VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV
INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ENERGETICKÉ A ENVIRONMENTÁLNÍ HODNOCENI BUDOV

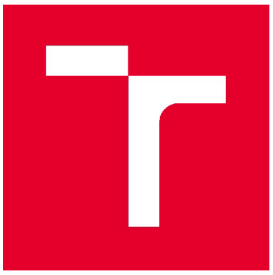
ENERGY AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF BUILDINGS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Tomáš Kubínek
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — prof. Ing. JIŘÍ HIRŠ, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608R001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Tomáš Kubínek
Název	Energetické a environmentální hodnocení budov
Vedoucí práce	prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Platné zákony, vyhlášky, nařízení a normy v oblasti řešené problematiky bakalářské práce. Domácí, evropská a světová literatura, sborníky vědeckých konferencí a odborných akcí v oblasti TZB.

Podrobné podklady a další upřesnění stanoví vedoucí bakalářské práce při konzultacích.

Zásady pro vypracování

A. Teoretická část – literární rešerše ze zadaného tématu, rozsah 15 až 20 stran

B. Výpočtová část

B1. Analýza naměřených energetických spotřeb budov, specifikace energetických systémů budovy, zhodnocení vnitřního prostředí, rámcově stavební řešení a tepelně technické vlastnosti obalových konstrukcí

B2. Energetické hodnocení budov, energetický management, environmentální hodnocení budov, potřeba energie pro vybrané bilanční položky, návrh opatření pro snížení energetické náročnosti s využitím energetického managementu. Popis řízení dodávky energie.

C. Projekt a experimentální část – realizace doplňujících měření, grafické zpracování dlouhodobého energetického sledování spotřeby tepla, zpracování analýzy a porovnání budov, realizace a zhodnocení experimentu. Zjednodušená schémata budov a systémů včetně měření a regulace.

Struktura bakalářské práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Cílem této práce je obecněji popsat, co vše souvisí s výrobou (přeměnou), distribucí a spotřebou energie v různých formách. Podrobněji se pak věnuje budovám z pohledu energetické náročnosti a enviromentálních vlivů ze spotřeby energie plynoucích.
Projektová část se pak konkrétně věnuje realizovanému měření vnitřního prostření a spotřeb energií na ZŠ Svážné v Brně.

Textová část A se věnuje obecnějšímu rozboru energetiky jako celku, trendům spotřeby energií dle druhu jejich výroby. Popisuje fyzikální a chemické děje související s výrobou, distribucí a využíváním energií. Obecněji seznamuje se způsoby energetického a enviromentálního posuzování vlivů budov.

Výpočtová část B uvádí a vysvětluje výpočtové postupy používané v platné legislativě ČR pro stanovení a následné použití klíčových veličin sloužících pro energetické, enviromentální a ekonomické hodnocení budov či úsporných opatření.

Projektová část C se věnuje realizovanému měření na základní škole Svážná v Brně, kde je měřeno vnitřní prostředí. Jsou popsány jednotlivá měřidla. Dále jsou graficky zpracovány spotřeby energií v průběhu několika let. Hlavní částí projektu jsou grafy z naměřených dat a popis dějů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Energetické hodnocení, energetická náročnost budov, enviromentální hodnocení, ekonomické hodnocení, tepelná technika, energetika, tepelná bilance, obnovitelné zdroje energie, technické systémy budov, energeticky úsporná opatření, energetický management, měření a regulace.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to give a general idea of energy; what it is, how it is created (rather transformed), how it is distributed and used in many of its forms.
In detail it describes how buildings are evaluated in terms of energy consumption, how can we lower this consumption and how it affects the environment.

Part A, theory, gives a general idea of the theory surounding transformations, losses and uses of energy. It describes processes of assessment of buildings.

Part B, calculation methods, give an idea how current CZ/EU regulations describe optimal calculation methods. These methods include: energetic, enviromental and economic evaluation of buildings or energy-saving measures.

Part C, project, describes an exact measuring in Elementary School Svážná-Brno. It describes the means of obtaining information. Includes graphically processed monthly energy consumptions. It also includes list of used sensors (measuring air temperature, humidity and surface temperatures), schemes of sensors placements, schemes of building and technical systems. The main part of this project are graphs of measured data made in EXCEL with descriptions.

KEYWORDS

Energetic assessment, energy performance of buildings, enviromental assessment, economic assessment, thermal performance, energy industry, heat balance, renewable energy sources, technical building systems, energy conservation projects, energy management, measurement and regulation.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Tomáš Kubínek *Energetické a environmentální hodnoceni budov.* Brno, 2022. 92 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Energetické a environmentální hodnoceni budov* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 26. 5. 2022

Tomáš Kubínek
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Energetické a environmentální hodnocení budov* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2022

Tomáš Kubínek
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu práce prof.Ing. Jiřímu Hiršovi, CSc. za odborné rady, přátelský přístup a odkazování na zdroje týkající se oboru zpracování práce.
Dále bych poděkoval za součinnost při měření Ing. Alexandru Baroňovi.
Dále je třeba poděkovat za podporu během studia mé rodině a přátelům.

Obsah

A – Teoretická část **1**
A.1. Úvod *1*
A.2. Energetika *1*
A.2.0. Energetika obecně 1
A.2.1. Neobnovitelné zdroje energie: 2
A.2.2. Obnovitelné zdroje energie 4
A.2.3. Trendy využití primárních zdrojů energie ve světě 8
A.2.4. Enviromentální vlivy energetiky 10
A.2.5 Emisní faktory 11
A.3. – Tepelná technika a ochrana budov *12*
A.3.0. Základní fyzikální pojmy 12
A.3.1. Způsoby šíření tepla ve stavebních konstrukcích 12
A.3.2. Větrání 14
A.3.3. Normativní požadavky v tepelné technice budov 15
A.4 Energetická náročnost budov (ENB) *16*
A.4.0. Úvod do energetiky budov 16
A.4.1. Základní pojmy posuzování energetické náročnosti 16
A.4.2. Kritéria energetického hodnocení budov 17
A.4.3. Výpočet dodané energie 18
A.4.4. Výpočet primární energie z neobnovitelných zdrojů 19
A.4.5. Nízkoenergetické a pasivní domy 19
A.4.5. Tepelná bilance budov 19
A.4.6. Energetický audit a posudek 20
A.5. Technické systémy budov *21*
A.5.0. Úvod 21
A.5.1. Vytápění 21
A.5.2. Chlazení 22
A.5.3. Nucené větrání 23
A.5.4. Úpravy vlhkosti 23
A.5.5. Příprava teplé vody 24
A.6. Měření *26*
A.6.1. Měření tepla 26
A.6.2. Měření tlaku 26
A.6.2. Termografie 27
B – Výpočtová část **28**
B.1. Tepelná technika budov *28*
B.1.1. Vybrané tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů 28
B.1.2. Tepelně-technické vlastnosti konstrukcí 29
B.1.3. Šíření vlhka konstrukcí 31

B.2. Tepelná bilance budov *33*
B.2.1. Tepelné ztráty prostupem 33
B.2.2. Tepelné ztráty větráním 33
B.2.3. Tepelné zisky z vnějšího prostředí 34
B.2.4. Tepelné zisky větráním 36
B.2.5. Tepelné zisky od vnitřních zdrojů 36
B.2.6. Zisky vodní páry 37
B.3. Energetická náročnost budov *38*
B.3.1. Celková roční dodaná energie 38
B.3.2. Roční dodaná energie na vytápění 38
B.3.3. Potřeba energie na pokrytí tepelné ztráty 39
B.3.4. Tepelné zisky 39
B.3.5. Roční potřeba energie na chlazení 41
B.3.6. Rozvody 41
B.3.7. Referenční parametry 42
B.4. Návrh a posouzení úsporných opatření *43*
B.4.1. Úvod do opatření ENCON 43
B.4.2. Parametry pro ekonomické hodnocení 43
B.5. Energetický management *45*
B.5.1. Úvod do energetického managementu 45
B.5.2. Grafická analýza – ET křivka 45
B.6. Enviromentální hodnocení budov *47*
B.6.1. Enviromentální hodnocení 47
B.6.2. Vyhodnocení emisí skleníkových plynů metodikou IPCC 48
B.7. Jednotky, zkratky *49*
B.1.1. Indexy a symboly 49
B.1.2. Veličiny, značky, jednotky 50
C – Projekt a experimentální část 51
C.1. Úvod do realizace měření a analýz *51*
C.1.1 Popis projektu 51
C.1.2 Popis objektu 52
C.1.3 Zónování objektu 53
C.1.4 Nedávné modernizace či rekonstrukce: 54
C.1.5 Popis tepelných vlastností konstrukcí budovy 54
C.1.6 Popis technických systémů budovy 55
C.2. Dlouhodobé energetické sledování spotřeby tepla *56*
C.2.1. Popis vstupů a výstupů energií 56
C.2.2. Vyfakturované hodnoty spotřeb energií 57
C.3. Analýza, porovnání budov *58*
C.3.1. Měrné spotřeby energií 58

C.3.4. Enviromentální hodnocení 62
C.4. Realizace měření a sledování *63*
C.4.1. Popis měřících čidel 63
C.4.2. Schéma rozmístění čidel 66
C.4.3. Zpracování dat, popis dějů 67
C.5. Zhodnocení experimentu *77*
C.6. Schémata budov a systémů *78*
C.6.1 Schématická situace (fotomapa) 78
C.6.2 Schéma výměníkové stanice 79
C.6.3 Schéma VZT bloků pro větrání D, D1 81
Závěr **82**
Použité zdroje **83**
Seznam obrázků **84**
Seznam grafů **86**
Seznam tabulek **87**

A – Teoretická část

A.1. Úvod

Tato textová část je literární **rešerší** celkově popisující všechny související odvětví s energetickým a enviromentálním hodnocením budov.
Hodnotí a popisuje energetiku jako průmyslové odvětví, způsoby získávání energie a jejich přeměny.
Rozebírá různé chemické a fyzikální děje probíhající při výrobě, distribuci a koncovém využití energií. Přesněji popisuje děje ovlivňující tepelnou bilanci budovy, jak se stanovují a hodnotí.
Dává okrajový přehled o různých technických a měřících zařízeních, se kterými se energetický specialista setká.

A.2. Energetika

A.2.0. Energetika obecně

Energie (*energy – E*) je skalární veličina popisující schopnost látky konat práci. Jak říká zákon zachování energie, energie nevzniká ani nezaniká, pouze se přeměňuje na jinou formu.
Konáním **práce** dochází k přeměně energie z jednoho druhu na jiný.
Jednotkou energie jsou Joule (J) nebo kilowatthodina (kWh).
Přeměna jednoho druhu energie na jiný se ve fyzice nazývá **práce (*work – W*)**
Práce vykonaná za čas se nazývá **výkon (*power – P*)**, jednotkou jsou Watty, kde 1 W = 1 J/s.
Množství dodané energie *E* za čas *t* spotřebiči se nazývá **příkon**.
Poměr mezi vydaným výkonem stroje a jeho příkonem se nazývá **účinnost (*efficiency – η*)**.
Účinnost reálného stroje nemůže být rovna nebo větší než 100%.

Energetika je průmyslové odvětví, které se zabývá získáváním, přeměnou a distribucí energie v různých formách.

Energetický mix je libovolný podíl primárních a sekundárních zdrojů energie při výrobě elektřiny, resp. tepla.
Primární zdroje energie jsou přírodní zdroje, které nejsou člověkem nijak transformované.
Lze je dělit na obnovitelné a neobnovitelné zdroje energie.

Neobnovitelné zdroje energie:

- fosilní paliva (uhlí, ropa, plyn)
- jaderná paliva (uran, plutonium)

Zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie (v účinnosti od 1.1.2013) definuje **obnovitelné zdroje energie (OZE)** jako nefosilní zdroje energie, jimiž jsou:

- energie větru
- energie slunečního záření
- geotermální energie
- energie okolního prostředí
- energie z přílivu či vln
- energie vody
- energie spalování biomasy a bioplynu
- energie spalování kalového a skládkového plynu

Sekundární (druhotné) zdroje energie jsou zdroje vzniklé lidskou činností.
Patří sem:

- energetické spalování odpadů
- spalování vyjetých olejů (hlavně pro vytápění)
- skládkové plyny (výroba elektřiny)
- odpadní teplo (energetické úspory, výroba elektřiny)

A.2.1. Neobnovitelné zdroje energie:

Uhlí (coal) je hořlavá hornina černo-hnědé barvy. Těží se v hlubinných (černé uhlí) či povrchových (hnědé uhlí) dolech. Chemické složení uhlí je především uhlík, vodík a kyslík. Obsah uhlíku může být od 60 % (Lignit) až po 90 % (Antracit). Vznikalo za vysokých teplot a tlaků v anaerobních prostředí přeměnou biologických materiálů.

Obr.1 černý antracit z období karbonu (zdroj: ˇVŠB TU Ostrava, J. Jirásek)

Ropa (petroleum, crude oil) je přirozeně se vyskytující hořlavá olejovitá kapalina. Jde v podstatě o směs uhlovodíků s různými příměsemi, např. síra, dusík, kyslík, železo aj.
Jednotlivé složky ropy (benzín, mazut, petrolej atd.) se na základě rozdílných teplot varů dělí **frakční destilací**. Mezi jednotlivé **frakce ropy** patří:

- uhlovodíkové plyny (pod 30 °C)
- benzín (destilace 30 až 200 °C)
- petrolej, letecké palivo (destilace 180 až 270 °C)
- motorová nafta (destilace 250 až 360 °C)
- mazut, topný olej, asfalt (zbytek destilace)

Topný olej se dá využít jako topné palivo v teplárnách, ale má vysoký obsah síry, což zhoršuje jeho kvalitu.

Obr.2 vrtná souprava v moři na těžbu ropy z mořského dna (zdroj: fotolia.com)

Zemní plyn (natural gas) je přirozeně se vyskytující plynná směs uhlovodíků, převážně methanu (88-99 %), dále pak ethanu, propanu, butanu, oxidu uhličitého, dusíku, případně i stopy **helia**. Často se vyskytuje v ropných ložiscích, ovšem jsou známa i čistě plynová ložiska.

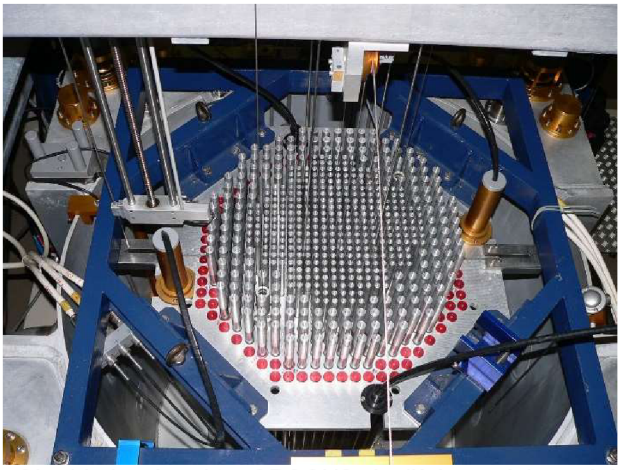
Jedná se o „nejčistší“ fosilní zdroj energie. Jeho **dokonalým spalováním** vzniká pouze voda a oxid uhličitý.

Obr.3 zemní plyn odhořívá při zpracování ropy. (zdroj: Robert Sisson)

Rašelina (peat) je směs částečně rozložených rostlin, nejčastější složkou bývá rašeliník. Rašeliniště pokrývají zhruba 2 % povrchu Země. Po usušení lze použít jako pevné palivo. Používá se i na výrobu hnojiva v zemědělství nebo pro bahenní zábaly v lázeňství.

Jaderná energie (nuclear energy) se uvolňuje při **štěpení** atomových jader isotopu uranu U^{235}. Při štěpení se uvolní velké množství energie, které vypařuje vodu a pohání parní turbínu. Během štěpení dochází k minimálním emisím skleníkových plynů. Problémem je však ukládání vyhořelého **jaderného paliva**.

Energie získaná ze štěpení 1 kg izotopu **uranu** U^{235} je 23 000 MWh, což se rovná energii získané spálením 2 760 tun kvalitního černého uhlí.



Obr.4 jaderný reaktor CROCUS sloužící pro výzkumné účely

A.2.2. Obnovitelné zdroje energie

Energie větru (wind energy) je v podstatě formou energie slunce. Nerovnoměrné zahřívání povrchu Země vytváří vzdušné proudy. Energie dostupná z větru je druhou mocninou rychlosti větru. Vhodné umístění větrných turbín je do vyšších poloh či k širému moři, kde je proud vzduchu stálý a silný.

Obr.5 větrné turbíny na souši (zdroj: energy.gov)

Energie slunečního záření (solar energy) je v podstatě drtivá většina energie, která na Zemi dopadá. Zdrojem je termojaderná fúze vodíku v jádru Slunce.

Slunce má zásoby vodíkového paliva odhadem v řádech miliard let.
Na zemský povrch může dopadat maximálně 1100 W/m^2 sluneční radiace, a to na plochy kolmé na tok světla.

Fotovoltaický kolektor dokáže zachytávat tuto radiaci. Velkoplošná polovodičová dioda je schopna přeměny světla na **elektrickou energii** pomocí fotovoltaického jevu. Na elektřinu se přemění asi pouze 17% světelné energie dopadající na plochu.

Obr.6 fotovoltaický panel (zdroj: profimedia)

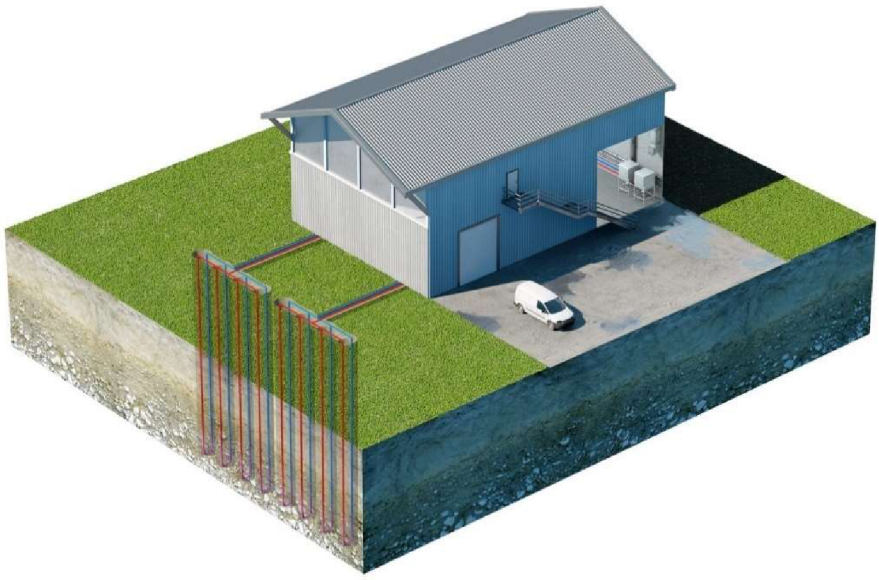
Energie slunce se dá přímo přeměnit na teplo. **Fototermický kolektor** dokáže přeměnit energii slunečního záření na **teplo** s účinností až 80 %.
Ideální je napojení této soustavy trubek s teplonosnou vodou na výměník tepla, přípravu teplé vody nebo **akumulační nádobu**.

Obr.7 Fototermický kolektor na střeše (zdroj: cronimo.cz)

Geotermální energie (geothermal energy) je přirozená energie zemského jádra. Projevuje se jako erupce sopek, gejzíry či horké prameny. Využívá se jako tepelná energie pro potřeby vytápění a chlazení nebo pro výrobu elektřiny.

Obr.8 Voda ohřátá vulkanickou činností využívaná k rekreaci a výrobě elektřiny, Reykjanes, Island (zdroj: Christof Hug-Fleck—Anzenberger/Redux)

Energie okolního prostředí využívají **tepelná čerpadla (heat pump)**, ať už jde o odpadní teplo nebo teplo z venkovního prostředí. Přenos tepla probíhá pomocí cyklu kondenzace a vypařování chladiva. Jedná se o tzv. levotočivý cyklus, tudíž se do cyklu musí dodávat mechanická energie v podobě příkonu kompresoru. Efektivitu chlazení popisuje **chladící faktor COP (coefficient of performance)**,
je to poměr chladícího výkonu na výparníku ku příkonu kompresoru. COP > 1



Obr.9 okruh tepelného čerpadla země/vzduch využívající energii země (zdroj: kensaheatpumps.com)

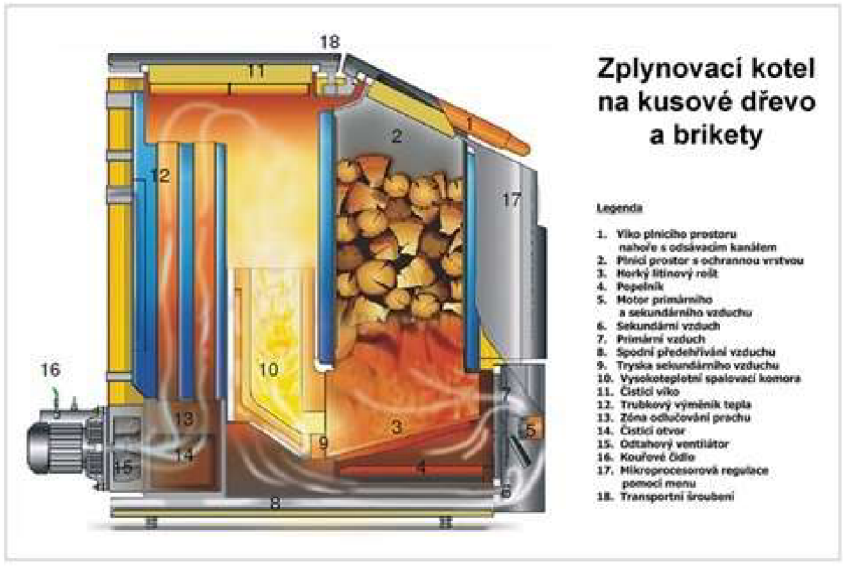
Energie vody (hydro-power) je výroba elektrické energie pomocí vlivu gravitace na vodu. Potenciální energie vody je pomocí vodní turbíny přeměněna na elektrickou energii. Jde o vodní díla také sloužící k zadržování vody v krajině.

Obr.10 vodní elektrárna (zdroj: ČEZ)

Biomasa (biomass) je materiál biologického původu, nejčastěji materiály z rostlin. Největším zdrojem biomasy je **dřevo (wood)**. Biomasa se dá měnit i na jiné formy energie, například methan, ethanol či bionafta. Výhřevnost paliv závisí přímo na obsahu uhlíku.

Obr.11 topné pelety vyrobené ze dřeva (zdroj: pelletia cz)

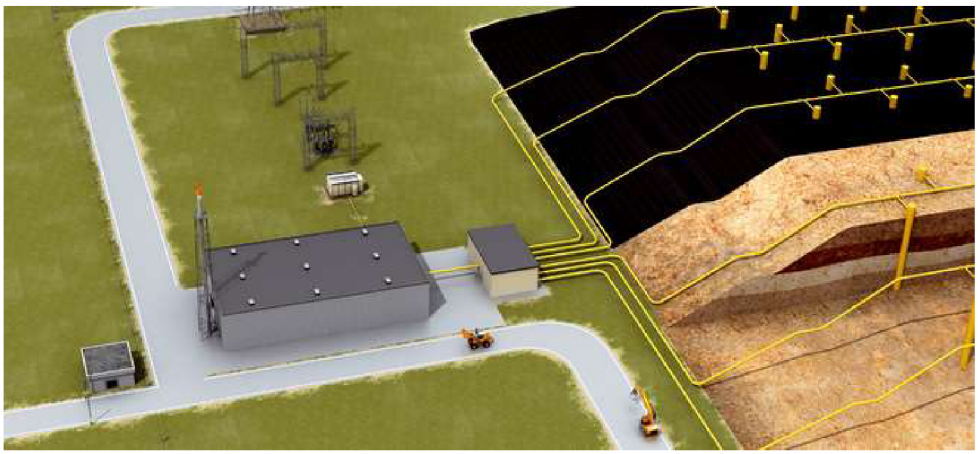
Pro velmi účinné spalování biomasy (především dřeva, či pelet) je třeba volit kvalitní technologii kotlů.
Nejúčinnější spalování, které doprovází velká **účinnost** získaného tepla a nízké **emise**, jsou **zplyňovací kotle**.
Zplyňovací kotle mají řízený přívod vzduchu ventilátorem, dřevo odhořívá zespod a ostatní dřevo je zplyňováno na **dřevoplyn**.
Účinnost získaného tepla spalováním může být až 90 %, oproti 50-60 % u **roštových kotlů** bez řízeného přívodu vzduchu (např. krby).



Obr.12 schéma zplyňovacího kotle na dřevo, (zdroj: eluc.kr-olomoucky.cz)

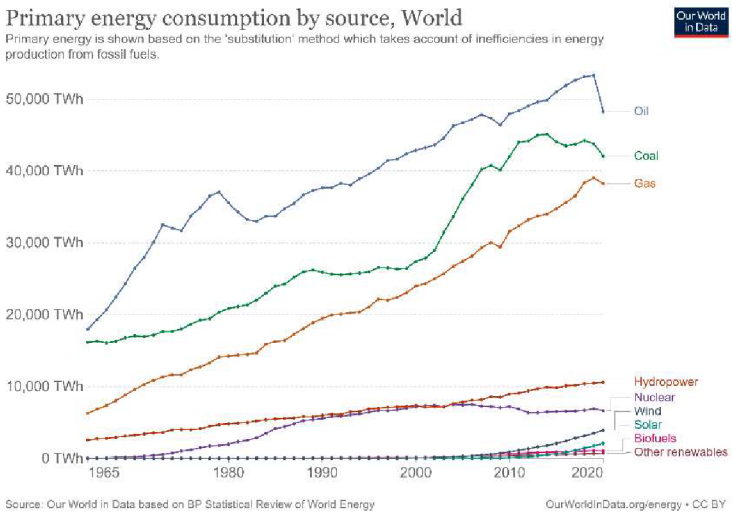
Kalový plyn je směs plynů vznikajících v čističce odpadních vod při anaerobním vyhnívání kalů. Obsahuje především oxid uhličitý a methan.
Skládkový plyn vzniká při přeměně organické části komunálního odpadu mikroorganismy. Fermentace methanu začíná po 1 až 2 letech uložení odpadu na skládce.
Tento plyn se dá sbírat systémem perforovaných trubek vložených v tělesa skládky.

Obr.13 systém získávání methanu uvolňovaného při fermentaci odpadu na skládce (zdroj: sick.com)



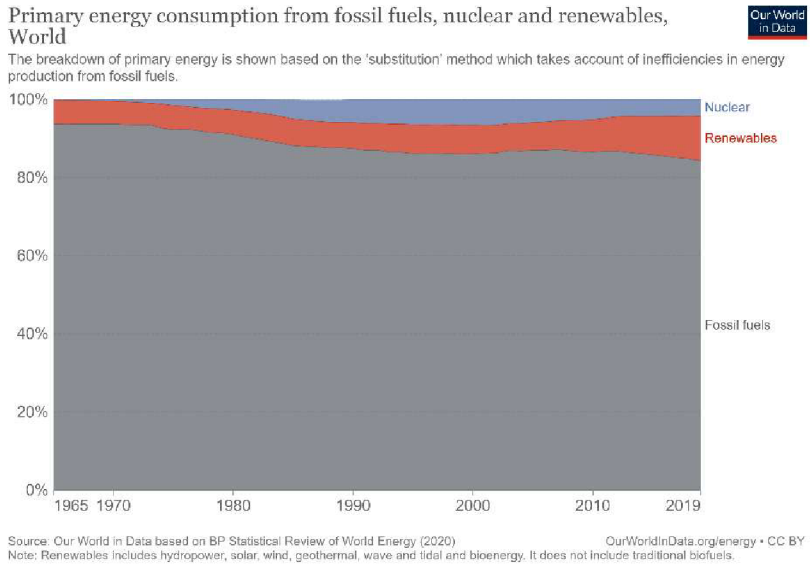
A.2.3. Trendy využití primárních zdrojů energie ve světě

Celosvětové spotřebě energie v současnosti dle primárních zdrojů **dominuje energie z fosilních paliv**, ta zastupuje 84% celkové spotřeby energie.
Z toho ropa 33 %, uhlí 27%, zemní plyn 24%.
Jaderná energie s nízkou uhlíkovou stopou měla zastoupení v 4,3 % celkové spotřeby.
Zhruba 11% celosvětové spotřebované energie mělo původ v obnovitelných zdrojích. Největší zastoupení má energie vody (6,4 %), následuje energie větru (2,2 %) a solární energie (1,1 %).

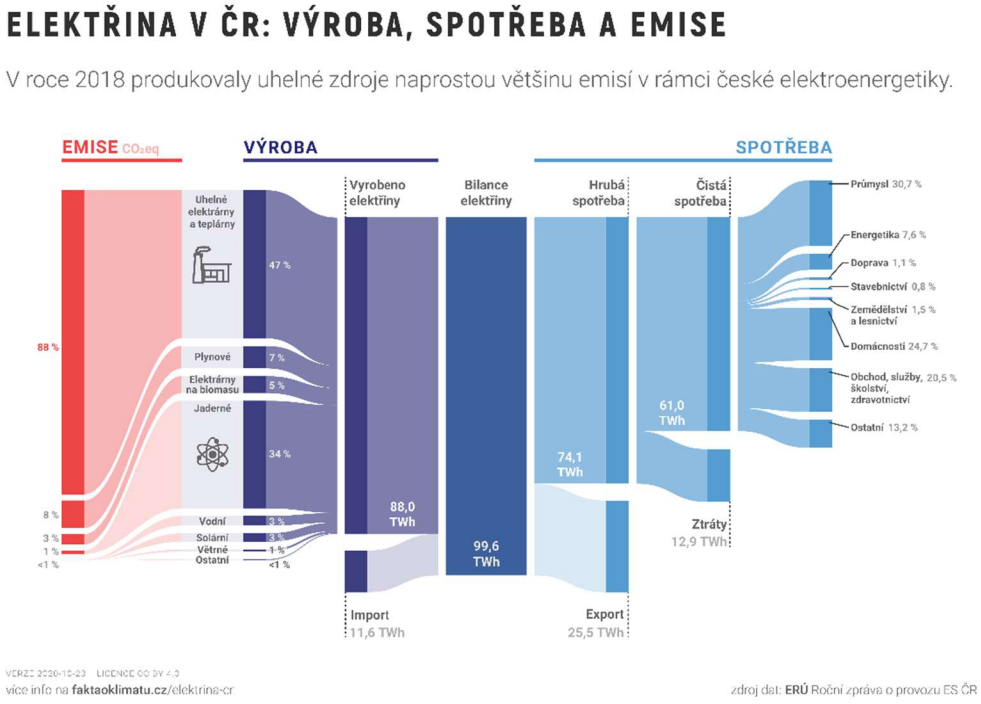


Obr.14 graf spotřeby jednotlivých primárních zdrojů energie za dané roky, celosvětově

Podíl obnovitelných zdrojů energie v celosvětové spotřebě vzrostl od roku z 6,8 % v roce 1990 na 11,4 % v roce 2019.
Ovšem podíl jaderné energie v roce 2019 (4,3 %) oproti roku 1990 (5,8 %) klesl.



Obr. podíl primárních zdrojů energie v letech

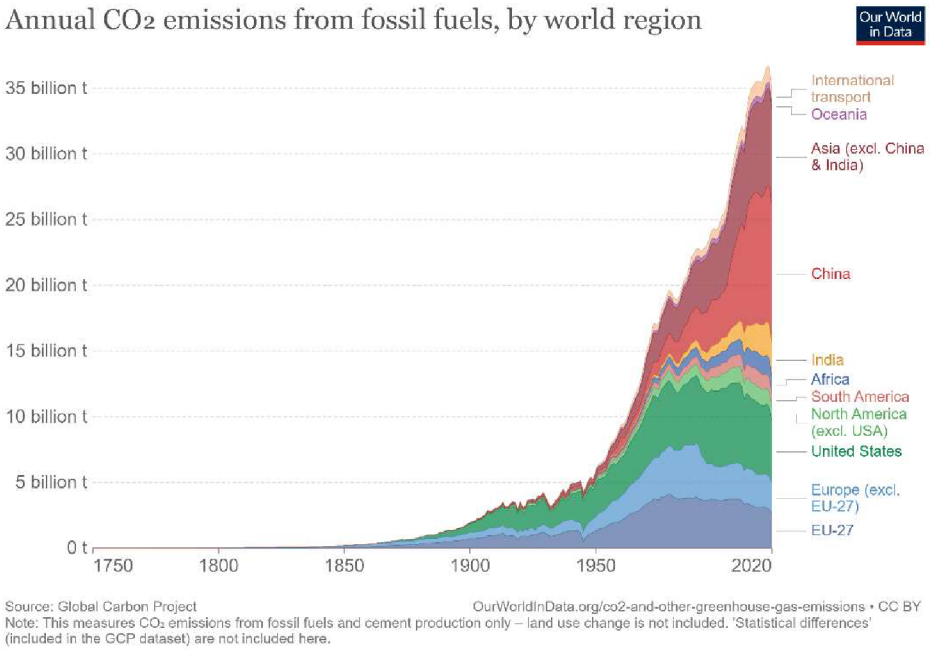


Obr.15 Schéma produkce elektrické energie a emisí a spotřeby energie dle sektoru

Z obrázku vyplývá, že drtivou většinu emisí při výrobě elektřiny CO_2 v ČR vytvoří **uhelné elektrárny a teplárny**.
Ze sektorů má největší podíl spotřeby elektřiny průmysl (30,7 %), následují domácnosti (24,7 %) a služby (20,5 %).
U spotřeby tepla mají největší podíl domácnosti (42 %), průmysl (28 %), služby (23 %).

Jak jde vidět, domácnosti jsou významným odběratelem energií a je potřeba i u nich aplikovat různá energeticky úsporná opatření.
Energeticky úsporná opatření staveb se ve velké míře aplikují i ve službách, hlavně ve stavbách veřejného sektoru (úřady, soudy atp.).

Obr.16 roční emise CO_2 jednotlivých zemí



Trendy posledních let ukazují, že produkce emisí v západním světě se stabilizovala nebo začala klesat, zatímco země jako Indie a zejména Čína zažívají v produkci emisí boom.

A.2.4. Enviromentální vlivy energetiky

Energie z fosilních paliv a z biomasy se získává spalováním.

Spalování (combustion) je fyzikálně-chemický děj, při kterém se řízeně dodává palivo a okysličovadlo, po dosažení teploty vzplanutí následuje jejich slučování (**hoření**) za uvolňování tepla a světla. Celý proces je doprovázen vznikem produktů spalování, tzv. **spalin**.
Hoření probíhá pouze mezi elementárními složkami paliva (uhlík C, vodík H, síra S) a kyslíkem O_2

Látky znečišťující ovzduší se souhrnně nazývají **emise**. Ty mohou být jak přírodního, tak lidského původu.

