

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2020

**ANNA
FALTYSOVÁ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

IMPLEMENTACE PŘÍRODNÍCH MATERIÁLŮ VE STAVEBNICTVÍ S OHLEDEM NA BLESKOVOU
ODOLNOST

IMPLEMENTATION OF NATURAL MATERIALS IN THE BUILDING SECTOR WITH RESPECT TO THE
LIGHTNING DISCHARGE RESISTANCE

STUDIJNÍ PROGRAM

ELEKTROTECHNIKA, ENERGETIKA A MANAGEMENT

STUDIJNÍ OBOR

MANAGEMENT ENERGETIKY A ELEKTROTECHNIKY

VEDOUCÍ PRÁCE

ING. JAN MIKEŠ, PH. D

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce. Dále prohlašuji, že jsem uvedla veškeré informační zdroje v souladu s metodickým pokynem o dodržování etických principů při psaní vysokoškolských prací.

14. 8. 2020

.....

Podpis diplomanta



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Faltysová** Jméno: **Anna** Osobní číslo: **458941**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Management energetiky a elektrotechniky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Implementace přírodních materiálů ve stavebnictví s ohledem na odolnost před bleskovým výbojem

Název diplomové práce anglicky:

Implementation of natural materials in the building sector with respect to the lightning discharge resistance

Pokyny pro vypracování:

Charakterizujte přírodní materiály používané ve stavebnictví
Otestujte vybrané přírodní materiály s ohledem na účinky bleskového proudu
V případové studii proveďte ekonomicko-technické posouzení záměny konvenčních za přírodní stavební materiály

Seznam doporučené literatury:

Rakov, Vladimír A. Lightning: physics and effects. New York: Cambridge University Press, 2002. 687 s. ISBN 0-521-58327-6.
Lightning Protection Guide. Dehn und Söhne, Dostupné online (<https://www.dehn-ua.com/en/lightning-protection-guide>).
IEC 62305 (ČSN 62305): 2010-12 Protection against lightning/Ochrana před bleskem - technická norma
IEC 62561 (ČSN 62561): Lightning protection system components (LPSC)/Součásti systému ochrany před bleskem (LPSC)

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Mikeš, Ph.D., ČVUT FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **24.01.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **14.08.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2021**

Ing. Jan Mikeš, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Janu Mikešovi, Ph. D, za pedagogické a odborné vedení.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zaměřuje na analýzu přírodních materiálů splňujících ekologická kritéria ve stavitelství a současně je návrhem vhodných netradičních stavebních materiálů v porovnání s konvenčními. Úvodní část charakterizuje životní prostředí ve vztahu k současnému stavebnímu průmyslu. Dále je uvedena definice přírodních a recyklovatelných materiálů používaných v současnosti v České republice. Popsány jsou jejich vlastnosti a nejčastější oblasti použití. Cílem práce je nejenom posoudit vhodnost alternativních, převážně přírodních a dobře recyklovaných, materiálů ve vztahu k jejich užité hodnotě pro plnohodnotný uživatelsky výběrový komfort objektu, ale i zhodnotit takto postavené objekty z hlediska odolnosti a bezpečnosti vůči bleskovým výbojům. Hodnocení se zaměřuje konkrétně na rodinné domy. V práci byla použita metoda zkoušení odolnosti materiálů pomocí impulzního proudového generátoru s vlnou tvaru 10/350 μ s. Práce obsahuje i případovou studii, která posuzuje ekonomické i technické aspekty záměny konvenčních materiálů za ekologické nebo přírodní.

Abstract

This diploma thesis is focusing on analysis of natural materials fulfilling construction ecological standards and are also optimal as substitution for conventional building materials. First part of this thesis characterizes the natural environment in relation to the present conventional construction industry. Then there is the definition of natural and recyclable materials currently used in Czech Republic. There is a description of their features and the most used fields of application. The aim of this thesis is to evaluate if alternative, mainly natural and easily recyclable materials are suitable for construction in terms of their useful value for user comfort on the one hand, and in terms of durability and protection against lightning discharge on the other hand. Evaluation is focused particularly on family houses. Method for testing protection of the material against lightning discharge used in this thesis is using an impulse high current generator with waveform 10/350 μ s. Another part of this thesis contains also case study concentrating on economical and technical aspects of switching between conventional and natural materials.

Obsah

1.	Stavební průmysl a životní prostředí	13
1.1.	Jak stavěli naši předkové	13
1.2.	Permakultura	14
1.3.	Obytné budovy	15
1.3.1.	Typologie obytných budov v současnosti	16
1.3.2.	Konstrukce domu	18
1.4.	Životní cyklus staveb	20
1.4.1.	Způsob výpočtu životního cyklu	20
1.4.2.	Hodnocení životního cyklu staveb	20
1.4.3.	Životnost staveb	21
1.4.4.	Časová změna hodnoty peněz, cen stavebních materiálů, práce a energií	21
1.5.	Tepelná ochrana budov	22
1.5.1.	Energetická náročnost budov	23
1.5.2.	Součinitel tepelné vodivosti	24
1.5.3.	Tepelný odpor	24
1.5.4.	Součinitel prostupu tepla	26
1.6.	Trvale udržitelný rozvoj	29
1.6.1.	Emise skleníkových plynů	29
1.7.	Dopad stavenišť na životní prostředí	31
1.7.1.	Znečištění ovzduší	31
1.7.2.	Znečištění vody	32
1.7.3.	Hluk ze stavenišť	32
1.7.4.	Omezení znečištění	32
2.	Přehled přírodních materiálů	33
2.1.	Materiály rostlinného původu	33
2.1.1.	Dřevo	33
2.1.2.	Sláma	34
2.1.3.	Technické konopí	35
2.1.4.	Len	36
2.2.	Materiály živočišného původu	37
2.2.1.	Ovčí vlna	37
2.3.	Okrajové organické materiály	38
2.4.	Materiály anorganické	38
2.4.1.	Hlína	38
2.5.	Recyklované materiály	39

2.5.1.	PackWall	39
2.5.2.	Celulóza	40
2.5.3.	Plastové tašky na střechu “Capacco”	41
3.	Komparace alternativní stavby s konvenční	42
3.1.	Typy dřevostaveb	43
3.1.1.	Skeletové dřevostavby	45
3.1.2.	Two by Four (TBF)	46
3.1.3.	Panelové dřevostavby	47
3.1.4.	Sruby	48
3.1.5.	Roubenky	49
3.2.	Experimentální vzorky	50
3.2.1.	Vstupní podmínky	50
3.2.2.	Výpočtové vlastnosti použitých materiálů	50
3.2.3.	Obvodové nosné stěny	51
3.2.4.	Střechy	57
3.2.5.	Výroba vzorků	59
3.3.	Bleskový výboj	63
3.3.1.	Inženýrská aproximace bleskového proudu exponenciální funkcí	67
3.3.2.	Napodobení bleskového proudu pro účely zkoušek	69
3.3.3.	Testování vzorků na účinky bleskového výboje	70
3.3.4.	Vyhodnocení testu na účinky bleskového výboje	71
3.4.	Ekonomicko-technické posouzení záměny konvenčních materiálů za přírodní	72
3.4.1.	Vstupní parametry	72
3.4.2.	Varianty hodnocení	74
3.4.3.	Sledované parametry	74
3.4.4.	Srovnání nákladů za životní cyklus dle konstrukce	78
3.5.	Vícekritériální hodnocení variant	81
3.5.1.	Výběr kritérií	82
3.5.2.	Výběr hodnocených materiálů	83
3.5.3.	Stanovení vah a ohodnocení kritérií	83
3.5.4.	Vybrané hodnoty kritérií	86
3.5.5.	Hodnocení variant	89
3.5.6.	Zhodnocení výsledků	90
3.6.	Rozhodnutí	92
4.	Závěr	93
5.	Soupis zdrojů a literatury	94
6.	Přílohy	99

Seznam obrázků

Obrázek 1 Permakulturní květina – symbol propojení všech oblastí v jeden celek. [32]	14
Obrázek 2 Rozdělení domů dle umístění na pozemku [33]	15
Obrázek 3 Tepelné úniky rodinného domu [44]	23
Obrázek 4 Celkový tepelný odpor [53]	26
Obrázek 5 Průběh teploty v konstrukci při prostupu tepla [22]	27
Obrázek 6 Složení betonu [59]	31
Obrázek 7 Porovnání vlastností výrobků ze slámy [66]	35
Obrázek 8 Cyklus výroby [5]	39
Obrázek 9 Použití PackWall [5]	40
Obrázek 10 Použití celulózy [69]	40
Obrázek 11 Plastová krytina [70]	41
Obrázek 12 Použití krytiny capacco [70]	41
Obrázek 13 Lehký skelet [58]	45
Obrázek 14 Těžký skelet [81]	46
Obrázek 15 Prvky TBF konstrukce [17]	47
Obrázek 16 Panelová výstavba [23]	48
Obrázek 17 CLT panely [80]	48
Obrázek 18 Roubenka [82]	49
Obrázek 19 Řez I nosníkem, vlastní tvorba	59
Obrázek 20 Vizualizace konstrukce rámu, vlastní tvorba	59
Obrázek 21 Výroba rámu	60
Obrázek 22 Zaklopení rámu	60
Obrázek 23 Řez vzorkem	60
Obrázek 24 Izolace v rámu	60
Obrázek 25 Příprava směsi na omítku	61
Obrázek 26 Aplikace penetrace	61
Obrázek 27 Aplikace hliněné omítky	62
Obrázek 28 Proces schnutí hliněné omítky	62
Obrázek 29 Kaseinový nátěr	62
Obrázek 30 Kresba vaječným kličem	63
Obrázek 31 Průběh proudu [85]	67
Obrázek 32 Schématické znázornění možného uspořádání generátoru bleskových proudů	69
Obrázek 33 Účinek bleskového proudu na vzorku č. 1	71
Obrázek 34 Účinek bleskového proudu na vzorku č. 3	71
Obrázek 36 Vizualizace typického domu [76]	73
Obrázek 37 Doporučený postup vícekritériálního hodnocení [9]	81

Seznam grafů

Graf 1 Vývoj počtu dokončených rodinných domů [34].....	16
Graf 3 Zastoupení velikosti bytů z dokončených rodinných domů [34].....	16
Graf 2 Počet dokončených staveb dle kraje [34].....	18
Graf 4 Vývoj HB indexu [36].....	22
Graf 5 Vývoj počtu dřevostaveb 2000 - 2019 [34].....	42
Graf 6 Zastoupení technologií nosných konstrukcí rodinných domů [34].....	44
Graf 7 Zastoupení technologií nosných konstrukcí rodinných domů 2019 [34].....	44

Seznam tabulek

Tabulka 1 Počet dokončených staveb dle kraje 2019 [34].....	17
Tabulka 2 Počet dokončených rodinných domů dle konstrukce [34]	19
Tabulka 3 Hodnoty tepelných odporů při prostupu tepla – [84]	25
Tabulka 4 Hodnoty součinitele prostupu tepla [84]	28
Tabulka 5 Podíl dokončených dřevostaveb [34]	43
Tabulka 6 Vlastnosti materiálů fasády [78][79].....	50
Tabulka 7 Vlastnosti materiálů na bednění [78][79].....	51
Tabulka 8 Vlastnosti materiálů na izolaci [78][79].....	51
Tabulka 9 Klasifikace budov pro hladiny LPL [85].....	64
Tabulka 10 Parametry bleskového proudu [85]	65
Tabulka 11 Vztah aproximovaného proudu [85].....	68
Tabulka 12 Zkušební parametry vlny 10/350 μ s [85]	68
Tabulka 13 Plochy konstrukcí typického domu dle [24].....	72
Tabulka 14 Popis varianty 1 a 2	74
Tabulka 15 Popis varianty 3	74
Tabulka 16 nabídkové ceny dle druhu konstrukce.....	75
Tabulka 17 Investiční hodnota variant	75
Tabulka 18 Roční náklady energií za dobu hodnocení	76
Tabulka 19 Náklady na likvidaci dle konstrukce	77
Tabulka 20 Celkové náklady na likvidaci stavby dle konstrukce	77
Tabulka 21 Roční náklady na metr čtvereční při době hodnocení 30 let	78
Tabulka 22 Čistá současná hodnota za 30 let.....	78
Tabulka 23 Roční náklady na metr čtvereční při době hodnocení 50 let	79

Tabulka 24 Čistá současná hodnota za 50 let.....	79
Tabulka 25 Roční náklady na metr čtvereční při době hodnocení 90 let	80
Tabulka 26 Čistá současná hodnota za 90 let.....	80
Tabulka 27 Vybraná kritéria a jejich jednotky	82
Tabulka 28 Vybrané materiály k hodnocení	83
Tabulka 29 Vybraná kritéria a jejich váhy	84
Tabulka 30 Bodové hodnocení kritérií	85
Tabulka 31 Hodnoty kritérií - konstrukční systém [78][79].....	86
Tabulka 32 Hodnoty kritérií - fasáda [78][79]	87
Tabulka 33 Hodnoty kritérií - izolace [78][79].....	88
Tabulka 34 Hodnoty kritérií - deskový materiál [78][79].....	89
Tabulka 35 Pořadí konstrukčních systémů.....	90
Tabulka 36 Pořadí deskových materiálů	90
Tabulka 37 Pořadí izolace	91
Tabulka 38 Pořadí fasádních systémů	91
Tabulka 39 Ideální kombinace materiálů na rodinný dům.....	92

Úvod

Ekologické důsledky současných životních trendů se projevují především v krajině – např. zvýšením druhové a ekosystémové diverzity, posílením rozmanitosti biotopů, velkoplošnou nivelací, rozsáhlým odvodňováním, snížením ekologické stability a biodiverzity, erozí půdy, kvalitou povrchových i podzemních vod, atd. Následky těchto změn mohou být devastující, proto jsou toto důvody, které mne vedly ke studiu významu a užití alternativních zdrojů, v tomto případě stavebních materiálů, které jsou specifikované dále v této diplomové práci. Faktory typu cena vs. kvalita, syntetická výroba vs. minimální zátěž na životní prostředí, tepelná izolační schopnost vs. paropropustnost, tepelná pohoda vs. přirozené přírodní prostředí, odolnost vůči klimatickým a atmosférickým jevům, aj. jsou dalším předmětem zájmu předložené diplomové práce. Kvantitativním a kvalitativním východiskem se pro mne staly klíčové ekonomické faktory, které jsem zhodnotila v ekonomicko-technické případové studii zaměřené na vícekriteriální posouzení celého návrhu záměny konvenčních materiálů za přírodní. Reakce alternativních materiálů jsem sledovala bezpečnostním kritériem, za které lze považovat ohrožení objektu přímým zásahem bleskového výboje, vznikem následného požáru nebo mechanickou destrukcí stability objektu. Pozornost zkušebních techniků se velmi často soustřeďuje na testování komponent ochranných systémů, jejichž primárním cílem je bezpečné svedení bleskového proudu do země, avšak méně častěji jsou řešeny možné vazby bleskových proudů k samotným stavebním materiálům. Právě poškození stěn materiálů od bleskového proudu může vést k požáru či k destrukci celé stavby, a tím i k ohrožení života obyvatel dané stavby.

1. STAVEBNÍ PRŮMYSL A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

1.1. JAK STAVĚLI NAŠI PŘEDKOVÉ

Stavební činnost lidstva lze datovat přibližně od 3. tisíciletí př. n. l., kdy si tehdejší lidé již stavěli obydlí a úkryty pro jídlo. Nejčastěji využívali jeskynní systémy, stavěli zemnice, dřevěné domy nebo klasické chýše. Charakteristickým materiálem pro ně byla hlína, větve, kmeny stromů a kameny. Tento způsob stavitelství lze považovat za ekologický a udržitelný, jelikož se stavělo ze snadno dostupných přírodních materiálů. [2]

V průběhu historického vývoje stavebních materiálů se zásadně neměnilo jejich využití, což dokládají archeologické nálezy. Velký vliv na výběr materiálu měla lokalita, která ovlivňovala dostupnost a způsob jejich úpravy (nejdříve dřevo a kámen). [20] K prvnímu doloženému transferu stavebních materiálů docházelo až s objevem klíčových technických prostředků, jako byly kladky, šikmé plošiny, kola, šroubovice nebo vozíky. Prvními stavbami s nosnou konstrukcí ze dřeva byly příbytky lovců a rybářů. [40] S odklonem od kočování a s přechodem na usedlý způsob života v období neolitu, který generoval zemědělství a chovatelství, vznikaly trvalejší stavby obydlí s delší životností. Uspořádány byly již do vyšších organizačních jednotek – např. do osad či sídlišť s ochrannou palisádou a příkopem. Rozvoj technologické vyspělosti při stavbě obydlí, zejména opracování nosných prvků a jejich spojů, byl přímo svázán s vývojem nástrojů a měnicími se klimatickými podmínkami. [40] V Mezopotámii se již začaly stavět paláce, chrámy či městské domy. Z této doby pochází i akvadukty či první mosty.

K výše zmíněným materiálům se v tomto období začalo používat opracované dřevo, rákos či přírodní asfalt. [28] Následným obdobím pro rozvoj dřevostaveb v dnešním slova smyslu bylo antické Řecko a Řím. V Číně a Japonsku se dochovaly rozsáhlé mnohopodlažní dřevěné komplexy zejména sakrálních staveb, které jsou více než tři tisíce let staré. Od 7. století se v Evropě rozvíjela znalost těžkých skeletových a hrázděných staveb. [40]

Byzantské období je charakteristické použitím hliněných fresek, terakoty, dřevěných či kamenných prvků. [28]. Dokladem o rozvoji dřevostaveb jsou i nálezy prvních osadníků z období po objevení Ameriky. [40]

Dřevo následně pro svoji vyšší cenu a menší dostupnost přestává být oblíbeným stavebním materiálem a celodřevěná stavba se vytrácí i z oblasti lidového stavitelství. Zpřísnění požárních a stavebních předpisů, které užití dřeva pro bytovou výstavbu výrazněji omezují, postihují výstavbu nejen ve městě, ale i v méně osídlených lokalitách. Dřevo jako konstrukční materiál je vytlačováno do oblasti návrhu stropních a střešních konstrukcí. V průběhu 19. století nemělo dřevo technicky a ekonomicky přijatelnou náhradu. [40].

1.3. OBYTNÉ BUDOVY

Norma ČSN 73 4301 z roku 2004 definuje obytnou budovu jako stavbu určenou pro trvalé bydlení, ve které alespoň 2/3 podlahové plochy připadají na byty.

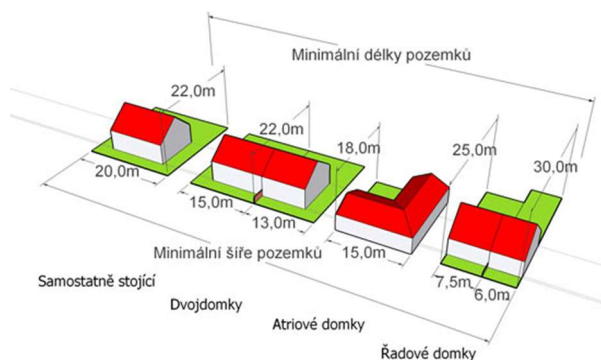
Dále dělí obytné budovy podle způsobu bydlení a začlenění do okolí na:

- rodinné domy,
- bytové domy,
- domy s bydlením kolektivního charakteru (kolektivní domy),
- integrované obytné struktury,
- bytové domy s vestavěnou občanskou vybaveností (polyfunkční domy).

Budova podle normy ČSN 73 4301 může mít maximálně tři samostatné byty, dvě nadzemní a jedno podzemní podlaží a podkroví. Diplomová práce se dále zaměřuje jen na charakteristiku rodinných domů.

Rodinné domy lze dělit dle umístění na pozemku na [4]:

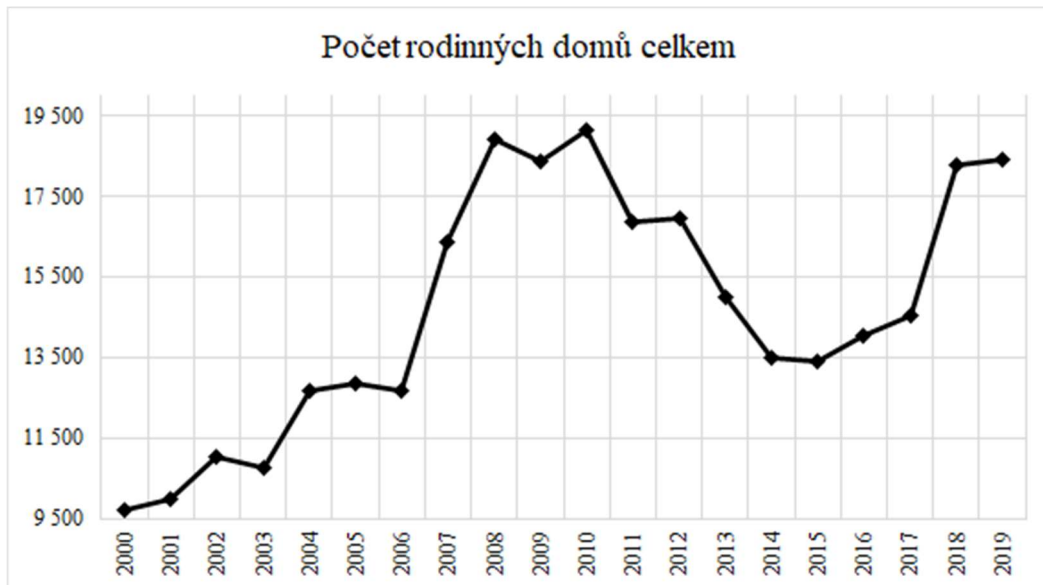
- volně stojící,
- dvojdomky,
- řadové domy,
- atriové domy,
- terasové domy.



Obrázek 2 Rozdělení domů dle umístění na pozemku [33]

Výstavba rodinných domů roste již pátým rokem; minulý rok, tj. 2019, se dokončilo 18 390 rodinných domů, ve kterých se vybudovalo 19 229 bytových jednotek. Podle Českého statistického úřadu (ČSÚ) bylo v roce 2019 vynaloženo na výstavbu rodinných domů přes 68 miliard korun, náklady na jeden dům tedy průměrně činily přibližně 3,6 milionu korun. [34]

Graf 1 Vývoj počtu dokončených rodinných domů [34]

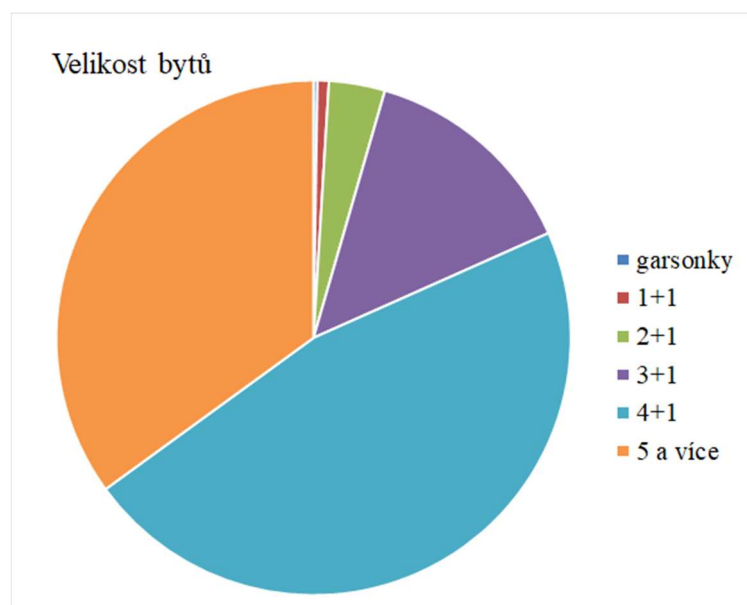


Pro stavbu obytných budov je povoleno použití jen takových materiálů, které nepříznivě neovlivňují vnitřní prostředí únikem škodlivin. (ČSN 73 4301) Mikroklíma obytného prostoru ovlivňuje přítomné osoby chemickou kvalitou ovzduší, fyzikálními vlastnostmi prostředí i vlastní činností člověka.

