

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra fyziky

Energeticky nulový dům

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jan Sedláček, Ph.D.

Autor práce: Viktor Kouřilek

Praha 2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Viktor Kouřilek

Technologická zařízení staveb

Název práce

Energeticky nulový dům

Název anglicky

Zero energy house

Cíle práce

Z dostupné literatury popsat fyzikální principy energetických ztrát a získávání energií, vyjádřit ekonomické a ekologické výhody nulových energetických domů.

Metodika

Na základě studia dostupných materiálů vypracovat bakalářskou práci dle předložené osnovy. Předpokládá se rešeršní práce bez vlastních experimentů.

Doporučený rozsah práce

25 30 stran

Klíčová slova

Energetické ztráty, tepelná a elektrická energie, získávání energie v domech, ekologický přínos

Doporučené zdroje informací

- 1) HALLIDAY, D. et. al.: Fyzika. VUTIUM, Brno 2003, 1198 s. ISBN 80-214-1868-0
- 2) MECHLOVÁ, E., KOŠTÁL, K. et. al.: Výkladový slovník fyziky. Prometheus, Praha, 1999, 588 s. ISBN 80-7196-151-5
- 3) HALPERN, A.: 3000 Solved Problems in Physics. McGraw-Hill, New York, 1988, 751 pp. ISBN 0-07-025734-5
- 4) JARDINE, J.: Physics through Applications. Oxford University Press, Oxford, 1991, 247 pp. ISBN 0-19-914280-7

Předběžný termín obhajoby

2014/15 LS – TF

Vedoucí práce

RNDr. Jan Sedláček, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra fyziky

Elektronicky schváleno dne 5. 11. 2016

prof. Ing. Martin Libra, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 08. 03. 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Jana Sedláčka, Ph.D. a uvedl jsem všechny použité prameny a literaturu, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne 30. 3. 2019

.....

Viktor Kouřilek

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu RNDr. Janu Sedláčkovi, Ph.D. za odborné vedení, vstřícnost, ochotu a čas, který mi věnoval při zpracování této práce a všem, kteří mi jakýmkoliv způsobem pomáhali s jejím vytvořením.

V Praze 2019

Abstrakt: Bakalářská práce se zabývá problematikou energeticky nulového domu. V úvodu se zabývá legislativou, na základě které je definován energeticky nulový dům. Popisuje jednotlivé zatřídění budov dle roční spotřeby energie vztažené na energeticky vztažnou plochu. Specifikuje požadavky na obálku budovy a její tepelně technické vlastnosti vyjádřené průměrným součinitelem prostupu tepla U_{em} . Důraz je kladen na technické vybavení a funkční řešení domu. V dalších kapitolách jsou popsány zdroje tepla pro vytápění budov a ohřev teplé vody, zdroje elektrické energie a řízené větrání včetně rekuperace tepla z odváděného vzduchu. Následně je věnována pozornost systémům pro výrobu energie. Závěrem jsou obecně popsány výhody a nevýhody nulového domu, ekonomické výhody a dopady na životní prostředí.

Klíčová slova: Energetické ztráty, tepelná a elektrická energie, získávání energie v domech, ekologický přínos

The zero-energy house

Summary: This bachelor thesis deals with the issues surrounding zero-energy house. The introduction deals with legislation that defines zero energy house. Describes the classification of buildings in annual energy consumption relative to a reference surface energy. Specifies the requirements for the building and its thermal technical characteristics expressed by the average thermal coefficient of heat transmission U_{em} . Emphasis is placed on technical equipment and solutions. Other chapters describe heat generators for space heating and the production of hot water, electricity and controlled ventilation with heat recovery from exhaust air. Furthermore, attention is given to systems for energy production. The final part focuses on advantages and disadvantages of zero-energy house, economic benefits and environmental impacts.

Key words: Energy losses, thermal and electrical energy, energy generation in houses, environmental benefits

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíl práce	3
3. Metodika Práce	3
3.1 Základní energetická bilance budovy	3
3.2 Rozdělení tepelných ztrát	4
3.2.1 Tepelná ztráta prostupem	4
3.2.2 Tepelná ztráta výměnou vzduchu	5
3.3 Energetická náročnost budov - legislativa	6
3.4 Energetická náročnost budov – definice základních pojmů	7
3.5 Obálka budovy	8
3.6 Rozdělení budov podle měrné roční potřeby tepla	9
3.6.1 Pasivní dům	9
3.6.2 Energeticky nulový dům	10
3.6.3 Energeticky aktivní dům	10
4. Návrh nulového domu	11
4.1 Orientace a umístění stavby	11
4.2 Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí	13
4.3 Tepelné mosty – lineární vazby	18
4.4 Vnitřní prostředí nulových domů	19
4.5 Vzduchotěsnost	20
4.6 Zelené střechy	21
4.7 Rekuperace tepla z šedých vod	22
5. Požadavek na neobnovitelnou primární energii	23
5.1 Zdroje tepla – technické systémy pro vytápění a přípravu teplé vody ..	24
5.1.1 Plynový kondenzační kotel	25

5.1.2 Tepelné čerpadlo	25
5.1.3 Zdroj spalující biomasu	26
6. Výroba energie umístěná v budově, na budově nebo v pomocných objektech	26
6.1 Kogenerace	26
6.2 Fotovoltaické panely	28
6.3 Solární termický panel	30
7. Ekologické a ekonomické vyhodnocení	31
7.1 Ekologický benefit	31
7.2 Ekonomický benefit	32
8. Závěr	34

Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma energetické bilance budovy	4
Obr. 2 Přehled tepelných ztrát prostupem	5
Obr. 3 Příklad grafického vyjádření PENB	9
Obr. 4 Orientace a umístění stavby	12
Obr. 5 Vliv tvaru budovy	13
Obr. 6 Prostup tepla jednovrstvou rovinou stěnou	14
Obr. 7 Průběh teplot v konstrukci v konstrukci Velox se zateplením 100 mm	16
Obr. 8 Skladba zelené extenzivní střechy	22
Obr. 9 Rekuperace tepla z odpadní šedé vody	22
Obr. 10 Schema zapojení malé kogenerační jednotky	28
Obr. 11 Řez fotovoltaickým panelem	30

Seznam tabulek

Tabulka č.1	Normové a charakteristické hodnoty fyzikálních veličin materiálů	15
Tabulka č.2	Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující vnitřní teplotou v intervalu 18 až 22°C včetně	17
Tabulka č.3	Snížení hodnoty neobnovitelné primární energie stanovené pro referenční budovu	23
Tabulka č.4	Faktory neobnovitelné primární energie pro ČR	23

1. Úvod

Současná Evropa vychází z reálného scénáře, kdy začínají docházet zdroje fosilních paliv. Jako hlavní fosilní palivo využívané v Evropě je zemní plyn, který Evropská unie musí dovážet. Jako další fosilní paliva je využíváno uhlí a ropa. Někteří ekonomové predikují, že do 5 let dojde k růstu cen energií ve výši až 50%. Vedle toho využívání fosilních paliv způsobuje emise skleníkových plynů a má tím negativní vliv na životní prostředí a následně na zdraví lidí.

Jednou z možností jak tomuto trendu čelit je snížit zásadně potřebu energie pro vytápění budov. Znečišťování životního prostředí spalováním fosilních paliv je vyjádřeno tzv. uhlíkovou stopou, která vyjadřuje množství skleníkových plynů spojených např. s výrobou, dopravou nebo s vytápěním budov.

Na základě tohoto vývoje vznikl u nové výstavby budov požadavek na minimalizaci spotřeby energie a to na výstavbu budov s téměř nulovou spotřebou energie (Nearly zero-energy buildings NZEB). Definice NZEB vychází ze směrnice Evropského parlamentu a rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov s účinností od 9.7.2010. Tato směrnice uvádí, že podíl budov na celkové spotřebě energie činí zhruba 40%, a navrhuje spolu s využíváním obnovitelných zdrojů opatření nutná ke snížení energetické závislosti a tedy i snížení emisí skleníkových plynů. Na základě těchto požadavků směrnice definuje budovu s téměř nulovou spotřebou jako budovu, *„jejíž energetická náročnost určená podle přílohy I je velmi nízká. Téměř nulová či nízká spotřeba požadované energie by měla být ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů, včetně energie z obnovitelných zdrojů vyráběné v místě či v jeho okolí“*.
[1]

Požadavky na zařazení budovy jsou v kompetenci národních států.

Energeticky nulový dům je dům v pasivním standardu, vybavený zdroji využívajícími obnovitelnou energii, jako jsou solární termické kolektory nebo fotovoltaické panely, s jejichž využitím vyrobí teoreticky stejné množství energie, jako spotřebuje. Tedy energetická bilance bude vyrovnaná.

V České republice jsou požadavky evropské směrnice, týkající se kontroly a hodnocení energetické náročnosti budov, zapracovány v novele zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření

energií, ve znění pozdějších předpisů, a technicky tyto požadavky upřesňuje prováděcí vyhláška č. 78/2013 Sb., ve znění vyhlášky č. 230/2015 Sb. V květnu 2018 byla směrnice 2010/31/EU novelizována směrnicí 2018/844/EU. Požadavky směrnice mají být do české legislativy promítnuty do 10. března 2020. Změny ve směrnici reagují jak na zkušenosti s uplatňováním předchozí směrnice, tak na technický pokrok a možnosti budov vybavených tzv. smart technologiemi, elektromobilitou aj. V současné době je návrh novely zákona 406/2000 Sb. o hospodaření energií rozeslán poslancům jako sněmovní tisk 403/0. [2]

Současná legislativa v České republice definuje „dům s téměř nulovou spotřebou energie“ měkčeji. Takto zařazený dům nemusí být v pasivním standardu ani nutně nemusí být vybaven rekuperací větracího vzduchu.

2. Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je popsat fyzikální principy energetických ztrát a získávání energií z dostupné literatury a vyjádřit ekonomické a ekologické výhody nulových domů.

3. Metodika práce

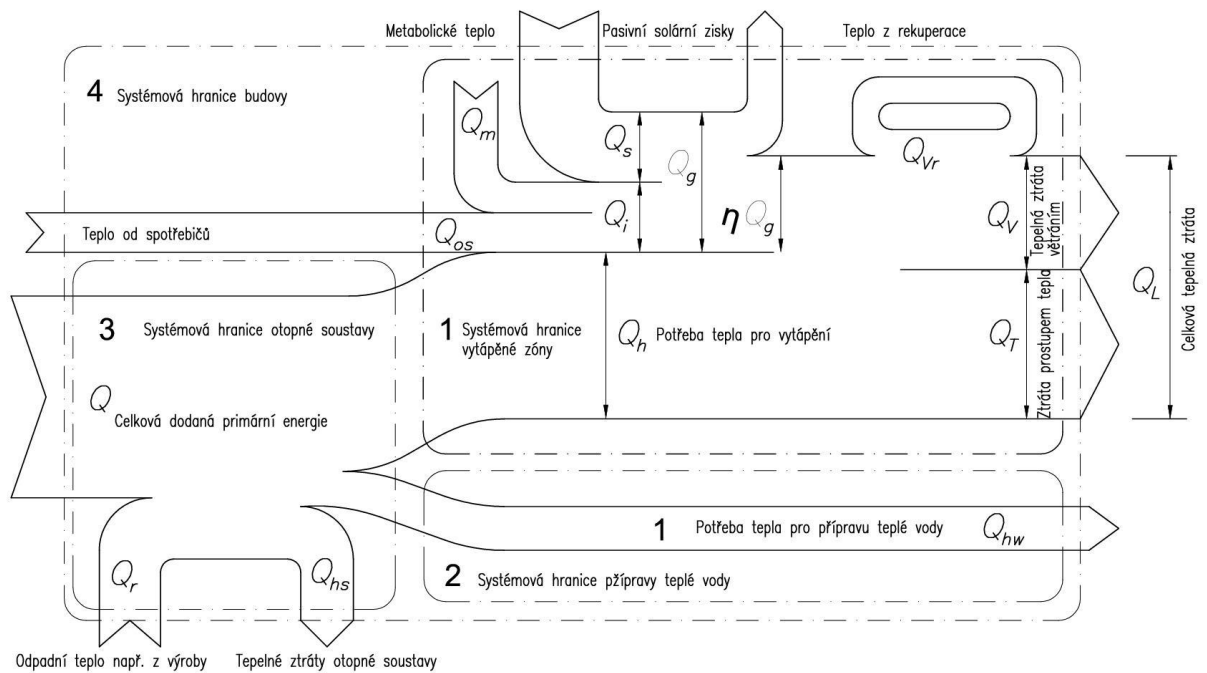
3.1 Základní energetická bilance budovy

Pro posouzení energetických dějů v budově slouží základní energetické bilanční schéma. Toto schéma jasně ukazuje potřebu primární energie pro provoz budovy. Bilanční schéma vychází z ČSN EN ISO 13790 vydané v květnu 2005. Reálná budova může být rozdělena do více zón s jinými požadavky na vnitřní prostředí a potom tok z jedné zóny znamená zisk pro sousední zónu. Pro zjednodušení dále chápeme budovu jako jednu zónu, jako jeden vytápěný prostor s převažující vnitřní teplotou v zóně. Na obrázku č.1 je schematicky znázorněn průběh energetických dějů v budově. [3] [4]

