	31	0	18	13	1	1	1	0	33,4	9,1	6,94	190,9	240,34
28	28	0	0	28	1	1	0	0	70,5	1,92	0,42	158,06	230,9
31	31	0	31	0	1	1	1	1	125,1	2,16	0,63	89,7	217,59
30	30	0	30	0	1	1	1	1	146,8	7,98	5,15	69,7	229,63
31	31	0	31	0	1	1	1	1	241,7	2,18	1,69	38,83	284,4
30	30	0	30	0	1	1	1	1	260	8,19	2,7	5,45	276,34
31	31	0	31	0	1	1	1	1	245,5	37,05	2,11	1,47	286,13
31	31	0	30	1	1	1	1	1	205,9	14,9	2,3	0	223,1
30	30	0	22	8	1	1	1	0	100,2	42,25	1,02	57,15	200,62
31	31	0	22	9	1	1	0	1	91	107,35	2,67	67,38	268,4
30	30	0	30	0	1	1	1	1	34,3	233,61	7,85	0,37	276,13
31	31	0	25	6	1	1	1	1	12,6	72,62	56,27	145,71	287,2
													TV Celk
HOD	HOD	HOD	HOD	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL
Osvětlení VYT	Osvětlení VYT	Osvětlení VYT	Osvětlení VYT	TV	TV	TV	TV	TV	TV	TV	TV	TV	TV
				Pořadí dne bez dat v rámci měsíce	Max číslo bez dat v měsíci	Přítomno st osob	Přítomno st 1. fáze	Spotřeba TV 1. fáze	Dopočíst ve 2. fázi?	Spotřeba TV 2. fáze	Spotřeba TV součet 1.+2.fáze	Spotřeba TV korekce	Spotřeba TV výsledná CELKEM
2,1	23,5	35,8	59,3	0	13	1	1	9,1	0	0	9,1	1	9,1
1,8	20,34	48,36	68,7	0	13	1	1	11,1	0	0	11,1	1	11,1
1,6	31,18	25,22	56,4	0	13	1	1	8,4	0	0	8,4	1	8,4
1,9	33,07	34,63	67,7	0	13	1	1	8,7	0	0	8,7	1	8,7
1,7	22,34	55,66	78	0	13	1	1	9,9	0	0	9,9	1	9,9
1,5	9,84	52,36	62,2	0	13	1	1	10,6	0	0	10,6	1	10,6
1,7	24,91	38,29	63,2	0	13	1	1	6,99	0	0	6,99	1	6,99
1,4	18,94	51,06	70	0	13	1	1	4,7	0	0	4,7	1	4,7
1,5	2,66	50,14	52,8	0	13	1	1	9,8	0	0	9,8	1	9,8
1,6	11,72	57,88	69,6	0	13	1	1	10,2	0	0	10,2	1	10,2
1,5	8,14	69,96	78,1	0	13	1	1	11,3	0	0	11,3	1	11,3
1,7	0	54,6	54,6	0	13	1	1	8,9	0	0	8,9	1	8,9

	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP																																																																																																																																																																																																																																		
4	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67																																																																																																																																																																																																																																		
Měsíční spotřeby celkem (odečteno z max a min z dat, případně z ručního výpočtu)											Zbývá dopočítat																																																																																																																																																																																																																																				
REF	REF	REF	REF	REF	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	REF	REF	REF																																																																																																																																																																																																																																			
Osvětlen					Osvětlen																																																																																																																																																																																																																																										
Soláry	Patrona	EK	Krb	i	Soláry	Patrona	EK	Krb	i	Soláry	Patrona	EK																																																																																																																																																																																																																																			
3	33,4	9,1	274,6	2498,491	57,04	23	17,8	570	1564,151	51,5	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																		