1.3.1. TYPOLOGIE OBYTNÝCH BUDOV V SOUČASNOSTI

Typický rodinný dům dokončený v roce 2019 měl nejčastěji dispozici 4+1 a obytnou plochu průměrně 92 m². Výstavba rodinného domu trvala v průměru 39,6 měsíců, tj. více než 3 roky. Počty postavených rodinných domů v krajích České republiky (ČR) se velmi liší – nejčastěji se staví v lokalitě Středočeského kraje, dlouhodobý trend výstavby je zde stabilní.

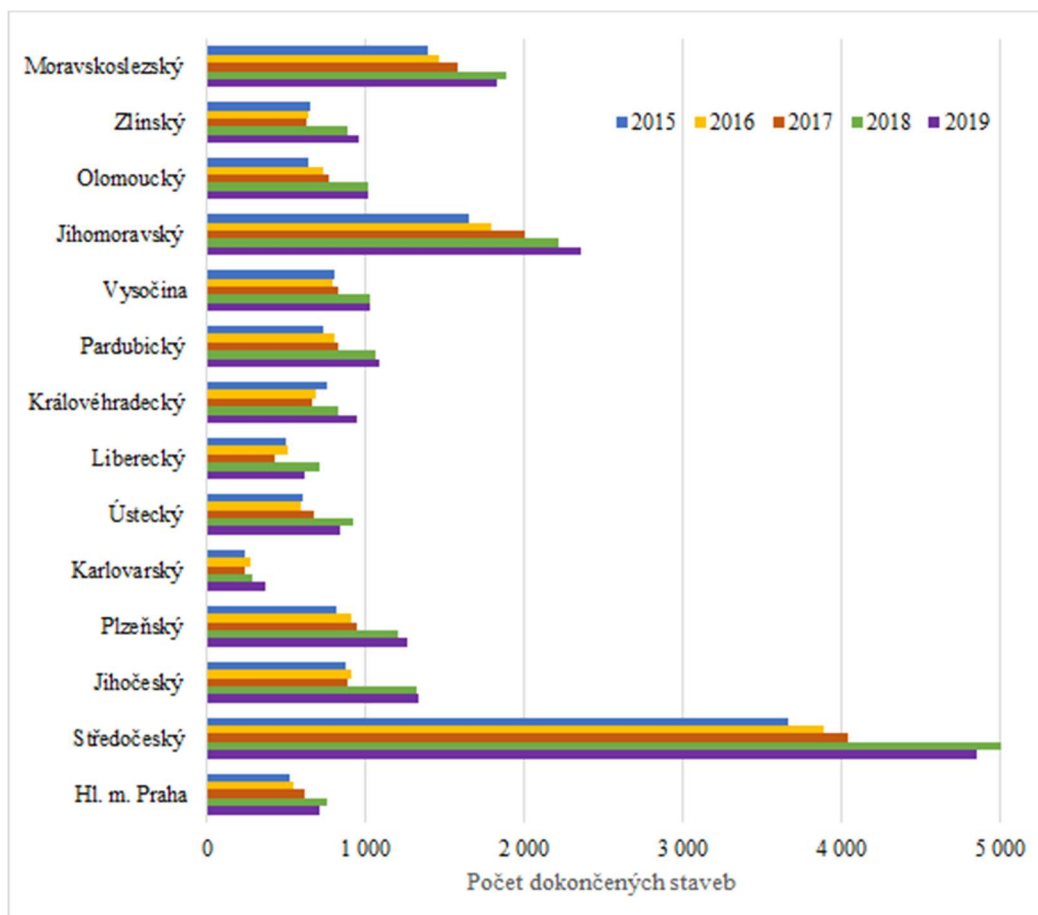
Graf 2 Zastoupení velikosti bytů z dokončených rodinných domů [34]



Tabulka 1 Počet dokončených staveb dle kraje 2019 [34]

Kraj	Počet dokončených staveb	%
Hl. m. Praha	711	3,70 %
Středočeský	4 854	25,20 %
Jihočeský	1 331	6,90 %
Plzeňský	1 264	6,60 %
Karlovarský	365	1,90 %
Ústecký	840	4,40 %
Liberecký	621	3,20 %
Královéhradecký	948	4,90 %
Pardubický	1 087	5,70 %
Vysočina	1 034	5,40 %
Jihomoravský	2 363	12,30 %
Olomoucký	1 013	5,30 %
Zlínský	965	5,00 %
Moravskoslezský	1 833	9,50 %

Graf 3 Počet dokončených staveb dle kraje [34]



Z grafu výše je zřejmé, že většina postavených rodinných domů má 4 a více místností v jedné bytové jednotce, vícegenerační bydlení je méně časté. Z nízkého počtu garsonek a bytů o velikosti 1+1 lze usoudit, že se stavěly jako doplňkové, tedy takové, kdy se v rodinném domě např. vytvořily dvě bytové jednotky pro vícegenerační bydlení.

1.3.2. KONSTRUKCE DOMU

V současnosti se konstrukční návrhy budov často odvíjí od podmínek dotačních programů, např. *Nová zelená úsporám*, kdy jsou některé požadavky na dosažené hodnoty zpřísněné oproti vyhlášce č. 78/2011 o energetické náročnosti budov.

Z tabulky níže je viditelné, že konstrukční řešení rodinných domů je v naprosté většině zděné (více než 80 %). V posledních letech se zvyšuje zájem o dřevostavby, jejichž výstavba má rostoucí trend. V roce 2019 se postavilo 2 749 dřevostaveb, což činí 15 % z celkového počtu. [34]

Tabulka 2 Počet dokončených rodinných domů dle konstrukce [34]

	2015	2016	2017	2018	2019
Počet rodinných domů celkem	13 412	14 015	14 548	18 287	18 390
zděné (cihly, tvárnice)	11 212	11 560	11 900	14 837	15 288
montované (panely)	326	279	394	352	216
dřevěné	1 791	2 013	2 159	2 945	2 749

Uvedené domy měly nejčastěji vrstvenou konstrukci. Norma ČSN 73 4301 doporučuje u těchto konstrukcí dodržovat následující pořadí vrstev:

- vnitřní nosná a akumuláční vrstva,
- parotěsná vrstva,
- tepelně izolační vrstva,
- ochranná vnější vrstva.

Vrstvy v konstrukci je nutné řadit tak, aby se jejich difuzní odpory směrem ven snižovaly.

Podle STÚ-K, a.s. [24] byl rodinný dům po roce 2011 postaven nejčastěji jako zděná dvoupodlažní budova s jednou bytovou jednotkou o ploše 170 m². Budova je nejčastěji z příčně děrovaných keramických cihelných bloků tloušťky 380 mm nebo plynosilikátových tvárnic, a je kontaktně zateplená s větranou či nevětranou fasádou. Podlahu nepodsklepené budovy tvoří železobetonová deska tl. 150 mm s 120 mm polystyrenu, strop je nejčastěji z železobetonové desky tl. 180 mm s izolací z minerálních vláken. Střecha je plochá nebo šikmá a je tvořena dřevěným krovem s keramickou krytinou [24].

1.4. ŽIVOTNÍ CYKLUS STAVEB

Schleger et al. [19] uvádí, že při návrhu budovy je třeba vzít v potaz celý životní cyklus – těžbu surovin, výrobu materiálu, dopravu, stavbu budovy, provoz budovy a život v ní; její likvidaci a následné zpracování vzniklého odpadu. Hodnocením životního cyklu produktu se zabývá metoda LCA (*life cycle assessment*), která je hojně využívána v mnoha technických, ekonomických i společenských oborech. Dalšími metodami jsou *risk assessment* (odhad rizika), *environmental compatibility* (slučitelnost s životním prostředím) nebo *product line analysis* (analýza skupiny produktů).

Hodnocení environmentálního působení lidské činnosti může zabránit transferu nežádoucích vlivů napříč posuzovaným procesem. Nežádoucí jev je možné na jednom místě eliminovat, avšak změna se může projevit v jiné fázi procesu – tedy se životní prostředí může poškodit jinde či jiným způsobem.

1.4.1. ZPŮSOB VÝPOČTU ŽIVOTNÍHO CYKLU

Lenoch [11] přirovnává projekt výstavby k dynamickému systému, který se vyvíjí v uzavřeném cyklu. Životní cyklus staveb lze rozdělit do těchto fází:

- předinvestiční,
- investiční,
- provozní,
- likvidační.

Předinvestiční fáze zahrnuje stanovení cíle stavby a požadovaný způsob řešení stavby. Nejpracnější ze všech je investiční fáze, která spočívá především v přípravě a realizaci projektu. Náklady vycházející z existence stavby se řadí do provozní fáze a zahrnují převážně náklady na údržbu a modernizaci stavby. Likvidační fáze je spojená s pracemi na likvidaci a odstranění odpadu ze stavby. [1]

1.4.2. HODNOCENÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU STAVEB

Kočí et al. [8] popisuje *Life cycle assessment* (dále jako LCA): “... jako analytickou metodu hodnocení environmentálních dopadů lidských produktů – výrobků, služeb či technologií. Metoda LCA přistupuje k hodnocení s ohledem na celý životní cyklus – zahrnuje dopady od získávání surovin, výroby produktu přes užívání až po odstranění či případnou recyklaci”.

Postup metody LCA je normativně upraven v ČSN EN ISO 14040 a v ČSN EN ISO 14044. Norma rozděluje studii LCA do čtyř fází:

- fázi stanovení cíle a rozsahu,
- fázi inventarizační analýzy,
- fázi posuzování dopadu,
- interpretační fázi.

Cílem metody je zmapování a optimalizování životního cyklu produktu s ohledem na životní prostředí. Pomocí LCA lze posoudit a porovnat vliv na životní prostředí jednotlivých produktů. Metoda klade důraz především na sledování množství látek vypouštěných do ovzduší, vody i půdy, a na spotřebu energií. [8]

1.4.3. ŽIVOTNOST STAVEB

Směrnice 89/106/EHS definuje životnost staveb jako dobu, během níž charakteristické ukazatele stavby budou na hodnotě slučitelné s plněním základních požadavků. “Mnohé historické stavby (zejména kamenné) přetrvávají celá staletí, jiné zmizí po několika desetiletích. Původně se celková životnost staveb s tvrdou krytinou předpokládala podle způsobu a místa postavení v rozmezí od 150 do 250 roků.” [49] Stávající předpisy předpokládají životnost 100 let, ve vyhlášce 441/2013 Sb. se pro výpočet ročního opotřebení stavby užívá 1 %.

1.4.4. ČASOVÁ ZMĚNA HODNOTY PENĚZ, CEN STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ, PRÁCE A ENERGIÍ

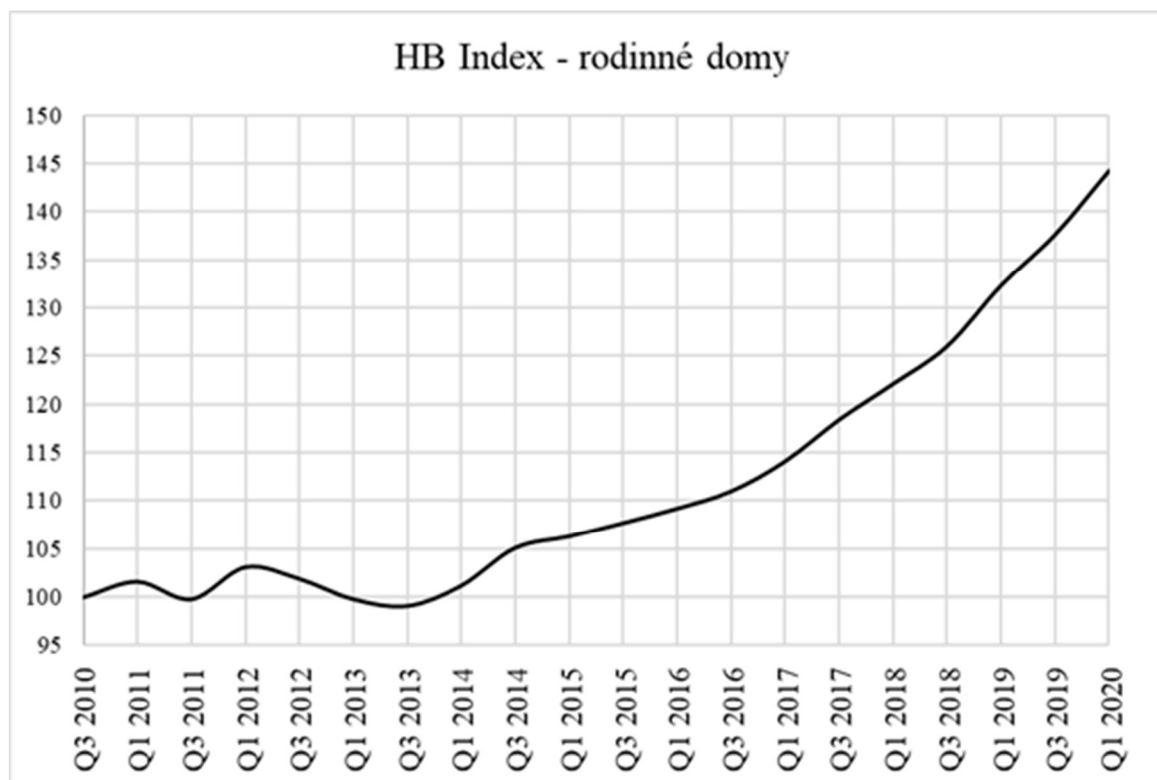
Životnost staveb se počítá na desítky až stovky let, během takové časové etapy dochází ke změně hodnoty peněz. Tuto změnu hodnoty peněz lze vyjádřit inflačním koeficientem, který se využije pro přepočet tzv. diskontováním. Výpočet je založen na principu složitého úrokování. [11]

Vývojem, během životnosti stavby, projde většina nákladových položek, současně se může měnit cena stavebního materiálu, cena energií i stavebních prací. Predikovat nebo vypočítat změny ve stavebním průmyslu či finančním sektoru je v dlouhodobém horizontu zatížené vysokou mírou nespolehlivosti. Pro víceleté odhady se nejčastěji používá předpoklad stejného tempa vývoje inflace a cen. [11]

1.4.4.1. HB INDEX

HB index je ukazatel vývoje hodnot nemovitostí, sledovaný od roku 2010 a spravovaný *Hypoteční bankou*. Jeho cílem je zhodnotit realitní trh a jeho vývoj.

Graf 4 Vývoj HBI indexu [36]

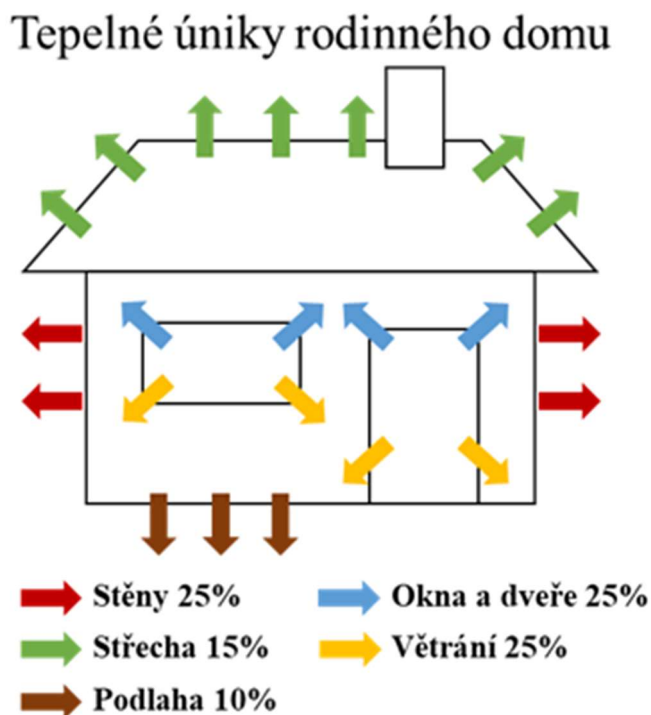


1.5. TEPELNÁ OCHRANA BUDOV

Norma ČSN 73 0540 o tepelné ochraně budov stanovuje “tepelně technické požadavky pro navrhování a ověřování budov s požadovaným stavem vnitřního prostředí při jejich užívání, které zajišťují plnění základních požadavků na stavby, zejména hospodárné splnění základního požadavku na úsporu energie a tepelnou ochranu budov podle zvláštního předpisu a zajištění ochrany zdraví, zdravých životních podmínek a životního prostředí.”

Norma ČSN 73 0540 platí pro všechny nově postavené budovy, změny užívání budov a pro větší změny dokončených budov. Tepelná ochrana budov sleduje vývoj konstrukcí a jejich přibývajících náročností. Ošetřuje problémy nejen s tepelnou izolací, ale i s tepelnými mosty, které jsou často podceňovány ze strany stavebníků. Nedodržetím normy se stavebníci vystavují riziku konstrukčních chyb, zvýšené citlivosti konstrukce s ohledem na špatné užívání stavby a neprovádění nutné údržby.

Výše uvedená norma může být použita jako podrobný návod na stavbu energeticky nenáročné budovy pro architekty a projektanty zejména nízkoenergetických budov. Informace obsažené v normě pokrývají celou škálu typů staveb domů i historických objektů. Doporučuje jak a z čeho stavět, izolovat a zateplovat jednotlivé části. Tepelná izolace funguje nejen proti chladu, ale i proti teplu, jelikož chrání konstrukci proti prostupu tepla/chladu zvenčí do vnitřního prostředí. Stanovuje požadavky na šíření tepla konstrukcí, součinitele prostupu tepla, šíření vzduchu konstrukcí nebo tepelné úniky.



Obrázek 3 Tepelné úniky rodinného domu [44]

1.5.1. ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOV

Energetickou náročností budov se rozumí energetické nároky budovy potřebné k zajištění cíleného vytápění a chlazení v průběhu typického roku provozu budovy. Hodnocení energetické náročnosti budovy se týká všech vlastníků či provozovatelů i složek státu. Povinnost vypracovat *Průkaz energetické náročnosti budovy* (PENB) má stavebník (či vlastník) při samotné výstavbě, změně užívání budovy, při pronájmu či prodeji budovy [42].

Základním předpokladem pro energeticky nenáročnou budovu je co největší omezení úniku vzduchu z budovy. Opatření proti tomuto jevu se musí řešit již při jejím návrhu, nebo v počátečních fázích výstavby. Nevhodné proudění vzduchu může způsobit kondenzaci vody na jednotlivých površích, a tím vést ke vzniku plísní. [43]

Energetickou náročnost budovy lze ovlivnit například těmito faktory [42]:

- tvarem budovy,
- natočením budovy,
- pasivní ochranou proti slunečnímu záření,
- vhodným izolačním materiálem,
- těsnými okny,
- omezením tepelně vodivých materiálů.

V současnosti je v Evropské unii asi 75 % budov, které jsou energeticky nevhodné, přičemž se jich ročně opravuje jen něco mezi 0,4–1,2 %. Renovace těchto energeticky nevhodných budov může v budoucnosti vést k velkým energetickým úsporám, které sníží i celkové emise. Celkové energetické úspory v této rovině mohou dosahovat až 6 % a snížení emisí oxidu uhličitého až o 5 %. [10] Legislativa týkající se energetické náročnosti budov je zahrnuta v tzv. *zimním balíčku* Evropské unie [30][35][44]. Tento *zimní balíček* EU zahrnuje celkem 8 legislativních návrhů předložených Evropskou komisí v listopadu 2016 za účelem vytvoření energeticky efektivní unie – společného trhu s energiemi zajišťující energetickou efektivitu, energie z obnovitelných zdrojů a zabezpečení dodávek energie pro všechny občany EU. Balíček si klade 3 základní úkoly:

- důraz na energetickou efektivitu,
- dosažení vedoucí pozice EU ve světě v oblasti obnovitelné energetiky,
- poskytování spravedlivého obchodu a jasných podmínek spotřebitelům.

1.5.2. SOUČINITEL TEPELNÉ VODIVOSTI

Tepelná vodivost je schopnost látky nebo konstrukce vést teplo. Konkrétně se dá představit jako “rychlost”, kterou se teplo šíří ze zahřáté části konstrukce do chladnější části. Lze ji charakterizovat součinitelem tepelné vodivosti a její veličinou je lambda [λ]. Vyjadřuje se ve wattech na metr a kelvin ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$).

[45] Součinitel tepelné vodivosti je důležité kritérium při porovnávání tepelných izolací. Hodnotu jednotlivých materiálů deklaruje výrobce. Nižší hodnota vyjadřuje lepší tepelnou izolaci a pomalejší únik tepla.

1.5.3. TEPELNÝ ODPOR

Tepelný odpor udává tepelně izolační vlastnosti daného materiálu, je to míra odporu proti pronikání tepla. Vyšší hodnota tepelného odporu vyjadřuje pomalejší procházení tepla materiálem či konstrukcí. Vyjadřuje se v metrech čtverečních krát kelvin na watt ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$). [46]

1.5.3.1. TEPELNÝ ODPOR KONSTRUKCE

Veličinou je R , při výpočtu se využívá tloušťka materiálu (d) v metrech a součinitel tepelné vodivosti (λ). Vícevrstvé konstrukce využijí vzorec pro každý materiál zvlášť a na závěr se tepelné odpory materiálů sečtou.

Vzorec č.1: Výpočet tepelného odporu konstrukce

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (1)$$

1.5.3.2. TEPELNÝ ODPOR KONSTRUKCE PŘI PROSTUPU TEPLA Z INTERIÉRU A EXTERIÉRU

Vyjadřuje se tak tepelný odpor konstrukce, který brání výměně tepla mezi prostředními oddělenými stavební konstrukcí o daném tepelném odporu R .

