

APPLICATION LIFE CYCLE ASSESSMENT OF INDUSTRIAL FLOORS IN AGRICULTURAL PRODUCTION

Malý K., Kotovicová J.

Department of Applied and Landscape Ecology, Faculty of Agronomy, Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno, Zemedelska 1, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: kmaly@centrum.cz

ABSTRACT

The article is concerned with problems in the application of the life cycle analysis (LCA) method in the course of production of floor systems for agricultural and industrial premises. The process was based on international norms, and within the interpretation of results the method of multi-criterion evaluation was used to achieve higher objectivity.

For the purpose of this research, floors on the base of concrete, dry-shake and asphalt have been selected from a wide range of different floors as they are commonly considered the most often used and sold ones. Taking solely the environmental aspect into consideration, the production of classical concrete floors has proved to cause the least environment damage, the dry-shake floors cause slightly higher environment damage and the asphalt floors, as regards this aspect, seem to be the least suitable.

The obtained results along with the proposed method can be useful criteria for decision-making processes within the incorporation of environmental safety of similar construction methods.

Key words: asphalt, concrete, dry-shakes, industrial floors, agricultural premises, LCA.

ÚVOD

Díky rostoucímu povědomí veřejnosti o kvalitě životního prostředí a postupné aplikaci nástrojů environmentální politiky, lze pozorovat zvyšující se zájem průmyslových podniků, ale i laické veřejnosti o sledování environmentálních dopadů výroby a služeb na životní prostředí, a také snahu o jejich minimalizaci. Reakcí na vzniklou situaci byl vývoj různých metod a přístupů k hodnocení dopadů výroby a služeb na životní prostředí, který lze datovat do počátku 60. let. Cílem těchto snah je zvolit, propagovat a realizovat ekologicky nejpříznivější výrobek nebo pracovní postup. Vyvinuté metody však vyžadovaly značné množství informací a často také poskytovaly odlišné a nesrovnatelné výsledky. K provedení kompletní charakteristiky environmentálních dopadů chování lidské společnosti bylo nutno sjednotit dosud používané metodiky a vytvořit víceméně jednotný aparát, který je dnes znám pod názvem posuzování životního cyklu – LCA (Life Cycle Assessment). Tato metoda studuje environmentální aspekty výroby a její možné dopady na životní prostředí v průběhu celého života výrobku, od získání surovin, přes výrobu, užívání až po zneškodnění a nakládání s odpadem, tzv. „od kolébky do hrobu“.

CÍL PRÁCE

Pro tento výzkum byla z celé řady aspektů vybrána podlaha na bázi betonu, asfaltu a vsypů. Byl vybrán pouze tento úzký výběr tří typů průmyslových podlah z hlediska podrobnější analýzy těchto třech druhů. A to z důvodu, že pokud by se srovnávalo více druhů průmyslových podlah, nedosáhlo by se tak velké a podrobné analýzy, jako v tomto případě. Vybrány byly tři typy průmyslových podlah, které jsou obecně považovány za nejpoužívanější a z hlediska výrobních firem za nejprodávanější. Betonové a asfaltové podlahy byly v minulosti i dnešní době jsou hojně využívány zvláště do zemědělských objektů pro jejich nenáročnost a relativně nízké pořizovací náklady. Vsypy byly vybrány, poněvadž jsou hojně využívány, a patří mezi typy průmyslových podlah, které mají dlouhou životnost s ohledem na vyšší vstupních nákladů.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Využití metody LCA předpokládá s pomocí input-output analýzy zhodnotit surovinové a energetické vstupy včetně zatížení životního prostředí v průběhu jejich získávání, vlastní výroby a odstranění produktu. Tak lze kvantifikovat surovinové a energetické toky vztažené na jednotku výrobku, spolu s množstvím emitovaných látek a energií do jednotlivých složek životního prostředí, počínaje získáváním surovin a konče odstraněním výrobku.