0	70,5	1,92	4,7	1738,491	50,86	93,3	4,1	96	1615,094	46,9	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																		
6	125,1	2,16	5,3	933,5849	49,34	166,2	2,2	138	1137,736	52,2	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																		
3	146,8	7,98	109,9	690,9434	49,9	233,6	2,2	52	600	48,2	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																		
4	241,7	2,18	5,4	286,7925	49,2	202,6	2,7	16	513,2075	49,4	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																		
7	260	8,19	5,2	15,09434	53	264,8	8,9	5	0	47,6	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																		
9	245,5	37,05	5,4	32,07547	50,8	187	9,2	6	0	49,6	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																		
6	205,9	14,9	5,5	0	50,6	184,8	12,2	5	0	52,1	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																		
6	100,2	42,25	5,3	543,3962	48,9	145,6	22,5	112	273,5849	49,6	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																		
4	91	107,35	231,4	660,3774	53,8	125,6	15,6	20	639,6226	54,1	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																		
1	34,3	233,61	1641,2	26,41509	54,4	35,5	2,2	9	1233,962	52,6	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																		
6	12,6	72,62	736,63	1569,811	58,72	29,9	2,6	103	1749,057	51,4	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TV Patr</th> <th>TV EK</th> <th>TV Krb</th> <th>OSV</th> <th colspan="10"></th> </tr> <tr> <th>CAL</th> <th>CAL</th> <th>CAL</th> <th>CAL</th> <th>CAL</th> <th>CAL</th> <th>CAL</th> <th>CAL</th> <th>CAL</th> <th>CAL</th> <th>CAL</th> <th>CAL</th> <th>CAL</th> <th>CAL</th> </tr> <tr> <th>TV</th> <th>TV</th> <th>TV</th> <th>TV</th> <th>OSV</th> <th>OSV</th> <th>OSV</th> <th>OSV</th> <th>OSV</th> <th>OSV</th> <th>OSV</th> <th>OSV</th> <th>OSV</th> <th>OSV</th> </tr> <tr> <th colspan="4">Procenta kontrolní součet</th> <th colspan="4">Pořadí dne bez dat v rámci měsíce</th> <th>Max číslo bez dat v měsíci</th> <th>Přítomno st osob</th> <th>Přítomno st 1. fáze</th> <th>Spotřeba OSV 1. fáze</th> <th>Dopočíst ve 2. fázi?</th> <th>Spotřeba OSV 2. fáze</th> <th>Spotřeba OSV součet 1.+2.fáze</th> <th>Korekce</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6</td> <td>100%</td> <td>0,142188</td> <td>3,554688</td> <td>5,403125</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>2,1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>2,1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>100%</td> <td>0,121978</td> <td>3,244615</td> <td>7,733407</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>2,04</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>2,04</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>100%</td> <td>0,773684</td> <td>4,222105</td> <td>3,404211</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>2,22</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>2,22</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>100%</td> <td>1,842942</td> <td>2,842011</td> <td>2,977806</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>2,25</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>2,25</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>100%</td> <td>2,90445</td> <td>1,609549</td> <td>4,017822</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1,44</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1,44</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>100%</td> <td>2,783838