Spaliny jsou produktem spalování a nesou chemicky vázané teplo. Jedná se především o směsi nehořlavých plynů (CO_2, N_2, NO_X, SO_2) a par (H_2O). Mohou obsahovat i tuhé látky (popel) a kapaliny (vodní kapičky, dehet).

Rovnice hoření elementárního uhlíku (hlavní složka uhlí)

$$C + O_2 = CO_2$$

Pro spálení 1 kg uhlíku C je potřeba 2,67 kg kyslíku O_2 a vznikne 3,67 kg CO_2

Rovnice hoření methanu (hlavní složka zemního plynu)

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$$

Oxid uhličitý CO_2 je plyn schopný ovlivňovat klima, jelikož se jedná o **skleníkový plyn**.
Jedná se o přirozeně se vyskytující atmosférický plyn ve stopových koncentracích, ovšem tato koncentrace v atmosféře se od průmyslové revoluce zvyšuje, a to hlavně díky spalování fosilních paliv.

Skleníkové plyny (greenhouse gases) dokážou pohlcovat část tepelného záření (**infračervené**), ale bez překážek jimi prochází kratší vlny slunečního záření. Tímto **skleníkovým efektem** přispívají k ohřívání Země.

Při spalování paliv s obsahem síry vzniká i **oxid siřičitý SO_2**, který je toxický, a v reakci s vodou vzniká kyselina siřičitá, tímto způsobem vznikají kyselé deště.

A.2.5 Emisní faktory

Jednotlivá paliva vyprodukují různé množství CO2 ve vztahu k výhřevnosti.
Tuto závislost popisují tzv. emisní faktory

Emisní faktor uvádí množství uhlíku, resp. CO_2, které je vyprodukováno při výrobě jednotky energie. Například tabulky udávají hodnoty emisí v tunách CO_2 při vyprodukování 1 MWh energie při spalování paliva. Často je označován jako EF_x

Obr.17 odvod spalin do atmosféry, Teplárny Brno (Špitálka) 1930, první tuzemská teplárna s kogenerací elektřiny (zdroj: teplárny brno)

Tab.1 Emisní faktory jednotlivých paliv pro ČR

Pevná paliva	EF_{CO2} [t CO_2/MWh]
Černé uhlí tříděné	0,33
Hnědé uhlí tříděné	0,36
Jiné pevné palivo	0,34
Koks	0,39
Proplástek	0,34
Kapalná paliva	EF_{CO2} [t CO_2/MWh]
Těžký ropný olej	0,28
Jiná kapalná paliva	0,28
TOEL	0,26
Benzín	0,25
Plynový olej	0,26
Plynná paliva	EF_{CO2} [t CO_2/MWh]
Zemní plyn	0,2
Koksárenský plyn	0,16
Propan-butan	0,24
Vysokopecní plyn	0,87
Jiné plynné palivo	0,2
Elektřina	1,01
Biomasa	0

Poznámka: při spalování biomasy vzniká CO_2, ale podle evropské směrnice se na tyto emise nevztahují **emisní povolenky**, vyjádření emisí z biomasy je pouze informativní. Emise ze spalování obnovitelné biomasy v Evropě činí zhruba 7 %, zbytek tvoří fosilní paliva

A.3. – Tepelná technika a ochrana budov

A.3.0. Základní fyzikální pojmy

Teplo (heat – Q) je forma fyzikální práce, kdy se při tepelné výměně mění vnitřní energie. Udává se v Joulech.

Tepelná výměna (heat transfer) je děj, kdy částice teplejšího tělesa předávají část své energie (pohybové či světelné) částicím tělesa chladnějšího. Přenos tepla probíhá do té doby, dokud se teplota obou těles nevyrovná. Udává se ve Joulech za sekundu, tedy Wattech.

Termodynamická Teplota (temperature – T), často pouze teplota [K] je veličina vyjadřující tepelný stav hmoty. Popisuje stav ustálených systémů z makroskopického hlediska, ovšem závisí na vnitřní energii systému mikroskopických částic. Jednotkou SI jsou Kelviny, vedlejší často používanou jednotkou je stupeň Celsia.

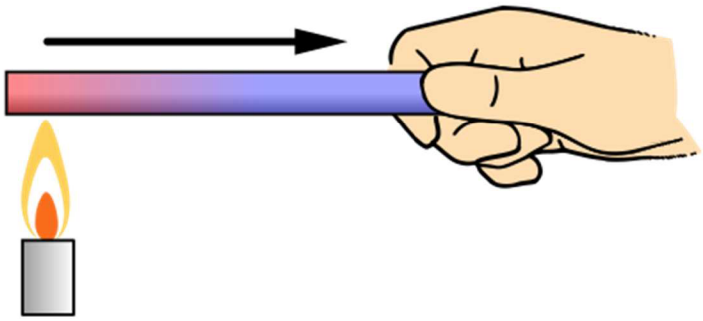
A.3.1. Způsoby šíření tepla ve stavebních konstrukcích

Přenos tepla probíhá pouze mezi dvěma místy s rozdílnými teplotami.
Druhý termodynamický zákon konstatuje, že chladnější těleso nepředává svévolně teplo tělesu teplejšímu, směr předávání tepelné energie je tedy pouze z teplejšího tělesa chladnějšímu.

Šíření tepla vedením (conduction)
Je přenos tepla v pevných látkách, za určitých podmínek může probíhat i v plynech a kapalinách. Teplejší molekuly (rychleji kmitající) rozkmitávají okolní chladnější (méně kmitající) částice. Přenos tepla vedením se uskutečňuje mezi sousedícími částicemi tělesa.

Schopnost dané látky vést tepelnou energii vedením se fyzikálně vyjadřuje **součinitelem tepelné vodivosti λ**

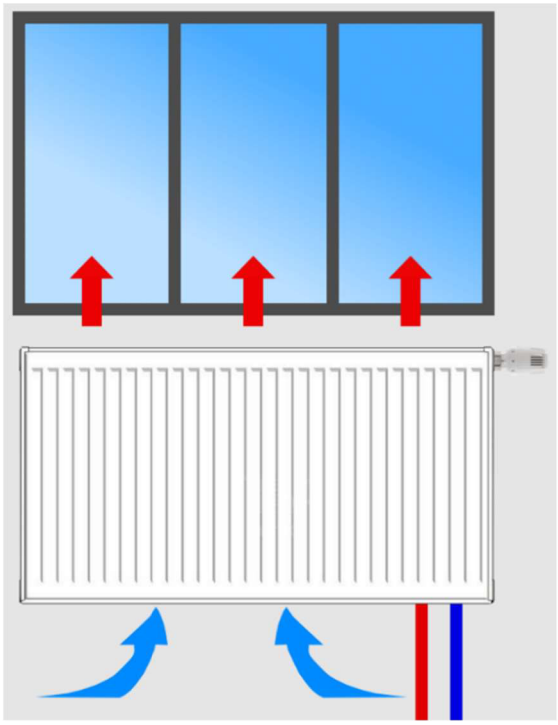
Protože přenos tepla probíhá mezi jednotlivými částicemi, které jsou v bezprostředním kontaktu, látky s vyššími objemovými hmotnostmi (ocel, hutný beton) lépe vedou teplo, protože mají větší hustotu částic, mezi kterými může přenos energie proběhnout. Látky s menšími objemovými hmotnostmi (vzduch, pěnový polystyren) pak slouží jako **tepelný izolant**



Obr.18 vedení tepla tuhou látkou (zdroj: wikimedia commons)

Šíření tepla prouděním (convection)

Proudění probíhá jen v kapalinách a plynech. Jednotlivé částice látky se pohybují (proudí) a s sebou přenáší i teplo.
Proudění **teplonosných látek** je vyvoláno rozdílem teplot, který způsobí rozdíl tlaků. Teplejší vzduch má menší objemovou hmotnost než vzduch studený, tudíž stoupá nahoru.
Proudění může mít podobu **laminární** (uspořádané), nebo **turbulentní** (chaotické).



Obr.19 konvekční deskové otopné těleso využívá přirozené proudění vzduchu (zdroj: panfitinka.cz)

Šíření tepla sáláním (radiation)

Sálání je v podstatě přenos tepla **elektromagnetickým** zářením.
Teplo se přenáší sáláním především **infračerveným** zářením, zčásti také světelným a ultrafialovým.

Tab.2 Rozdělení druhů elektromagnetického záření přenášejících energii

Elektromagnetické záření	Jiné označení	Vlnová délka
ultrafialové	UV, ultra-violet	100 – 380 nm
(viditelné) světlo	VIS, visible light	380 – 780 nm
infračervené (tepelné)	IR, infra-red	780 – 4000 nm

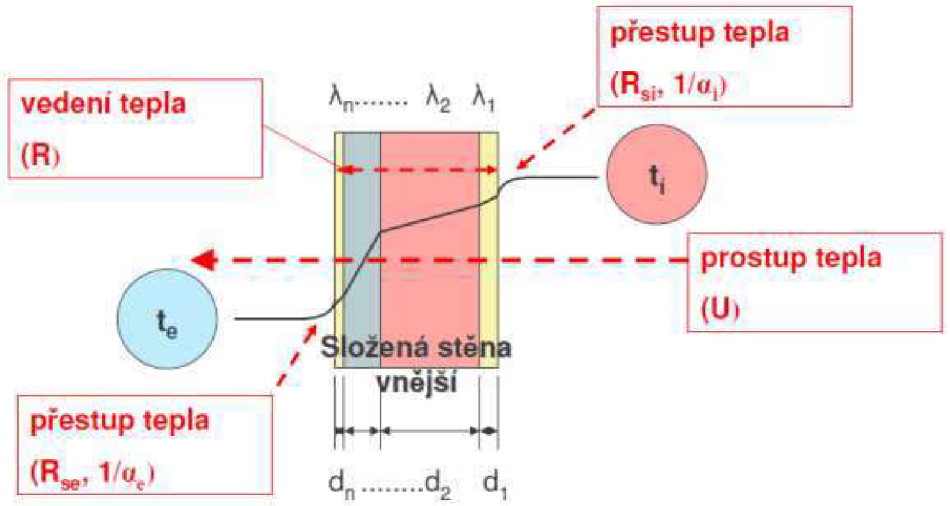
Každé těleso s nenulovou termodynamickou teplotou (T>0 K) vyzařuje elektromagnetické záření.
Každé těleso, které teplo vyzařuje, zároveň záření pohlcuje, částečně odráží či propouští.

Prostup tepla konstrukcí

Nejedná se sice o samostatný mechanismus šíření tepla, ale o jejich kombinace v případě, který se velmi často vyskytuje v tepelné technice budov.
Prostup je výměna tepla mezi dvěma plyny oddělenými **pevnou překážkou**.
Ve stavebnictví se velmi často analyzuje tepelný tok prostupem skrze obálku budovy, kdy vnitřní vzduch sdílí energii s venkovním prostředím (nebo naopak).

Na fázovém rozhraní (vzduch–konstrukce) probíhá **přestup tepla**.

V tepelné ochraně budov se často počítá s **součinitelem prostupu tepla U**. Jedná se o veličinu vyjadřující tepelný tok ve W na 1 m^2 konstrukce při rozdílu teplot 1 K.
Jedná se o převrácenou hodnotu celkového **odporu při prostupu tepla R_T**. Jde o součet odporů při přestupu tepla na vnitřní a vnější hranici a odporu při prostupu tepla samotnou stavební konstrukcí.



Obr.20 Popis prostupu tepla stavební vícevrstvou konstrukcí (zdroj: vut bt01)

A.3.2. Větrání

Větrání (ventilation) je výměna znehodnoceného vzduchu v uzavřeném prostoru za vzduch venkovní čerstvý. Při větrání se odvádí nebo ředí **agencie**, které v prostředí vznikají a snižují kvalitu vzduchu.

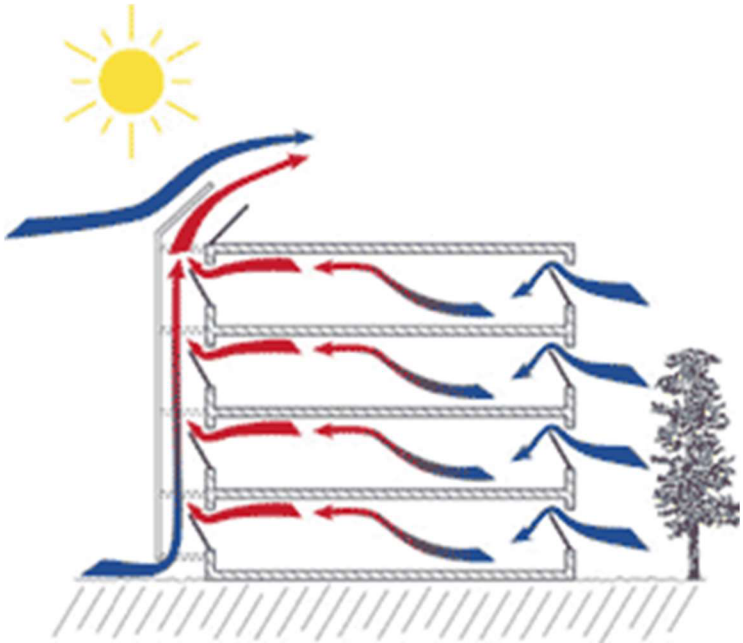
Agencie jsou toky hmoty (vlhkost, aerosoly) a energie (teplo, hluk) působící na člověka.
Dohromady jako soubor tvoří vnitřní prostředí, které je tvořeno dílčími mikroklimaty:

- kvalita vzduchu (odéry, mikroorganismy, aerosoly, toxiny)
- tepelně vlhkostní mikroklima (vodní pára, vzduch, teplo)
- akustické mikroklima
- světelné mikroklima
- ionizační mikroklima atp.

Pro zajištění větrání je potřeba zajistit určitý průtok vzduchu. Tento průtok vzniká rozdílem tlaků, a ten se dá zajistit buď **přirozeně**, nebo **nuceně**.

Přirozené větrání využívá přirozeného vztlaku daného rozdílem objemových hmotností vnitřního a venkovního vzduchu o různých teplotách. Teplejší vzduch má menší objemovou hmotnost než vzduch studený.
Rozdíl tlaků může vyvolat také **dynamický tlak větru**. Dynamický tlak větru narůstá s druhou mocninou rychlosti větru.
Přirozené větrání budov dělíme na infiltraci, provětrávání, šachtové větrání a aeraci.

Systémy nuceného větrání vyvolávají změnu tlaku mechanicky pomocí **ventilátorů**.
Pomocí těchto systémů lze měnit průtok vzduchu v závislosti na koncentraci **agencií**.
Lze tedy řídit tlakové poměry v místnostech. **Přetlakové větrání** se používá pro větraný prostor sousedící s místnostmi s menšími nároky na kvalitu vzduchu.
Podtlakovým větráním se zabraňuje unikání škodlivin z prostoru do okolí, což je důležité např. v nemocnicích.



Obr.21 komínový efekt vznikající na průběžném schodišti (zdroj: appropedia.org)

A.3.3. Normativní požadavky v tepelné technice budov

V současnosti je v ČR platný komplex ČSN 73 0540 – Tepelná ochrana budov, dále pak jsou doplňkové evropské normy ČSN EN ISO.

Normativní a předpisové požadavky obecně odpovídají vývoji energetické náročnosti budov. V posledních dvou desetiletích se požadavky na tepelnou ochranu budov významně zpřísňují v relativně krátkém časovém období.

Budovy musí být navrženy tak, aby spotřeba energie na jejich vytápění, větrání, popřípadě chlazení byla co nejnižší.
Energetickou náročnost je možné ovlivňovat:

- tvarem budovy,
- dispozičním řešením,
- orientací a velikostí oken,
- použitými materiály a výrobky,
- použitými systémy vytápění a chlazení.

Budovy musí být navrženy a provedeny tak, aby byly zaručeny požadavky na:

- tepelnou pohodu uživatelů,
- požadované tepelně-technické vlastnosti konstrukcí,
- nízkou energetickou náročnost budov.

Posuzované kritéria dle normy ČSN 73 0540-2:

- součinitel prostupu tepla U,
- nejnižší povrchová teplota konstrukce,
- pokles dotykové teploty podlahy,
- šíření vlhkosti konstrukcí,
- šíření vzduchu konstrukcí,
- intenzita výměny vzduchu v místnostech,
- tepelná stabilita v zimním a letním období,
- stavebně energetické vlastnosti budovy U_{em}.

A.4 Energetická náročnost budov (ENB)

A.4.0. Úvod do energetiky budov

V EU až 40% spotřeby energií zaujímají domácnosti.
Jelikož je spotřeba elektřiny a tepla budovami z pohledu energetiky velmi významná, je v zájmu udržitelného vývoje snažit se tento spotřební sektor co nejvíce optimalizovat.

Energetická náročnost budov je celkové množství energie skutečně spotřebované nebo předpokládané pro vyhovění různých potřeb při standardizovaném užívání objektu.

Energetický požadavek na budovy zahrnuje tzv. **zabudovanou energii** spotřebovanou na výrobu stavebních konstrukcí a výstavbu, energii potřebnou k zajištění provozu po dobu životnosti a energii potřebnou nebo získanou při likvidaci prvků budovy.

A.4.1. Základní pojmy posuzování energetické náročnosti

Energetický specialista je osoba s oprávněním uděleném **Ministerstvem obchodu a průmyslu ČR**. Mezi oprávnění náležící energetickému specialistovi patří:

- provádění kontrol kotlů a rozvodů tepelné energie,
- provádění kontrol klimatizačních systémů,
- zpracování energetického auditu či posudku,
- zpracování průkazu energetické náročnosti budovy (PENB).

Oprávnění se uděluje na základě:

- složení odborné zkoušky, následně prokázání protokolem o výsledku zkoušky,
- způsobilosti k právním úkonům,
- bezúhonnosti,
- odborné způsobilosti.

Referenční budova je budova stejného geometrického tvaru, stejné velikosti včetně výplní otvorů, stejné orientace ke světovým stranám, stejně zastíněná okolní zástavbou či překážkami. Je stejného užívání a platí pro ni stejné okrajové podmínky.
Platí pro ni ale referenční hodnoty vlastností konstrukcí a technických systémů.

Vypočtená spotřeba energie se stanoví z potřeby energie pro zajištění typického užívání objektu se zahrnutím účinností zdroje, předávání tepla a rozvodů energie.
Spotřeba paliva je ze spotřeby energie spočítána pomocí výhřevnosti paliva.

Pomocná energie je energie, kterou pro svůj chod potřebují technické systémy.

Energeticky vztažná plocha je ohraničená vnějším lícem konstrukce, která je na hranici vytápěného a nevytápěného prostoru. Hranice jednotlivých vytápěných zón se vede středem dělící konstrukce.

Čistá podlahová plocha je plocha ohraničená vnitřními hranami zdiva na vytápěné hranici. Lze počítat zjednodušeně bez odečítání vnitřních stěn nebo příček.

Proces zachování energie ENCON (energy conservation) je postup kroků při realizaci energetického auditu, jež mají za cíl nalézt co nejhospodárnější způsob úspor energií.

A.4.2. Kritéria energetického hodnocení budov

Ukazatele energetické náročnosti budovy:

- primární energie z neobnovitelných zdrojů vztažená na 1 m^2 energeticky vztažné plochy,
- celková dodaná energie za rok vztažená na 1 m^2 energeticky vztažné plochy,
- dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, nuceného větrání, úpravy vlhkosti, přípravy teplé vody a osvětlení za rok vztažená na 1 m^2 energeticky vztažné plochy,
- průměrný součinitel prostupu tepla budovy,
- součinitele prostupu tepla jednotlivých obalových konstrukcí vytápěných prostor,
- účinnosti zdrojů a rozvodů energií,

Stavebně energetické vlastnosti budovy vyjadřují vliv stavebního řešení na úsporu energie budovy na vytápění či na nízkou energetickou náročnost.

U novostaveb vyžaduje platná norma splnit tyto požadavky:

- splnění normových doporučených hodnot součinitele prostupu tepla U_N pro všechny konstrukce na systémové hranici budovy, nepřekročí-li plocha otvorů 15% z celkové podlahové plochy,
- nebo splnění normové požadované hodnoty **průměrného součinitele prostupu tepla $U_{em,N}$**

Při změnách či opravách dokončených budov, změní-li se alespoň 25% plochy obvodového pláště je vyžadováno nové posouzení na splnění hodnot **U_N, $U_{em,N}$**

Při změnách a opravách dokončených budov lze prokázat, že splnění normových požadavků není technicky možné nebo ekonomicky vhodné vzhledem k životnosti objektu.

Postup pro určení tepelné náročnosti budovy:

1. Určení klimatických údajů (výpočtová venkovní teplota, průměrná roční venkovní teplota)
2. Určení vnitřní výpočtové teploty
3. Určení rozměrů a tepelných vlastností všech stavebních částí
4. Výpočet návrhových tepelných ztrát prostupem (pláštěm budovy, nevytápěnými prostory, přilehlou zeminou)
5. Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em} = H_T/A$
6. Stupeň tepelné náročnosti STN = $U_{em}/U_{em,N,rq}$

Energetický požadavek dle průměrného součinitele prostupu tepla nezahrnuje tepelné ztráty větráním.

Požadované a doporučené hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla $U_{em,N}$ závisí na **faktoru tvaru budovy A/V**

požadované $U_{em,N,rq} = 0,30+0,15*(A/V)$
doporučené $U_{em,N,rc} = 0,25+0,10*(A/V)$

Vzorce platí pro hodnoty A/V od 0,2 do 1,0, mimo tento interval platí okrajové hodnoty.

Tab.3 Klasifikace tepelné náročnosti budovy

stupeň tepelné náročnosti budovy STN [%]	klasifikace tepelné náročnosti budovy	slovní klasifikace
≤40	A	mimořádně úsporná
≤60	B	velmi úsporná
≤80	C	úsporná
≤100	D	vyhovující
≤120	E	nevyhovující
≤150	F	výrazně nevyhovující
>150	G	mimořádně nevyhovující

A.4.3. Výpočet dodané energie

Dodaná energie je součtem vypočtené spotřeby energie a pomocné energie.
Výpočet dodané energie se provede po jednotlivých zónách s **intervalem výpočtu** maximálně jednoho měsíce.
Pokud je v zóně zařízení pro chlazení, úpravu vlhkosti vzduchu nebo výrobu elektřiny, výpočet se provede s intervalem maximálně jedné hodiny.

Celková dodaná energie budovy se stanoví součtem dílčích dodaných energií a vyjádří se také po jednotlivých **energonositelích**.

Faktor primární energie z neobnovitelných zdrojů energie určuje množství energie určuje množství energie z primárních zdrojů potřebné pro výrobu jednotky energie **energonositele**

Dále pro výpočet dodané energie platí:

- nezapočítává se část energie sloužící k výrobě energie nebo tepla, které jsou dodávány mimo budovu,
- součástí dodané energie je i vyrobená a využitá energie slunečního záření, větru, vody a geotermální energie,
- součástí dodané energie je i energie dodaná z okolí tepelným čerpadlem, ovšem odečte se spotřeba na chod tepelného čerpadla,

A.4.4. Výpočet primární energie z neobnovitelných zdrojů

Hlavním kritériem pro energetické a enviromentální hodnocení budov se stává množství **primární energie z neobnovitelných zdrojů**.

Množství odebrané primární energie z neobnovitelných zdrojů závisí na faktoru primární energie.

Odběr primární energie z neobnovitelných zdrojů se vypočítá jako součin jednotlivých odběrů energií zatříděných po energonositelích vynásobených jednotlivými **faktory primární energie z neobnovitelných zdrojů**.

Zemní plyn má faktor primární energie z neobnovitelných zdroj 1,0, protože se jedná o primární zdroj. Topný olej přeměněný z ropy má faktor 1,2, **nejvyšší faktor má elektřina, a to 2,6. Odpadní teplo má faktor 0.**

A.4.5. Nízkoenergetické a pasivní domy

Nyní již pouze informativní a neplatná norma TNI 73 0329 popisuje dříve používané podmínky pro zatřídění nízkoenergetických a energeticky pasivních budov.
Jednotlivé konstrukce musely splnit podmínku součinitele prostupu tepla U dle normových hodnot ČSN 73 0540-2.

Celkový součinitel prostupu tepla U_{em} musel být nanejvýš 0,35 pro nízkoenergetické domy a nanejvýš 0,22 W/m^2.K pro pasivní domy.
V obou případech nesměla být teplota v pobytových místnostech vyšší než 27 °C.

Další podmínkou byla maximální **měrná potřeba tepla na vytápění za rok E_A**.
Jedná se o potřebu energie na vytápění vydělenou celkovou vytápěnou plochou.
Pro nízkoenergetické domy muselo platit E_A < 50 kWh/m^2/rok.
Pro energeticky pasivní domy muselo platit E_A < 20 kWh/m^2/rok.

Pro energeticky pasivní domy ještě platila podmínka **měrné potřeby primární energie z neobnovitelných zdrojů na vytápění, přípravu teplé vody a jiné technické systémy PE_A**.
Muselo platit PE_A < 60 kWh/m^2/rok.

U nízkoenergetických domů se tato podmínka neověřovala.

A.4.5. Tepelná bilance budov

Tepelná bilance je výsledný stav vlivu tepelných ztrát, tepelných zisků a dodávaného tepla v budově. Pro optimální tepelnou pohodu je třeba mít vyrovnanou tepelnou bilanci, tzn. nulovou.

V **otopném období** převažují tepelné ztráty nad tepelnými zisky, a celková tepelná bilance je kladná, pro vyrovnání tepelné bilance je potřeba **vytápět**.
Systém vytápění musí pokrýt jak potřebu tepla, tak **ztráty** soustavy (kotel, rozvody).

V teplých měsících, tzn. **mimo otopné období**, zejména pokud teplota venkovního vzduchu **neklesne pod +13 °C**, přestávají mít autoritu tepelné ztráty, ale začínají převládat **tepelné zisky**. Celková tepelná bilance je tedy záporná, a je třeba budovu **chladit**.

Příznivě pro bilanci působí **zpětné získávání tepla**.

Dodaná energie se skládá z **vnitřních tepelných zdrojů** (osoby, osvětlení, spotřebiče) a **solárních zisků**. Solární zisky jsou významné hlavně při prostupu záření okny, ale může se projevit i prostupem.

Ochranou otvorů v obvodovém plášti proti slunečnímu záření (např. **slunolamy, venkovní žaluzie**) lze snížit tepelnou zátěž sluneční radiací.
Pro odvod tepelné zátěže lze rovněž použít vzduchotechnická zařízení – **klimatizace**.

A.4.6. Energetický audit a posudek

Energetický audit (EA) je písemná zpráva popisující hospodaření s energiemi.
Kontroluje, zda reálné spotřeby energie odpovídají vypočítaným predikcím.
Hledá možné úpravy, jak zefektivnit hospodaření s energiemi. Kvantifikují se jak ceny realizace, tak přínosů finančních a ekologických.

Energetický posudek (EP) je písemná zpráva posuzující a hodnotící navržená opatření.
Energetický posudek oproti EA nehledá možné optimalizace, pouze hodnotí energetické hospodářství subjektu.

Jednotlivé kroky zpracování EA či EP:

1. seznámení se z posuzovaným objektem, snaha o stanovení pracnosti projektu, cenová nabídka,
2. uzavření smlouvy s objednatelem,
3. prohlídka posuzovaného objektu,
4. sběr dat potřebných pro zpracování EA/EP. Jde například o projektovou dokumentaci, pokud není k dispozici, musí se provést zaměření,
5. seznámení se spotřebiči energie, energetickým hospodářstvím a nákupy energie
6. seznámení se s technologiemi v posuzovaném objektu,
   zjištění možností úprav od příslušných technologů.
7. zpracování energetické bilance
8. návrh energeticky úsporných opatření (pro audit pouze),
9. diskuze se zadavatelem o navržených opatřeních,
10. výběr optimální varianty, stanovení podmínek realizace,
11. dopracování zprávy, odevzdání, fakturace

Součástí evaluace opatření je i ekonomické zhodnocení.
Efektivita úsporných opatření je hodnocena podle několika kritérií:

- prostá doba návratnosti investice (PB-payback)
- reálná doba návratnosti investice
- čistá současná hodnota (NPV-net present value)
- vnitřní míra výnosnosti (IRR – internal rate of return)

Pro zhodnocení jednotlivých bodů je potřeba znát **peněžní toky (cash flow),** dobu hodnocení investice, reálnou úrokovou míru a cenu investice.

Je důležité vědět taky technickou a ekonomickou životnost investice.
Technická životnost je doba, po kterou je zařízení/konstrukce schopna konat svou funkci.
Ekonomická životnost je zpravidla menší než technická, a uvádí dobu, po které vhodné zařízení/konstrukci vyměnit za nové.

A.5. Technické systémy budov

A.5.0. Úvod

Pro možné užívání objektu je potřeba udržovat vhodné **vnitřní prostředí**.
Vnitřní obytné prostory bez vytápění jsou v zimních měsících neobyvatelné.
Nezbytný je taky přístup k pitné vodě, pro hygienické účely je tuto vodu třeba ohřívat.
Pro zajištění těchto a jiných podmínek ne vždy stačí správné konstrukční provedení stavebních konstrukcí, ale je třeba využití **technických systémů**.

Technická zařízení budov, zkráceně **TZB**, je soubor profesí a zařízení, jejichž funkce je zabezpečovat technické zázemí budov, díky kterému budova může fungovat jako celek a sloužit požadovanému účelu.

Obor TZB je velmi rozsáhlý, a pro účely této práce se rozeberou pouze jednotlivá základní odvětví a jejich vliv z hlediska energetické náročnosti budov.

Norma ČSN EN ISO 52016-1.energetická náročnost budov definuje tyto technické systémy:

- vytápění (heating)
- chlazení (cooling)
- nucené větrání (mechanical ventilation)
- zvlhčování, odvlhčování (humidification or dehumidification)
- příprava teplé vody (domestic warm water preparation)
- osvětlovací systémy (lighting systems)
- automatizace a regulace budovy (building automation and control)

A.5.1. Vytápění

Systémy **teplovodního vytápění** pomocí otopných těles či jiných otopných ploch zajišťuje požadovanou teplotu vnitřního prostředí budovy v otopném období.
Teplovzdušné vytápění pomocí ohřevu přiváděného větracího vzduchu udržuje teplotu vnitřního prostředí.
Tepelná soustava je soustava vzájemně spojených prvků pro distribuci tepla ze zdroje (kotel) do otopné soustavy nebo pro ohřívání (teplé vody, vzduchu atp.).
Otopná soustava slouží čistě pro vytápění vnitřních prostor.

Vytápění budov můžeme rozlišovat na vytápění **lokální**, kde jsou topidla přímo ve vytápěných prostorech. **Ústřední vytápění** má naopak několik **centrálních zdrojů tepla**, ze kterých se rozvádí energie do ostatních prostor či objektů:

Obr.22 Rozvody podlahového vytápění (zdroj: rehau.com)

A.5.2. Chlazení

V teplých měsících jsou výrazné tepelné zisky sluneční radiací či větráním. Pro udržování únosné vnitřní teploty, nebo technologické účely jsou používány systémy chlazení.
Chladící systémy využívají chladící cyklus (Carnotův, Rankinův), kdy pomocí změn tlaků a skupenství chladiva je odváděno teplo.
Do tohoto termodynamického cyklu je třeba vkládat práci, a to v podobě **příkonu kompresoru**.

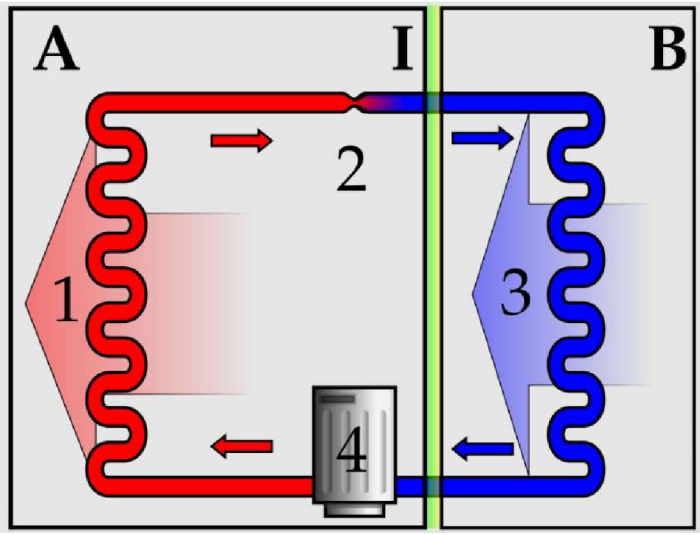
Pro popis účinnosti chladících systémů se používal **chladící/topný faktor zařízení COP** (z anglického coefficient of performance), ten je vyjádřen jako poměr odvedené tepelné zátěže ku energie dodané do systému. V současné době se pro zdroje chladu často používá označení **EER** (energy effeciency ratio) místo COP, pro topný faktor se nadále využívá COP.

$$COP = EER = \frac{Q_{ch/vyt}}{P} \; [-]$$

Kde:

$Q_{ch/vyt}$ – chladící nebo topný výkon zařízení (W)
P – příkon kompresoru (W)

Obr.23: Kompresorový chladící cyklus



Kde:

A-technický prostor s kompresorem pro odevzdání tepla
B-chlazený prostor
1-Kondenzátor (zkapalnění chladiva, odevzdání tepla pryč)
2-Expanzní ventil (snížení tlaku, ochlazení tekutiny)
3-Výparník (odebírání tepla z prostoru, přeměna na plyn)
4-Kompresor (zvýšení tlaku, zvýšení teploty plynu)
I-izolace chlazeného prostoru

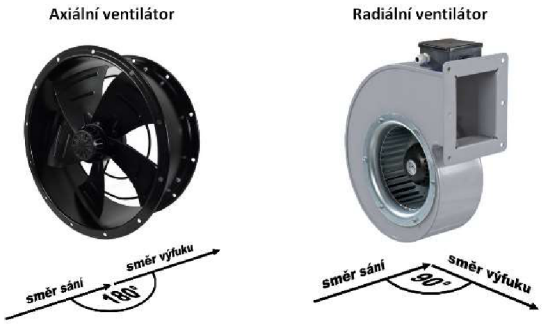
Pro energetickou bilanci systémů chlazení hrají významnou roli i pomocné energie čerpadel rozvodů chladu a ventilátorů.

A.5.3. Nucené větrání

Pro účely větrání lze využívat čistě přírodních principů. Tímto způsobem lze ovšem jen velmi omezeně udržovat stabilní průtoky vzduchu (kvantitu) a teplotu vzduchu (kvalitu).
Pro instalací **zpětného získávání tepla (ZZT)** musí být použit systém nuceného větrání.
Tyto systémy dokáží výrazně snížit potřebu tepelné energie pro ohřev či chlazení vzduchu recyklací tepla.

