



VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ
V PRAZE

Posouzení životního cyklu dřevostavby a cihlového domu

Foto: RD Rýmařov



Foto: Heluz



Vladimír Kočí, Juraj Petřík

Praha, Česká republika

© Vladimír Kočí, leden 2018

Posouzení životního cyklu dřevostavby a cihlového domu

Autoři studie:

Doc. Ing. Vladimír Kočí, PhD., MBA

Bc. Juraj Petřík

Fakulta technologie ochrany prostředí, VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6 – Dejvice

Zadavatel studie:

Cihlářský svaz Čech a Moravy z.s., Jana Hurta 5, 37008 České Budějovice

Souhrn

Studie porovnává environmentální dopady rodinného domu dřevostavby a cihlového domu s ohledem na jejich celý životní cyklus. Na základě projektové dokumentace dřevostavby, byla zpracována projektová dokumentace odpovídajícího cihlového domu. Z projektových dokumentací bylo zjištěno materiálové složení obou typů domů a podle něj byly vypracovány modely LCA staveb. Na základě tepelně izolačních vlastností domů a jejich průkazů energetické účinnosti byly vypracovány modely provozu domů pro období 10, 20, 40 a 50 let. Konec životního cyklu, demolice domů a materiálové a energetické využití použitých materiálů byly rovněž zahrnuty do LCA modelů.

Bylo zjištěno, že z hlediska konstrukce staveb má dřevostavba vyšší environmentální dopady téměř ve všech kategoriích s výjimkou kategorie dopadu globálního oteplování resp. klimatických změn a kategorie dopadu sladkovodní ekotoxicita. Ačkoli vykazuje dřevostavba ve fázi výstavby domu vyšší hodnoty výsledků většiny kategorií dopadu, nejsou rozdíly ve většině kategorií vysoké. V případě využití stavebních materiálů po demolici budov a v případě energetického využití dřevěných částí jsou environmentální dopady stavby a demolice dohromady pro oba typy budov srovnatelné.

Provoz budov, respektive jejich vytápění po dobu 50 let, představuje faktor rozhodující měrou ovlivňující celkové environmentální dopady životního cyklu budov. V závislosti na zvolené kategorii dopadu představuje vytápění po dobu 50 let zhruba 90% environmentálních dopadů životního cyklu budov. V hodnocení celého životního cyklu domu s provozem po dobu 50 let se zahrnutím vytápění domu má dřevostavba vyšší environmentální dopady než cihlový dům ve většině kategorií dopadu, výjimku tvoří sladkovodní ekotoxicita, kde má dřevostavba nižší dopad. Pro celkové environmentální dopady budovy je klíčová tepelně izolační vlastnost použité konstrukce domu, která souvisí s výší environmentálních dopadů provozu domu. Při životním cyklu domu delším než modelovaných 50 let se úměrně zvyšuje rozdíl v celkových environmentálních dopadech ve prospěch domu cihlového.

Obsah

OBSAH	5
1 ÚVOD	6
2 POPIS POSUZOVANÝCH BUDOV	6
2.1 Dřevostavba	6
2.2 Cihlový dům	14
3 POUŽITÁ METODA LCA A PŘIJATÉ PŘEDPOKLADY	18
3.1 Metoda posuzování životního cyklu	18
3.2 Použité kategorie dopadu	18
3.3 Použitý LCA software	20
3.4 Ve studii přijaté předpoklady	20
3.5 Schéma LCA modelů	21
4 VÝSLEDKY HODNOCENÍ ENVIRONMENTÁLNÍCH DOPADŮ BUDOV	29
4.1 Výsledky hodnocení dopadů životního cyklu stavby budov	29
4.2 Výsledky hodnocení dopadů životního cyklu užívání budov	33
4.3 Výsledky hodnocení dopadů demolice budov	37
4.4 Výsledky hodnocení dopadů životního cyklu jednotlivých budov	38
4.5 Normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu jednotlivých budov	42
4.6 Stavba a demolice - výsledky hodnocení dopadů životního cyklu jednotlivých budov s předpokladem nulových provozních nároků na energii na vytápění	47
5 FORMULACE VÝZNAMNÝCH ZJIŠTĚNÍ A DOPORUČENÍ	CHYBA! ZÁLOŽKA NENÍ
DEFINOVÁNA.	
5.1 Významná zjištění	51
6 ZÁVĚR	51

1 Úvod

Cílem studie je porovnat environmentální dopady stavby, provozu a demolice rodinného domu, který je postaven buď z cihel anebo má konstrukci dřevostavby. Metodou LCA byly porovnány budovy, respektive projekty budov, které jsou svojí dispozicí i rozměry odpovídající, liší se pouze v nutných rozdílech vycházejících z rozdílné konstrukce. Východiskem pro studii byla projektová dokumentace a sumarizovaný rozpad materiálů k dřevostavbě. Na základě této dokumentace byla zadavatelem studie (Cihlářský svaz Čech a Moravy z.s.) poskytnuta dokumentace pro provedení stavby a materiálový rozpad odpovídajícího cihlového domu (Zpracování výkazu výměr). Z projektových dokumentací bylo zjištěno materiálové složení obou typů domů a podle něj byly vypracovány modely LCA staveb. Na základě tepelně izolačních vlastností domů a jejich průkazů energetické náročnosti byly vypracovány modely provozu domů pro období 10, 20, 40 a 50 let. Konec životního cyklu, demolice domů a materiálové a energetické využití použitých materiálů byly rovněž zahrnuty do LCA modelů.

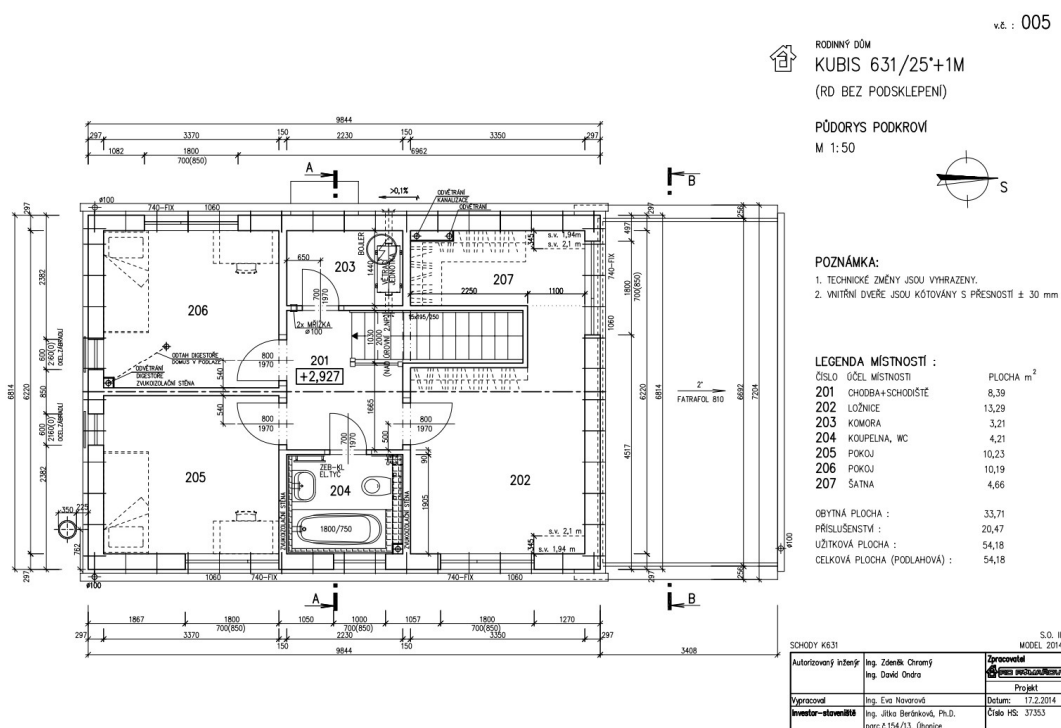
2 Popis posuzovaných budov

V rámci studie LCA byly porovnávány dvě odpovídající budovy, rodinné domy. Jedná se o budovy se základovou deskou bez podsklepení. V této kapitole jsou uvedeny technické výkresy porovnávaných budov a jejich materiálové složení.

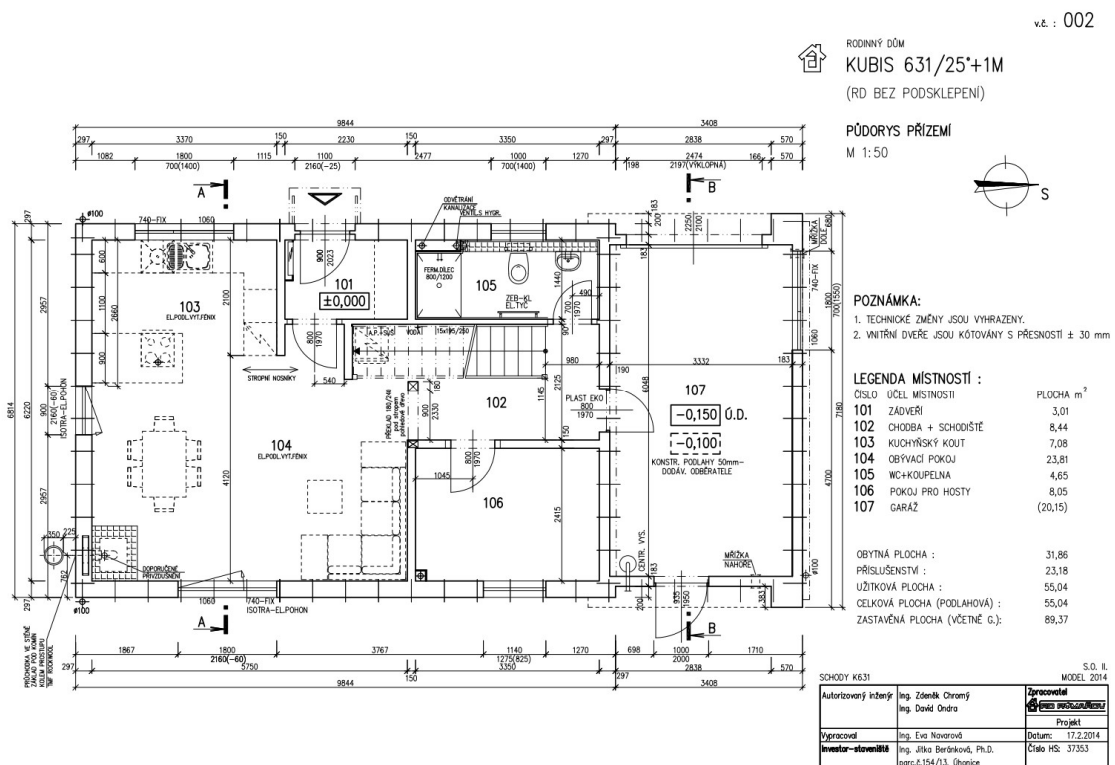
2.1 Dřevostavba

Podklady pro dřevostavbu byly laskavě poskytnuty Ing. Jitkou Beránkovou, Ph.D., ředitelkou Výzkumného a vývojového ústavu dřevařského, Praha, s. p. (www.vvud.cz). Jednalo se o rodinný dům KUBIS 631/25°+1M, jehož dokumentaci vypracovala Ing. Eva Navarová, autorizovanými inženýry byli Ing. Zdeněk Chromý a Ing. David Ondra. Zpracovatelem projektu bylo RD Rýmařov.

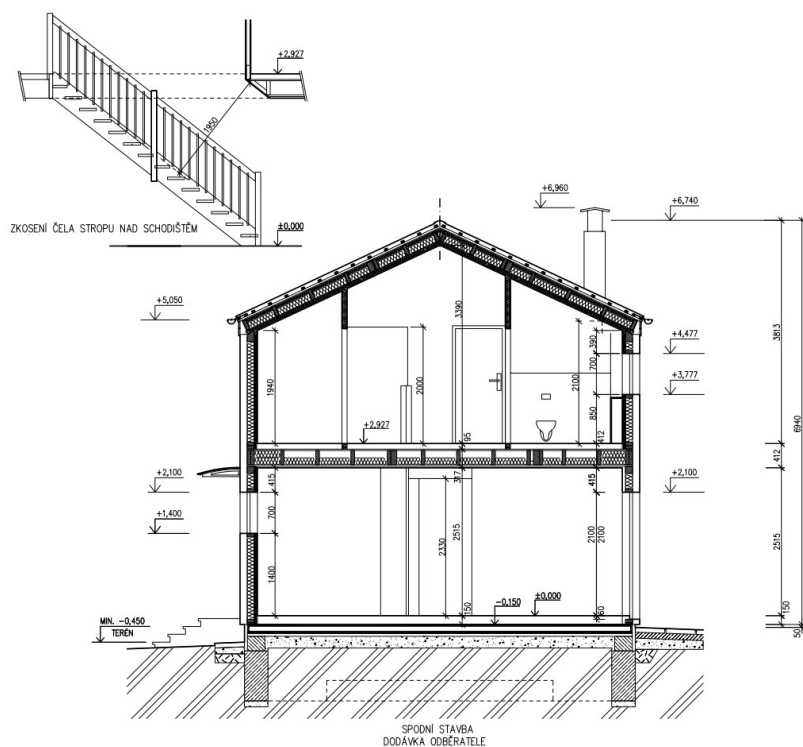
Obrázek 1 Technický výkres dřevostavby – půdorys podkroví.



Obrázek 2 Technický výkres dřevostavby – půdorys přízemí.



Obrázek 3 Technický výkres dřevostavby – řez A-A.



RODINNÝ DŮM
KUBIS 631
(RD BEZ PODSKLEPENÍ)

ŘEZ A-A
M 1:50

LEGENDA MATERIÁLU

	ROSTLÝ TERÉN
	ŠTĚRKOVÝ NÁSYP
	ZÁSYP
	ŽELEZOBETON
	PROSTÝ BETON
	DŘEVO
	TEPELNÁ IZOLACE

SCHODY K631

S.O. II.
MODEL 2014

Autorizovaný inženýr	Ing. Zdeněk Chromý Ing. David Ondra	Zpracoval Ing. Eva Navarová
Vypracoval	Ing. Jitka Beránková, Ph.D. parc.č.154/13, Ohonice	Projekt Datum: 17.2.2014 Číslo HS: 37353

Obrázek 4 Technický výkres dřevostavby – řez B-B.

I – STROP GARÁŽE

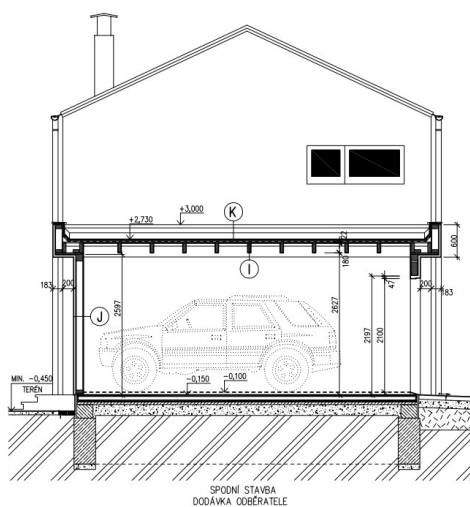
DTD	22 mm
VIDITELNÉ DŘEVĚNÉ STROPNÍ NOSNÍKY	180 mm
TLOUŠTKA CELKEM	~202 mm

J – OBVODOVÁ STĚNA GARÁŽE

TERMOFASÁDA	~37 mm
FERMACELL	13 mm
NOSNÝ RAM	120 mm
FERMACELL	13 mm
TLOUŠTKA CELKEM	~183 mm

K – STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

KRYTINA FATRAFOL 810	
GEOTEXTILIE	22 mm
DTD	



RODINNÝ DŮM

KUBIS 631
(RD BEZ PODSKLEPENÍ)

ŘEZ B-B
M 1:50

LEGENDA MATERIÁLU

	ROSTLÝ TERÉN
	ŠTĚRKOVÝ NÁSYP
	ZÁSYP
	ŽELEZOBETON
	PROSTÝ BETON
	DŘEVO
	TEPELNÁ IZOLACE

SCHODY K631

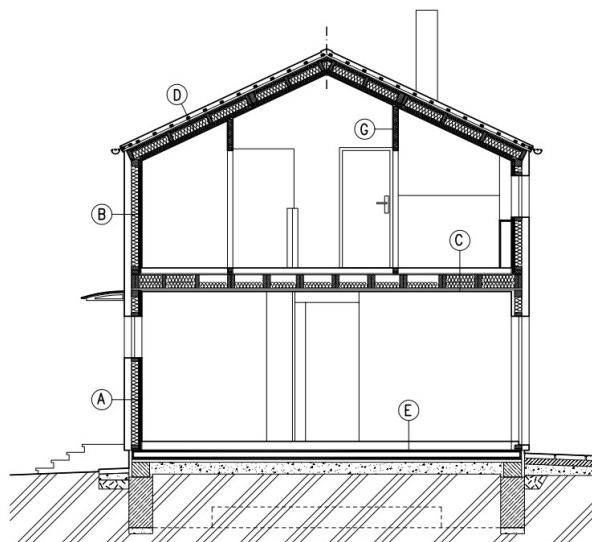
S.O. II.
MODEL 2014

Autorizovaný inženýr	Ing. Zdeněk Chromý Ing. David Ondra	Zpracoval Ing. Eva Navarová
Vypracoval	Ing. Jitka Beránková, Ph.D. parc.č.154/13, Ohonice	Projekt Datum: 17.2.2014 Číslo HS: 37353

Obrázek 5 Technický výkres dřevostavby – skladby konstrukcí.