</td> <td>1,24202</td> <td>6,574141</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1,56</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1,56</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>100%</td> <td>1,097128</td> <td>1,910832</td> <td>2,934819</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1,55</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1,55</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>100%</td> <td>0,94</td> <td>1,019158</td> <td>2,740842</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1,67</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1,67</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>100%</td> <td>1,96</td> <td>0,392</td> <td>7,448</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1,64</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1,64</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>100%</td> <td>0,387342</td> <td>1,652658</td> <td>8,16</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1,48</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1,48</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>100%</td> <td>0,110537</td> <td>0,950615</td> <td>8,223923</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>2,11</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>2,11</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>100%</td> <td>0,114103</td> <td>0</td> <td>8,785897</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>2,39</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>2,39</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>														TV Patr	TV EK	TV Krb	OSV											CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	TV	TV	TV	TV	OSV	OSV	OSV	OSV	OSV	OSV	OSV	OSV	OSV	OSV	Procenta kontrolní součet				Pořadí dne bez dat v rámci měsíce				Max číslo bez dat v měsíci	Přítomno st osob	Přítomno st 1. fáze	Spotřeba OSV 1. fáze	Dopočíst ve 2. fázi?	Spotřeba OSV 2. fáze	Spotřeba OSV součet 1.+2.fáze	Korekce	6	100%	0,142188	3,554688	5,403125	0	13	1	1	2,1	0	0	2,1	1	6	100%	0,121978	3,244615	7,733407	0	13	1	1	2,04	0	0	2,04	1	6	100%	0,773684	4,222105	3,404211	0	13	1	1	2,22	0	0	2,22	1	6	100%	1,842942	2,842011	2,977806	0	13	1	1	2,25	0	0	2,25	1	6	100%	2,90445	1,609549	4,017822	0	13	1	1	1,44	0	0	1,44	1	6	100%	2,783838	1,24202	6,574141	0	13	1	1	1,56	0	0	1,56	1	6	100%	1,097128	1,910832	2,934819	0	13	1	1	1,55	0	0	1,55	1	6	100%	0,94	1,019158	2,740842	0	13	1	1	1,67	0	0	1,67	1	6	100%	1,96	0,392	7,448	0	13	1	1	1,64	0	0	1,64	1	6	100%	0,387342	1,652658	8,16	0	13	1	1	1,48	0	0	1,48	1	6	100%	0,110537	0,950615	8,223923	0	13	1	1	2,11	0	0	2,11	1	6	100%	0,114103	0	8,785897	0	13	1	1	2,39	0	0	2,39	1
TV Patr	TV EK	TV Krb	OSV																																																																																																																																																																																																																																												
CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL	CAL																																																																																																																																																																																																																																		
TV	TV	TV	TV	OSV	OSV	OSV	OSV	OSV	OSV	OSV	OSV	OSV	OSV																																																																																																																																																																																																																																		