Ze schématu je patrná celková primární energie na vstupu, ke které do budovy vstupují jako zisk energie ze spotřebičů Q_{os} , metabolické teplo od osob Q_m , pasivní solární zisky Q_s , teplo z odváděného vzduchu Q_{vr} a může to být i odpadní teplo z výrobního procesu. Teplo potřebné pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody musí být navýšeno o tepelné ztráty technického systému např. v důsledku nevhodné regulace. [3] [4]

V dalším se budu věnovat tepelným ztrátám a jejich základnímu rozdělení, tepelným ztrátám infiltrací nebo výměnou vzduchu.

Další součástí energetického schéma jsou zisky tepla od metabolického tepla osob, od spotřebičů (např. výpočetní techniky) a zisky dané orientací budovy a umístěním v krajině (tj. od oslunění).



Obrázek č.1: Schéma energetické bilance budovy [3]

3.2 Rozdělení tepelných ztrát

Z hlediska toku tepla rozeznáváme tepelnou ztrátu prostupem a tepelnou ztrátu větráním.

3.2.1 Tepelná ztráta prostupem

Měrná tepelná ztráta prostupem H_T ($W.K^{-1}$) se vypočte ze vztahu:

Vnější konstrukce $H_D = U \cdot A$ ($W.K^{-1}$)

Vnitřní konstrukce $H_U = U \cdot b \cdot A$ ($W.K^{-1}$)

Konstrukce přilehlé k zemině $H_S = f_{g1} \cdot G_w \cdot U_{eqv} \cdot b \cdot A$ ($W.K^{-1}$)

Lineární vazby $H = \Psi \cdot l$ ($W.K^{-1}$)

Činitel teplotní redukce je počítáván $b = (t_i - t_{zk}) / (t_i - t_e)$

- t_{zk} teplota za konstrukcí

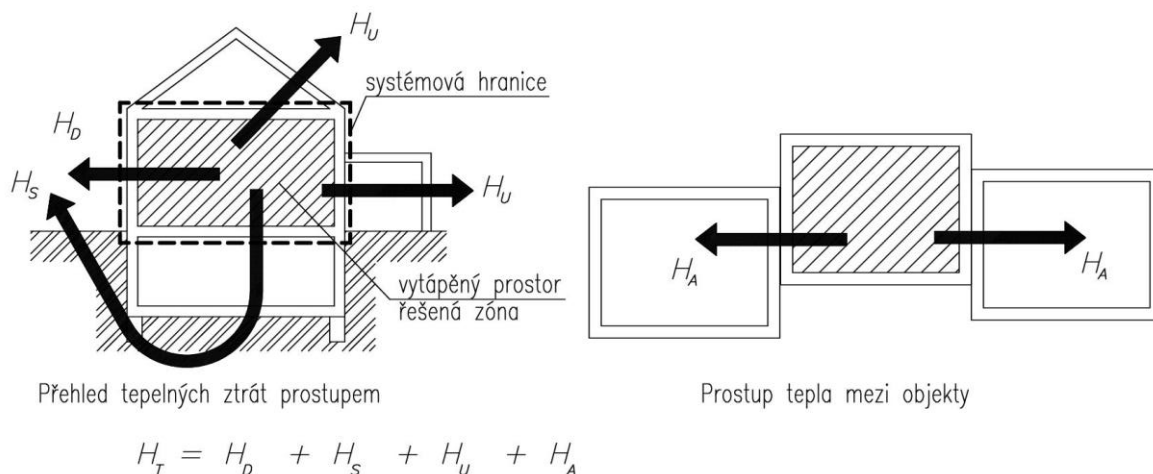
- t_i vnitřní výpočtová teplota

- t_e venkovní výpočtová teplota

- u konstrukcí přilehlých k zemině je $t_{zk} = t_{me}$ průměrná roční teplota zeminy
- U_{eqv} – ekvivalentní součinitel prostupu je součinitel prostupu tepla včetně vlivu zeminy
- Ψ lineární činitel prostupu tepla tepelného mostu
- f_{gl} ... korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty. $f_{gl} = 1,45$
- G_w ... korekční činitel zohledňující vliv spodní vody.

Tepelná ztráta místnosti prostupem $\phi(T) = (t_i - t_e) \cdot \Sigma H_T$ (W)

Tedy tepelná ztráta prostupem je součin sumy měrných tepelných ztrát prostupem a teplotního rozdílu vnitřní a venkovní teploty). [5] [6]



Obrázek č. 2: Přehled tepelných ztrát prostupem [3]

3.2.2 Tepelná ztráta výměnou vzduchu

Tepelná ztráta výměnou vzduchu vychází z požadavků hygienické výměny vzduchu nebo je dána výměnou vzduchu – průvzdušností pláštěm budovy při n_{50} , což je hodnota násobnosti výměny vzduchu netěsnostmi v obálce budovy při tlakovém rozdílu $50 Pa$. Průvzdušnost budovy u pasivní stavby je nežádoucí jev a je předmětem řešení.

Hygienická výměna vzduchu je dána požadovanou intenzitou výměny vzduchu n za hodinu:

Hygienická výměna vzduchu $V_n = n \cdot \text{vnitřní objem}$ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$

V_n je tedy množství vzduchu, které je z místnosti odváděno v m^3/h a jedná se o objemový tok větracího vzduchu vycházející z hygienických požadavků.

Norma [7] požaduje, aby hodnota intenzity výměny vzduchu v místnosti n splňovala v topném období podmínku $n_N \leq n \leq 1,5 n_N$, kde n_N je hodnota daná jinými předpisy např. hygienickými. Pro obytné budovy je tato hodnota obvykle v rozsahu $n_N = 0,3 \text{ h}^{-1}$ až $0,6 \text{ h}^{-1}$. Tato hodnota je přepočítaná z minimálního množství čerstvého vzduchu. Pro obytné místnosti se zpravidla požaduje zajistit nejméně $15 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobu v klidové aktivitě s produkcí tepla $80 \text{ W}/\text{m}^2$.

Při známém množství vzduchu V_n lze vypočítat měrnou tepelnou ztrátu výměnou vzduchu H_V : potom $H_V = \rho \cdot c \cdot V$ (W/K), kde ρ je hustota vzduchu a c měrná tepelná kapacita vzduchu. [3]

Tepelná ztráta místnosti větráním $\phi(V) = (t_i - t_e) \cdot H_V$ (W)

3.3 Energetická náročnost budov - legislativa

Jak bylo uvedeno v úvodu požadavky evropské směrnice 2010/31/EU jsou zapracovány do zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií se změnami 359/2003 Sb. ..., 225/2017 Sb. Prováděcí vyhláškou k tomuto zákonu je vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov se změnami 230/2015 Sb. Tato vyhláška zpracovává příslušný předpis Evropské unie a stanoví nákladově optimální úroveň požadavků na energetickou náročnost budovy pro nové budovy, větší změny dokončených budov a pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie, metodu výpočtu energetické náročnosti budovy a vzor posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie. [1]

U objektů, u kterých dochází k větší změně dokončené budovy nebo dílčí změně a to jak stavební části nebo systému TZB, jsme povinni dodržet požadavky na energetickou náročnost. Splnění je možné za předpokladu, že vyhoví celá budova na požadovanou náročnost, nebo musí splnit požadavky jen měněné konstrukce, nebo měněné systémy TZB. [9]

Legislativou byla ukotvena tzv. referenční budova – nákladově optimální úroveň, která musí být pro daný typ rekonstrukce či nové výstavby splněna. Tato povinnost se prokazuje dokumentem PENB – **Průkaz energetické náročnosti budovy**. U budov, u kterých dochází ke změně či rekonstrukci i zdroje většího než 200 kW, je součástí PENB energetický posudek prokazující technické, ekonomické a ekologické uplatnění alternativních zdrojů. [9]

3.4 Energetická náročnost budov - definice některých pojmů

Budova s téměř nulovou spotřebou energie je budova s velmi nízkou energetickou náročností, jejíž spotřeba energie je ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů.

Celková energeticky vztažná plocha - vnější půdorysná plocha všech prostorů s upravovaným vnitřním prostředím v celé budově, vymezená vnějšími povrchy konstrukcí obálky budovy

Referenční budova - výpočtově definovaná budova téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů budovy,

Systémová hranice - plocha tvořená vnějším povrchem konstrukcí ohraničujících zónu,

Zóna - celá budova nebo její ucelená část s podobnými vlastnostmi vnitřního prostředí, režimem užívání a skladbou technických systémů,

Energonositel - hmota nebo jev, které mohou být použity k výrobě mechanické práce nebo tepla nebo na ovládání chemických nebo fyzikálních procesů,

Potřebná energie – energie, kterou je nutné dodat technickým systémům budovy pro zajištění požadované kvality vnitřního prostředí budovy bez zahrnutí účinností technických systémů,

Vypočtená energie - energie, která se stanoví z potřeby energie pro daný jev se zahrnutím účinností technických systémů, v případě spotřeby paliv je spotřeba energie vztažena k výhřevnosti paliva,

Pomocná energie – energie potřebná pro provoz technických systémů,

Dodaná energie - energie dodaná do budovy přes systémovou hranici, potřebná k zajištění typického užívání

Primární energie – energie, která neprošla žádným procesem přeměny; celková primární energie je součtem obnovitelné a neobnovitelné primární energie,

Faktor primární energie - koeficient, kterým se násobí složky dodané energie po jednotlivých energonositelích k získání odpovídajícího množství celkové primární energie,