SKLADBY KONSTRUKCÍ

v.č. : 007



A –OBVODOVÁ STĚNA 1. NP

TERMOFASÁDA	~107 mm
FERMACELL	15 mm
RÁM (120mm)	
TEPEL. IZOLACE	120 mm
PE FOLIE	
TEPELNÁ IZOLACE + LATĚ	40 mm
FERMACELL	15 mm
TLOUŠŤKA CELKEM	~297 mm
$U = 0,16 \text{ W/m}^2 \text{ K}^{-1}$	

C –STROP NAD 1. NP

KONSTRUKCE PODLAHY	95 mm
DTD	22 mm
STROPNÍ NOSNÍK (240mm)	
VZDUCHOVÁ MEZERA	120 mm
TEPEL. IZOLACE	120 mm
PE FOLIE	
ROŠT Z LATÍ	30 mm
SADROKARTON 2x	25 mm
TLOUŠŤKA CELKEM	~412 mm

E –PODLAHA PŘÍZEMÍ

PODLAH. KRYTINA	~5 mm
PODLAHOVÝ DÍLEČ (ALT. 2xDTD)	25 mm
POLYST. CELK.	100 mm
SUCHÝ PODSYP	20 mm
FOLIE PE	
KONSTRUKCE	
ÚLOŽNÉ DESKY	
TLOUŠŤKA CELKEM	~150 mm
$U = 0,29 \text{ W/m}^2 \text{ K}^{-1}$	

F –VNITŘNÍ NOSNÁ STĚNA

FERMACELL	15 mm
RÁM (120mm)	
TEPEL. IZOLACE	120 mm
FERMACELL	15 mm
TLOUŠŤKA CELKEM	~150 mm

B –OBVODOVÁ STĚNA 2. NP

TERMOFASÁDA	~107 mm
FERMACELL	15 mm
RÁM (120mm)	
TEPEL. IZOLACE	120 mm
PE FOLIE	
TEPELNÁ IZOLACE + LATĚ	40 mm
FERMACELL	15 mm
TLOUŠŤKA CELKEM	~297 mm
$U = 0,16 \text{ W/m}^2 \text{ K}^{-1}$	

D –STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

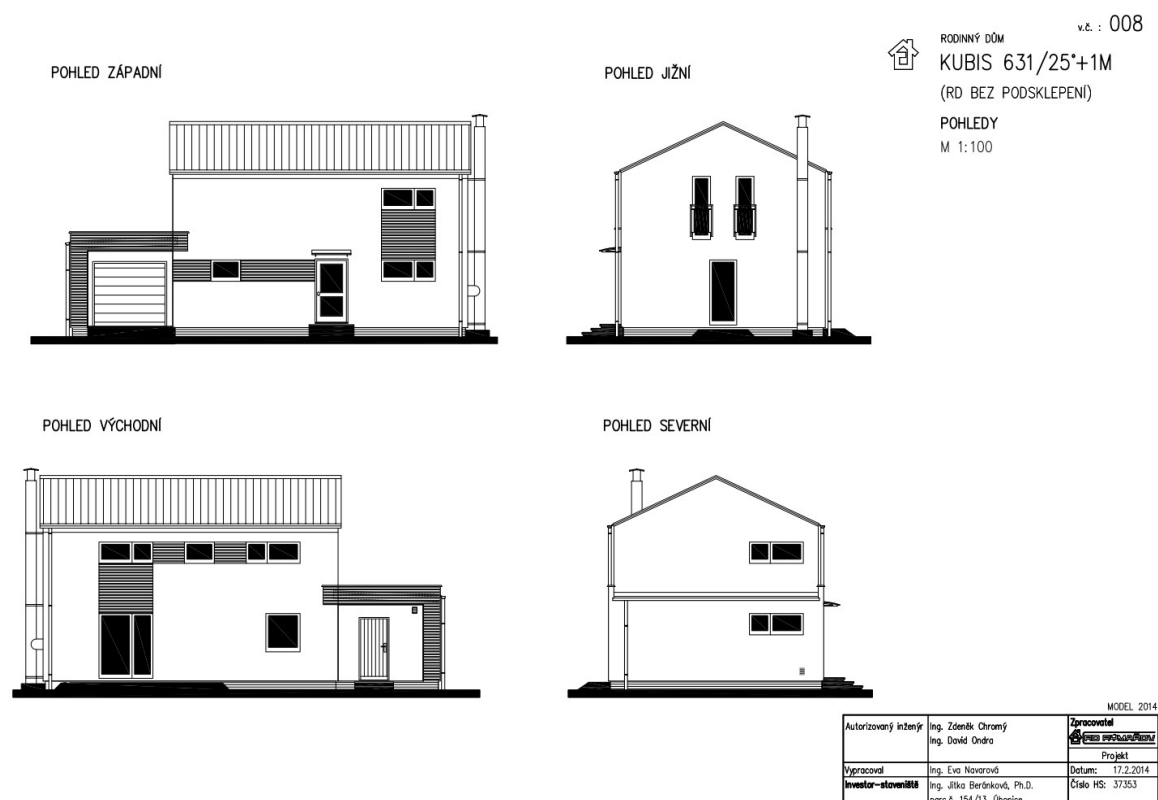
STŘEŠNÍ KRYTINA	
STŘEŠNÍ LATĚ R 33x50	50 mm
KONTRALATĚ R 33x50	33 mm
FOLIE DIFUZNÍ TYVEK	
DESKA DHF	15 mm
KROKEV (60x180)	
IZOLACE ISOVER	60 mm
IZOLACE ISOVER	120 mm
HRANOL B (40x60, 60x60)	
IZOLACE ISOVER	60 mm
FOLIE PAROZÁBRANA	
FERMACELL	15 mm
TLOUŠŤKA CELKEM	~353 mm
$U = 0,20 \text{ W/m}^2 \text{ K}^{-1}$	

G –VNITŘNÍ NENOSNÁ PŘÍČKA

FERMACELL	15 mm
RÁM (60mm)	
TEPEL. IZOLACE	60 mm
FERMACELL	15 mm
TLOUŠŤKA CELKEM	~90 mm

SCHODY K631		S.O. IL MODEL 2014
Autorizovaný inženýr	Ing. Zdeněk Chrástý	Zpracoval Ing. David Ondra
	Ing. David Ondra	
Vypracoval	Ing. Eva Navarová	Datum: 17.2.2014
Investor – stavebník	Ing. Jitka Beránková, Ph.D. parc.č.154/13, Úhonice	Číslo HS: 37353

Obrázek 6 Technický výkres dřevostavby – pohledy.



Seznam použitých materiálů použitých pro stavbu domu je uveden v následující tabulce. Materiály použité na stavbu domu byli rozděleny do 6 skupin: základy, obálka budovy, střecha, okna, podlaha a ostatní materiály.

Tabulka 1 Seznam a množství materiálů použitých pro stavbu dřevostavby.

Materiál	Množství [kg]
Základy	
Concrete C12/15 (Ready-mix concrete) / EU-28	40280,0
Concrete C20/25 (Ready-mix concrete) / EU-28	26910,0
Gravel 2/32 / EU-28	30600,0
Reinforced steel (wire) / EU-28	272,7
Obálka domu	
2-component PUR adhesive / EU-28	45,0
Acrylate sealing mass / EU-28	415,2
Aerated concrete block, av. density 500 kg/m ³ / EU-28	70,0
Cement I 42.5 / EU-28	275,0
Cement II/A	942,0
Construction material (plan)	
Glass fiber mesh 70% / DE	5,7
Plastic extrusion profile 30% / GLO	2,5
Elastomer joint tape, polysulphide / DE	11,7
Expanded polystyrene (PS 30) / EU-28	241,9
Fixing material screws galvanized / EU-28	164,4

Material	Množství [kg]
Galvanized aluminum extrusion profile (plan)	66,4
Glass fiber mesh / DE	36,6
Glass wool insulation material – ISOVER / DE	134,3
Glue for gypsum boards / EU-28	50,0
Glued laminated timber / EU-28	4410,9
Gypsum fiber board / EU-28	10692,9
Gypsum plaster (CaSO ₄ beta hemihydrate) / EU-28	600,0
Gypsum wallboard / EU-28	1127,5
Normal mortar / EU-28	50,0
Paint emulsion (exterior) / EU-28	190,0
Polyethylene film (PE-LD) / RER	21,1
Polypropylene granulate / RER + injection moulding / RER	3,1
Polyvinyl chloride granulate (PVC) / DE + injection moulding / RER	21,3
Powerpanel H2O FERMACELL / DE	16,0
Powerpanel HD FERMACELL / DE	111,9
PVAc adhesive / EU-28	6,2
Silicone-resin plaster / EU-28	71,0
Stainless steel component (plan)	110,1
Stone wool – ISOVER / DE	989,2
Timber spruce / EU-28	3273,8
Střecha	
Concrete roof tile / EU-28	3915,2
Fixing material screws galvanized / EU-28	64,5
Galvanized aluminum extrusion profile (plan)	21,5
Glass wool insulation material – ISOVER / DE	281,5
Glued laminated timber / EU-28	1204,7
Gypsum fiber board / EU-28	1447,8
Joint sealing tape – fabric / EU-28	3,0
Polyethylene film (PE-LD) / RER	105,9
Polypropylene film (PP) / RER	21,5
Polyvinyl chloride granulate (PVC) / DE + injection moulding / RER	24,4
Stainless steel component (plan)	563,2
Tile adhesive / EU-28	3,0
Timber spruce / EU-28	823,7
Wood fiber board / DE	646,0
Okna	
Fixing material screws galvanized / EU-28	1,0
Galvanized aluminum extrusion profile (plan)	167,6
Polyvinyl chloride granulate (PVC) / DE + injection moulding / RER	79,4
Window frame PVC-U / DE (72 m)	201,6
Window glass simple / EU-28 (18,84 m ²)	282,6
Podlaha	
2-component PUR adhesive / EU-28	5,0
Aerated concrete granulate / EU-28	520,0
Expanded polystyrene (PS 30) / EU-28	91,4
Fixing material screws galvanized / EU-28	24,9
Gypsum fiber board / EU-28	4633,1
Resilient flooring, printed laminated PVC / EU-27	259,0
Wood fiber board / DE	2098,6
Ostatní materiály	
Air ventilation duct / EU-28	2,0
Brass component / EU-28 + galvanization / GLO	20,3

Materiál	Množství [kg]
Cable 1 wire / EU-28	3,3
Cable 3 wire / EU-28	124,3
Cable 5 wire / EU-28	29,8
Cable CAT 7 / EU-28	7,9
Copper pipe mix / EU-27	1,1
Copper wire mix / EU-27	4,3
Corrugated board / EU-27	16,3
Door roof (plan)	
<i>Aluminium frame profile, powder coated 60% / EU-28</i>	3,0
<i>Polyvinyl chloride sheet (PVC) 40% / RER</i>	2,0
Electrical parts (plan)	
<i>Brass component 40%</i>	28,7
<i>Copper wire mix 5% / EU-27</i>	3,6
<i>Fixing material screws galvanized 10% / EU-28</i>	7,2
<i>Polypropylene granulate 45% + injection moulding part (PP)</i>	32,3
EPDM foam (pipe insulation) / DE	40,6
Fitting component (plan)	
<i>Brass component 25% / EU-28 + galvanization / GLO</i>	1,3
<i>Fixing material screws galvanized 5% / EU-28</i>	0,3
<i>Rubber sealing compound 70% / DE</i>	3,8
Galvanized aluminum extrusion profile (plan)	8,8
Paint emulsion (exterior) / EU-28	7,3
Plywood board / EU-28	46,9
Polyethylene high density granulate (PE-HD) / RER + injection moulding / DE	8,2
Polyethylene film (PE-LD) / RER	19,5
Polyethylene pipe (PE-HD) / RER	9,8
Polypropylene granulate / RER + injection moulding / RER	10,4
Polypropylene pipe (PP) / DE	40,3
Polyurethane rigid foam (PU) / RER	17,3
Polyvinyl chloride granulate (PVC) / DE + injection moulding / RER	7,9
Polyvinylchloride pipe (PVC) / RER	33,5
Stainless steel white hot rolled coil / EU-27	96,0
Steel forged component / EU-28	29,6
Titanium zinc sheet bright-rolled / DE	128,5

K technické dokumentaci dřevostavby je k dispozici průkaz energetické náročnosti budovy. Z průkazu energetické náročnosti budovy byly použity informace týkající se energie potřebné pro vytápění domu. Energetická potřeba budovy na vytápění je 11,71 MWh/rok, viz následující obrázek.

Obrázek 7 Ekazatele energetické náročnosti budovy.

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m ² ·K)	Dílčí dodané energie			Měrné hodnoty	kWh/(m ² ·rok)	
Minulá léta úsporná A B C D E F G Minulá léta neúsporná							
		88				25	
	0,27						11
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		11,71				3,35	1,41

Zpracovatel: Ing. David Ondra

Kontakt: RD Rýmařov
795 01 Rýmařov

Osvědčení č.: 0750

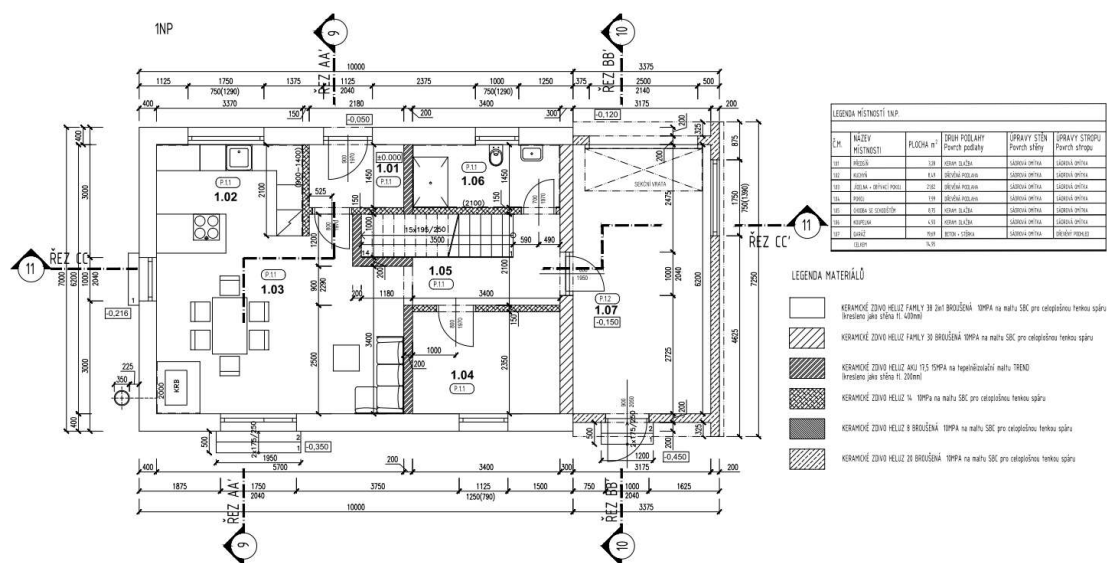
Vyhotoveno dne: 16.4.2014

Podpis:

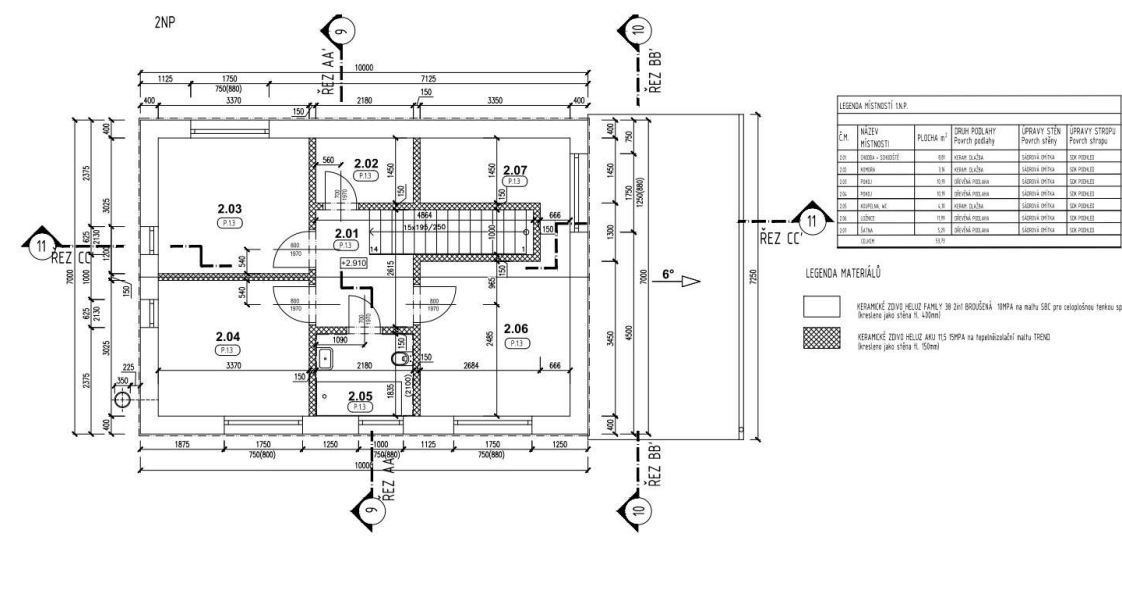
2.2 Cihlový dům

Data týkající se cihlového domu byla poskytnuta objednatelem (Ing. Miroslav Vacek, Ph.D.). Na základě dokumentace k dřevostavbě byla zpracována souhrnná technická zpráva a dokumentace pro provedení stavby „RD Heluz“ pro dům dispozičně i provozními parametry odpovídající výše uvedené dřevostavbě. Technickou zprávu a dokumentaci vypracoval ateliér Blackback, s.r.o. (www.blackback.cz). Autorem projektu byli Ing. Lukáš Pojar a Ing. Josef Baloušek, hlavním inženýrem projektu byl Ing. Josef Baloušek.