Procenta kontrolní součet				Pořadí dne bez dat v rámci měsíce				Max číslo bez dat v měsíci	Přítomno st osob	Přítomno st 1. fáze	Spotřeba OSV 1. fáze	Dopočíst ve 2. fázi?	Spotřeba OSV 2. fáze	Spotřeba OSV součet 1.+2.fáze	Korekce																																																																																																																																																																																																																																
6	100%	0,142188	3,554688	5,403125	0	13	1	1	2,1	0	0	2,1	1																																																																																																																																																																																																																																		
6	100%	0,121978	3,244615	7,733407	0	13	1	1	2,04	0	0	2,04	1																																																																																																																																																																																																																																		
6	100%	0,773684	4,222105	3,404211	0	13	1	1	2,22	0	0	2,22	1																																																																																																																																																																																																																																		
6	100%	1,842942	2,842011	2,977806	0	13	1	1	2,25	0	0	2,25	1																																																																																																																																																																																																																																		
6	100%	2,90445	1,609549	4,017822	0	13	1	1	1,44	0	0	1,44	1																																																																																																																																																																																																																																		
6	100%	2,783838	1,24202	6,574141	0	13	1	1	1,56	0	0	1,56	1																																																																																																																																																																																																																																		
6	100%	1,097128	1,910832	2,934819	0	13	1	1	1,55	0	0	1,55	1																																																																																																																																																																																																																																		
6	100%	0,94	1,019158	2,740842	0	13	1	1	1,67	0	0	1,67	1																																																																																																																																																																																																																																		
6	100%	1,96	0,392	7,448	0	13	1	1	1,64	0	0	1,64	1																																																																																																																																																																																																																																		
6	100%	0,387342	1,652658	8,16	0	13	1	1	1,48	0	0	1,48	1																																																																																																																																																																																																																																		
6	100%	0,110537	0,950615	8,223923	0	13	1	1	2,11	0	0	2,11	1																																																																																																																																																																																																																																		