V předkládané práci jsou hranice systému v souladu s příslušnou normou² omezeny výhradně na environmentální posouzení technologie výroby a odstranění odpadu, zatímco environmentální aspekty spojené s těžbou surovin byly zanedbány. Důvodem byla neznalost energetických a materiálových toků v průběhu získávání surovin.

Pokud se týká narušení krajiny těžbou surovin, lze konstatovat, že v mnoha případech je lokalita po těžbě z hlediska životního prostředí dokonce cennější, než před počátkem těžby. Důvodem je fakt, že v rámci technické rekultivace jsou zde budovány vodní plochy, zakládány lesní porosty, zpevňovány

břehy apod., které jsou začleňovány do okolní krajiny vše v návaznosti na regionální biokoridory v daném území. Proto ani narušení krajiny těžbou surovin nebyl v rámci životního cyklu zvažován.

Do hranic posuzovaného systému byla naopak zahrnuta spotřeba elektrické energie a pohonných hmot. Vzhledem k tomu, že smyslem článku nebylo detailně analyzovat posuzovaný systém, nýbrž předložit čtenáři obecný postup aplikace LCA na konkrétní výrobní proces, jako vzor využití v rozhodovacím procesu, byla v rámci hodnocení provedena určitá zjednodušení:

- a) Předpokládalo se, že veškerá spotřebovaná energie je vyrobena v tepelných elektrárnách;
- b) Ze škodlivin emitovaných při výrobě elektrické energie byly hodnoceny pouze emise CO₂, zatímco od emisí dalších polutantů (CO, NO_x, SO₂, tuhé znečišťující částice aj.), které při výrobě elektrické energie termickým způsobem vznikají, bylo absentováno.
- c) Analogické zjednodušení bylo provedeno i při hodnocení zátěže životního prostředí v důsledku emisí vzniklých při spalování pohonných hmot. Opět byly pro přehlednost zvažovány výhradně emise CO₂, přestože spaliny obsahují jiné polutanty (SO₂, CO, NO_x, C_xH_y, PM2,5, PM10), které zatěžují životní prostředí často relevantně vyšším dopadem, jako jsou například ozon nebo polycyklické aromatické uhlovodíky.

Použitý beton ztrácí po určité době vlastnosti, které měl při své pokládce, protože dochází k jeho korozi. Jde o degradaci spojenou se ztrátou pevností, delaminace výztuže, vzniku trhlin apod. Vlivem provozu dochází rovněž k opotřebení v podobě výtluků, trhlin aj. Je tudíž nezbytné podlahy časem recyklovat nebo reparovat a to buď formou odstranění a následné recyklace nebo sanace (pomocí stěrky nebo nové vrstvy betonu). Proto i tato fáze životního cyklu byla akceptována s obdobnými zjednodušeními, jako tomu bylo v případě vlastní výroby.

MATERIÁL A METODIKA

Potřebná data o jednotlivých tocích v hodnocených systémech byla získána z podnikových evidencí, technologických popisů, výpočty s využitím emisních faktorů, z evidence vedené firemním ekologem a metodou on-site interview. Pro potřeby inventarizační analýzy byla hodnota spotřebované energie, pohonných hmot a vzniklých odpadů pro jednotlivé fáze výroby a odstranění kalkulována z reprezentativní plochy 1000 m² podlahy a pro další zpracování přepočtena na jeden m². Hodnoty emisí CO₂ byly vypočteny na základě odpovídajících emisních faktorů^{5, 6, 7} a hluková zátěž odečtena z katalogů výrobců stavebních strojů a zařízení.

Příslušné hodnoty včetně sumace jsou přehledně prezentovány v tabulce 4 pro výrobu betonové podlahy, v tabulce 5 betonové podlahy se vsypem a v tabulce 6 pro výrobu asfaltové podlahy. Hodnoty uvedené v kolonce odpadů se při výrobě betonových směsí týkají odpadní hlušiny, pro kterou se nepředpokládá další využití, analogicky jako pro odpad asfaltu při odstraňování staré podlahy. V tabulce 1 je výčet výhod a nevýhod jednotlivých posuzovaných podlah.