Změna tlaků je vyvolána mechanicky pomocí **ventilátorů**. Při energetické hodnocení budov se počítá s elektrickým příkonem ventilátorů. Ventilátory můžeme dělit na:

- Axiální (sání a výtlak vzduchu v jedné ose)
- Radiální (výtlak vzduchu kolmo na sání)
- Diagonální (směr výtlaku je v úhlu <90°)

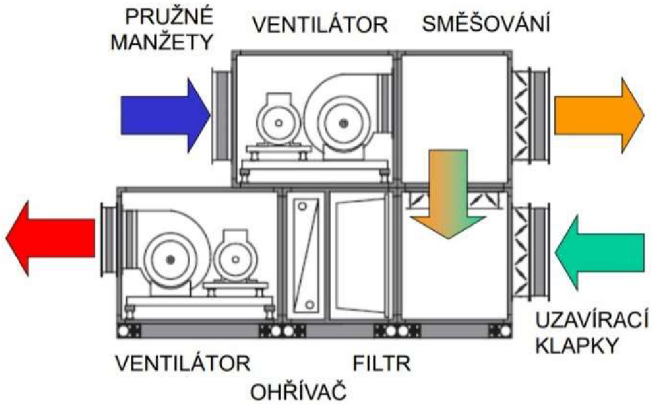


Obr.24 Různé druhy ventilátorů (zdroj: ventilátory.cz)

Výměníky tepla můžeme dělit na:

a) **Rekuperační**, např. deskové či trubkové výměníky, kde dochází k výměně pouze citelného tepla přes pevnou stěnu, nedochází tedy k výměně vlhkosti či jiných hmotnostních toků.
b) **Regenerační**, např. rotační či přepínací výměníky, kde dochází k výměně citelného tepla, ale i k částečné výměně hmoty (vlhkosti či různých odérů či toxinů). Princip je založen na akumulační schopnosti hmoty, která rotuje a předává energii do vzduchu přiváděného. Oproti výměníkům rekuperačním má vyšší účinnost díky větší teplosměnné ploše a předání obou složek tepla (citelné, latentní).
c) **Entalpické**, které umožňují přenos nejen citelné složky tepla, ale i složky vázané ve vzdušné vlhkosti. Oproti regeneračním výměníkům je zajištěn hmotnostní přenos pouze vodní páry. Princip je podobný deskovému výměníku, ale přepážky jsou zhotoveny ze speciální membrány propouštějící pouze molekuly H_2O.

Z hlediska ENB je spotřeba energie pouze pro chod ventilátorů a ostatních pomocných zařízení. Energie pro ohřev, chlazení či úpravu vlhkosti vzduchu jsou započítané zvlášť.



Obr.25 skladba vzduchotechnické jednotky se směšováním (zdroj: VUT FAST)

A.5.4. Úpravy vlhkosti

Při vytápění či chlazení dochází k změnám vlhkostních poměrů, což může způsobit nemalé problémy. Chladný vzduch pojme malé množství vlhkosti, a v zimních měsících v interiéru může být **relativní vlhkost vzduchu** velmi nízká (kolem 20 %).

Optimální relativní vlhkost vzduchu pro člověka je v rozmezí **40-60 %.**
Vysoká relativní vlhkost v interiéru může vzniknout např. sušením prádla, sprchováním, či mokrými stavebními procesy (tuhnutí betonu).
Nízká relativní vlhkost vzduchu vede k vysušování sliznic člověka, což vede k oslabení její obranyschopnosti.
Vzduch o stejné teplotě s nárůstem vlhkosti má postupně vyšší teplotu **rosného bodu**, což může zapříčinit nežádoucí kondenzaci na vnitřních površích, a následně růstu plísní.

Pro dosažení správné vlhkosti nestačí pouze odpařovat vodu z nádob. Pro představu, pro udržení stálé relativní vlhkosti (v zimě) v interiéru kolem 40 % při teplotě 20 °C při jednonásobné výměně vzduchu objemu 50 až 100 m^3 je třeba do vzduchu dodat alespoň 5 litrů vody denně.

Z těchto důvodů je potřeba výkonných **zvlhčovačů** vzduchu. **Odvlhčování** probíhá u chladících zařízení na chladiči v důsledku kondenzace vody.

Zvlhčování vzduchu mohou provádět následující zařízení:

- hladinové (miskové odpařovače),
- blánové (pračky s výplní, zvlhčovače s vložkami),
- rozstřikovací (dýzové pračky, odstředivé mechanické),
- rozprašovací (pneumatické dýzy voda-vzduch),
- ultrazvukové,
- parní (centrální zdroj páry, lokální elektrolytické či varné zdroje páry).

Obr.26 Parní vlhčení vzduchu (zdroj: flair.cz)

A.5.5. Příprava teplé vody

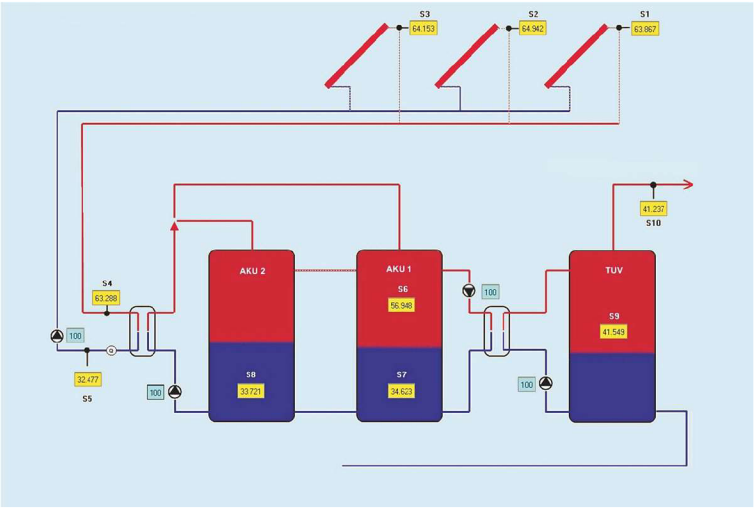
Jednou z položek energetického hodnocení budov je příprava teplé vody.
Dříve teplá užitková voda TUV, dnes pouze teplá voda TV, je zdravotně nezávadná voda, určená pro účely hygieny, úklidu či přípravy potravin.
Ohřívá se **studená voda z vodovodního řádu**, která musí splňovat bakteriální, biologická a chemická kritéria pro pitnou vodu daná vyhláškou č. 252/2004 Sb (v účinnosti od 1.5.2004).

Před přivedením vody do systému je vhodné provést následující úpravy: odkyselení pomocí filtru, dodání inhibitorů koroze a magnetická úprava vody.

Z důvodu všudypřítomného výskytu bakterií **legionella pneumophila** je nutno udržovat teplotu teplé vody **nad 50 °C**, které způsobí jejich úhyn. Teploty vody 30-40 °C nabízí optimální podmínky pro rozmnožování těchto bakterií, naopak při teplotě pod 10 °C dochází k jejich minimálnímu rozmnožování. Nebezpečná jsou proto místa, kde může docházet ke stagnaci teplé vody a k poklesu její teploty pod 50 °C.

Systémy ohřevu TV můžeme dělit následovně:

- podle způsobu předávání tepla: přímé, nepřímé
- podle místa ohřevu: místní, centrální
- podle konstrukce ohřívače: zásobníkový, průtočný, smíšený
- podle počtu zdrojů tepla: jednoduché, kombinované



Obr.27 Ohřev vody systémem solárních kolektorů s akumulačními nádržemi (zdroj: TWI SOLAR)

A.6. Měření

A.6.1. Měření tepla

Měřič tepla a chladu zvaný **kalorimetr** slouží k měření přímé spotřeby tepla.
Měřič se skládá z průtokoměru a dvou teploměrů. Používá se na patě objektů jako **fakturační měřidlo**.

Teplo se jako veličina nedá přímo měřit. Dá se ovšem změřit **odevzdané teplo** na základě hmotnostního průtoku, měrné tepelné kapacity teplosměnné látky a změny teplot před a po odevzdání tepla.

$$Q = m * c * \Delta t = m * c * (t_{in} - t_{out})\ [J]$$

Ovšem výpočet odebraného tepla objektu touto metodou nezohledňuje teplo uniklé prostupem. Proto se naměřená spotřeba násobí koeficientem podle polohy bytu.
Jedním z důvodů je že bytové jednotky uprostřed dispozic jsou vytápěny z okolních bytů, zatímco byt v nejvyšším podlaží na kraji dispozice bude mít daleko větší ztráty.

Obr.28 kalorimetr MULTICAL firmy Kamstrup

A.6.2. Měření tlaku

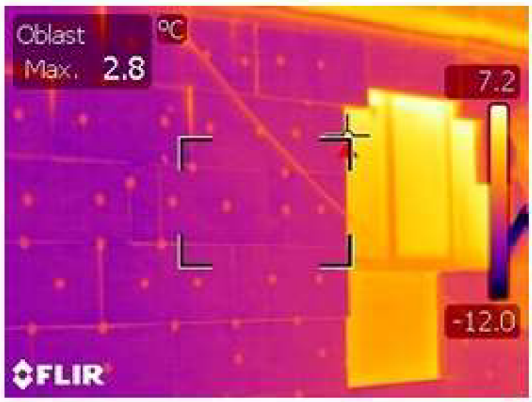
Tlakoměr, též **manometr**, umožňuje snadné měření tlaku plynu či kapaliny uzavřené v uzavřeném systému.
Manometr funguje nejčastěji na principu pružné deformace trubkové pružiny. Ta se vlivem tlaku narovnává, a tento pohyb je převáděn na pohyb ručičky ukazatele.

Pro měření atmosférického tlaku slouží tlakoměr zvaný **barometr**.

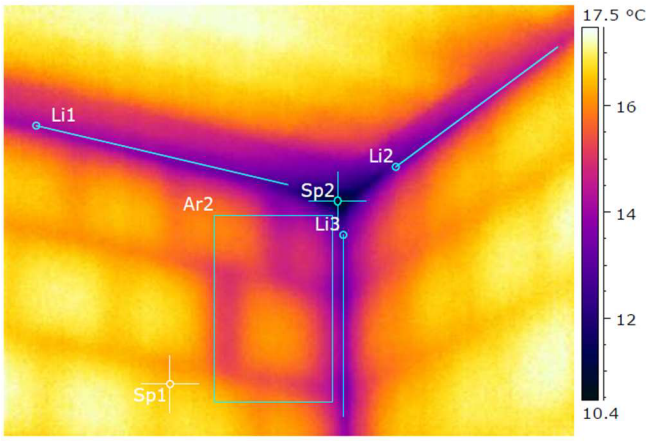
Obr.29 glycerinový manometr (zdroj: ELO)

A.6.2. Termografie

Termografie je zobrazovací metoda, která pomocí snímání infračerveného záření dokáže graficky rozlišit odlišné povrchové teploty objektu.
Toto záření je soustřeďováno optickou čočkou na detektor, který je zaznamenáván elektronikou v termálním zobrazovači. Signál z termálního zobrazovače je převeden do grafické elektronické podoby-**termogramu**. Zpracovaný termogram odlišuje jednotlivými barevnými odstíny různé vlnové délky infračerveného záření.
Poukáže na nápadně teplejší místo než je okolí fasády, ale **nekvantifikuje tepelné ztráty**.
Dokáže poukázat na špatně vyřešené detaily nebo chyby v provádění.
Měření termovizí vyžaduje **minimální rozdíl 15 °C** mezi vnitřní a venkovní teplotou.



Obr.30 kontrolování kotev izolantu pomocí termovize (zdroj: flir)



Obr.31 snížená povrchová teplota ve styku stěna-strop (zdroj: inkapo.cz)

B – Výpočtová část

B.1. Tepelná technika budov

B.1.1. Vybrané tepelně technické vlastnosti stavebních materiálů

Součinitel tepelné vodivosti λ [W.m^{-1}.K^{-1}]

thermal conductivity coefficient

Vyjadřuje schopnost homogenního izotropního materiálu vést teplo.
Vyjadřuje tepelný tok [W], který proudí 1 m2 desky tloušťky 1 m, je-li rozdíl teplot na protilehlých površích jeden Kelvin.

$$\lambda = \frac{\vec{q}}{-grad\theta} \; [W.m^{-1}.K^{-1}]$$

Kde:

$\vec{q}$ - vektor hustoty ustáleného tepelného toku sdíleného vedením [W.m^{-2}]
$grad\theta$ - gradient teploty [K.m^{-1}]

Objemová hmotnost ρ [kg.m^{-3}]

volumetric mass density

Vyjadřuje střední hustotu nespojitě v prostoru rozložené látky, např. látky pórovité či sypané.
Závisí na pórovitosti a u sypaných látek taky na jejich stlačitelnosti.

$$\rho = \frac{m}{V} \; [kg.m^{-3}]$$

Kde:

m – hmotnost materiálu [kg]
V – objem materiálu včetně pórů a mezer [m^3]

Měrná tepelná kapacita c [J.kg^{-1}.K^{-1}]

specific heat capacity

Vyjadřuje množství tepelné energie, které je potřeba k ohřátí 1 kg materiálu o 1 Kelvin.
Hodnota měrné tepelné kapacity má velký vliv na akumulační schopnost materiálu.
Voda má zhruba 4x větší měrnou tepelnou kapacitu než vzduch, to znamená, že pro převedení stejného množství energie potřebujeme 4x více vzduchu (z hlediska hmotnosti) než vody.

$$c = \frac{dQ}{d\theta.m} \; [J.kg^{-1}.K^{-1}]$$

Kde:

dQ – změna energie (přivedené teplo) [J]
dθ – změna teploty [K]
m – hmotnost látky [kg]

Součinitel difuzní vodivosti δ [kg.m^{-1}.s^{-1}.Pa^{-1}]
vapour diffusion coefficient
Vyjadřuje schopnost stejnorodé vrstvy materiálu propouštět vodní páru difuzí.
Difuze je proces samovolného rozptylování částic v prostoru, a probíhá nejrychleji u plynů.

$$\delta = \frac{\vec{g}}{-grad(p_v)}$$

Kde:

$\vec{g}$ – vektor hustoty ustáleného toku difundující vodní páry [kg.m^{-2}.s^{-1}]
grad(p_v) – gradient parciálního tlaku vodní páry [Pa.m^{-1}]

Faktor difuzního odporu μ [-]
vapour diffusion resistence factor
Vyjadřuje poměrnou schopnost vrstvy materiálu propouštět vodní páru difuzí.
Jedná se o poměr difuzního odporu materiálu ku difuznímu odporu vrstvy vzduchu o stejné tloušťce při smluvních podmínkách.

Spočítá se následovně:

$$\mu = \frac{\delta_A}{\delta} \; [-]$$

Kde:

δA – součinitel difuzní vodivosti vzduchu [kg.m^{-1}.s^{-1}.Pa^{-1}]
δ – součinitel difuzní vodivosti materiálu [kg.m^{-1}.s^{-1}.Pa^{-1}]

Ve stavební často se používá **ekvivalentní difuzní tloušťka**, která představuje tloušťku vrstvy nehybného vzduchu, který má stejný difuzní odpor jako daná vrstva materiálu.

B.1.2. Tepelně-technické vlastnosti konstrukcí

Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} [-]
Vyjadřuje vliv konstrukce a přestupů tepla v daném místě vnitřního povrchu na vnitřní povrchovou teplotu.

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_{ai} - \theta_e} \; [-]$$

Kde:

Θ_{si} – nejnižší vnitřní povrchová teplota [°C]
Θ_e – teplota venkovního vzduchu [°C]
Θ_{ai} – teplota vnitřního vzduchu [°C]

Při posuzování teplotního faktoru vnitřního povrchu ve vnitřních prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vzduchu φ < 60 % musí v každém místě konstrukce vykazovat takovou teplotu, aby nedocházelo ke kondenzaci vody a tím pádem se předcházelo růstu plísní.

Posouzení dle ČSN 73 0540:

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr}$$

Kde:

$f_{Rsi,N}$ – požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu [-]
$f_{Rsi,cr}$ – kritický teplotní faktor vnitřního prostoru, při kterém je dosaženo kritické povrchové vlhkosti $\varphi_{si,cr}$ [-]

Kritická vnitřní povrchová vlhkost $\varphi_{si,cr}$ nesmí překročit 100% u výplní otvorů (možnost orosení), u ostatních konstrukcí nesmí překročit 80 % (riziko růstu plísní).

Součinitel prostupu tepla U [W.m^{-2}.K^{-1}]
heat transfer coefficient
Vyjadřuje množství energie [W], které projde plochou 1 m^2 materiálu při rozdílu teplot na protilehlých plochách 1 Kelvin. Jedná se o převrácenou hodnotu tepelného odporu R.

Spočítá se následovně:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \; [W.m^{-2}.K^{-1}]$$

Kde:

R_T – celkový tepelný odpor konstrukce [m^2.K.W^{-1}]
R – tepelný odpor při prostupu konstrukcí [m^2.K.W^{-1}]
R_{si} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [m^2.K.W^{-1}]
R_{se} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [m^2.K.W^{-1}]

Tepelný odpor při prostupu vícevrstvou konstrukcí R [m^2.K.W^{-1}]
heat transfer resistance
se spočítá následovně:

$$R = \sum \frac{d_i}{\lambda_i} [m^2.K.W^{-1}]$$

Kde:

d_i – tloušťka i-té vrstvy konstrukce [m]
λ_i – součinitel tepelné vodivosti i-té vrstvy konstrukce [W.m^{-1}.K^{-1}]

Při výpočtu jednosměrného šíření tepla se spočítá ideální výsek konstrukce, který se musí navýšit o přirážku zahrnující **vliv systematických tepelných mostů ΔU_{tbk}.**

Pro výsledný součinitel prostupu tepla platí:

$$U = U_{id} + \Delta U_{tbk} [W.m^{-2}.K^{-1}]$$

Kde:

U_{id} – součinitel prostupu tepla ideálního výseku konstrukce [W.m^{-2}.K^{-1}]
ΔU_{tbk} – přirážka zahrnující vliv tepelných mostů [W.m^{-2}.K^{-1}]

Tab.4 Přirážky pro vlivy tepelných mostů

Případ	ΔU_{tbk}
Konstrukce téměř bez tepelných mostů	0,02 W.m^{-2}.K^{-1}
Konstrukce s mírnými tepelnými mosty	0,05 W.m^{-2}.K^{-1}
Konstrukce s běžnými tepelnými mosty	0,10 W.m^{-2}.K^{-1}
Konstrukce s výraznými tepelnými mosty	0,15 W.m^{-2}.K^{-1}

Součinitel prostupu tepla okna (výplně otvoru) U_w [W.m^{-2}.K^{-1}]
Výpočet výplně otvoru závisí na rámu, zasklení či výplni a těsnosti spar.)

$$U_w = \frac{A_g.U_g + A_f.U_f + l_g.\psi_g}{A_f + A_f} \; [W.m^{-2}.K^{-1}]$$

Kde:

A_g – plocha zasklení či výplně [m^2]
A_f – plocha rámu [m^2]
U_g – souč. prostupu tepla zasklení či výplně W.m^{-2}.K^{-1}
U_f – souč. prostupu tepla rámu W.m^{-2}.K^{-1}
l_g – délka obvodu zasklení [m]
ψ_g – lineární souč. prostupu tepla styku rámu [W.m^{-1}.K^{-1}]

Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W.m^{-2}.K^{-1}]
Platí pro celou obálku. Používá se při porovnávání energetických náročností budov.

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} [W.m^{-2}.K^{-1}]$$

Kde:

H_T – celková měrná ztráta prostupem tepla [W.K^{-1}]
A – celková teplosměnná plocha obálky budovy [m^2]

B.1.3. Šíření vlhka konstrukcí

U některých stavebních konstrukcí může **zkondenzovaná vodní pára** snižovat životnost konstrukce. Výskyt vody může zapříčinit vznik plísní, snížení povrchové teploty, objemové změny, zvýšení hmotnosti atd.

Z hlediska šíření vlhkosti konstrukcí je třeba posoudit:

$$M_C \leq M_{C,N}$$

Kde:

M_C – roční množství zkondenzované vodní páry [kg.m^{-2}rok^{-1}]
$M_{C,N}$ – normová hodnota [kg.m^{-2}rok^{-1}]
= 0,1 [kg.m^{-2}rok^{-1}] pro jednoplášťovou střechu (málo difuzně propustné)
= 0,5 [kg.m^{-2}rok^{-1}] pro ostatní stavební konstrukce

U konstrukcí s připuštěnou omezenou kondenzací páry musí platit:

$$M_C \leq M_{ev}$$

Kde:

M_{ev} – roční vypařitelné množství vodní páry uvnitř konstrukce [kg.m^{-2}rok^{-1}]

Difuzní odpor i-té vrstvy konstrukce $Z_{p,i}$ [m.s^{-1}]

vapour diffusion resistence

Při uvažování jednorozměrného šíření vlhkosti se stanoví:

$$Z_{p,i} = \frac{d_i}{\delta_i} [m.s^{-1}]$$

Kde:

d_i – tloušťka i-té vrstvy materiálu [m]
δ_i – souč. difuzní vodivosti materiálu [s]

Relativní vzdušná vlhkost φ [%]

Air relative humidity

Vyjadřuje poměr nasycení vodních par. Relativní vlhkost znamená maximální nasyceno vzduchu vodní parou, a není možné další vypařování.

$$\varphi = \frac{p_v}{p_{v,sat}} [\%]$$

Kde:

p_v – částečný (parciální) tlak vodních par [Pa]
p_{vsat} – částečný tlak vodních par při nasycení [Pa]

B.2. Tepelná bilance budov

B.2.1. Tepelné ztráty prostupem

Obálková metoda (předběžný výpočet)
Základní veličiny jsou návrhové hodnoty teplot vnitřního a venkovního vzduchu v zimním období.
Výpočet tepelné ztráty **prostupem** pouze obálkou budovy:

$$Q = Q_t + Q_v [W]$$

Kde:

Q_t – ztráta prostupem [W]
Q_v – ztráta větráním [W]

Pro výpočet ztráty **prostupem** obecně platí:

$$Q_t = U * A * \Delta\theta = H_T * (\theta_i - \theta_e)\ [W]$$

Výpočet **měrné ztráty prostupem** i-té konstrukce:

$$H_{T,i} = A_i * U_i * b_i\ [W.K^{-1}]$$

Kde:

b – činitel teplotní redukce, u konstrukcí přilehlých k zemině a nevytápěným prostorům.

B.2.2. Tepelné ztráty větráním

Pomocí kalorimetrické rovnice lze vyjádřit **tepelnou ztrátu větráním** při daném průtoku větracího vzduchu:

$$Q_v = \mathrm{c} * \rho * V * (\theta_i - \theta_e)\ [W]$$

Kde:

V – objemový průtok větracího vzduchu [$m^3.\ h^{-1}$]

Výpočet průtoku vzduchu pro dodržení **hygienických požadavků**:

$$V_h = n * V_a\ [m^3.h^{-1}]$$

Kde:

n – n-násobná výměna vzduchu [h^{-1}]
V_a – objem vzduchu v místnosti [m^3]

B.2.3. Tepelné zisky z vnějšího prostředí

I u dobře stíněných objektů jsou většinou rozhodujícím faktorem tepelné zisky z exteriéru. Zejména **prosklené plochy** mají podstatný vliv na tepelné zisky budovy.

Pro tepelné toky prosklenými plochami se dělí na:
Prostup tepla konvekcí Q_{OK} [W]:

$$Q_{OK} = U_O * S_O * (\theta_e - \theta_i)\ [W]$$

Kde:

U_O – součinitel prostupu tepla výplně otvoru [W.m^{-2}.K^{-1}],
S_O – plocha výplně otvoru včetně rámu [m^2],
θ_e – teplota vzduchu vnější [°C],
θ_i – teplota vzduchu vnitřní [°C].

Prostup tepla sluneční radiací Q_{OR} [W]:

$$Q_{OR} = [S_{SOL} * I_{SOL} * c_0 + (S_O - S_{SOL}) * I_{DIFF}] * s\ [W]$$

Kde:

S_{SOL} – osluněná plocha zasklení [m^2]
S_O – plocha zasklení [m^2]
I_{SOL} – intenzita sluneční radiace pro povrch o dané orientaci [W.m^{-2}]
I_{DIFF} – intenzita difuzní sluneční radiace [W.m^{-2}]
c0 – součinitel čistoty atmosféry [-]
s – stínící součinitel [-]

Vlivem **akumulace stavebních konstrukcí** se mohou skutečné tepelné zisky lišit od přímých tepelných zisků od osluněných oken. Toto **snížení tepelných zisků ΔQ** se spočítá následovně:

$$\Delta Q = 0{,}05 * M * \Delta\theta\ [W]$$

Kde:

M – hmotnosti obvodových stěn místnosti, podlahy a stropu, které mají vliv na akumulaci [kg]
Δθ – maximální možné překročení teploty ve vnitřním prostoru, obvykle 1-2 K

Při výpočtu tepelných zisků prostupem **neprůsvitnými konstrukcemi** se výpočet dělí na tři kategorie:

a) <u>Stěny lehké t≤80 mm</u>

$$Q_S = U * S * (\theta_r - \theta_i)\ [W]$$

b) <u>Stěny středně těžké 80≤t≤450 mm</u>

$$Q_S = U * S * [(\theta_r - \theta_i) + m * (\theta_{r\psi} - \theta_{rm})]\ [W]$$

c) <u>Stěny těžké t≥450 mm</u>

$$Q_S = U * S * (\theta_{rm} - \theta_i)\ [W]$$

Kde:

U – součinitel prostupu tepla konstrukce,
S – plocha konstrukce,
θ_r – rovnocenná sluneční teplota na vnějším povrchu stěny [°C],
$\theta_{r\Psi}$ – rovnocenná sluneční teplota na vnějším povrchu stěny [°C],
θ_{rm} – rovnocenná sluneční teplota na vnějším povrchu stěny [°C],
θ_i– teplota vzduchu interiéru [°C],
m – součinitel zmenšení teplotního kolísání prostupem stěnou.

$$m = \frac{1 + 7{,}6 * d}{2500^d}$$

Kde:

d – tloušťka stěny [m]

B.2.4. Tepelné zisky větráním

V letních měsících se neuvažuje vnikání vzduchu **infiltrací** do klimatizovaných prostor.
S infiltrací se uvažuje pouze při podtlakových větracích systémů.

Pokud je prostor spojen venkovními dveřmi, pak se uvažuje při jednom otevření dveří přísunu vzduchu z exteriéru v objemu 3 m^3.

U nuceného větrání se výměnou vzduchu vnáší **tepelná zátěž nuceným větrnáním Q_{VZT}**:

$$Q_{VZT} = \dot{V} * \rho_a * c_a * \Delta\theta \ [W]$$

Kde:

V – průtok přiváděného vzduchu [$m^3.h^{-1}$],
ρ_a – hustota vzduchu [$kg.m^{-3}$],
c_a – měrná tepelná kapacita vzduchu [$J.kg^{-1}.K^{-1}$],
$\Delta\theta$ – rozdíl teplot [°C].

B.2.5. Tepelné zisky od vnitřních zdrojů

Jedním z výrazných vnitřních zdrojů tepla jsou samotní lidé, kteří neustále vytváří metabolické teplo. Tento vývin tepla závisí na náročnosti vykonávané činnosti, teplotě vzduchu a pohlaví. Pro různé teploty se uvádí **základní produkce citelného tepla lidmi Q_L**:

$$Q_L = i_L * 6{,}2(36 - \theta_i)[W]$$

$$i_L = n_M + 0{,}85 * n_{\check{Z}} + 0{,}75 * n_D$$

Kde:

i_L – ekvivalentní počet lidí,
θ_i– teplota vzduchu interiéru [°C],
n_M, $n_{\check{Z}}$, n_D – počet mužů, žen, dětí.

Pokud jsou **svítidla** v provozu i v době významných tepelných zisků z exteriéru, pak se s jejich tepelným příspěvkem musí počítat v celkové bilanci.
U svítidel se při výpočtu předpokládá, že se veškerý **elektrický příkon** přemění na **teplo Q_{SV}**:

$$Q_{SV} = P * c_1 * c_2 \ [W]$$

Kde:

P – celkový příkon svítidel [W]
c_1 – součinitel současnosti využití svítidel [-]
c_2 – součinitel pro korekci z hlediska odsávání tepla od svítidel [-]

Pro další elektrické a jiné **spotřebiče** lze určit tepelnou zátěž tabulkově:

Tab.5 tepelné výkony jednotlivých spotřebičů

Zařízení	Q při provozu [W]	Q při útlumu [W]
Obecný spotřebič	55	35
Obecný spotřebič (bezpečná hodnota)	75	45
Střední monitor 16-18“	70	70
Stolní laserová tiskárna	130	10
Fax	30	15
Skener	25	15
Zdroj s trvalý příkonem <100 W	0	0

A další…

Ve stravovacích a restauračních provozech, mohou hrát významnou roli vodní a tepelné zisky od pokrmů a jejich přípravy.
Výpočetní postup je následující:

- Pro jedno jídlo u stolu je produkce 5 Wh tepla a 10 g páry,
- U restaurací vyšších tříd se uvažuje na 1 místo u stolu 1 jídlo za hodinu,
- Pro ostatní stravovací provozy se uvažují 2 až 3 jídla na 1 místo u stolu za hodinu.

B.2.6. Zisky vodní páry

Mezi základní vnitřní zdroje vodní páry jsou **lidé**. Jeden člověk vyprodukuje v závislosti na teplotě okolního vzduchu a činnosti zhruba **60 až 290 g/h vodní páry**.

Pro prostory s vodní hladinou (bazény aj.) je výrazným zdrojem vlhkosti **odpar z vodní hladiny**.

Pro **vázané výparné teplo odpařené z vodní hladiny Q_{LAT}** platí vztah:

$$Q_{LAT} = M_W * l \ [W]$$

Kde:

M_W – hmotnostní tok vodní páry [$g.s^{-1}$]
l – skupenské teplo vody, = 2510 $kJ.kg^{-1}$

Pro **množství odpařené vodní páry platí M_W**:

<u>dle německé normy VDI 2089:</u>

$$M_W = \beta * S_W * (\mathrm{p}d - M_W = \beta * S_W * (p_{v,sat} - p_v) \ \ [\mathrm{k}g.s^{-1}]$$

$$\beta = 0{,}124 + 0{,}11 * w \ [kg.m^{-2}.Pa^{-1}]$$

<u>dle ČSN 73 0548:</u>

$$M_W = (7 + 5{,}3 * w) * S_W * (x_w - x_i) * 10^{-3} \ \ [\mathrm{k}g.s^{-1}]$$

Kde:

β – součinitel přenosu hmoty, platí pro rychlosti do 0,3 m/s [$kg.m^{-2}.Pa^{-1}$],
S_W – plocha volné vodní hladiny [m^2],
p_v – tlak vodní páry při teplotě vnitřního vzduchu [Pa],
$p_{v,sat}$ – parciální tlak nasycené vodní páry pro vzduch o teplotě rovné teplotě vody [Pa],
w – rychlost proudění vzduchu [$m.s^{-1}$]
x_w, x_i – měrná vlhkost těsně nad hladinou a v prostoru

Spolu s vázaným (latentním) teplem probíhá mezi vodní hladinou a vzduchem výměna i **tepla citelného Q_{cit}**, množství tohoto předávaného tepla do prostoru se spočítá:

$$Q_{cit} = \alpha * S_W * (\theta_w - \theta_i) \ [W]$$

Kde:

α – součinitel přestupu tepla mezi vodní hladinou a vzduchem,
S_W – plocha volné vodní hladiny [m^2],
θ_w– teplota vody [°C],
θ_i– teplota vzduchu interiéru [°C].

B.3. Energetická náročnost budov

B.3.1. Celková roční dodaná energie

Celková roční dodané energie do budovy EP se při bilančním hodnocení stanoví jako součet dílčích vypočtených dodaných energií pro jednotlivé časové úseky v roce a pro všechny hodnocené zóny objektu.

$$EP = Q_{fuel,tot} = EP_H + EP_C + EP_F + EP_W + EP_L$$

Kde:

EP_H – roční dodaná energie na vytápění (vč. pomocné energie) [GJ]
EP_C – roční dodaná energie na chlazení (vč. pomocné energie) [GJ]
EP_F – roční dodaná energie na mechanické větrání a úpravu vlhkosti vzduchu (vč. pomocné energie) [GJ]
EP_W – roční dodaná energie na přípravu TV (vč. pomocné energie) [GJ]
EP_L – roční dodaná energie na osvětlení [GJ]

Od dodaných energií můžeme odečítat energii vyrobenou fotovoltaikou nebo kogeneračním systémem.