6	100%	0,114103	0	8,785897	0	13	1	1	2,39	0	0	2,39	1																																																																																																																																																																																																																																		

CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL	CM	CN	CO	
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	
rozklíčování												
REF	REF	REF	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	
VYT	VYT	VYT	TV	TV	TV	TV	TV	Osvětlení	VYT	VYT	VYT	
Osvětlen												
EK	Krb	Celkem	Soláry	Patrona	EK	Krb	Celkem	í	EK	Krb	Celkem	
267,66	2307,7	2575,36	23	17,8	49,42551	159,583	249,8086	51,5	416,1254	1138,239	1554,364	
4,28	1580,44	1584,72	93,3	4,1	30,46775	143,5865	271,4543	46,9	65,53225	1471,413	1536,946	
4,67	844,1	848,77	166,2	2,2	11,51	127,59	307,5	52,2	126,49	1010,11	1136,6	
104,75	621,1	725,85	233,6	2,2	2,88	66,82	305,5	48,2	49,12	533,18	582,3	
3,71	247,97	251,68	202,6	2,7	2,53	84,27	292,1	49,4	13,47	428,93	442,4	
2,5	9,65	12,15	264,8	8,9	1,3	0	275	47,6	3,7	0	3,7	
3,29	30,63	33,92	187	9,2	2,1	0	198,3	49,6	3,9	0	3,9	
3,2	0	3,2	184,8	12,2	0,5	0	197,5	52,1	4,6	0	4,6	
4,28	486,25	490,53	145,6	22,5	18,72857	21,29196	208,1205	49,6	92,88304	64,89849	157,7815	
228,73	593,02	821,75	125,6	15,6	0,99	79,99059	222,1806	54,1	6,21	522,8819	529,0919	
1633,35	26,03	1659,38	35,5	2,2	1,62	175,08	214,4	52,6	7,38	1058,72	1066,1	
680,36	1424,29	2104,65	29,9	2,6	1,059029	232,2953	265,8544	51,4	6,785631	1468,63	1475,416	
REF	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	
VYT	VYT	VYT	VYT	VYT	VYT	VYT	VYT	VYT	VYT	VYT	VYT	
Pořadí												
dne bez Max												
dat v číslo bez												
Celkem	Mám			Topí			rámci dat v			Topí se ?		EK
výsledná	EK	Krb	Celkem	data?	Delta T	základ?	měsíce	měsíce	Výsledek	DD	výsledná	
48,58	23,5	35,8	59,3	1	21,55952	1	0	13	1	21,55952	23,5	
110,27	20,34	48,36	68,7	1	23,63894	1	0	13	1	23,63894	20,34	
92,27	31,18	25,22	56,4	1	25,77194	1	0	13	1	25,77194	31,18	
80,16	33,07	34,63	67,7	1	26,48366	1	0	13	1	26,48366	33,07	
95,87	22,34	55,66	78	1	21,5097	1	0	13	1	21,5097	22,34	
81,37	9,84	52,36	62,2	1	24,24804	1	0	13	1	24,24804	9,84	
51,2	24,91	38,29	63,2	1	26,58932	1	0	13	1	26,58932	24,91	
125,83	18,94	51,06	70	1	24,30547	1	0	13	1	24,30547	18,94	
89,77	2,66	50,14	52,8	1	21,25693	1	0	13	1	21,25693	2,66	
121,36	11,72	57,88	69,6	1	24,27602	1	0	13	1	24,27602	11,72	
113,57	8,14	69,96	78,1	1	26,52435	1	0	13	1	26,52435	8,14	
78,47	0	54,6	54,6	1	23,11348	1	0	13	1	23,11348	0	

CP	CQ	CR	CS	CT	CU	CV	CW	CX	CY	CZ	DA
93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
TV/OSV											
REF	REF	REF	REF	REF	REF	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD
Celkový počet dnů s daty	Přítomno st osob ve dnech s daty počet	Přítomno st osob % dnů	Celkový počet dnů bez dat	Přítomno st v době bez dat	Přítomno st osob celkem	Celkový počet dnů s daty	Přítomno st osob ve dnech s daty počet	Přítomno st osob % dnů	Celkový počet dnů bez dat	Přítomno st v době bez dat	Přítomno st osob celkem
31	29	94%	0	0	29	18	18	100%	13	13	31
28	28	100%	0	0	28	0	0	0%	28	28	28
31	29	94%	0	0	29	31	31	100%	0	0	31
30	29	97%	0	0	29	30	30	100%	0	0	30
31	31	100%	0	0	31	31	31	100%	0	0	31
30	30	100%	0	0	30	30	30	100%	0	0	30
31	31	100%	0	0	31	31	22	71%	0	0	22
31	26	84%	0	0	26	30	30	100%	1	1	31