Rozsah operací je vzhledem k rozdílům v technologických postupech stanoven zvlášť pro výrobu betonu, vsypů i asfaltu. Následující tabulky č. 2 a 3 zobrazují seznam operací a jejich charakteristiku tak, jak byla uvedena a popsána v odpovídajících technologických dokumentech. Červeně jsou zobrazeny ty operace, které se vyskytují u výroby vsypů.

Tab. 1 Výhody a nevýhody porovnávaných průmyslových podlah

	Beton	Vsypy	Asfalt
Výhody	cena	vysoká životnost	odolnost proti opotřebení
	pevnost	odolnost proti obrusu	tlumí hluk
	tuhost	bezprašnost	vodotěsný
	rovinnost		odolný proti střídání tepla a mrazu
Nevýhody	prašnost	technologická náročnost	deformace
	nízká odolnost v obrusu	cena	další rekonstrukce pouze asfaltem
	nasákavost		tepelná nestálost

Tab. 2 Seznam operací a jejich charakteristika podle technologického popisu (TP) pro výrobu betonu a vsypů

Operace podle technologického předpisu	činnost
sběr a odvoz ornice	práce dělníků a těžké techniky
dovoz kameniva a jeho rozvoz	práce dělníků a těžké techniky
hutnění, izolace geotextílie, fólie	úprava a nanesení folií
míchání a dovoz betonu	nákladní automobil hotovou směs míchá a následně ji přiveze na místo určení
Zpracování betonu	beton „rozprostře se“, na místo určení
strojní hlazení, fáze tuhnutí	lidská obsluha
sypání vsypu	na rozlitý beton se vsype směs (vsyp)
hlazení, leštění	přístroje leští určenou plochu
těsnící nátěr	práce dělníků
řezání podlahy	vyřezání části podlahy (např. 15 cm vrstva, vyřeže se 10 cm)
provoz	
poruchy + opotřebení	působení různých vlivů a ztráta kvality podlahy
likvidace	odstranění povrchu či zanechání podlahy pro další využití

Tab. 3 Seznam operací a jejich charakteristika podle technologického popisu (TP) pro výrobu asfaltu

Operace podle technologického předpisu	Činnost
sběr a odvoz ornice	práce dělníků a těžké techniky
dovoz kameniva a jeho rozvoz	práce dělníků a těžké techniky
úprava povrchu	práce dělníků a těžké techniky
namíchání asfaltu	těžká speciální technika připravující obalovací směs
fáze tuhnutí	po nanesení se uhladí a tuhne
užívání	
opotřebení	časté využití vede ke ztátě kvality
vyřezování celého povrchu a odvoz	část povrchu se vyjme a nahradí novou asfaltovou vrstvou
použití jako podklad pro další úpravu povrchu	ponechá se původní a na ni se položí další vrstva

Tab. 4 Inventarizační matice pro výrobu betonu

Technologické operace	VSTUPY			VÝSTUPY		
	Benzín [dm ³ .m ⁻²]	Nafta [dm ³ .m ⁻²]	Elektrická energie [kWh.m ⁻²]	Emise CO ₂ [g.m ⁻²]	Hluk [dB]	Odpad [kg.m ⁻²]
Sběr zeminy	-	0,03200	-	84,34944	0,10700	-
Odvoz zeminy	-	0,19425	-	512,02746	0,08500	4,00000
Dovoz kameniva	-	0,16650	-	438,88068	0,08500	-
Rozvoz kameniva	-	0,01300	-	34,26696	0,10700	-
Hutnění kameniva	-	0,00500	-	13,17960	0,06300	-
Míchání betonu	-	-	0,13135	0,15368	-	0,07600
Dovoz betonu	-	0,17760	-	468,13939	0,08500	0,12000
Pokládka betonu	-	-	0,08750	0,10238	0,07300	0,15000
Vibrování betonu	-	-	0,00150	0,00176	0,03000	0,00200
Hlazení	0,06000	-	-	138,46050	-	0,00200
Řezání dilatačních spár	0,02420	-	-	55,84574	0,10800	-
Odstranění	-	0,05200	-	137,06784	0,11000	375,00000
Vážený průměr	-	-	-	-	0,09343	-
Celkem	0,08420	0,64035	0,22035	1 882,47542		379,35000