- R_i – odpor při prostupu tepla na vnitřní straně konstrukce
- R_e – odpor při prostupu tepla na vnější straně konstrukce (v zimním období)

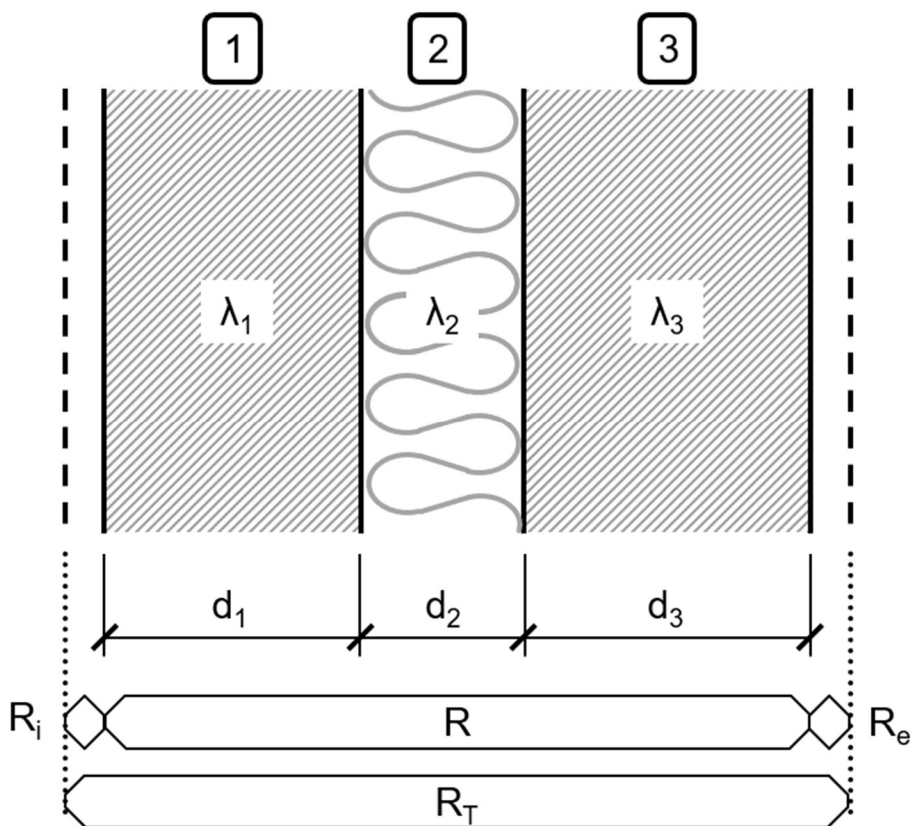
Tabulka 3 Hodnoty tepelných odporů při prostupu tepla – [84]

Povrch	Konstrukce / povrch	Tepelný odpor při přestupu tepla R_{se} a R_{si} [$m^2 \cdot K/W$]
vnější R_{se}	jednoplášťová	0,04
	dvouplášťová	stejně jako R_{si}
zemina	styk se zeminou	0
vnitřní R_{si}	stěna (horizont. tep. tok)	0,13
	střecha (tep. tok vzhůru)	0,10
	podlaha (tep. tok dolů)	0,17

1.5.3.3. CELKOVÝ TEPELNÝ ODPOR

Souhrnný tepelný odpor R_T je definován tímto vztahem:

$$R_T = R_{si} + R + R_{se} \quad (2)$$



Obrázek 4 Celkový tepelný odpor [53]

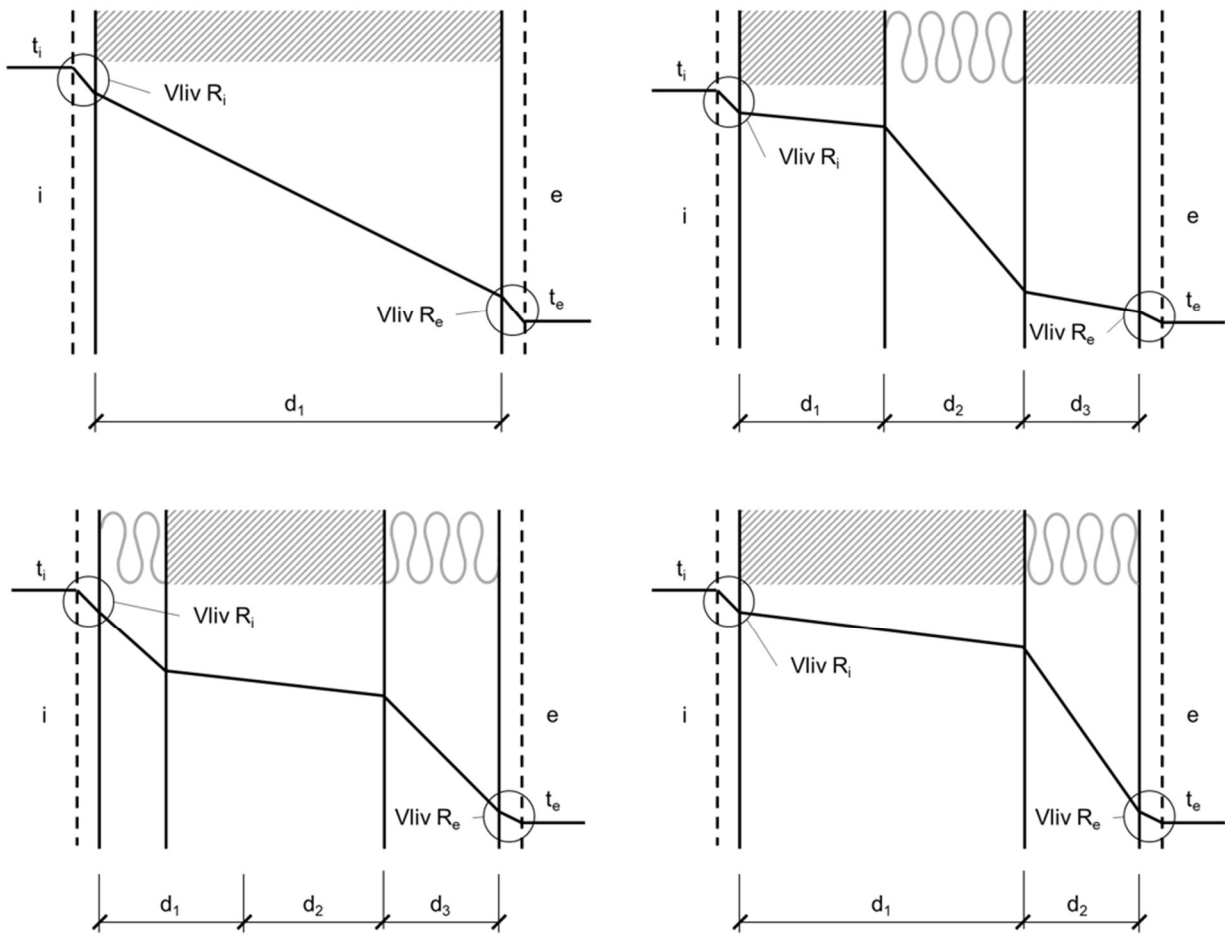
1.5.4. SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA

Součinitel prostupu tepla je jedním ze základních kritérií v normě o tepelné ochraně budov, jelikož značně ovlivňuje stavební řešení budovy. Vyjadřuje celkovou výměnu tepla, které pronikne konstrukcí o velikosti 1 m^2 , mezi dvěma prostředími oddělenými konstrukcí o dané hodnotě tepelného odporu R při poklesu teploty o 1 K . [55]

Veličinou je U a vyjadřuje se ve wattech na m^2 a kelvin ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$) a je odvozena z tepelného odporu konstrukce při prostupu (R_T). Lze jí vyjádřit vztahem níže:

$$U_T(U) = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{1}{R_T} \quad (3)$$

Ukazatele U a R_T se stanovují za podmínky ustáleného šíření tepla při návrhové teplotě v zimních podmínkách.



Obrázek 5 Průběh teploty v konstrukci při prostupu tepla [22] (t_i – teplota v místnosti, t_e – zimní návrhová teplota)

1.5.4.1. NORMOVANÉ HODNOTY

Norma ČSN 73 0540 určuje, že stěny, střechy, stropy a podlahy musí vykazovat takový součinitel prostupu tepla konstrukce U tak, aby splňoval tuto podmínku:

$$U_n > U$$

Pro jednoduchý způsob navrhování a ověřování obytných budov lze stanovit požadovanou hodnotu součinitele prostupu tepla podle tabulky níže, která určuje maximální hodnoty U_n pro jednotlivé konstrukce.

V tabulce jsou vypsány jednotlivé požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převládající návrhovou vnitřní teplotou θ_{im} v intervalu 18 °C až 22 °C včetně.

Tabulka 4 Hodnoty součinitele prostupu tepla [84]

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 pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
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

1.6. TRVALE UDRŽITELNÝ ROZVOJ

Rozšiřování myšlenky stavět ekologicky, a tím přispět ke změnám běžných aspektů života člověka, je dlouhodobě spojeno s technickým i demograficko-sociálním rozvojem společnosti zhruba za posledních 200 let. Tato změna se projevila jak v konání jednotlivců, tak ve změnách organizace činnosti firem, které se přizpůsobují v současnosti rostoucímu zájmu o ekologii. Díky tomuto trendu byla nalezena nová moderní pojiva, která jsou příznivější pro životní prostředí (např. lignin – složka dřeva), která ale zároveň firmám přináší minimálně stejný zisk jako použití neekologické varianty.

Některé firmy však dezinterpretacně své výrobky reklamně uvádí jako plně ekologické, avšak praxe je usvědčuje z nekalé soutěže. Touto formou “greenwashing” se zabývá Oxfordský slovník, který ji definuje jako dezinformaci šířenou organizací za účelem prezentovat environmentálně zodpovědný veřejný obraz sama sebe. [27] Hlavní cíl firem je samozřejmě zisk, a proto se snaží využít jakékoliv možnosti zvýšení prodeje, v tomto případě i formou klamavé reklamy. Obecně lze uvést, že ve stavebním průmyslu většinou není zaručen přírodní původ materiálu, a proto je na výběru každého investora, jakou stavební variantu vybere. Za méně ekologické materiály se v současnosti považují např. cement, parafín nebo umělá pryskyřice užívaná v OSB deskách

1.6.1. EMISE SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ

Zásadním faktorem budov je jejich energetická náročnost a emise skleníkových plynů. [50] Budovy a jejich výstavba spotřebují až 39 % celkové primární energie a způsobí až 39 % emisí oxidu uhličitého. [51] Diskuse o snižování emisí oxidu uhličitého v ekonomice se většinou zaměřují na přechod z fosilních zdrojů energie na obnovitelné. Ostatní odvětví se ale také zásadním způsobem podílejí na celkových emisích produkovaných lidskou činností. Podle predikce dle [52] lze předpokládat nárůst objemu stavebního průmyslu do roku 2030 až o 85 %. To je samozřejmě dobrá zpráva pro vývoj ekonomik států, ale společně s tímto vývojem je vedlejším produktem zvýšení nároků na životní prostředí.

Emise vznikají v každé fázi procesu výstavby, ať již jde o těžbu, dopravu, či zpracování surovin. Podle odhadů se průměrná energetická náročnost na metr krychlový (m^3) typické budovy musí snížit alespoň o 30 % do roku 2030 (oproti 2015) k dosažení klimatických cílů podle *Pařížské dohody*. [31]

V současné době, ve vztahu ke klimatickým změnám, dochází k implementaci nízkouhlíkových a energeticky nenáročných technologií společně s lepšími návrhy budov. Tyto snahy situaci zlepšují, ale současně nedosahují cílů *Pařížské dohody*. Je proto potřeba více investic do finančních nástrojů a legislativních opatření společně se zvyšováním veřejného povědomí o této problematice.

V samotné výstavbě jsou nejvíce problémové aspekty využívání těžké techniky, které jsou energeticky velice náročné, dále úpravy a výroba materiálu způsobující jak emise oxidu uhličitého, tak velkou spotřebu energie. V tomto kontextu jsou problematickými materiály beton a ocel.

1.6.1.1. OCEL

Globálně výroba oceli způsobuje přibližně 7 % všech emisí oxidu uhličitého. V případě samotného stavebního průmyslu tento podíl činí až 24 %. Výroba jedné tuny oceli způsobí v průměru emise 1,83 tun oxidu uhličitého. [54] V principu existují způsoby, jak tuto produkci emisí snížit, ale ty vedou ke zvýšení celkových nákladů na jednotku produkce.

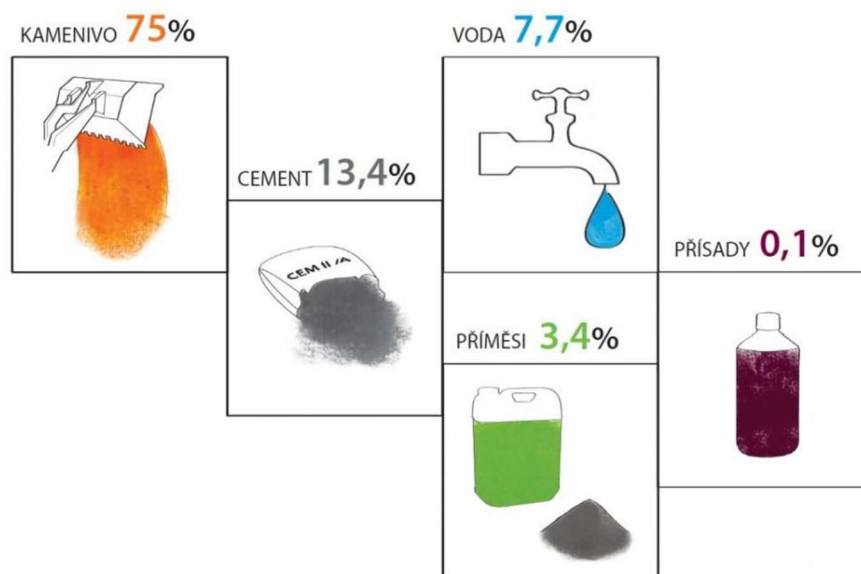
Už přes století se způsob produkce oceli nijak nezměnil. Za vysokých teplot se rudy železa taví na použitelné ingoty – pece ve velké míře závisí na využití koksu jako paliva a redukčního činidla. Spalování vede k produkci velkého množství oxidu uhličitého. Alternativou k této technologii jsou indukční pece, ty nespalují koks a vedou k nižším emisím. Indukční pece jsou ale velice energeticky náročné a pokud tato energie nepochází z bezemisních zdrojů, vznikají emise i zde, nepřímo. Tuto technologii využívá asi 30 % producentů na světě, nejčastěji turecké a americké firmy. [21][56]

Další možné snížení emisí je při zpracování železné rudy na čisté železo, tyto procesy jsou velmi energeticky i finančně náročné.

Nové metody produkce způsobují konkurenční znevýhodnění, kvůli zvýšeným nákladům, které ve světovém měřítku ohrožují konkurenceschopnost takovýchto produktů. Bez společné koordinace všech nejvýznamnějších producentů bude transformace na nové technologie pomalá a nedostačující. [56]

1.6.1.2. BETON

Nejčastějším druhem betonu je cementový beton, kde cement slouží jako pojivo. Jedna tuna betonu vyprodukuje asi 1,25 tuny oxidu uhličitého. [57] Emise oxidu uhličitého betonem způsobují asi 8 % všech emisí generovaných lidmi. [6] Tento podíl bude pravděpodobně dále narůstat, a proto je produkce betonu významným faktorem ovlivňujícím změnu klimatu. Odhaduje se, že k zajištění cílů stanovených *Pařížskou dohodou*, se emise produkované výrobou betonu budou muset snížit až o 16 % do roku 2030. [57]



Obrázek 6 Složení betonu [59]

Beton se vyrábí ze směsi cementu, hrubého kameniva, vody a dalších aditiv. Ve stavebním průmyslu je obvykle beton potřeba vyztužit, nejčastěji výše zmíněnou ocelí. [59]

1.6.1.3. CEMENT

Cement se vyrábí společným vypalováním vápence a jílu, při teplotách okolo 1 450 °C. [59] Tento proces vytváří emise dvěma způsoby – a) dosažením potřebných teplot při využití fosilních paliv; b) poté samotnou dekompozicí vápence, který uvolňuje uhlík. Tento proces produkuje asi dvě třetiny celkových emisí při výrobě cementu. [57] Dekarbonizace tohoto procesu je z chemického hlediska velice náročná a dosud je obtížné ji vhodně nahradit. Mnoho společností se proto spíše zaměřuje na hledání nového procesu výroby cementu.

1.7. DOPAD STAVENÍŠŤ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Kromě výrazného příspěvku k emisím oxidu uhličitého v globálním měřítku se výstavba také podílí významným způsobem na znečištění svého bezprostředního okolí. Podle některých studií stavební projekty způsobují až 23 % znečištění vzduchu a až 40 % znečištění vody. [60]

1.7.1. ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ

Aktivity na staveništi, způsobující znečištění, zahrnují činnosti jako je odklizení půdy, operace těžkých dieselových strojů či demolice nebo práce s toxickými látkami. Každé staveniště produkuje velké množství prachu, který se může šířit na velké vzdálenosti. Tento prach může způsobovat nejrůznější zdravotní problémy jako je astma, respirační problémy nebo i rakovinu. Spalování nafty při řízení těžkých strojů způsobuje emise, kromě oxidu uhličitého také emise oxidu uhelnatého, organických sloučenin nebo oxidu dusíku. Všechny tyto sloučeniny mají vliv na zdraví člověka a negativní dopad na přírodu. [60]

1.7.2. ZNEČIŠTĚNÍ VODY

Velkým problémem stavenišť je znečištění vody. Zdroje znečištění zahrnují naftu, barviva, čisticí prostředky, rozpouštědla a jiné škodlivé chemikálie nutné pro stavební práce. Znečištění také vzniká důsledkem fyzické úpravy půdy nebo stavebního materiálu, který se pak dostane do povrchové vody a způsobí tak znečištění. Všechny jmenované látky znehodnocují povrchovou vodu a život na ní závislý. Tyto látky mohou také znehodnotit podzemní vodu s dopadem na celou krajinu. Podzemní vodu je zároveň mnohem složitější čistit. [60]

1.7.3. HLUK ZE STAVENIŠŤ

Negativní účinky staveb a jejich zařízení nesmí mít vliv na životní prostředí, a to zejména prostřednictvím škodlivých exhalací, hlukem, teplem, otřesy, vibracemi, prachem, zápachem, znečišťováním vod a pozemních komunikací a zastíněním budov. Nesmí se překročit limity uvedené v příslušných předpisech. Tyto záležitosti ověřuje a hlídá stavební řízení příslušných úřadů, které ověřují projektovou dokumentaci stavby mimo jiné také s ohledem na to, zda a v jakém směru by mohla mít stavební činnost negativní dopad na pohodu bydlení obyvatel v přilehlé obytné zástavbě. Přesto stavenišť trvale produkují velké množství hluku, především užitou těžkou technikou apod. Hluk je nejen rozptylující, ale i zdraví ohrožující, vedoucí např. ke zvýšenému krevnímu tlaku, zvýšení nadměrného stresu nebo poškození sluchu. [60]

Důkladný rozbor této problematiky lze nalézt v: [38].

1.7.4. OMEZENÍ ZNEČIŠTĚNÍ

Omezení znečištění vyžaduje spolupráci mnoha subjektů ve společnosti. Ze strany státu, legislativní regulace použitých materiálů a stanovení limitů pro znečištění přímo ovlivňuje vývoj nových technologií a ekologicky zaměřených řízených stavenišť a určuje tak pravidla pro stavební společnosti. Nezbytný vliv názoru společnosti je v těchto ohledech dán především intenzitou informovanosti.

Jedním z hlavních bodů pro ekologičtější stavenišť je samotný využívaný materiál pro výstavbu. Přírodní materiály zajišťují větší ekologičnost stavby. Zároveň nevytvářejí potřebu těžby surovin, a snižují tak energetickou náročnost a znehodnocování životního prostředí z globálního hlediska. Tyto materiály jsou jednodušší na likvidaci nebo je lze znovu využít po demolici stavby. Snižuje se tak energetická náročnost během celé životnosti výstavby.

2. PŘEHLED PŘÍRODNÍCH MATERIÁLŮ

Přírodní materiály jsou definovány s ohledem na různé aspekty. Mária Necidová [61] považuje za přírodní materiál takový, který je lokální, opakovaně použitelný a získaný s minimální energetickou náročností. Jsou to materiály, které jsou rozhodující pro komfort a zdraví uživatelů a propojují přírodu s člověkem, jsou bezpečné a šetrné vzhledem ke zdrojům a jejich případnému vyčerpání.

Josef Chybík [6] ve své knize přistupuje k přírodnímu materiálu podle jejich environmentálních následků. Do nich zahrnuje množství energie vynaložené na získání suroviny, výrobu a dopravu materiálu na stavbu, množství CO₂ uvolněného při výrobě materiálu a případně i kolik síry se kvůli výrobě uvolní do ovzduší.

Přírodní materiály lze rozdělit na organické a anorganické. Organické, a tedy obnovitelné, materiály mohou být živočišného i rostlinného původu. Anorganické jsou sice neobnovitelné, ale jsou často lehce dostupné v jakékoliv lokalitě a v případě, že nejsou smíchané s chemickými přísadami, lze je snadno vrátit do přírody. Mezi hlavní zástupce anorganických materiálů patří hlína, písek či kámen.

Dále jsou popsány a specifikovány materiály, čteně užívané ve stavebním průmyslu, a které je dobré testovat z hlediska bezpečnosti proti bleskovému výboji.

2.1. MATERIÁLY ROSTLINNÉHO PŮVODU

Materiál z rostlin je v poslední době čím dál tím oblíbenější. Většina využívaných jsou jednoleté rostliny a je možné je sklízet často a pěstovat na menších zemědělských plochách. Mezi těmito přírodními materiály je třeba rozlišovat, neboť materiály pocházející ze stromů mají mnohem delší dobu růstu, než materiály z jednoletých rostlin.

2.1.1. DŘEVO

Dřevo je surovinou používanou často jak u klasických domů, tak u dřevostaveb. Uplatňuje se pro nosné i nenosné konstrukce, na tepelnou izolaci nebo na pohledové prvky. [15]

I přesto, že je dřevo obnovitelný zdroj, doba růstu stromu je v řádu desítek let. V České republice se nejčastěji používá dřevo jehličnanů (smrk, jedle, borovice či modřín). Vzhledem k přívlivnému podnebí střeoevropských lesů je smrk ztepilý nejběžněji používaný a obchodovaný stavební materiál v ČR. [62]

V ČR se ročně vytěží až 20 milionů m³ surového dříví. Jehličnany se na těžbě podílí přibližně z 90 %. [63] Vysoká hodnota těžby je dána poptávkou na trhu po surovém dříví, které je vhodné pro stavební průmysl.

V roce 2017 připadalo na jednoho obyvatele přibližně 1,41 m³ vytěženého dřeva. ČR je v oblasti dřeva převážně exportérem. [63]

Nejčastěji používané produkty ze dřeva jsou konstrukční řezivo, kulatina, lepené prvky nebo také desky z dřevitých hmot. Masivní dřevo nebo také kulatina je získáno z přímo opracovaného stromu. Pro použití na stavbě musí splňovat pevnostní a vlhkostní zkoušky. [17] Celé kmeny se dají použít na stavbu srubu či roubenky, po opracování na jednotlivé hranoly či fošny je lze použít na nosné konstrukce stěn či krovů, podlahy nebo obklady. [15] Nejširší využití mají desky ze dřeva, které jsou zpracovány z menších kusů lepením za určitého tlaku a teploty. Často se tyto desky lisují z dřevěných odpadů, a proto je lze považovat jako sekundární produkt ve stavebním průmyslu. V minulosti se jako pojidla často používaly materiály s vysokou ekologickou zátěží (např. magnezium, formaldehyd, xylenový kondenzát, cement nebo asfalt). [61]

V ČR je v současnosti přebytek dřeva v důsledku kůrovcové kalamity. Vlastníci lesů jsou povinni vytěžit napadené dřevo, které ale v množství přesahuje poptávku. Nedostačující poptávka na trhu tlačí cenu dolů. Během prvního pololetí roku 2019 se cena v dřevinách typu smrk a borovice ve třídě III A / III B pohybovala v průměru kolem 1 760 Kč/m³ (smrk) a 1 460 Kč/m³ (borovice). [65]

Celkově je dřevo jako přírodní materiál vhodný pro stavbu, jelikož lze použít jako všestranný stavební materiál. Lokální těžba šetří životní prostředí a oproti dováženému dřevu je množství skleníkových plynů zanedbatelné

2.1.2. SLÁMA

Sláma je odpadní produkt ze zemědělské výroby, jsou to uschlé stonky vymláceného obilí. Dříve se sláma používala jen jako aditivum do nepálených cihel ve formě slaměné řezanky. Až vývoj zemědělství v podobě lisů umožnil rozsáhlé využití slámy jako stavebního materiálu. [6] Použití slámy na stavbu je vhodné i z pohledu životního prostředí, jelikož je sláma převážně odpadní produkt nebo z důvodu vázání oxidu uhličitého během růstu.

Ve stavebnictví se uplatní především stonky z pšenice a žita. Sláma je vhodná jako izolant i nosný prvek, aby byly využity veškeré její izolační vlastnosti, je nutné stébla skládat podélně ke stěně. [15] Konstrukční využití balíků je dvojí: buď jsou balíky slámy využity jako nosný prvek, nebo je skeletová konstrukce vyplněná slaměnými balíky. [14] V prvním případě balíky slámy přenášejí tíhu střechy přímo do základů a jsou vhodné jen pro jednopodlažní budovy. Výhodou je rychlost stavby a nízké náklady, ale nevýhodou je nutnost umístit balíky přesně bez větších mezer.