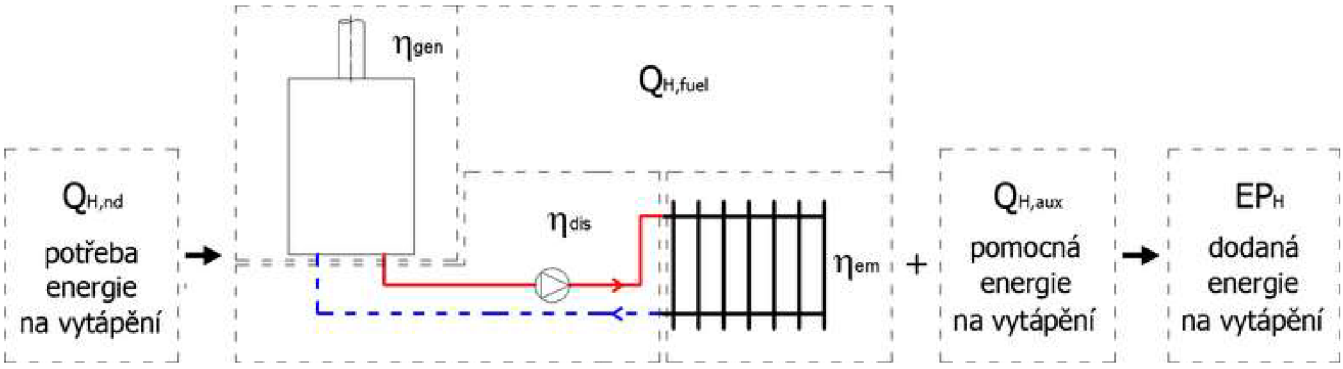
B.3.2. Roční dodaná energie na vytápění

Pro výpočet roční dodané energie na vytápění z hlediska ENB se použije vztah:

$$EP_H = Q_{fuel,H} + Q_{aux,H}\ [GJ]$$

Kde:

$Q_{fuel,H}$ – roční dodaná energie na vytápění [GJ]
$Q_{aux,H}$ – roční pomocná energie systému vytápění [GJ]



Obr.32 Schéma pro výpočet dodané energie na vytápění (zdroj: tzb-info.cz)

Roční dodaná energie na vytápění $Q_{fuel,H}$ se stanoví:

$$Q_{fuel,H} = \sum \frac{Q_{H,dis,i} * f_{H,sys}}{\eta_{H,sys}}\ [GJ]$$

Kde:

$Q_{H,dis,z,i}$ – energie pro danou zónu dodaná do distribučního systému vytápení [GJ]
$f_{H,sys}$ – podíl dodané energie do zóny pro daný zdroj tepla [-]
$\eta_{H,sys}$ – celková účinnost výroby energie zdrojem tepla [-]

Pro obecný zdroj tepla platí **účinnost výroby energie $\eta_{H,sys}$** následovně:

$$\eta_{H,sys} = \eta_{H,ctl,sys} * \eta_{H,gen,sys} \; [-]$$

Kde:

$\eta_{H,ctl,sys}$ – účinnost regulace zdroje tepla [-]
$\eta_{H,gen,sys}$ – účinnost výroby tepla zdroje [-]

Dodaná energie do distribučního systému vytápění $Q_{H,dis,z,i}$ se spočítá:

$$Q_{H,dis,i} = \frac{Q_{H,nd,i}}{\eta_{H,em} * \eta_{H,dis}} - Q_{H,sc} \; [GJ]$$

Kde:

$Q_{H,nd,i}$ – potřeba energie na vytápění [GJ]
$Q_{H,sc}$ – energie získaná pro vytápění ze solárních kolektorů [GJ]
$\eta_{H,em}$ – účinnost sdílení tepla mezi vytápěnou zónou a systémem [-]
$\eta_{H,dis}$ – účinnost systému distribuce energie [-]

Výpočet **pomocné energie systému vytápění $Q_{aux,H}$** se provede následovně:

$$Q_{H,aux} = \left(P_{H,aux,P} + P_{H,aux,ctl} + P_{H,aux,oth}\right) * \tau_H * 10^{-3} \; [kWh]$$

Kde:

$P_{H,aux,P}$ – průměrný elektrický příkon oběhových čerpadel [W]
$P_{H,aux,ctl}$ – průměrný elektrický příkon systému meření a regulace [W]
$P_{H,aux,oth}$ – průměrný elektrický příkon pomocných zabudovaných prvků [W]
τ_H – měsíční doba provozu teplovodní soustavy [h]

B.3.3. Potřeba energie na pokrytí tepelné ztráty

Z hlediska energetického hodnocení budov platí tento vztah:

$$Q_{H,ht} = (H_{tr} + H_{ve}) * \Delta\theta_m * \tau * 10^{-3} \; [kWh]$$

Kde:

H_{tr} – měrný tepelný tok prostupem ze zóny [W.K^{-1}]
H_{ve} – měrný tepelný tok větráním ze zóny [W.K^{-1}]
$\Delta\theta_m$ – rozdíl průměrné vnitřní a venkovní teploty za dané období [K]
τ – délka časového úseku [h]

B.3.4. Tepelné zisky

Pro danou zónu se tepelné zisky pro vytápění $Q_{H,gn}$ spočítají jako součet vnitřních zisků a zisků od slunečního záření:

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{H,sol} \; [GJ]$$

Kde:

Q_{int} – vnitřní tepelné zisky v zóně [GJ]
$Q_{H,sol}$ – solární zisky v zóně [GJ]

Solární zisky $Q_{H,sol}$ se stanoví obecně podle vztahu:

$$Q_{H,sol} = Q_{H,sol,gl} + Q_{H,sol,op} + Q_{H,sol,spec} + Q_{H,sol,u}\ [GJ]$$

Kde:

$Q_{H,sol,gl}$ – solární zisky průsvitnými konstrukcemi [GJ],
$Q_{H,sol,op}$ – solární zisky neprůsvitnými konstrukcemi [GJ],
$Q_{H,sol,spec}$ – solární zisky speciálními konstrukcemi, např. Trombeho stěna [GJ],
$Q_{H,sol,u}$ – solární zisky z přilehlých nevytápěných prostor [GJ]

Vnitřní tepelné zisky Q_{int} se stanoví obecně podle vztahu:

$$Q_{int} = Q_{int,oc} + Q_{int,ap} + Q_{int,L} + Q_{int,u}\ [GJ]$$

Kde:

$Q_{int,oc}$ – vnitřní zisky od osob [GJ],
$Q_{int,ap}$ – vnitřní zisky od spotřebičů [GJ],
$Q_{int,L}$ – vnitřní zisky od osvětlení [GJ],
$Q_{int,u}$ – vnitřní zisky z vedlejších nevytápěných prostor [GJ]

Poměr tepelných zisků a ztrát $\gamma_{H,gn}$ se stanoví obecně vztahem:

$$\gamma_{H,gn} = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}\ [-]$$

Kde:

$Q_{H,gn}$ – celkové tepelné zisky v zóně [GJ],
$Q_{H,ht}$ – potřeba energie na pokrytí tepelné ztráty v zóně [GJ]

Pro **stupeň využitelnosti tepelných zisků pro vytápění $\eta_{H,gn}$** platí:

Pokud $\gamma_{H,gn} < 1$, pak platí $\eta_{H,gn} = \frac{1-\gamma_{H,gn}{}^{\alpha_H}}{1-\gamma_{H,gn}{}^{1+\alpha_H}}$

Pokud $\gamma_{H,gn} = 1$, pak platí $\eta_{H,gn} = \frac{\alpha_H}{\alpha_H+1}$

Parametr α_H se vypočítá jako:

$$\alpha_H = \alpha_{0,H} + \frac{\tau_H}{\tau_{0,H}}$$

Kde:

$\alpha_{0,H}$ – pomocný parametr, závisí na časovém kroku výpočtu (z tabulek)
τ_H – časová konstanta zóny [h]
$\tau_{0,H}$ – referenční časová konstanta zóny závislá na časovém kroku [h]

Pro **časovou konstantu zóny τ_H** platí:

$$\tau_H = \frac{C_m/3600}{H_{tr} + H_{ve}} \; [h]$$

Kde:

C_m – vnitřní tepelná kapacita zóny [J/K],
H_{tr} – měrný tepelný tok prostupem ze zóny [W.K^{-1}],
H_{ve} – měrný tepelný tok větráním ze zóny [W.K^{-1}],

B.3.5. Roční potřeba energie na chlazení

Stanovení **roční potřeby energie na chlazení v zóně $Q_{c,nd}$** se stanoví:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} * Q_{C,ht} \; [GJ]$$

Kde:

$Q_{c,gn}$ – tepelné zisky v zóně [GJ],
$Q_{c,ht}$ – energie pro pokrytí tepelných ztrát zóny [GJ],
$\eta_{C,ls}$ – stupeň využitelnosti tepelných ztrát [-]

Spotřeby a dodané energie pro přípravu TV a jiné procesy jsou analogické výpočty a nebude se jim dále věnovat prostor.
Vzhledem k rozsahu této práce nebudou rozepsány podrobně výpočty všech veličin.

B.3.6. Rozvody

Účinnost systému distribuce energie na vytápění $\eta_{H,dis}$ závisí na stavu tepelné izolace potrubí a délce rozvodů.
Teoretická ztráta rozvodů systému vytápění $Q_{H,ls,dis}$ se spočítá následovně:

$$Q_{H,ls,dis} = 3{,}6 * 10^{-6} * \sum \left[\psi_{H,ls,dis} * \left(\theta_{H,m} - \theta_i\right) * L_{H,dis} * \tau_{H,op}\right] \; [GJ]$$

Kde:

$\psi_{H,ls,dis}$ – průměrný lineární součinitel tepla daného rozvodu [W.m^{-1}.K^{-1}],
$\theta_{H,m}$ – střední teplota otopného média [°C],
θ_i – teplota okolí rozvodů [°C],
$\tau_{H,op}$ – roční doba provozu systému vytápění [h]

Délka rozvodů $L_{H,dis}$ lze stanovit orientačně podle ČSN EN 15316-2-3, kdy se pro účely orientačního výpočtu rozlišují rozvody svislé stoupací (S), vodorovné (V) a připojovací pro OT (A). Do výpočtů vstupují:

Veličina		Horizontální rozvody $L_{H,V,dis,z}$ [m]	Svislé stoupací rozvody $L_{H,S,dis,z}$ [m]	Připojovací rozvody $L_{H,A,dis,z}$ [m]
Střední teplota okolí	$\theta_{i,j}$	13 °C resp. 20 °C	20 °C	
Dvoutrubková otopná soustava				
Rozvody mimo zónu	$L_{H,dis,z}$	$2 \cdot L_{H,V,z} + 0{,}01625 \cdot L_{H,V,z} \cdot L_{H,W,z}^2$	$0{,}025 \cdot L_{H,V,z} \cdot L_{H,W,z} \cdot h_{H,lev,z} \cdot N_{H,lev,z}$	$0{,}55 \cdot L_{H,V,z} \cdot L_{H,W,z} \cdot N_{H,lev,z}$
Rozvody vně zóny	$L_{H,dis,z}$	$2 \cdot L_{H,V,z} + 0{,}032 \cdot L_{H,V,z} \cdot L_{H,W,z} + 6$	$0{,}025 \cdot L_{H,V,z} \cdot L_{H,W,z} \cdot h_{H,lev,z} \cdot N_{H,lev,z}$	$0{,}55 \cdot L_{H,V,z} \cdot L_{H,W,z} \cdot N_{H,lev,z}$
Jednotrubková otopná soustava				
Rozvody vně zóny	$L_{H,dis,z}$	$2 \cdot L_{H,V,z} + 0{,}0325 \cdot L_{H,V,z} \cdot L_{H,W,z} + 6$	$0{,}025 \cdot L_{H,V,z} \cdot L_{H,W,z} \cdot h_{H,lev,z} \cdot N_{H,lev,z} + 2 \cdot (L_{H,V,z} + L_{H,W,z}) \cdot N_{H,lev,z}$	$0{,}1 \cdot L_{H,V,z} \cdot L_{H,W,z} \cdot N_{H,lev,z}$

$L_{H,V,z}$ – délka vytápěné zóny [m],
$L_{H,W,z}$ – šířka vytápěné zóny [m],
$h_{H,lev,z}$ – konstrukční výška podlaží [m],
$N_{H,lev,z}$ – počet podlaží

B.3.7. Referenční parametry

Tab.6 Hodnoty stanovené ve vyhlášce č. 264/2020 Sb. ze dne 29. května 2020

Popis parametru	Označení	Ref. hodnota
Účinnost výroby energie tepla pro vytápění	$\eta_{H,gen,R}$	92 %
Účinnost distribuce energie na vytápění uvnitř budovy	$\eta_{H,dis,R}$	90 %
Účinnost sdílení energie na vytápění	$\eta_{H,em,R}$	88 %
Chladící faktor zdroje chladu (kompresorový)	$EER_{C,gen,R}$	2,7 $W.W^{-1}$
Účinnost distribuce chladu uvnitř budovy	$\eta_{C,dis,R}$	85 %
Účinnost zdroje tepla pro přípravu TV	$\eta_{w,gen,R}$	88 %
Měrná tepelná ztráta zásobníku TV	$Q_{W,st,R}$	7 $Wh.l^{-1}.den^{-1}$
Měrná tepelná ztráta rozvodů TV	$Q_{W,dis,R}$	150 $Wh.m^{-1}den^{-1}$
Topný faktor tepelného čerpadla	$COP_{H,gen,R}$	3,0 $W.W^{-1}$
Účinnost ZZT u rovnotlakého systému VZT	$\eta_{H,hr,sys}$	60 %
Účinnost zdroje vlhčení	$\eta_{RH+,gen,sys}$	70 %
Účinnost zdroje odvlhčení	$\eta_{RH-,gen,sys}$	65 %
Průměrný součinitel prostupu tepla	$U_{em,R}$	dle normy
Přirážka na vliv tepelných vazeb	$\Delta U_{em,R}$	0,02 $W.m^{-2}K^{-1}$
Solární faktor propustnosti slunečního záření	g_R	0,5
Měrný příkon jednoho ventilátoru VZT	$P_{SFP,ahu,R}$	1500 $W*s.m^{-3}$
Měrný příkon osvětlení vztažený na osvětlenost	$P_{L,lx,R}$	0,032 $W.m^{-2}lx^{-1}$
Světelná účinnost vnitřního zdroje (výpočet zisků)	$\eta_{L,R}$	20 %

B.4. Návrh a posouzení úsporných opatření

B.4.1. Úvod do opatření ENCON

Opatření pro úsporu energií, nazývané **ENCON** (energy conservation), je série kroků, jejíž cílem je najít co nejefektivnější opatření pro úsporu spotřeby energií.

Mezi základní opatření pro snížení spotřeby energií můžeme zařadit například:

- instalace termostatických ventilů u otopných těles,
- tepelná izolace obvodového pláště,
- tepelná izolace potrubních rozvodů,
- výměna oken za těsnější a lépe izolující,
- využití systémů zpětného získávání tepla,
- výměna starých kotlů za nové s lepší účinností,
- výměna žárovek za úspornější LED svítidla,
- regulace systému vytápění,
- regulace systému vnitřního osvětlení,
- snížení teploty vzduchu interiéru,
- využití obnovitelných zdrojů energie (např. fotovoltaické panely)

Pro investora je důležitá **návratnost** investice, protože opatření ENCON, které na konci své životnosti nepřinese úsporu větší, než byly investiční náklady, nemá z ekonomické stránky smysl.

B.4.2. Parametry pro ekonomické hodnocení

Jedná se o ekonomické posuzování opatření či zařízení přes mnohaleté období, kdy je obtížné bez podrobnějších výpočtů určit ekonomičnost úsporných opatření, zvlášť když se návratnosti často pohybují kolem 8 let a výše.

Norma ČSN EN 15459-1 „Energetická náročnost budov – postupy pro ekonomické hodnocení energetických soustav v budovách“ uvádí následující veličiny sloužící pro ekonomické ohodnocení úsporných opatření ENCON. Pro výpočet **doby návratnosti zařízení** se vypočítá z této podmínky:

$$\mathrm{CG} = C_{IN} + \sum_{t=0}^{t=PB} (C_{A,t} * R_{d,t} - V_{f,t}) \ [roky]$$

Kde:

CG – celkové náklady [€]
C_{IN} – vstupní investiční náklady [€]
t=0 – uvedení zařízení do provozu
t=PB – payback, doba návratnosti investice [roky]
$C_{A,\tau}$ – roční náklady pro daný rok t [€/rok]
R_d – diskontní sazba pro daný rok t [%]
$V_{f,t}$ – konečná hodnota zařízení na konci období [€]

Pro ekonomické hodnocení je důležité rozlišovat pojmy:

Ekonomická životnost n_1 je doba, po které je ekonomičtější zařízení nahradit novějším, používá se pro hodnocení
Technická životnost n_2 je doba, po kterou zařízení dokáže pracovat
Technická život bývá zpravidla delší než ekonomická, například počítače můžou mít ekonomickou životnost 3 roky a technickou až 10 let.

Tab.7 příklady životností zařízení v projektech:

Konstrukce	tech. n_2 [roky]	ekon. n_1 [roky]
Stavební konstrukce	60	30
Potrubní rozvody	30	15
Zásobník teplé vody	15	15
Tepelné čerpadlo	15	15
Termostatická hlavice	15	10

Vyhlášky č. 140 a 141 z roku 2021 Sb. o energetickém auditu a energetickém posudku (v účinnosti od 1.4.2021). uvádí jako hlavním rozhodujícím kritériem ekonomického hodnocení **čistou současnou hodnotu NPV (net present value).** Doplňujícími kritérii jsou **vnitřní výnosové procento IRR,** které v podstatě vyjadřuje diskontní sazbu, pro kterou se doba životnosti rovná její době návratnosti, a **reálná doba návratnosti T_S**, což je doba, pro kterou platí, že se celkové úspory od roku 0 rovnají investičním nákladům.

NPV – čistá současna hodnota

$$NPV = \sum CF_a * (1+r)^{-t} - IN \ [tis.Kč.rok^{-1}]$$

Kde:

CFa – roční přínosy opatření [tis.Kč]
IN – investiční náklady v roce 0 [tis.Kč]
r – diskontní sazba pro dané období [%]
t – délka počítaného období [roky]

IRR – vnitřní výnosové procento (podmínka)

$$0 = \sum CF_a * (1+IRR)^{-t} - IN \ [\%]$$

Vychází se z této podmínky, kde:

CFa – roční přínosy opatření [tis.Kč]
IN – investiční náklady v roce 0 [tis.Kč]
IRR – vnitřní výnosové procento (disktontní sazba) [%]
t – délka počítaného období [roky]

TS – doba návratnosti (podmínka)

$$\sum_{t=0}^{t=TS} CF_a * (1+r)^{-t} = IN \ [\%$$

Vychází se z této podmínky, kde:

CFa – roční přínosy opatření [tis.Kč]
IN – investiční náklady v roce 0 [tis.Kč]
r – diskontní sazba pro dané období [%]

B.5. Energetický management

B.5.1. Úvod do energetického managementu

Kromě úsporných opatření konstrukčního (např. zateplení obvodového pláště) nebo technologického (např. zpětné získávání tepla) typu je správný energetický management také jednou z cest pro hospodárnější energetický provoz.

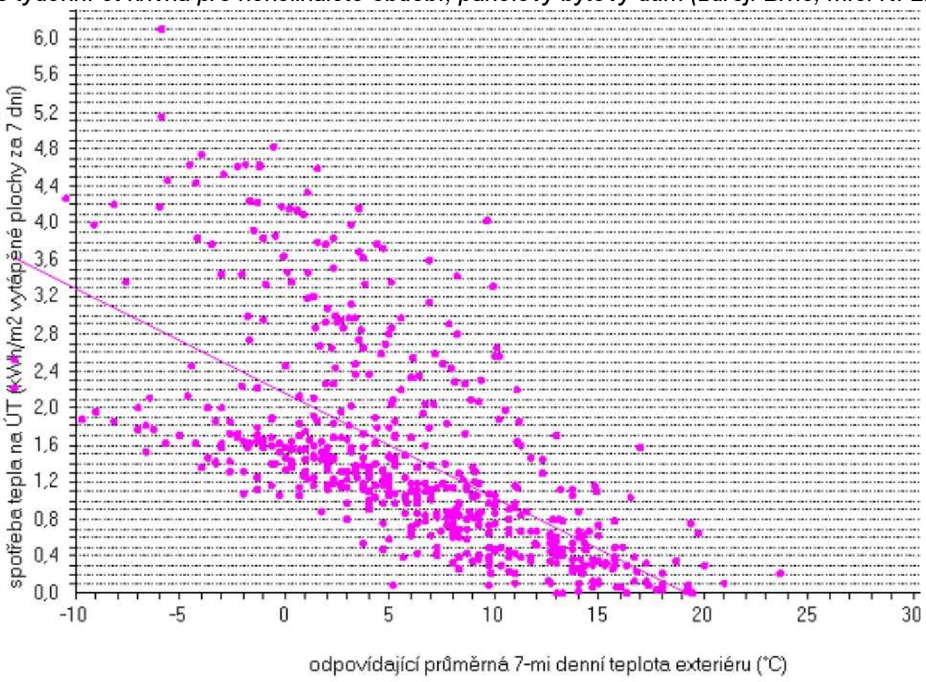
Jedním z hlavních požadavků pro zavedení správného energetického managementu je detailní monitoring spotřeb konkrétních objektů.
Některé typy spotřeb, jako například **ohřev teplé vody**, jsou v rámci roku v podstatě konstantní.
Ostatní výrazně kolísají s venkovní teplotou vzduchu, zejména spotřeba energie na **vytápění** vnitřních prostor.
Některé typy spotřeb, jako například **vnitřní osvětlení**, mohou mírně kolísat s ročním obdobím také, protože v zimě je méně hodin slunečního svitu.
V posledních letech se taky začíná výrazně projevovat spotřeba na **chlazení** budov, která dosahuje svého maxima naopak v létě.

B.5.2. Grafická analýza – ET křivka

Pro analýzu kolísavosti spotřeb dané energie ve vztahu k venkovní teplotě vzduchu slouží **energeticko-teplotní (ET) křivka**.
Za časové období (zejména rok) se podrobně měří spotřeby energií, ideálně týdně. Za daný týden se změří také průměrná teplota venkovního vzduchu.
Do grafu se vynáší tzv. **týdenní měrná spotřeba energie**, což je hodnota dané spotřebované energie přepočítaná na 1 m^2 vytápěné plochy. Hodnoty se nanesou do 2D grafu,na osu X se nanesou průměrné venkovní teploty, na osu Y pak týdenní měrné spotřeby dané energie.

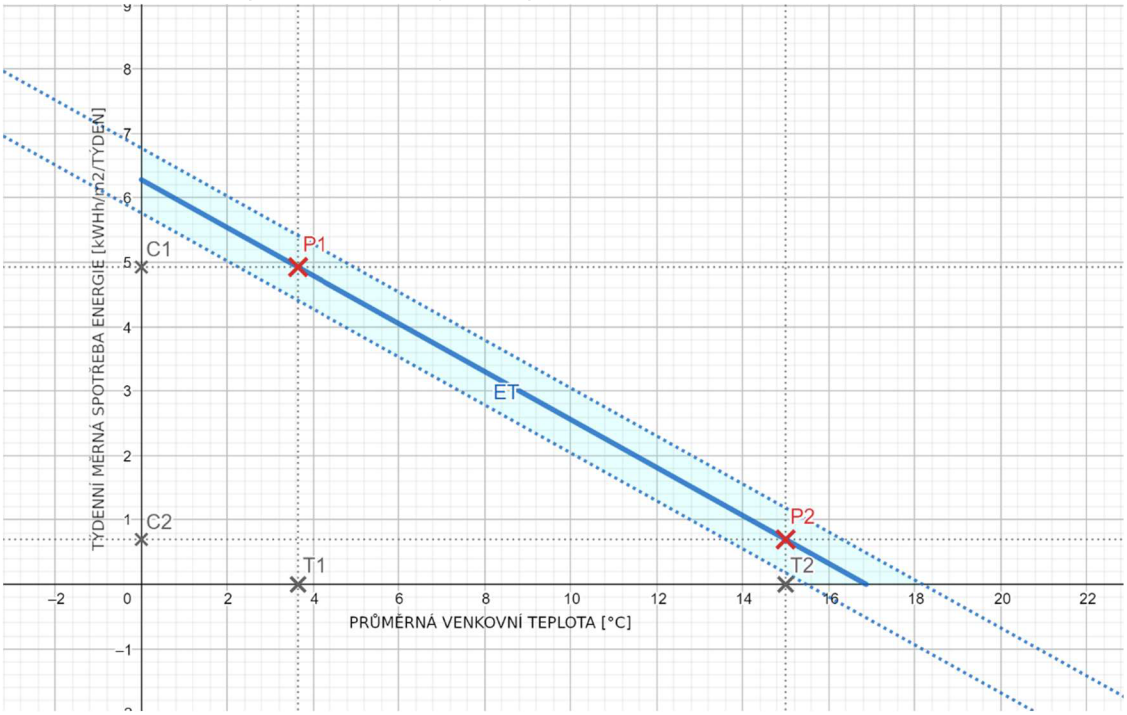
Z následných bodů se statisticky vytvoří spojnice trendu (např. v programu EXCEL).
Daná spojnice trendu vyjadřuje průměrnou spotřebu na 1 m^2 vytápěné plochy v závislosti na venkovní teplotě. Pro každý rok je trochu jiná, ale vesměs ET křivky z různých let vykazují velmi podobnou závislost. Účel není se pevně držet ET křivky, ale zamezit výraznému kolísání od tohoto „ideálního“ průměru měrné spotřeby.

Obr.33 týdenní et křivka pro několikaleté období, panelový bytový dům (zdroj: Brno, m.č. N. Lískovec)



Z uvedených informací čistě vyplývá, že použití ET křivky závisí především na podrobném monitoringu, ideálně týdenním, a pro utvoření celé křivky vyžaduje období měření minimálně rok. Ovšem dá se vypočítat i **teoreticky**, pokud nemáme k dispozici 7denní hodnoty spotřeb energií a průměrných venkovních teplot:

Obr.34 ET křivka počítaná teoreticky bez započítání chlazení s horní a dolní mezí ± 8%



Body P1 a P2 jsou definovány měrnými spotřebami C1 a C2 a teplotami T1 a T2, které se vypočítají následovně:

$$C_1 = \frac{Q_1 + Q_2}{W_h} + C_2 \; [kWh.týd^{-1}]$$

$$C_2 = \frac{Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6}{W_b} \; [kWh.týd^{-1}]$$

$$\alpha_h = \frac{\frac{Q_1 * S_{\Delta h}}{100} + S_{\Delta v}}{W_h}$$

$$(T_2 - T_1) * \alpha_h = C_1 - C_2 \quad \rightarrow \quad T_2 = T_1 + \frac{C_1 - C_2}{\alpha_h}$$

Kde:

Q_1 – energie pro vytápění [kWh.m^{-2}]
Q_2 – energie pro větrání [kWh.m^{-2}]
Q_3 – energie pro ohřev teplé vody [kWh.m^{-2}]
Q_4 – energie pro ventilátory a čerpadla [kWh.m^{-2}]
Q_5 – energie pro vnitřní osvětlení [kWh.m^{-2}]
Q_6 – energie pro ostatní provozy [kWh.m^{-2}]
T_1 – průměrná venkovní teplota v otopném období [°C]
W_h – délka otopné sezony [týdny]
W_b – délka ročního provozu [týdny]
$S_{\Delta v}$ – citlivost návrhové vnitřní teploty větrání [kWh.m^{-2}.rok^{-1}]
$S_{\Delta h}$ – citlivost vnitřní teploty vytápění [%]

Citlivost udává, o kolik % nebo kWh.m^{-2}.rok^{-1} se sníží spotřeba při snížení teploty interiéru o 1 K.

B.6. Enviromentální hodnocení budov

B.6.1. Enviromentální hodnocení

Energetická náročnost z ekologického hlediska se posuzuje dle vyprodukovaných emisí CO2. *Vyhláška č. 140/2021 Sb. „o energetickém posudku“ (v účinnosti od 1.4.2021).* uvádí hodnoty **emisních faktorů**, které vyjadřují měrné emise CO_2 v tunách vztažených k výhřevnosti paliva.

Tab.8 emisní faktory dle vyhlášky č. 140/2021 Sb.

Palivo nebo energie	Emisní faktor [t CO_2/MWh]
černé uhlí	0,330
hnědé uhlí	0,352
koks	0,385
hnědouhelné brikety	0,346
topný a ostatní plynový olej	0,267
topný olej nízkosirný	0,279
topný olej vysokosirný	0,279
zemní plyn	0,200
zkapalněný ropný plyn (LPG)	0,237
elektřina	0,860

Mimo tuto vyhlášku popisuje Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR v publikacích k projektu EFEKT enviromentální vyhodnocení i pro jiné znečišťující látky, a to:

- tuhé látky,
- oxid siřičitý SO_2,
- oxidy dusíku NO_X,
- oxid uhelnatý CO,
- organické látky,

Pro jednotlivé druhy paliv uvádí v závislosti na druhu topeniště a výkonu kotle poměr vyprodukovaných emisí daného druhu v závislosti na hmotnosti spáleného paliva.

Tab.9 Výňatek hodnoty emisních faktorů při spalování paliv z přílohy č. 5 k nařízení vlády č. 352/2002 Sb.

Druh paliva	Druh topeniště	Tepelný výkon kotle	Tuhé látky	SO_2	NO_X	CO	Organické látky	Jednotky
dřevo	jakékoliv	< 3 MW	12,5	1,0	3,0	1,0	0,89	kg/t spáleného paliva
		> 3 MW	15,0	1,5	3,0	1,0	0,89	
černé uhlí a koks	pevný rošt	jakýkoliv	$1,0*A_P$	$19,0*S_P$	1,5	45,0	8,90	
	pohyblivý rošt		$3,5*A_P$	$19,0*S_P$	7,5	1,0	0,40	
	tavící		$5,5*A_P$	$19,0*S_P$	15,2	0,5	0,14	

A_P – obsah popeloviny v původním vzorku [% hm.]
S_P - obsah síry v původním vzorku [% hm.]

B.6.2. Vyhodnocení emisí skleníkových plynů metodikou IPCC

V rámci OSN existuje úmluva o změně klimatu, jejíž součástí je pravidelné monitorování emisí skleníkových plynů jednotlivými zeměmi.
Pro možnosti porovnávání údajů o emisích skleníkových plynů existuje závazná **metodika IPCC**, jejíž výhodou je sjednocený postup pro porovnávání verifikovaných výstupů.

Tato metodika se zaměřuje jednak na skleníkové plyny vyprodukované člověkem s přímým **radiačně absorpčním účinkem** (CO_2, CH_4, N_2O) a také na plyny s účinkem nepřímým (NO_X, CO), jež působí jako prekurzory při tvorbě přízemního **ozonu O_3**, který rovněž má radiačně absorpční vlastnosti.

Jednotlivé emise skleníkových plynů se pomocí konverzních koeficientů GWP přepočítají na tzv. celkové emise skleníkových plynů.

Koeficient GWP (global warming potential) přepočítává jednotlivé skleníkové plyny podle jejich potenciálu přispívat ke skleníkovému efektu Země. Hodnota faktoru vyjadřuje, kolikrát je daný skleníkový plyn účinnější v absorpci radiace než oxid uhličitý.

Tab.10 hodnoty koeficentů GWP pro jednotlivé skleníkové plyny

skleníkový plyn	GWP
CO2	1
CH4	21
N2O	310
SF6	23 900
Perfluoromethan	6 500
HFC-245	560
HFC-125	2 800
HFC-23	11 700

Oproti výše uvedeným skleníkovým plynům je těžké stanovit vliv absorpce u prekurzorů ozonu (NO_X, CO) na ekvivalent CO_2, proto tyto plyny nespadají přímo pod kontrolu **Kjótským protokolem** OSN.

B.7. Jednotky, zkratky

B.1.1. Indexy a symboly

Popis	Dolní index
návrhová hodnota (design)	d (u)
charakteristická hodnota	k
ekvivalentní	ev
prosklení (glass)	g
rám (frame)	f
okno (window)	w
zemina, terén (ground)	gr
normová hodnota	n
vzduch (air)	a
vytápění (heating)	H
chlazení (cooling)	C
vnitřek (interior)	i (int)
vnějšek (exterior)	e (ext)
měsíční (monthly)	m
roční (annual)	a
nasycená (saturated)	sat
na obsluhu	hu
zóna	Z
vzduchotechnická jednotka	ahu
upravený (adjusted)	adj

Symbol	Vysvětlení
Δ (delta)	rozdíl (např. teplot, entalpií, …)
grad	gradient, směr růstu veličiny

B.1.2. Veličiny, značky, jednotky

Význam	Značka	Jednotka
součinitel tepelné vodivosti materiálu	λ	$W.m^{-1}.K^{-1}$
součinitel prostupu tepla	U	$W.m^{-2}.K^{-1}$
tepelný odpor	R	$m^2.K.W^{-1}$
součinitel přestupu tepla	α	$W.m^{-2}.K^{-1}$
lineární součinitel prostupu tepla	ψ	$W.m^{-1}.K^{-1}$
měrná tepelná ztráta	H	$W.K^{-1}$
objemová hmotnost	ρ	$kg.m^{-3}$
měrná tepelná kapacita	c	$J.kg^{-1}.K^{-1}$
součinitel průvzdušnosti spár	i	$m^2.s^{-1}.pa^{0,67}$
objem	V	m^3
obsah, plocha	A	m^2
sklon (úhel)	β	°
tloušťka, délka, výška	d; l; h	m
faktor tvaru budovy	A/V	$m^2.m^{-3}$
tepelný tok, tepelný výkon	Q; Φ	W
příkon	P	W
účinnost	η	%
hustota tepelného toku	q	$W.m^{-2}$
intenzita sluneční radiace	I_0	$W.m^{-2}$
energie (spotřeba, potřeba)	E	J; kWh
hmotnost	m	kg
relativní vlhkost vzduchu	ϕ; rh	%
teplota (Celsiova)	θ; t	°C
rychlost větru	v	$m.s^{-1}$
termodynamická teplota	T	K
tlak	p	Pa
čas	τ	s
objemový tok vzduchu	V	$m^3.s^{-1}$
měrná vlhkost vzduchu	x	$g.kg_{s.v.}^{-1}$
entalpie vlhkého vzduchu	h	$KJ.kg^{-1}$
entropie	s	$KJ.kg^{-1}.K^{-1}$
difuzní odpor	Z_p	$m.s^{-1}$
součinitel difuze vodní páry	δ	s
faktor difuzního odporu	μ	-
ekvivalentní difuzní tloušťka	s_d	m

C – Projekt a experimentální část

C.1. Úvod do realizace měření a analýz

C.1.1 Popis projektu

Pro porovnání reálných hodnot popisujících vnitřní prostředí budov s návrhovými (výpočtovými) hodnotami je provedeno měření v učebně, kabinetu a exteriéru v budově **základní školy**.

Výstupy měření budou následně použity pro účely jiných prací, například pro porovnání s hodnotami softwarových simulací. Tato práce se bude zabývat pouze popisem objektu, popisem realizovaných měření a jejich výstupů či možného.

Další část se bude zabývat analýzou vyfakturovaných spotřeb energií a zhodnocením energetického managementu i s porovnáním s jinými budovami.

Základní škola Svážná 9 je situována v intravilánu obce Brno-část Nový Lískovec, nedávno prošla několika modernizacemi za účelem úspor energií a zkvalitnění vnitřního prostředí.
Mezi tyto nedávné projekty patří zateplení obvodového pláště a výměna oken nebo zrealizování systému vzduchotechniky v učebnách.

Jedná se o samostatně stojící objekt tvořený osmi bloky s vnitřním dvorem.
Budova je vybudována v konstrukční soustavě MS-OB. Jde o železobetonový skelet s převažujícím modulem sloupů 6 m, a doplňkovým modulem 7,2 m a 3,6 m.
Konstrukční výška podlaží je 3,6 m. Střechy jsou ploché dvouplášťové.

Vytápění školy je řízeno dálkovou dodávkou tepla od brněnských tepláren. Ve škole se nachází výměníková stanice.
Dále škole odebírá elektrickou energii pro potřeby osvětlení, provozu vzduchotechniky či dohřevu.

Obr.35 zmodernizovaný vchod na ZŠ Svážnou 9 (zdroj: galerie školy)

C.1.2 Popis objektu

Jedná se o samostatně stojící objekt tvořený osmi bloky s vnitřním dvorem.
Budova je vybudována v konstrukční soustavě **MS-OB**. Jde o železobetonový skelet s převažujícím modulem sloupů 6 m, a doplňkovým modulem 7,2 m a 3,6 m.
Konstrukční výška podlaží je 3,6 m. Střechy jsou ploché **dvouplášťové**.