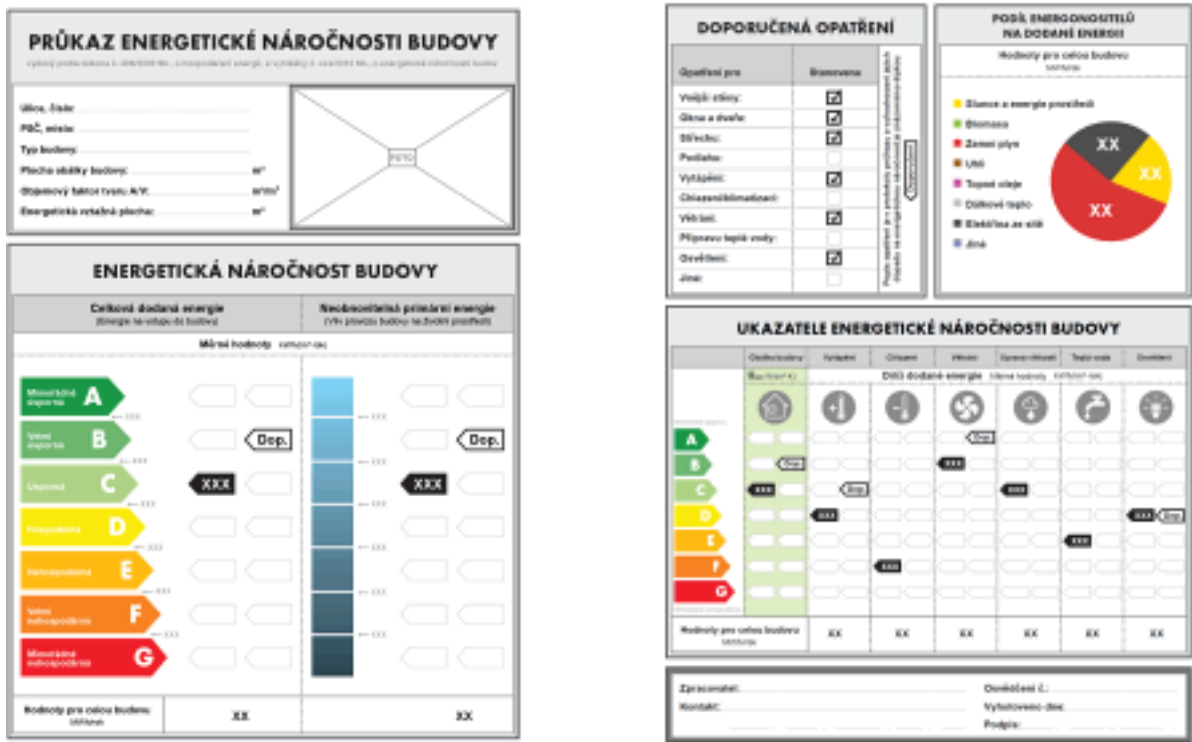
Faktor neobnovitelné primární energie - koeficient, kterým se násobí složky dodané energie po jednotlivých energonositelích k získání odpovídajícího množství neobnovitelné primární energie. [9]

3.5 Obálka budovy

V zákoně o hospodaření energií 406/2000 Sb. v posledním platném znění se říká, že „*Obálkou budovy se rozumí soubor všech teplosměnných konstrukcí na systémové hranici celé budovy nebo zóny, které jsou vystaveny přilehlému prostředí, jež tvoří venkovní vzduch, přilehlá zemina, vnitřní vzduch v přilehlém nevytápěném prostoru, sousední nevytápěné budově nebo sousední zóně budovy vytápěné na nižší vnitřní návrhovou teplotu*“. [9] Stejně tak zákon stanoví, kdo je oprávněn zpracovávat Průkaz energetické náročnosti (dále PENB).

V PENB jsou stanoveny ukazatele energetické náročnosti budovy, kdy důležitou hodnotou je průměrný součinitel prostupu tepla, který charakterizuje vlastnosti obálky budovy. Požadavky jsou stanoveny v ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody. Dalšími hodnotícími kritérii jsou celková primární energie, neobnovitelná primární energie, celková dodaná energie, dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění a jejich účinnost.

Průkaz energetické náročnosti obsahuje grafickou a textovou část. Textovou část tvoří protokol průkazu. Na první straně grafické části je vyznačena energetická náročnost pro celkovou dodanou energii do budovy a neobnovitelnou primární energii. Na druhé straně jsou uvedeny ukazatele pro obálku budovy a technické systémy budovy.



Obrázek č.3: Příklad grafického vyjádření PENB

3.6 Rozdělení budov podle měrné roční potřeby tepla

3.6.1 Pasivní dům

Pasivní dům se od nízkoenergetického liší přísnějším požadavkem na součinitele prostupu tepla stavebních konstrukcí. Podle legislativy v ČR pro nízkoenergetické domy postačí doporučené hodnoty součinitele $\leq U_{rec.20}$, pro pasivní domy jsou požadovány součinitele $\leq U_{pas.20}$ viz. tabulka č.2. Tyto součinitele spolu s tvarem objektu a jeho orientací ovlivňují výslednou hodnotu *průměrného součinitele prostupu tepla* U_{em} jako jednoho z hodnotících kritérií pro zařazení domu. Hodnota průměrného součinitele prostupu tepla budovy by měla být $U \leq 0,15 (W/m^2.K)$. Oproti nízkoenergetickým domům musí být měrná potřeba tepla pro vytápění $\leq 15 (kWh/m^2.rok)$. Takto specifikovaná roční potřeba tepla je poměrně malá u běžného rodinného domu, kdy s použitím tepelného čerpadla s ohledem na jeho poměrně vysokou pořizovací cenu vychází příliš dlouhá doba návratnosti investice. Dalším ukazatelem je celková potřeba primární energie, jejíž hodnota by měla dosahovat $\leq 120 (kWh/m^2.rok)$. Velikost této hodnoty ovlivňují technické systémy pro přípravu vody, větrání, ale i osvětlení a pomocné energie. Chlazení se nepředpokládá. V zahraničí jsou uvažovány i spotřebiče

v objektu. V současné době se již řeší způsoby rekuperace energie z tzv. šedých vod. Způsoby jak snížit spotřebu tepla pro přípravu jsou ve využití solární energie nebo malého tepelného čerpadla. U pasivního domu je třeba zajistit, aby průvzdušnost obálky budovy splňovala kritérium $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$. [12]

Uvedené požadavky na pasivní dům dávají tušit výrazně nižší energetickou náročnost.

3.6.2 Energeticky nulový dům

U nulového domu musí být oproti nízkoenergetickým domům měrná potřeba tepla pro vytápění pouze $\leq 5 \text{ (kWh/m}^2\text{.rok)}$. Toho lze dosáhnout opět tvarem budovy a jejím osazením v krajině. Příklad: U rodinného domu s energeticky vztažnou plochou by byla roční spotřeba energie na vytápění 500 kWh. Potřebu pro vytápění lze krýt ze zdroje na biomasu, např. krbem. V tomto případě je způsob vytápění vhodněji řešen v rámci řízeného větrání. Zde je požadavek na řízené větrání s rekuperací tepla z odpadního vzduchu. Tyto jednotky mohou být vybaveny i snímači CO₂. [12]

V případě nulového domu musíme zajistit vlastní výrobu energie tak, aby z ročního pohledu byla potřeba energie nulová. Jako možné zdroje se jeví termické solární kolektory, fotovoltaické systémy, malé větrné elektrárny, mikrokogenerace, atd. Takto řešený dům má vyšší pořizovací náklady, ale zajistí komfortní vnitřní klima a dokonalé větrání. [12]

Poznámka

Podle platné legislativy v ČR nemusí být tzv. nulový dům vybaven řízeným větráním, a tedy jeho měrná potřeba energie může být vyšší než u pasivního domu. Přičemž uváděné hodnoty energetické potřeby nejsou absolutní hodnoty, ale závisí na srovnání s referenční budovou. [12]

3.6.3 Energeticky aktivní dům

Energeticky aktivní dům vychází z nulového domu, ale s tím, že by měla být v souladu spotřebovaná energie, komfort vnitřního prostředí a zároveň minimální dopady na životní prostředí. Jako v předchozím případě je třeba věnovat maximální pozornost při umístění budovy do krajiny tak, aby byla minimalizována potřeba tepla pro vytápění. Chlazení se neuvažuje. Posuzují se i stavební materiály s ohledem na emise CO₂, jak při výrobě tak, aby i po dobu životnosti stavby byly nulové. Dům musí být vybaven technologiemi na výrobu energie

tak, aby výroba energie byla vyšší než energie spotřebovaná na provoz domu. Příkladem jsou fotovoltaické panely, které vyrábí elektrickou energii, nejen jako energii určenou pro provoz domu, ale i pro prodej do rozvodné sítě. [12]

4. Návrh nulového domu

Nulový dům počítá s téměř nulovou spotřebou energie, ideálně do $5,0 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$, tj. na energeticky vztažnou plochu. V podmínkách ČR přichází využití sluneční energie v oblasti termických solárních kolektorů spíše pro přípravu teplé vody a to v letním a přechodném období. Stejně tak v případě výroby elektrické energie prostřednictvím fotovoltaických panelů – viz dále. Tedy v topném období tyto obnovitelné zdroje nestačí pokrýt potřebu domu. Možností je ukládat teplo do akumulčních nádrží, nebo baterií, nebo vhodněji přebytečnou el. energii prodávat do rozvodné sítě a z té v topném období zase odebírat. Jedná se tedy o nulový dům v teoretické rovině. To znamená, že u nulového domu není uvažováno s aktivním chlazením v letním období, které znamená energetické nároky na elektrickou energii.

Výhody nulových domů:

Nízká spotřeba energií, levnější provoz

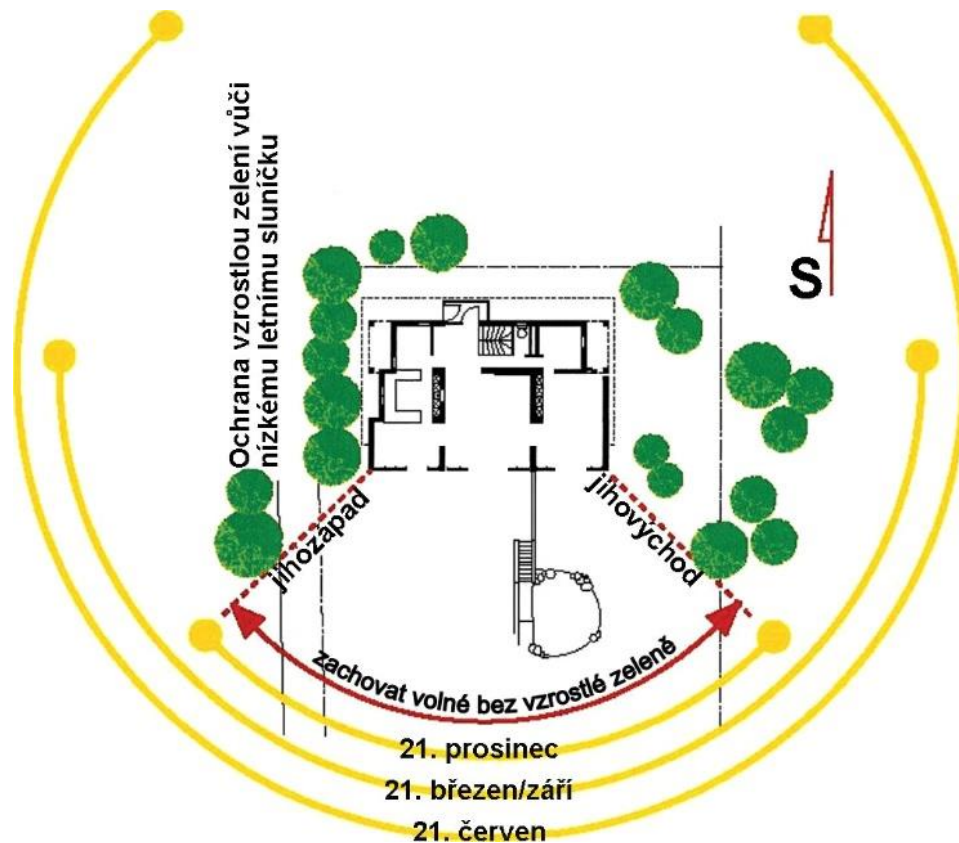
Kvalitnější vnitřní prostředí, řízené větrání