Vývoj stavebního průmyslu ovlivnil i tuto oblast, začaly se vyrábět balíky vhodné přímo na stavby domů s dřevěnou konstrukcí nebo prefabrikované panely. Desky z lisované slámy i nosné panely vyplněné slámou lze zakoupit jak lokálně od českých výrobců, tak od evropských dodavatelů. Rozdíly mezi výrobci jsou dány převážně certifikací nebo přesností výplně panelu. [15]



	VOLNÝ BALÍK	PREFABRIKOVANÝ PANEL	MODULOVÝ DÍLEC	LISOVANÁ DESKA
určení	svépomocná výstavba	montáž výrobcem	profesionální montáž	profesionální montáž
objemová hmotnost	90 - 150 kg/m ³	90 - 120 kg/m ³	100 kg/m ³	380 kg/m ³
dostupnost	sezónní	na zakázku	skladem/ na zakázku	skladem
použití	exterierové zateplení výplně vodorovných k-cí výplně stěnových k-cí samonosné stěny	stěnové panely stropní panely podlahové panely	nosné obvodové stěny	samonosné příčky opláštění skeletu obložení podkroví
manipulace	ruční	jeřábem	ruční/jeřábem	ruční
rychlost montáže	nízká	vysoká	vysoká	střední
přesnost prvku	nízká	vysoká	vysoká	vysoká
certifikáty	ne	ano	ano	ano

Obrázek 7 Porovnání vlastností výrobků ze slámy [66]

2.1.3. TECHNICKÉ KONOPÍ

Konopí seté je rostlina, jejíž pěstování má v evropských zemích tradici zejména v textilním průmyslu, popřípadě v lodním průmyslu, kde slouží k výrobě plachet či lan. Konopí se dále využívalo k výrobě papíru a léčiv. Jeho nespornou výhodou je jeho častá reprodukovatelnost – lze sklídit i dvakrát ročně. Konopí je odolná rostlina, která během několika měsíců dorůstá do několikametrové výšky. [15] Tuto plodinu lze pěstovat v mírném pásmu až do nadmořských výšek kolem 450 m/n. m., tj. také v ČR. V současnosti je technické konopí opět hojně propagováno pro použití zejména v papírenském a automobilovém průmyslu. Z konopí se taktéž vyrábějí tepelně-izolační rohože používané ve stavebnictví.

Technické konopí je vhodnou alternativou dřeva – výhodou je odolnost vůči vodě, hlodavcům i jiným škůdcům, které přirozeně odpuzuje. Jako izolant má výborné vlastnosti – akumulace vlhkosti i prodyšnost zamezuje hnilobě a plísním. Konopí se nejčastěji zpracovává na drť, konopné panely, konopný beton či plst' používanou na podlahy. [61]

Pro udržitelný způsob života je tento materiál velmi vhodný stavební prvek. Konopí nepotřebuje žádné herbicidy ani pesticidy při pěstování, a při práci s konopím nejsou třeba žádné ochranné pomůcky. Vliv na životní prostředí je velmi pozitivní, při svém růstu spotřebuje a váže kilogramy CO₂. [6] Konopí je jako materiál tvarově stálé a lehké, nedráždí pokožku ani dýchací cesty. Je tedy vhodné pro lokální pěstování bez chemie a práci na svépomocných stavbách.

2.1.4. LEN

Lněné vlákno se získává ze stonku *Linu setého*. Je to domácí, obnovitelná a cenná užitková rostlina, která se v českém klimatickém pásmu pěstovala od nepaměti. Modře kvetoucí rostlina se pěstovala především v horských a podhorských podmínkách, ke svému rychlému růstu nepotřebuje žádné ošetření umělými hnojivy, ani chemickými přípravky.

V surovém stavu tvoří jednotlivá vlákna o délce 20 až 50 mm, svazek o délce až 900 mm [6]. Příznivou vlastností lnu je, že se z rostliny dají zužitkovat všechny její části. Len se mechanicky naláme a poté jsou oddělena dlouhá a krátká vlákna – ve sklizni je přibližně 14 % dlouhých vláken.

Předností lnu je jeho recyklovatelnost. Len je i snadno kompostovatelný a dá se bez vedlejších škodlivých produktů likvidovat (zejména spálit). Je odolný proti napadení plísněmi a odolává hmyzu. Nejmenší doba použití materiálů ze lněných vláken je 50 let. [5]

Dlouhá vlákna lnu se používají k výrobě jakostních tepelně a zvukově izolačních hmot. Při zpracování lnu na stavební vláknité hmoty se jeho vlákna zplstňují na textilních strojích, vznikají tak tenké pásy rouna, které se navrstvují až do požadované tloušťky. Na vlákna je nanášeno v tekuté formě škrobové lepidlo z brambor a boritá sůl nebo amonné soli a při následném sušení se pevně spojí s vlákny. Izolační hmota tak bez použití syntetických prostředků získává potřebnou pevnost a požadovanou ochranu proti působení požáru a plísní. Výsledkem je pružná a tvarově stálá izolační deska a při jejím zpracování na stavební materiál se minimálně zatěžuje životní prostředí. [6]

Na stavebním trhu je len v několika formách – volně sypaný (jako plst') nebo v pružných, tvarově stálých deskách. V České republice jsou výrobky ze lnu známé pod označením *Termolen*, další výrobci označují své výrobky jako *Heraflax* nebo *Isoflachs*.

Nevýhodou lněných vláken je lámavost, i když jsou v tahu velmi odolná. Při instalaci lněné izolace je nebezpečí přeříznutí či přetržení vláken. Právě kvůli lámavosti někteří výrobci přidávají polyesterová vlákna, která tvoří přibližně 20 % z hmotnosti. Na trhu se nabízí i materiály, které obsahují silná vlákna a zaručující pevné rohože a desky. Nevýhodou lnu je nutnost ochrany před vlhkem a ohněm – výrobci zvyšují požární odolnost impregnací borovými solemi nebo vodním sklem, popřípadě přidávají sloučeniny amoniaku. Impregnace zmíněnými látkami je z pohledu ochrany životního prostředí nevhodná. [6]

Výrobky ze lnu jsou vhodné nejen do dřevěných staveb, ve kterých se používají nejčastěji, ale i do dalších konstrukčních systémů. Vkládají se mezi dřevěné nebo kovové nosné prvky – mezi krokve, do vodorovných stropních konstrukcí, připojovacích spár i do dutin.

2.2. MATERIÁLY ŽIVOČIŠNÉHO PŮVODU

2.2.1. OVČÍ VLNA

Ovčí vlna je materiál, jehož použití má v evropských zemích tradici zejména v textilním průmyslu. Je to velmi kvalitní tepelně-izolační materiál. K produkci vlny není zapotřebí obhospodařovat pole jako v případě materiálů rostlinného původu, ani se nesnižují stavy přírodních zdrojů. [6] Ovčí vlna má dlouhou životnost a je stabilní a ve vlhku nepodléhá tlení. K základním vlastnostem ovčí vlny patří vysoká nasákavost (až do 30 %) – s vzrůstající vlhkostí se její izolační schopnost zvyšuje vlivem sorpčního tepla. Výhodou oproti jiným přírodním materiálům je malá hořlavost. [5]

Ovčí vlna je obnovitelný zdroj a během zpracování není třeba velkého množství energie. Materiál z ovčí vlny je recyklovatelný a zbytkový odpad po zpracování lze kompostovat. Ovčí vlna je považována za materiál, který šetří životní prostředí a je zdravotně nezávadný. Negativní dopad na životní prostředí má dovoz, jelikož se v ČR izolace nevyrábí – nejčastěji se dováží z Rakouska, Austrálie nebo Nového Zélandu. [6]

Vlna se průmyslově zpracovává do formy tepelně-izolačních rohoží tloušťek 40–160 mm technologií kolmého kladení mykaného ovčího rouna, a to bez použití pojiv. Před zpracováním se vlna průmyslově očistí od tuku (lanolinu) a dále se použijí příměsi proti hoření a ochraně proti molům (na bázi močoviny). Používání podomácku zpracované neprané vlny se nedoporučuje z důvodu horších fyzikálních vlastností a velké náchylnosti k napadení moly, i kvůli nehygienickému zápachu. [5]

Tepelná izolace se připevňuje obvykle na dřevěný podklad sponkovaním nebo hřeby, do lehkých přiček a desek nalepovacími hroty nebo oboustrannou samolepicí páskou. Izolace je vhodná do všech konstrukcí kromě podlah. Při aplikaci z interiéru dokáže vyrovnávat vlhkost vnitřního prostředí, je vhodná i pro rekonstrukce historických a památkově chráněných objektů či roubenek. [5]

2.3. OKRAJOVÉ ORGANICKÉ MATERIÁLY

Materiálů přírodního původu vhodných k použití ve stavitelství je velké množství, jejich struktura se mění dle lokality stavby. Některé zdroje potřebují jiné podnebí ke svému růstu, nelze je tedy považovat za lokální, a jelikož je pro jejich použití nutný převoz, nejsou přívětivé k životnímu prostředí. V lokalitě střední Evropy můžeme mezi tyto materiály zařadit korek (korková drť), bavlnu, jutu, kokos, bambus nebo rákos. [5]

2.4. MATERIÁLY ANORGANICKÉ

2.4.1. HLÍNA

Hlína je nejrozšířenější stavební materiál ve většině oblastí světa už po staletí – je snadno dosažitelná a využitelná bez jakýchkoliv pojidel. Sypký sediment se skládá z jílu, prachu, písku a šterku. Používá se nejčastěji na pálené i nepálené cihly, střešní tašky a vnitřní omítky. [13]

Hlína má nízkou energetickou náročnost a vhodné fyzikální vlastnosti, jako je například regulace vlhkosti. Díky absorpci vlhkosti přetváří mikroklima v místnosti, jelikož na sebe váže ostatní reagenty. Dobrá akumulace a regulace teploty uvnitř z ní dělá vhodný materiál na snižování energetické náročnosti budov. [6]

Hlína nemá odolnost vůči vodě – sypký materiál velmi jednoduše přijímá vodu a zvětšuje svůj objem, a proto není vhodná bez úprav do vlhkých prostor a na venkovní použití. Zvýšení odolnosti vůči vodě lze dosáhnout přidáním kravské mrvy nebo kaseinovým nátěrem. [13] Při použití na fasádu či do vlhkých prostor se pro stabilizaci doporučuje přidání krve, moči, trusu, šťávy z opuncie, žitné mouky nebo nízkotučného tvarohu s vápnem – tyto příměsi se používají již po staletí. Minke [13] zmiňuje historický recept na omítku, který se skládá z 1 dílu vápenného prášku a 8 dílů písčité hlíny naloženého do koňské močůvky po dobu 24 hodin. Jedná se o jednoduchou chemickou reakci kaseinu v močůvce a vápna, která vytvoří albuminát. [13]

Lokálnost nalezišť hlíny není normovaná. Během získávání materiálu je nutné zhodnotit její vlastnosti, které jsou pro každé naleziště odlišné, a přizpůsobit jim zpracování, případně i změnit poměry příměsí. Tuto nevýhodu lze eliminovat použitím již hotových směsí, které jsou ale nákladnější než domácí výroba. [13]

Nepálené cihly se vyrábí ve dvou variantách, stabilizované či nestabilizované – do stabilizovaných je přidáván cement, a proto se nepovažují za čistě přírodní produkt. Velké množství běžně používaných výrobků je složením čistě přírodního původu, výrobci je označují jako přírodní či ekologický produkt. Pálené střešní

tašky neobsahují žádné příměsi a jsou barveny přírodními jíly, ale při hodnocení procesu výroby jsou jako produkt energeticky náročné. [26]

Hlína se dále může využívat při dusání či vrstvení základů či v podobě mazaniny. Historický stavební materiál, tzv. mazanina, se dodnes používá hlavně při utěšování spár či pokrytí konstrukce dřevostaveb. [13][6] Mazanina se skládá z hrnčářské hlíny a plevy (list trávy) – v současnosti lze nahradit bentonitem, který je vhodný pro hydroizolaci a utěsnění otvorů. Bentonit je anorganická látka, která je sice sekundární produkt při těžbě uhlí nebo kaolinu, i přesto je neobnovitelná a dopady těžby na ekosystém jsou negativní. [67]

2.5. RECYKLOVANÉ MATERIÁLY

Dále zmíněné materiály ze své podstaty do přírodních materiálů nepatří, ale lze je zařadit do kategorie udržitelného stavitelství. Recyklováním materiálů se prodlouží jejich životnost a ušetří se životní prostředí omezením výroby nových produktů.

2.5.1. PACKWALL

Desky z recyklovaných tetrapackových obalů na nápoje jsou vhodná náhrada OSB desek. Nápojové obaly jsou důkladně vymyty, rozdrceny a poté slisovány jen pomocí teploty a tlaku. [5]



Na začátku jsou použité nápojové obaly, které by jinak vyletěly komínem.



Obaly rozeemeleme a za tepla z nich lisujeme desky různých rozměrů.



Základním produktem je deska, kterou lze nejrůznější způsobem povrchově upravit a využít.



S PackWallem můžete stavět dům i vytvořit parádní interiér. Fantazii a možnostem se meze nekladou.

Obrázek 8 Cyklus výroby [5]

Desky jsou difuzně neprodyšné, lehké a lehce tvarovatelné, ale zato pevné i na konstrukční použití. Jsou méně nasákové, než desky na bázi dřeva a díky obsahu celulózy mají srovnatelné tepelné vlastnosti. Autoři [68] považují desky v podstatě za kompozit složený z celulózy, polyetylenu a hliníku, které jsou součástí potravinářských kartonů. Jejich cena je s ohledem na využití druhotné suroviny nízká. Vzhledem k přítomnosti vodivých částí nejsou příliš odolné vůči možnému zásahu objektu bleskovým proudem.



Obrázek 9 Použití PackWall [5]

2.5.2. CELULÓZA

Celulózová izolace je zjednodušeně rozmělněný novinový papír, čisté jednodruhové noviny jsou nahrubo namlety a s příměsí minerálních solí za sucha rozvlákněny v mlýnu. Celulóza je také hlavní součástí všech rostlin i stromů a má stabilizační funkci. [25]

Díky recyklaci má nízký obsah svázané energie a jeho výrobou je emitováno i méně zplodin, než u syntetických materiálů. Celulózu lze využít jako tepelnou i akustickou izolaci, která přijímá a odvádí vlhkost stejně jako jiné přírodní materiály. Výhodou je také její rychlá aplikace beze spár – proškolená osoba aplikuje celulózu foukáním do připravených dutin, nebo ji lze rozfoukat nebo rozsypat po povrchu půd a podlah. Izolovat lze tímto způsobem i těžko přístupná nebo úzká místa. [5]



Obrázek 10 Použití celulózy [69]

Nástřikem materiálu minerálními solemi hořčiku a boru lze dosáhnout nejen ochrany proti škůdcům a plísním, ale i snížení hořlavosti. Minerální soli při zahřátí krystalizují a uvolňují vodu, a tím zamezují procesu hoření. [5]

Tento typ izolace je v současnosti vcelku rozšířen, na trhu se nabízí již přes 20 let. Cena recyklovaného materiálu je nízká vzhledem k nižším vstupním nákladům na výrobu. Někteří prodejci materiál stále dováží ze zahraničí, a proto je pro udržitelné stavitelství vhodné zjistit i původ materiálu.

2.5.3. PLASTOVÉ TAŠKY NA STŘECHU “CAPACCO”

Střešní krytina je ze 100 % tvořena recyklovaným plastem z původních kabelových svazků. Prakticky je krytina z měkčeného PVC, jehož hlavní výhodou je mechanická i tepelná odolnost. Capacco – jesenická šablona či šupina je odolná vůči mrazu, UV záření, kroupám, nárazům i růstu mechů.



Obrázek 11 Plastová krytina [70]

Maloformátová střešní krytina je vhodná na šikmé i strmé střechy, svým vzhledem imituje přírodní břidlici a svoji nízkou váhou je vhodná pro rekonstrukce starých střech bez nutnosti výměny krovu. Krytina sice může obsahovat zbytky kovů, pryže i jiných termoplastů, ale i při nedokonalém zpracování, jinak nevyužité druhotné suroviny, je šetrná k životnímu prostředí. [70]



Obrázek 12 Použití krytiny capacco [70]

Firma Capacco spol. s r. o. zpracovává a recykluje plasty v ČR už od 90. let 20. století a její krytinou je pokryto už několik desítek tisíc objektů. Přizpůsobivost materiálu rozšiřuje možnosti využití i na kulatých částech střech.

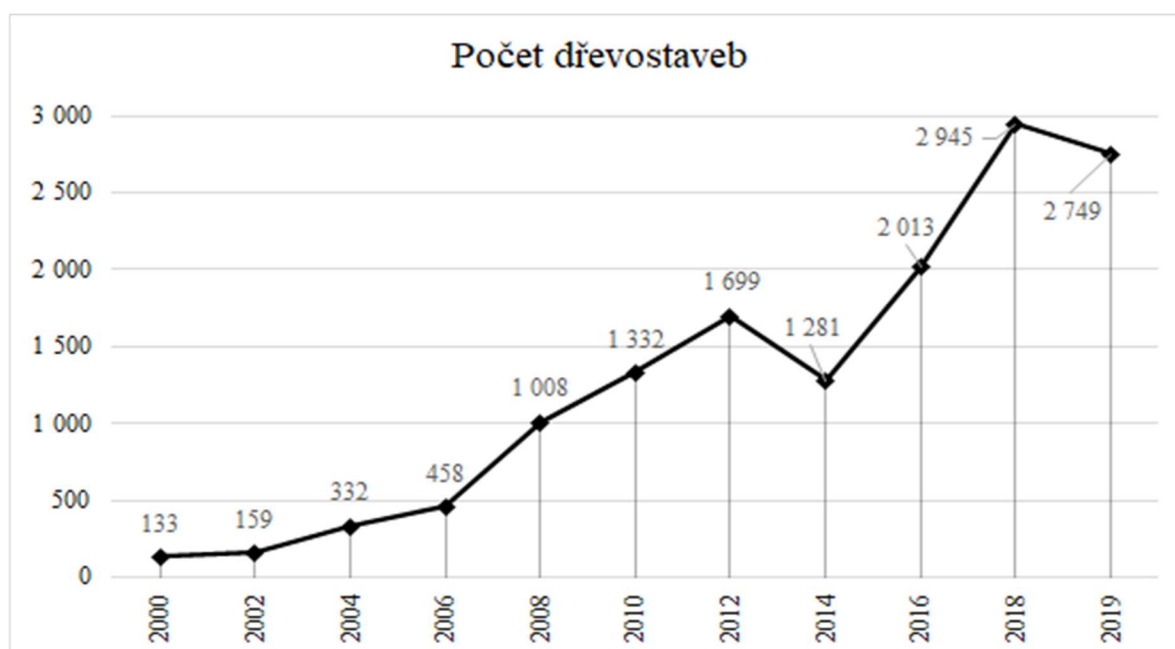
3. KOMPARACE ALTERNATIVNÍ STAVBY S KONVENČNÍ

Dřevostavba je stavební dílo, jehož nosnou konstrukci i doprovodné prvky tvoří dřevo. V podvědomí je tento termín přisuzován spíše roubenkám, srubům, chatám či zahradním domkům. Dřevostavbou byly označovány jen stavby postavené ze surového dřeva. V současnosti se ale dřevostavby dostávají do popředí a jejich nosné konstrukce se postupně vyvíjejí.

Moderní dřevostavby by se spíše daly nazvat stavbou na bázi dřeva – na nosnou konstrukci se využívají tenké profily z masivního dřeva, desky či trámy, ale ve skladbě stěny najdeme různé druhy materiálů, které nemají se dřevem nic společného, např. tepelná izolace nebo sádra.

V ČR je zvyšující se oblíbenost dřevostaveb viditelná i z počtu finalizovaných rodinných domů. V roce 2019 bylo dokončeno 2749 staveb s dřevěnou nosnou konstrukcí. Zastoupení dřevostaveb má rostoucí trend – v roce 2000 bylo postaveno 133 dřevostaveb, tedy méně než 2 %. V minulém roce (2019) tvořily dřevostavby už necelých 15 % všech dokončených rodinných budov.

Graf 5 Vývoj počtu dřevostaveb 2000 - 2019 [34]



Tabulka 5 Podíl dokončených dřevostaveb [34]

Rok	Rodinné domy v ČR celkem (ks)	Dřevostavby dokončené v ČR (ks)	Podíl dřevostaveb na trhu rodinných domů v ČR (%)
2000	9 701	133	1,4
2004	12 681	332	2,6
2008	18 930	1 008	5,3
2012	16 929	1 699	10,0
2016	14 015	2 013	14,4
2017	14 548	2 159	14,8
2018	18 287	2 945	16,1
2019	18 390	2 749	14,5

3.1. TYPY DŘEVOSTAVEB

Nejasná terminologie konstrukčních systémů znesnadňuje orientaci na současném trhu moderních dřevostaveb. Beránková [71] nejasné pojmenování přisuzuje k rozmanitosti konstrukčních řešení a vlivu stavitelství ze zahraničí – dynamický růst stavebnictví s sebou nese častou změnu názvosloví.

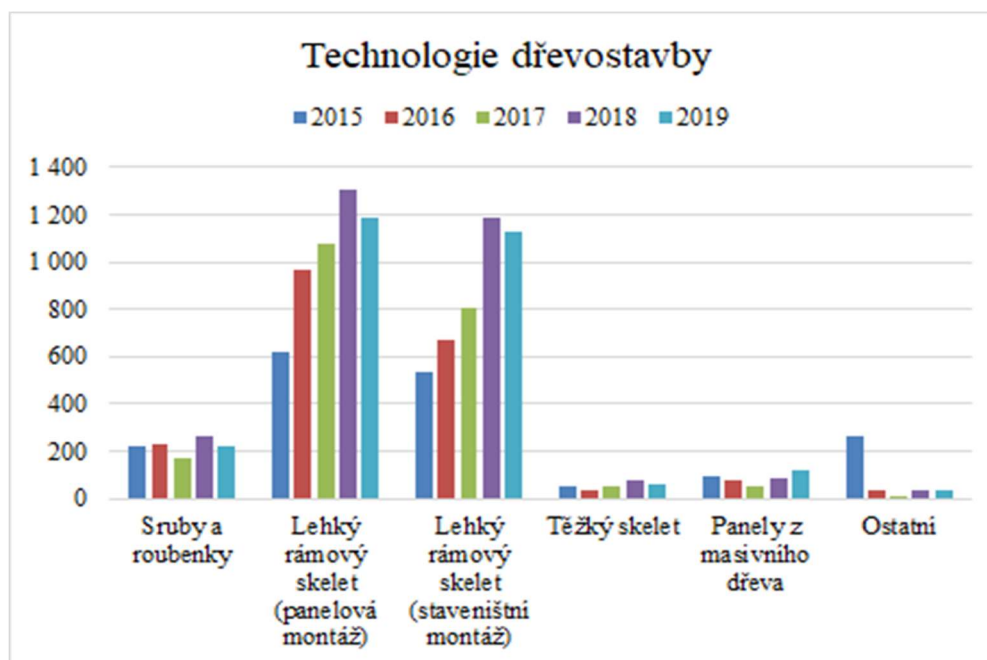
Při výběru konstrukčního řešení je důležité zhodnotit veškeré aspekty, její výhody a nevýhody, které se objevují nejen při stavbě, ale i užívání a údržbě. Konečný výsledek je nejvíce ovlivněn kvalitou stavební dokumentace, použitými materiály a výběrem vhodného konstrukčního řešení [71]

Do roku 2014 ČSÚ evidoval počet dokončených rodinných domů jen dle materiálu použitého na svíslou nosnou konstrukci. Od roku 2015 ČSÚ rozděluje dřevostavby a dále eviduje v těchto podkategoriích:

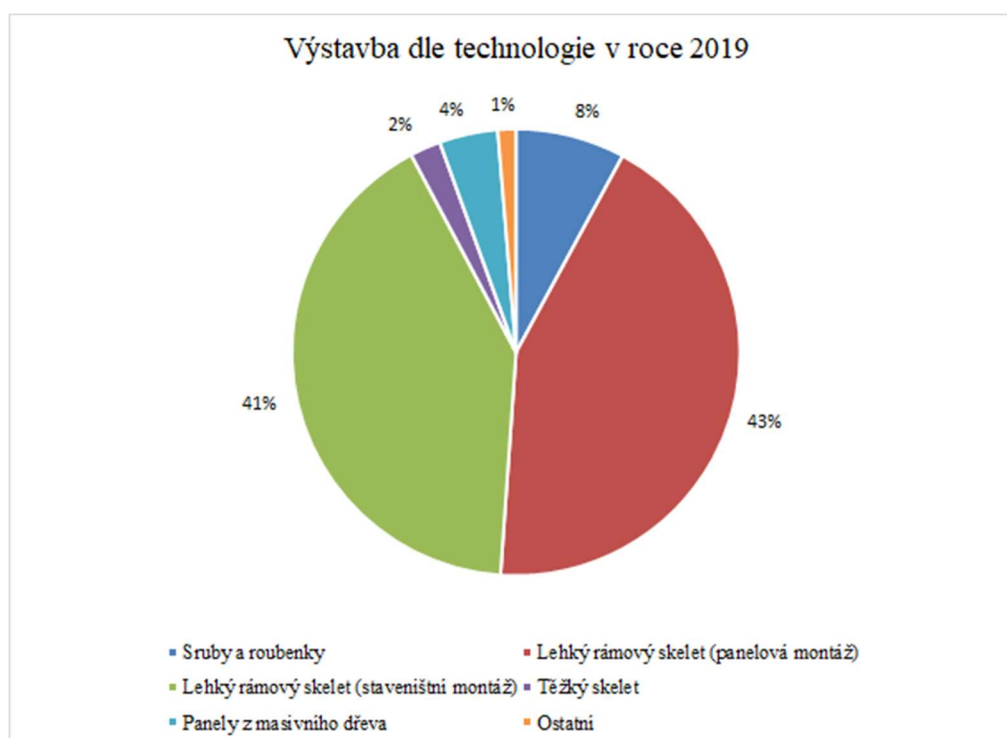
- sruby a roubenky,
- lehký rámový skelet (panelová montáž),
- lehký rámový skelet (staveništní montáž),
- těžký skelet,
- panely z masivního dřeva,
- ostatní / neurčeno.