Tab.11 Půdorysné rozměry jednotlivých bloků:

BLOK	rozměr A [m]	rozměr B [m]
A	35,0	19,3
B	35,0	15,8
C	49,3	15,9
D	35,0	15,8
D1	49,3	15,9
E	49,4	31,4
F	34,9	19,7
G	35,1	25,5

Výška objektu je max 12,1 m

Tab.12 Geometrické a funkční charakteristiky budovy:

Zastavěná plocha A	**6137,2**	m^2
Obestavěný objem V_{ext}	**53 362**	m^3
Plocha obálky budovy A_{fc}	**19 264**	m^2
Energeticky vztažná plocha A_{ext}	**12 346**	m^2
Objemový faktor tvaru A/V	**0,36**	$m^2. m^{-3}$
Výška objektu h	**12,1**	m
Počet nadzemních podlaží n	**2, jeden pavilon 3**	
Počet uživatelů objektu	**500 dětí** **90 zaměstnanců** **1400 pokrmů**	
Rok výstavby	**1992 až 1996**	

Tab. 13 Způsob dodávky **dálkového tepla**:

Dodavatel tepla	**Teplárny Brno a.s.**
Způsob fakturace	**ročně**
Počet odběrných míst	**1**
Popis odběrného místa	**výměník školy v pavilonu D, D1**
Teplonosná látka	**horká voda**
Výroba energie	**spalování zemního plynu**

Tab.14 Způsob dodávky **elektrické energie**:

Dodavatel elektřiny	**ENERGIE AG BOHEMIA s.r.o.**
Způsob fakturace	**ročně**
Počet odběrných míst	**1**
Sazba odběru	**sazba C02d**
Velikost předřazeného jističe	**3x400 A**

Tab.15 -**fotovoltaické panely**:

Počet fotovoltaických panelů	**320 ks**
Špičkový (peak) výkon 1 panelu	**310 Wp**
Špičkový výkon FVE soustavy	**99,2 kWp**
Hlavní jistič připojení FVE	**3x 180 A**
Naklonění panelů (od vodorovné roviny)	**20°**
Orientace	**Jih +6°**

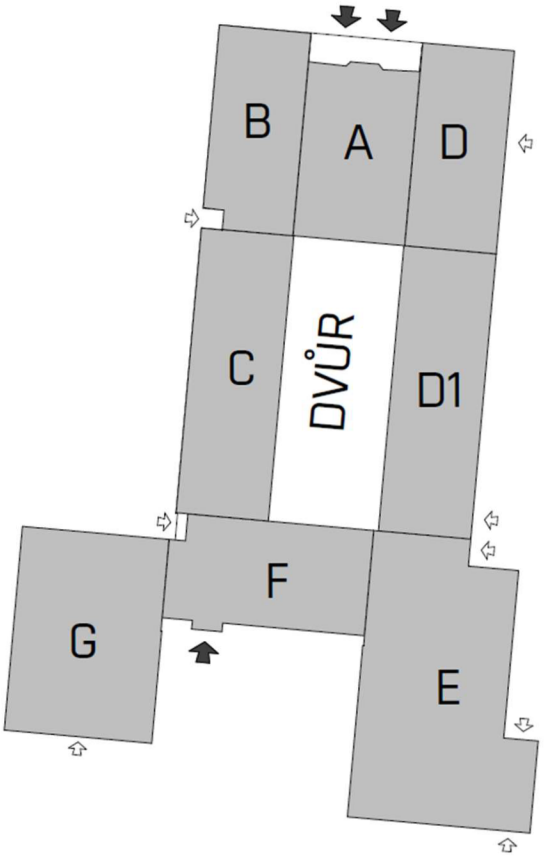
Součástí FVE soustavy je i měnič napětí, rozvaděče, svodiče přepětí. Sklon střechy je 5°.

C.1.3 Zónování objektu

Celý objekt je stavebně i provozně dělen na 5 pavilónů:

- pavilon A-hlavní vstup, dílny, bufet,
- pavilon B-vedení školy, byt,
- pavilon C-učebny, kabinety,
- pavilon D a D1-učebny, družina, výměníková stanice,
- pavilon E-jídelna, sklady potravin,
- pavilon F-kinosál, posilovna,
- pavilon G-tělocvična, šatny.

+ školní venkovní hřiště.



Hlavní vstup do objektu je v bloku A, který je jednopodlažní, částečně podsklepený.
V přízemí se nacházejí šatny a v suterénu sklady.
Blok B je jednopodlažní, plně podsklepený. Z terénu je přístupný suterénní byt školníka, vedle kterého se nachází dílna a sklady.
Blok C je dvoupodlažní, plně podsklepený. Nachází se zde zázemí základní školy (učebny, kabinety).
Bloky D a D1 jsou třípodlažní, částečně podsklepené. V prostoru D1 se nachází kotelna a elektrorozvodna.
V bloku E se nachází kuchyně s jídelnami.
V bloku F se nachází prostory kina, v bloku G pak tělocvična s šatnami.
Budovy E, F a G jsou dvoupodlažní.

V okolí budovy je mírně svažitý terén.

C.1.4 Nedávné modernizace či rekonstrukce:

V areálu školy bylo provedeno několik významných rekonstrukcí či modernizací:

- přetěsnění spár oken (1999),
- oprava střešních vpustí (2006),
- oprava střechy kinosálu (2007),
- výměna protiproudých ohřívačů TV za deskový výměník (2008),
- oprava střešních světlíků (2008),
- zateplení fasády objektu, ploché střechy, výměna výplní otvorů (2011),
- realizace nuceného větrání s rekuperací (2016),
- instalování fotovoltaických panelů (2020).

C.1.5 Popis tepelných vlastností konstrukcí budovy

Tab.16 Pro objekt platí následující návrhové hodnoty:

Návrhová vnitřní teplota (vytápěných prostor)	**20**	°C
Průměrný součinitel prostupu tepla	**0,27**	$W.m^2.K^{-1}$
Referenční průměrný součinitel prostupu tepla	**0,41**	$W.m^2.K^{-1}$
Celková měrná ztráta prostupem tepla	**5 109**	$W.K^{-1}$
Spotřeba elektřiny ze sítě	**223,4**	$MWh.rok^{-1}$
Spotřeba dálkového tepla	**291,1**	$MWh.rok^{-1}$
Celková primární energie	**961,2**	$MWh.rok^{-1}$

C.1.6 Popis technických systémů budovy

Vytápění, příprava teplé vody:
Teplá voda potřebná pro provoz základní školy a kuchyně je připravovaná v deskovém protiproudém výměníku, odsud je teplá voda větvená do ostatních objektů.
Cirkulace teplé vody je zajištěna oběhovými čerpadly.
Přípravu teplé vody zajišťuje tepelné čerpadlo.

Otopná soustava:
Topný systém objektu je teplovodní s nuceným oběhem s teplotním spádem 90/70 °C protiproudý.
Rozvody jsou rozčleněny na severní a jižní větev, každá strana má vlastní rozdělovač/sběrač.
Oběh otopné vody je zajištěn oběhovými čerpadly s elektronickou regulací otáček.
Potrubní rozvody jsou z ocelových svařovaných trubek s izolací ze skelné vaty.
Otopnými plochami jsou litinová článková tělesa.

Větrání:
V nedávné době byly na ZŠ zřízen systém vzduchotechniky s rekuperací odpadního tepla, který zajišťuje výměnu vzduchu v třídách, kabinetech či družině.
Vzduchotechnická jednotka obsahuje elektrický dohřev, který dokáže při maximálním průtoku zvednout teplotu až o 5 K.
V prostorech tělocvičny a kuchyně existuje původní nucený (pouhý) odvod vzduchu.
Kinosál je vytápěn teplovzdušně systémem VZT.
Ohřívač VZT zařízení je napojen samostatnou větví na topnou vodu z výměníkové stanice.

Kuchyň:
Pavilon E obsahuje mimo kuchyně i jídelny a sklady (i chladírny a mrazírny).
Mezi významné spotřebiče patří sporáky, mrazničky, chladničky, myčky, dva nákladní výtahy.
Provoz kuchyně je cca 6 hodin denně, příprava cca 1 400 jídel.

C.2. Dlouhodobé energetické sledování spotřeby tepla

C.2.1. Popis vstupů a výstupů energií

Tab.13 Způsob dodávky **dálkového tepla**:

Dodavatel tepla	**Teplárny Brno a.s.**
Způsob fakturace	**ročně**
Počet odběrných míst	**1**
Popis odběrného místa	**výměník školy v pavilonu D, D1**
Teplonosná látka	**horká voda**
Výroba energie	**spalování zemního plynu**

Teplo je připravováno v blokové kotelně zásobující více objektů, do výměníku školy je teplo dopravováno horkovodem. **Výměníková stanice** je v objektu D1, topný kanál je připojen v úrovni 1.NP.
Informace o **blokové kotelně Brno-Kamenný Vrch**: tepelný výkon kotlů na zemní plyn je 13,2 MW. Kogenerační jednotky na zemní plyn mají výkony 887 kW tepla a 736 kW elektrické energie.

Tab.14 Způsob dodávky **elektrické energie**:

Dodavatel elektřiny	**ENERGIE AG BOHEMIA s.r.o.**
Způsob fakturace	**ročně**
Počet odběrných míst	**1**
Sazba odběru	**sazba C02d**
Velikost předřazeného jističe	**3x400 A**

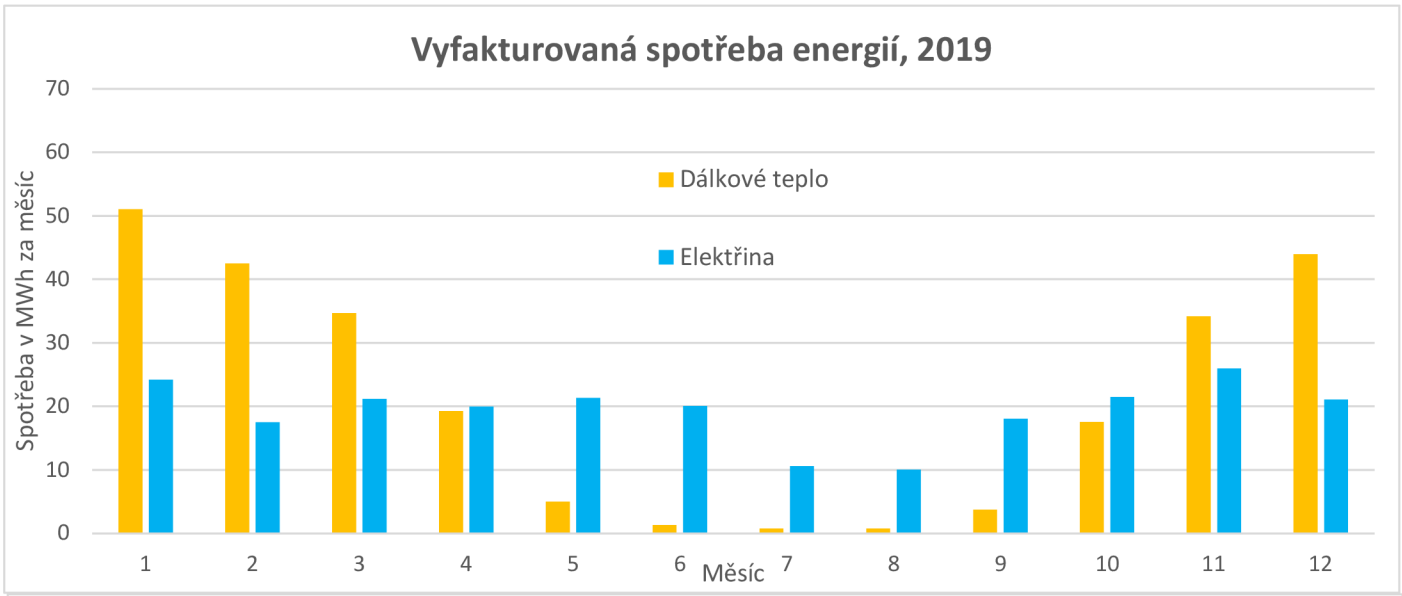
Spotřeba elektrické energie je měřena na 5 podružných elektroměrech (venek, šatny, byt školníka, prostory VŠ). V rozvodné skříni pro základní školu je instalován jistič 3x 400 A.
Spotřebiče elektrické energie: vnitřní osvětlení, kinosál, kancelářská technika, 2 výtahy v pavilonu C a D, celkem cca 65 počítačů. Další spotřebiče jsou oběhová čerpadla systému ÚT a TV, ventilátory VZT.

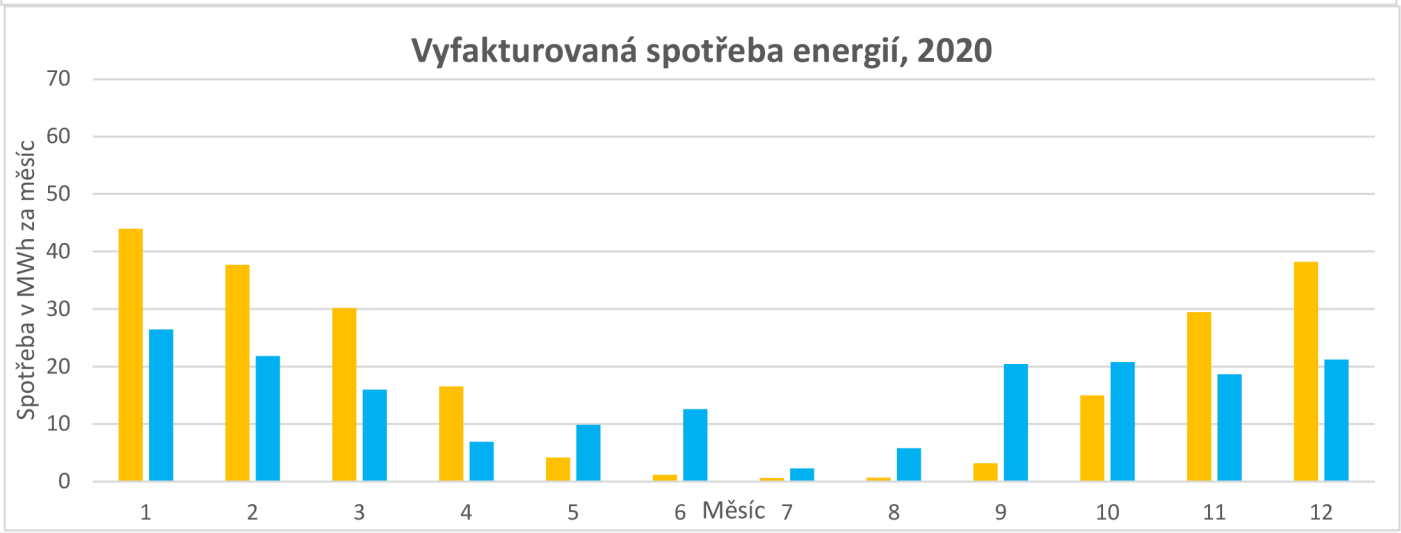
Provoz školní jídelny funguje téměř výhradně na elektrických spotřebičích.

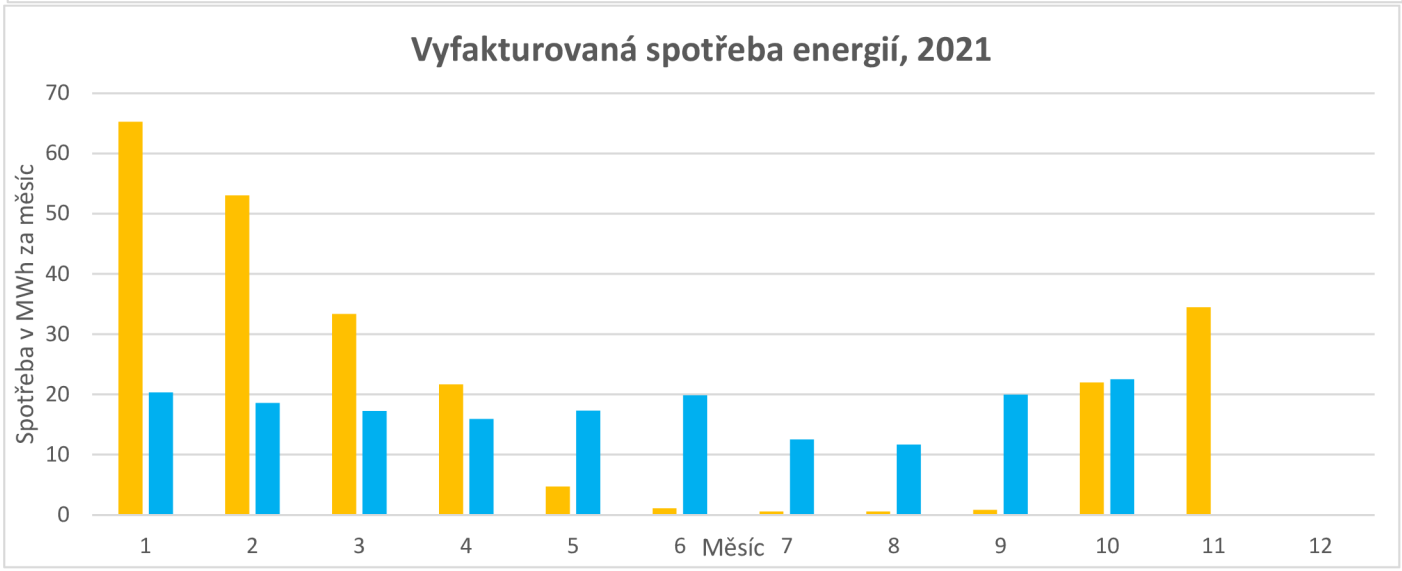
C.2.2. Vyfakturované hodnoty spotřeb energií

K dispozici jsou **měsíční vyfakturované** energie dodavatelů pro roky 2019, 2020, 2021.
Hodnoty z roku 2021 nejsou kompletní v posledním měsíci.
Následující spotřeby budou graficky zpracovány pro účely energetického managementu.
Zobrazované hodnoty spotřeb energií jsou převedeny na společné jednotky MWh za daný měsíc.

Graf.1 Fakturované spotřeby energií.







C.3. Analýza, porovnání budov

C.3.1. Měrné spotřeby energií

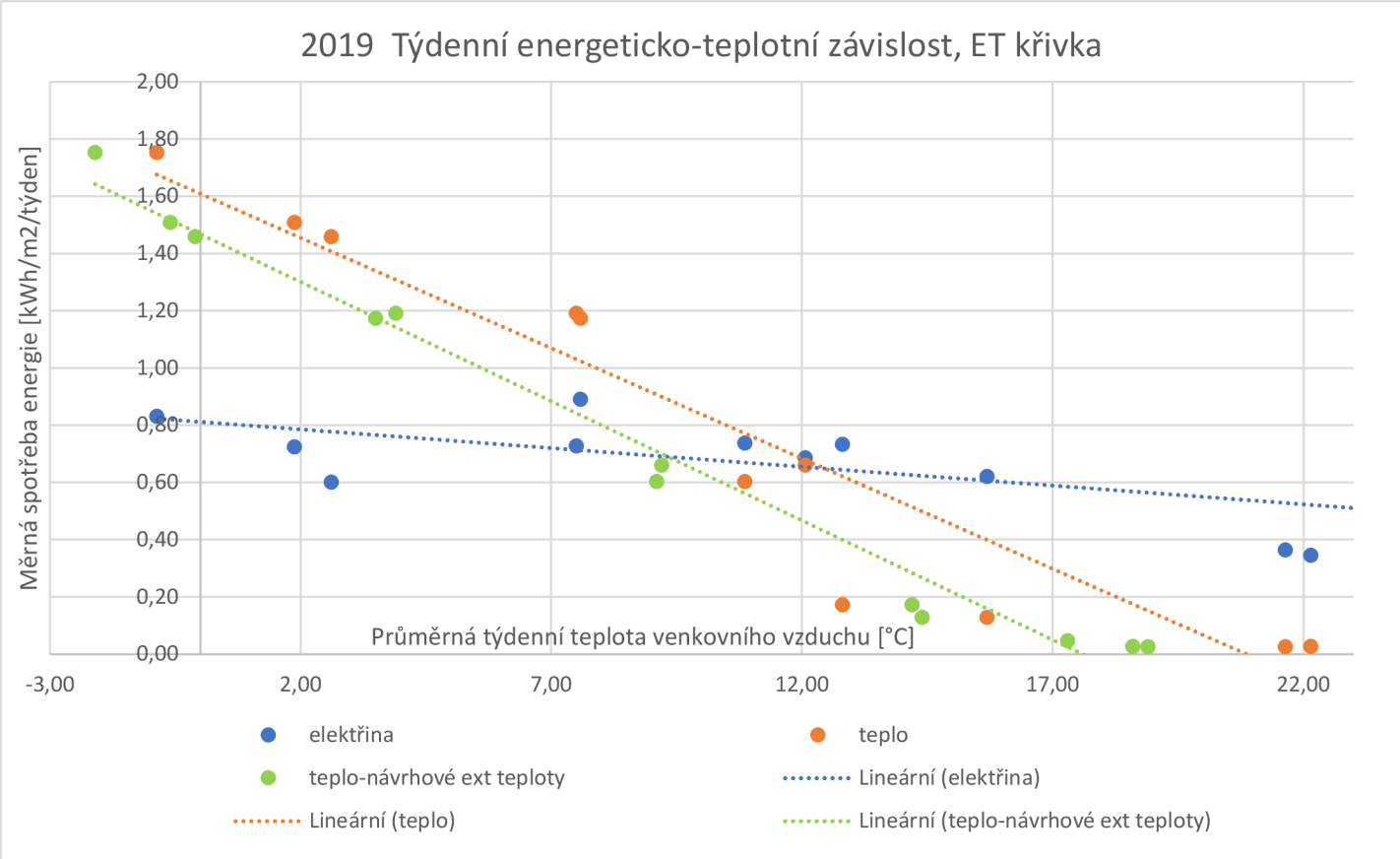
Pro účely energetického managementu a sestrojení energeticko teplotních křivek je nutné si vypočítat **měrné spotřeby energií**.
Měrná spotřeba je spotřeba dané energie vztažená na vytápěnou plochu objektu.
Pro sledování trendů se vykreslí graf, kde se vynesou týdenní měrné spotřeby energií na osu Y a venkovní teploty vzduchu (průměrné týdenní) na osu X.

Pro dané body se poté vykreslí **lineární trend** křivky, která vyjadřuje jakousi optimální linii energetického managementu.

Ačkoliv jsou fakturované hodnoty spotřeb měsíční, a pro ideální energetický monitoring a management je třeba týdenního měření spotřeb, hodnoty se dají přepočítat na průměrné týdenní hodnoty pro dané měsíce.

Data teplot pro dané měsíce jsou vzaty z **meteorologické stanice Brno-Židenice**.

Graf.2 ET křivka 2019



Pro porovnání byly vynesen body pro konstrukci ET křivky z vyfakturovaných hodnota vztažených k teplotám ne naměřeným, ale k návrhovým pro výpočtové účely z norem.

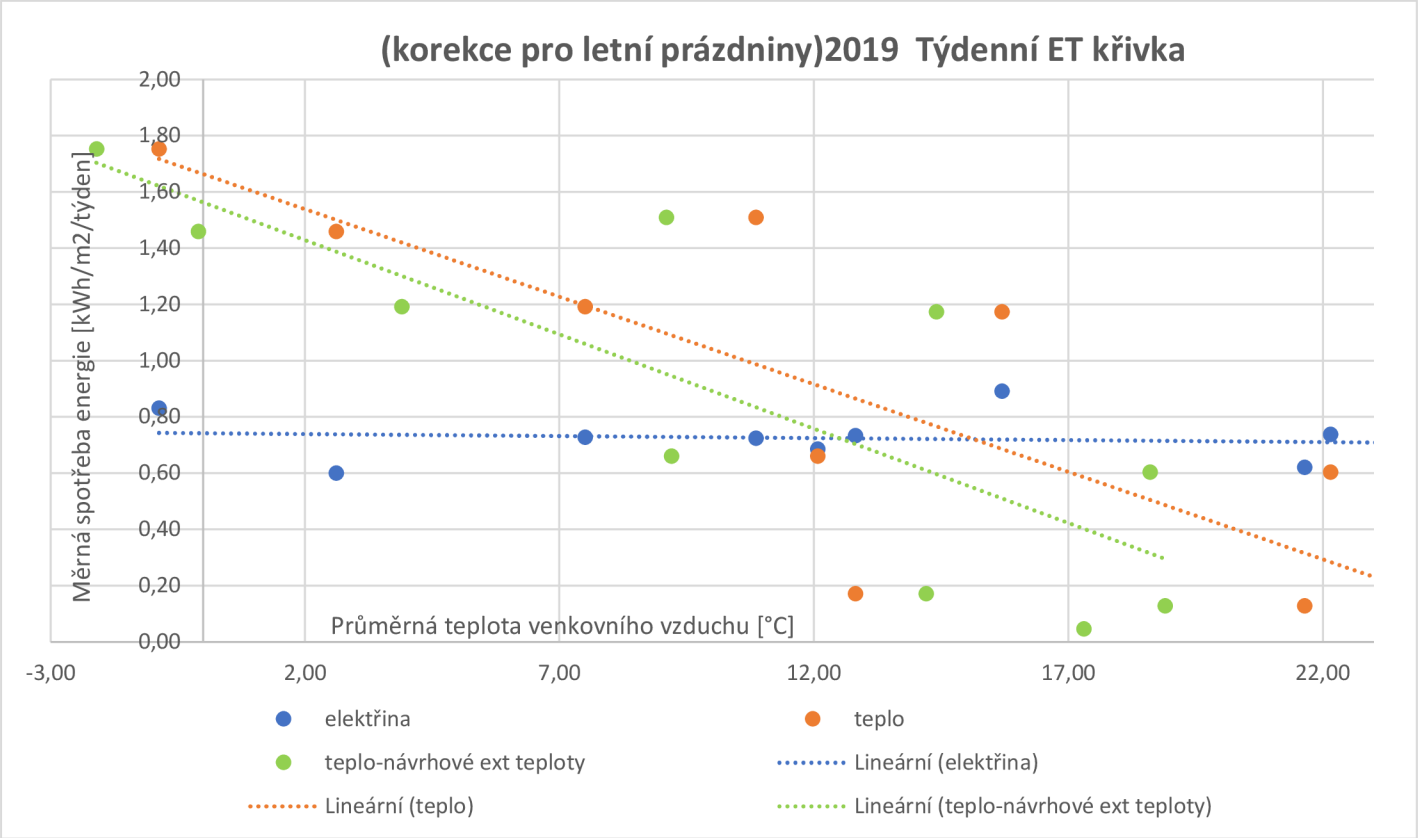
Oproti těmto hodnotám byly oba roky 2019 i 2020 v průměru teplejší než rok podle návrhových hodnot.

Z trendů vyplývá, že spotřeba tepla na **vytápění** je **nepřímo závislá na teplotě exteriéru**, podle očekávání jsou největší spotřeby v zimních měsících.

Elektrická energie pro ohřev teplé vody, chod vzduchotechniky, osvětlení a jiných spotřebičů vykazuje v tomto grafickém znázornění malou závislost na venkovní teplotě, to je ovšem způsobeno menší spotřebou o letních prázdninách, což zkresluje.

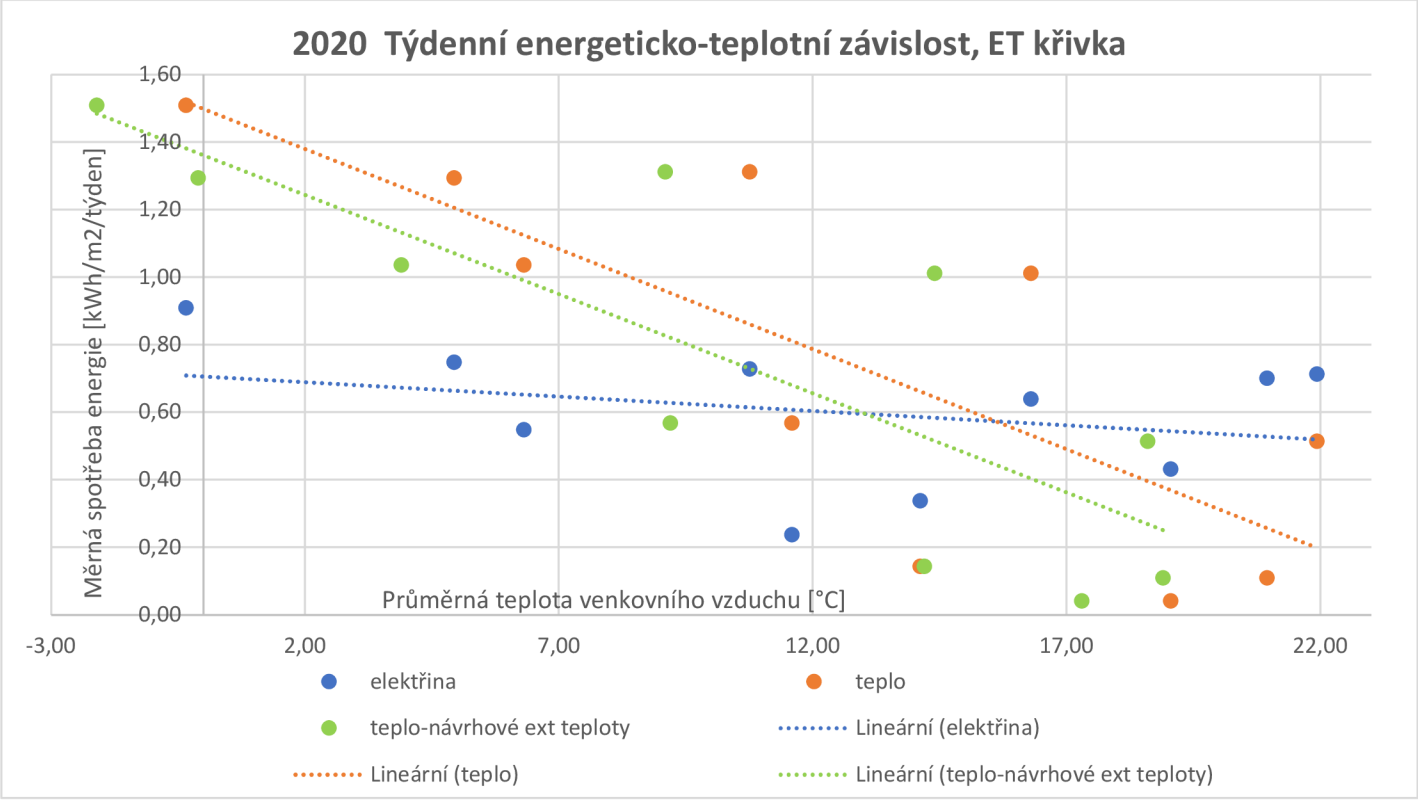
Po nezapočítání období letních prázdnin budou závislosti vypadat následovně:

Graf.3 ET křivka 2019 po korekci letních prázdnin



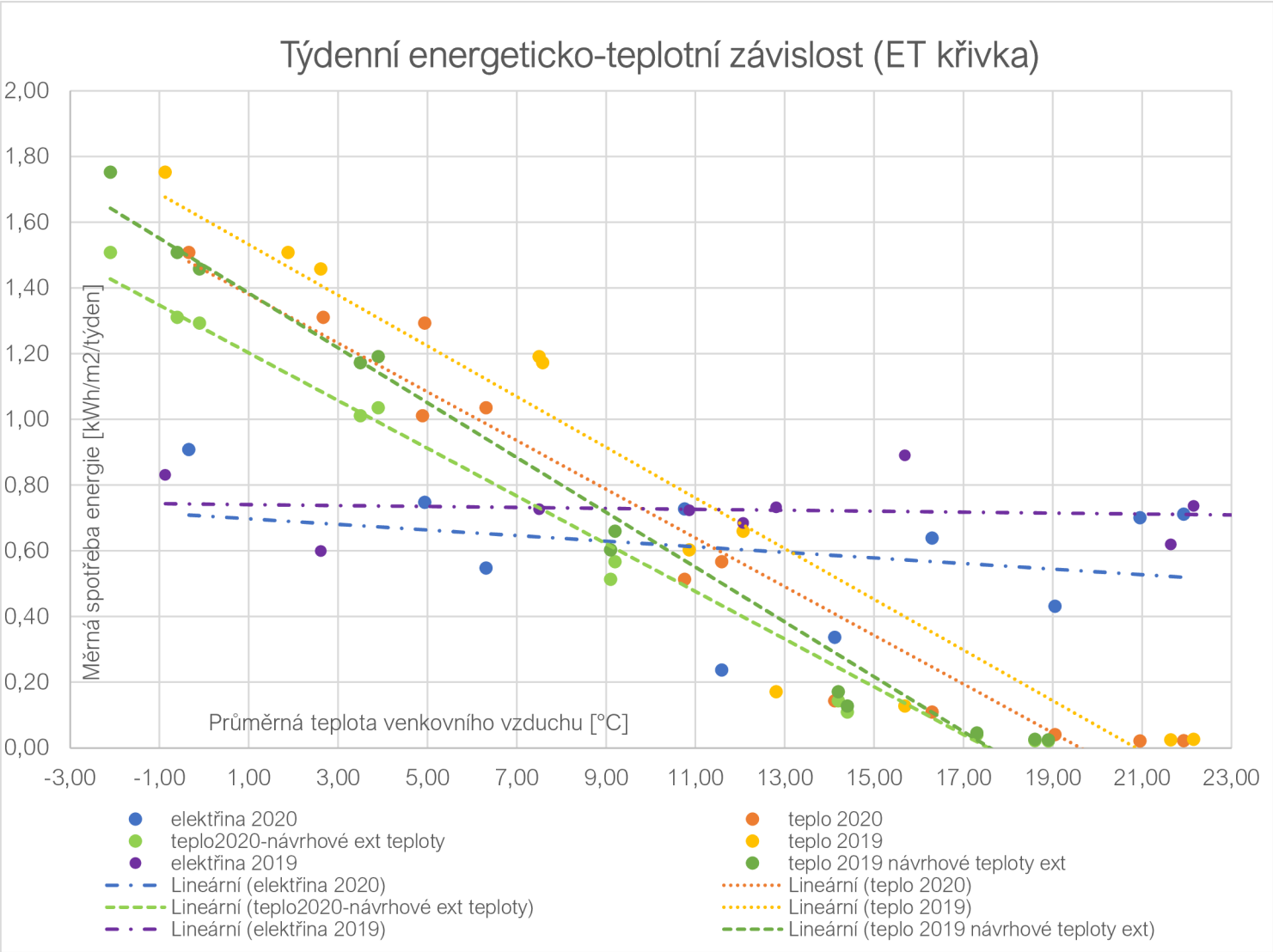
Po korekci je zřejmé, že spotřeba **elektrické energie je nezávislá na teplotě exteriéru**, jelikož není využívána na vytápění školy (pouze bytu školníka).

Graf.4 ET křivka 2020



Pro rok 2020 vykazuje i po korekci pro letní prázdniny mírnou závislost na venkovní teplotě. Může to být způsobeno elektrickým dohřevem bytu školníka nebo menší potřebě vnitřního osvětlení.