30	28	93%	0	0	28	22	22	100%	8	8	30
31	31	100%	0	0	31	22	22	100%	9	9	31
30	30	100%	0	0	30	30	30	100%	0	0	30
31	30	97%	0	0	30	25	24	96%	6	6	30
HOD VYT											
Krb výsledná	Celkem výsledná	EK %	Krb %	Topí?	DD	Vyřešit ve 2. fázi?	Spotřeba vyřešený ch v 1. fázi	suma DD pro daný měsíc pro 2. fázi	Podíl spotřeby pro 2. fázi	Spotřeba ve 2. fázi	Spotřeba 1+2. fáze
35,8	59,3	40%	60%	1	21,55952	0	39,73768	0	0	0	39,73768
48,36	68,7	30%	70%	1	23,63894	0	95,04261	0	0	0	95,04261
25,22	56,4	55%	45%	1	25,77194	0	96,99574	0	0	0	96,99574
34,63	67,7	49%	51%	1	26,48366	0	95,56614	0	0	0	95,56614
55,66	78	29%	71%	1	21,5097	0	75,05445	0	0	0	75,05445
52,36	62,2	16%	84%	1	24,24804	0	59,28868	0	0	0	59,28868
38,29	63,2	39%	61%	1	26,58932	0	37,14902	0	0	0	37,14902
51,06	70	27%	73%	1	24,30547	0	94,66231	0	0	0	94,66231
50,14	52,8	5%	95%	1	21,25693	0	57,92645	0	0	0	57,92645
57,88	69,6	17%	83%	1	24,27602	0	87,93852	0	0	0	87,93852
69,96	78,1	10%	90%	1	26,52435	0	90,52525	0	0	0	90,52525

DP	DQ	DR	DS	DT	DU	DV	DW	DX	DY	DZ	EA	EB	EC	ED	EE
119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134
CAL TV	CAL TV	CAL TV	CAL TV	CAL TV	HOD TV	HOD TV	HOD TV	CAL TV	CAL TV	CAL TV	CAL TV	CAL TV	CAL TV	CAL TV	CAL TV
jednotko					Počet dnů, kdy solár dodává	Počet dnů, kdy solár nedodává	Počet dnů bez dat, kdy solár dodává	Rozděle ní zbytku do dnů	Procento patrona	Procento EK	Procento krb	Zbytek po měsíční	Zbytek po dnech	Zbytek po dnech	Korekce
GH	Dodávka soláry	vá dodávka	Suma 1. fáze	Dopočítat	a mám data	á a mám data	Procento								
29250,22	9,416366	0,000322	5,467568	3,948799	17	4	22%	3	1,316266	0,07848	0,217917	0,703602	247,4988	247,4988	1
172342	70,5	0,000409	0	70,5	23	0	0%	28	2,517857	0,023014	0,171019	0,805967	160,4	160,4	1
356173	119,7215	0,000336	119,7215	0	31	31	100%	0	0	0,01557	0,081458	0,902972	112,8747	120,2068	0,939004
563100	189,5108	0,000337	189,5108	0	28	30	100%	0	0	0,030598	0,040056	0,929346	48,03751	65,72087	0,730932
548897	202,2875	0,000369	202,2875	0	30	31	100%	0	0	0,030168	0,028268	0,941564	82,11255	99,58174	0,824574
800119	270,3214	0,000338	270,3214	0	30	30	100%	0	0	0,872549	0,127451	0	6,018638	40,62829	0,148139
699640	203,06	0,00029	203,06	0	31	31	100%	0	0	0,814159	0,185841	0	0	61,97208	0
527131,2	172,7188	0,000328	167,1472	5,571574	31	27	90%	1	5,571574	0,96063	0,03937	0	93,28505	106,0316	0,879785
449170,9	160,5687	0,000357	117,7504	42,81832	28	21	95%	8	5,35229	0,359882	0,299559	0,34056	54,3813	65,67376	0,828052
279641,1	122,6886	0,000439	87,06936	35,61929	25	22	100%	9	3,957698	0,161523	0,010251	0,828226	145,7114	145,7114	1
78464	32,94466	0,00042	32,94466	0	19	20	67%	0	0	0,012297	0,009055	0,978647	243,1853	243,6237	0,998201
64000	17,56098	0,000274	14,04878	3,512195	14	17	68%	5	0,702439	0,011019	0,004488	0,984493	269,639	269,639	1
	TV Soláry														

EF	EG	EH	EI	EJ	EK	EL	EM	EN	EO	EP	EQ	ER	ES	ET	EU
135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
OSV	CAL OSV	CAL OSV	CAL OSV	CAL OSV	CAL OSV	CAL OSV	CAL OSV	REF VYT	REF VYT	REF VYT	REF	REF	REF	REF	REF
Přítomno								Celkový počet dnů s daty	Celkový počet dnů bez dat	Celkem daty	Celkový počet dnů s daty	Celkový počet dnů bez dat	Počty dnů s daty, kdy se topí	Počty dnů s daty, kdy se netopí	Počet dnů bez dat, kdy se topí
Celkem	st osob	Spotřeba 1. fáze	Zbývá rozdělit dnů	Počet dosud nedořeš ených dnů	Spotřeba na den pro 2. fázi	Spotřeba 1.+2.fáze	Korekce	EK	Krb	Celkem					
60,97379	31	33,76	27,21379	13	2,093369	60,97379	1	267,66	2307,7	2575,36	31	0	31	0	0