Graf níže zobrazuje zastoupení jednotlivých technologií nosných konstrukcí rodinných domů v období 2015–2019. Lehký rámový skelet tvoří 84 % rodinných domů dokončených v roce 2019, panelová montáž 43 % a staveništní montáž 41 %.

Graf 6 Zastoupení technologií nosných konstrukcí rodinných domů [34]



Graf 7 Zastoupení technologií nosných konstrukcí rodinných domů 2019 [34]



Nosná konstrukce ze dřeva může mít tedy mnoho názvů, Růžička [17] rozděluje typy dřevostaveb dle způsobu výroby a montáže na tyto kategorie:

- skeletové dřevostavby,
- Two by Four (TBF),
- panelové dřevostavby,
- sruby,
- roubenky.

3.1.1. SKELETOVÉ DŘEVOSTAVBY

Růžička [17] obecně definuje skelet jako konstrukční systém sloupků, průvlaků, desek a ztužujících stěn. Způsob výstavby, kdy stavba probíhá na staveništi, prodlužuje dobu realizace obvykle na několik týdnů, oproti tomu tento způsob umožňuje stavbu i v nepřístupném terénu.

3.1.1.1. LEHKÝ “RÁMOVÝ” SKELET

Jedná se o suchý proces výstavby, kdy se na základovou desku nebo rošt na patkách vytvoří dřevěný rám z jednotlivých profilů. Dřevěná kostra domu je vyplněna tepelnou izolací a poté zaklopena a vyztužena deskami na bázi dřeva, které se spolupodílejí na statice domu. Tento typ konstrukce často nevypadá na první pohled jako dřevostavba, podílejí se na tom převážně materiály použité na fasádu.

[72]



Obrázek 13 Lehký skelet [58]

3.1.1.2. TĚŽKÝ SKELET

Skelet je tvořen nejčastěji lepenými lamelovými trámy či masivními trámy o průřezu větším než je tomu u lehkého skeletu. Tato technologie nepotřebuje ztužující deskové materiály, jelikož trámy v pravidelném rastru tvoří nosnou konstrukci a vodorovné ztužení zajišťuje konstrukce stropu.

Nosná konstrukce umožňuje vyplnit prostor mezi trámy zdivem, sendvičovou skladbou či velkoprostorovým zasklením, které nemusí plnit nosnou funkci. Obvodový plášť zajišťuje tepelně izolační funkci a je montován přímo na skelet – přiznáním trámů v interiéru se minimalizují tepelné mosty a povětrnostní vlivy na dřevo. [73]



Obrázek 14 Těžký skelet [81]

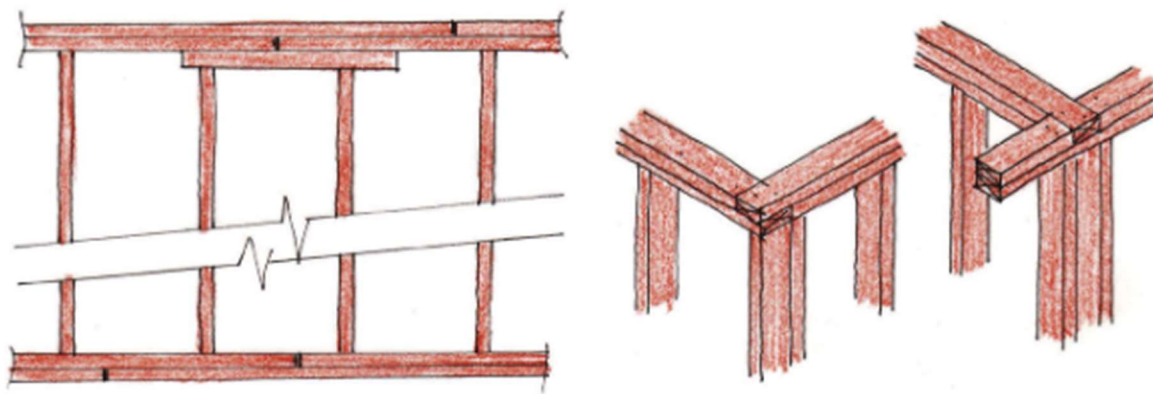
3.1.2. TWO BY FOUR (TBF)

Název lze do češtiny přeložit jako “dva krát čtyři” a vychází z nejčastěji používaného průřezu stavebního materiálu. Systém Two by Four (dále jako “TBF”) pochází z 19. století z USA a velikost je tedy 2 x 4 palce, přibližně 50 x 100 mm. I tento konstrukční systém má různé názvy, v USA se často používá pojem *Platform frame* tedy stropní rám nebo *Stick frame* volně přeloženo jako rám ze špejlí či klacků. [18]

Růžička [17] zdůrazňuje, že se doposud nenašel vhodný český ekvivalent názvu pro tuto konstrukci. V praxi se lze setkat s označením *lehký skelet*, *sloupkový systém* nebo *letmá montáž*. Zmíněné názvy jsou ale dle Růžičky [17] nepřesné, TBF nespĺňuje základní definice ani jedno z nich.

Jako nejpřesnější český ekvivalent názvu pro systém TBF lze použít označení fošnový rámový systém, jelikož základním konstrukčním prvkem TBF je fošna sbíjená do rámců. Růžička [17] zdůrazňuje, že tento název se ale v odborných textech nevyskytuje, a proto pro další texty doporučuje používat původní název, tj. Two by Four.

TBF stavba vzniká přímo na místě a pracuje s co nejmenším počtem prvků – jako základní prvek je fošna ze smrkového dřeva a deskový materiál. Fošnový rám jako konstrukční prvek je složen z na sebe kolmých fošen, které vytváří vodorovné prahy a svislé stojky. Velikost fošen a jejich vzdálenost ovlivňuje typ konstrukce, hotový rám je zaklopen deskovým materiálem. Desky jsou ztužujícím prvkem, ale současně plní i obalovou funkci. [18]



Obrázek 15 Prvky TBF konstrukce [17]

Důležitým prvkem TBF je systém provázanosti a překrývání prvků – návaznosti a spáry jednotlivých vrstev se musí střídat pro dodržení kontinuity a tuhosti konstrukce, proto je předem daný minimální rozestup mezi dvěma spoji.[18]

3.1.3. PANELOVÉ DŘEVOSTAVBY

Panelové, sendvičové nebo také prefabrikované dřevostavby se skládají z předem vyrobených dílů, které se připravují ve výrobních halách. Vznikají v kontrolovaných továrních podmínkách a až poté jsou jednotlivé panely převezeny na místo stavby. [18]

Výhodou technologie je vysoká míra efektivity výroby a ekonomické úspory při výrobě velkého množství opakujících se prvků. Montáž panelové dřevostavby na pozemku díky tomu proběhne během několika dnů. Nevýhodou prefabrikované výstavby je rozměr panelů, který často dosahuje až 12 m, a proto jsou manipulovatelné jen těžkou technikou – pozemek tudíž musí být v přístupném terénu. Míra flexibility pro nestandardní a individuální řešení je nízká z důvodu automatizace procesů, které je nutné narušit pro atypické požadavky. [18]

3.1.3.1. SENDVIČOVÉ KONSTRUKCE

Panely se sendvičovou strukturou se vyrábí v různých stupních dokončení, i přesto se jedná o prvek, který je ve velké míře kompletní. Dřevěný rám je vyplněn izolačním materiálem a zakryt velkorozměrovým materiálem, nejčastěji sádkartonovými deskami – exteriérová strana je poté pokryta polystyrenem a jsou naneseny základní omítky. [23]



Obrázek 16 Panelová výstavba [23]

3.1.3.2. KONSTRUKCE Z VRSTVENÉHO MASIVNÍHO DŘEVA

Prefabrikované velkoplošné panely vyrobené z křížem skládaného masivního dřeva – z technologie pokládky je odvozen název *Cross laminated timber*, zkráceně CLT panel.

Panely jsou vyrobeny ze sušených smrkových lamel, které jsou v jednotlivých vrstvách otočeny o 90°. Vrstvy jsou mezi sebou lepeny ve všech směrech, nejčastěji polyuretanovými lepidly. Použitím masivního dřeva a technologie sušení a lepení je možné dosáhnout vysoké statické únosnosti a tvarové stálosti. Aplikací kontaktní izolace z vnější strany obvodového pláště lze umožnit ponechání pohledové textury v interiérech. [74]



Obrázek 17 CLT panely [80]

3.1.4. SRUBY

Tradiční stavba z masivních, často neopracovaných, klád, které jsou skládány horizontálně na sebe. Charakteristickým znakem jsou přečnávající spoje v rohu.

S vývojem požadavků na tepelně izolační vlastnosti konstrukcí je často nutné doplnit srub další tepelně izolační vrstvou. Moderním řešením může být i sendvičová skladba zdi, kdy je konstrukce zdvojená a mezi ní vložena tepelná izolace – umožňuje to zachování srubového vzhledu i ve vnitřních prostorech.[75]

Srubby jsou stále oblíbené stavby a trend výstavby je neměnný, společně s roubenkami se každoročně postaví přibližně 200 rodinných domů z masivního dřeva. I přesto tento typ konstrukce nemá rozhodující podíl na trhu. Nevýhodou je nemožnost postavit srub kdekoliv, vysoká spotřeba materiálu i vysoký podíl lidské práce. Masivní srubové konstrukce mívají vysokou kvalitu vnitřního prostředí, Růžička [18] považuje dřevo za inteligentní materiál, který se přizpůsobuje potřebám a snižuje náklady na vytápění.

3.1.5. ROUBENKY

Také nazývané jako tesařské konstrukce, jsou tvořeny z materiálu dovezených přímo na místo stavby. Roubenky jsou tvořeny jednovrstvou konstrukcí pomocí masivních profilů. Základním prvkem jsou tedy trámy čtvercového či obdélníkového řezu, které jsou spojovány tesařskými spoji. Tesařské spoje jsou pro ně typické, tzv. roubení na rybinu, trámy nepřesahují mimo objekt a tvoří klasický roh. Prostor mezi trámy se nejčastěji vyplňuje tmelem či izolací, který se poté zakryje dřevěnou lištou. [75]



Obrázek 18 Roubenka [82]

Tento typ staveb není příliš rozšířený pro svou vysokou cenu, vysoké nároky na řemeslné zpracování a velkou míru lidské práce. [18] Vývoj dřevěných konstrukcí zaznamenala i tato kategorie – nová technologie spočívá ve výrobě roubenek pomocí CNC obráběcích strojů z lepených masivních hranolů (KVH, BSH). Použití vysušeného lepeného dřeva eliminuje nutné technologické přestávky z důvodu sesedání stavby a minimalizoval kroucení či praskání dřeva. [75]

3.2. EXPERIMENTÁLNÍ VZORKY

Na základě teoretických poznatků z předchozích kapitol bylo vybráno 7 zástupců nejčastěji používaných skladeb pro nosné zdi a střechy. U výběru skladeb vzorků a použitých materiálů bylo přihlíženo i ke uskutečněným stavebním projektům.

3.2.1. VSTUPNÍ PODMÍNKY

Pro korektní testování odolnosti materiálů vůči bleskovému výboji musí být aktivní plocha vzorku minimálně 50 x 50 cm což vychází ze samotné metody testování. Finální, vnější velikost vzorků byla optimalizována na velikost 60 x 62 cm, aby nebyla porušena strukturální celistvost nejrozměrnějšího prvku – nepálené cihly. Všechny ostatní zvolené skladby toto omezení nevykazovaly.

Aby bylo možné vzorky porovnávat mezi sebou, bylo nutné zvolit odpovídající konstantní parametr. Jako nejlogičtější se jeví použití parametru součinitele prostupu tepla sledovaného při vydávání stavebního povolení, zpracovaného ve formě energetického štítku obálky budovy (EŠOB). Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla pro nově postavené budovy je dána českou technickou normou – ČSN 73 0540, a její hodnota je $U = 0,25$ pro obvodové stěny a $U = 0,16$ pro střechu.

Tloušťka jednotlivých vzorků je tedy individuální a pro každý vzorek byla vypočítána tak, aby hodnota součinitele prostupu tepla odpovídala právě doporučené hodnotě.

3.2.2. VÝPOČTOVÉ VLASTNOSTI POUŽITÝCH MATERIÁLŮ

Tabulka 6 Vlastnosti materiálů fasády [78][79]

Fasáda	Lambda $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Tepelný odpor $m^2 \cdot K W^{-1}$	Tloušťka mm
Hlína hrubá	0.82	0.018	15
hlína jemná	0.61	0.007	4
Fasádní hlína s koňským trusem (1:0.4)	0.47	0.106	50
Konopná omítka	0.11	0.136	15
Vápenná omítka	0.39	0.038	15
Lícované pásy	0.53	0.028	15
Figaro taška	-	-	40
Capacco	-	-	5.7
Sibiřský modřín	-	-	20

Tabulka 7 Vlastnosti materiálů na bednění [78][79]

Bednění	Lambda $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Tepelný odpor $m^2 \cdot K W^{-1}$	Tloušťka mm
PackWall	0.127	0.118	15
Pavatex	0.043	0.512	22
Dřevovláknitá deska	0.092	0.163	15
OSB	0.13	0.115	15

Tabulka 8 Vlastnosti materiálů na izolaci [78][79]

Izolace	Lambda $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Tepelný odpor $m^2 \cdot K W^{-1}$	Tloušťka mm
Celulóza	0.038	6.579	120
Dřevovláknitá izolace	0.038	6.579	125
Sláma	0.075	3.333	165
Konopný beton	0.08	3.75	300
Nepálená cihla	0.723	0.346	120

3.2.3. OBVODOVÉ NOSNÉ STĚNY

Obvodovou nosnou stěnu je možné rozdělit do tří konstrukčních částí – nosná konstrukce, izolační vrstva a povrchové krytí. U převážné většiny vzorků je nosná konstrukce totožná a mění se izolační vrstva a povrchové krytí, výjimkou je pouze vzorek z konopného betonu, který byl poskytnut externím dodavatelem.

U tohoto vzorku konopný beton slučuje nosnou konstrukci a izolační vrstvu.

Skladba vzorků vychází z reálných a v praxi využívaných příkladů.

Vzorek 1 - Hliněná omítka s izolací ze slámy

- Hliněná omítka se slaměnou řezankou a koňským trusem
 - v nejsilnějším místě tl. 50 mm
 - armování z rákosu
 - opatřena Kaseinovým nátěrem
 - ozdobná vaječná malba
- Dřevěný ztužující rošt tl. 20 mm
 - součástí hliněné omítky
- Slaměný balík upraven na tl. 165 mm
- Dřevěný ztužující rošt tl. 10 mm
 - součástí hliněné omítky
- Hliněná omítka
 - jádrová vrstva tl. 15 mm
 - pohledová vrstva tl. 5 mm



Vzorek 2 - Konopný beton s omítkou

- Omítka "Vicat" románský cement tl.10 mm
- Konopný beton
 - konopné pazdeří s pojivem Tradical FT 70
 - poměr 1:2
 - tl. 300 mm
- Hliněná omítka jemná tl. 10 mm



Vzorek 3 - Nepálené cihly s izolací z celulózy a vápennou omítkou

- Vápenná omítka
 - tl. 25 mm
 - hydraulické vápno se stavebním pískem
 - poměr 1:3
- penetrace Keragrip Eco
- DHF dřevovláknitá deska tl. 15 mm
- celulóza tl. 120mm
- OSB tl. 12 mm
- nepálené cihly Heluz Energy
 - tl. 120 mm
 - hliněná malta
- Vápenný špric tl. 3 mm
- Vápenná omítka
 - tl. 15 mm
 - hydraulické vápno se stavebním pískem
 - poměr 1:3



Vzorek 4 - Provětrávaná dřevěná fasáda s izolací ze slámy

- Fasádní profily
 - tl. 19 mm
 - masivní dřevo z modřínu slezského
 - ochranný olejový nátěr OSMO
- Latě tl. 40 mm
- Dřevovláknitá deska tl. 20 mm
- Slaměná izolace tl. 165 mm
- OSB tl. 12 mm
- Hliněná omítka
 - jádrová vrstva tl. 15 mm
 - pohledová vrstva tl. 5 mm



Vzorek 5 - Lícové fasádní pásy s dřevovláknitou izolací

- Lícované pásy
 - tl. 65 mm
 - spárovací hmota Fugabella
 - lepidlo Biogel tl. 3 mm
 - penetrace Keragrip Eco
- Dřevovláknitá deska tl. 20 mm
- Dřevovláknitá izolace tl. 125 mm
- OSB tl. 12 mm
- Vápenná omítka
 - Vápenná omítka
 - tl. 15 mm
 - hydraulické vápno se stavebním pískem
 - poměr 1:3



3.2.4. STŘECHY

Vybrány byly tyto skladby materiálů:

Vzorek 6 - Střešní taška Tondach s dřevovláknitou izolací

- Střešní taška Tondach Figaro deluxe
- Laťový rošt tl. 80 mm
- Dřevovláknitá deska tl. 20 mm
- Dřevovláknitá izolace tl. 220 mm
- OSB tl. 12 mm
- Obkladové profily z masivního dřeva tl. 15 mm



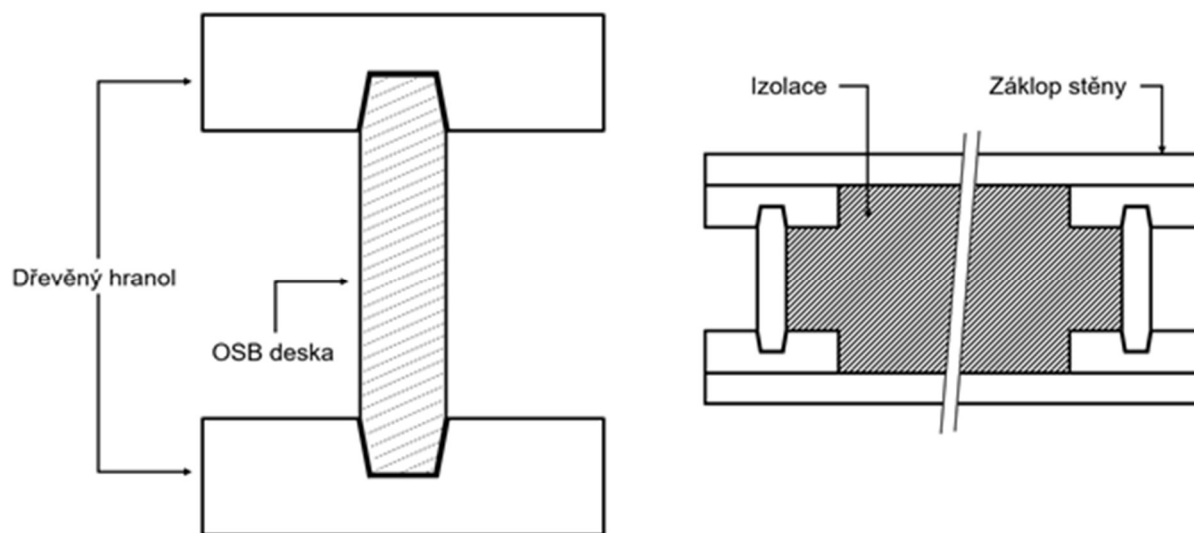
Vzorek 7 - Capacco šablona s izolací ze slámy a vápennou omítkou

- Střešní krytina “Capacco” tl. 5,7 mm
- Bednění z desek PackWall tl. 16 mm
- Dřevěný rošt tl. 80 mm
- Slaměná izolace tl. 270 mm
- OSB tl. 12 mm
- Vápenná omítka
 - tl. 15 mm
 - hydraulické vápno se stavebním pískem
 - poměr 1:3



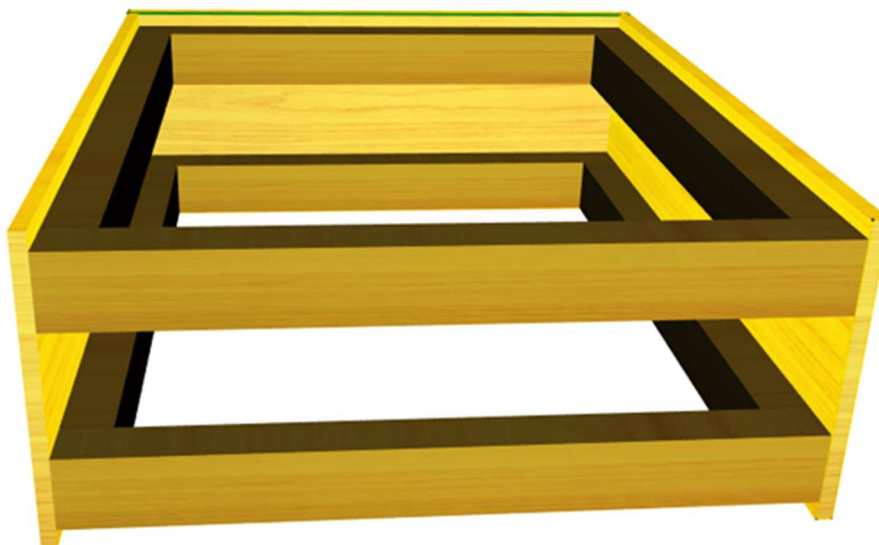
3.2.5. VÝROBA VZORKŮ

Samotná nosná konstrukce vzorků byla inspirována v praxi používaným systémem I nosníků složených z dřevěných hranolů a OSB či MDF desek. Schématický řez tímto profilem je uveden na obrázku níže. Jedná se o dva hranoly, v nichž je vyfrézovaná drážka, do které je následně vlisován pásek z OSB desky. V pravé části obrázku je uveden horizontální řez hypotetickou skladbou stěny sestavené z těchto nosníků.



Obrázek 19 Řez I nosníkem, vlastní tvorba

Experimentální vzorky využívají, pro jednoduchost výroby, pouze polovinu I nosníku a vzniká tak dřevěný rám zaklopený OSB deskou, jak je zobrazeno ve vizualizaci na obrázku níže. S pomocí této konstrukce je vzorek celistvý, mechanicky pevný a odpovídá skladbou reálnému použití.