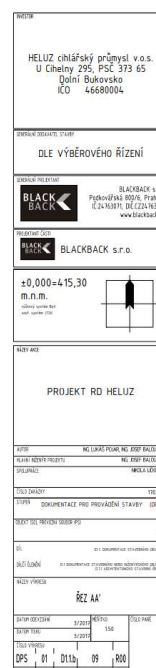
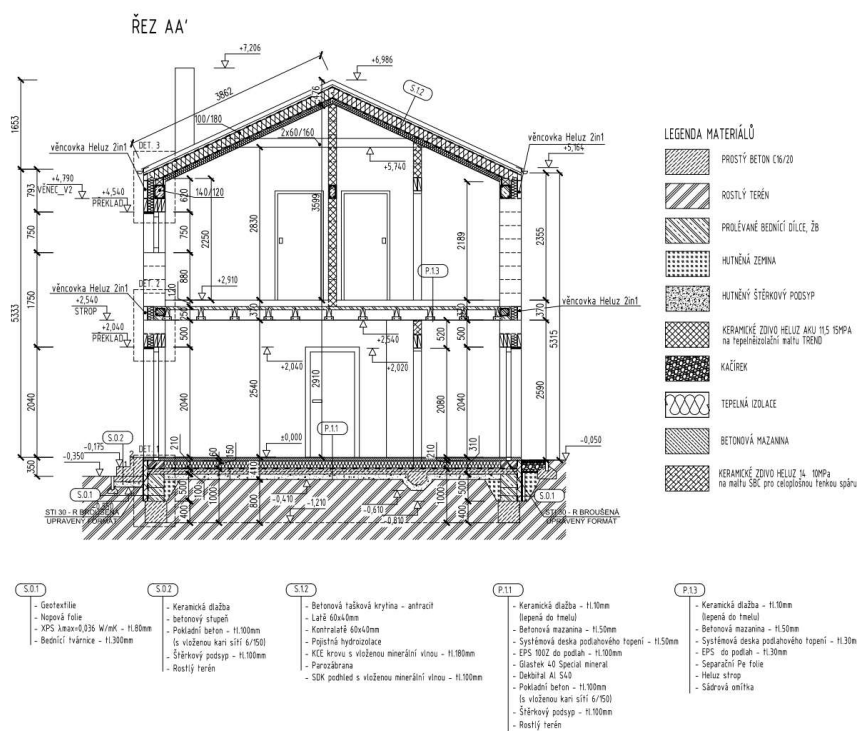
Obrázek 8 Technický výkres cihlového domu – 1NP.



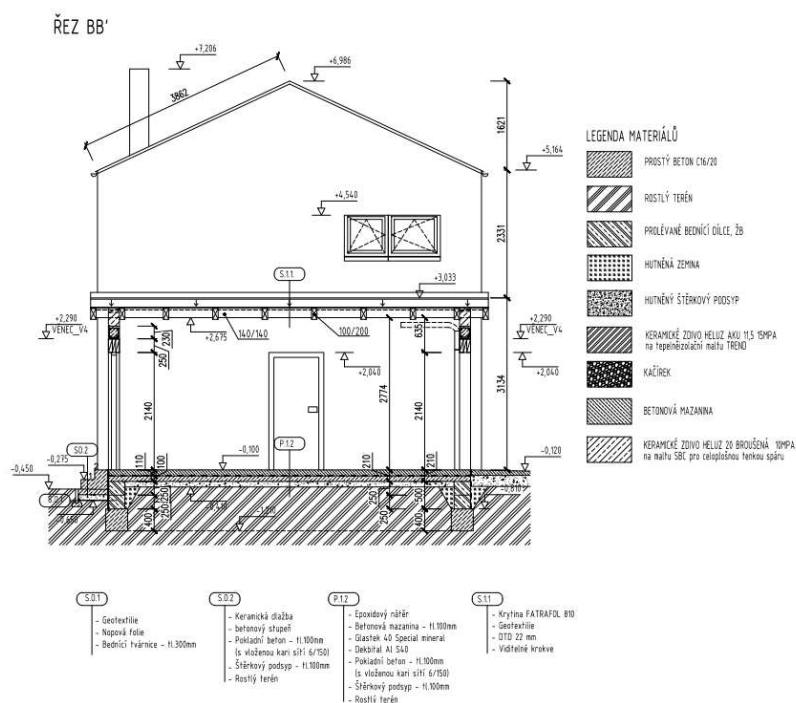
Obrázek 9 Technický výkres cihlového domu – 2NP.



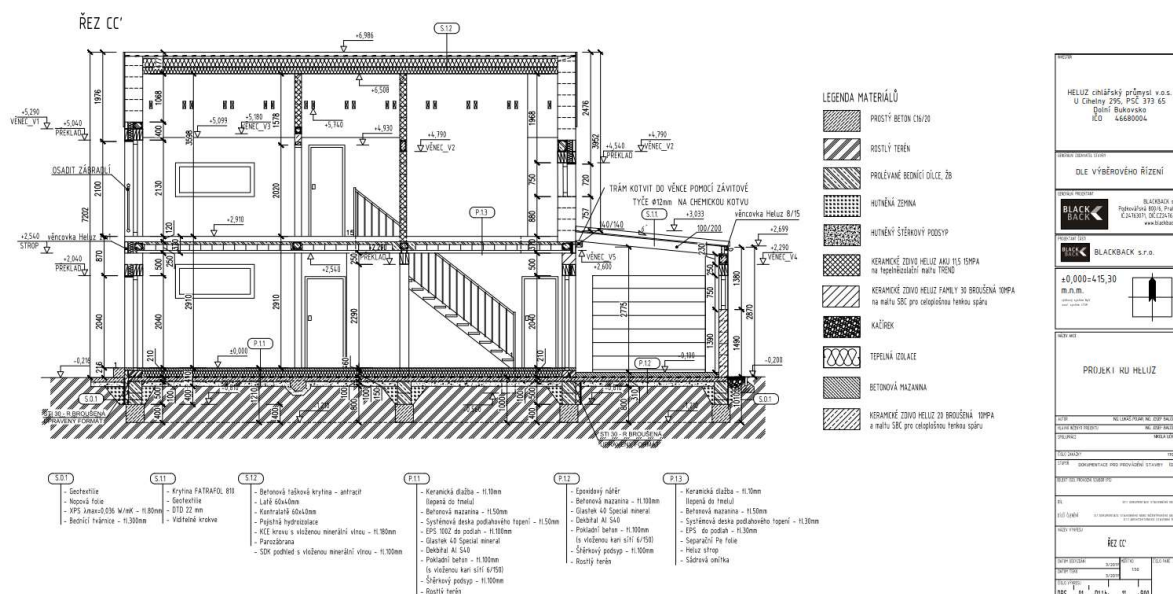
Obrázek 10 Technický výkres cihlového domu – Řez AA.



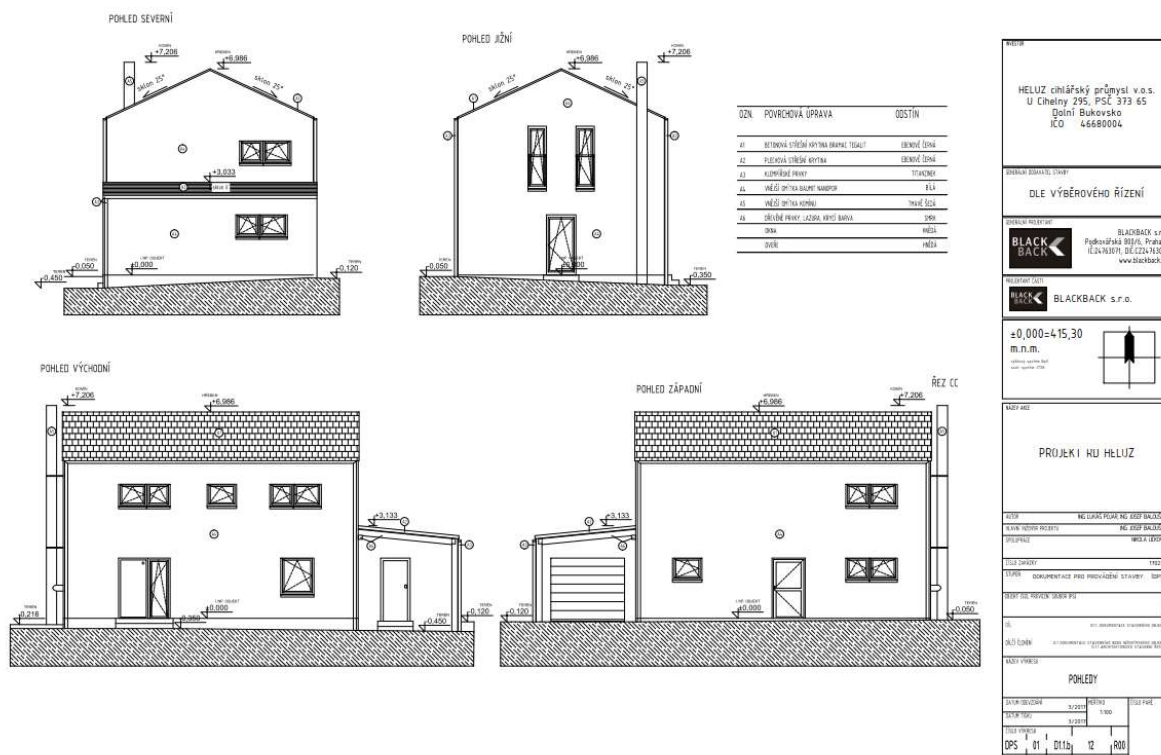
Obrázek 11 Technický výkres cihlového domu – Řez BB.



Obrázek 12 Technický výkres cihlového domu – Řez CC.



Obrázek 13 Technický výkres cihlového domu – Pohledy.



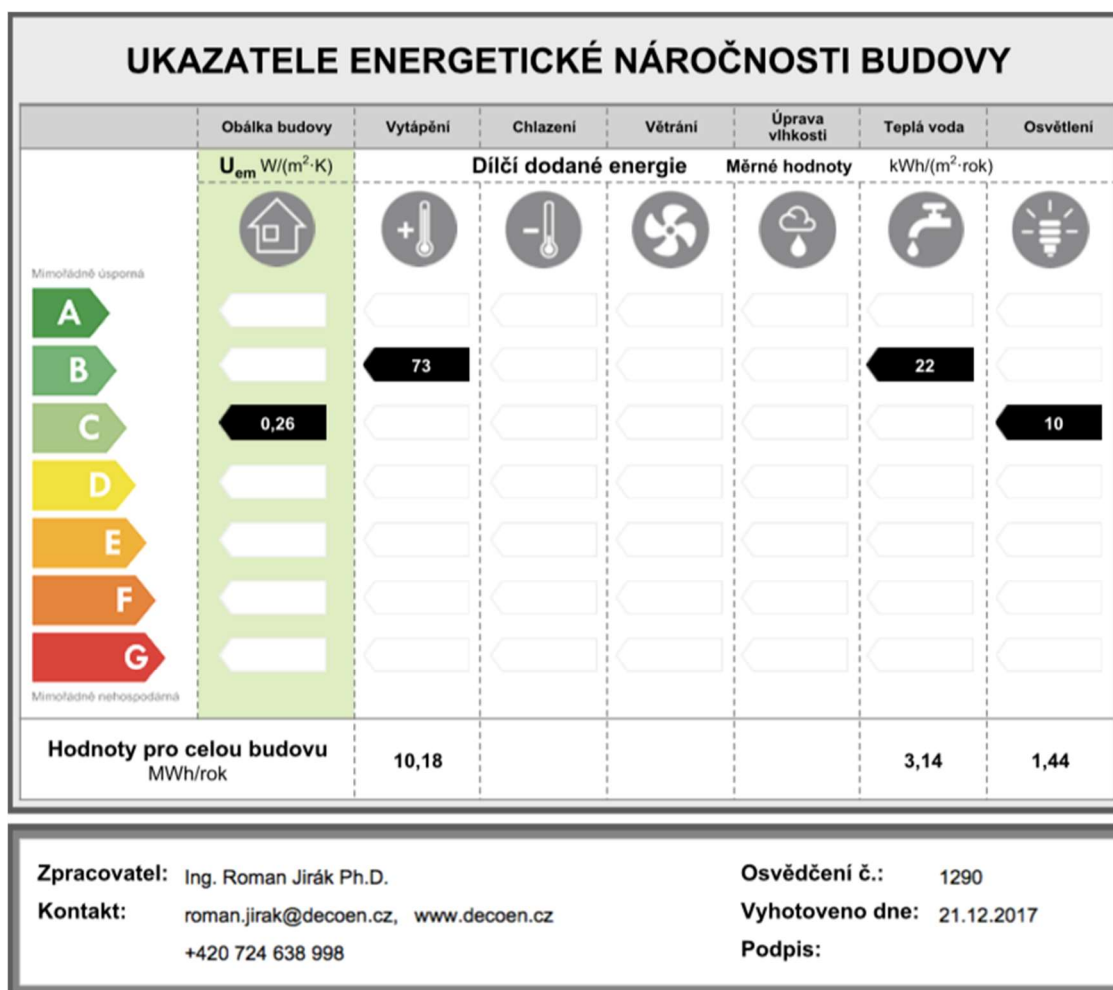
Seznam použitých materiálů použitých pro stavbu obálky cihlového domu je uveden v následující tabulce. Materiály použité na stavbu základů, střechy, oken, podlahy a ostatní materiály jsou shodné s materiály použitými pro stavbu dřevostavby.

Tabulka 2 Seznam a množství materiálů použitých pro stavbu obálky cihlového domu.

Materiál	množství [kg]
Obálka domu	
Building, reinforced concrete frame construction / GLO	6627,5
External wall insulation system (synthetic resin plaster) (A1 – A3) / EU-28	1738,8
Extruded polystyrene (XPS) / EU-28	23,4
Fixing material screws galvanized / EU-28	1,7
HELUZ 2in1 brick	32359,3
HELUZ burnt brick	26674,4
Lime gypsum interior plaster / EU-28	4436,0
Normal mortar / EU-28	1175,0

K technické dokumentaci cihlového domu byl rovněž vypracován průkaz energetické náročnosti budovy, viz následující obrázek. Energetická potřeba budovy na vytápění je 10,18 MWh/rok.

Obrázek 14 Ekazatele energetické náročnosti budovy.



3 Použitá metoda LCA a přijaté předpoklady

3.1 Metoda posuzování životního cyklu

Metoda posuzování životního cyklu (Life Cycle Assessment - LCA) je analytický nástroj založený na měření technologických, provozních i environmentálních parametrů jednotlivých organizací či průmyslových podniků, které se podílejí na výrobě, transportu, provozu či likvidaci jakéhokoli materiálu, zařízení, paliva či energetického nosiče vstupujícího do jakéhokoli stádia životního cyklu stavby. Metoda LCA se provádí dle ČSN EN ISO 14040¹ a ČSN EN ISO 14044², je to tedy robustní a transparentní nástroj kvantifikace konkrétních environmentálních dopadů svázaných s jednotlivými vstupními i výstupními materiály a energiemi. LCA je mezinárodně používaná metoda, kterou prosazuje i UNEP OSN³ a v současnosti se o ní hovoří v souvislosti s přechodem na oběhové hospodářství.

Podstatou metody LCA je určení látkových a energetických toků směrem dovnitř a ven z posuzovaného systému. Sleduje se jejich množství, složení, charakter a závažnost pro životní prostředí. Od těchto toků se pak odvíjí příčiny a následky, podle kterých se pak určí výsledné změny v životním prostředí. Základní data se zpracovávají inventarizační analýzou. Předem ohraničená část životního cyklu posuzovaného systému se rozloží na jednotkové procesy a mapují se toky mezi nimi. Následuje hodnocení environmentálních dopadů a konečná interpretace.

Metoda LCA se nejčastěji používá jako:

- a) nástroj podporující a/nebo zdůvodňující určité rozhodnutí;
- b) nástroj pro získávání informací;
- c) nástroj komunikace s veřejností.

Metoda LCA je vnímána jako jeden ze základních analytických nástrojů udržitelnosti. LCA hodnotí především environmentální dopady. V rozšíření o sféru ekonomickou (LCC – Life Cycle Costing) umožňuje porovnávat environmentální benefity s finančními náklady. Pro vnitřní regulaci volného tržního systému je velmi zajímavá skutečnost, že metodou LCA lze určit, který subdodavatel materiálu či energie má ve svém „životopise“ nižší ekologické dopady. Taková informace může být významná pro management a marketing podniků a organizací – umožní jim totiž vybrat si takové subdodavatele, kteří přidají ke společnému koláči ekologických škod dané stavby co nejmenší díl, a tím snížit celkové environmentální dopady vlastní organizace.

3.2 Použité kategorie dopadu

Významným přínosem používání metody LCA je vyjadřování potenciálních environmentálních dopadu nikoli pouhým výčtem různých emisí do jednotlivých složek prostředí, ale převedením těchto dat na tzv. výsledky indikátorů kategorií dopadu. V této studii byly použity následující kategorie dopadu:

¹ ČSN EN ISO 14040 Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova, ČNI 2006.

² ČSN EN ISO 14044 Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Požadavky a směrnice, ČNI 2006.

³ <http://www.uneptie.org/pc/sustain/lcinitiative/>

Tabulka 3 Kategorie environmentálních dopadů použité ve studii.