50,86	28	0	50,86	28	1,816429	50,86	1	4,28	1580,44	1584,72	28	0	28	0	0
52,74276	31	46,62	6,122759	2	3,061379	52,74276	1	4,67	844,1	848,77	31	0	23	8	0
51,62069	30	48,6	3,02069	1	3,02069	51,62069	1	104,75	621,1	725,85	30	0	27	3	0
49,2	31	49,2	0	0	0	49,2	1	3,71	247,97	251,68	31	0	16	15	0
53	30	53	0	0	0	53	1	2,5	9,65	12,15	30	0	1	29	0
36,05161	22	36,7	-0,64839	0	0	36,7	0,982333	3,29	30,63	33,92	31	0	1	30	0
60,33077	31	41,6	18,73077	6	3,121795	60,33077	1	3,2	0	3,2	31	0	0	31	0
52,39286	30	33,8	18,59286	9	2,065873	52,39286	1	4,28	486,25	490,53	30	0	22	8	0
53,8	31	39,5	14,3	9	1,588889	53,8	1	228,73	593,02	821,75	31	0	29	2	0
54,4	30	54,4	0	0	0	54,4	1	1633,35	26,03	1659,38	30	0	30	0	0
58,72	30	44,82	13,9	6	2,316667	61,03667	0,962045	680,36	1424,29	2104,65	31	0	31	0	0

EV	EW	EX	EY	EZ	FA	FB	FC	FD	FE	FF	FG	FH	FI	FJ	FK
151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166
REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	REF	HOD VYT	HOD VYT	HOD VYT	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD
Počet dnů bez dat, kdy se netopí								Celkový počet dnů s daty	Celkový počet dnů bez dat	Celkem daty	Celkový počet dnů s daty, kdy se topí	Celkový počet dnů bez dat, kdy se netopí	Počty dnů s daty, kdy se topí	Počty dnů s daty, kdy se netopí	Počet dnů bez dat, kdy se topí
	Podíl dnů s daty, kdy se topí	Podíl dnů bez dat, kdy se topí	Celkový počet dnů, kdy se topí	DD ve dnech s daty (a DD průměr topí)	Denní DD (a kdy se topí)	DD bez dat (a kdy se topí)	Celkové DD	EK	Krb	Celkem					
0	100%	100%	31	853,4512	27,53068	0	853,4512	416,1254	1138,239	1554,364	18	13	18	0	13
0	100%	100%	28	594,6621	21,23793	0	594,6621	65,53225	1471,413	1536,946	0	28	0	0	28
0	74%	74%	23	380,3113	16,53527	0	380,3113	126,49	1010,11	1136,6	31	0	30	1	0
0	90%	90%	27	393,9879	14,59214	0	393,9879	49,12	533,18	582,3	30	0	27	3	0
0	52%	52%	16	172,9692	10,81057	0	172,9692	13,47	428,93	442,4	31	0	27	4	0
0	3%	3%	1	7,583812	7,583812	0	7,583812	3,7	0	3,7	30	0	5	25	0
0	3%	3%	1	6,622322	6,622322	0	6,622322	3,9	0	3,9	31	0	6	25	0
0	0%	0%	0	0	0	0	0	4,6	0	4,6	30	1	5	25	1
0	73%	73%	22	237,2886	10,78584	0	237,2886	92,88304	64,89849	157,7815	22	8	11	11	4
0	94%	94%	29	408,2351	14,07707	0	408,2351	6,21	522,8819	529,0919	22	9	21	1	9
0	100%	100%	30	564,9807	18,83269	0	564,9807	7,38	1058,72	1066,1	30	0	29	1	0
0	100%	100%	31	707,1105	22,81002	0	707,1105	6,785631	1468,63	1475,416	25	6	25	0	6

FL	FM	FN	FO	FP	FQ	FR	FS	FT	FU	FV	FW	FX	FY	FZ	GA
167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182
HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	REF	REF	REF	REF	HOD	HOD	HOD
Počet dnů bez dat, kdy se netopí	Podíl dnů s dat, kdy se topí	Podíl dnů bez dat, kdy se topí	Celkový počet dnů, kdy se topí	DD ve dnech s daty (a kdy se topí)	Denní DD (průměr)	DD ve dnech bez dat (topí)	Celkové DD (a kdy se topí)	Denní DD průměr	Denní DD průměr korigovaný	Průměrný denní EK ve dnech bez dat	Průměrný denní Krb ve dnech bez dat	Průměrný denní Celkem ve dnech bez dat	Průměrný denní EK ve dnech bez dat	Průměrný denní Krb ve dnech bez dat	Průměrný denní Celkem ve dnech bez dat
0	100%	100%	31	421,0668	23,3926	304,1038	725,1706	23,3926	27,53068	0	0	0	9,595028	25,56373	35,15876
0	0%	98%	28	0	0	631,9133	631,9133	22,56833	21,23793	0	0	0	2,340437	52,55048	54,89092
0	97%	97%	30	538,6559	17,9552	0	538,6559	17,9552	16,53527	0	0	0	0	0	0
0	90%	90%	27	384,5011	14,24078	0	384,5011	14,24078	14,59214	0	0	0	0	0	0
0	87%	87%	27	316,9152	11,7376	0	316,9152	11,7376	10,81057	0	0	0	0	0	0