Obrázek 20 Vizualizace konstrukce rámu, vlastní tvorba

3.2.5.1. VÝROBA KONSTRUKCE



Obrázek 21 Výroba rámu

3.2.5.2. ZÁKLOP



Obrázek 22 Zaklopení rámu Obrázek 23 Řez vzorkem

3.2.5.3. APLIKACE IZOLACE



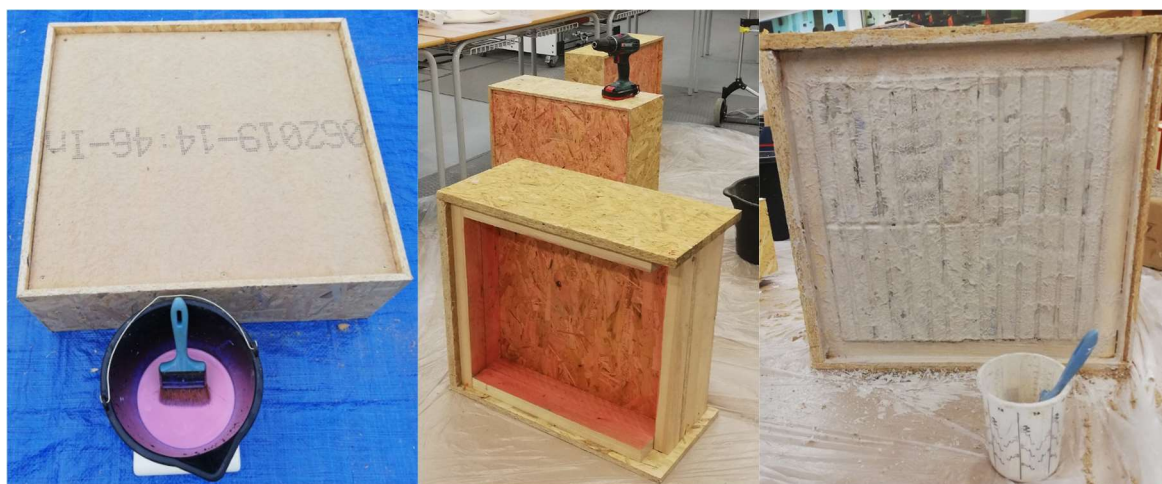
Obrázek 24 Izolace v rámu

3.2.5.4. VÝROBA FASÁDY



Obrázek 25 Příprava směsi na omítku

3.2.5.5. APLIKACE



Obrázek 26 Aplikace penetrace



Obrázek 27 Aplikace hliněné omítky



Obrázek 28 Proces schnutí hliněné omítky

3.2.5.6. VRCHNÍ ÚPRAVA FASÁDY



Obrázek 29 Kaseinový nátěr Obrázek 30 Kresba vaječným kličem

3.3. BLESKOVÝ VÝBOJ

Blesk je silným přírodním elektrickým výbojem emitovaným v dolní vrstvě atmosféry při bouřce. Tento úkaz je studován po teoretické (fyzikální) stránce a prezentován ve specializované literatuře [16], ale jeho nejdůležitější projevy musí být posuzovány z inženýrského praktického hlediska.

Bleskový výboj dosahuje extrémních napěťových a proudových hladin, při kterých jsou emitovány ionizované částice a dochází k ovlivnění blízkého okolí. Jeho elektrické účinky se mohou projevovat přímo, či nepřímo. K přímým patří zásah objektu a průchod tohoto bleskového proudu svodem či jinými vodivými nebo kapacitně navázanými konstrukcemi. Druhým, nepřímým, účinkem bleskového proudu je elektromagnetická indukce do vodivých konstrukčních prvků (elektroinstalace, inženýrské sítě a další rozvody, mechanické konstrukce, atd.). V mé diplomové práci se zabývám přímými účinky bleskového proudu.

Ochrana před bleskovým proudem je v současné době definována normou ČSN EN 62305, kde jsou dále zavedeny čtyři hladiny třídy ochrany před bleskem (I až IV) označované jako *Lightning Protection Level* (LPL). Tyto hladiny jsou navrženy podle účelu využití objektu. Specifikace je v následující tabulce:

Tabulka 9 Klasifikace budov pro hladiny LPL [85]

Klasifikace budov	
Hladina LPL	Druh objektu
I	budovy s vysoce náročnou výrobou, energetické zdroje, chemická výroba, budovy s prostředím s nebezpečím výbuchu, nemocnice, automobilky, banky
II	supermarkety, muzea, školy, rodinné domy s nadstandardní výbavou
III	rodinné domy, administrativní budovy, obytné budovy, zemědělské stavby
IV	budovy stojící v ochranném prostoru jiných objektů (bez vlastního hromosvodu), obyčejné sklady apod.
Zařazení budovy do příslušné LPL závisí na konkrétní situaci.	

V mé diplomové práci jsem se zaměřila na III. třídu – rodinné domy, administrativní budovy, obytné budovy a zemědělské stavby, kam spadají i již výše zmiňované dřevostavby.

Pro každou LPL je stanoven soubor maximálních a minimálních parametrů bleskového proudu. Nejdůležitějším parametrem, kterému musí konstrukce pro danou třídu odolat, je velikost bleskového proudu při proudové vlně 10/350 μ s.

Tabulka 10 Parametry bleskového proudu [85]

První kladný výboj			LPL			
Parametry proudu	Označení	Jednotka	I	II	III	IV
Vrcholový proud	I	kA	200	150	100	
Náboj výboje	Q_{short}	C	100	75	50	
Specifická energie	W/R	MJ/ Ω	10	5,6	2,5	
Časové parametry	T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	10/350			
První záporný výboj ^a			LPL			
Parametry proudu	Označení	Jednotka	I	II	III	
Vrcholový proud	I	kA	100	75	50	
Střední strmost	di/dt	kA/ μs	100	75	50	
Časové parametry	T_1/T_2	$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	1/200			

Následný krátký výboj			LPL			
Parametry proudu	Označení	Jednotka	I	II	III	IV
Vrcholový proud	I	kA	50	37,5	25	
Střední strmost	di/dt	kA/μs	200	150	100	
Časové parametry	T ₁ /T ₂	μs/μs	0,25/100			
Dlouhý výboj			LPL			
Parametry proudu	Označení	Jednotka	I	II	III	IV
Náboj dlouhého výboje	Q _{long}	C	200	150	100	
Časové parametry	T _{long}	s	0,5			
Výboj			LPL			
Parametry proudu	Označení	Jednotka	I	II	III	IV
Náboj výboje	Q _{flash}	C	300	225	150	
^a Použití tvaru této vlny odpovídá pouze výpočtu, ne zkoušení.						

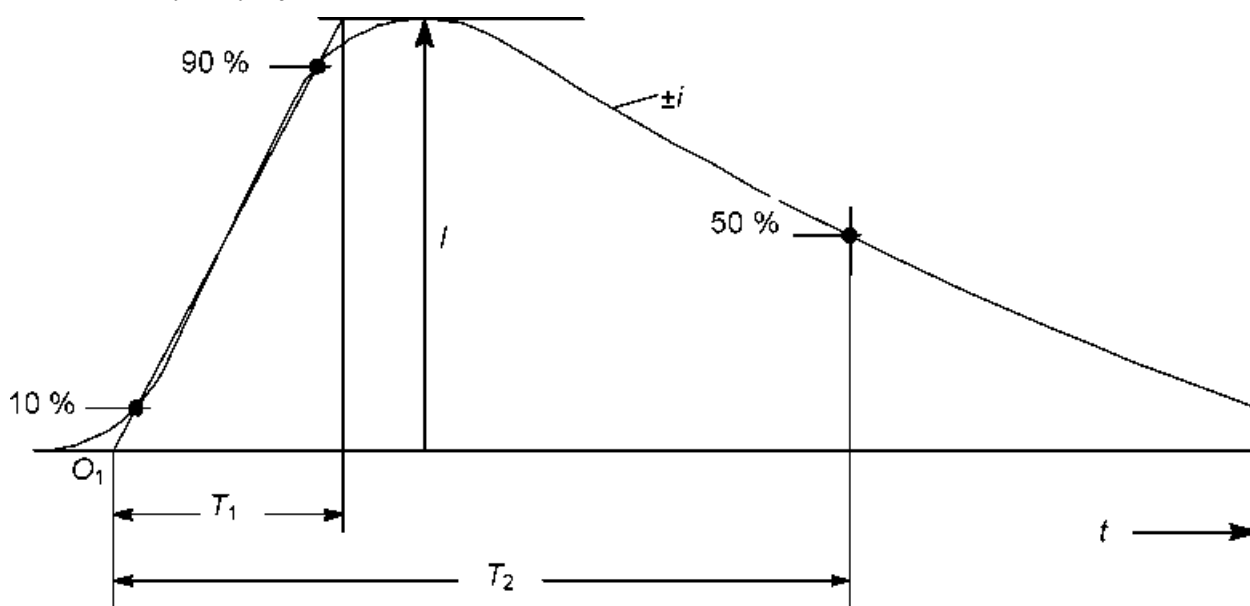
Blesk se projevuje v několika na sebe navazujících fázích, z nichž stěžejní pro ohrožení živých bytostí a objektů na zemi je závěrečná fáze, tzv. zpětného výboje (return stroke), a následného protékajícího kontinuálního proudu. Těmito dvěma jevy jsou při přímém zásahu ohroženy nejvíce konstrukce objektů.

Parametry bleskového proudu při úderu do země jsou v inženýrské praxi precizovány pro dva základní typy blesků:

- sestupné blesky začínající sestupným lídrem z mraku k zemi,
- vzestupné blesky začínající vzestupným lídrem z uzemněné stavby k mraku.

Bleskový proud se může skládat z jednoho, nebo více různých dílčích výbojů:

- výbojů s dobou trvání kratší než 2 ms,
- dlouhých výbojů s dobou trvání delší než 2 ms.



Obrázek 31 Průběh proudu [85]

O_1 efektivní počátek; I vrcholová hodnota proudu; T_1 doba čela; T_2 doba půltýlu

S ohledem na případy, kdy bleskový proud zasáhne nejenom ochranný systém (pro který je navržen a konstruován hromosvod), ale dostane se i do styku s izolačními stavebními materiály, které tvoří součásti stěn, omítek a nosných konstrukcí, musí být takové části tomuto proudu dostatečně odolné. Často se zkouší odolnost pouze materiálů, ze kterých je hromosvod vyroben [85] (nejrůznější svorky, klemy, lana, dráty a dále pak sekundární ochranné systémy, přepět'ové ochrany a svodiče bleskových proudů), ale menší pozornost je věnována materiálům okolí, především potom materiálům stěn. Proto jsem moji pozornost zaměřila na zkoušení odolnosti stavebních materiálů, kterým dosud v odborné literatuře nebyla věnována taková pozornost. Kritériem výběru pro mne byly materiály více vodivé v důsledku většího množství pohlcené vody, ale zároveň lépe hořlavé z pohledu jejich tepelně izolačních vlastností (suché seno, sláma, konopí atd.).

3.3.1. INŽENÝRSKÁ APROXIMACE BLESKOVÉHO PROUDU EXPONENCIÁLNÍ FUNKCÍ

Typicky se pro zkoušení odolnosti vůči bleskovému proudu uvažují kladné pulzy a mechanické účinky blesků se vztahují k vrcholové hodnotě proudu (I) a ke specifické energii vztažené na jednotkový odpor (W/R). Tepelné účinky se váží ke specifické energii (W/R), když je zahrnuta odporová vazba a k náboji (Q), když se v instalaci může rozvinout oblouk. [85]

Tvar proudu se aproximuje za pomoci:

- prvního kladného výboje 10/350 μs
- prvního záporného výboje 1/200 μs
- následných záporných výbojů 0,25/100 μs

$$i = \frac{I}{k} \cdot \frac{\left(\frac{t}{T_1}\right)^{10}}{1 + \left(\frac{t}{T_1}\right)^{10}} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} \quad (4)$$

I je vrcholový proud; k korekční činitel pro vrcholový proud; t čas; T_1 konstanta doby čela; T_2 konstanta doby týlu.

Tabulka pro vztah aproximovaného proudu.

Tabulka 11 Vztah aproximovaného proudu [85]

Parametry	První kladný výboj			První záporný výboj			Následný záporný výboj		
	LPL			LPL			LPL		
	I	II	III-IV	I	II	III-IV	I	II	III-IV
I (kA)	200	150	100	100	75	50	50	37,5	25
k	0,93	0,93	0,93	0,986	0,986	0,986	0,993	0,993	0,993
T_1 (ms)	19	19	19	1,82	1,82	1,82	0,454	0,454	0,454
T_2 (ms)	485	485	485	285	285	285	143	143	143

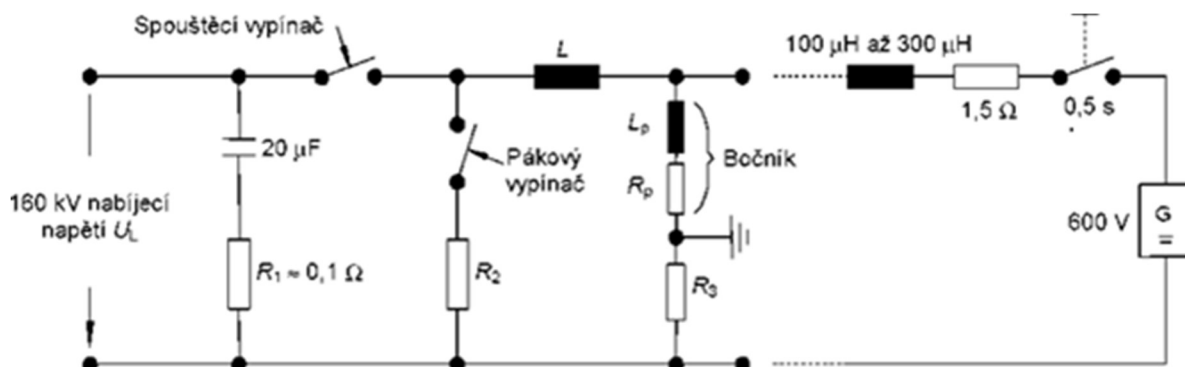
V další mé práci jsem studovala účinek pouze vlny tvaru 10/350 μs pro III. třídu LPL.

Tabulka 12 Zkušební parametry vlny 10/350 μs [85]

Zkušební parametry		LPL			Tolerance
		I	II	III-IV	%
Vrcholový proud I	(kA)	200	150	100	± 10
Náboj Q_{short}	(C)	100	75	50	± 20
Specifická energie W/R	(MJ/ Ω)	10	5,6	2,5	± 35

3.3.2. NAPodobENÍ BLESKOVÉHO PROUDU PRO ÚČELY ZKOUŠEK

V závislosti na zkoušeném předmětu a předpokládaném mechanismu poškození mohou být použity zkoušky pro první kladný výboj, nebo dlouhý výboj jednotlivě, nebo jako kombinovaná zkouška, kde dlouhý výboj následuje ihned za prvním výbojem.



Obrázek 32 Schématické znázornění možného uspořádání generátoru bleskových proudů

Negativními účinky přímých bleskových proudů jsou především:

- tepelné účinky spojené s bleskovým proudem se vztahují k odporovému ohřevu způsobenému průchodem elektrického proudu protékajícího odporem vodiče nebo do komponent ochranných systémů. Tepelné účinky se rovněž vztahují k teplu generovanému v patě oblouku v přípojném bodě a ve všech oddělených částech hromosvodu zasažených rozvojem oblouku (například jiskřiště). Teplotní poškození v místě připojení je možné pozorovat na všech součástech hromosvodných systému, na kterých se rozvíjí oblouk, tj. jímací soustavy, jiskřiště atd. V místě připojení může nastat tavení materiálu a eroze. Většina tepelné energie je generována na povrchu kovu nebo v jeho blízkosti. Teplu generované bezprostředně v prostoru paty je vyšší než teplo, které může být vodivostí absorbováno do kovu a přebytek je vyzářen nebo ztracen v tavení nebo vypaření kovu. Míra tohoto procesu je spojená s vrcholovou hodnotou proudu a dobou trvání. Stejným způsobem však mohou být i poškozeny izolační materiály, které se mohou dostat do styku s účinky nejenom elektrického oblouku,
- mechanické účinky způsobené bleskovým proudem závisí na vrcholové hodnotě a době trvání proudu, stejně jako na pružnostních charakteristikách zasažené mechanické konstrukce.

V praxi vznikají oba účinky, tepelné a mechanické, současně. Systém ochrany před bleskem je sestaven z mnoha různých součástí, z nichž každá má v rámci systému určitou funkci. Povaha součástí a specifické zatížení, kterému jsou podrobeny, vyžadují zvláštní pozornost při stanovení laboratorních zkoušek na ověření jejich vlastností.

V experimentech jsem se v mé práci zaměřila na tepelné a mechanické destruktivní účinky bleskového proudu. Používala jsem generátor bleskového proudu s vlnou tvaru 10/350 μ s s amplitudou 110 kA a se specifickou energií větší než 2,5 MJ/ Ω . Cílem bylo posoudit, jaký vliv může mít bleskový proud na konstrukce materiálů, které mohou být bleskovým proudem zasaženy.

3.3.3. TESTOVÁNÍ VZORKŮ NA ÚČINKY BLESKOVÉHO VÝBOJE

Vzhledem k tomu, že v žádné z norem zabývajících se problematikou ochrany před bleskem není detailně specifikováno, jak by měl vypadat vhodný postup zkoušení izolačních stavebních materiálů, využila jsem informací především z podkladů laboratoří specializovaných na testování materiálů před účinky bleskových proudů. Tyto laboratoře navrhly vlastní postupy experimentů vycházející především z odborné literatury. Pro účely testování vzorků jsem využila prostory a zkušenosti zaměstnanců z laboratoří FEL ČVUT v Praze.

S ohledem na velikosti vzorků byl zvolen pro testování uzemněný ocelový rám, který byl adjustován po obvodu celého vzorku. V této fázi zkoušky se testovala odolnost vůči povrchovým výbojům, které by se mohly rozvinout po povrchu omítky. V druhé fázi se do vzdálenosti 12 cm od středové elektrody umístila zemnicí elektroda a byl sledován tepelný průraz materiálu prostřednictvím rozvíjejícího se impulzního oblouku.

Testováno bylo těchto 7 vzorků:

Vzorek 1 - Hliněná omítka s izolací ze slámy

Vzorek 2 - Konopný beton s omítkou

Vzorek 3 - Nepálené cihly s izolací z celulózy a vápennou omítkou

Vzorek 4 - Provětrávaná dřevěná fasáda s izolací ze slámy

Vzorek 5 - Lícové fasádní pásy s dřevovláknitou izolací

Vzorek 6 - Střešní taška Tondach s dřevovláknitou izolací

Vzorek 7 - Capacco šablona s izolací ze slámy a vápennou omítkou

3.3.4. VYHODNOCENÍ TESTU NA ÚČINKY BLESKOVÉHO VÝBOJE

Ze série posuzovaných vzorků v III. třídě LPL nevyhověly zkoušce účinku bleskového proudu 110 kA vlny 10/350 μ s následující typy stěn:

Vzorek 1 - Hliněná omítka s izolací ze slámy



Obrázek 33 Účinek bleskového proudu na vzorku č. 1

Vzorek 3 - Nepálené cihly s izolací z celulózy a vápennou omítkou



Obrázek 34 Účinek bleskového proudu na vzorku č. 3

3.4. EKONOMICKO-TECHNICKÉ POSOUZENÍ ZÁMĚNY KONVENČNÍCH MATERIÁLŮ ZA PŘÍRODNÍ

Případová studie obsahuje modelové příklady a ekonomické posouzení jedné zděné stavby a dvou staveb na bázi dřeva. Dle STÚ-K [24] je typický rodinný dům od roku 2011 středně velká dvoupatrová budova se zastavěnou plochou 85 m². Celková užitná plocha činí 145 m² a obestavěný prostor 510 m³. Ekonomické posouzení nákladů obsahuje jen přímo přiřaditelné položky pro období 30/50/90 let.

3.4.1. VSTUPNÍ PARAMETRY

Typický rodinný dům od roku 2011 dle [24]

Počet podlaží: 2

Počet bytových jednotek: 1

Energeticky vztažná plocha: 170 m²

Užitná plocha: 145 m²

Obestavěný prostor: 510 m³

Potřebná energie na vytápění cca 50 kWh/m²a

Lokalita: Středočeský kraj

Tabulka 13 Plochy konstrukcí typického domu dle [24]

Konstrukce	Plocha (m²)
Střecha	85
Obvodová stěna	200,5
Podlaha	85
Okno	22,6
Dveře	1,8

3.4.1.1. VIZUALIZACE



Obrázek 35 Vizualizace typického domu [76]

3.4.2. VARIANTY HODNOCENÍ

Tabulka 14 Popis varianty 1 a 2

	Konvenční	CLT	U
Střecha	Železobetonová střecha, 180 mm izolace z minerálních vláken	Capacco, sláma tl. 265 mm, pavatex 20 mm	0,16
Obvodová stěna	Příčně děrované cihelné bloky tl. 380 mm	CLT tl. 84 mm, sláma tl. 50 mm	0,25
Podlaha	ŽB deska 150 mm, polystyren 120 mm	ŽB deska 150 mm, polystyren 120 mm	0,30
Okno	Dřevěné s ID	Dřevěné s ID	1,20
Dveře	Dřevěné izolované	Dřevěné izolované	1,70

Tabulka 15 Popis varianty 3

	Slaměný	U
Střecha	Capacco, sláma tl. 265 mm, pavatex 20 mm	0,16
Obvodová stěna	Sláma tl. 165 mm, I-nosník	0,25
Podlaha	Dřevěný rošt se slaměnou izolací tl. 260 mm	0,16
Okno	Dřevěné s ID	1,20
Dveře	Dřevěné izolované	1,70

3.4.3. SLEDOVANÉ PARAMETRY

3.4.3.1. POŘIZOVACÍ NÁKLADY

Investiční náklady, tedy náklady na pořízení stavby, byly převzaty z nabídkových cen uvedených v tabulce níže. [48] Zdroj získal ceny v roce 2018, a proto byly přepočteny pomocí HB indexu na současnou hodnotu. Cena pozemku i připojení inženýrských sítí se odvíjí dle lokality a ne dle charakteristiky stavby [10]. V

ekonomické analýze životního cyklu stavby je počítáno s fixní cenou stavby na klíč bez zahrnutí hodnoty pozemku.

Tabulka 16 nabídkové ceny dle druhu konstrukce

Konstrukční varianta dřevostavby	Průměrná cena na m ² užitné plochy	Typický dům 145 m ²
CLT panely	36 690 Kč	5,320,091
Roubenky a sruby	40 261 Kč	5,837,877
Sendvičový panel – difúzně OTEVŘENÁ skladba	34 554 Kč	5,010,339
Sendvičový panel – difúzně UZAVŘENÁ skladba	32 068 Kč	4,649,817
Staveništní montáž – difúzně OTEVŘENÁ skladba	30 041 Kč	4,355,986
Staveništní montáž – difúzně UZAVŘENÁ skladba	31 123 Kč	4,512,896
Zděná stavba bez rozlišení použitých materiálů	32 808 Kč	4,757,276

Dále v ekonomickém hodnocení posuzují jen konstrukce zmíněné v tabulce.

Tabulka 17 Investiční hodnota variant

Zděný	CLT	Slamák
4 757 276 Kč	5 320 091 Kč	4 355 986 Kč

3.4.3.2. PROVOZNÍ NÁKLADY

Provozní náklady jsou především náklady na vytápění, ohřev teplé vody nebo vodného a stočného. Náklady na vodu závisí na zvyklostech uživatelů a na způsobu a frekvenci využívání rodinného domu. [10]

Do provozních nákladů je započítána pouze cena energie na vytápění a pořízení zdroje tepla.