Nižší zátěž pro životní prostředí a tedy obecně na zdraví obyvatel

Menší závislost na dodávkách energie a tím vyšší soběstačnost

4.1 Orientace a umístění stavby

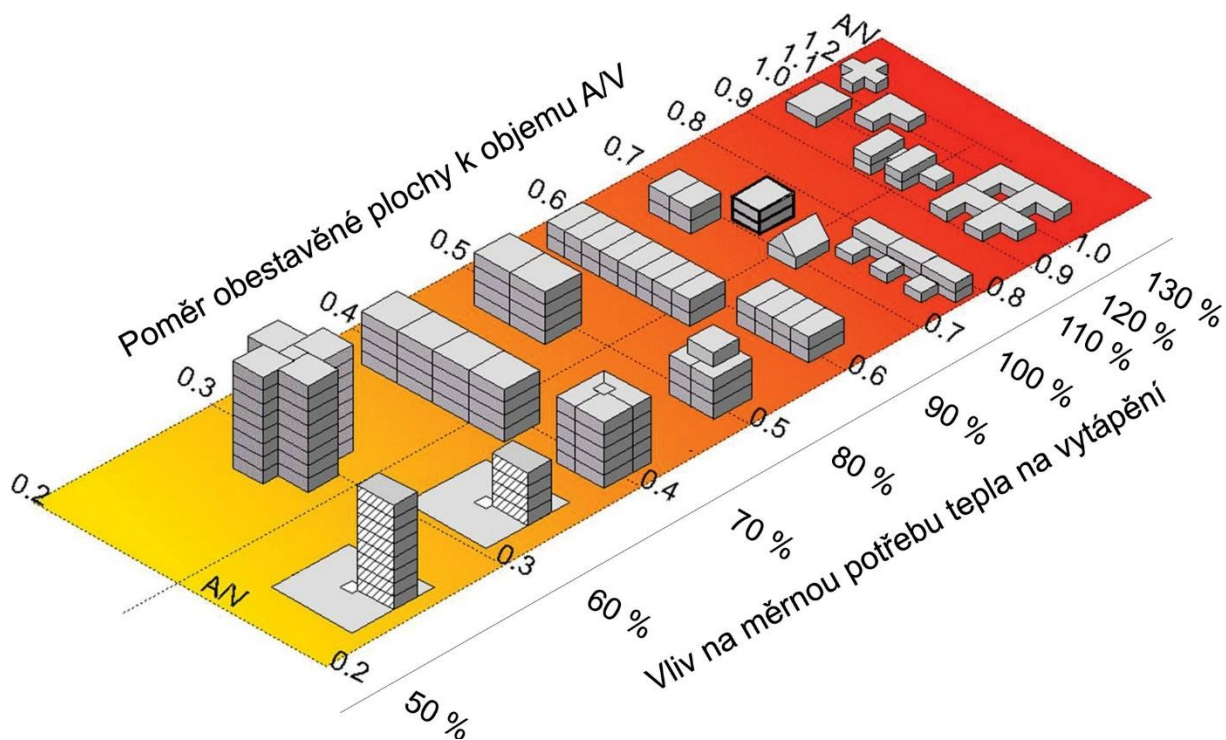
Důležité je v případě pasivního resp. nulového domu jeho umístění a orientace vůči světovým stranám – viz. obrázek č.4. Ideální je situovat obytné místnosti jako pokoje, pracovny atd. na jižní stranu, kde je možno zajistit větší prosklené stěny. Velikost prosklení na jižní fasádě je ideální volit do 40 % s ohledem na požadavky na vnitřní mikroklima obytných prostor a z toho vyplývající požadavky na chlazení prostor. V případě poměru do 40 % lze řešit stíněním.



Obrázek č.4: Orientace a umístění stavby /4/

Jako další kritérium vstupuje do návrhu resp. výpočtu tvar objektu. Vliv na měrnou potřebu tepla pro vytápění má poměr A/V , kde A je plocha systémové hranice v m^2 a vnějšího objemu budovy (nebo zóny) v m^3 . V následujícím obrázku č. 5 je patrný vliv na měrnou potřebu tepla. Lze odvodit, že samostatně stojící dům ve tvaru krychle $10 \times 10 \times 10$ m bude mít systémovou hranici (myšleno plocha tvořená vnějším povrchem konstrukcí ohraničujících zónu) $A=600m^2$ a vnější objem budovy $V=10 \times 10 \times 10= 1000 m^3$. Potom $A/V = 0,6$. V případě budovy $20 \times 10 \times 5$ m bude $A=700 m^2$; $V= 1000 m^3$; $A/V = 0,7$.

Z obrázku č. 5 je též patrné, že v případě řadových budov, kdy se do plochy systémové hranice nezapočítává plocha mezi jednotlivými domy (vytápěnými na stejnou vnitřní teplotu) vychází tento poměr lépe. Ideální je tvar objektu jako hranol s delší stranou situovanou na jih.



Obrázek č. 5: Vliv tvaru budovy /4/

4.2 Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí

Dalším parametrem vstupujícím do výpočtu jsou tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí.

Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí jsou vyjádřeny *součinitelem prostupu tepla vyjádřeným jako tok tepla konstrukcí o ploše 1 m^2 při rozdílu teplot 1 K a značí se hodnotu $U \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)}$.*

Vzorec pro výpočet dle ČSN 730540-3 $U = 1/R$, kde $R = R_{si} + R_K + R_{se}$ [13]

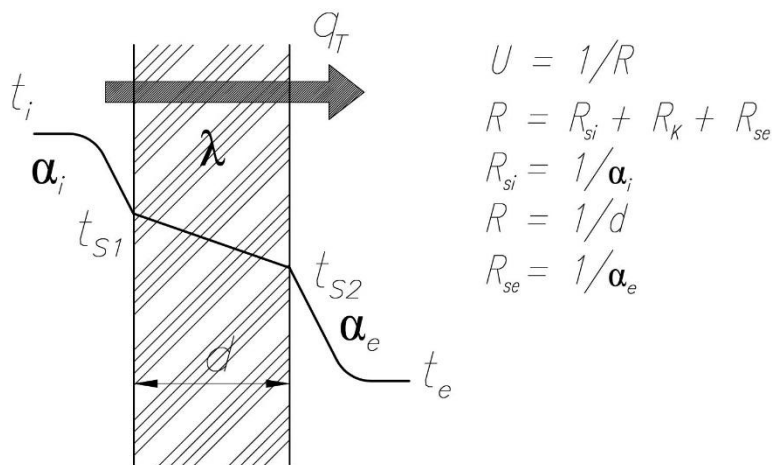
R_K tepelný odpor konstrukce daný poměrem tloušťky konstrukce $d \text{ (m)}$ a

součinitele tepelné vodivosti $\lambda \text{ (W/m}\cdot\text{K)}$

R_{si} tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce

R_{se} tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce

α_i a α_e součinitel přestupu tepla na vnitřní a venkovní straně $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$



Obrázek č.6: Prostup tepla jednovrstvou rovinou stěnou [13]

V předešlém případě na obrázku č.6 je uveden způsob výpočtu jednovrstvého zdiva s omítkou. V reálném případě je toto řešení poměrně obtížně proveditelné při zachování rozumné tloušťky stěny. Zdivo musí být omítnuté pro zachování vzduchotěsnosti včetně utěsněných rozvodů a elektrických zásuvek. Vzduchotěsnost nelze garantovat i pokud se před takovou jednovrstvou stěnou provede předstěna ze sádkartonu. Větší využití mají vícevrstvé obvodové pláště. [3]

Ideální pro stavbu nulového domu je dům s těžkými obvodovými stěnami z cihel, nebo betonu opatřeného z vnější strany tepelnou izolací. Tento dům má potom větší akumulaci schopnost a stěny vytápěného prostoru mají vyšší povrchovou teplotu bez výkyvů. Příklad materiálu pro pasivní dům je například systém Velox, který je na principu ztraceného bednění z cementotřískových desek 2 x 35 mm, kdy je do bednění vložena tepelná izolace na bázi pěnového polystyrenu s grafitem a nosnou konstrukci domu potom tvoří železobeton. Vnitřní úprava je řešena omítkou, která zajistí i vzduchotěsnost. Pozornost je třeba věnovat kotelním prvkům, pokud prochází tepelně izolační vrstvou, protože znamená zvýšení prostupu tepla. Pro eliminaci těchto tepelných mostů jsou zpracovány detaily nosných prvků s přerušným tepelným mostem např. pro osazení lodžii, markýz apod. [13;14]

Samostatnou kapitolou jsou dřevostavby, kde se jedná taktéž o vícevrstvé obvodové pláště, kde se využívá prefabrikace, kde jsou již řešené detaily některých komplikovaných prvků. Tyto

pláště dosahují velmi dobrých součinitelů prostupu tepla, avšak oproti předchozímu příkladu mají malou schopnost akumulace tepla. [3]

Neméně důležité jsou i otvorové prvky jako okna a dveře. V následující tabulce č.2 jsou uvedeny hodnoty součinitele prostupu tepla i pro okna budou v pasivním standardu, kde je uvedena hodnota $U_w = 0,6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ a pro dveře $0,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, tato hodnota je udávána pro celé okno včetně rámu. Vzhledem k vývoji špičkových systémů zasklení se v současnosti rámy oken naopak zhoršují součinitel U_w a proto se jim věnuje značná pozornost (počet komor, atd.). Použití kvalitních oken potom přispívá i k zajištění vzduchotěsnosti domu. Vhodný výběr oken, jejich velikost a umístění na fasádě, včetně jejich energetických vlastností mají pro nulový dům zásadní význam. Vedle již zmíněného prostupu tepla je důležitá celková propustnost slunečního záření g . Celkovou propustnost slunečního záření vyjadřuje součinitel prostupu tepla zasklením U_g . [3]

Zadání konstrukcí obálky budovy je ve vazbě na ČSN 73 0540-2:2011. Při zadání rozlišujeme typy konstrukcí jako obvodová konstrukce, výplně otvorů, vnitřní stěny, střechy a podlahy. Zvláštní kapitolou jsou konstrukce ve styku se zemí, jejichž výpočet probíhá dle ČSN EN ISO 13370 z února 2009. Důležité jsou i vhodně navržené konstrukce střechy. [6]

Následně je uveden příklad výpočtu součinitele prostupu tepla vícevrstvé konstrukce obvodového pláště, právě v konstrukčním systému ztraceného bednění Velox, kdy při celkové tloušťce stěny 500mm dosáhneme hodnoty součinitele prostupu tepla $U = 0,11996 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

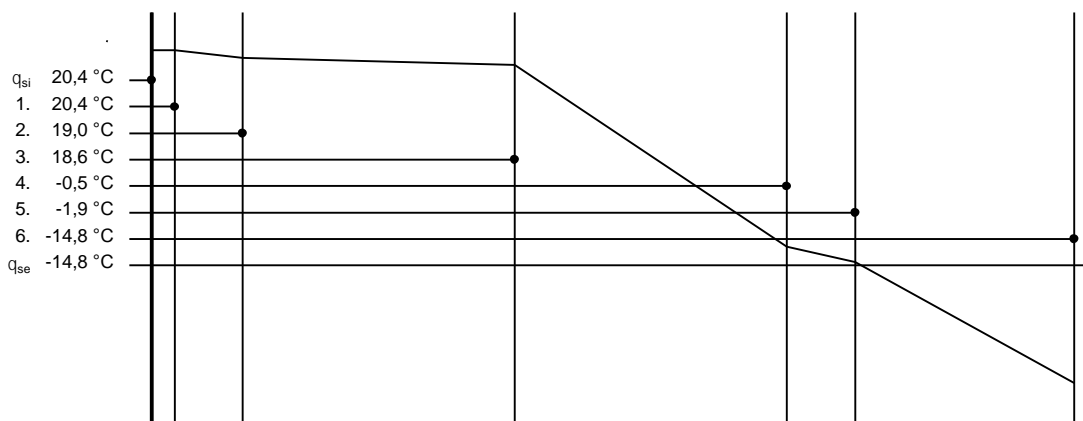
Příklad výpočtu U podle ČSN 73 0540-2:2011 a ČSN EN ISO 6946:2008 pro obvodový plášť systému Velox se zateplením 120 mm EPS – vypočteno na software Protech

Tabulka č.1: Normové a charakteristické hodnoty fyzikálních veličin materiálů

1	2	3	4	5	6	7	7a	8	9	10	11	12	13
č.v.	Položka KC	Položka ČSN	Materiál	ρ kg/m ³	c J/(kg·K)	μ	k_μ	λ_k W/(m·K)	λ_p W/(m·K)	Z_{TM}	Z_w	Z_1	Z_3
1	105-02	5.2	Omítka vápenocement.	2 000	790,0	19,0	1,000	0,880	0,990	0,00	0,070	1,0	2,2
2	109-061	10.7.1	Desky z dř. vlny s cem. (300)	300	1 580,0	6,5	1,000	0,100	0,110	0,00	0,020	1,0	2,2
3	101-021	1.2.1	Železobeton (2300)	2 300	1 020,0	23,0	1,000	1,220	1,430	0,00	0,080	1,0	2,2
4	613d-901a		EPS GreyWall	18	840,0	40,0	1,000	0,032	0,032	0,06		1,0	2,2
5	109-061	10.7.1	Desky z dř. vlny s cem. (300)	300	1 580,0	6,5	1,000	0,100	0,110	0,00	0,020	1,0	2,2
6	256-021		EPS 70 F	18	1 270,0	40,0	1,000	0,039	0,039	0,03		1,0	2,2
7	105-02	5.2	Omítka vápenocement.	2 000	790,0	19,0	1,000	0,880	0,990	0,00	0,070	1,0	3,0

ZTM - činitel tepelných mostů; koriguje součinitel tepelné vodivosti o vliv kotvení, přerušení izolační vrstvy krokvemi, rámovou konstrukcí atp.