Tab. 5 Inventarizační matice pro výrobu betonu se vsypem

Technologické operace	VSTUPY			VÝSTUPY		
	Benzín [dm ³ .m ⁻²]	Nafta [dm ³ .m ⁻²]	Elektrická energie [kWh.m ⁻²]	Emise CO ₂ [g.m ⁻²]	Hluk [dB]	Odpad [kg.m ⁻²]
Sběr zeminy	-	0,03200	-	84,34944	0,10700	-
Odvoz zeminy	-	0,19425	-	512,02746	0,08500	4,00000
Dovoz kameniva	-	0,16650	-	438,88068	0,08500	-
Rozvoz kameniva	-	0,01300	-	34,26696	0,10700	-
Hutnění kameniva	-	0,00500	-	13,17960	0,06300	-
Míchání betonu	-	-	0,13135	0,15368	-	0,07600
Dovoz betonu	-	0,17760	-	468,13939	0,08500	0,12000
Pokládka betonu	-	-	0,08750	0,10238	0,07300	0,15000
Vibrování betonu	-	-	0,00150	0,00176	0,03000	0,00200
Aplikace vsypu	-	-	-	-	-	-
Rozprašování emulzí	0,00500	-	-	11,53838	-	-
Hlazení	0,06000	-	-	138,46050	-	0,00200
Řezání dilatačních spár	0,02420	-	-	55,84574	0,10800	-
Odstranění	-	0,05200	-	137,06784	0,11000	375,00000
Vážený průměr	-	-	-	-	0,09343	-
Celkem	0,08920	0,64035	0,22035	1 894,01380		379,35000

Tab. 6 Inventarizační matice pro výrobu asfaltu

Technologické operace	VSTUPY			VÝSTUPY		
	Zemní plyn [m ³ .m ⁻²]	Nafta [dm ³ .m ⁻²]	Elektrická energie [kWh.m ⁻²]	Emise CO ₂ [g.m ⁻²]	Hluk [dB]	Odpad [kg.m ⁻²]
Sběr zeminy	-	0,032	-	84,34944	0,10700	-
Odvoz zeminy	-	0,19425	-	512,02746	0,08500	4,00000
Dovoz kameniva	-	0,1665	-	438,88068	0,08500	-
Rozvoz kameniva	-	0,013	-	34,26696	0,10700	-
Hutnění kameniva	-	0,005	-	13,1796	0,06300	-
Míchání asfaltu	1,25000	-	0,12600	69,52242	-	-
Dovoz asfaltu	-	0,1776	-	468,139392	0,08500	-
Pokládka asfaltu	-	0,054	-	142,33968	0,08600	-
Válcování asfaltu	-	0,026	-	68,53392	0,07400	-
Odstranění	-	0,068	-	179,24256	0,10200	250,00000
Vážený průměr	-	-	-	-	0,08659	-
Celkem	1,25000	0,73635	0,12600	2010,482112		254,000000

Pro komplexní posouzení environmentálních dopadů hodnocených variant, označených jako X₁ - betonová podlaha, X₂ - betonová podlaha se vsypem a X₃ - asfaltová podlaha byla zvolena metoda vícekritériálního hodnocení. Jako kritéria byla zvolena, kritérium A₁ reprezentující sumární hodnotu spotřebovaných pohonných hmot, zatěžujících životní prostředí těžbou fosilní suroviny, ropy, kritérium A₂ představující sumární hodnotu příspěvku ke skleníkovému efektu CO₂ vzniklého spalováním pohonných hmot a výrobou elektrické energie, kritérium A₃ značící sumární hodnotu vyprodukovaného odpadu a konečně kritérium A₄, které reprezentuje vážený průměr hlukové zátěže, ve kterém váhy tvořily průměrnou dobu provozu jednotlivých strojů pro jednotlivé hodnocené fáze.