Investice do vybavení s životností 20 let se skládá z elektrokotle za 16 372 Kč a bojleru za 7 000 Kč, měrné roční náklady na vybavení tak činí 1 169 Kč.

Roční spotřeba domu činí 50 kWh na metr čtvereční, to jest, při užitné ploše 145 m², 7250 kWh. Při průměrné ceně elektřiny 3.025 Kč za kWh a stálých měsíčních platbách 490 Kč je celková roční platba za elektřinu přibližně 29 000 Kč. Současná hodnota provozních nákladů za rok je 199.9 Kč za metr čtvereční.

Při hodnocení nákladů po celou dobu životnosti stavby je potřeba počítat s eskalací cen energií. Tabulka níže zobrazuje roční měrnou hodnotu anuity dle předpokládané doby hodnocení s 2% eskalací cen.

Tabulka 18 Roční náklady energií za dobu hodnocení

Počet let	30	50	90
Kč/m ² a	267.71	318.01	432.53

3.4.3.3. UDRŽOVACÍ NÁKLADY

Náklady vynaložené na údržbu či modernizaci rodinného domu jsou detailně vypočtené ve výzkumu [11] a jejich měrné roční hodnoty jsou částečně převzaty do výpočtů. Většina základních stavebních prvků má cyklus oprav přibližně 5 let s rozsahem okolo 10 % z původní ceny. [10] také zmiňuje například životnost venkovních dveří 25 let, dlažeb a obkladů 50 let nebo fasádního systému 60 let.

V hodnocení nákladů je počítáno s měrnými fixními ročními náklady na dobu 30 let, kdy je předpokládáno, že po dobu hodnocení nevznikne vyšší jednorázová platba za obnovu. Při hodnocení doby životnosti 50 a 90 let se výpočet rozšíří o jednorázové náklady na obnovu či modernizaci. V případě hodnocení cyklu 50 let jsou jednorázové výdaje v letech 20 a 40, u hodnocení cyklu 90 let jsou výdaje v letech 30, 60 a 80.

3.4.3.4. NÁKLADY NA LIKVIDACI

Náklady spojené s likvidací stavby jsou složeny z nákladů za demolici a odvoz stavebního materiálu.

Z ceníku firmy Ekoprag [77] činí náklady na demolici:

- Fixně 100 000 za bourání rodinného domu
- Lidská práce je ohodnocena 250 Kč na hodinu
- Práce stroje je dle náročnosti
 - Dřevostavba 660 Kč/h
 - Zděná 990 Kč/h

Předpoklad výpočtu je, že zděný dům se likviduje v průměru 7 dní, dům z CLT panelů 5 dní a dům ze slámy 4 dny. Tabulka níže zobrazuje objem jednotlivých konstrukcí s celkovou hodnotou za odvoz a likvidaci odpadu.

Tabulka 19 Náklady na likvidaci dle konstrukce

Konstrukce		Objem m ³	Cena Kč
Střecha	Železobetonová střecha, 180 mm izolace z minerálních vláken	21,3	17,372
	Capacco + sláma tl. 165 mm, pavatex 20 mm	19,6	6,467
Obvodová stěna	Příčně děrované cihelné bloky tl. 380 mm	76,19	62,141
	CLT tl 84 mm + sláma tl. 50 mm	116,3	31,663
	Sláma tl. 165 mm + dřevo	33,1	9,011
Podlaha	ŽB deska 150 mm, polystyren 120 mm	22,9	18,677
	Dřevěný rošt se slaměnou izolací tl. 120 mm	13,2	3,594
Otvorové výplně	Okna / Dveře	2,44	1,501

Tabulka 20 Celkové náklady na likvidaci stavby dle konstrukce

Zděný	CLT	Slamák
262 708 Kč	191 340 Kč	146 999 Kč

3.4.4. SROVNÁNÍ NÁKLADŮ ZA ŽIVOTNÍ CYKLUS DLE KONSTRUKCE

Dle metody na posuzování nákladů za životní cyklus (LCC) dále srovnávám jednotlivé konstrukce dle jejich měrných i nominálních nákladů za posuzované období. Pro zajištění co nejpřesnějších výsledků je vypočtena čistá současná hodnota (NPV) nákladovou metodou. Zvolena byla diskontní míra 3,4 %.

3.4.4.1. DOBA HODNOCENÍ 30 LET

Doba posuzování 30 let je zvláštní případ výpočtu, kdy se počítá s prodejem majetku či jeho převodem na další generaci. V tomto výpočtu se nepočítá s likvidací stavby, ale s jejím prodejem.

Při výpočtu čisté současné hodnoty jsem pracovala s daty z tabulky níže, které reprezentují roční náklady na metr čtvereční bez respektování časové hodnoty peněz.

Tabulka 21 Roční náklady na metr čtvereční při době hodnocení 30 let

Konstrukce	Pořizovací náklady	Provozní náklady	Udržovací náklady	Celkem
Konvenční	1093.6	267.7	75.5	1436.8
Slaměný	1001.4	267.7	27.2	1296.3
CLT	1223.0	267.7	40.8	1531.5

Prodejní cenu rodinného domu za 30 let nelze, vzhledem k nepředvídatelnému vývoji tržního prostředí, odhadnout. Zvolena byla metoda ocenění stavby nákladovým způsobem dle vyhlášky 441/2013 Sb. k provedení zákona o oceňování majetku (oceňovací vyhláška).

Vyhláška definuje přesný výpočet pomocí cenové mapy ČR, indexů trhu a indexu polohy. Po započtení procentní hodnoty opotřebení získáme cenu stavby. Vyhláška definuje i index konstrukce, který jsem využila pro úpravu ocenění stavby. Zděné stavby v lokalitě Praha-Západ mají budoucí hodnotu 4 204 376 Kč a stavba na bázi dřeva 4 471 927 Kč.

Tabulka níže zobrazuje vypočtenou čistou současnou hodnotu jednotlivých variant konstrukcí staveb.

Tabulka 22 Čistá současná hodnota za 30 let

Konstrukce	NPV
Konvenční	-2 064 739
Slaměný	-1 229 842
CLT	-2 217 512

Výpočet čisté současné hodnoty ukázal nákladovou výhodnost jednoduché konstrukce slaměného domu oproti domu z CLT panelů, který má velké investiční náklady. Zděná stavba je v tomto případě střední cesta.

3.4.4.2. DOBA HODNOCENÍ 50 LET

Doba posuzování 50 let je běžná pro hodnocení nákladů pro jednu generaci. V tomto případě je stavba na konci období přenechána další generaci, a tudíž neproběhne prodej ani likvidace.

Při výpočtu čisté současné hodnoty jsem pracovala s daty z tabulky níže, které reprezentují roční náklady na metr čtvereční bez respektování časové hodnoty peněz.

Tabulka 23 Roční náklady na metr čtvereční při době hodnocení 50 let

Konstrukce	Požizovací náklady	Provozní náklady	Udržovací náklady	Rekonstrukce	Celkem
Konvenční	656.2	318.0	75.5	83.8	1169.7
Slaměný	600.8	318.0	27.2	30.2	996.4
CLT	733.8	318.0	40.8	45.2	1164.2

Tabulka níže zobrazuje vypočtenou čistou současnou hodnotu jednotlivých variant konstrukcí staveb.

Tabulka 24 Čistá současná hodnota za 50 let

Konstrukce	NPV
Konvenční	-8 416 251
Slaměný	-6 962 546
CLT	-8 089 341

Výpočet čisté současné hodnoty ukázal nákladovou výhodnost jednoduché konstrukce slaměného domu oproti domu z cihel. Stavba z CLT panelů je v tomto případě střední cesta.

3.4.4.3. DOBA HODNOCENÍ 90 LET

Doba posuzování 90 let je dlouhodobé hledisko s nejvyšší mírou nepřesnosti. V tomto případě je stavba na konci období zlikvidována.

Při výpočtu čisté současné hodnoty jsem pracovala s daty z tabulky níže, které reprezentují roční náklady na metr čtvereční bez respektování časové hodnoty peněz.

Tabulka 25 Roční náklady na metr čtvereční při době hodnocení 90 let

Konstrukce	Požizovací náklady	Provozní náklady	Udržovací náklady	Rekonstrukce	Likvidace	Celkem
Konvenční	364.5	432.5	75.5	102.7	20.1	995.4
Slaměný	333.8	432.5	27.2	37.0	11.3	841.7
CLT	407.7	432.5	40.8	55.5	14.7	951.1

Tabulka níže zobrazuje vypočtenou čistou současnou hodnotu jednotlivých variant konstrukcí staveb.

Tabulka 26 Čistá současná hodnota za 90 let

Konstrukce	NPV
Konvenční	-12 725 505
Slaměný	-10 033 923
CLT	-11 624 887

Výpočet čisté současné hodnoty ukázal nákladovou výhodnost jednoduché konstrukce slaměného domu oproti domu z cihel. Stavba z CLT panelů je v tomto případě střední cesta.

3.4.4.4. VYHODNOCENÍ

Z hodnocení nákladů na životní cyklus vyplývá, že stavby na bázi dřeva jsou, v dlouhodobém horizontu, méně nákladné. Výsledky nejvíce ovlivňuje hodnota investice, která závisí nejen na výběru konstrukce, ale i na dodavateli stavby. V případě stavby rodinného domu svépomocí jsou konstrukce ze dřeva vhodnější pro stavbu v malém počtu osob.

Jak vyplývá z hodnocení nákladů na likvidaci, stavbu na bázi dřeva lze považovat za vhodnou alternativu ke zděným domům nejen z pohledu množství odpadu, ale i případné recyklace materiálů použitých na stavbu.

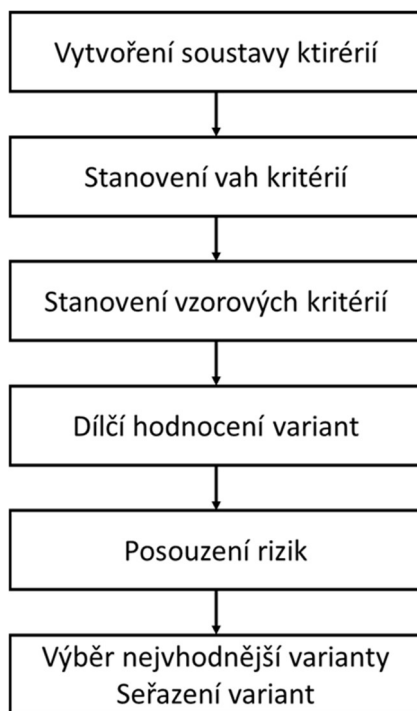
3.5. VÍCEKRITERIÁLNÍ HODNOCENÍ VARIANT

Vícekriteriální rozhodování je založeno na matematickém modelování. Rozhodování lze chápat jako výběr jedné varianty z více alternativ. Proces je založen na postupu od identifikace problému přes volby cílů, vyhodnocení, až po výběr varianty doporučené k realizaci. “Rigorózní přístup k výkladu problematiky optimálního rozhodování ve složitých situacích svádí k řešení metodou diskuze až do úplné únavy. Některé partie, zejména z oblasti vícekriteriálního hodnocení variant, jsou navíc srozumitelné bez jakýchkoliv matematických znalostí a mohou být studovány a pochopeny nezávisle na partiích náročnějších“.[9]

Vícekriteriální, nebo také multikriteriální, rozhodování má množinu n variant, které jsou ohodnoceny pomocí m kritérií. Cíl rozhodování je zřejmý – vybrat variantu, která je dle zadaných kritérií hodnocena nejlépe. [9]

[9] u vícekriteriálního hodnocení zdůrazňuje nutnost znát tyto informace:

- o čem se rozhoduje,
- cíle, které mají být splněny,
- jaká hlediska respektovat,
- časový horizont sledování.



Obrázek 36 Doporučený postup vícekriteriálního hodnocení [9]

3.5.1. VÝBĚR KRITÉRIÍ

Výběr vhodných kritérií závisí na poznání objektu hodnocení – způsob vytváření hodnotících kritérií ovlivňuje výsledné hodnocení. Kritéria lze zařadit do skupin hledisek hodnocení, které reflektují sociální, ekonomické či technické aspekty. [9]

Pro hodnocení stavebních materiálů jsem vybrala tři základní hlediska – technické, environmentální a ekonomické. V tabulce jsou vypsána kritéria, která byla využita u jednotlivých hodnocení.

Tabulka 27 Vybraná kritéria a jejich jednotky

	Kritérium	Jednotka
Technická hlediska	Tepelná vodivost	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
	Měrná tepelná kapacita	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
	Náročnost montáže	-
	Klimatické požadavky	-
	Třída reakce na oheň	-
Environmentální hlediska	Svázaná energie – PEI	$MJ \cdot m^{-3}$
	Potenciál globálního oteplování – GWP	$kg \cdot m^{-3}$
	Potenciál okyselení prostředí – AP	$g \cdot m^{-3}$
Ekonomická hlediska	Měrná cena při $U=0.25$ nebo běžné tloušťce	$Kč/m^2$
	Měrná cena za životnost	$Kč/m^2a$
	Údržba	-
	Likvidace	-
	Tržní dostupnost	-
	Životnost	roky

3.5.2. VÝBĚR HODNOCENÝCH MATERIÁLŮ

Vzhledem k rozsáhlé nabídce stavebních materiálů jsem vybrala několik zástupců z každé kategorie. Různý rozsah tematických skupin reflektuje nejčastěji používané materiály.

Tabulka 28 Vybrané materiály k hodnocení

Izolační materiál	Konstrukce	Fasádní systém	Deskový materiál
Slaměný balík	Dřevo tvrdé (Ecocon systém)	Hliněná omítka s koňským trusem	Dřevovláknitá deska (Pavatex)
Dřevovláknitá foukaná izolace	I nosník (Steico systém)	Vápenocementová omítka	Dřevovláknitá deska (Gutex)
Foukaná celulóza	Lepené hranoly (CLT systém)	Tepelně izolační omítka (perlitová)	PackWall
Ovčí vlna	Železobeton s 4 % ocelí	Vápenná omítka	OSB Ultralam
Konopí	Cihla pálená dutinová	Lícované pásy	Sádrokartón
Len	Cihla pálená plněná vatou	Dřevěný obklad	
Skelná vata	Tvarovky plynosilikátové		
Polystyren XPS			
Polystyren EPS			
Pěnové sklo			

3.5.3. STANOVENÍ VAH A OHODNOCENÍ KRITÉRIÍ

Váha jednotlivých kritérií reflektuje jejich důležitost a významnost vůči celku. Existuje velké množství metod a způsobů, jak stanovit váhu kritéria, přičemž zvolené váhy významně ovlivňují výsledné hodnocení.

Pro stanovení vah kritérií jsem zvolila metodu porovnání významu, kdy se kritéria seřadí dle důležitosti.

Využila jsem znalosti z výzkumu [7], kde byla preference parametrů u výběru staveb následující:

- 31 % Kvalita,
- 27 % Cena,
- 14 % Reference,
- 11 % Rychlost,
- 9 % Ekologie,
- 8 % Tradice.

Tabulka níže zobrazuje jednotlivé váhy, které se z důvodu nejednotných rozsahů množin materiálů liší dle výpočtové skupiny.

Tabulka 29 Vybraná kritéria a jejich váhy

Váha cíle	Kritérium	Váha kritéria
0.4	Tepelná vodivost	0.2 / 0.16 / 0.13
	Měrná tepelná kapacita	0.133 / 0.08 / 0.04
	Náročnost montáže	0.12
	Klimatické požadavky	0.08
	Třída reakce na oheň	0.08 / 0.04 / 0.03
0.2	Svázaná energie – PEI	0.1
	Potenciál globálního oteplování – GWP	0.067
	Potenciál okyselování prostředí – AP	0.033
0.4	Měrná cena při $U = 0.25$ / běžné tloušťce	0.16 / 0.13 / 0.08
	Měrná cena za životnost	0.12 / 0.11
	Údržba	0.05
	Likvidace	0.08 / 0.05 / 0.03
	Tržní dostupnost	0.08
	Životnost	0.11 / 0.08 / 0.04

Pro složitě kvantifikovatelná kritéria jsem k ohodnocení zvolila bodovací metodu.

Tabulka 30 Bodové hodnocení kritérií

Kritérium	Slovní vyjádření	Rozsah bodů
Náročnost montáže	Základní odbornost	7 - 10
	Střední odbornost	5 - 6
	Vysoká odbornost	1 - 4
Klimatické požadavky	Suchý proces	9 - 10
	Mírné	7 - 8
	Střední / Vysoké	1 - 6
Třída reakce na oheň	A1	9 - 10
	A2	7 - 8
	B	5 - 6
	C/D	3 - 4
	E/F	1 - 2
Údržba	Jednoduchá	8 - 10
	Přiměřená	5 - 7
	Náročná	1 - 4
Likvidace	Kompostovatelné i recyklovatelné	9 - 10
	Kompostovatelné	7 - 8
	Jen recyklovatelné	4 - 6
	Jen skládka	1 - 3
Tržní dostupnost	Vysoká	8-10
	Střední	4-7
	Nízká	1-3

3.5.4. VYBRANÉ HODNOTY KRITÉRIÍ

Tabulky níže zobrazují jednotlivé skupiny materiálů a jejich hodnoty u kvantitativních kritérií. Data jednotlivých stavebních materiálů jsem získala od výrobců, z technických listů, katalogu stavebních materiálů TZB-info, nebo z databáze materiálů a jejich dopadů na životní prostředí Envimat. [78][79] U výrobků, které jsou na trhu nové, nebyly některé informace k dispozici, a proto jsem jejich hodnoty odhadla.

Tabulka 31 Hodnoty kritérií - konstrukční systém [78][79]

Kritérium	Tepelná vodivost	Tepelná kapacita	Třída reakce na oheň	PEI MJ/kg	GWP kg CO ₂	AP g SO ₂ .	Kč/m ²	Kč/m ² a
Váh kritéria	0,13	0,05	0,03	0,1	0,067	0,033	0,16	0,12
Dřevo tvrdé	0,22	2510	D	1,959	-0,1087	0,6321	160	4,6028
I-nosník Steico	0,145	2510	D	12,6718	0,49161	1,1679	100,8	2,89981
Lepené hranoly	0,13	1600	D	8,679	0,4556	2,57	288,8	8,30818
Železobeton, 4% ocel	1,58	1020	A1	1,45721	0,16976	0,2217	1010,8	29,0786
Cihla pálená dutinová tl. 380 mm	0,108	960	A1	2,573	0,2386	0,5456	1436	41,3108
Cihla pálená plněná vatou tl. 380 mm	0,066	960	A1	33,5049	1,69400	0,1642	2370	68,1800
Tvarovky ply-nosilikátové tl. 375 mm	0,083	1000	A1	3,24998	0,4117	0,6744	1509	43,4108

Tabulka 32 Hodnoty kritérií - fasáda [78][79]

Kritérium	Tepelná vodivost	Měrná tepelná kapacita	tloušťka	Třída reakce na oheň	PEI MJ/kg	GWP kg CO ₂	AP g SO ₂	Kč/m ²	Kč/m ² a
Váha kritéria	0,16	0,08	-	0,04	0,1	0,067	0,033	0,08	0,03
Hliněná s řezankou	0,424	1334	0,45	E	0,482	0,0191	0,0715	3744	416,81
Vápenocementová	0,99	790	0,2	E	1,4596	0,21317	0,35407	1040	63,6
Tepelně izolační omítka	0,1	550	0,25	E	8,2495	0,76995	1,5612	725	44,34
Vápenná omítka	0,88	840	0,2	E	4,3137	0,76382	0,69793	659	51,3
Lícované pásy	1,01	920	0,2	E	2,5737	0,2386	0,5456	4560	131,1
Palubky	0,22	2510	0,2	D	2,3858	0,1587	0,6321	1800	51,78

Tabulka 33 Hodnoty kritérií - izolace [78][79]

Kritérium	Tepelná vodivost	Měrná tepelná kapacita	Tloušťka pro U = 0.25	Třída reakce na oheň	PEI MJ/kg	GWP kg CO ₂	AP g SO ₂	KČ/m ²	KČ/m ² a
Váha	0,16	0,04	-	0,08	0,1	0,067	0,033	0,13	0,11
Sláma	0,052	2000	0,21	E	0,85	-1,25	0,0008	81	2,58
Dřevovláknitá izolace	0,039	2100	0,16	E	1,9	-1,44	0,0014	312	9,93
Celulóza	0,038	2000	0,15	D	7,03	-0,91	0,0034	152	4,84
Ovějí vlna	0,0385	1760	0,15	D	8,7	-0,244	0,0034	462	14,7
Konopí	0,04	1600	0,16	E	31,1	-0,377	5,4	544	17,31
Len	0,039	1550	0,16	E	38	0,364	8,7	392	12,46
Skelná vata	0,05	940	0,2	E	45,534	2,26	0,016	209	12,76
Polystyren XPS	0,038	2050	0,15	E	96,515	3,8205	13,392	532	32,54
Polystyren EPS	0,037	1270	0,15	E	105,07	3,45	0,0223	451	27,61
Pěnové sklo	0,06	850	0,24	A1	35,061	0,94	0,0022	2400	76,38

Tabulka 34 Hodnoty kritérií - deskový materiál [78][79]

Kritérium	Tepelná vodivost	Měrná tepelná kapacita	Třída reakce na oheň	PEI MJ/kg	GWP kg CO2	AP g SO2	Kč/m ²	Kč/m ²
Váh kritéria	0,2	0,133	0,067	0,1	0,067	0,033	0,135	0,108
Pavatex	0,043	1630	E	11,651	0,8694	6,8	615	24,6
Gutex	0,04	2100	E	8,364	0,23885	1,1966	1567	62,67
PackWall	0,127	1350	D	6,562	0,38	1,827	1150	33,08
OSB Ultralam	0,13	1500	D	7,954	0,41592	1,8838	2310	92,41
Sádrokarton	0,36	1060	A2	5,745	0,3545	1,0976	119	4,75

3.5.5. HODNOCENÍ VARIANT

Výběr metody rozhodování ovlivňuje řada faktorů, například, zda jsou převažující kvalitativní či kvantitativní kritéria, nebo účel řešení. Pro hodnocení variant u jednotlivých skupin jsem použila metodu globálního kritéria za pomoci výpočetního softwaru dostupného na webových stránkách katedry ekonomiky, manažerství a humanitních věd, FEL ČVUT v Praze.

Mezivýpočty normovaných hodnot jednotlivých skupin materiálů jsou přiloženy v závěru práce (příloha č. 2)

3.5.6. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Korvin [9] zmiňuje, že každá posuzovaná varianta svým způsobem splňuje požadované cíle – jak jsou cíle dosaženy, je předmětem hodnocení výsledků. Na základě pouhých hodnot vypočtených vybranou metodou nelze učinit žádné rozhodnutí. Doporučená varianta vyplyne až po analýze vhodnosti implementace. Z hodnot normovaných byla zjištěna hodnota jednotlivých variant – jejich pořadí se stanovilo seřazením ohodnocení variant od největší po nejmenší.

Tabulka 35 Pořadí konstrukčních systémů

Pořadí	Název	Hodnota
1	I-nosník Steico	0,8696
2	Dřevo tvrdé	0,8537
3	Lepené hranoly	0,7321
4	Tvarovky plynosilikátové	0,6045
5	Cihla pálená dutinová	0,5915
6	Železobeton, 4 % ocel	0,3854
7	Cihla pálená plněná vatou	0,3468

Tabulka 36 Pořadí deskových materiálů

Pořadí	Název	Hodnota
1	Gutex	0,6697
2	Pavatex	0,6285
3	Sádrokarton	0,4367
4	PackWall	0,4345
5	OSB Ultralam	0,3360

Tabulka 37 Pořadí izolace

Pořadí	Název	Hodnota
1	Celulóza	0,8091
2	Ovčí vlna	0,7802
3	Sláma	0,7628
4	Dřevovlákn	0,7601
5	Len	0,7151
6	Konopí	0,7067
7	Skelná	0,5928
8	EPS	0,4973
9	XPS	0,4884
10	Pěnosklo	0,2968

Tabulka 38 Pořadí fasádních systémů

Pořadí	Název	Hodnota
1	Palubky	0,7948
2	Tepelně izolační omítka (perlitová)	0,5144
3	Hliněná s řezankou	0,4978
4	Lícované pásy	0,4723
5	Vápenocementová	0,3877
6	Vápenná omítka	0,2864

3.6. ROZHODNUTÍ

Provedením vícekritériálního hodnocení variant vzešla kombinace materiálů, která nejlépe splňuje stanovené cíle. Rozhodnutí, zda doporučené materiály použít na stavbu, záleží na investorovi, který případně může změnit požadavky, či stanovit jiný cíl. Z technického, ekonomického i environmentálního hlediska je vhodné postavit rodinný dům z materiálů uvedených v tabulce níže.