Součinitel prostupu tepla $U = 0,120 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ Celková měrná hmotnost $m = 400,9 \text{ kg/m}^2$
 Tepelný odpor $R = 8,166 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ Teplota rosného bodu $\theta_w = 11,6 \text{ }^\circ\text{C}$
 Odpor při prostupu tepla $R_T = 8,336 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$
 Difuzní odpor $Z_p = 79,632 \cdot 10^9 \text{ m/s}$



Obrázek č.7: Průběh teplot v sendvičové konstrukci v systému Velox se zateplením 100 mm

Závěr vyhodnocení konstrukce

Součinitel prostupu tepla $U = 0,11996 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; Zaokrouhleno: $U = 0,120 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

požadovaný $U_N = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; doporučený $U_{rec} = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $U_{pas} = 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

K tomu by mělo být ještě přikládá roční bilance zkondenzované páry v konstrukci.

3 Tepelné mosty

V tabulce č. 2 jsou uvedeny hodnoty normové hodnoty součinitele prostupu tepla ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$), kde značí:

$U_{N,20}$ požadované hodnoty ČSN

$U_{rec,20}$ doporučené hodnoty ČSN pro nízkoenergetické budovy

$U_{pas,20}$ doporučené hodnoty ČSN pro pasivní budovy

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² .K)]			
	Požadované hodnoty U _{N,20}	Doporučené hodnoty U _{rec,20}	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy U _{pas,20}	
Stěna vnější	0,30	těžká:0,25 lehká:0,20	0,18 až 0,12	
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12	
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10	
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10	
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10	
Stěna k nevytápěné půdě(se střechou bez tepelné izolace)	0,30	těžká:0,25 lehká:0,20	0,18 až 0,12	
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15	
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20	
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38 až 0,25	
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38 až 0,25	
Podlaha a stěna částečně vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,85	0,60	0,45 až 0,30	
Stěna mezi sousedními budovami	1,05	0,70	0,5	
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70	--	
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	--	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,2	1,45	--	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,7	1,80	--	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5	1,2	0,8 až 0,6	
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4	1,1	0,9	
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9	
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,5	2,3	1,7	
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,7	
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,7	1,4	
Lehký obvodový plášť (LOP), hodnocený jako smontovaná sestava včetně nosných prvků, s poměrnou plochou průsvitné výplně otvoru $f_w = A_w / A$, m ² /m ² , kde A je celková plocha lehkého obvodového pláště (LOP), v m ² , A _w plocha průsvitné výplně otvoru sloužící převážně k osvětlení interiéru včetně příslušných částí rámu LOP, v m ²	f _w <= 0,5	0,3+1,4.f _w	0,2+f _w	0,15+0,85.f _w
	f _w > 0,5	0,7+0,6.f _w		
Kovový rám výplně otvoru	--	1,8	1,4	
Nekovový rám výplně otvoru	--	1,3	0,9 - 0,7	
Rám lehkého obvodového pláště	--	1,8	1,4	

Tabulka č. 2 – Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující vnitřní teplotou v intervalu 18 až 22°C včetně [7]

4.3 Průměrný součinitel prostupu tepla budovy U_{em}

Tento údaj představuje průměrnou hodnotu měrné tepelné ztráty prostupem tepla skrz obálku budovy nebo zóny vztaženou na 1m² obalové plochy budovy nebo zóny při rozdílu teplot 1°C, resp. 1 K. Při přenásobení U_{em} příslušným rozdílem teplot Δθ_{ie} [°C] a plochou obálky budovy nebo zóny A [m²] získáme tepelnou ztrátu prostupem tepla Q [W] pro daný teplotní rozdíl pro budovu nebo zónu. [2]

Rozdíly mezi **NB** (nová budova) a **ZDB** (změna dokončené budovy)

-nová budova má přísnější požadavek na průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} . V rovnici pro výpočet referenční (tedy maximálně přípustné hodnotě) $U_{em,Ref}$ má redukční činitel hodnotu $f_R = 0,8$. Pro ZDB platí hodnota $f_R = 1,0$.

Aby budova mohla být současně prohlášena za budovu s téměř nulovou spotřebou, pak je při výpočtu $U_{em,Ref}$ použit součinitel $f_R = 0,7$. (viz příloha 1, vyhlášky) [2]

- Referenční hodnoty pro nové budovy jsou současně podle §9 prohlášeny za základní vztažnou hodnotu (100 % = třída C). Bez ohledu na účel výpočtu, a zda se jedná o NB nebo ZDB je zařazování do tříd zásadně prováděno vůči této vztažné hodnotě.

- hodnota průměrného součinitele prostupu tepla **obálky nové budovy** má určenou maximální horní hodnotu a to podle následujících pravidel.

Nová budova – bytová

-maximální hodnota $U_{em,Ref} = 0,5 \text{ W}/(m^2.K)$

Nová budova - nebytová

-maximální hodnota $U_{em,Ref} = 0,30 + 0,15/(A/V) \text{ W}/(m^2.K)$

Je-li $A/V > 1$ pak $U_{em,ref} = 0,45 \text{ W}/(m^2.K)$

Je-li $A/V < 0,2$ pak $U_{em,ref} = 1,05 \text{ W}/(m^2.K)$. [2]

4.3 Tepelné mosty – lineární vazby

Důležitým faktorem je eliminace tepelných mostů, jinak lineárních vazeb, které jsou závislé na typu stavebního řešení. Typy a polohy tepelných mostů jsou uvedeny v ČSN E3N ISO 14683 (2009). Někteří dodavatelé stavebních systémů uvádějí přesné hodnoty lineárních činitelů.

Hodnota lineárního činitele Ψ , prostupu tepla tepelnou vazbou, se určuje výpočtem vícerozměrného vedení tepla v napojených obvodových konstrukcích a je to poměrně pracná záležitost. Někteří dodavatelé zdících systémů hodnoty lineárních činitelů prostupu tepla uvádějí. Řadu případů nalezneme též v publikaci Katalog tepelných mostů 1. [15].

Měrnou ztrátu prostupem lineární vazby můžeme stanovit výpočtem dle $H = \Psi \cdot l$ ($W.K^{-1}$) nebo pro zjednodušení výpočtů lze použít vztah $H = A \cdot \Delta U_{em}$ ($W.K^{-1}$), kde A je plocha konstrukce. Doporučené hodnoty veličin ΔU_{em} jsou uvedeny dále.

Doporučené hodnoty veličin ΔU_{em} dle TNI 73 0329 nebo 30:

- 0,02 je zajištěna souvislost tepelně izolačních vrstev ve všech napojeních
- 0,05 je zajištěna souvislost tepelně izolačních vrstev téměř ve všech napojeních
- 0,10 není zajištěna souvislost tepelně izolačních vrstev
- 0,20 není zajištěna souvislost tepelně izolačních vrstev se zvláště významnými důsledky
- 0,00 použití této hodnoty je třeba doložit výpočtem vícerozměrného vedení tepla

4.4 Vnitřní prostředí nulových domů

Zde je třeba říci, že pojem Nulová budova vychází z evropských standardů vytvořených pro pasivní domy. To znamená, že budova by měla mít parametry pasivního domu, což se týká např. řízeného větrání atd. Oproti tomu pojem „Budova s téměř nulovou spotřebou energie“ vychází z naší národní legislativy a je podstatně mírnější. Může se jednat o nízkoenergetickou budovu s využitím stavebních materiálů se součinitelem prostupu tepla v úrovni doporučených hodnot v kombinaci s dílčím obnovitelným zdrojem energie. Zpřísňuje se požadavek na hodnotu průměrného součinitele prostupu tepla za použití redukčního součinitele $f_R = 0,7 \times U_{em}$.

V případě nulové budovy je třeba v objektu instalovat systém řízeného větrání s rekuperací větracího vzduchu. Účinnost rekuperace by měla být min. 75%. Rekuperační jednotky se skládají z centrální ventilační jednotky a z rozvodných potrubí a koncových prvků. Rekuperační jednotka je připojena na systém vzduchových kanálů, který je vybaven tlumiči zvuku a vzduchovými průchody na přívod a odvod vzduchu. Přívodními větracími otvory resp. potrubím se přivádí čerstvý venkovní vzduch do obývacích pokojů a ložnic v množství podle počtu osob. Spotřebovaný vzduch z kuchyně, koupelny a WC se odvádí odtahovými ventily do rekuperační jednotky, kde teplý odváděný vzduch předehřívá ve výměníku tepla venkovní vzduch. Rekuperační jednotky lze doplňovat např. elektrickým předehřívacím registrem (s

interním elektrickým ovládním) nebo entalpickým výměníkem pro odvod vlhkosti. Protože v nulovém domě není řešeno chlazení, musí být jednotka vybavena obtokem pro letní provoz, aby odpadní vzduch nepřehřival již tak dost teplý venkovní vzduch. Efektivní je také použití zemního kolektoru, tj. sacího potrubí venkovního vzduchu uloženého do země zpravidla v hloubce 1,5-2,0m. Funkce tohoto vedení v zimě je přehřev venkovního vzduchu a naopak v letním provozu ochlazení venkovního vzduchu.

4.5 Vzduchotěsnost

Vedle požadavku na tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí je neméně důležitá vzduchotěsnost pasivního domu. Vzduchotěsnost se ověřuje Blower Door testem. Úspěšný test je například i podmínkou žádosti o dotaci v programu zelená úsporám.

V případě, že není zajištěna vzduchotěsnost domu:

sníží se účinnost rekuperace větracího vzduchu

zvýší se tepelná ztráta budovy

zvýší se riziko kondenzace uvnitř konstrukcí

v místě netěsnosti se sníží teplota vnitřního vzduchu

Blower Door test se provádí pomocí ventilátoru, který se osadí do stavebního otvoru v plášti budovy a utěsní se pomocí plachty. Měření se provede dvakrát, jednou při přetlaku a jednou při podtlaku v domě. Pomocí rovnice proudění se vypočte objemový průtok vzduchu V_{50} při tlakovém rozdílu $50 Pa$, a z něj se odvodí hodnota intenzity vzduchu n_{50} . O výsledku měření se vyhotoví protokol. Náležitosti protokolu jsou uvedeny v ČSN EN 13829 a v TNI 73 0330. [11]

Z hlediska vzduchotěsnosti je výhodné pokud má objekt jednoduchý tvar, jsou minimalizovány průniky technických instalací pláštěm budovy, minimalizovat průniky např. v místě střechy.