Název kategorie dopadu	Jednotka	Stručný popis
Globální oteplování a klimatické změny GWP	kg CO ₂ ekv.	Skleníkový jev je přirozený jev zachycování energie skleníkovými plyny přítomnými v atmosféře. Emise skleníkových plynů způsobují stále intenzivnější zadržování energie v atmosféře a posílení jinak přirozeného skleníkového efektu. Zesílení skleníkového jevu se anglicky označuje jako global warming (globální oteplování). Důsledkem zesílení skleníkového efektu je zvýšení globální teploty a následně i klimatické změny. Klimatické změny jsou pozorované změny v počasí na globální, regionální či lokální úrovni. Mezi hlavní skleníkové plyny patří oxid uhličitý CO ₂ , metan CH ₄ , oxid dusný N ₂ O, hexafluorid sírový SF ₆ a halogenované uhlovodíky, jako jsou freony a halony. Největší absolutní účinnost ze skleníkových plynů má vodní pára. Vzhledem k jejímu množství v atmosféře není její bilance člověkem dosud výrazně ovlivňována a její celkové množství je zhruba konstantní. Bylo pozorováno, že právě změny v koncentracích ostatních skleníkových plynů silně korelují se změnami energie v atmosféře.
Acidifikace AP	kg SO ₂ ekv.	Acidifikace je proces okyselování půdního nebo vodního prostředí způsobený nárůstem koncentrace vodíkových kationů, protonů H ⁺ . Acidifikace je způsobena vypouštěním kyselinotvorných látek do atmosféry, vody a půdy. Kyselinotvorné látky jsou především takové látky, jež reakcí s vodou disociují a uvolňují do prostředí proton H ⁺ , který je nositelem kyselých účinků. Kyselinotvorné látky se v případě vzdušných emisí dostávají suchou a vlhkou depozicí a srážkami do dalších složek prostředí. Kyselinotvorné látky působí nepříznivě na biologické tkáně rostlin, živočichů i bakterií a rovněž narušují materiály. Hlavním faktorem ovlivňujícím intenzitu acidifikace je množství kyselinotvorných emisí.
Eutrofizace EP	kg PO ₄ ³⁻ ekv.	Eutrofizace neboli úživnost je proces obohacování prostředí živinami. Je to problém povrchových vod, půd a moří. Viditelným důsledkem eutrofizace je zarůstání povrchových sladkovodních i mořských vod vodním květem sinic a řas, nedostatek kyslíku ve vodách, změna druhového složení ekosystémů či zhoršená kvalita povrchových vod a zdrojů pitné vody.
Vznik fotooxidantů POCP	kg C ₂ H ₄ ekv.	Vznik troposférického ozonu, častěji označovaný jako vznik fotooxidantů, je kategorií dopadu související s nepříznivým působením ozonu a dalších reaktivních látek v přízemní vrstvě atmosféry. Ozon, tříatomová molekula kyslíku, je přirozenou součástí zemské atmosféry. Vyšší koncentrace troposférického ozonu působí toxicky na živé organismy a oxidačními reakcemi se podílí na narušování materiálů. Přízemní ozon vzniká chemickými reakcemi za přítomnosti slunečního záření, oxidů dusíků a těkavých

		organických látek VOC. V důsledku lidské činnosti vzrostla koncentrace troposférického ozonu o 100 %. Hlavní příčinou tohoto stavu je nárůst automobilové dopravy emitující značné množství oxidů dusíku.
Úbytek materiálových surovin ADP(elements)	kg Sb ekv.	Kategorie dopadu úbytek surovin zahrnuje vliv produktového systému na nevratné využívání neobnovitelných surovin a na spotřebovávání obnovitelných zdrojů. Tato kategorie dopadu se obvykle rozděluje na dvě, a sice na úbytek materiálových surovin a na úbytek energetických (fosilních) surovin. Místem účinku kategorie dopadu úbytek surovin je z přírodního hlediska celá planeta Země, ze socioekonomického pohledu pak globální trh.
Úbytek energetických (fosilních) surovin ADP(fossil)	MJ	
Úbytek stratosférického ozonu (ODP, steady state)	kg CFC11 ekv.	Kategorie dopadu úbytek stratosférického ozonu popisuje míru vlivu emisí na vznik tak zvané ozonové díky ve stratosféře. Hlavní příčinou tohoto problému jsou freony, halogenované stabilní uhlovodíky, které se teprve v podmínkách stratosféry rozkládají a uvolňují chlór či bróm, prvky katalyzující rozklad stratosférického ozonu.
Humánní toxicita HTP a ekotoxicita FAETP + TETP	kg 1,4 DCB ekv.	Kategorie dopadu humánní toxicita a sladkovodní a terestrická ekotoxicita přibližně charakterizuje dopady do jednotlivých složek prostředí uvolněných látek, jež mají potenciál působit toxicky.

3.3 Použitý LCA software

Pro výpočty a pro modelování životních cyklů produktů či organizací se používají specializované software a databáze inventarizačních dat. V této studii byl použit profesionální LCA software GaBi8, vytvořený Stuttgartskou firmou Thinkstep za spolupráce se Stuttgartskou technickou univerzitou⁴.

3.4 Ve studii přijaté předpoklady

Při vytváření LCA modelu jednotlivých bylo nutno přijmout určité předpoklady. Tyto předpoklady jsou popsány v následujících bodech.

1. Materiály použité na stavbu základů, střech, oken, podlah a ostatní materiály použité na stavbu jsou shodné pro oba typy domů, tj. pro cihlový dům i dřevostavbu. Stavby se materiálově liší pouze v konstrukci obálek domů.
2. Vzdálenost dopravy materiálů z místa výroby na staveniště byla zvolena jednotně 250 km.
3. Vzdálenost odvozu odpadu z demolice domu na skládku, resp. do spalovny, byla zvolena jednotně 50 km.

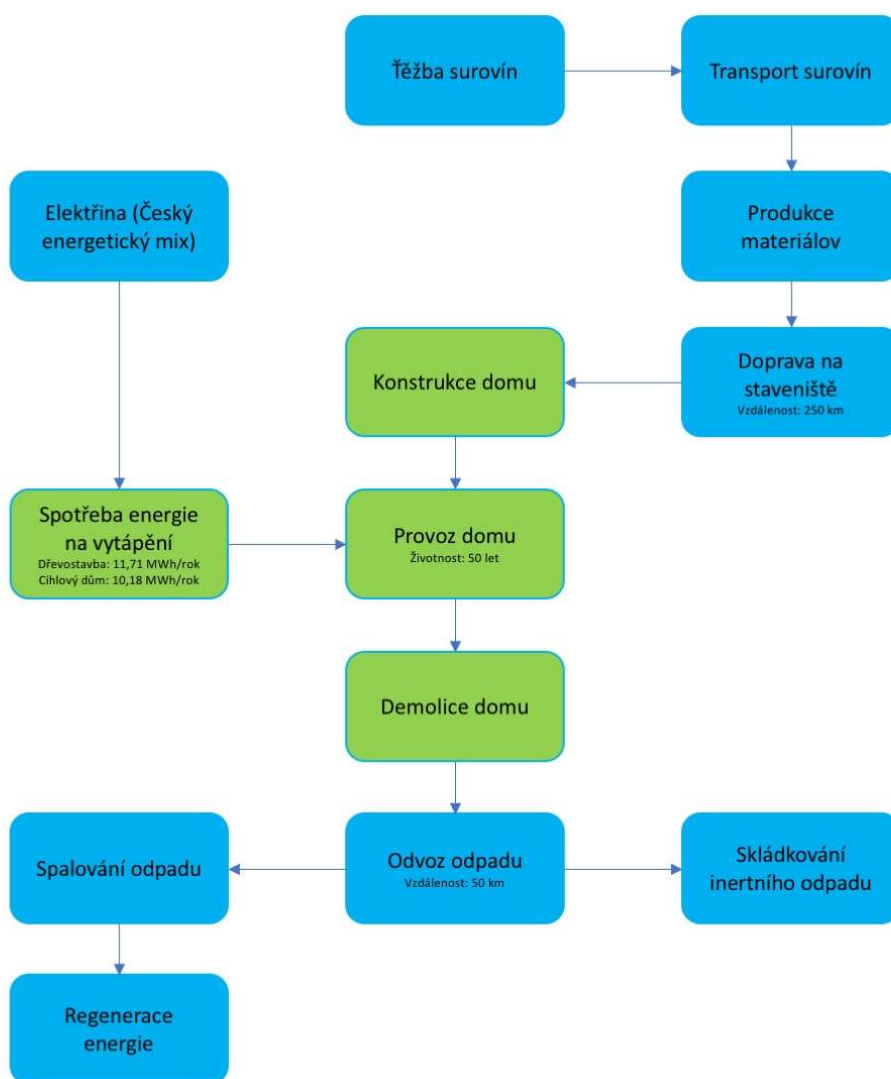
⁴ <https://www.thinkstep.com/software/gabi-lca/>

- Provoz domu představuje spotřebu energie na vytápění domu na teplotu 20 °C po dobu celého roku, což je hodnota uvedená v průkazu energetické náročnosti budov.
- Do provozu domu nebyla uvažována spotřeba vody a elektrické energie k osvětlení a používání domácích spotřebičů. Jedná se o proměnné hodnoty mající vztah spíše k zvyklostem obyvatel než k druhu stavby/obálky domu.
- V celkové analýze je předpokládána životnost domu 50 let a zdroj energie vytápění domu je elektrická energie, neboť se jednalo o zdroj tepla navržený projektantem dřevostavby. Ostatní zdroje tepla jsou uvažovány jako alternativní scénáře.

3.5 Schéma LCA modelů

Následující obrázek schematicky zobrazuje životní cyklus a hranice systému pro oba domy, cihlový i dřevostavbu. Zelenou barvou vyznačené bubliny představují procesy s největšími environmentálními dopady.

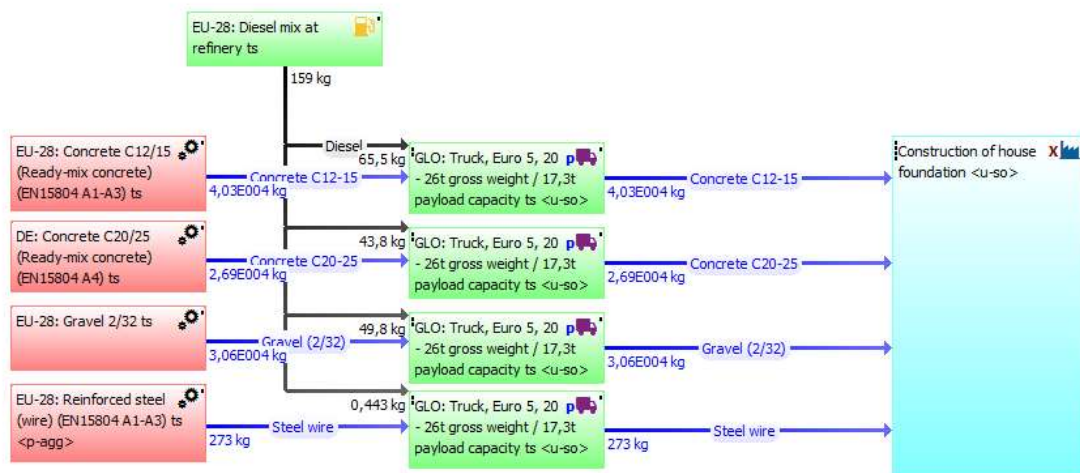
Obrázek 15 Schéma LCA životního cyklu domu.



Obrázek 16 Schéma modelu LCA stavby základů budovy.

01 Groundwork and foundation

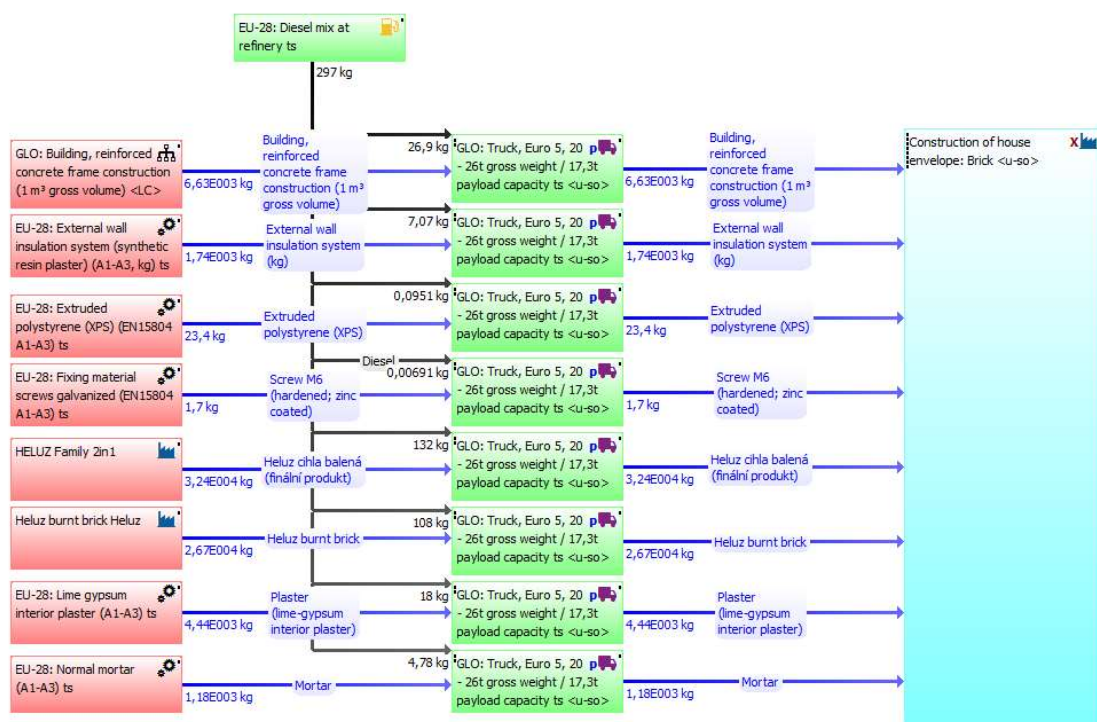
Process plan: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obrázek 17 Schéma modelu LCA obálky budovy – cihlový dům.

02b House construction and walls: Brick

Process plan: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obrazek 18 Schéma modelu LCA obálky budovy – dřevostavba.

02a House construction and walls: Wood

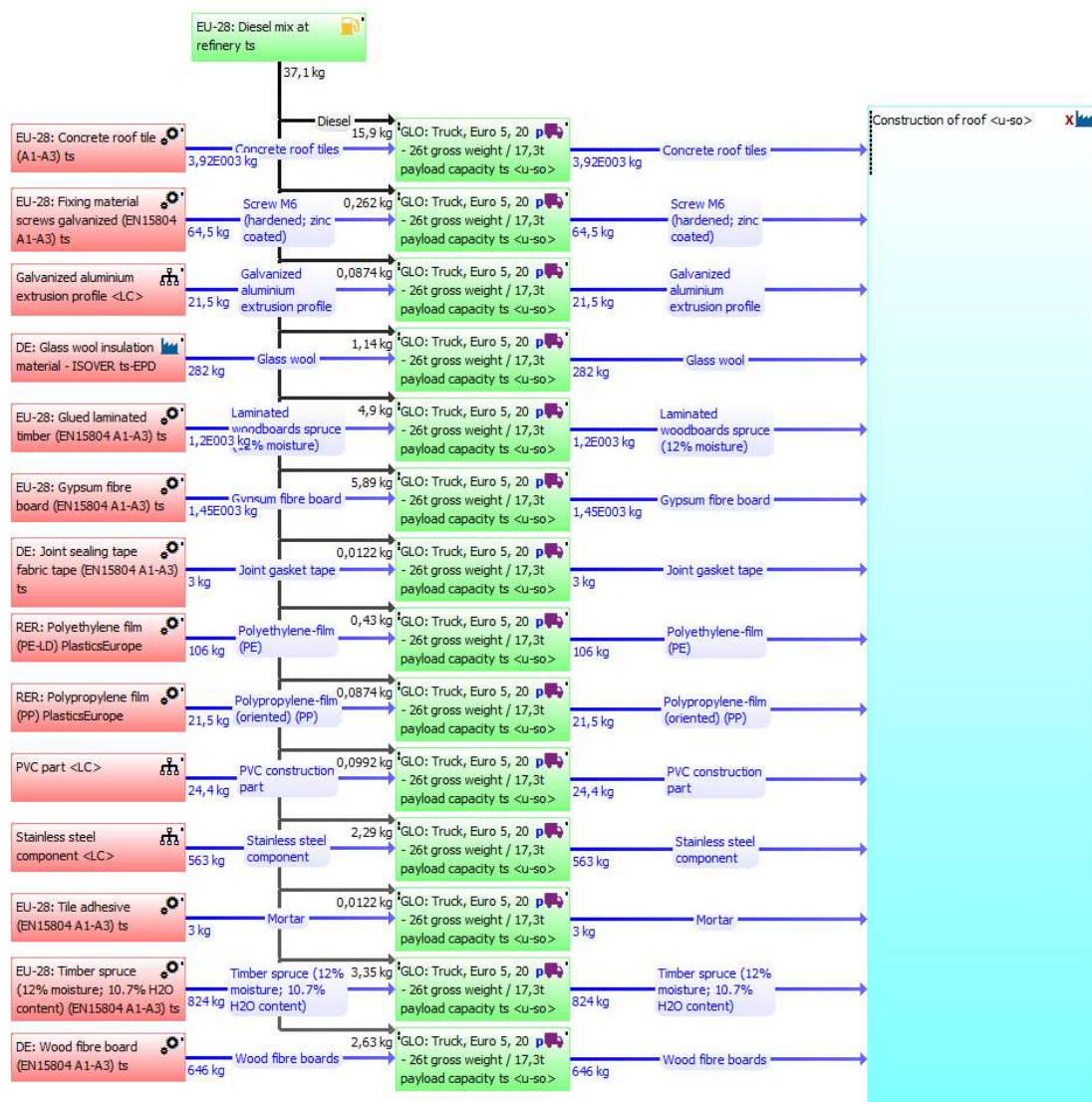
Process plan/Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obrázek 19 Schéma modelu LCA střechy.