Graf.5 shrnutí všech ET křivek za období 2019, 2020

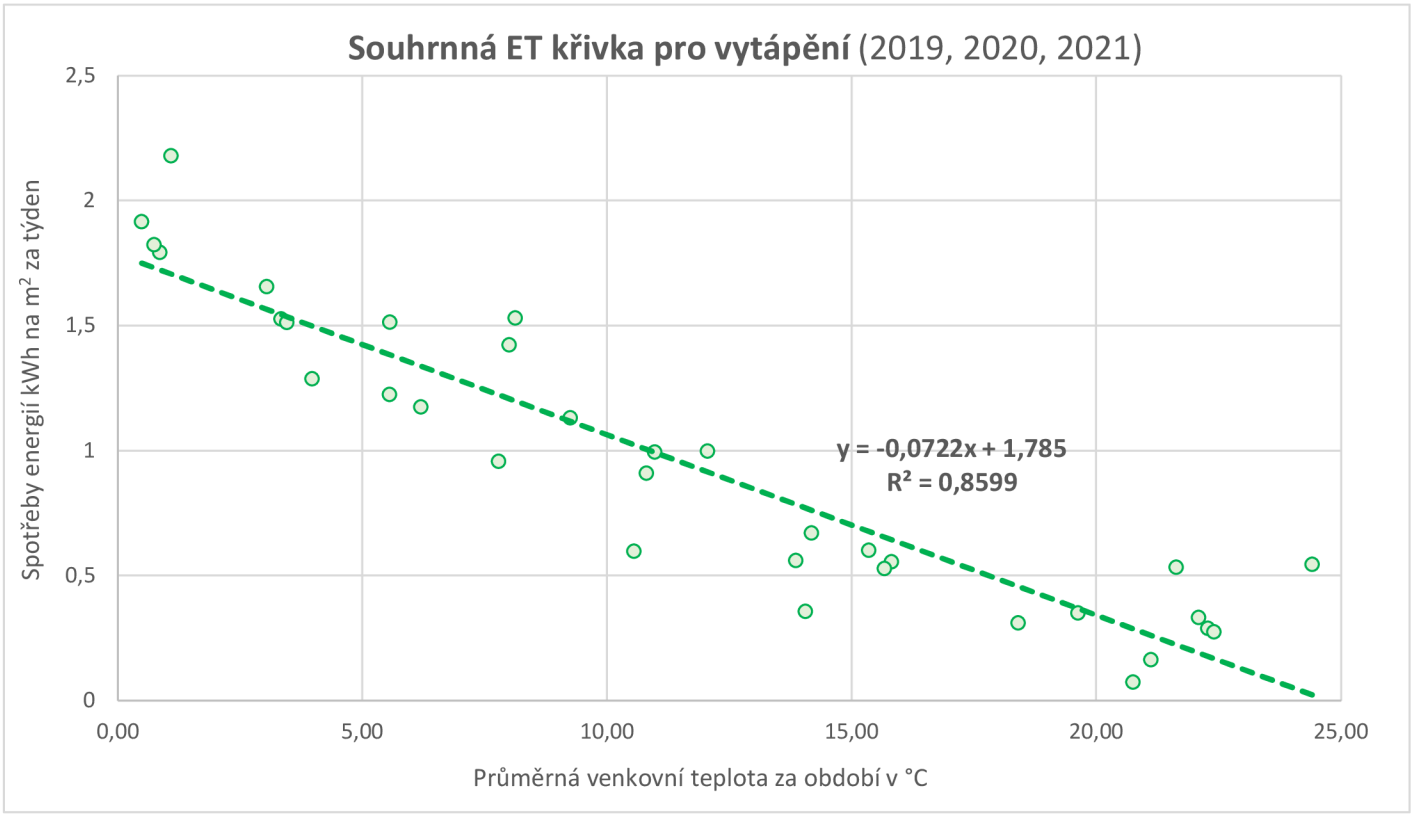


V tomto grafu jsou shrnuty vyfakturované spotřeby energií vztažené na vytápěné plochy v závislosti k naměřeným venkovním teplotám a ku návrhovým výpočtovým teplotám exteriéru.
Jde vidět, že **spotřeba elektřiny je na venkovní teplotě v podstatě nezávislá**.

Jde taky vidět, že ET křivky vztažené ku výpočtovým návrhovým hodnotám teplot exteriéru jsou posunuty doleva, znamená to, že **teploty exteriéru byly v daném období vyšší než výpočtové**.

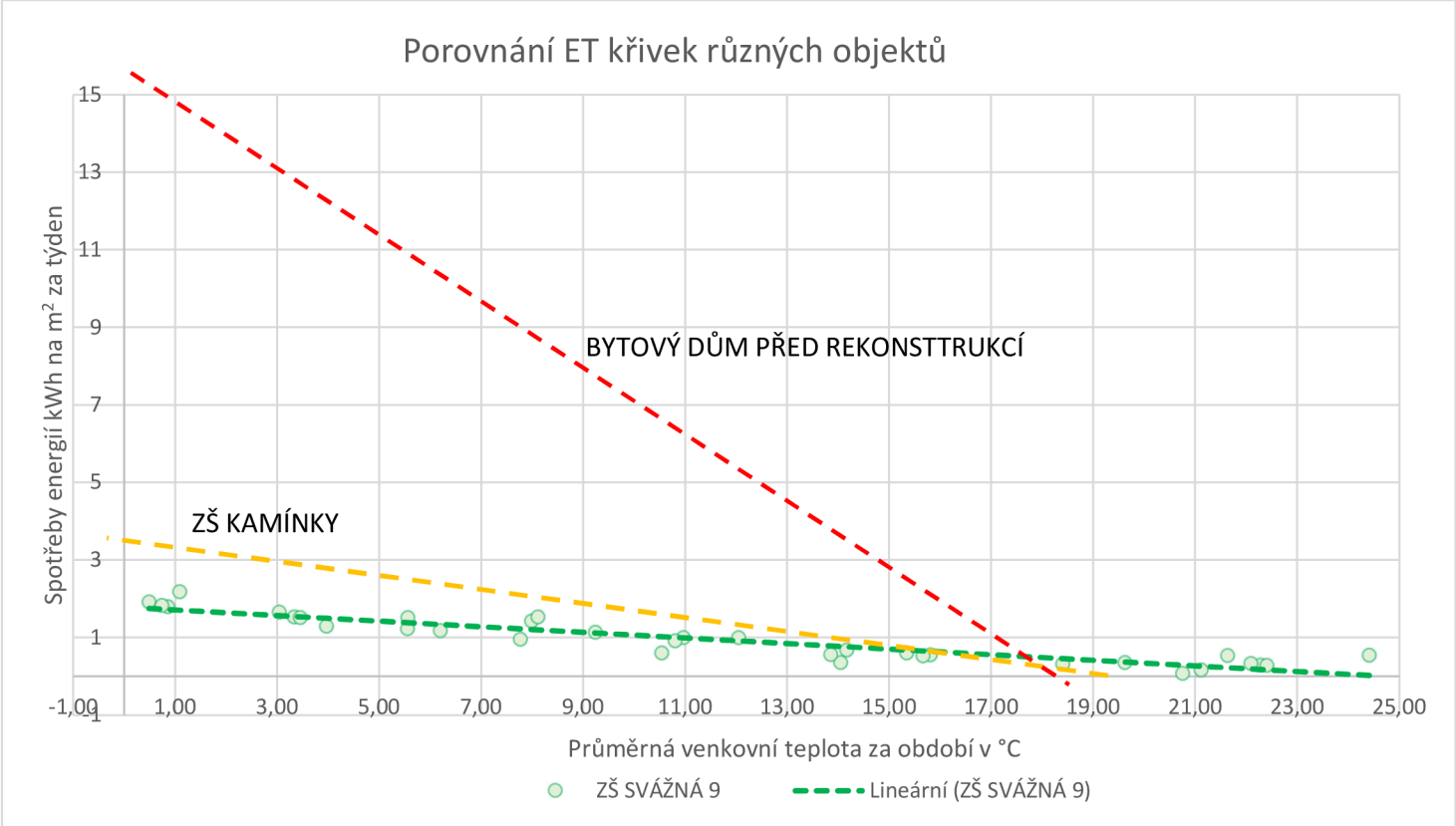
Jde vidět, že spotřeby tepla i elektřiny byly za rok 2019 vyšší než za rok 2020, ale křivka má víceméně srovnatelný spád.
Toto navýšení spotřeb v roce 2019 nastalo i vzhledem k skutečnosti, že **průměrné teploty v otopném období byly pro oba roky zhruba stejné**, lišily se pouze v setinách stupňů Celsia.

Graf.6 celková ET křivka pro vytápění dohromady za všechny roky



Zobrazení jedné spojnice trendu souhrnně pro fakturované hodnoty spotřeb tepla pro **vytápění**.
Měrná týdenní spotřeba je v kWh vztažená na m2 vytápěné plochy.

Graf.7 porovnání ET křivek různých objektů



Zde vidíme porovnání ET křivek různých objektů. Základní škola Svážná má díky provedení několika rekonstrukcí a provedení úsporných opatření **malou měrnou spotřebu energií na vytápění**.
Základní škola Kamínky v Brně vykazuje o něco vyšší průměrnou náročnost energií pro vytápění, ovšem ne výrazně.
Oproti tomu spotřeba bytového domu na ulici Svážná před provedením rekonstrukce byla značně **vysoká**.

C.3.4. Enviromentální hodnocení

Celkově spotřebované energie byly rozděleny podle jednotlivých energonositelů, zde elektřina a dálkové teplo.
Pomocí faktorů primárních zdrojů nOZE a emisních faktorů stanovených vyhláškou č. 140/2021 se vynásobí celkové spotřeby energií a vytvoří se celková spotřeba **primárních zdrojů** energie z neobnovitelných zdrojů a **emise oxidu uhličitého** z výroby této energie.

Tab.17 Spotřeby energií, primárních zdrojů nOZE a emise CO_2 **2019**

celková spotřeba energií			spotř. primárních zdr. nOZE			emise CO_2 z výroby energií		
teplo	940,12	GJ	$E_{h,a}$ =	261,14	MWh	m_{CO2} =	52,23	t/rok
teplo	261,1	MWh	$E_{h,a}$ =					
elektřina	388,5	MWh	$E_{ele,a}$ =	1010	MWh	m_{CO2} =	334,1	t/rok
celkem	649,6	MWh	E_a =	1271,13	MWh	m_{CO2} =	386,30	t/rok

Tab.18 Spotřeby energií, primárních zdrojů nOZE a emise CO_2 **2020**

celková spotřeba energií			spotř. primárních zdr. nOZE			emise CO_2 z výroby energií		
teplo	818,12	GJ	$E_{h,a}$ =	227,26	MWh	m_{CO2} =	45,45	t/rok
teplo	227,3	MWh	$E_{h,a}$ =					
elektřina	339,5	MWh	$E_{ele,a}$ =	882,8	MWh	m_{CO2} =	292	t/rok
celkem	566,8	MWh	E_a =	1110,06	MWh	m_{CO2} =	337,45	t/rok

Tab.19 Pro výpočet byly využity faktory primárních zdrojů nOZE a emisí CO_2 následující:

Energonositel	Faktor primárních zdroj nOZE	Emisní faktor t CO_2 na 1 MWh
Elektřina	2,6	0,86
Dálkové teplo (zemní plyn)	1	0,20

C.4. Realizace měření a sledování

C.4.1. Popis měřících čidel

Pro měření vnitřního prostředí byly použity dataloggery značky COMET.

Byly použity následující 3 typy:

COMET S3120
Tento datalogger je určen pro měření a záznam teploty a relativní vlhkosti. Záznam je prováděn do energeticky nezávislé elektronické paměti.

Obr.36A dataloggery COMET

COMET S3532
Tento datalogger slouží pro měření a záznam teploty, relativní vlhkosti a koncentrace CO_2. Záznam je prováděn do energeticky nezávislé elektronické paměti.

Obr.36B dataloggery COMET

COMET S0141
Jedná se o čtyřkanálový teploměr, který dokáže provádět záznam ze čtyř externích sond. K dataloggeru byly připojeny sondy SENSIT PTS 350.

Obr.36C dataloggery COMET

Rozmezí pro měření dataloggerů jsou:

- -30 až +70 °C
- 0 až 100 % relativní vlhkost
- 0 až 5000 ppm CO_2

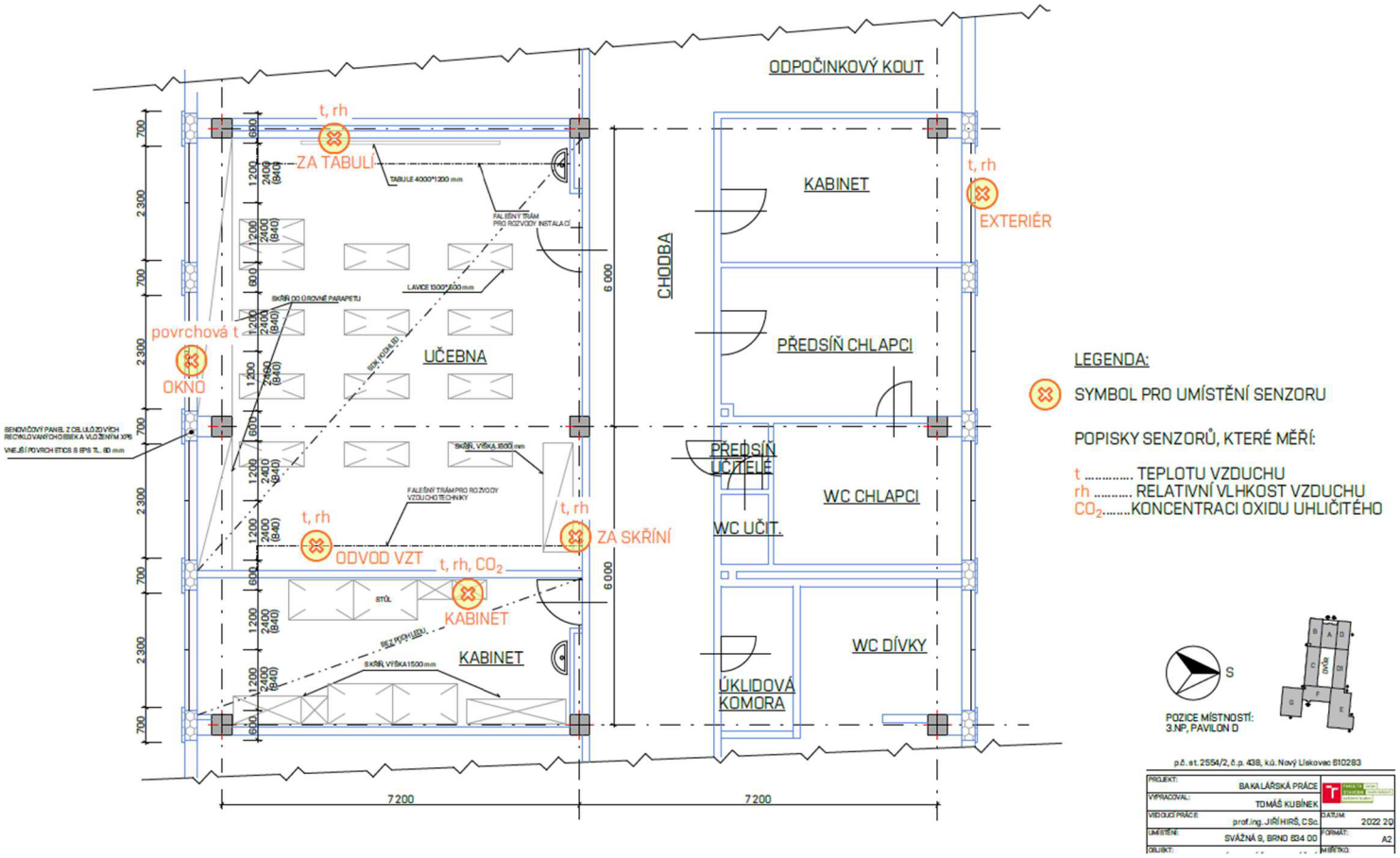
Při měření bylo použito celkem 6 dataloggerů:

- 1x S0141 (4kanálový) umístěný na okně,
- 1x S3532 (t, rh, CO_2) umístěný v kabinetu vyučujících na poličce,
- 4x S3120 (t, rh) umístěné v učebně a jeden v exteriéru.

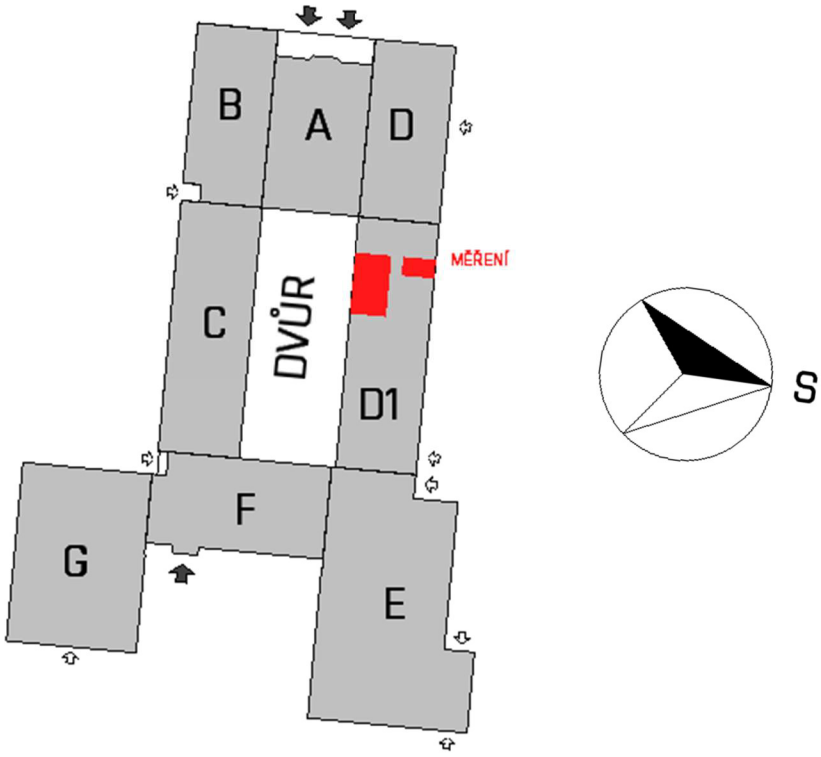
Obr.37 fotodokumentace umístění některých čidel

C.4.2. Schéma rozmístění čidel

Obr.38 schéma umístění čidel



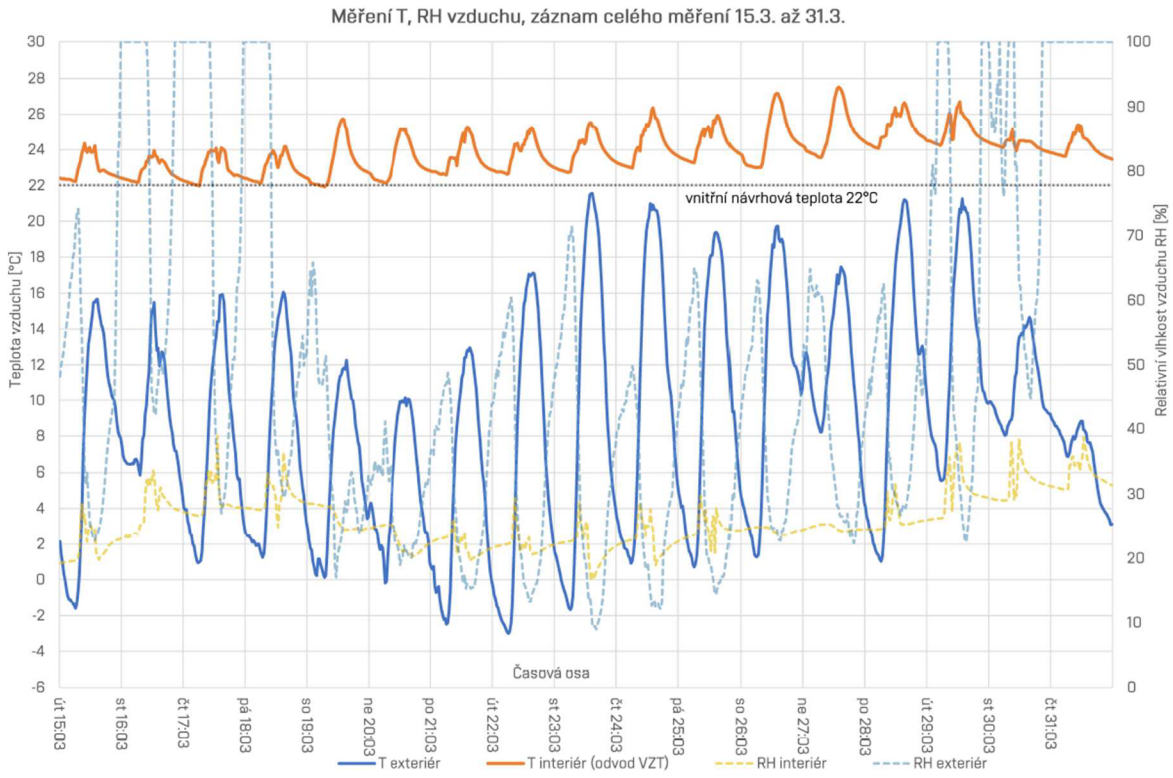
Obr.39 umístění měřených prostor v objektu



C.4.3. Zpracování dat, popis dějů

Data z dataloggeru byly pomocí USB adaptéru exportovány do souboru .csv.
Tyto data je možno následně v EXCELu graficky zpracovat.
Interval zaznamenávání hodnot je **5 minut**.
Doba zapnutí záznamu dat: 11. března 2022
Doba vypnutí záznamu dat: 9. dubna 2022
Doba, kdy probíhal záznam ze tříd: **15. až 31. března 2022**
Celkový počet datových řad pro 1 senzor: 8 300 řádků na 1 veličinu

Graf.8: Dlouhodobé měření teploty vzduchu interiéru a exteriéru a relativních vlhkostí interiéru a exteriéru.

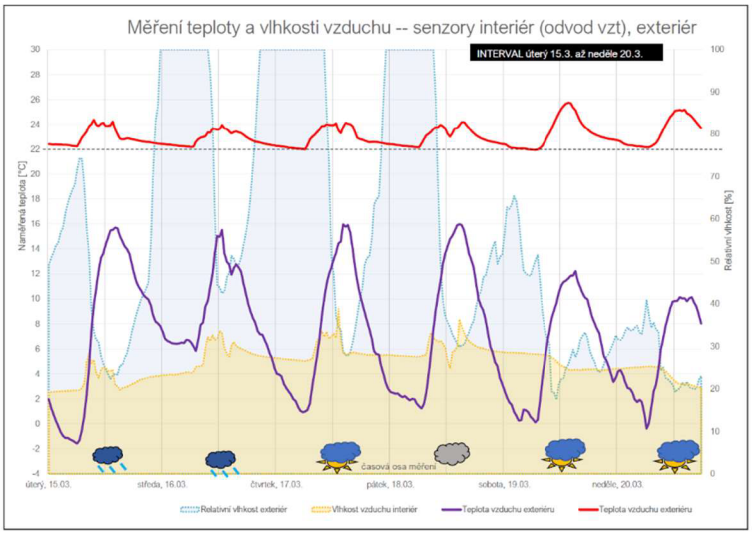


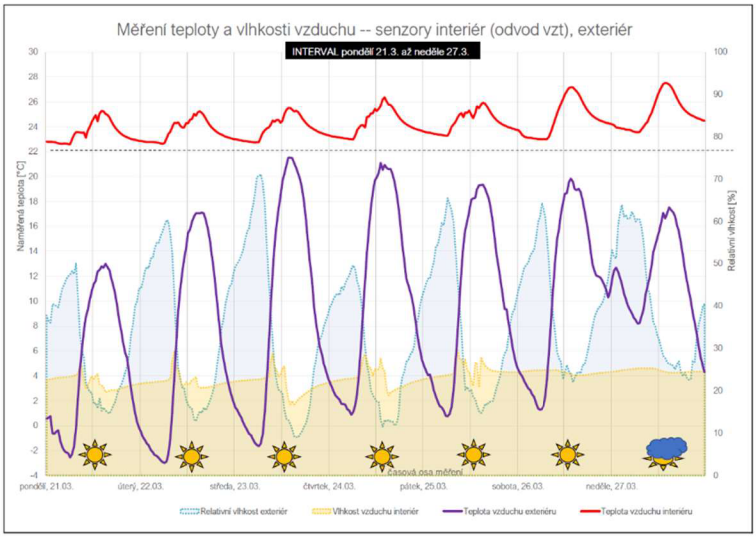
Tento graf zobrazuje naměřené hodnoty pro teplotu vzduchu (exteriér, interiér) a relativní vlhkosti vzduchu (exteriér, interiér).
Zobrazované období je rozsáhlé (15.3. až 31.3.2022).
Hodnoty interiéru byly zaznamenány senzorem na odvodu VZT, hodnoty exteriéru naměřil senzor v budce zavěšený na parapetu.

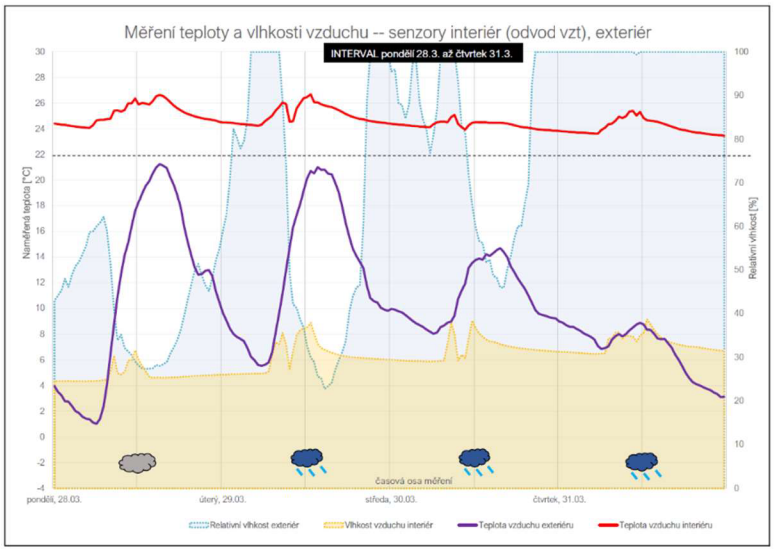
Na grafu je viditelné **výrazné kolísání venkovního vzduchu**, kdy maximální naměřené hodnoty klesají k hodnotám až -3 °C kolem 6 hodin ráno v době těsně před východem slunce.
Maxima pak dosahují až skoro ku 22 °C v době mezi 12 a 14 hodinou.

Teplota vzduchu interiéru taky kolísá vzhledem ke sluneční aktivitě, ovšem **díky vlivu tepelně izolačních vlastností obálky budovy a akumulace stavební hmoty** toto kolísání má daleko menší rozptyl hodnot. Rozdíly denních a nočních teplot jsou maximálně v rozmezí 2 až 4 °C.

Grafy.9: Podrobnější rozbory měření s použitím plošného vykreslení u relativních vlhkostí vzduchu.







Tyto grafy se zaměřují na kratší zobrazování úseků zhruba týdenních. Zde můžeme zřetelněji popisovat změny relativních vlhkostí. Je viditelné **výrazné kolísání relativních vlhkostí vzduchu exteriéru** a málo výrazné kolísání relativní vlhkosti vzduchu interiéru.

Do grafů byly u časové osy jednotlivých dní doplněny symboly počasí.

Rozlišuje se jasno, polojasno, oblačno, déšť. Relativní vlhkost vzduchu **exteriéru** dosahuje maxim v období **večer-noc**. Vliv sluneční radiace klesá na minimum, a tudíž klesá teplota vzduchu exteriéru.

Z naměřených dat jde vidět, že relativní vlhkost vzduchu exteriéru dosahuje 100% pouze v **časech minimálních teplot** a při/po **dešti**.

Stav **vlhkého vzduch** je přesně určen dvěma veličinami, v tomto případě pomocí teploty vzduchu a relativní vlhkosti. Vlhký vzduch o dané teplotě obsahuje určité množství **vodní páry**. Důsledkem ochlazování vzduchu dochází k **ztrátám pohybové energie jednotlivých částic** tohoto plynu. Důsledkem je zmenšování objemu a zvyšování hustoty (měrné hmotnosti) vzduchu.

Molekuly vodní páry tímto způsobem také ztrácí svou pohybovou energii a zvětšuje se šance, že zkondenzují na kapalnou fázi vody.
To znamená, že **chladný vzduch dokáže pojmout menší obsah vodní páry než vzduch teplý.**

Relativní vlhkost vyjadřuje poměr mezi skutečným a maximálním možným nasycením vzduchu vodní parou, přesněji poměr okamžitého **parciálního tlaku nasycené vodní páry** ku parciálnímu tlaku vodní páry při plném **nasycení**.

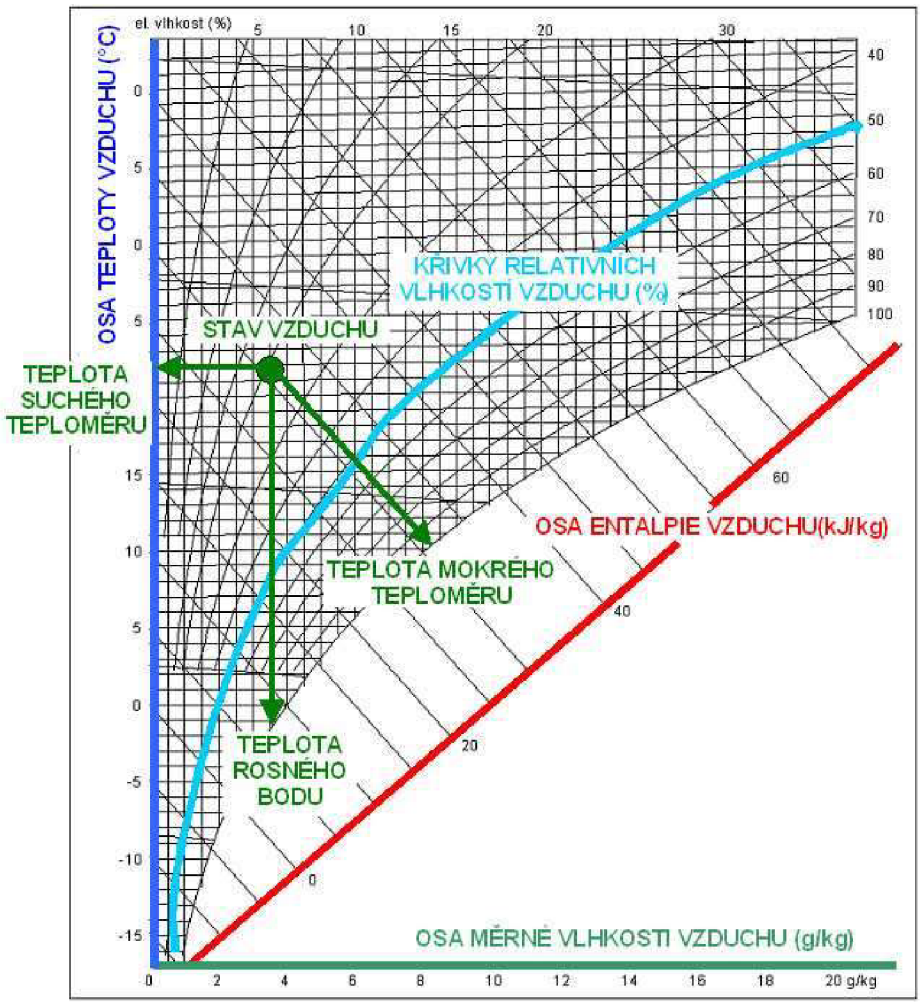
$$\varphi = \frac{p_v}{p_{v,sat}} * 100\ [\%]$$

Například vzduch s relativní vlhkostí 50 % o dané teplotě může přijmout ještě jednou tolik vodního obsahu pro dosažení plného nasycení vodní parou.
Neznamená to, že daná směs plynů je z 50 % tvořena vodní parou.

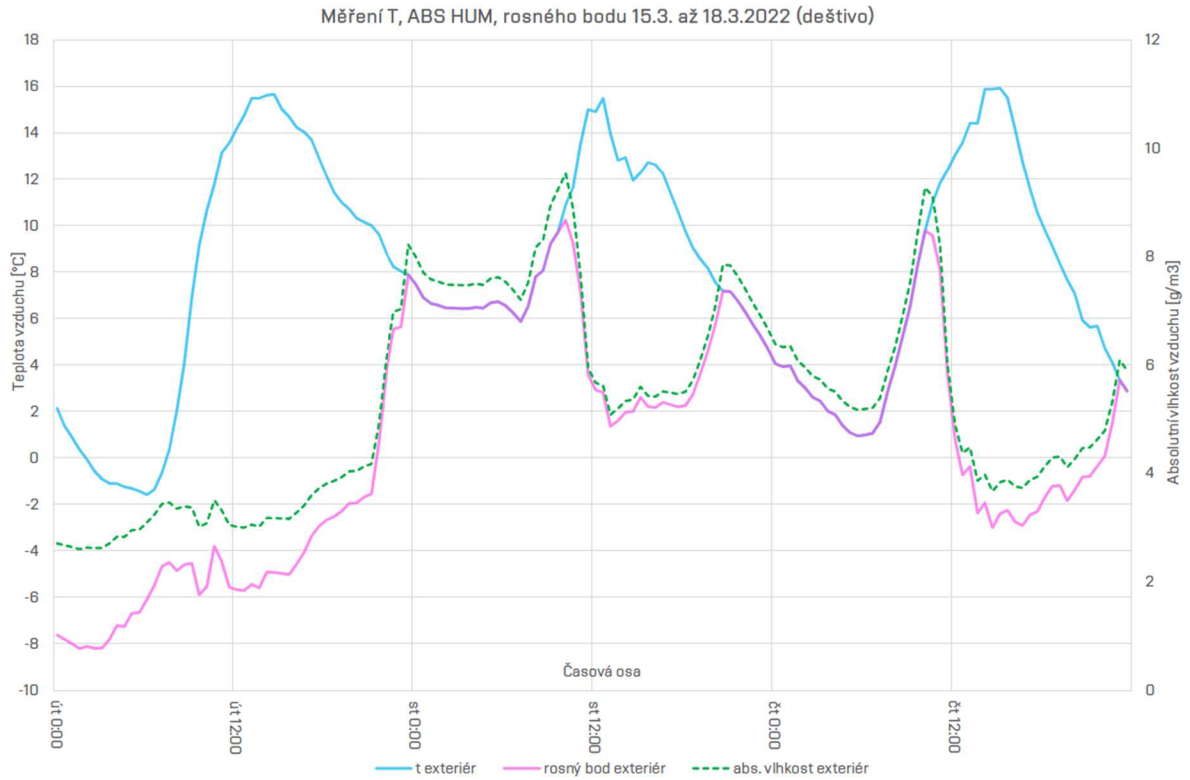
Na teplotě vzduchu a obsahu vlhkosti závisí také **teplota rosného bodu**.
Klesne-li teplota vzduchu o konstantním vodním obsahu na teplotu rosného, znamená to. že vzduch je plně nasycen vodní parou (φ=100%), vzduch tedy nemůže dál přijímat vlhkost a dochází k rozsáhlé **kondenzaci** vodních par na kapalnou vodu. Dosažení nasycení vzduchu exteriéru se může projevovat jako **mlha** nebo **jinovatka**.