4.6 Zelené střechy

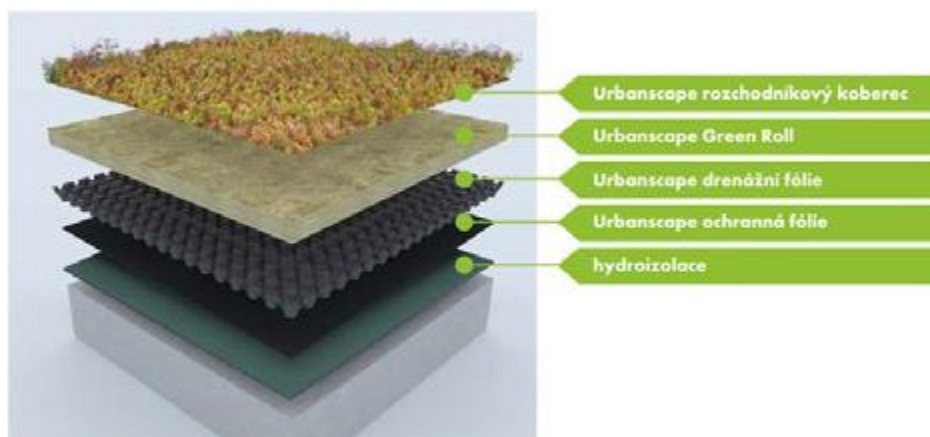
Jednou z možností jak snížit tepelné zisky v letním období řešit konstrukci a tvar střechy. Při volbě střechy ploché je sklon střech do 5°. U šikmých střech rozhoduje tvar střechy, kdy při sklonu nad 15° je třeba řešit opatření proti sesuvu. Lze navrhnout a provést i sedlovou střechu, která je z estetického hlediska velice efektní. Ve všech případech záleží na stavební konstrukci střechy, na statické střešní nosné konstrukci, na zakomponování do krajiny, atd. V podstatě se jedná o variantu přitíženou ploché střechy, kdy je tepelně izolační a hydroizolační vrstva místo kotvení do konstrukce střechy zatížena kačirkem nebo právě vegetačním souvrstvím. Zelené střechy dělíme z hlediska intenzity výskytu zeleně, požadavků na údržbu, zatížení střechy od schopnosti pojmout srážkové vody na extenzivní a intenzivní.

Extenzivní zelená střecha vyžaduje malou údržbu vzhledem k tomu, že je osázená odolnou suchomilnou vegetací typu rozchodníků a trav, v poměrně tenké vrstvě zeminy. Díky má i ve stavu nasyceném vodou přijatelnou hmotnost i pro dřevostavby.

Intenzivní zelená střecha je již plnohodnotnou parkovou zelení, která vyžaduje stejnou péči, závlahový systém apod. Tloušťka navrženého souvrství je až několikanásobně větší než v předchozím případě. V souvislosti se zeminou a tloušťkou vrstvy záleží na retenční schopnosti střechy zadržovat vláhu a tedy i na značném přitížení střechy.

Na obrázku č.8 je vidět skladbu jednotlivých vrstev pro zajištění drenážní, filtrační, hydroakumulační a vegetační schopnosti ploché střechy. Jedná se o extenzivní zelenou střechu navrženou na novostavbě nulové budovy kliniky v areálu Fakultní nemocnice v Olomouci. Souvrství je navrženo jako retenční a má zpomalovat odtok dešťové vody. Výhodou zelených střech je, že zpomalují odtok vody z krajiny a tím přispívají k jejímu ochlazení, jsou vhodné do přehřátých měst. Toto řešení současně prodlužuje životnost střešního pláště.

Hlavním důvodem postupného **rozšiřování zelených plochých střech** je jejich estetická kvalita. Určitou nevýhodou může být ztížená možnost identifikace poruch hydroizolačních vrstev spojená s přemístěním materiálu souvrství a vliv vlhkosti. [16;21;22]

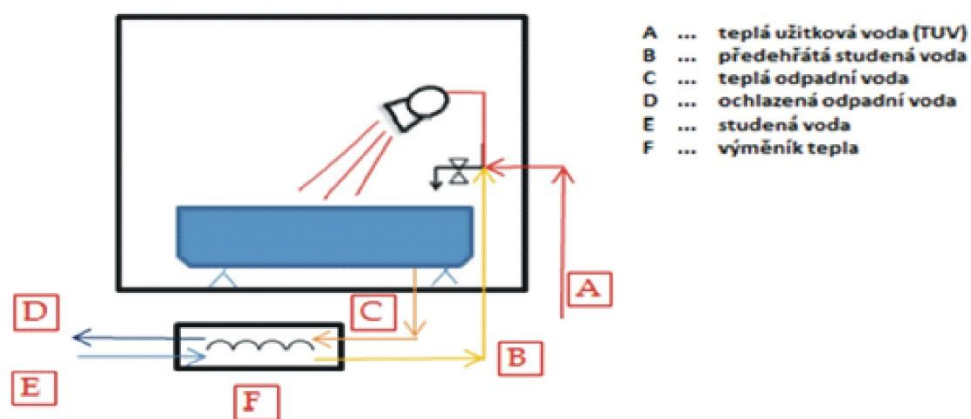


Obrázek č. 8: Skladba extenzivní zelené střechy [22]

4.7 Rekuperace tepla z šedých vod

Šedou vodou se nazývá splašková odpadní voda bez fekálií a moči. Jedná se o odtok z umyvadel, sprch, van a dřezů. Po úpravě je možno tuto vodu použít jako vodu provozní na splachování a ev. zálivku. Bonusem je i snížení nákladů na stočné. Rekuperace šedých vody užitím šedé vody můžeme ušetřit podle odhadů až polovinu denní spotřeby pitné vody.

Druhou možností je odebrání tepelné energie z šedé vody. Metodou je odpadní vodu zachytit v centrální akumulační nádobě, odebrat teplo a potom vodu vyčistit a dále využít v objektu. Nebo lze u malých aplikací řešit lokálně v místech spotřeby pomocí výměníků tepla umístěných např. ve sprchových žlabech atd. [23]



Obrázek č.9: Rekuperace tepla z odpadní šedé vody[23]

5. Požadavek na neobnovitelnou primární energii

Druhým požadavkem, který vedle průměrného součinitele tepla posuzujeme, je množství neobnovitelné primární energie (za rok). Množství neobnovitelné primární energie závisí především na zdroji tepla a také na množství energie, kterou v budově spotřebujeme. Jako nejméně příznivý energonositel je považována elektřina, naopak k těm nejlepším patří dřevo a dřevěné peletky a energie okolního prostředí. [2;19]

Parametr	Označení	Jednotky	Druh budovy nebo zóny	Referenční hodnota		
				Dokončená budova a její změna po 1.1. 2015	Nová budova po 1. 1. 2015	Budova s téměř nulovou spotřebou u energie
Snížení hodnoty neobnovitelné primární energie stanovené pro referenční budovu	$\Delta e_{p,R}$	%	Rodinný dům	3	10	25
			Bytový dům	3	10	20
		%	Ostatní budovy	3	8	10

Tabulka č. 3 – Snížení hodnoty neobnovitelné primární energie stanovené pro referenční budovu [2;19]

Požadavkem na budovu s téměř nulovou spotřebou energie je snížit primární neobnovitelné energie o 25 % oproti referenční budově. Tím můžeme dosáhnout využití efektivnějších zdrojů energie či energonositelem příznivějším pro životní prostředí. [17]

Pokud volíme jako energonositele elektrickou energii ze sítě je třeba si uvědomit, že má vysoký faktor neobnovitelné energie 3,0. V případě využívání energie okolního prostředí jako slunce, vzduch má tento faktor hodnotu 0. [18]

Energonositel	Faktor celkové primární energie (-)	Faktor neobnovitelné primární energie (-)
Zemní plyn	1,1	1,1
Černé a hnědé uhlí	1,1	1,1
Elektřina	3,2	3
Dřevěné peletky	1,2	0,2
Kusové dřevo, dřevní štěpka	1,1	0,1
Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)	1	0

Tabulka č.4: Faktory neobnovitelné primární energie pro ČR [18]

Energonositel je tedy hmota nebo jev, které je možno použít k výrobě energie. Energonositelem je tedy hnědé uhlí, zemní plyn, dřevo, ale i dálkové teplo, solární energie, fotovoltaická elektřina, apod. Faktor neobnovitelné primární energie je podíl mezi potřebou primární neobnovitelné energie a potřebou energie dodané na hranici budovy. Vysoká hodnota faktoru pro elektřinu v sobě celý proces výroby elektřiny včetně těžby uhlí, dopravy, výroby elektřiny v uhelné elektrárně a následně ztrát v rozvodných sítích. [18]

Pozn. Pokud vyrábíme v rámci budovy fotovoltaickým systémem elektřinu je hodnota konverzního faktoru -3,0.

5.1 Zdroje tepla – technické systémy pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody

Dům je z energetického hlediska posuzován podle požadavku:

- na celkovou dodanou energii
- na neobnovitelnou primární energii

Dodanou energii lze rozdělit na dílčí energie pro:

- vytápění
- chlazení
- větrání
- úprava vzduchu
- příprava teplé vody
- osvětlení

Běžně využívané technické systémy:

- Příklad 1, kdy vytápění a přípravu teplé vody zajišťuje plynový kondenzační kotel s velkou modulací výkonu, větrání zajišťuje větrací jednotka s rekuperací, osvětlení LED světelné zdroje
- Příklad 2, kdy vytápění a přípravu teplé vody zajišťuje tepelné čerpadlo vzduch/voda, větrání zajišťuje větrací jednotka s rekuperací, osvětlení LED světelné zdroje
- Příklad 3, kdy vytápění kotlem na biomasu s akumulací nádrží pro vytápění a teplovou vodu, větrání zajišťuje větrací jednotka s rekuperací, osvětlení LED světelné zdroje, možnost rekuperace z odpadní šedé vody

- Příklad 4, kdy je jako zdroj elektrokotel nebo přímotopné rohože, ohřev teplé vody v zásobníku, větrání zajišťuje větrací jednotka s rekuperací

Technická zařízení jsou doplněna některým ze systémů pro výrobu energie, nejčastěji fotovoltaickým systémem.

5.1.1 Plynový kondenzační kotel

Plynový kondenzační kotel je v současnosti zatím nejúspornějším plynovým spotřebičem. Vzhledem k tomu, že kotle jsou vybaveny integrálním kondenzačním výměníkem z nerezové oceli, umožňují snížení teploty vratné vody do kotle tak, že úspora zemního plynu může být až 10% oproti klasickým plynovým kotlům. Toho lze dosáhnout zapojením kotle do nízkoteplotního systému, např. podlahového vytápění s parametry topné vody 40/30°C. Další výhodou je modulace hořáku od 17 do 100% oproti původním jednostupňovým kotlům. Kondenzační kotle vynikají i nízkými hodnotami NO_x ve spalinách.

Pro poněkud měkčí legislativu v ČR pro tzv. dům s téměř nulovou spotřebou energie v některých případech vyhoví. Kotel může být doplněn rekuperací větracího vzduchu připojenou na společný ekvitermní regulátor. Systém doplněn centrálním větráním s rekuperací jednotkou. Chlazení není řešeno.

5.1.2 Tepelné čerpadlo

Jako zdroje tepla se využívají tepelná čerpadla země/voda nebo vzduch/voda. Tepelná čerpadla země/voda využívají teplo ze zemního kolektoru nebo z vrtu. Jejich cena je vyšší, avšak mají lepší *COP* a stabilní teplotu výstupní vody. Výhodou je, že v případě zemní sondy, lze tuto využít k pasivnímu chlazení v letním období.