03 Roof

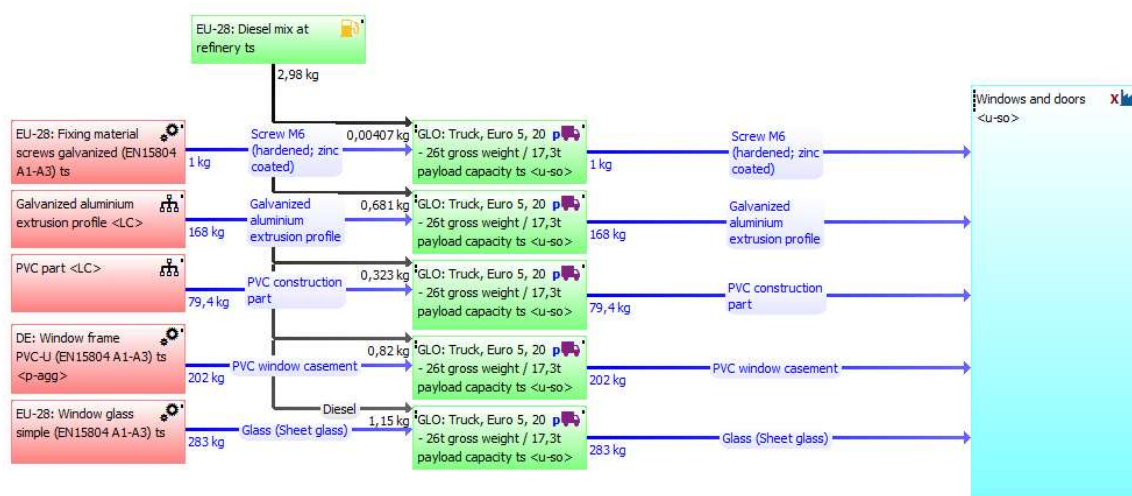
Process plan: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obrázek 20 Schéma modelu LCA oken.

04 Windows

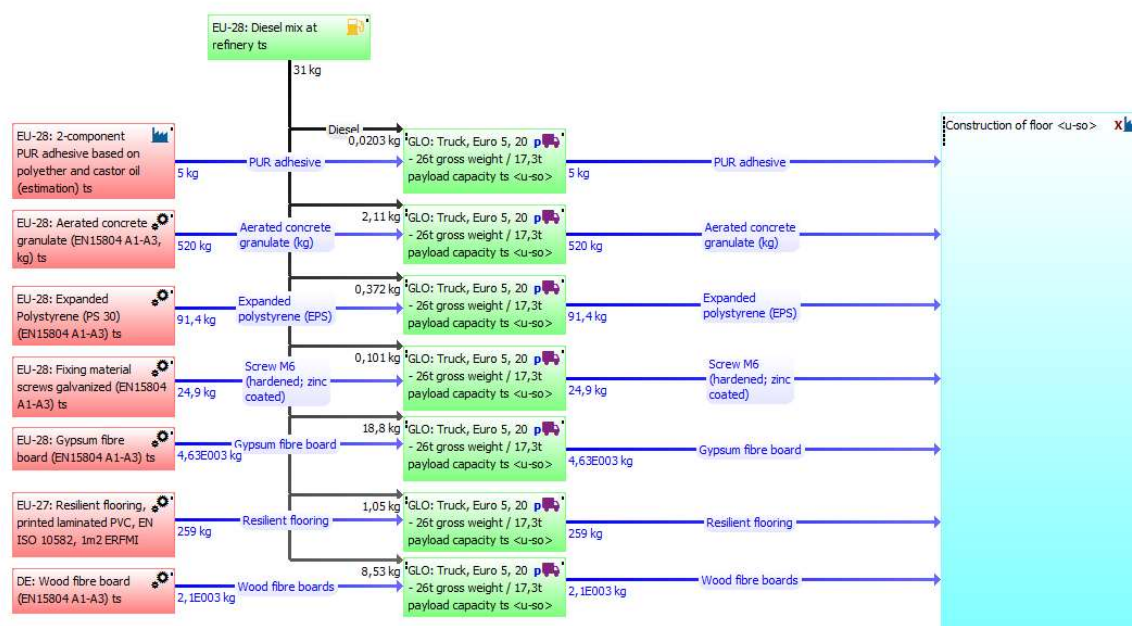
Process plan/Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obrázek 21 Schéma modelu LCA podlahy.

05 Floor

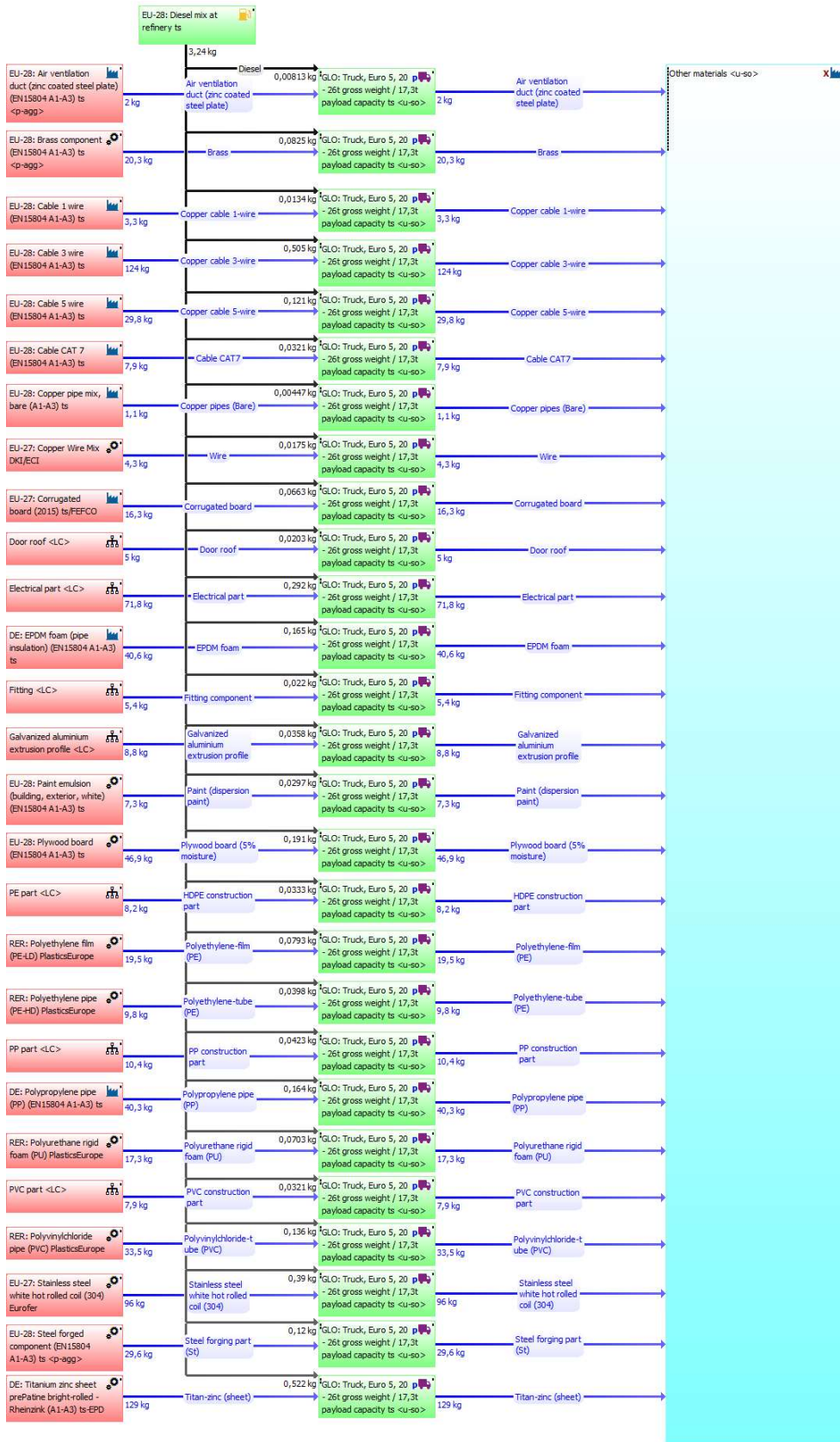
Process plan/Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obrázek 22 Schéma modelu LCA ostatní položky.

06 Other materials

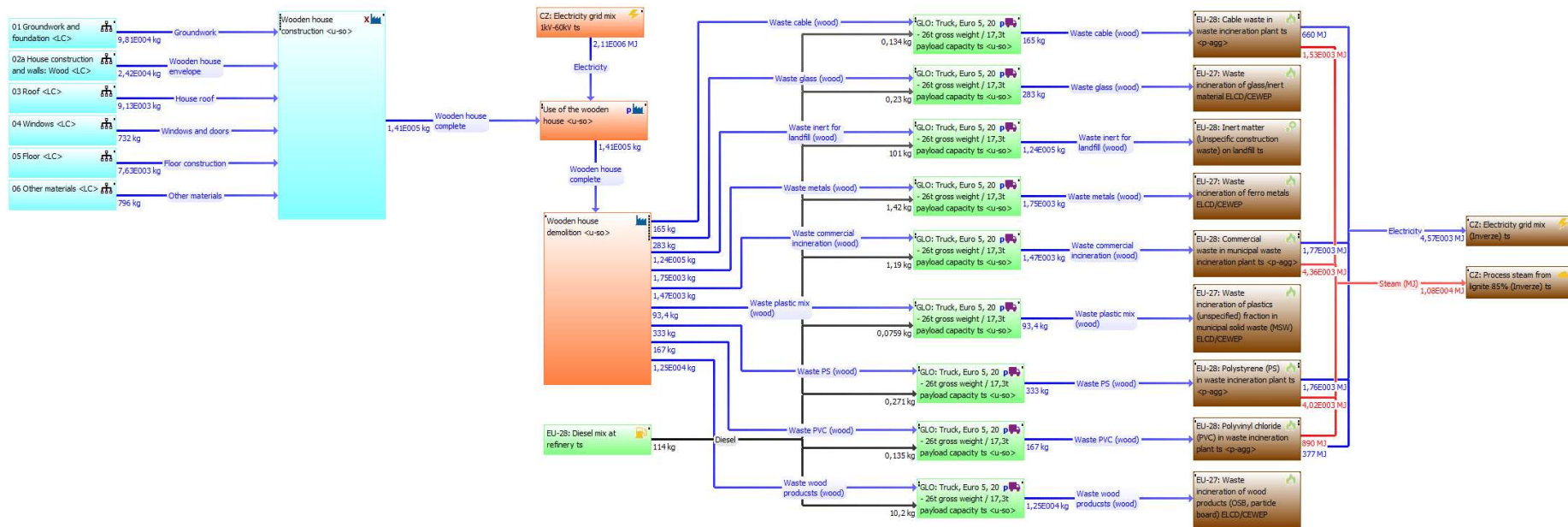
Process plan/Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obrázek 23 Schéma modelu LCA životního cyklu dřevostavby.

Wooden house (electricity grid mix)

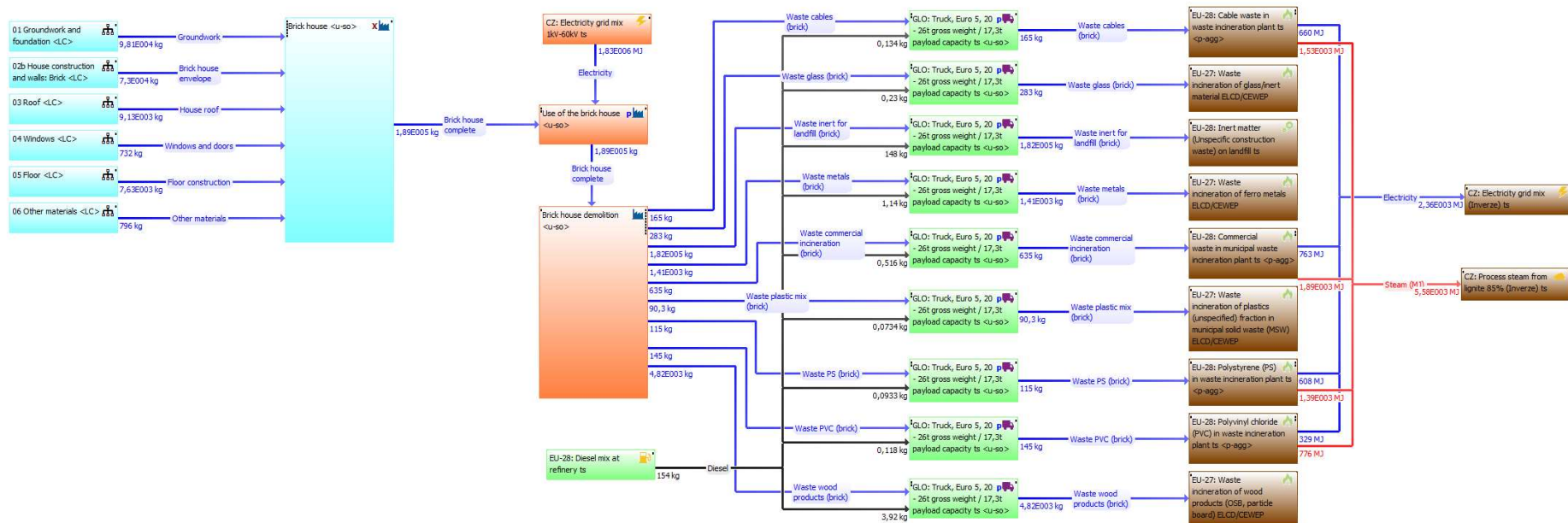
Process plan-Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



Obrázek 24 Schéma modelu LCA životního cyklu cihlového domu.

Brick house (electricity grid mix)

Process plan/Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



4 Výsledky hodnocení environmentálních dopadů budov

4.1 Výsledky hodnocení dopadů životního cyklu stavby budov

V následujících tabulkách jsou uvedeny procesy představující nejvýznamnější příspěvky k celkovým environmentálním dopadům stavby dřevostavby a cihlového domu. Výsledné hodnoty indikátorů kategorií dopadu byly učeny metodou CML2001 – Jan. 2016.

Tabulka 4 Dřevostavba - procesy představující nejvýznamnější příspěvky k celkovým environmentálním dopadům stavby domu.

Typ domu	Dřevostavba					
Fáze	Základy	Obálka	Střecha	Okna	Podlaha	Ostatní
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	0,01	0,35	0,49	0,02	0,07	0,46
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	26500	209000	75500	35200	63700	37300
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	8,9	43,8	24,4	12,1	6,76	16,2
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	1,5	5,63	2,39	0,96	1,09	1,02
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	9,08	185	50,1	44,7	11,1	115
Globální oteplování (GWP 100 let) [kg CO ₂ ekv.]	4280	2230	1580	2730	195	2360
Globální oteplování (GWP 100 let, nezapočtený biogenní uhlík) [kg CO ₂ ekv.]	4290	14800	6010	2740	3900	2460
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	1040	4240	2880	8250	2940	3260
Úbytek stratosférického ozonu (ODP) [kg R11 ekv.]	0	0,0002	0	0	0	0,0001
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	-0,19	6,75	1,56	0,41	2,46	1,06
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	9,91	97,6	22	15,6	19,2	41,1

Tabulka 5 Cihlový dům - procesy představující nejvýznamnější příspěvky k celkovým environmentálním dopadům stavby domu.