Vzájemné závislosti veličin vlhkého vzduchu znázorňuje **HX diagram**, ten obsahuje hlavní osy měrná entalpie vzduchu (úhel 45°), teplota vzduchu (svislá) a dopočítané osy jako např. měrná vlhkost vzduchu (vodorovná), relativní vlhkost (zakřivené průběhy) a další.
Hodnoty vykreslené jsou zdola ohraničené **křivkou nasycení**, kdy je relativní vlhkost 100 %.
Všechny rosné body tedy leží na křivce nasycení.

STAVOVÉ VELIČINY VLHKÉHO VZDUCHU V H-X DIAGRAMU

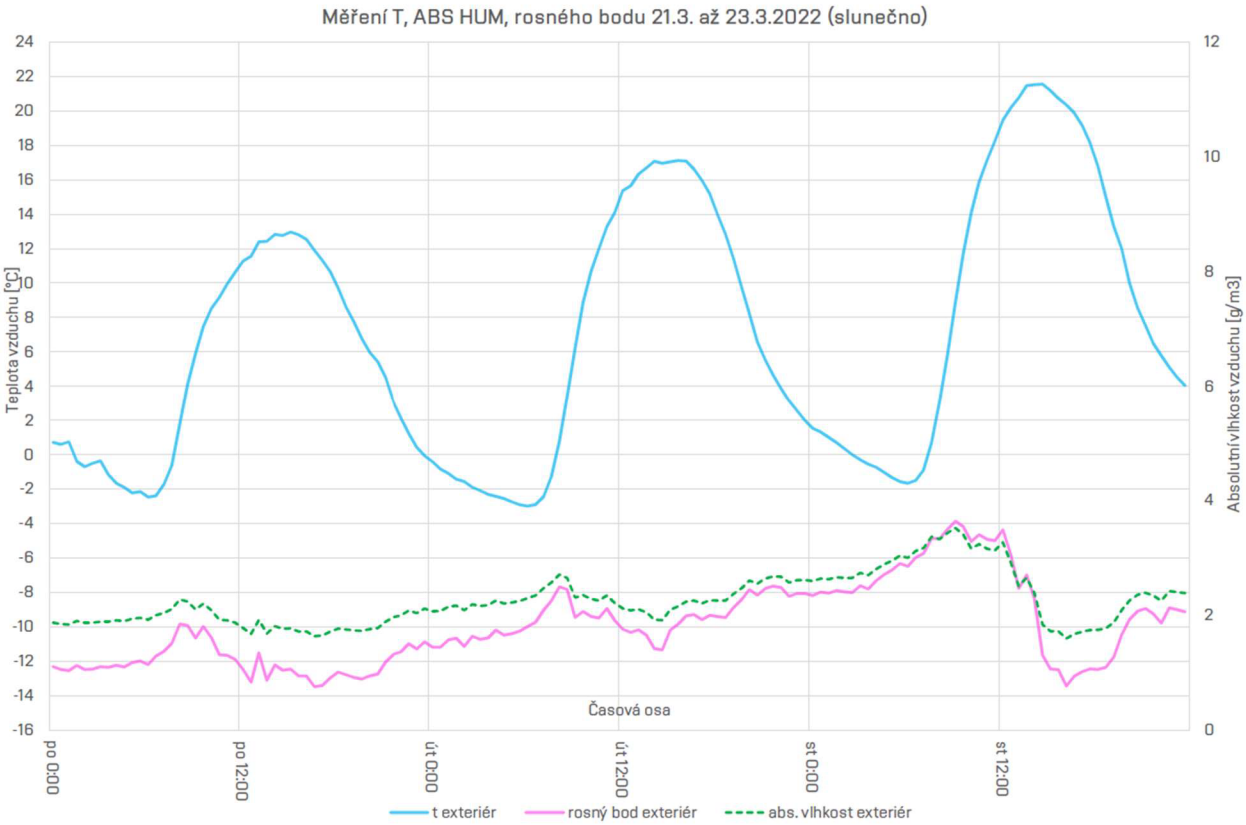


Graf.10: Měření průběhu abs. vlhkosti, teploty a rosného bodu vzduchu exteriéru za deštiva. 15.3–18.3.



Zde je vidět průběh teplot a **absolutní (měrné) vlhkosti** v gramech vody na m^3 vzduchu exteriéru za **deštivého** počasí. Jde vidět výrazné kolísání vodního obsahu ve vzduchu, k největším nárůstům v množství obsažené vlhkosti vzduchu připadá na intervaly srážek.

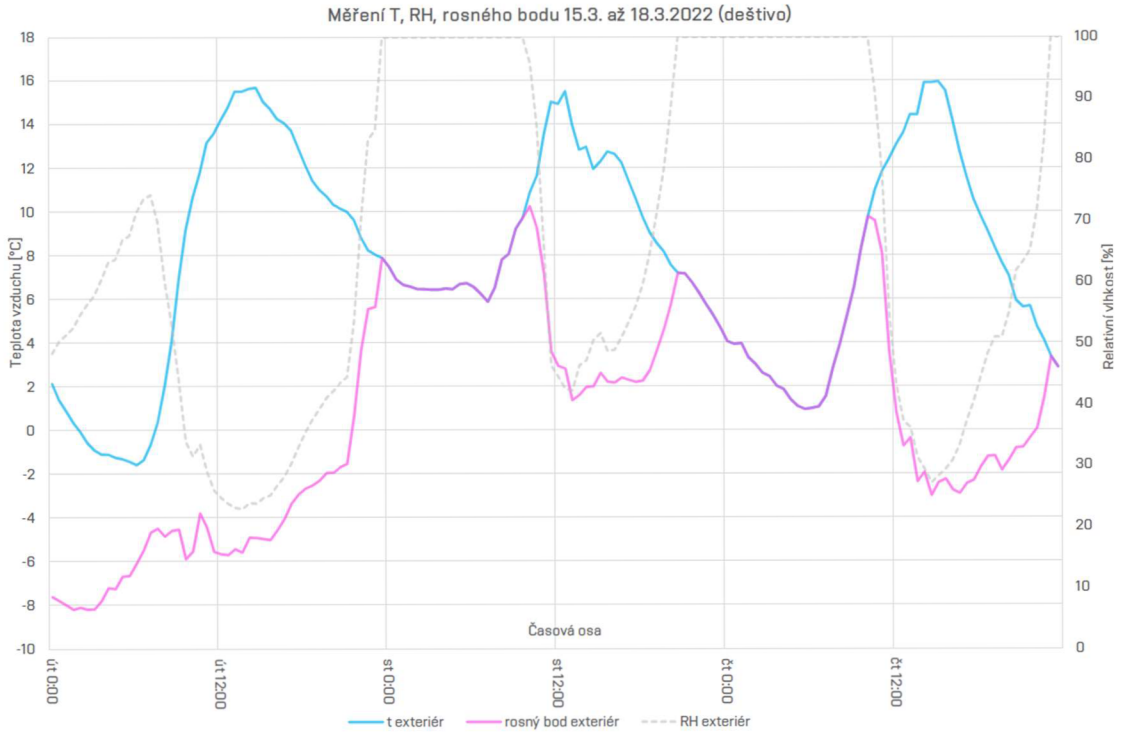
Graf.11: Měření průběhu abs. vlhkosti, teploty a rosného bodu vzduchu exteriéru za slunečna. 21.3–23.3.



V tomto grafu je zobrazeno období **slunečné**, kdy je měrný obsah vody ve vzduchu nízký a relativně stabilní. Zde je viditelná i stabilita rosného bodu, vzhledem k výraznému kolísání teplot vzduchu.

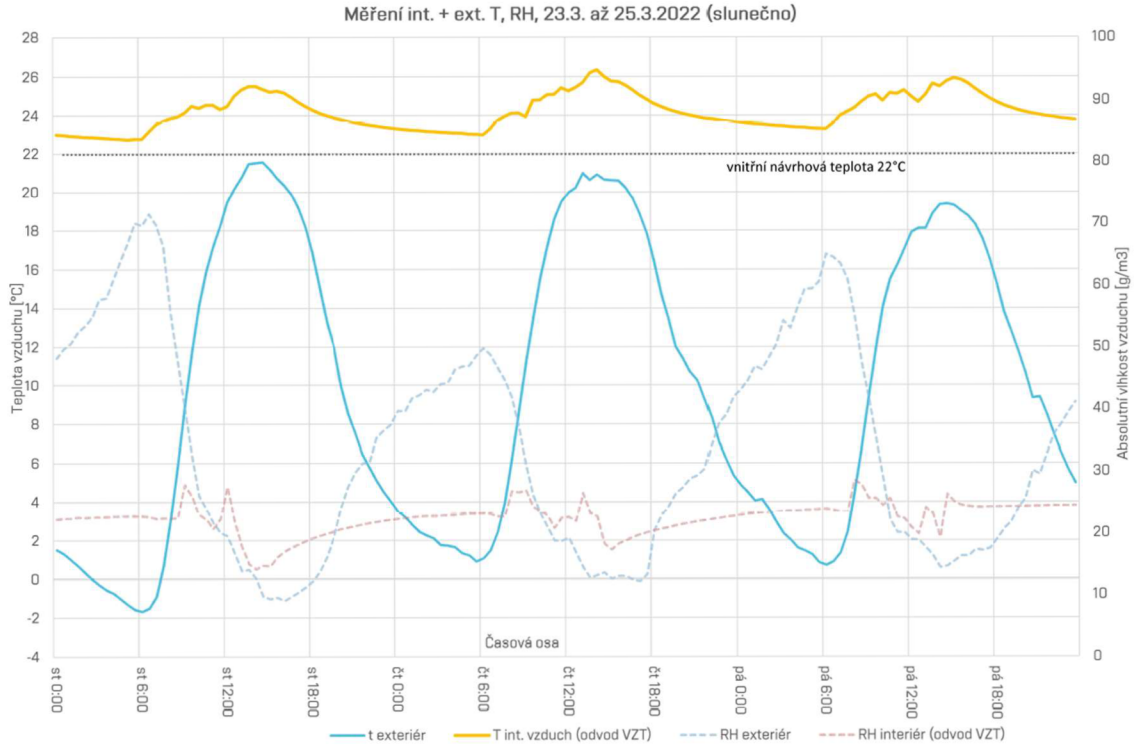
Teplota rosného bodu vzduchu závisí tedy i při výrazném kolísání teploty vzduchu pouze na měrném obsahu vody.

Graf.12: Průběhy relativní vlhkosti, teploty a rosného bodu vzduchu exteriéru za deštiva. 15.3–18.3.

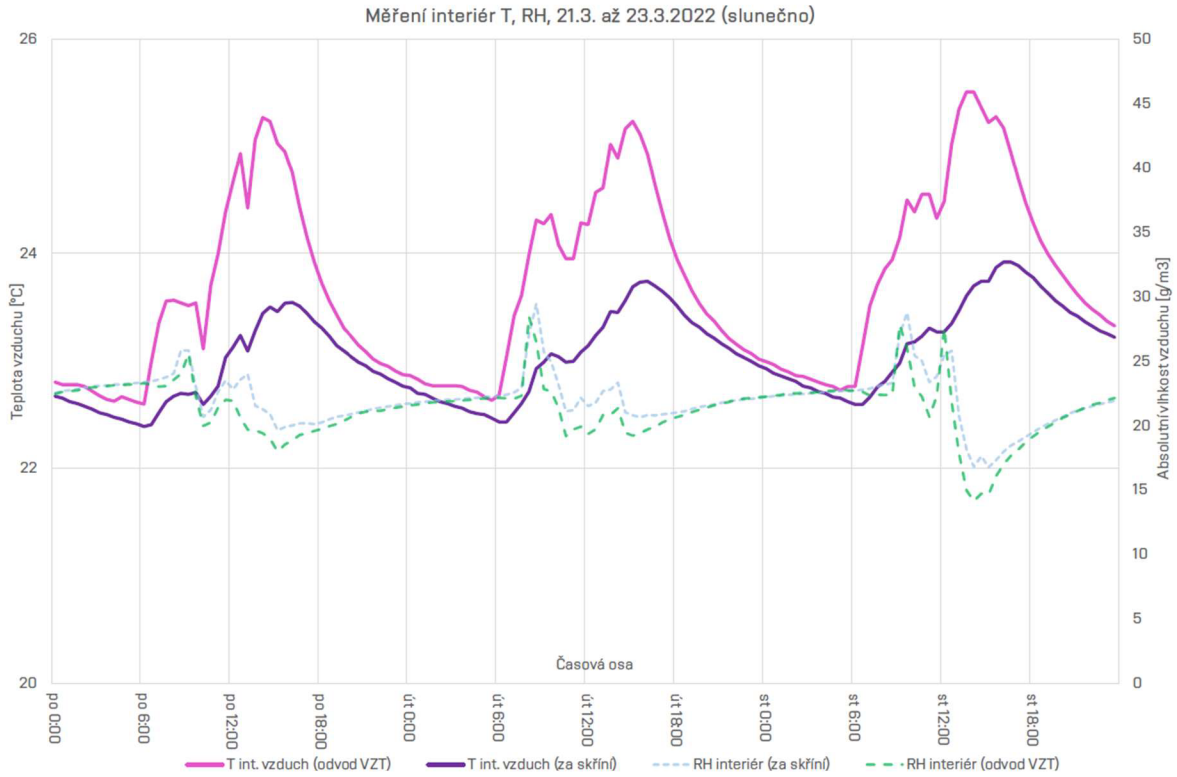


Tento graf zobrazuje průběhy teplot a rosného bodu za **deštivého počasí** ale s vykreslením relativní vlhkosti vzduchu exteriéru.
Je zde patrné, že při dosažení maximálního nasycení vzduchu (φ=100 %) **splývá teplota vzduchu a rosný bod**. Teplota rosného bodu nemůže být vyšší než teplota vzduchu, znamenalo by to nasycení vodní parou více jak 100 %, což není fyzikálně možné.

Graf.13: Měření průběhů rel. vlhkosti a teplot vzduchu interiéru a exteriéru za slunečna. 23.3–25.3.



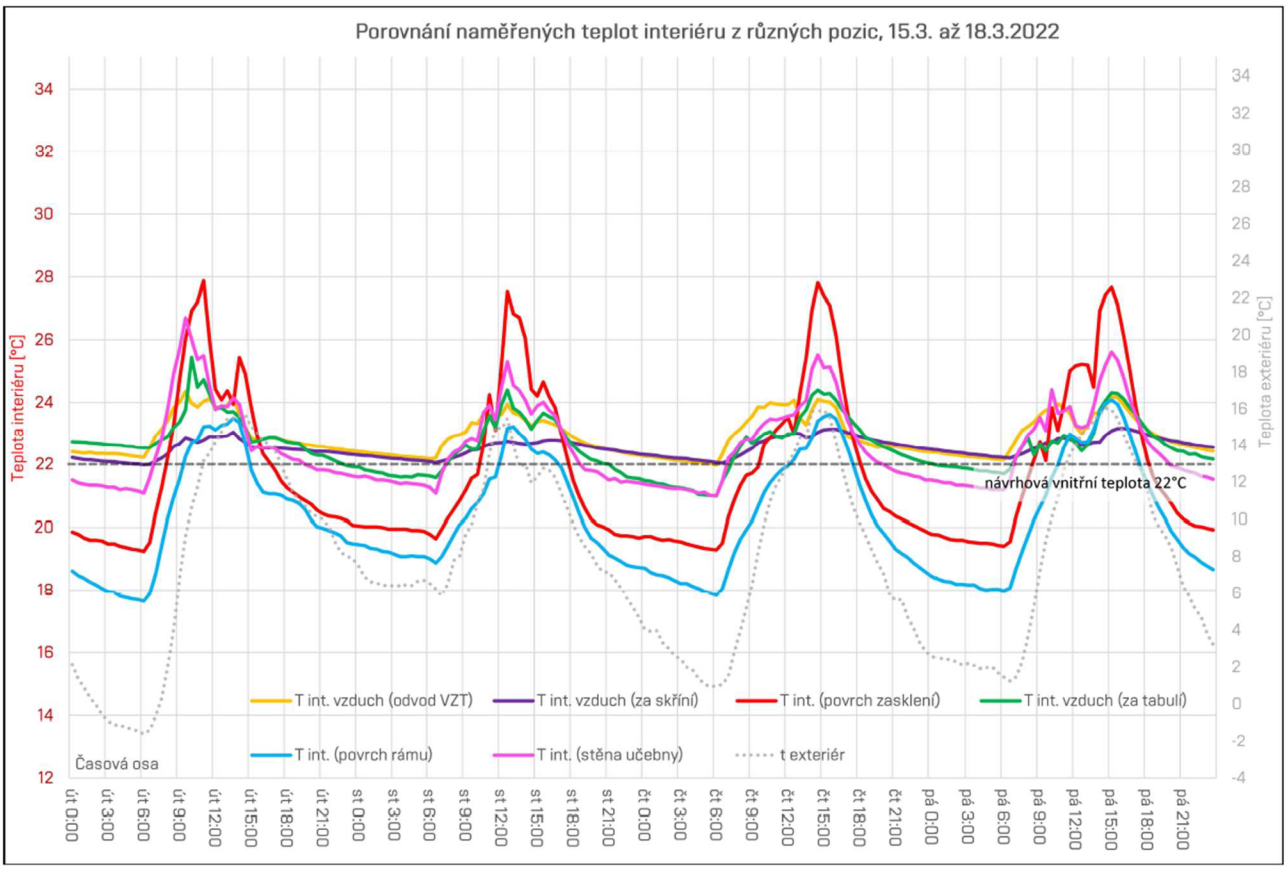
Graf.14: Měření průběhů rel. vlhkosti a teplot vzduchu interiéru za slunečna. 21.3–23.3.



V tomto grafu je zobrazeno měření teploty vzduchu a relativní vlhkosti interiéru pomocí **dvou různě umístěných čidel**.
Je zde vidět menší kolísavost teplot za skříní, která tvoří částečnou bariéru proti náhlým výkyvům. Oba senzory naměřily v podstatě totožné záznamy při měření relativních vlhkostí.

Relativní vlhkosti vzduchu **interiéru** jsou relativně stabilní, výrazné výkyvy jsou v časovém období od 8:00 do 13:30 hodin. Jedná se o dobu **provozu školního zařízení**, relativní vlhkost je tedy ovlivněna vodními zisky od lidí a provozu.
Náhlé nárůsty relativních vlhkostí interiéru mohou být způsobeny taky otevíráním oken a přiváděním venkovní vlhkosti. To ovšem funguje pouze tehdy, je-li venku větší vlhkost (např. při období dešťů).
Náhlé poklesy v období provozu mohou být způsobeny přesunem žáků do jiných prostor školy. Vzduchotechnika odvede vodní zátěž z místnosti a rozdíl se vyrovná.

Graf.15: Naměřené teploty vnitřního vzduchu z různých čidel, posunuté minimum u teploty interiéru 15.3–18.3.



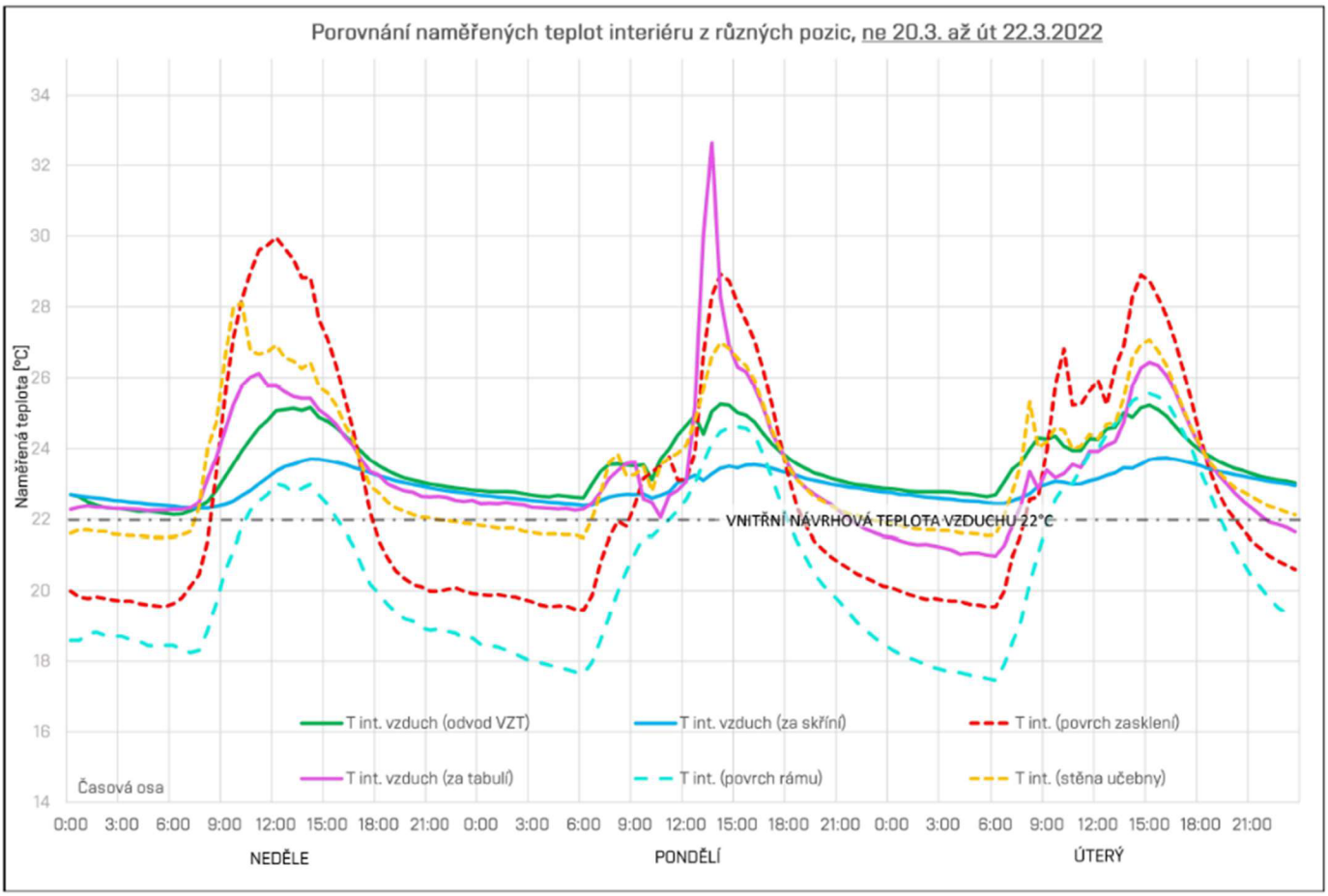
Následující graf ukazuje porovnání **různých pozic senzorů měření teploty vnitřního vzduchu** a pro porovnání je zde uveden i průběh teplot vzduchu exteriéru. Interval 15.3.-18.3.
U teploty vzduchu exteriéru bylo **posunuto minimum osy Y** oproti hodnotám z interiéru pro lepší porovnání „peaků“ teplot, protože teploty interiéru kolísají v závislosti na teplotě exteriéru.

Teploty vzduchu interiéru naměřené senzory na odvodu VZT, za tabulí a za skříní. Jsou zde zobrazeny i **naměřené povrchové teploty pomocí čtyřkanálového senzoru** na okně.

Dá se odečíst malá kolísavost teplot naměřených za skříní, kde se neprojevují tolik změny teplot exteriéru a vnitřních zisků.
Největších extrémů dosahují čidla měřící povrchové teploty, jelikož jsou do určité míry ovlivněny slunečním zářením.
Nejvyšších teplot dosahuje povrchová teplota na zasklení. Jedná se o průsvitnou konstrukci, takže je zde velké ovlivnění slunečním zářením. Oproti tomu dosahuje povrchová teplota na rámu výrazně nižších teplot, jelikož se nejedná o průsvitnou konstrukci a **rám má dobré tepelně izolační vlastnosti**
Senzory měřící teplotu vzduchu nedosahují takových extrémů, jelikož se teplota vzduchu nezvedá tak rychle a výrazně s působením slunce jako povrchové teploty, a navíc je zde vliv výměny vzduchu vzduchotechnikou.

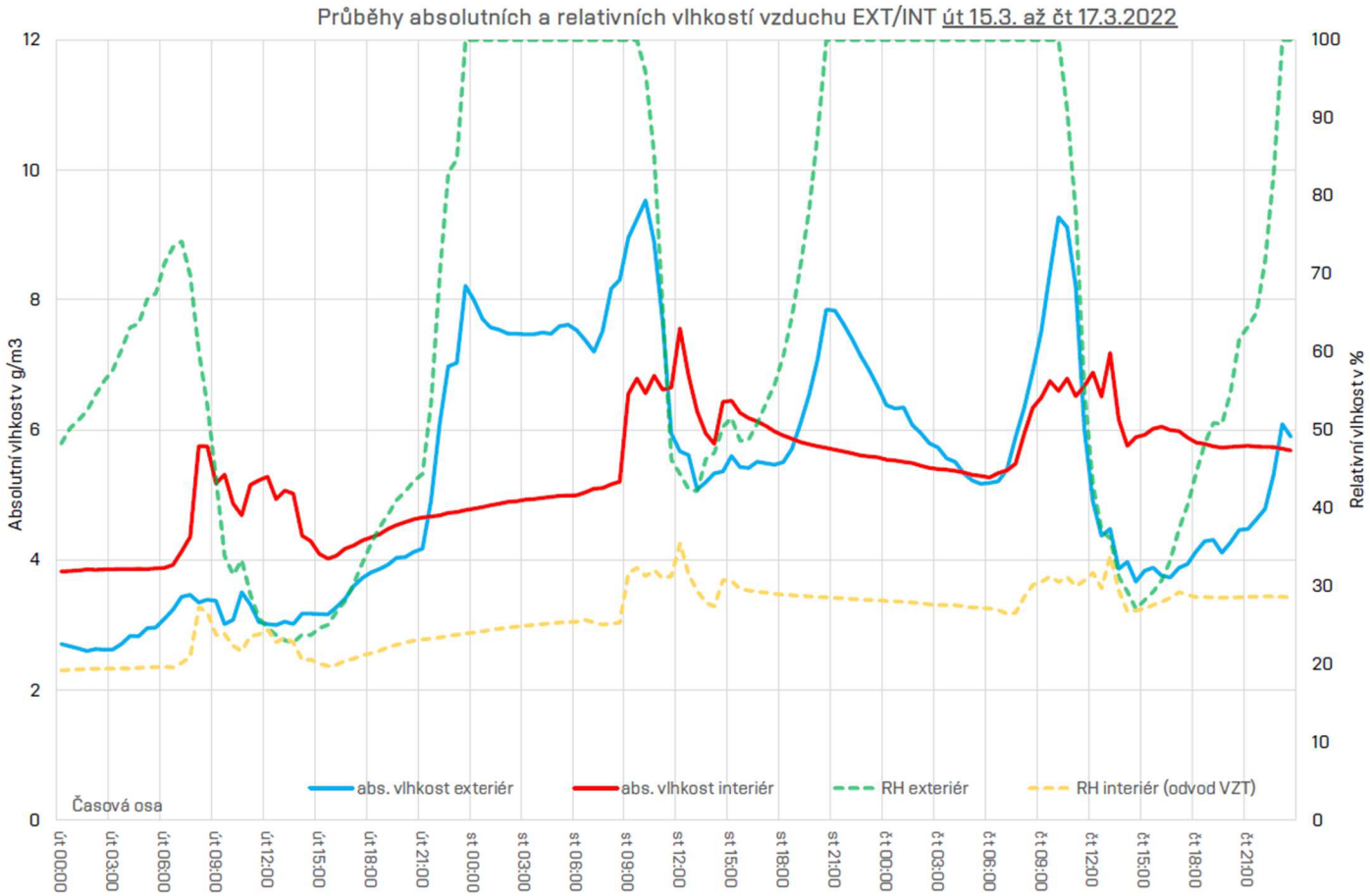
Povšimněte si, že teploty vzduchu interiéru jsou po většinu času vyšší než návrhovou teplotou vnitřního vzduchu 22°C.
Ačkoliv je obvodový plášť proveden kvalitně, teplota se nedaří dlouhodobě držet na této hranici. Učebna je větrána nuceně systémem vzduchotechniky, který obsahuje **deskový rekuperátor** tepla a **dohřev**, ovšem **neobsahuje chlazení**. Systémem vzduchotechniky se tedy v tomto případě nedá efektivně odvádět tepelná zátěž. (*viz schémata technických systémů C.6*)

Graf.16: Porovnání senzorů měřících teplotu vnitřního vzduchu a povrchů, 20.3.-22.3.



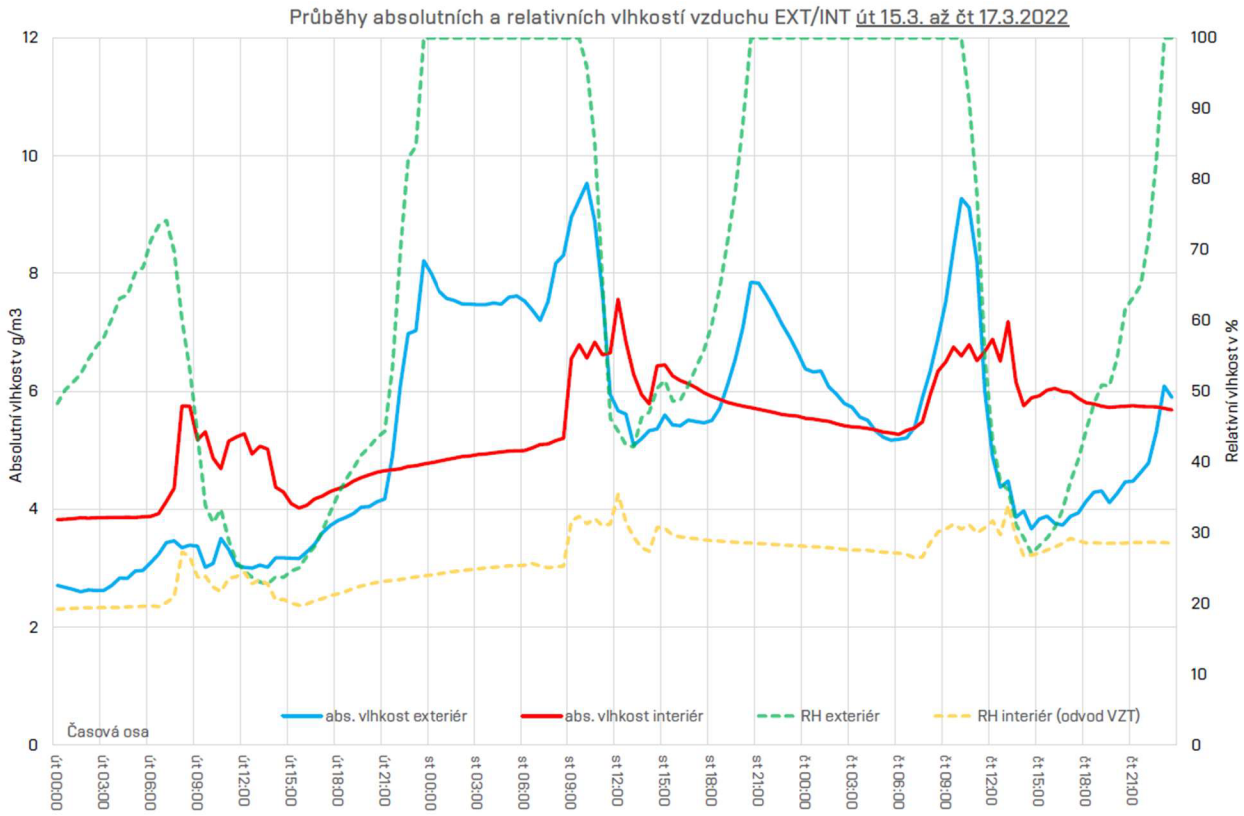
Tento zobrazený úsek nebyl vybrán náhodně. Vyskytuje se zde ojedinělý extrém teploty naměřené čidlem umístěným za tabulí.
K tomuto jevu došlo v pondělí v době provozu školy. Tento skok teplot nastal ve stejný okamžik i u senzorů na povrchu stěny a povrchu zasklení. Pravděpodobně bylo čidlo přemístěno na parapet, nebo jiným způsobem **bylo vystaveno přímému slunečnímu záření**.

Graf.17: Dlouhodobý průběh vnitřních a venkovních absolutních a relativních vlhkostí vzduchu

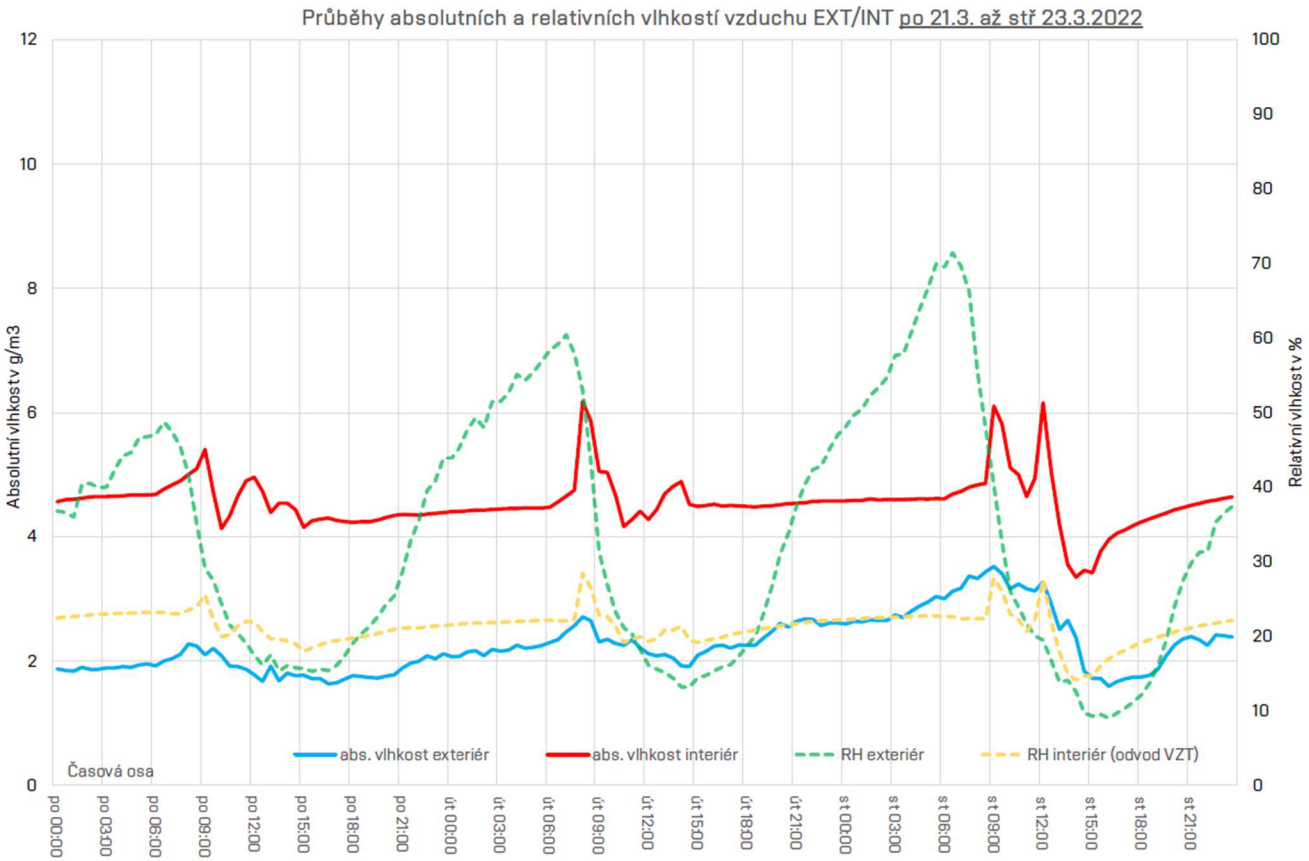


Z tohoto grafu jde vidět, že absolutní vlhkost obsažená ve venkovním vzduchu kolísá s intenzitou srážek. Absolutní vlhkost vnitřního vzduchu naopak nekolísá tolik. V porovnání s exteriérem je vzduch vevnitř většinou vlhčí než venku, výjimkou jsou pouze období srážek.
Technický systém nuceného větrání nemá schopnost ovlivňovat vlhkost vzduchu.
Proto je viditelné zvýšení absolutní vlhkosti vnitřního vzduchu v deštivých obdobích (začátek a konec měření). Přiváděný vzduch z exteriéru projde deskovým rekuperátorem a vlhkost beze změny je přiváděna do prostor.