Oproti tomu jsou tepelná čerpadla vzduch/voda cenově výhodnější, avšak jejich parametry jsou závislé na venkovní teplotě. Jejich nevýhodou může být hlučnost. Tepelné čerpadlo bude doplněné rekuperační jednotkou. Někteří výrobci dodávají na trh kompakty, které se skládají ze skříně, ve které je umístěno tepelné čerpadlo vzduch/voda, akumulační zásobník TV a rekuperační jednotka. Tepelné čerpadlo je umístěno v objektu a pro přívod a odvod vzduchu musí stavba zajistit odpovídající otvory do venkovního prostředí. Odváděný větrací vzduch, který projde rekuperační jednotkou je ještě přiveden do primární části tepelného čerpadla a využito zbytkové teplo.

Jako samostatné zařízení dodávají výrobci zásobníkový ohřívač teplé vody s elektrickou patronou a tepelným čerpadlem vzduch/voda. Tepelné čerpadlo se zásobníkem o objemu cca 300 l ohřeje vodu pomocí kompresoru až na teplotu 60°C. Tato tepelná čerpadla se svým vysokým výkonem a v kombinaci s nízkými investičními náklady jsou zajímavou alternativou k solárním panelům. Výhodou je vysoké výkonové číslo COP 3,3.

5.1.3 Zdroj spalující biomasu

Jako zdroje tepla spalující biomasu mohou být krby, krbová kamna, zplyňovací kotle na dřevo, kotle na pelety. Při vyšší ceně se jeví výhodné peletky, které lze spalovat ve zplyňovacích kotlích vybavených hořáky s vysokou účinností. Kusové dřevo jako palivo má faktor neobnovitelné primární energie v hodnotě 0,1 a peletky v hodnotě 0,2. Nižší faktor má jen energie okolního prostředí.

Pokud posuzujeme nulový dům komplexně je vedle úspory energií významná emise CO₂, která je v případě palivového dřeva nulová. Tedy dřevo je obnovitelný zdroj energie s nulovou uhlíkovou stopou.

6. Výroba energie umístěná v budově, na budově nebo v pomocných objektech

Přehled typů výroby energie – dodávky mimo budovu:

- kogenerační jednotka
- fotovoltaické panely
- solární termický systém

6.1 Kogenerace

Kogenerace znamená kombinovanou výrobu elektrické energie, kdy jako odpadní produkt vzniká teplo. Principem je spalování fosilního paliva, např. zemního plynu v motoru, kdy se zhruba 35% energie v palivu přemění na mechanickou práci na roztočení elektrického generátoru. Chlazením motoru je 55% tepla využito, například pro vytápění. Odpadní teplo obsažené ve výfukových plynech je teplo odpadní odvedené do ovzduší.

Příklad využití malé kogenerační jednotky pro polyfunkční dům s potřebou tepla pro vytápění (139 kW), vzduchotechniku (50 kW), ohřev teplé vody (50 kW) a ohřev tepla pro bazén (20 kW).

Technické údaje kogenerační jednotky:

- maximální elektrický výkon 20 kW
- maximální tepelný výkon 42 kW
- účinnost elektrická 28 %
- účinnost tepelná 60 %
- celková účinnost – využití paliva 90 %
- spotřeba zemního plynu při 100% výkonu 7,2 m³/h

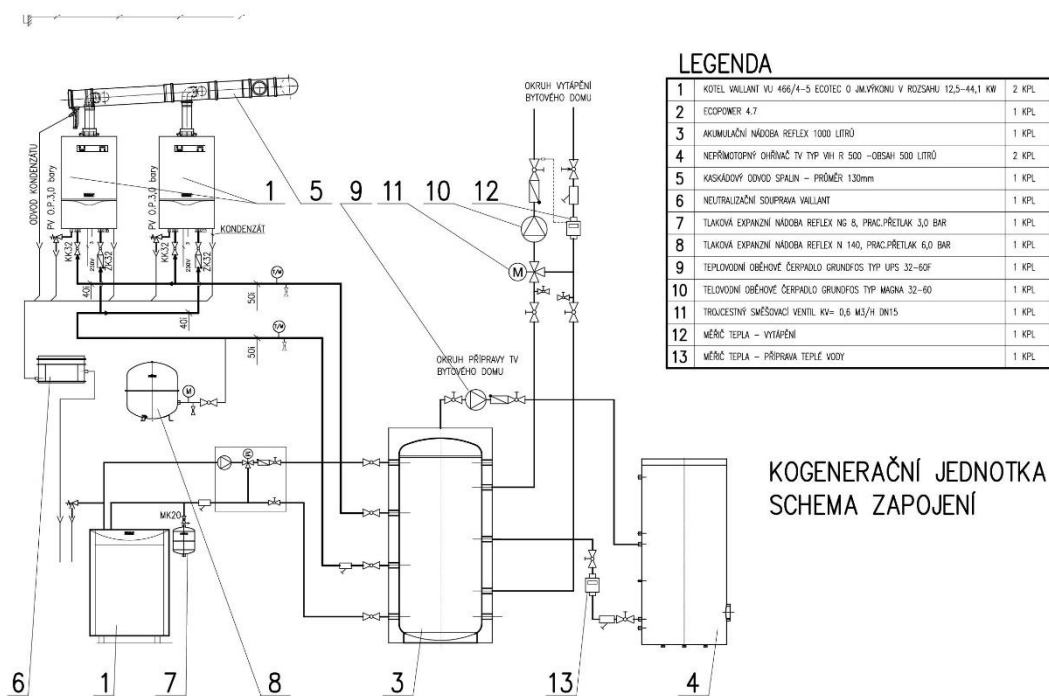
S ohledem na návratnost investice je předpoklad 12 hodin provozu za den po dobu 347 dní za rok. Jednotka vyrobí při max. provozu:

výroba tepla z KJ	629,6 GJ/rok
výroba elektrické energie z KJ	299,8 GJ/rok (83 280 kWh/rok).

Do ekonomického posouzení vstupují další náklady za spotřebovaný plyn, stálé měsíční platby, náklady na servis, vysoké pořizovací náklady na KJ a životnost zařízení. Na druhé straně je možno čerpat podporu pro výrobu KVET. V daném příkladu je možno jednotku provozovat po celý rok, kdy je stálá potřeba tepla pro ohřev teplé vody a pro provoz bazénu. Jednotka je zapojena do topného systému v kaskádě s kondenzačním plynovým kotlem.

Pořizovací náklady na malou kogenerační jednotku jsou vysoké a z důvodů návratnosti investice je nutný předpoklad pravidelného chodu zařízení, tedy souběhu potřeby tepla a výroby energie. V topném období lze vyrobené teplo využít pro vytápění a přípravu teplé vody s tím, že proměnlivou potřebu tepla vyrovnat akumulací nádrží. Vyrobenou elektřinu skladovat v bateriích dobu mimo provoz kogenerační jednotky. Prodej do sítě je nevýhodný.

Využití kogenerace pro rodinné domy je značně problematické a komplikované i výkupní cenou za kWh vyrobené el. energie. Využití může být např. v bytových domech, ale i zde je problém při 8 hodinovém provozu jednotky s využitím vyrobeného tepla.



Obrázek č.10: Schema zapojení malé kogenerační jednotky

6.2 Fotovoltaické panely

Výroba elektrické energie ze slunce je v současné době v ČR díky dotační politice uplatňované v minulosti poměrně rozvinutá. Její použití je motivováno snahou o zvýšení energetické nezávislosti budovy nebo možností snížit potřebu primární energie na provoz budovy, a tím i její uhlíkovou stopu. Hlavní charakteristikou fotovoltaické energie je schopnost vyrábět elektrickou energii přímou přeměnou slunečního záření, bez emisí. Nevýhodou je závislost na klimatických podmínkách. Sluneční záření je v zimním topném období, kdy je velká potřeba elektrické energie, minimální. Ideálním stavem by byl odprodej nespotřebované elektrické energie v letním období do rozvodné sítě a odběr v zimním období, kdy zisky ze slunce jsou malé.

Typický FV systém se skládá ze sérioparalelně pospojovaných FV panelů, DC/AC měniče napětí, rozvaděče a vnějších a vnitřních ochranných prvků. V případě systému s ostrovním provozem je zařízení doplněno akumulátory s jednotkou pro řízení dobíjení.

V případě nulových domů je ideální umístění na střeše domu. Při návrhu se vychází z podmínky, kdy vyrobená elektrina bude převážně spotřebována v objektu. U rodinných domů to v praxi znamená výkon 3 až 5 kWp.

Při návrhu FV pole znamená je třeba věnovat pozornost umístění FV panelů na budově. Vybrat ideální nasměrování a úhel sklonu a minimalizovat stínění FV pole. Zastínění části FV pole vede, vzhledem k paralelnímu zapojení k úbytku proudu a k nadměrnému zahřívání. Řešením je takto postižené části zapojit samostatně do série a minimalizovat problém na část sítě.

Pokud je objekt navržen s plocho přetíženou střechou je ideálním způsob uložení FV pole na nosnou konstrukci ukotvenou v ochranné vrstvě střešní krytiny, která může být navržena z vrstvy kačírku. Zátěž je s ohledem na vliv větru ev. sněhu doplněna například betonovými bloky. Toto řešení vyžaduje statické posouzení střešní konstrukce. Řešením je kotvení do nosné konstrukce střechy. Na sedlové střeše budou FV panely osazeny a kotveny pomocí střešních háků. Zatížení od vlastní technologie FV je malé, řádově 15 kg/m². V případě ploché střechy lze řešit orientaci vůči světovým stranám bez problémů. Pokud má dům šikmou střechu, záleží již na orientaci domu vůči světovým stranám. Ideální je orientace na jih s malým odklonem na západ a sklon panelů mezi 20° až 50°. Roční produkci energie můžeme vypočítat ze známého množství slunečního záření dopadajícího na plochu panelů v kWh/m²a. [3;25]

FV panel na bázi křemíku je schopen přeměnit pouze 17% energie dopadajícího záření na elektrickou energii. Vyvíjené organické solární panely by měly mít účinnost až 25%. Teoretická maximální účinnost je 34%. Do dalšího kroku je třeba zohlednit optické ztráty použitím součinitele 0,88. Ještě je třeba zohlednit účinnost měničů napětí a rozvodů pomocí součinitele 0,9. Jestliže je roční množství sluneční energie dopadající na plochu panelů 1000 kWh/m²a, bude roční produkce elektrické energie 103 kWh/m²a. Účinnost celého systému dosahuje 10%. [3;25]

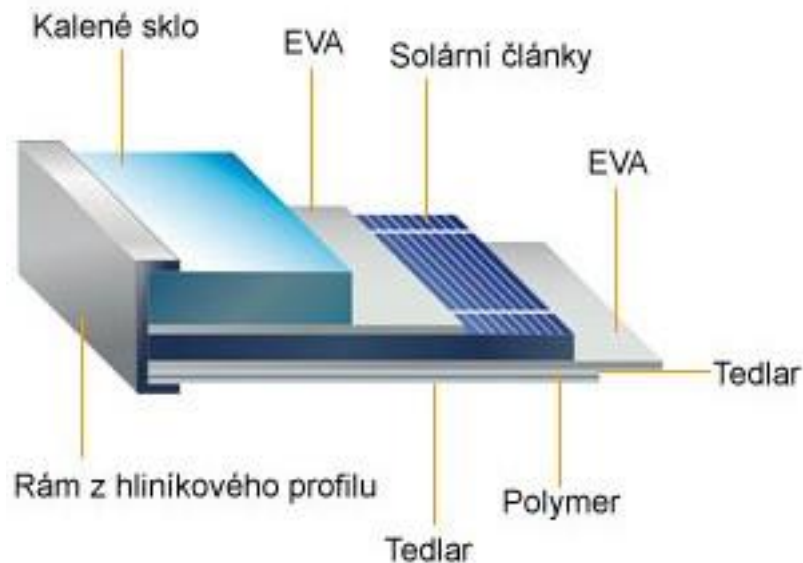
Typy solárních panelů

- Monokrystalické – panely s vysokou účinností 13 až 17%;
- Polykrystalické – panely s účinností 12 – 14% s nižší pořizovací cenou;

- Amorfní – levnější s menší účinností jen 7 až 9 %.