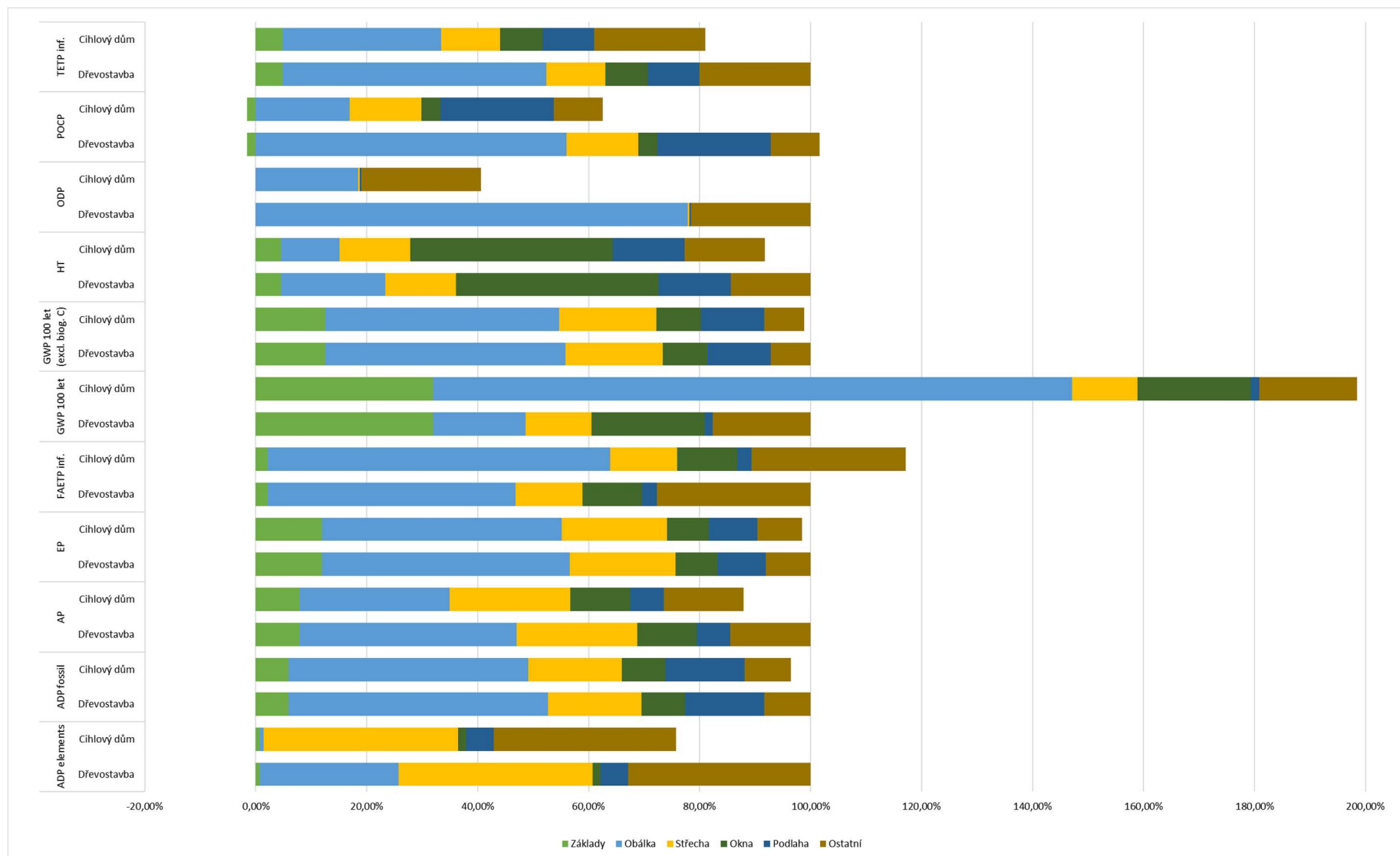
Typ domu	Cihlový dům					
Fáze	Základy	Obálka	Střecha	Okna	Podlaha	Ostatní
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	0,01	0,01	0,49	0,02	0,07	0,46
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	26500	193000	75500	35200	63700	37300
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	8,9	30,3	24,4	12,1	6,76	16,2
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	1,5	5,44	2,39	0,96	1,09	1,02
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	9,08	256	50,1	44,7	11,1	115
Globální oteplování (GWP 100 let) [kg CO ₂ ekv.]	4280	15400	1580	2730	195	2360
Globální oteplování (GWP 100 let, nezapočtený biogenní uhlík) [kg CO ₂ ekv.]	4290	14400	6010	2740	3900	2460
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	1040	2370	2880	8250	2940	3260
Úbytek stratosférického ozonu (ODP) [kg R11 ekv.]	0	0,0001	0	0	0	0,0001
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	-0,19	2,04	1,56	0,41	2,46	1,06
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	9,91	58,6	22	15,6	19,2	41,1

Následující tabulka zobrazuje hodnoty dopadů pro obálky domů, které se navzájem liší, a celkové dopady jednotlivých staveb.

Tabulka 6 Porovnání environmentálních dopadů obálky domu a celkových dopadů stavby budov.

Typ domu	Dřevostavba		Cihlový dům	
Fáze	Obálka	Celkem	Obálka	Celkem
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	0,35	1,39	0,01	1,05
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	209000	447200	193000	431200
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	43,8	112,16	30,3	98,66
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	5,63	12,59	5,44	12,4
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	185	414,98	256	485,98
Globální oteplování (GWP 100 let) [kg CO ₂ ekv.]	2230	13375	15400	26545
Globální oteplování (GWP 100 let, nezapočtený biogenní uhlík) [kg CO ₂ ekv.]	14800	34200	14400	33800
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	4240	22610	2370	20740
Úbytek stratosférického ozonu (ODP) [kg R11 ekv.]	0,0002	0,0003	0,0001	0,0001
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	6,75	12,05	2,04	7,34
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	97,6	205,41	58,6	166,41

Obrázek 25 Porovnání environmentálních dopadů konstrukcí staveb ve vybraných kategoriích dopadu v procentech.



4.2 Výsledky hodnocení dopadů životního cyklu užívání budov

Environmentální dopady provozu budov jsou ovlivněny jejich energetickou náročností, respektive úsporností. Čím vyšší je spotřeba energií na vytápění budov, tím více narůstají environmentální dopady jejich provozu. Spotřeba energie lineárně narůstá s dobou provozu domu. Výpočty environmentálních dopadů budov byly realizovány pro následující časová období: 10, 20, 40 a 50 let.

Vedle množství energie spotřebované na vytápění rovněž hraje roli zdroj, z jakého zdroje je energie pro vytápění získávána. Pro určení environmentálních dopadů provozu budov jsme zvolili následující scénáře: vytápění zemním plynem, vytápění elektrickou energií a vytápění z centrální teplárny na hnědé uhlí. V následujících tabulkách jsou uvedené výsledné hodnoty environmentálních dopadů.

Tabulka 7 Environmentální dopady vytápění dřevostavby zemním plynem.

ZEMNÍ PLYN				
Typ domu	Dřevostavba			
Spotřeba energie za 1 rok	11,71 MWh			
Časové období, roky	10	20	40	50
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	0	0	0,01	0,01
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	46700 0	934000	1870000	2330000
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	18,6	37,1	74,3	92,9
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	2,82	5,64	11,3	14,1
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	8,69	17,4	34,8	43,4
Globální oteplování (GWP 100 let) [kg CO ₂ ekv.]	29000	57900	116000	145000
Globální oteplování (GWP 100 let, nezapočtený biogenní uhlík) [kg CO ₂ ekv.]	29000	57900	116000	145000
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	204	407	814	1020
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	3,56	7,11	14,2	17,8
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	0,99	1,98	3,95	4,94

Tabulka 8 Environmentální dopady vytápění cihlového domu zemním plynem.

ZEMNÍ PLYN				
Typ domu	Cihlový dům			
Spotřeba energie za 1 rok	10,18 MWh			
Časové období, roky	10	20	40	50
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	0	0	0	0,01
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	406000	812000	1620000	2030000
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	16,1	32,3	64,6	80,7
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	2,45	4,9	9,8	12,3
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	7,55	15,1	30,2	37,8
Globální oteplování (GWP 100 let) [kg CO ₂ ekv.]	25200	50400	101000	126000

ZEMNÍ PLYN				
Typ domu	Cihlový dům			
Globální oteplování (GWP 100 let, nezapočtený biogenní uhlík) [kg CO ₂ ekv.]	25200	50400	101000	126000
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	177	354	708	885
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	3,09	6,18	12,4	15,5
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	0,86	1,72	3,44	4,3

Tabulka 9 Environmentální dopady vytápění dřevostavby elektrickou energií.

ELEKTRINA				
Typ domu	Dřevostavba			
Spotřeba energie za 1 rok	11,71 MWh			
Časové období, roky	10	20	40	50
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	0,02	0,03	0,06	0,08
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	757000	1510000	3030000	3790000
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	205	410	819	1020
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	18,8	37,7	75,4	94,2
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	99,4	199	398	497
Globální oteplování (GWP 100 let) [kg CO ₂ ekv.]	76500	153000	306000	382000
Globální oteplování (GWP 100 let, nezapočtený biogenní uhlík) [kg CO ₂ ekv.]	76500	153000	306000	383000
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	2380	4760	9530	11900
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	16,2	32,3	64,7	80,9
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	46,5	93	186	233

Tabulka 10 Environmentální dopady vytápění cihlového domu elektrickou energií.

ELEKTRINA				
Typ domu	Cihlový dům			
Spotřeba energie za 1 rok	10,18 MWh			
Časové období, roky	10	20	40	50
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	0,01	0,03	0,07	0,07
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	658000	1320000	3290000	3290000
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	178	356	890	890
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	16,4	32,8	81,9	81,9
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	86,4	173	432	432
Globální oteplování (GWP 100 let) [kg CO ₂ ekv.]	66500	133000	333000	333000
Globální oteplování (GWP 100 let, nezapočtený biogenní uhlík) [kg CO ₂ ekv.]	66500	133000	333000	333000
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	2070	4140	10400	10400
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	14,1	28,1	56,2	70,3
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	40,4	80,9	162	202

Tabulka 11 Environmentální dopady vytápění dřevostavby z centrální teplárny na hnědé uhlí.

HNĚDÉ UHLÍ				
Typ domu	Dřevostavba			
Spotřeba energie za 1 rok	11,71 MWh			
Časové období, roky	10	20	40	50
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	0	0	0	0
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	415000	831000	1660000	2080000
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	106	212	425	531
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	7,73	15,5	30,9	38,7
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	16,8	33,7	67,3	84,2
Globální oteplování (GWP 100 let) [kg CO ₂ ekv.]	42400	84800	170000	212000
Globální oteplování (GWP 100 let, nezapočtený biogenní uhlík) [kg CO ₂ ekv.]	42400	84800	170000	212000
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	872	1740	3490	4360
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	8,47	16,9	33,9	42,3
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	32,1	64,2	128	160

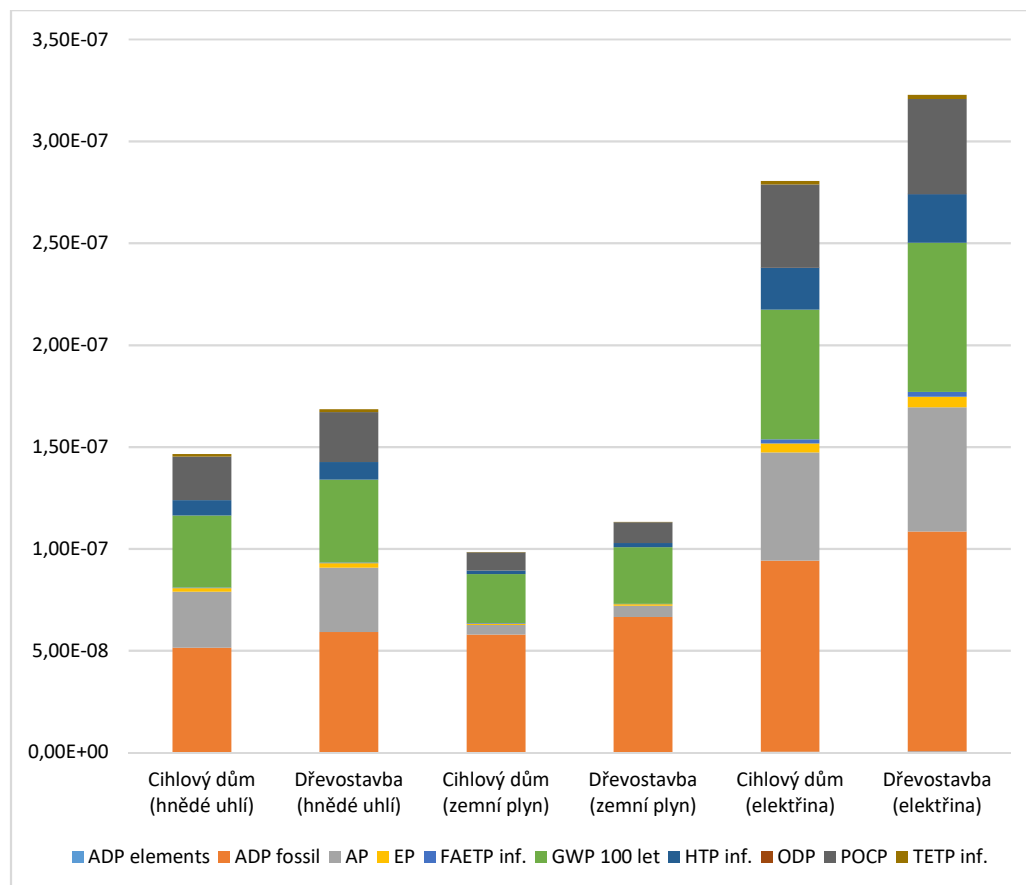
Tabulka 12 Environmentální dopady vytápění cihlového domu z centrální teplárny na hnědé uhlí.

HNĚDÉ UHLÍ				
Typ domu	Cihlový dům			
Spotřeba energie za 1 rok	10,18 MWh			
Časové období, roky	10	20	40	50
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	0	0	0	0
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	361000	722000	1440000	1810000
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	92,3	185	369	462
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	6,72	13,4	26,9	33,6
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	14,6	29,3	58,5	73,2
Globální oteplování (GWP 100 let) [kg CO ₂ ekv.]	36800	73700	147000	184000
Globální oteplování (GWP 100 let, nezapočtený biogenní uhlík) [kg CO ₂ ekv.]	36800	73700	147000	184000
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	758	1520	3030	3790
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	7,36	14,7	29,4	36,8
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	27,9	55,8	112	140

Tabulka 13 Normalizované výsledky environmentálních dopadů vytápění budov zemním plynem, elektřinou nebo z centrální teplárny na hnědé uhlí.

	Hnědé uhlí		Zemní plyn		Elektřina	
	Cihlový dům	Dřevostavba	Cihlový dům	Dřevostavba	Cihlový dům	Dřevostavba
Úbytek abiotických surovin (ADP elements)	3,46E-12	3,98E-12	3,72E-11	4,28E-11	4,34E-10	4,99E-10
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil)	5,14E-08	5,92E-08	5,78E-08	6,65E-08	9,38E-08	1,08E-07
Acidifikace (AP)	2,75E-08	3,16E-08	4,81E-09	5,53E-09	5,30E-08	6,10E-08
Eutrofizace (EP)	1,82E-09	2,09E-09	6,62E-10	7,62E-10	4,43E-09	5,09E-09
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.)	3,50E-10	4,03E-10	1,81E-10	2,08E-10	2,07E-09	2,38E-09
Globální oteplování (GWP 100 let)	3,53E-08	4,06E-08	2,41E-08	2,77E-08	6,37E-08	7,33E-08
Humánní ekotoxicita (HT)	7,58E-09	8,72E-09	1,77E-09	2,04E-09	2,07E-08	2,38E-08
Úbytek stratosférického ozónu (ODP)	6,84E-16	7,87E-16	1,32E-14	1,52E-14	1,18E-13	1,36E-13
Vznik fotooxidantů (POCP)	2,13E-08	2,45E-08	8,93E-09	1,03E-08	4,06E-08	4,67E-08
Půdní ekotoxicita (TETP inf.)	1,20E-09	1,38E-09	3,70E-11	4,26E-11	1,74E-09	2,00E-09

Obrázek 26 Normalizované výsledky environmentálních dopadů vytápění budov zemním plynem, elektřinou nebo z centrální teplárny na hnědé uhlí.



4.3 Výsledky hodnocení dopadů demolice budov

V následujících tabulkách jsou uvedeny procesy představující nejvýznamnější příspěvky k celkovým environmentálním dopadům demolice dřevostavby a cihlového domu. Záporné hodnoty představují benefit získaný využitím odpadní suroviny buď materiálově a nebo energeticky.

Tabulka 14 Dřevostavba - procesy představující nejvýznamnější příspěvky k celkovým environmentálním dopadům stavby domu. Záporné hodnoty značí environmentální benefit získaný například recyklací odpadů či využitím odpadní energie.

Dřevostavba - demolice	Spalování odpadu	Skládkování odpadu
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	-0,1	0
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	-94121	25800
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	-44,36	11,8
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	0,72	1,61
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	-21,09	9,02
Globální oteplování (GWP 100 let) [kg CO ₂ ekv.]	16167	2000
Globální oteplování (GWP 100 let, nezapočtený biogenní uhlík) [kg CO ₂ ekv.]	-5056,9	1990
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	-1024	128
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	-2,45	0,93
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	44,9	48

Tabulka 15 Cihlový dům - procesy představující nejvýznamnější příspěvky k celkovým environmentálním dopadům stavby domu. Záporné hodnoty značí environmentální benefit získaný například recyklací odpadů či využitím odpadní energie.

Cihlový dům - demolice	Spalování odpadu	Skládkování odpadu
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	-0,08	0
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	-54065,8	37900
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	-22,88	17,3
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	-0,47	2,36
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	-12,78	13,3
Globální oteplování (GWP 100 let) [kg CO ₂ ekv.]	5549,5	2940
Globální oteplování (GWP 100 let, nezapočtený biogenní uhlík) [kg CO ₂ ekv.]	-2643	2920
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	-460,71	188
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	-1,59	1,36
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	-0,34	70,4

4.4 Výsledky hodnocení dopadů životního cyklu jednotlivých budov

V následujících tabulkách jsou uvedeny výsledky indikátorů kategorií dopadu pro jednotlivé typy budov a rovněž jsou tyto výsledky vyjádřeny procentuálně, aby bylo možné je zobrazit a porovnat graficky.

Tabulka 16 Výsledky indikátorů kategorií dopadu jednotlivých fází životního cyklu dřevostavby. Záporné hodnoty značí environmentální benefit získaný například recyklací odpadů či využitím odpadní energie.