Graf.18: Průběh vnitřních a venkovních absolutních a relativních vlhkostí vzduchu v období 15.3. až 17.3.



Graf.19: Průběh vnitřních a venkovních absolutních a relativních vlhkostí vzduchu v období 21.3. až 23.3.



Z těchto dvou grafů lze pozorovat, kdy v prvním případě je v období deštiva absolutní vlhkost vzduchu exteriéru často vyšší, zatímco v období slunečna je vzduch exteriéru trvale sušší.

C.5. Zhodnocení experimentu

Z rozsáhlých datových listů, kdy **interval měření byl 5 minut**, se po krátké analýze odstřihly asi 2 týdny nepotřebných dat (doba po zapnutí čidla před umístěním, před vypnutím po odejmutí z místa).
Pro lepší zpracovatelnost a menší hardwarovou náročnost byl tento interval dat snížen na 30 minut. Těmito kroky se celkový počet datových řad **snížil z necelých 9 tisíc na pouhých 818**.

Byly použity 3 typy čidel: čtyři senzory pro měření teploty a vlhkosti vzduchu, jeden senzor čtyřkanálový s čidly pro měření povrchových teplot a jeden senzor pro měření koncentrace oxidu uhličitého.
Bohužel čidlo pro snímání koncentrace CO_2 nebylo řádně zapojeno a tento údaj nebyl zaznamenán.

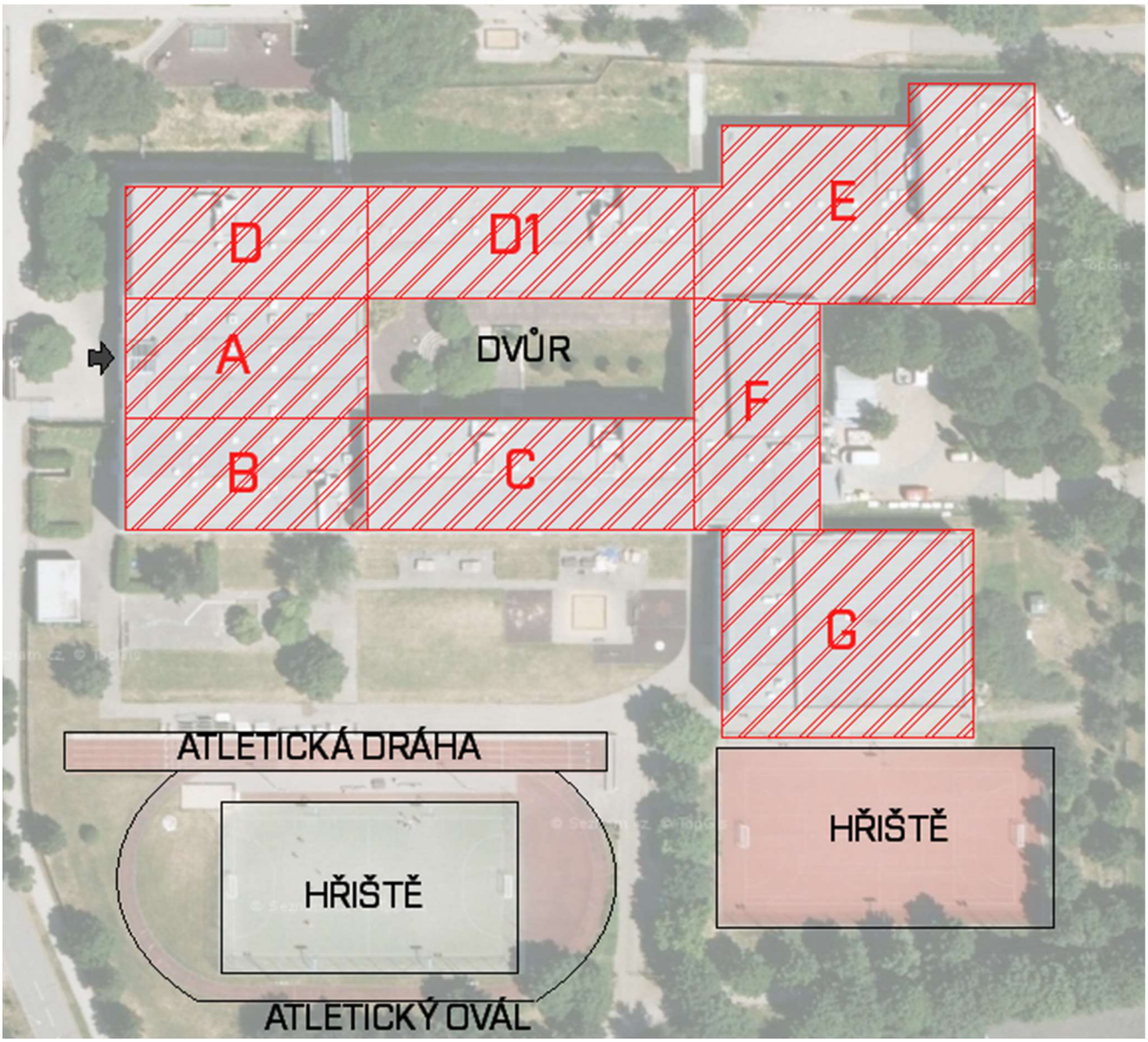
Naměřenými a zpracovanými daty se dá dokázat několik skutečností:

- **teplota interiéru je vyšší než návrhová o v průměru zhruba 2 až 4 °C**, systém VZT nemá možnost chladit, je vybaven pouze deskovým rekuperátorem,
- relativní vlhkosti venkovního vzduchu závisí na **množství srážek a teplotě vzduchu**,
- relativní vlhkosti vnitřního vzduchu závisí zásadně na **vnitřních ziscích**,
- **ozářené povrchy** vykazují výrazně vyšší teplotu než vzduch,
- náhlé výkyvy teplot jsou méně výrazné u **tepelně izolačních konstrukcí**,
- **akumulační schopnost** konstrukcí dokáže vyrovnávat výkyvy teplot,
- rosný bod i při změnách teplot závisí na pouze na **měrném vodním obsahu**,

C.6. Schémata budov a systémů

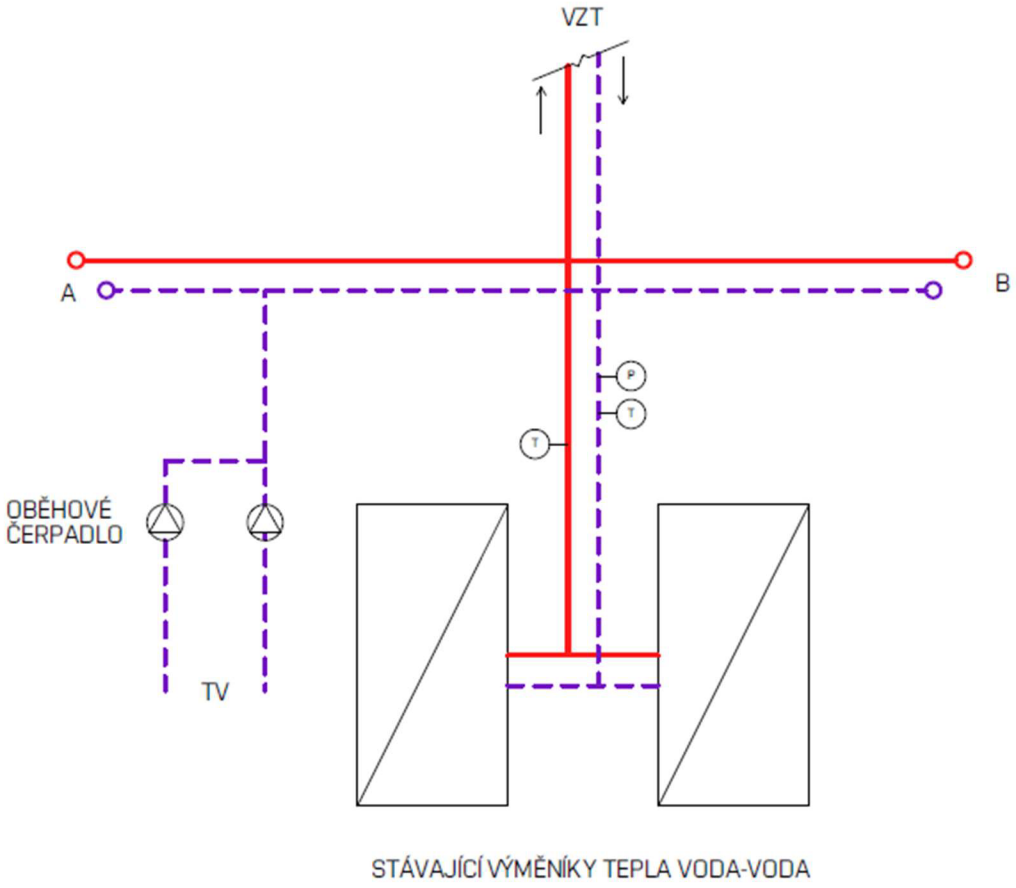
C.6.1 Schématická situace (fotomapa)

Obr.40 Situační schéma pavilonů budovy z fotomapy (zdroj fotomapy mapy.cz)

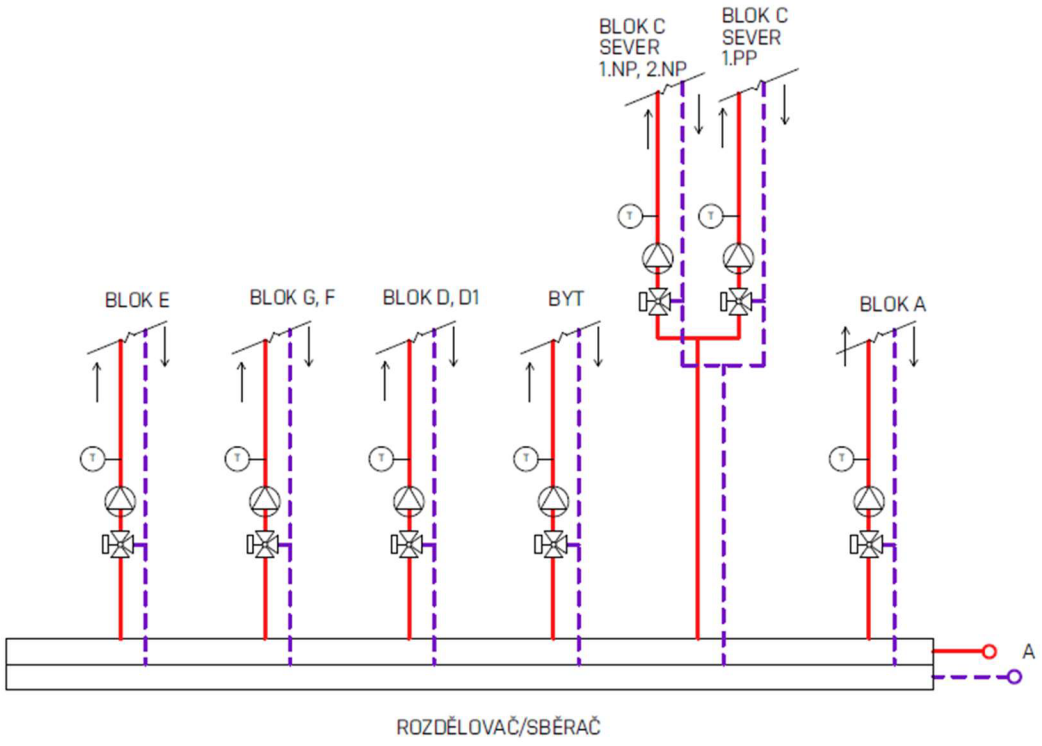


C.6.2 Schéma výměníkové stanice

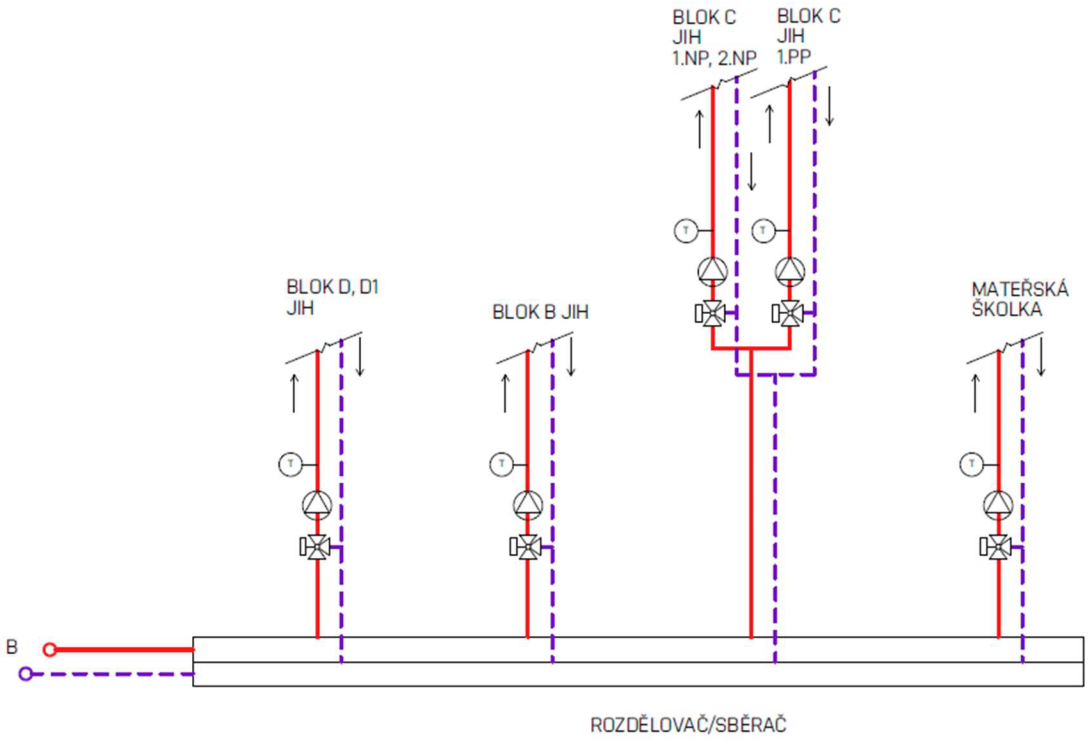
Obr.41 schéma výměníku dálkového tepla v bloku D, D1

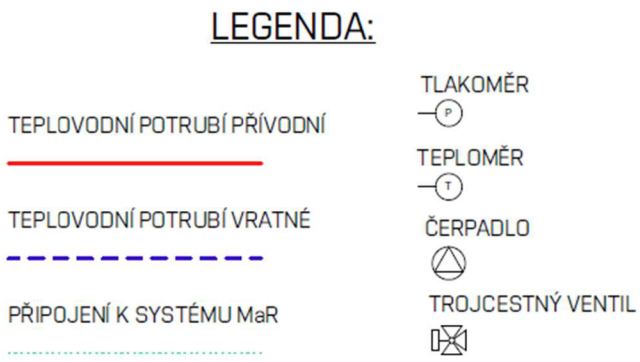


Obr.42 schéma rozdělovače/sběrače pro severní větev otopné vody



Obr.43 schéma rozdělovače/sběrače pro jižní větev otopné vody





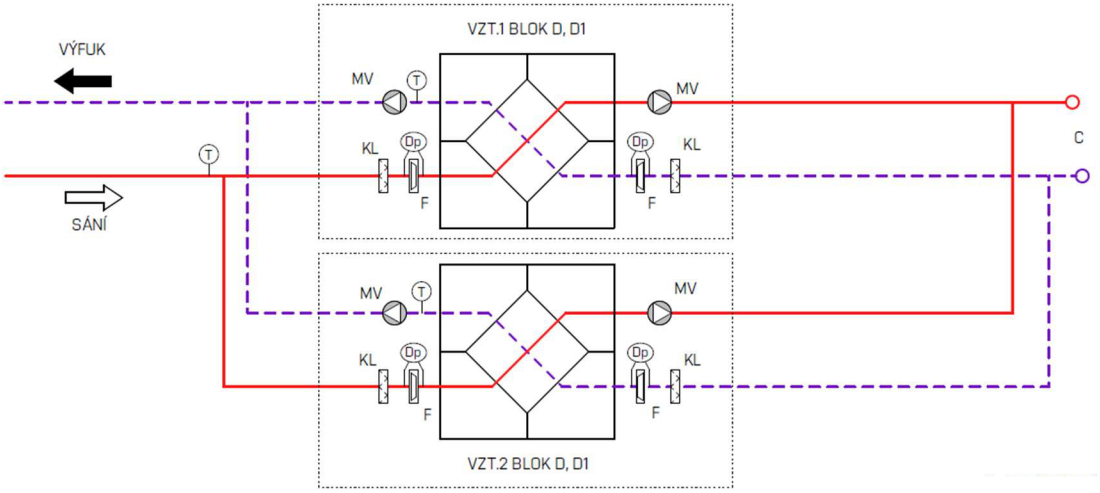
Výměníková stanice s dvěma výměníky voda-voda je napojena na severní (A) a jižní (B) stranu. Obě větve mají vlastní rozdělovač/sběrač pro rozvod topné vody.

Na každé větvi je pomocí trojcestného ventilu zajištěna **ekvitermní regulace**.
Tento systém regulace je tzv. **kvalitativní**, mění se teplota vody, nemění se průtok vody.
Trojcestné ventily, čerpadla i teploměry jsou elektronicky napojeny na systém **měření a regulace**.

C.6.3 Schéma VZT bloků pro větrání D, D1

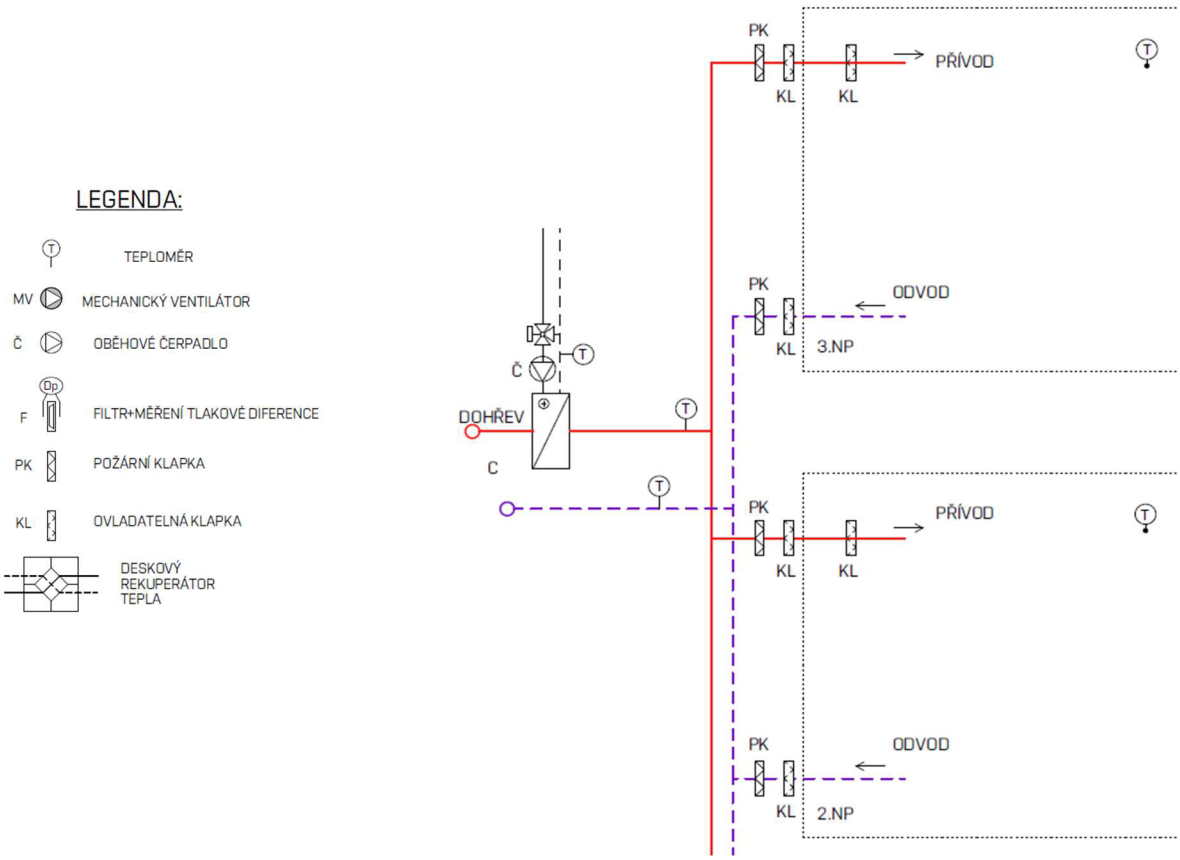
Možnost individuálních regulací průtoků vzduchu pomocí klapek napojených na systém měření a regulace.
U filtrů jsou připojeny čidla na měření tlakové diference kvůli zanášení filtrů.
Systém obsahuje zpětné získávání tepla pomocí deskového rekuperátoru (výměníku citelného tepla).

Obr.44 schéma vzduchotechnické jednotky pro blok D, D1



Rozvody do jednotlivých podlaží jsou opatřeny **požárními klapkami**.
Systém vzduchotechniky je na přívodu opatřen **dohřevem**, který přivádí teplo z výměníkové stanice.
Povšimnetě si, že systém **nemá schopnost vypořádat se s tepelnou zátěží**, není-li teplota přiváděného vzduchu z exteriéru dostatečně nízká.

Obr.45 schéma rozvodů VZT do jednotlivých prostor



Závěr

V této práci byly rozebrány **základy teorie** energie, druhů přeměn energie, energetiky jako průmyslového odvětví a její dopady na životní prostředí, technické systémy budov a měřící zařízení pro hodnocení a regulaci.
Ve výpočtové části byly rozebrány **výpočtové postupy** pro energetické a enviromentální hodnocení budov a a jejich úzce související odvětví (tepelná technika, ekonomika aj.).
Výpočtové postupy jsou v souladu s platnou legislativou a technickými normami.

V projektové části byly rozebrány fakturované (měsíční) spotřeby energií za období tří let základní školy Svážná 9 v Brně-Novém Lískovci. Pomocí meteorologických záznamů ze stanice Brno-Židenice byly sestaveny energeticko teplotní křivky sloužící k hodnocení energetického managementu.
Dále zde bylo prováděno cca **3týdenní měření** teplot vzduchu a povrchů, relativní vlhkosti vzduchu a koncentrace CO_2. Měření bylo prováděno v interiéru v učebně a kabinetu, dále bylo jedno čidlo umístěno v exteriéru ze severní strany kvůli možnosti oslunění.
Bylo použito celkem 6 dataloggerů s energeticky nezávislou pamětí COMET.
Po dokončení měření se stáhly data pomocí USB a exportovaly do počítače do souboru .CSV.
Interval zaznamenávání hodnot dataloggerů byl 5 minut, což při dlouhém rozsahu měření tvořilo **soubory až se skoro 9 tisíci řadami dat**.
Pomocí odstřihnutí nepotřebných měřených dnů na začátku a na konci, kdy senzory nebyly umístěny ve škole a **snížení intervalu hodnot na 30 min se počet řad dat redukoval na 820**.
Následně bylo **vytvořeno několik grafů**, a popsány skutečnosti z nich vyplývající.
Následně byly vytvořeny **schémata technických systémů** pro lepší pochopení souvislostí související s regulací veličin vnitřního prostředí.

Bylo dokázáno, že pokud není venkovní přiváděný vzduch dostatečně chladný, systém VZT vybavený pouze deskovým rekuperátorem nedokáže efektivně odvádět vnitřní tepelnou zátěž.
Z naměřených teplot vnitřního vzduchu je jasné, že teploty jsou trvale nad návrhovou teplotou vnitřního vzduchu 22 °C, v extrémech teploty dosahují až 27 °C, a to v měsíci březnu za slunečného dne.

Použité zdroje

Publikace

HIRŠ, J.; PETRÁŠ, D.; DAHLSVEEN T. *Energetický audit budov (Slovenské vydání 2003)*

VAVERKA J. a kol. *Stavební tepelná technika a energetika budov*

CHYSKÝ, J.; HEMZAL, K. a kol. *Větrání a klimatizace*

SZÉKYOVÁ, M.; FERST, K.; NOVÝ, R. *Větrání a klimatizace*

GEBAUER, G.; HIRŠ, J. *Opory pro výuku vzduchotechniky na VUT FAST*

PAPEŽ, K. a kol. *Energetické a ekologické systémy budov 2*

Technické normy

ČSN 73 0540 *Tepelná ochrana budov*

ČSN 73 0548 *Tepelná zátěž pro klimatizované prostory*

ČSN 73 0331-1 *Energetické hodnocení budov – typické hodnoty*

TNI 73 0329 *Klasifikace budov s velmi nízkou spotřebou tepla na vytápění*

ČSN EN ISO 52016-1 *Potřeba energie na vytápění, chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní výkony - výpočty*

VDI 2089 (De) *Technická zařízení u vnitřních bazénů*

Vyhlášky a zákony

Zákon č. 406/2000 Sb. v účinnosti od 1.1.2001 *o hospodaření energií*

Vyhláška č. 38/2022 Sb. v účinnosti od 1.3.2022 *o kontrole systému vytápění. kombi. systému vytápění-vetrání*

Vyhláška č. 264/2020 Sb. v účinnosti od 1.9.2020 *v. o energetické náročnosti budov*

Vyhláška č. 140/2021 Sb. v účinnosti od 1.4.2021 *o energetickém auditu*

Vyhláška č. 141/2021 Sb. v účinnosti od 1.4.2021 *o energetickém posudku, monitoringu*

Vyhláška č. 4/2020 Sb. v účinnosti od 21.5.2020 *o energetických specialistech*

Použitý a doporučený zdroj užitečných informací a nástrojů: tzb-info.cz
Při práci bylo čerpáno z dokumentů (průkaz ENB, půdorysy, situace) vytvořené firmou DAE s.r.o.

Seznam obrázků

Číslo obrázku	Popis	*Stránka*
1	černý antracit z období karbonu (zdroj VŠB TU Ostrava, J. Jirásek)	*2*
2	vrtná souprava v moři na těžbu ropy z mořského dna (zdroj: fotolia.com)	*2*
3	zemní plyn odhořívá při zpracování ropy (zdroj: Robert Sisson)	*3*
4	jaderný reaktor CROCUS sloužící pro výzkumné účely (zdroj: wikipedia)	*3*
5	větrné turbíny na souši (zdroj: energy.gov)	*4*
6	fotovoltaický panel (zdroj: profimedia)	*4*
7	fototermický kolektor na střeše (zdroj: cronimo.cz)	*5*
8	Voda ohřátá vulkanickou činností využívaná k rekreaci a výrobě elektřiny, Reykjanes, Island (zdroj: Christof Hug-Fleck—Anzenberger/Redux)	*5*
9	okruh tepelného čerpadla země/vzduch (zdroj: kensaheatpumps.com)	*6*
10	vodní elektrárna (zdroj: ČEZ)	*6*
11	topné pelety vyrobené ze dřeva (zdroj: pelletia cz)	*7*
12	schéma zplyňovacího kotle na dřevo (zdroj: eluc.kr-lomoucky.cz)	*7*
13	systém získávání methanu uvolňovaného při fermentaci odpadu na skládce (zdroj: sick.com)	*8*
14	graf spotřeby jednotlivých primárních zdrojů energie za dané roky, celosvětově	*8*
15	schéma produkce elektrické energie a emisí a spotřeby energie dle sektoru	*9*
16	roční emise CO2 jednotlivých zemí	*10*
17	odvod spalin do atmosféry, Teplárny Brno (Špitálka) 1930	*11*
18	vedení tepla tuhou látkou (zdroj wikipedia commons)	*12*
19	konvekční deskové otopné těleso využívá přirozené proudění vzduchu (zdroj: panfitinka.cz)	*13*
20	popis prostupu tepla stavební vícevrstvou konstrukcí (zdroj: vut bt01)	*14*
21	komínový efekt vznikající na průběžném schodišti (zdroj: appropedia)	*15*
22	rozvody podlahového vytápění (zdroj: rehau.com)	*21*
23	kompresorový chladící cyklus	*22*
24	různé druhy ventilátorů (zdroj: ventilátory.cz)	*23*
25	skladba vzduchotechnické jednotky se směšováním (zdroj: VUT FAST)	*23*
26	parní vlhčení vzduchu (zdroj: flair.cz)	*24*
27	ohřev vody systémem solárních kolektorů s akumulačními nádržemi (zdroj: TWI SOLAR)	*25*
28	kalorimetr MULTICAL firmy Kamstrun	*26*
29	glycerinový manomentr (zdroj: ELO)	*26*

Číslo obrázku	Popis	*Stránka*
30	kontrolování kotev izolantu pomocí termovize (zdroj: flir)	*27*
31	snížená povrchová teplota ve styku stěna-strop (zdroj: inkapo.cz)	*27*
32	Schéma pro výpočet dodané energie na vytápění (zdroj: tzb-info.cz)	*38*
33	týdenní et křivka pro několikaleté období, panelový dům (zdroj: Brno, m.č. Nový Lískovec)	*45*
34	ET křivka počítaná teoreticky bez započítání chlazení s horní a dolní mezí plus minus 8%	*46*
35	zmodernizovaný vchod na ZŠ Svážnou 9 (zdroj: galerie školy)	*51*
36A až 36C	dataloggery COMET	*63, 64*
37	fotodokumentace umístění některých čidel	*65*
38	schéma umístění čidel	*66*
39	umístění měřených prostor v objektu	*66*
40	situační schéma budovy z fotomapy mapy.cz	*78*
41	schéma výměníku dálkového tepla v bloku D, D1	*79*
42	schéma rozdělovače/sběrače pro severní větev otopné vody	*79*
43	schéma rozdělovače/sběrače pro jižní větev otopné vody	*80*
44	schéma vzduchotechnické jednotky pro blok D, D1	*81*
45	schéma rozvodů VZT do jednotlivých prostor	*81*

Seznam grafů

Číslo grafu	Popis	*Stránka*
1	Fakturované spotřeby energií	*57*
2	ET křivka 2019	*58*
3	ET křivka 2019 po korekci letních prázdnin	*59*
4	ET křivka 2020	*59*
5	Shrnutí všech ET křivek za období 2019, 2020	*60*
6	Celková ET křivka pro vytápění dohromady za všechny roky	*61*
7	Porovnání ET křivek různých objektů	*61*
8	Dlouhodobé měření teploty vzduchu a RH interiéru, exteriéru,	*67*
9	Podrobnější rozbory měření s použitím plošného grafu u relativních vlhkostí vzduchu	*68*
10	Měření průběhu absolutní vlhkosti, teploty a rosného bodu exteriéru za deštiva 15.3.-18.3.	*70*
11	Měření průběhu absolutní vlhkosti, teploty a rosného bodu exteriéru za slunečna 21.3.-23.3.	*70*
12	Průběhy relativní vlhkosti, teploty a rosného bodu exteriéru za deštiva 15.3.-18.3.	*71*
13	Průběhy relativní vlhkosti, teploty a rosného bodu exteriéru za slunečna 23.3.-25.3.	*71*
14	Měření průběhů relativní vlhkostí a teplot vzduchu interiéru za slunečna 21.3.-23.3.	*72*
15	Naměřené teploty vnitřního vzduchu z různých čidel, posunuté minimum u teploty interiéru 15.3.-18.3.	*73*
16	Porovnání senzorů měřících teplotu vnitřního vzduchu a povrchů 20.3.-22.3.	*74*
17	Dlouhodobý průběh vnitřních a venkovních absolutních a relativních vlhkostí vzduchu 15.3.-17.3.	*75*
18	Průběh vnitřních a venkovních absolutních a relativních vlhkostí vzduchu v období 15.3—17.3.	*76*
19	Průběh vnitřních a venkovních absolutních a relativních vlhkostí vzduchu v období 21.3—23.3.	*76*

Seznam tabulek

Číslo tabulky	Popis	*Stránka*
1	Emisní faktory jednotlivých paliv pro ČR	*11*
2	Rozdělení druhů elektromagnetického záření přenášejících energii	*13*
3	Klasifikace tepelné náročnosti budovy	*18*
4	Přirážky pro vliv tepelných mostů	*30*
5	Tepelné výkony jednotlivých spotřebičů	*36*
6	Referenční parametry dle vyhl.č. 264/2020 Sb.	*42*
7	Příklady životností zařízení v projektech	*44*
8	Emisní faktory dle vyhl.č. 140/2021 Sb.	*47*
9	Výňatek hodnoty emisních faktorů při spalování paliv z přílohy č. 5 nařízení vlády č. 352/2002 Sb.	*47*
10	Hodnoty koeficientů GWP pro jednotlivé skleníkové plyny	*48*
11	Půdorysné rozměry jednotlivých bloků ZŠ	*52*
12	Geometrické a funkční charakteristiky budovy	*52*
13	Způsob dodávky dálkového tepla	*52, 56*
14	Způsob dodávky elektrické energie	*52, 56*
15	Fotovoltaické panely	*53*
16	Návrhové hodnoty platné pro objekt	*54*
17	Spotřeby energií, primárních zdrojů nOZE a emise CO2 2019	*62*
18	Spotřeby energií, primárních zdrojů nOZE a emise CO2 2020	*62*
19	Faktory prim. Zdrojů nOZE a emisí CO2 využité při hodnocení	*62*