Fotovoltaický panel a jeho struktura

Solární panel tvoří matice článků, které jsou spojeny leťovanými spoji. Články chrání ze spodu pevná deska a z vrchu tvrzené leštěné sklo. Svým zpracováním jsou schopny odolat i nestandardním klimatickým podmínkám jako je například krupobití.



Obrázek č.11: Řez fotovoltaickým panelem

6.3 Solární termický systém

Solární termické systémy mohou být využity k ohřevu teplé vody, ale i pro podporu vytápění. Ideální umístění je na střeše objektu. Orientace ke světovým stranám je stejně důležitá jako u panelů FV. Podpora pro vytápění znamená zvětšení plochy kolektorů tak, aby vyrobené teplo mohlo být využito pro vytápění v přechodném období. Vhodné jsou k tomu nízkoteplotní systémy jako např. podlahové vytápění. Pro vlastní vytápění v zimním období je nevýhodné z důvodů nižšího slunečního záření a taky proto, že příliš zvětšená solární plocha vede k velkým přebytkům v letním období. Tím se snižuje ekonomická návratnost a dochází tepelné zátěži solárního systému. Z těchto důvodů je zpravidla topný systém využíván k ohřevu teplé vody.

Při návrhu solárního systému se vychází ze solárního stupně pokrytí, který udává podíl tepelných ztrát, který má pokrýt solární systém.

Solární systém tvoří následující hlavní součásti:

- kolektorové pole, které se skládá z plochých kolektorů využívajících sluneční záření
- solárního regulátoru
- čerpadlové skupiny, která zajišťuje oběh solární kapaliny
- zabezpečovací technika (pojistný ventil, solární expanzní nádoba)
- solární zásobník teplé vody

Lze využít tzv. drainback systémy, kdy po nahlátí zásobníku stéká solární kapalina do spodku nádoby a systém nestagnuje a nepřehřívá se.

Kolektorové pole lze poskládat z:

- plochých kolektorů
- vakuových trubicových kolektorů

7. Ekologické a ekonomické vyhodnocení

7.1 Ekologický benefit

Obecně je predikováno, že do 5 let může stoupnout cena energie až o 50%. Růst ceny energií je jedním z důvodů pro výstavbu nulového domu. Druhým důvodem je důraz na kvalitu vnitřního prostředí a na zatížení životního prostředí stavbou. Vliv budovy na životní prostředí vyjadřujeme uhlíkovou stopou danou provozem technických zařízení v budově, ale v současné době posuzujeme i vliv výstavby budovy daný výběrem stavebních materiálů, nároky na jejich výrobu, dopravu na stavbu, zabudování a až po demolici.

Současně projednávaná legislativa v ČR nejpozději v roce 2020 bude požadovat splnění vyšších požadavků oproti současnému stavu a navrhovat dům s téměř nulovou spotřebou energie, jako poněkud mírnější kategorii nulového domu.

V současné době je výběr stavebních systémů využitelných pro pasivní standard daný jednak tepelně technickými vlastnostmi stavebních konstrukcí při zajištění rozumné tloušťky obvodového pláště, ale i zajištěním požadované provzdušnosti obálky pasivní budovy. Na trhu je i velký výběr otvorových výplní (okna, dveře). Další konstrukce na hranici obálky jsou střešní konstrukce, které přispívají ke snížení tepelné ztráty, ale naopak omezují přehřívání interiéru v letním období. Při vhodném umístění budovy v krajině lze tak významně snížit tepelný výkon prostupem tepla obálkou budovy a zamezit požadavku na letní chlazení.

Pro zajištění kvalitního vnitřního prostředí v budově musíme zajistit hygienickou výměnu vzduchu. Tepelnou ztrátu větráním eliminujeme využitím systémů řízeného větrání s rekuperací větracího vzduchu s účinností min. 75%. Rekuperační jednotky mohou být vybaveny úpravou větracího vzduchu a doplněny čidly na zjišťování koncentrace CO₂ v prostoru domu. Tímto způsobem je zajištěna kvalita vnitřního prostředí domu při snížení požadavku na krytí tepelného výkonu větráním resp. infiltrací.

Splnění požadavků na nulový dům pro technické systémy budovy vyjadřují měrné hodnoty dílčí dodané energie v *kWh/m².rok*. Vliv budovy na životní prostředí pak ukazuje neobnovitelná primární energie daná výběrem vhodného energonositele. Velmi nevýhodný faktor neobnovitelné primární energie má elektrická energie ze sítě. Naopak velmi výhodný faktor má kusové dřevo nebo peletky.

Aby byla naplněna definice nulového domu, musíme zajistit výrobu energie v takové výši, aby z ročního pohledu byla celková spotřeba energie nulová. Jako možné způsoby výroby energie je výroba ze slunečního záření, kogenerace a část energie můžeme získat rekuperací šedé odpadní vody.

7.2 Ekonomický benefit

Požadavky na obálku nulového domu jsou přísnější než u pasivního domu. V obou případech je třeba splnit požadavky na vzduchotěsnost včetně požadovaného Blower testu.

Proti současnému stavu navýší náklady stavby cena za systém řízeného větrání s rekuperační jednotkou a rozvody po objektu. Oproti tomu je výhodou kvalitní vnitřní prostředí domu.

S ohledem na skutečnosti uvedené výše budou mít zdroje tepla relativně malý výkon, tj. do 5 kW. Nevýhodou je u tepelných čerpadel poměrně vysoká pořizovací cena a tedy delší návratnost investice při krytí poměrně malé roční spotřeby energie. Výhodné je tento zdroj tepla doplnit krbem na spalování dřeva v kombinaci s akumulací tepla. Tímto způsobem dojde k výraznému snížení nákladů na vytápění. Ohřev teplé vody je vhodné zajišťovat tepelným čerpadlem nebo termickými solárními kolektory. Tím ovšem rostou pořizovací náklady a zhoršuje se návratnost investice.

Abychom mohli mluvit o nulovém domě je třeba v rámci domu zajistit výrobu energie, nejlépe elektrické. Pro běžný rodinný dům je možno počítat s výrobou 3-5 kWp. Zase je třeba zohlednit cenu za pořízení fotovoltaického zdroje ve vazbě na možnou spotřebu energie přímo v řešeném domě a také v současnosti nevýhodné výkupní ceny při dodání vyrobené elektrické energie do sítě. Pořizovací cena sestavy fotovoltaické elektrárny 4,32 kWp s 12-ti panely a s akumulací přebytků do baterie je zhruba 312.000,00 Kč. V tomto případě lze čerpat dotaci ve výši 157.000,00 Kč. [26;27;28]

Pokud porovnáme rodinný dům s roční spotřebou tepla 2200 kWh/rok (měrná potřeba tepla na vytápění 15 kWh/rok) vychází:

pro pasivní dům

- | | |
|--|---------------|
| - z hlediska pořizovacích nákladů navýšení nákladů | 280.000,00 Kč |
| - prostá návratnost | 16 let |
| - návratnost při uvažování růstu cen energií | 12 let |

pro nulový dům (s FV elektrárnou)

- | | |
|--|---------------|
| - z hlediska pořizovacích nákladů navýšení nákladů | 600.000,00 Kč |
| - prostá návratnost | 11 let |
| - návratnost při uvažování růstu cen energií | 9 let |

8. Závěr

Další možnosti úspory energie v nulovém domě jsou například zimní predehřev větracího vzduchu v zemním kolektoru nebo využití tepla z odpadních vod. Stejně tak můžeme přispět ke kvalitnějšímu vnitřnímu prostředí domu nasáváním větracího vzduchu přes zemní kolektor a minimalizovat v letním období požadavky na chlazení. Chlazení, zvláště pak aktivní pomocí splitových systémů s sebou přináší požadavky na elektrickou energii a tím jde proti filosofii nulového domu. Možným řešením je pasivní chlazení v případě tepelného čerpadla s primární energií z vrtu.

Pokud se podaří tyto požadavky dobře skloubit, bude výsledkem dům se skutečně malou potřebou energie, který bude minimálně závislý na dodávkách energie zvenčí, např. v kombinaci se spalováním dřeva v krbu. Řešením je hlavně v umístění domu v krajině, použití stínících prvků a přírodních stěn (např. stromy a keře) v kombinaci se zelenou střechou dosáhneme snížení odváděného tepla do okolí, omezení akumulace tepla do zpevněných ploch a zvýšíme podíl zeleně. Jako další významná skutečnost je kvalita vnitřního klimatu domu, kdy převažuje toto hledisko nad úsporou tepla pro ohřev větracího vzduchu. Vhodnou volbou stavebního konstrukčního systému výrazně omezíme uhlíkovou stopu budovy.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/844 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov a směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti
- [2] Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov se změnami 230/2015 Sb.
- [3] Jan Tywoniak a kolektiv, Nízkoenergetické domy 2 Principy a příklady. První vydání, Praha 2008, vydala Grada Publishing, a.s., ISBN 978-80-247-2061-6
- [4] ČSN EN ISO 13790 Tepelné chování budov Výpočet potřeby energie na vytápění z května 2005
- [5] ČSN EN ISO 13370: únor 2009, Přenos tepla zeminou
- [6] ČSN EN 12831 Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu
- [7] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2
- [8] <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/239-energeticka-narocnost-budov-definice-pojmu>
- [9] Zákon č.406/2000 Sb. o hospodaření energií se změnami 359/2003 Sb. ,225/2017 Sb.
- [10] Klára Brotánková, Aleš Brotánek, Jak se žije v nízkoenergetický a pasivních domech. První vydání, Praha 2012, vydala Grada Publishing, a.s., ISBN 978-80-247-3969-4
- [11] <https://www.ceskestavby.cz/clanky/vzduchotesnost-pasivnich-domu-23720.html>
- [12] <http://www.pasivnidomy.cz>
- [13] Ing. Pavel Neuberger, Ph.D., Termomechanika, Praha 2007, ISBN 978-80-213-1634-8
- [14] HALLIDAY, D. et.al., Fyzika, Brno, VUTIUM, 2003, ISBN 978-80-214-1868-0
- [15] Roman Šubrt, Pavlína Zvánovcová, Martin Škopek, Katalog tepelných mostů 1, Energy Consulting, s.r.o., České Budějovice 2008, ISBN 978-80-254-2715-6
- [16] <https://www.ahf.cz/nase-sluzby/zelene-strechy/>
- [17] <http://www.tom-builder.cz/co-je-vlastne-budova-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/>

- [18] <https://vytapani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapani/16491-neobnovitelna-primarni-energie>
- [19] <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15180-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie-definice>
- [20] ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov – Část 3
- [21] <http://www.greenville.cz/intenzivni-zelena-strecha.html>
- [22] Energeticky soběstačné budovy 1/2018; Magazín Informační centrum ČKAIT, s.r.o.; www.ice-ckait.cz
- [23] <https://www.asio.cz/cz/energie-sedych-vod>
- [24] Budova a energie, 8.přednáška, Ing. Olga Rubinová, Ph.D.
- [25] Andreas Haller, Othmar Humm, Karsten Voss, Solární energie; Praha 2012, vydala Grada Publishing, a.s., ISBN 80-7169-580-7
- [26] <https://www.joyce-energie.cz/sestava-12-panelu/>
- [27] <https://www.porsennastavebni.cz/cena-pasivniho-domu/srovnavaci-tabulka>
- [28] <http://www.nulovedomy.org/prakticke-informace-a-rady-pro-stavbu/navratnost-investice-do-pasivniho-a-nuloveho-domu.htm>