0	17%	17%	5	22,13537	4,427075	0	22,13537	4,427075	7,583812	0	0	0	0	0	0
0	19%	19%	6	32,47563	5,412605	0	32,47563	5,412605	6,622322	0	0	0	0	0	0
0	17%	17%	6	27,72515	5,545029	5,545029	33,27017	5,545029	0	0	0	0	0	0	0
4	50%	50%	15	134,1112	12,19193	48,76771	182,8789	12,19193	10,78584	0	0	0	0,605759	7,339623	7,945382
0	95%	95%	30	293,5004	13,97621	125,7859	419,2863	13,97621	14,07707	0	0	0	0,306667	11,21466	11,52133
0	97%	97%	29	466,4607	16,08485	0	466,4607	16,08485	18,83269	0	0	0	0	0	0
0	100%	100%	31	508,771	20,35084	122,105	630,876	20,35084	22,81002	0	0	0	0,554272	34,91499	35,46926

GB	GC	GD	GE	GF	GG	GH	GI	GJ	GK	GL	GM
183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194
CAL VYT	CAL VYT	CAL VYT	CAL VYT	CAL VYT	CAL VYT	CAL VYT	CAL VYT	CAL VYT	CAL VYT	CAL VYT	CAL VYT
Spotřeba na DD celkem				Spotřeba vyřešených v 1. fázi	Dořešit v falších fázích	DD v dnech v 2. fázi	Spotřeba vyřešených v 1+2 fázi	Korekce	Výsledná spotřeba celkem	Výsledek EK	Výsledek Krb
725,1706	2188,263	3,017583	2199,643	-11,3797	0	0	2199,643	0,994827	2188,263	227,4286	1960,834
631,9133	1683,991	2,664908	1678,566	5,425433	0	0	1678,566	1,003232	1683,991	4,54811	1679,443
538,6559	1202,16	2,231777	936,7537	265,406	130,9703	265,406	1202,16	1	1202,16	6,614379	1195,545
384,5011	708,3724	1,842315	640,5837	67,78871	19,70509	67,78871	708,3724	1	708,3724	102,2277	606,1447
316,9152	461,1296	1,455057	275,1702	185,9595	110,5798	185,9595	461,1296	1	461,1296	6,797485	454,3321
22,13537	35,46301	1,602097	0	35,46301	0	0	0	0	0	0	0
32,47563	166,3425	5,122071	0	166,3425	0	0	0	0	0	0	0
33,27017	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
182,8789	378,0527	2,06723	250,5203	127,5324	42,52824	127,5324	378,0527	1	378,0527	3,298607	374,7541
419,2863	843,9952	2,012933	806,1808	37,81435	22,83043	37,81435	843,9952	1	843,9952	234,9218	609,0734
466,4607	1370,021	2,937056	1377,598	-7,57632	0	0	1377,598	0,9945	1370,021	1348,53	21,49095
630,876	1877,745	2,976409	1910,956	-33,2112	0	0	1910,956	0,982621	1877,745	607,0095	1270,735

GN	GO	GP	GQ	GR	GS	GT	GU	GV	GW	GX	GY	GZ	HA	HB
195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209
REF	REF	REF	REF	REF	HOD	HOD	HOD	HOD	HOD	CAL	CAL			
Elektrospotřebiče				Denní spotřeba pro	Elektrospotřebiče ve dnech, kdy mám data	Počet dnů celkem	Počet dnů s daty	Spotřeba dopočtená	Denní spotřeba pro	TV - doplnění	VYT doplnění			
254,86	31	31	254,86	8,22129	170,5	31	18	293,6389	9,472222	56,12021	20,86773	170,5109	0,103931	0,896069
250,02	28	28	250,02	8,929286	0	28	0	295,1694	10,54177	27,43144	3,691407	129,2772	0,002701	0,997299
205,8	31	31	205,8	6,63871	296,7	31	31	296,7	9,570968	11,81274	3,130256	97,93167	0,005502	0,994498
229,52	30	30	229,52	7,650667	337,6	30	30	337,6	11,25333	4,025003	9,477463	34,53504	0,144314	0,855686
228,12	31	31	228,12	7,35871	322,9	31	31	322,9	10,41613	6,376925	4,151117	71,58451	0,014741	0,985259
276,81	30	30	276,81	9,227	256,5	30	30	256,5	8,5	0,337728	5,68091	0	0	0
258,25	31	31	258,25	8,330645	247,2	31	31	247,2	7,974194	0	0	0	0	0
210,5	31	31	210,5	6,790323	158,2	31	30	163,4733	5,273333	2,042177	91,24287	0	0	0
227,45	30	30	227,45	7,581667	194,3	30	22	264,9545	8,831818	15,74023	23,10606	15,53501	0,008725	0,991275
288,45	31	31	288,45	9,304839	221,5	31	22	312,1136	10,06818	1,161528	22,30783	122,242	0,278345	0,721655
264,79	30	30	264,79	8,826333	317,2	30	30	317,2	10,57333	1,902871	11,51309	229,7694	0,984313	0,015687
381,88	31	31	381,88	12,31871	302	31	25	374,48	12,08	0,685665	2,870517	266,0828	0,323265	0,676735