Typ domu	Dřevostavba				
Fáze	Stavba	Demolice	Doprava	Provoz	Celkem
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	1,39	-0,1	0	0,08	1,37
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	447000	-115000	5520	3790000	4120000
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	112	-49,9	0,95	1020	1090
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	12,6	0,27	0,23	94,2	107
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	416	-22,7	2,19	497	892
Globální oteplování (GWP 100 let) [kg CO ₂ ekv.]	13400	14100	400	382000	410000
Globální oteplování (GWP 100 let, nezapočtený biogenní uhlík) [kg CO ₂ ekv.]	34200	-7200	403	383000	410000
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	22600	-1080	8,25	11900	33500
Úbytek stratosférického ozonu (ODP) [kg R11 ekv.]	0,000275	-0,000860	0,000000	0,000001	-0,000584
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	12,1	-2,88	-0,31	80,9	89,7
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	205	43,4	0,66	233	482

Tabulka 17 Výsledky indikátorů kategorií dopadu jednotlivých fází životního cyklu cihlového domu. Záporné hodnoty značí environmentální benefit získaný například recyklací odpadů či využitím odpadní energie.

Typ domu	Cihlový dům				
Fáze	Stavba	Demolice	Doprava	Provoz	Celkem
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	1,05	-0,08	0	0,07	1,04
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	431000	-27000	7440	3290000	3700000
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	98,7	-8,41	1,28	890	982
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	12,4	1,67	0,31	81,9	96,3

Typ domu	Cihlový dům				
Fáze	Stavba	Demolice	Doprava	Provoz	Celkem
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	486	-0,42	2,95	432	920
Globální oteplování (GWP 100 let) [kg CO ₂ ekv.]	26600	7390	540	333000	367000
Globální oteplování (GWP 100 let, nezapočtený biogenní uhlík) [kg CO ₂ ekv.]	33800	-831	543	333000	366000
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	20700	-300	11,1	10400	30800
Úbytek stratosférického ozonu (ODP) [kg R11 ekv.]	0,000112	-0,000300	0,000000	0,000001	-0,000188
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	7,34	-0,45	-0,42	70,3	76,8
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	166	69,3	0,89	202	439

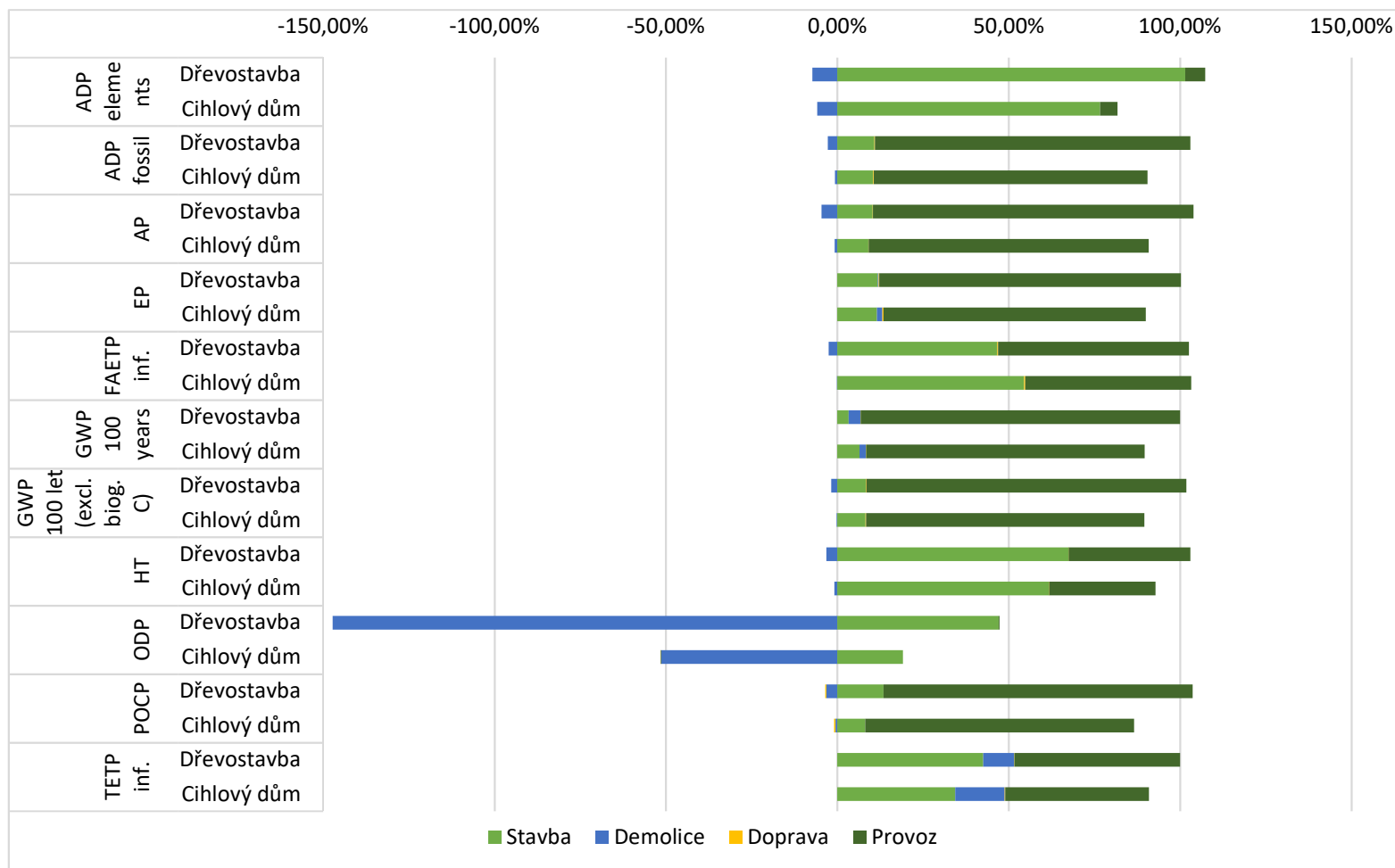
Tabulka 18 Procentuální příspěvky jednotlivých fází životního cyklu dřevostavby. Záporné hodnoty značí environmentální benefit získaný například recyklací odpadů či využitím odpadní energie.

Typ domu	Dřevostavba				
Fáze	Stavba	Demolice	Doprava	Provoz	Celkem
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	101	-6,98	0	5,89	100
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	10,8	-2,78	0,13	91,8	100
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	10,3	-4,59	0,09	94,2	100
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	11,7	0,25	0,21	87,8	100
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	46,6	-2,54	0,25	55,7	100
Globální oteplování (GWP 100 let) [kg CO ₂ ekv.]	3,26	3,43	0,1	93,2	100
Globální oteplování (GWP 100 let, nezapočtený biogenní uhlík) [kg CO ₂ ekv.]	8,34	-1,76	0,1	93,3	100
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	67,6	-3,23	0,02	35,6	100
Úbytek stratosférického ozonu (ODP) [kg R11 ekv.]	47,09	-147,26	0	0,24	100
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	13,4	-3,21	-0,34	90,1	100
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	42,6	9	0,14	48,2	100

Tabulka 19 Procentuální příspěvky jednotlivých fází životního cyklu cihlového domu. Záporné hodnoty značí environmentální benefit získaný například recyklací odpadů či využitím odpadní energie.

Typ domu	Cihlový dům				
Fáze	Stavba	Demolice	Doprava	Provoz	Celkem
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	101	-7,32	0	6,74	100
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	11,6	-0,73	0,2	88,9	100
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	10	-0,86	0,13	90,7	100
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	12,9	1,73	0,32	85,1	100
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	52,8	-0,05	0,32	46,9	100
Globální oteplování (GWP 100 let) [kg CO ₂ ekv.]	7,24	2,01	0,15	90,6	100
Globální oteplování (GWP 100 let, nezapočtený biogenní uhlík) [kg CO ₂ ekv.]	9,24	-0,23	0,15	90,8	100
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	67,3	-0,98	0,04	33,6	100
Úbytek stratosférického ozonu (ODP) [kg R11 ekv.]	59,57	-159,57	0	0,64	100
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	9,56	-0,59	-0,54	91,6	100
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	37,9	15,8	0,2	46,1	100

Obrázek 27 Výsledky charakterizace environmentálních dopadů vyjádřené v procentech. Pozn.: Záporné hodnoty značí environmentální benefit získaný například recyklací odpadů či využitím odpadní energie.



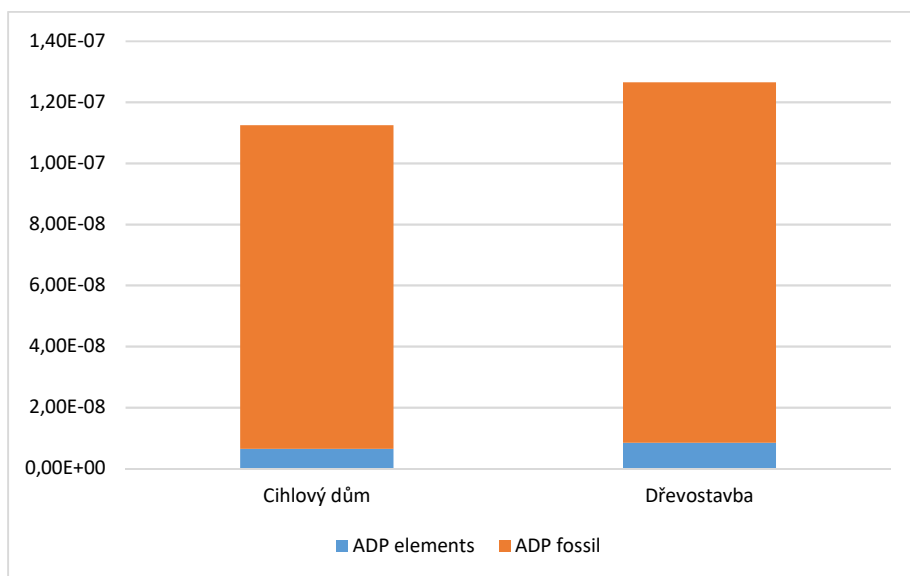
4.5 Normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu jednotlivých budov

Normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu slouží k porovnání výsledků významnosti jednotlivých kategorií dopadu mezi sebou. V následující tabulce jsou uvedeny normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu. V následujících grafech jsou pak znázorněny sumy těchto normalizovaných výsledků a to jak pro kategorie dopadu surovinové, tak pro kategorie dopadu intervenční a následně souborně pro všechny kategorie dopadu současně.

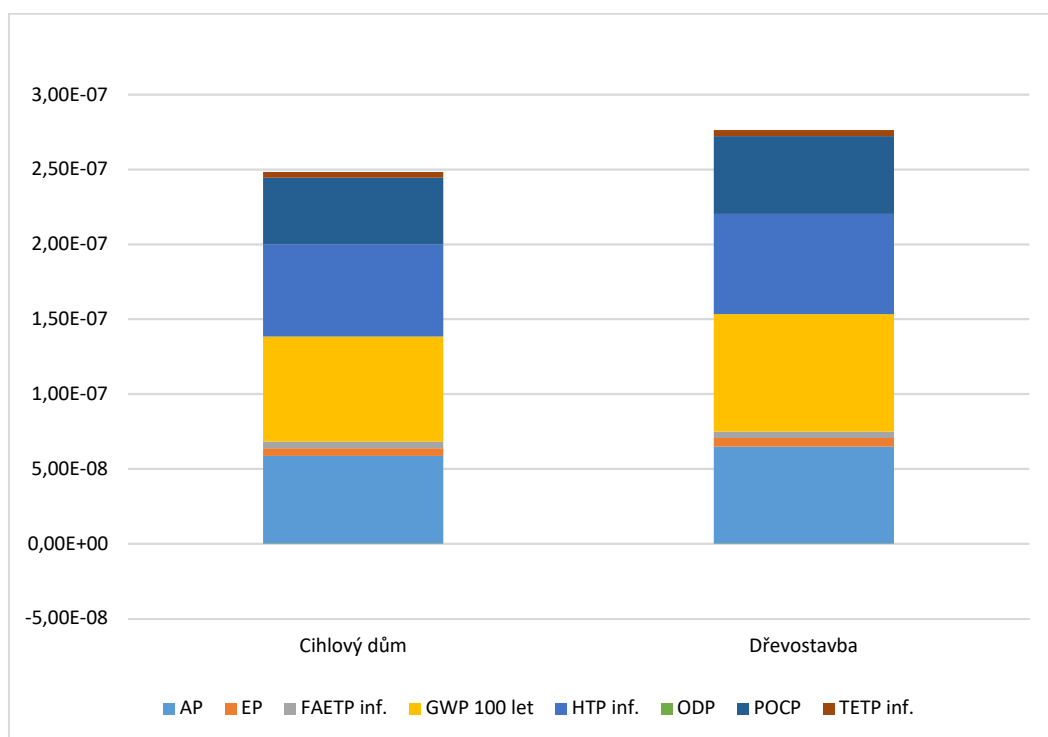
Tabulka 20 Normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu jednotlivých typů budov. Záporné hodnoty značí environmentální benefit získaný například recyklací odpadů či využitím odpadní energie.

	Cihlový dům	Dřevostavba
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	6,44E-09	8,48E-09
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	1,06E-07	1,18E-07
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	5,85E-08	6,47E-08
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	5,20E-09	5,80E-09
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	4,40E-09	4,27E-09
Globální oteplování (GWP 100 let, včetně biogenního uhlíku) [kg CO ₂ ekv.]	7,03E-08	7,86E-08
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	6,16E-08	6,69E-08
Úbytek stratosférického ozonu (ODP) [kg R11 ekv.]	-1,84E-11	-5,72E-11
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	4,44E-08	5,19E-08
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	3,78E-09	4,15E-09

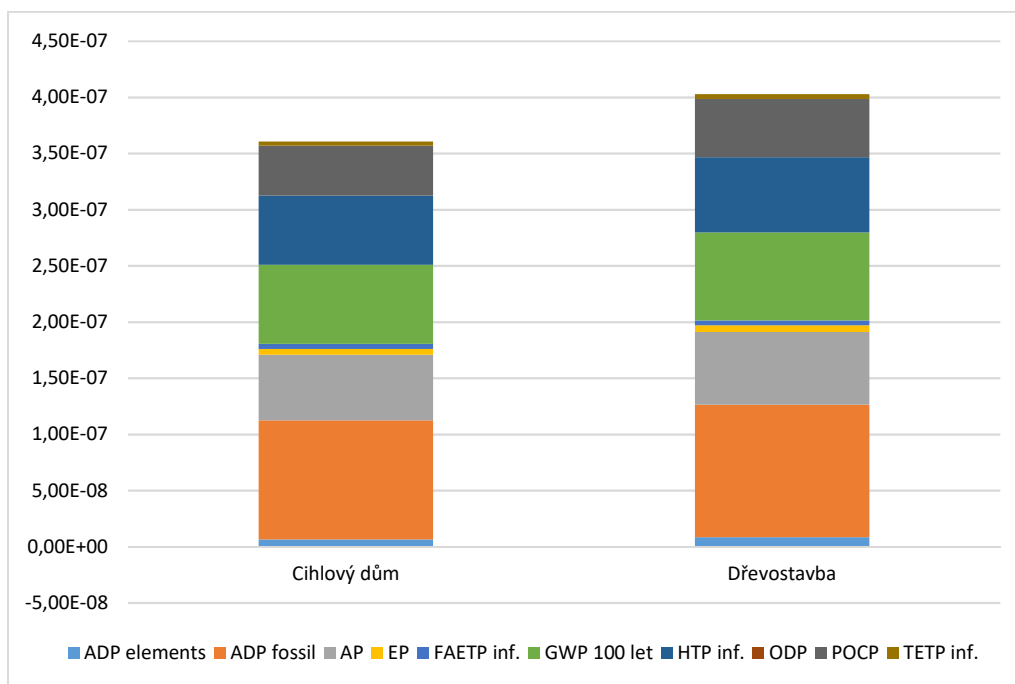
Obrázek 28 Suma normalizovaných výsledků indikátorů surovinových kategorií dopadu pro jednotlivé typy budov.



Obrázek 29 Suma normalizovaných výsledků indikátorů intervenčních kategorií dopadu pro jednotlivé typy budov.



Obrázek 30 Suma normalizovaných výsledků indikátorů všech kategorií dopadu pro jednotlivé typy budov.