Tabulka 39 Ideální kombinace materiálů na rodinný dům

Skupina	Materiál
Konstrukce	I - nosník
Izolační materiál	Celulóza
Deskový materiál	Dřevovláknitá deska Gutex
Fasádní systém	Dřevěné palubky

Vícekritériální hodnocení podpořilo vhodnost i výhodnost použití přírodních materiálů na stavbách za předpokladu důrazu na ekologii stavby.

4. ZÁVĚR

V první kapitole diplomové práci jsem se zaměřila na faktory stavebního průmyslu, které ovlivňují životní prostředí. V této souvislosti upozorňuji na potřebu snížit ve stavebních návrzích emise skleníkových plynů. Dále jsem popsala typologii obytných budov v současnosti. Část kapitoly jsem věnovala i normativně upravené tepelné ochraně budov, která má do budoucna snížit energetickou náročnost budov a ušetřit tím zdroje energie.

Druhá kapitola obsahuje charakteristiku přírodních materiálů a definuje složitost rozřazení materiálů na přírodní, které vyplývá zejména z filozofie současnosti. U jednotlivých materiálů bylo zmíněno jejich základní využití a možné výhody a nevýhody. Kapitola obsahuje i výběr materiálů, které jsou vyrobené z druhotných materiálů (recyklované) a mohou taktéž pozitivně ovlivňovat celkové dopady na životní prostředí.

Třetí kapitola obsahuje případovou studii záměny konvenčních materiálů za alternativní. Definovala jsem rozdělení dřevostaveb a zmínila jejich nejednotnost v názvosloví. Vybrané materiály byly uskupeny do 7 vzorků, které reflektují běžně používané skladby obvodových stěn a střech. Tyto vzorky jsem otestovala na následky bleskového výboje, přičemž většina vzorků vyhověla v první fázi testu vůči povrchovým účinkům výboje, druhá část testu zahrnovala aplikaci zemnicí elektrody. Celkem pět vzorků skladeb vyhovělo i druhé fázi testu, dva vzorky z důvodu nízké soudržnosti fasádního materiálu nevyhověly. Součástí této práce bylo i ekonomicko-technologické posouzení záměny materiálů. Pro srovnání byla vybrána zděná budova a dvě dřevostavby s různým konstrukčním systémem. Z analýzy lze usoudit, že dřevostavby jsou ekonomicky výhodnější než zděné stavby.

Jako doplněk analýzy jsem provedla vícekriteriální hodnocení jednotlivých materiálů, které byly rozděleny podle funkce ve stavbě. Z výpočtu metody globálního kritéria vzešla ideální kombinace prvků stavby. Na základě celkových výsledků mé diplomové práce je možno doporučit stavbu na bázi dřeva z I-nosníků zateplenou foukanou celulózu s provětrávanou dřevěnou fasádou.

5. SOUPIS ZDROJŮ A LITERATURY

Prameny (normy):

Český statistický úřad

[84] ČSN 73 0540

ČSN 73 4301

[85] ČSN EN 62305

ČSN EN ISO 14040

ČSN EN ISO 14044

Směrnice 89/106/EHS

Vyhláška 441/2013 Sb.

Vyhláška č. 78/2011

Odborná literatura:

[1] DUDOVÁ, Markéta. Stanovení nákladů životního cyklu projektu stavby s ohledem na požadovanou životnost. Brno, 2007. Diplomová práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce Doc. Ing. Jana Korytářová, Ph.D.

[2] GAJDUŠKOVÁ, Alena. Permakulturní dům: Jak stavěli naši předkové. 7. Brno: Permakultura (CS), 2017. Klíč k soběstačnosti. ISBN 9788090510883.

[3] HAUSEROVÁ, Eva. Permakulturní dům: Co znamená permakulturní bydlení. 7. Brno: Permakultura (CS), 2017. Klíč k soběstačnosti. ISBN 978-809-0510-883.

[4] HUBÁČKOVÁ, Blažena. Dům na míru. 2. vyd. Brno: ERA group, 2005. Stavíme. ISBN 80-736-6003-2.

[5] HUDEC, Mojmír, Blanka JOHANISOVÁ a Tomáš MANSBART. Pasivní domy z přírodních materiálů. 1. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4243-4.

[6] CHYBÍK, Josef. Přírodní stavební materiály. 1. Praha: Grada, 2009. Stavitel. ISBN 978-80-247-2532-1.

[7] KALOUSEK, František a Josef LENOCH. Ekonomika dřevostaveb. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. ISBN 80-737-5015-5.

[8] KOČÍ, Vladimír a kol. LCA a EPD stavebních výrobků: Pposuzování životního cyklu a environmentální prohlášení o produktu jako cesta k udržitelnému stavebnictví. 1. Praha: Česká rada pro šetrné budovy, 2012. ISBN 978-80-260-3504-6.

[9] KORVIN, Petr. Teoretické základy vícekritériálního rozhodování [online]. In: . s. 31 [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://korviny.cz/>

- [10] LENOCH, Josef. *Ekonomika nákladů životního cyklu dřevostaveb dle variant vytápění: Economics of life cycle cost of wooden buildings by heating options* : recenzovaná monografie. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2012. ISBN 978-80-7375-709-0.
- [11] LENOCH, Josef a František KALOUSEK. *Ekonomická analýza dřevostaveb: Economic analysis of wood structures* : recenzovaná monografie. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010. ISBN 978-80-7375-473-0.
- [12] LORENCOVÁ, Jaroslava. *Obytné budovy: Úvod*. In: *Střední škola stavební Jihlava [Přednáška]*. s. 76 [cit. 2020-07-14].
- [13] MINKE, Gernot. *Příručka hliněného stavitelství: materiály, technologie, architektura*. 1. Bratislava: Pagoda, 2009. ISBN 978-80-969698-2-1.
- [14] MINKE, Gernot a Friedemann MAHLKE. *Stavby ze slámy: jak pořídit z balíků slámy standardní dům*. 1. Ostrava: HEL, 2009. ISBN 978-80-86167-31-2.
- [15] NOVOTNÁ, Jana. *Přírodní materiály ve stavebnictví - vícekritériální hodnocení*. Praha, 2015. Diplomová práce. ČVUT.
- [16] RAKOV, Vladimír A. a Martin A. UMAN. *Lightning: physics and effects*. 2. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. ISBN 05-215-8327-6.
- [17] RŮŽIČKA, Martin. *Moderní dřevostavba*. 1. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3298-5.
- [18] RŮŽIČKA, Martin. *Stavíme dům ze dřeva*. 1. Praha: Grada, 2006. ISBN 80-247-1461-2.
- [19] SCHLEGER, Eduard, Lukáš LIESLER, Dalibor HLAVÁČEK a Kateřina ROTTOVÁ. *Zdraví a krása: Přírodní materiály a zdravé stavby*. 1. Praha: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-04012-6.
- [20] SYROVÝ, Bohuslav. *Architektura - svědectví dob: přehled vývoje stavitelství a architektury*. 3., dopl. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987. ISBN 04-720-74.
- [21] ŠULEŘ, Šimon. *Současné způsoby výroby oceli v elektrických indukčních pecích*. Ostrava, 2014. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská.
- [22] TYWONIAK, Jan. *Pozemní stavitelství VI: pro SPŠ stavební: stavební fyzika, zdravotní nezávadnost a požární bezpečnost staveb*. 1. Praha: Grada, 2014. Studium (Grada). ISBN 978-80-247-5102-3.
- [23] VODIČKOVÁ, Erika. *Vše o nízkoenergetickém domě*. 9. Bratislava: Jaga, 2008. Home. ISSN 1335-9177.
- [24] *Příručka typologií obytných budov: s příklady opatření ke snížení jejich energetické náročnosti* [online]. In: STŮ-K, A.S. 2014, s. 79 [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: www.building-typology.eu
- [25] ISOCELL GMBH & CO KG. *EPD produktu: foukaná celulóza* [Brožura].
- [26] WIENERBERGER S. R. O. *Technický list Tondach - Figaro Deluxe* [Brožura].

Webové zdroje

- [27] KOUŘIL, Vít a Jan MIESSLER. Greenwashing [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://www.sedmagenerace.cz/cerstve-natreno-zn-na-zeleno>
- [28] Architektura a stavitelství [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/zsaa/2.html>
- [29] Clean Energy For All Europeans [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fa6ea15b-b7b0-11e6-9e3c-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF
- [30] Zimní balíček [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <http://fsr.eui.eu/wp-content/uploads/The-EU-Winter-Package.pdf>
- [31] Pařížská dohoda [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda
- [32] Dostupné z: <http://www.rodovystatek.cz/sobestacnost.htm> [online]. [cit. 2020-07-14]
- [33] Dostupné z: www.domika.cz [online]. [cit. 2020-07-14]
- [34] Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/bvz_cr [online]. [cit. 2020-07-14]
- [35] Zimní balíček [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file-other/distribucni-sluzby/konference-2017/03_cirek_eru_cz.pdf
- [36] Dostupné z: www.hypotecnibanka.cz [online]. [cit. 2020-07-14]
- [37] Permakultura [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: www.permakulturacs.cz
- [38] Hluk ze staveniště [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://pravniciradce.ihned.cz/c1-19184570-hluk-ze-staveniste-a-pohoda-bydleni>,
- [40] Historický vývoj [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: www.earch.cz/cs/tradice-historicky-vyvoj
- [41] Norma ČSN 37 0540 [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: www.stavebniny-rychle.cz/co-znamená-norma-csn-73-0540-tepelna-ochrana-budov.html
- [42] Energetická náročnost budov [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov>
- [43] Energetická efektivnost budov [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: www.isover.com/how-design-and-build-energy-efficient-building
- [44] Dostupné z: <http://www.stavebniny-rychle.cz/co-znamená-norma-csn-73-0540-tepelna-ochrana-budov.html>, [online]. [cit. 2020-07-14]
- [45] Tepelná technika [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/nazvoslovi-tepelnych-informaci/>
- [46] Tepelný odpor [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/312-tepelny-odpor-r>
- [47] Beton [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/encyklopedie/z-ceho-je-beton>
- [48] Oceňování dřevostaveb [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/19053-ocenovani-drevostaveb-v-kontextu-trzniho-ocenovani>

- [49] Životnost staveb [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <http://technologie.fsv.cvut.cz/122ytrh/get.php?id=148>
- [50] Emise skleníkových plynů [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: https://www.technickydenik.cz/rubriky/archiv/emise-sklenikovych-plynu-a-energeticka-narocnost-vyroby-i-pouziti-bionafity_16692.html
- [51] Global environment report 2018 [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://www.unenvironment.org/resources/report/global-status-report-2018>
- [52] Green construction [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://www.boldbusiness.com/infrastructure/green-construction-environmental-impact/>
- [53] Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/vypocet-prostupu-tepla/21201-tepelny-odpor-a-soucinitel-prostupu-tepla-a.html#.XwR2GWgzaUk> [online]. [cit. 2020-07-14]
- [54] Emise oceli [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://www.ocelarskaunie.cz/snizovani-emisi-sklenikovych-plynu-v-ocelarstvi/?highlight=EAF>
- [55] Součinitel prostupu tepla [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/315-soucinitel-prostupu-tepla>
- [56] Kapacity výroby oceli [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://www.ocelarskaunie.cz/nadmerne-ocelarske-kapacity-ve-svete/?highlight=EAF>
- [57] Emise cementu [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <http://rammedearthconsulting.com/rammed-earth-cement-co2.htm>
- [58] Dostupné z: <https://www.fotolia.com/> [online]. [cit. 2020-07-14]
- [59] Výroba cementu [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/vyroba-cementu>
- [60] Vliv staveb na životní prostředí [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://gocontractor.com/blog/how-does-construction-impact-the-environment/>
- [61] Bydlení v souladu s přírodou [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://www.casopisroots.cz/bydleni-v-souladu-s-prirodou-3/>
- [62] Těžba dřeva [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20100114084044/http://lesprace.silvarium.cz/content/view/2367/192>
- [63] Zpráva o těžbě dřeva [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/609179/Zprava_o_stavu_lesa_2017.pdf
- [64] Materiály pro dřevostavby [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://www.charar-chalupar.cz/materialy-pro-drevostavby/>
- [65] Vývoj cen kulatiny [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <http://www.drevmag.com/cs/drevarsky-servis/6291-cenovy-vyvoj-kulatiny-a-reziva-6>
- [66] Sláma v moderním stavitelství [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/obalove-konstrukce-nizkoenergetickych-staveb/17721-vyuziti-slamy-v-soudobe-architekture-a-stavitelstvi>


- [67] Bentonit [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Bentonit>
- [68] Packwall [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <http://www.packwall.cz/>
- [69] Celulóza [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: www.climatizer.cz
- [70] Střešní krytina [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: WWW.CAPACCO.CZ/
- [71] Jak se vyznat v konstrukcích dřevostaveb [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/5790-zaciname-stavet-jak-se-vyznat-v-konstrukcich-drevostaveb>
- [72] Co je to dřevostavba [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/vse-o-drevostavbach/jak-na-drevostavbu/co-je-drevostavba-a-jake-jsou-jeji-druhy/3006-co-je-drevostavba-a-jake-jsou-jeji-druhy>
- [73] Těžký skelet dřevostaveb [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/5680-tezky-dreveny-sleket-drevostavby-plne-vzdusnosti-a-svetla>
- [74] CLT panely [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/component/content/article/243-c/1851-clt-panel>
- [75] Konstrukce dřevostaveb [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/vse-o-drevostavbach/jak-na-drevostavbu/co-je-drevostavba-a-jake-jsou-jeji-druhy/5339-jakou-drevostavbu-6-zakladnich-konstrukci-drevostaveb>
- [76] Stavební projekty domů [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://www.ekonomicke-stavby.cz>
- [77] Náklady na likvidaci odpadu [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <https://www.vs-ekoprag.cz/cenik-prijmu-odpadu>
- [78] Katalog stavebních materiálů [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000086_katalog.html
- [79] Katalog stavebních produktů a dopadů jejich výroby na životní prostředí [online]. [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/>
- [80] Dostupné z: <https://novatop-system.cz/>[online]. [cit. 2020-07-14]
- [81] Dostupné z: <https://www.dreamstime.com/>[online]. [cit. 2020-07-14]
- [82] Dostupné z: <https://www.srubypacak.cz/>[online]. [cit. 2020-07-14]

6. PŘÍLOHY


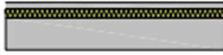













Příloha č. 1

Příručka typologií obytných budov, STÚ-K

Rodinný dům od roku 2011 (CZ.N.SFH.07.Gen)	
OBLAST	NÁRODNÍ
POČET PODLAŽÍ	2
POČET BJ	1
VYTÁPĚNÁ PLOCHA	170m²
VYTÁPĚNÝ PROSTOR	510m³



Symetický objekt s vlastnostmi stanovenými na základě odborného odhadu vycházejícího ze znalosti bytového fondu. Zpravidla zděná dvoupodlažní budova (zdící bloky porotherm nebo plynosilikátové tvárnice s kontaktním zateplením, popř. větrané nebo nevětrané fasádní obklady), nepodsklepená, železobetonový strop, okna s izolačním dvojsklem. Dřevěný krov s keramickou krytinou nebo plochá střecha.

KONSTRUKCE OBÁLKY BUDOVY			
Prvek	Standardní opatření	Progresivní opatření	NZEB opatření
Strop / střecha	Železobetonová střecha se 180 mm izolace z minerálních vláken 	210 mm izolace z minerálních vláken 	360 mm izolace z minerálních vláken 
Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	0,20	0,17	0,10
Obvodová stěna	Zedř z příčně děrovaných cihelných bloků 380 mm 	Vnější kontaktní zateplení s 80 mm fasádního polystyrenu nebo minerálního vlákna 	Vnější kontaktní zateplení s 180 mm fasádního polystyrenu nebo minerálního vlákna 
Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	0,25	0,17	0,12
Podlaha	ŽB deska 150 mm, polystyren 120 mm 	ŽB deska + 160 mm tepelné izolace 	ŽB deska + 240 mm tepelné izolace 
Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	0,30	0,23	0,15
Okno	Dřevěné okno s izolačním dvojsklem 	Dřevěné okno s izolačním trojsklem 	Dřevěné okno s izolačním trojsklem 
Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	1,20	0,80	0,60
Vstupní dveře	Dveře dřevěné izolované 	Dřevěné dveře s izolačním dvojsklem 	Dřevěné dveře s izolačním trojsklem 
Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	1,70	1,20	0,90

PRŮMĚRNÝ SOUČINTEL PROSTUPU TEPLA			
[W/m ² K]	Standardní opatření	Progresivní opatření	NZEB opatření
Průměrný součinitel prostupu tepla U _{ext}	0,33	0,22	0,14

Příloha č.2

Mezivýpočty metody globálního kritéria

Normované hodnoty konstrukcí

Typ	K1		K2		K3		K4		K5		K6		K7		K8		K9		K10		K11		K12		
	max	int.	max	int.	max	int.	max	int.	max	int.	max	int.	max	int.	max	int.	max	int.	max	int.	max	int.	max	int.	
Stupnice																									
Dřevo tvrdé	0,9	1	0,56	0,9	0,3	1	0,77	0,97	0,77	0,97	0,77	0,97	0,77	0,97	0,77	0,97	0,77	0,97	0,77	0,97	0,77	0,97	0,77	0,97	
I-nosník Steico	0,95	1	1	1	0,3	0,76	0,59	1	0,3	0,76	0,59	1	0,3	0,76	0,59	1	0,3	0,76	0,59	1	0,3	0,76	0,59	1	
Lepené hranoly	0,96	0,41	0,44	0,9	0,3	0,85	0	0,9	0,3	0,85	0	0,9	0,3	0,85	0	0,9	0,3	0,85	0	0,9	0,3	0,85	0	0,9	
Železobeton, 4% ocel	0	0,04	0,11	0,2	1	0,89	0,63	0,6	1	0,89	0,63	0,6	1	0,89	0,63	0,6	1	0,89	0,63	0,6	1	0,89	0,63	0,6	
Cihla pálená dutinová tl. 380 mm	0,97	0	0,89	0,5	1	0,96	0,74	0,8	1	0,96	0,74	0,8	1	0,96	0,74	0,8	1	0,96	0,74	0,8	1	0,96	0,74	0,8	
Cihla pálená plněná vatou tl. 380 mm	1	0	0,89	0,6	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	
Tvarovky plynosilikátové tl. 375 mm	0,99	0,03	0,89	0,6	1	1	0,89	0,83	1	1	0,89	0,83	1	1	0,89	0,83	1	0,89	0,83	1	0,89	0,83	1	0,89	

Normované hodnoty izolace

Typ	K1		K2		K3		K4		K5		K6		K7		K8		K9		K10		K11		K12		
	max	int.	max	int.	max	pom.	max	pom.	max	int.	max	int.	max	int.	max	int.	max	int.	max	pom.	max	pom.	max	int.	
Stupnice																									
Sláma	0,348	0,92	0,10	0,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	1	1	
Dřevovláknno	0,913	1,00	0,10	0,10	1,00	0,30	1,00	0,76	1,00	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,70	1,00	1,00	1	1	
Celuloza	0,957	0,92	0,30	0,30	0,93	0,30	0,71	0,30	0,93	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1	1	
Ověčí vlna	0,935	0,73	0,30	0,30	0,98	0,60	0,52	0,60	0,98	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	1,00	0,90	0,90	1	1	
Konopí	0,870	0,60	0,10	0,10	0,75	0,90	0,56	0,90	0,75	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	1,00	1,00	1	1	
Len	0,913	0,56	0,10	0,10	0,76	0,90	0,46	0,90	0,76	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,80	0,80	1,00	1,00	1	1	
Skelná	0,435	0,07	1,00	1,00	0,63	0,60	0,14	0,60	0,63	0,94	0,94	0,94	0,94	1,00	0,50	0,50	0,86	0,86	0,50	0,20	0,20	0	0	0	
XPS	0,957	0,96	0,10	0,10	0,50	0,50	0,12	0,50	0,50	0,81	0,81	0,81	0,81	0,00	0,20	0,20	0,59	0,59	0,20	0,30	0,30	0,30	0	0	
EPS	1,000	0,34	0,10	0,10	0,34	0,50	0,09	0,50	0,34	0,84	0,84	0,84	0,84	1,00	0,20	0,20	0,66	0,66	0,20	0,30	0,30	0,30	0	0	
Pěnosklo	0,000	0,00	1,00	1,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,20	0,20	0,00	0,00	0,20	0,60	0,60	0,60	1	1	

Normované hodnoty - Desky

Typ	K1		K2		K3		K4		K5		K6		K7		K8		K9		K10		K11	
	max	int.	max	int.	max	pom.	max	int.	max	int.	max	int.	max	int.	max	int.	max	pom.	max	int.	max	pom.
Stupnice	0,9906	1	0,5481	1	0,2857	0,2857	0,5998	1	0,341	1	0	0,7736	0,7736	0,7736	0,7736	0,7736	1	1	0	0	0,5	0,5
Pavatex	1	1	1	1	0,2857	0,2857	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gutex	0,7281	0,2788	0,2788	0,4286	0,4286	0,4286	0	0	0	0	0,1348	0,5294	0,6768	0,6768	0,6768	0,6768	0,4444	0,4444	1	1	0,1	0,1
PackWall	0,7188	0,4231	0,4231	0,4286	0,4286	0,4286	0,0448	0,0448	0,1448	0,1448	0,3106	0	0	0	0	0	0,6667	0,6667	0	0	0,8	0,8
OSB Ultralam	0	0	0	1	1	1	0,1677	0,1677	0,0802	0,0802	0,5305	1	1	1	1	1	0,2222	0,2222	0	0	1	1
Sádrokarton																						

Normované hodnoty - Fasáda

Typ	K1		K2		K3		K4		K5		K6		K7		K8		K9		K10		K11	
	max	int.	max	int.	max	pom.	max	pom.	max	int.	max	int.	max	int.	max	int.	max	int.	max	pom.	max	int.
Hliněná s řezankou	0,636		0,4		0,7	0,3333	0,3333	0,3333	1	1	1	1	1	1	1	0,2092	0	0	1	1	0	0
Vápenocementová	0		0,1224		0,8	0,3333	0,3333	0,7375	0,7357	0,5428	0,7375	0,7375	0,5428	0,9023	0,9023	0,9483	0,9483	0,9483	0,1	0,1	0,2	0,2
Teplněizolační omítka (petlirová)	1		0		0,8	0,3333	0,3333	0,4873	0,4873	0,3778	0,7201	0,7201	0,3778	0,9831	0,9831	1	1	1	0,1	0,1	0,2	0,2
Vápenná omítka	0,1236		0,148		0,8	0,3333	0,3333	0	0	0	0	0	0	1	1	0,9813	0,9813	0,9813	0,5	0,5	0,1	0,1
Lícované pásy	1		0,1888		0,5	0,3333	0,3333	0,2827	0,2827	0,0251	0,6236	0,6236	0,0251	0	0	0,7669	0,7669	0,7669	0,4	0,4	1	1
Palubky	0,8652		1		1	1	1	0,8813	0,8813	0,7275	0,9433	0,9433	0,7275	0,7075	0,7075	0,98	0,98	0,98	0,9	0,9	1	1