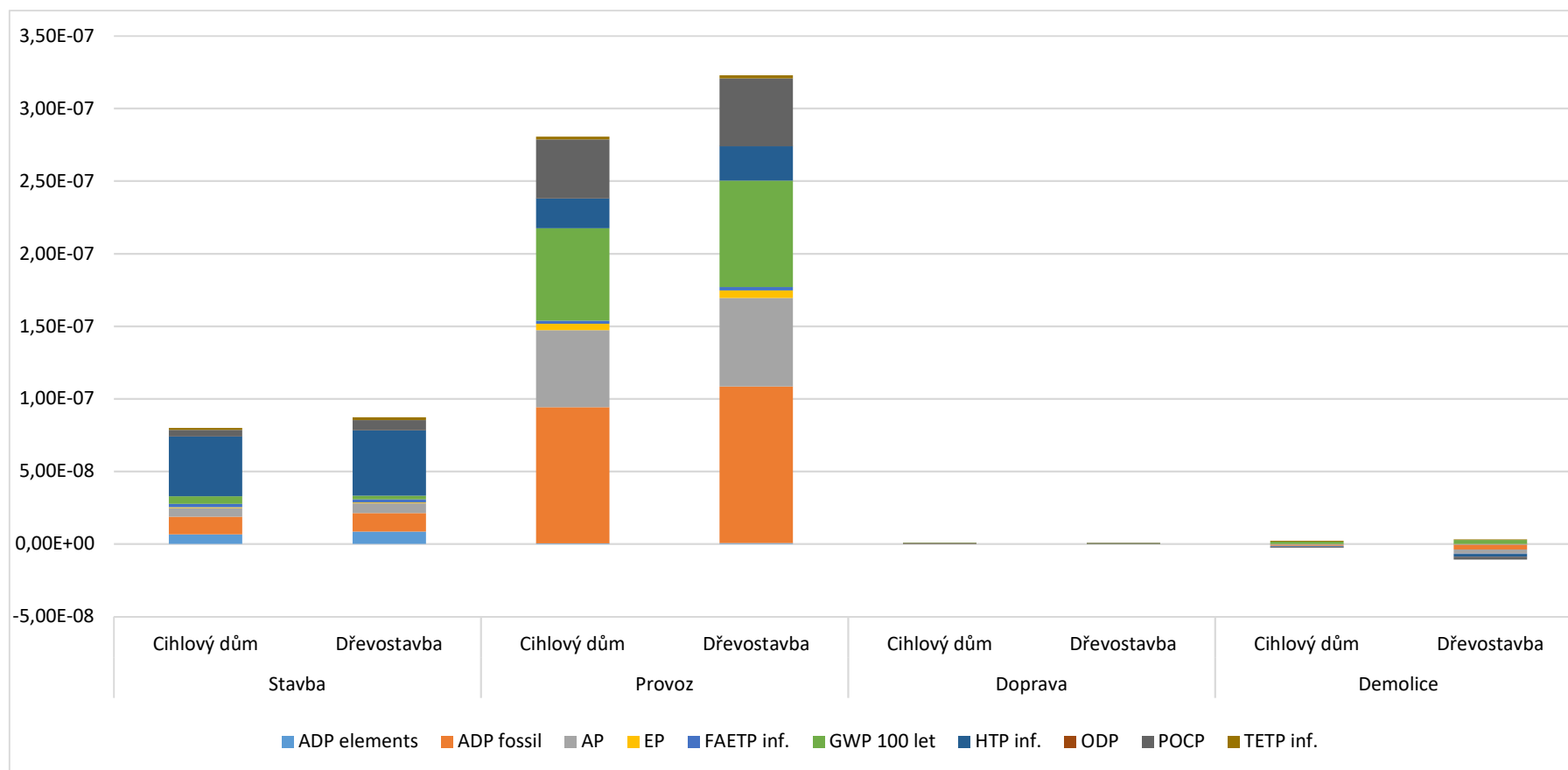


Pro zjištění, která fáze životního cyklu jednotlivých budov má největší příspěvek k celkovým environmentálním dopadům byly normalizovány i dílčí výsledky charakterizací jednotlivých fází životního cyklu. Takto získané normalizované výsledky shrnuje následující tabulka a graficky znázorňuje následující graf. Ze získaných hodnot vyplývá, že hlavní příspěvek k celkovým environmentálním dopadům má provoz, respektive vytápění budov. Stavba jednotlivých budov je, co se týče environmentálních dopadů na druhém místě. Benefity získané recyklací materiálů po demolici budov nejsou tak výrazné. V případě dřevostavby jsou vyšší, a jsou-li započteny, tak eliminují vyšší environmentální dopady ve fázi stavby.

Tabulka 21 Normalizované výsledky hodnot indikátorů kategorií. Záporné hodnoty značí environmentální benefit získaný například recyklací odpadů či využitím odpadní energie.

	Stavba		Provoz		Doprava		Demolice	
	Cihlový dům	Dřevostavba	Cihlový dům	Dřevostavba	Cihlový dům	Dřevostavba	Cihlový dům	Dřevostavba
ADP elements	6,48E-09	8,58E-09	4,34E-10	4,99E-10	2,70E-13	2,00E-13	-4,71E-10	-5,92E-10
ADP fossil	1,23E-08	1,27E-08	9,38E-08	1,08E-07	2,12E-10	1,57E-10	-7,69E-10	-3,27E-09
AP	5,87E-09	6,67E-09	5,30E-08	6,10E-08	7,60E-11	5,64E-11	-5,00E-10	-2,97E-09
EP	6,71E-10	6,81E-10	4,43E-09	5,09E-09	1,65E-11	1,22E-11	9,00E-11	1,48E-11
FAETP inf.	2,32E-09	1,99E-09	2,07E-09	2,38E-09	1,41E-11	1,05E-11	-2,02E-12	-1,09E-10
GWP 100 let	5,09E-09	2,56E-09	6,37E-08	7,33E-08	1,03E-10	7,67E-11	1,42E-09	2,70E-09
HTP inf.	4,15E-08	4,52E-08	2,07E-08	2,38E-08	2,22E-11	1,65E-11	-6,01E-10	-2,16E-09
ODP	1,09E-11	2,69E-11	1,18E-13	1,36E-13	1,77E-17	1,31E-17	-2,95E-11	-8,43E-11
POCP	4,24E-09	6,97E-09	4,06E-08	4,67E-08	-2,40E-10	-1,78E-10	-2,61E-10	-1,66E-09
TETP inf.	1,43E-09	1,77E-09	1,74E-09	2,00E-09	7,70E-12	5,71E-12	5,98E-10	3,74E-10

Obrázek 31 Normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu jednotlivých fází životního cyklu.



4.6 Stavba a demolice - výsledky hodnocení dopadů životního cyklu jednotlivých budov s předpokladem nulových provozních nároků na energii na vytápění

V hypotetickém případě, že by byly budovy provozovány v pasivním standardu, tedy, že by na svůj provoz nespotřebovávaly žádnou z vnějšku dodanou energii, by bylo možné uvažovat o modelu životního cyklu sestávajícího se pouze ze stavby a z demolice. S určitou mírou zjednodušení bychom mohli tento scénář považovat za akceptovatelný i pro případ, kdy se v domech vytápí dřívím získaným z místních zdrojů (emise ze spalování dřeva zanedbáváme – předpokládáme, že ke spálení dřeva by došlo v každém případě a emise CO₂ považujeme ve vztahu k atmosféře za vyrovnané).

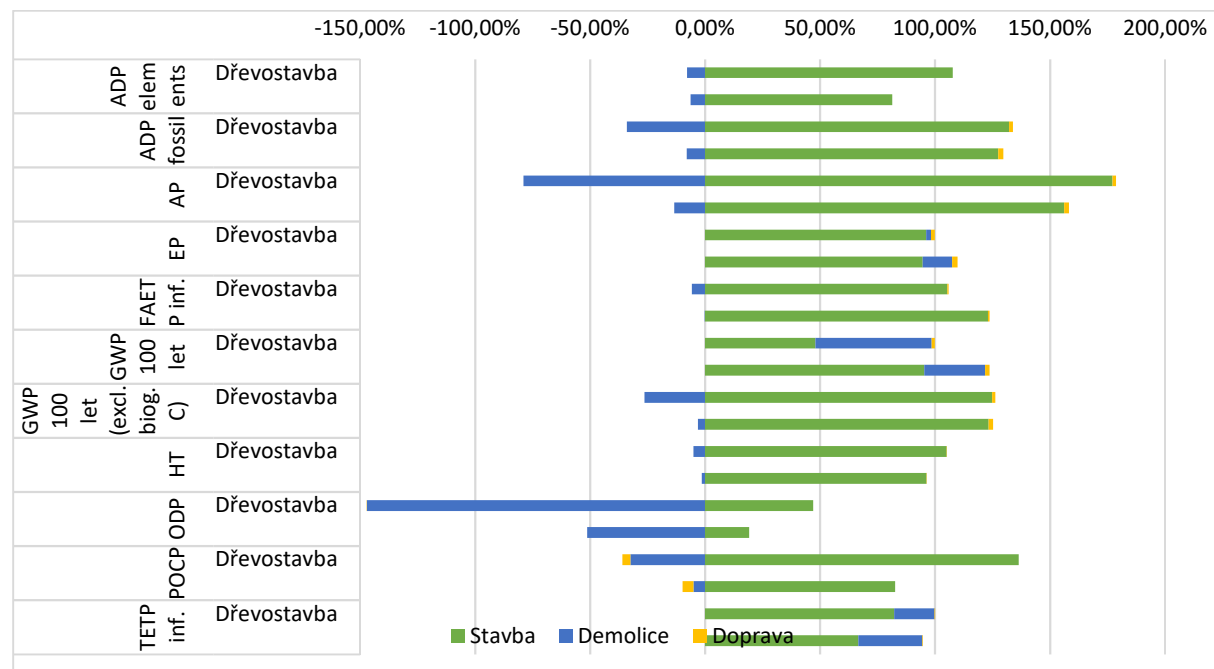
Tabulka 22 Výsledky indikátorů kategorií dopadu stavby a demolice dřevostavby. Záporné hodnoty značí environmentální benefit získaný například recyklací odpadů či využitím odpadní energie.

Typ domu	Dřevostavba			
	Stavba	Demolice	Doprava	Celkem
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	1,39	-0,1	0	1,29
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	447000	-115000	5520	338000
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	112	-49,9	0,95	63,2
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	12,6	0,27	0,23	13,1
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	416	-22,7	2,19	395
Globální oteplování (GWP 100 let) [kg CO ₂ ekv.]	13400	14100	400	27900
Globální oteplování (GWP 100 let, nezapočtený biogenní uhlík) [kg CO ₂ ekv.]	34200	-7200	403	27400
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	22600	-1080	8,25	21500
Úbytek stratosférického ozonu (ODP) [kg R11 ekv.]	0,000275	-0,000860	0,000000	-0,000585
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	12,1	-2,88	-0,31	8,87
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	205	43,4	0,66	249

Tabulka 23 Výsledky indikátorů kategorií dopadu stavby a demolice cihlového domu. Záporné hodnoty značí environmentální benefit získaný například recyklací odpadů či využitím odpadní energie.

Typ domu	Cihlový dům			
Fáze	Stavba	Demolice	Doprava	Celkem
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	1,05	1,05	1,05	1,05
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	431000	431000	431000	431000
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	98,7	98,7	98,7	98,7
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	12,4	12,4	12,4	12,4
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	486	486	486	486
Globální oteplování (GWP 100 let) [kg CO ₂ ekv.]	26600	26600	26600	26600
Globální oteplování (GWP 100 let, nezapočtený biogenní uhlík) [kg CO ₂ ekv.]	33800	33800	33800	33800
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	20700	20700	20700	20700
Úbytek stratosférického ozonu (ODP) [kg R11 ekv.]	0,000112	0,000112	0,000112	0,000112
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	7,34	7,34	7,34	7,34
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	166	166	166	166

Obrázek 32 Výsledky charakterizace environmentálních dopadů v procentech. Pozn.: Záporné hodnoty značí environmentální benefit získaný například recyklací odpadů či využitím odpadní energie.

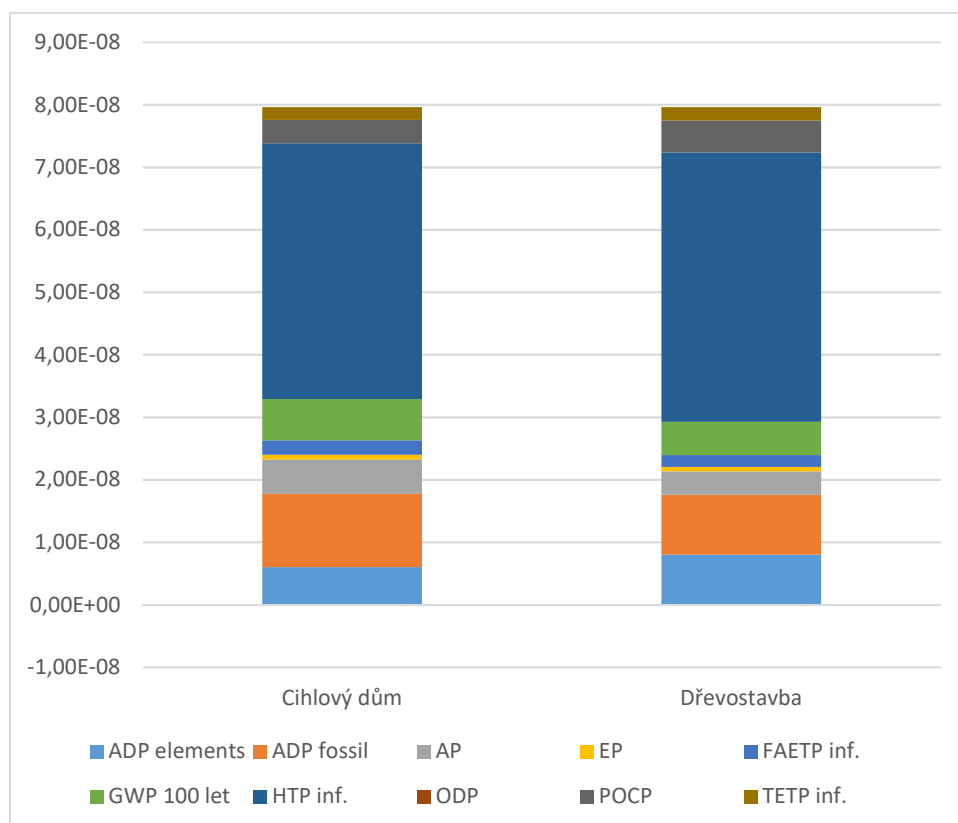


Po sečtení normalizovaných výsledků indikátorů kategorií dopadu vychází ve scénáři stavba+doprava+demolice mírně výhodněji dřevostavba. Vzhledem k možným nejistotám ve sběru dat lze však oba typy konstrukcí považovat za rovnocenné. V následující tabulce jsou uvedeny normalizované hodnoty a celkový výsledek součtu normalizovaných hodnot.

Tabulka 24 Srovnání normalizovaných výsledků indikátorů kategorií dopadu cihlového domu a dřevostavby ve scénáři stavba+doprava+demolice.

Kategorie dopadu	Typ budovy	
	Cihlový dům	Dřevostavba
Úbytek abiotických surovin (ADP elements) [kg Sb ekv.]	6,01E-09	7,99E-09
Úbytek fosilních surovin (ADP fossil) [MJ]	1,17E-08	9,59E-09
Acidifikace (AP) [kg SO ₂ ekv.]	5,45E-09	3,76E-09
Eutrofizace (EP) [kg PO ₄ ³⁻ ekv.]	7,78E-10	7,08E-10
Sladkovodní ekotoxicita (FAETP inf.) [kg DCB ekv.]	2,33E-09	1,89E-09
Globální oteplování (GWP 100 let, včetně biogenního uhlíku) [kg CO ₂ ekv.]	6,61E-09	5,34E-09
Humánní toxicita [kg DCB ekv.]	4,09E-08	4,31E-08
Úbytek stratosférického ozonu (ODP) [kg R11 ekv.]	-1,86E-11	-5,74E-11
Vznik fotooxidantů (POCP) [kg C ₂ H ₄ ekv.]	3,74E-09	5,13E-09
Půdní ekotoxicita (TETP inf.) [kg DCB ekv.]	2,04E-09	2,15E-09
Celkem	7,96E-08	7,95E-08

Obrázek 33 Srovnání normalizovaných výsledků indikátorů kategorií dopadu cihlového domu a dřevostavby ve scénáři stavba+doprava+demolice.



5 Závěr

Metodou posuzování životního cyklu LCA byly porovnány environmentální dopady dvou rodinných domů, z nichž jeden byl dřevostavbou a druhý cihlovou stavbou. Jednalo se o domy svým účelem i dispozicí srovnatelné. Zhodnocení bylo provedeno na základě poskytnuté dokumentace výstavby domů a jejich průkazů energetické náročnosti. Následující významná zjištění jsou formulována výhradně na základě výsledků hodnocení dopadů životního cyklu.

Rozdíl mezi environmentálními dopady životního cyklu dřevostavby a cihlového domu není významný (str. 46, Obrázek 31 a Obrázek 33).

Při porovnání samotné fáze výstavby budov vykazuje cihlový dům vyšší uhlíkovou stopu než dřevostavba. S výjimkou sladkovodní ekotoxicity však cihlový dům vykazuje ve všech ostatních kategoriích dopadu (úbytek abiotických i fosilních surovin; acidifikace; eutrofizace; humánní toxicita; úbytek stratosférického ozonu; tvorba fotooxidantů; terestrická ekotoxicita) nižší hodnoty výsledků indikátorů kategorií dopadu než dřevostavba (str. 31 Tabulka 6 a str. 32 Obrázek 25). V případě, že se do porovnání zahrnou i dopady či benefity nakládání s materiály vzniklými z demolice budov (stavba + demolice), environmentální dopady obou druhů budov se vyrovnají (str. 50, Obrázek 33).

Pro hodnocení environmentálních dopadů celého životního cyklu budov mají dominantní roli tepelně-izolační vlastnosti obálky budov. Celkové výsledky environmentálních dopadů při 50 letém životním cyklu zásadním způsobem (ve většině environmentálních dopadů více než 90%) ovlivňuje stádium užití budovy (vytápění), nikoli to, zda je obálka domu cihlová stavba nebo dřevostavba (str. 39, Tabulka 18 a str. 40, Tabulka 19).

Shrnutí

Bylo zjištěno, že environmentální dopady stavby, dopravy a demolice dřevostavby a cihlového domu byly srovnatelné. V případě započtení fáze provozu budov lze konstatovat, že vzhledem k nižší energetické náročnosti cihlového domu představuje tento dům z pohledu celého životního cyklu nižší zátěž vůči životnímu prostředí. V hodnocení celého životního cyklu domu s provozem po dobu 50 let se zahrnutím vytápění domu má dřevostavba oproti cihlovému domu větší environmentální dopady v devíti z jedenácti sledovaných parametrů.

V Praze dne 12. 1. 2018

Vladimír Kočí



.....