Váhy jednotlivých kritérií byly získány jako vážený průměr bodových hodnot získaných pomocí brainstormingu v pracovním kolektivu tří osob. Zainteresované osoby stanovily pro každé kritérium bodové ohodnocení z intervalu <1; 5> přirozených čísel, přičemž vyšší hodnota bodového ohodnocení reprezentuje, že kritérium je pro danou osobu významnější. Přehled bodového ohodnocení je evidentní z tabulky 4 a výpočet jednotlivých vah pro uvažovaná kritéria je patrný z tabulky 5.

Tab. 7 Přehled bodového ohodnocení kritérií

Označení kritéria*	Osoba 1	Osoba 2	Osoba 3
A ₁	5	4	5
A ₂	4	3	3
A ₃	3	3	3
A ₄	1	1	1
CELKEM	13	11	12

A₁ – sumární hodnota spotřeby pohonných hmot; A₂ – sumární hodnota příspěvku ke skleníkovému efektu CO₂; A₃ – sumární hodnota produkce odpadu; A₄ – vážený průměr hlukové zátěže;

Tab. 8 Výpočet vah stanovených kritérií

Kritérium (vij)	Osoba 1	Osoba 2	Osoba 3		Celková váha (vi)
A1	0,385	0,364	0,417	1,166	0,390
A2	0,308	0,273	0,250	0,831	0,277
A3	0,231	0,273	0,250	0,754	0,250
A4	0,077	0,091	0,083	0,251	0,083

Každá úloha vícekritériálního hodnocení je charakterizována tzv. kritériální maticí, kde v našem případě sloupce odpovídají kritériím A₁ - A₄ a řádky hodnoceným variantám X₁, X₂ a X₃. Prvky matice vyjadřují ohodnocení i-té varianty podle j-tého kritéria a ve všech případech jsou minimalizační. Kritériální matice má následující tvar:

$$Y = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,724 & 1\ 882 & 379,350 & 93,43 \\ 0,729 & 1\ 894 & 379,350 & 93,43 \\ 1,986 & 2\ 010 & 254,000 & 86,59 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Dále je nutno stanovit ideální a bazální variantu. Ideální variantou se rozumí hypotetická nebo reálná varianta, která dosahuje ve všech kritériích nejlepší možné hodnoty. V zadané úloze je ideální variantou vektor H = (0,724; 1 882; 254,0; 86,59) a bazální variantou vektor D = (1,986; 2 010; 379,35; 93,43).

Dále je nezbytné z jednotlivých prvků y_{ij} matice Y kalkulovat odpovídající prvky z_{ij} normalizované matice Z s využitím bazální, d_j a ideální h_j varianty dle vztahu (1)

$$z_{ij} = (y_{ij} - h_{ij}) \cdot (d_j - h_j)^{-1} \quad (1)$$

$$Z = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0,003961965 & 0,09375 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

S využitím znalostí vah jednotlivých kritérií v_j (viz tabulka 5) a prvků z_{ij} normalizované matice Z se vypočte hodnota váženého součtu $u(x_i)$ pro jednotlivé varianty x_i , kde $i \in \{1; 3\}$ přirozených čísel dle rovnice (2):

$$u(x_i) = \sum_{j=1}^n z_{ij} \cdot w_j \quad (2)$$

Varianta podlahových systémů s minimálním environmentálním dopadem bude varianta s minimální hodnotou váženého součtu, protože byla aplikována minimalizační kritéria. Pro jednotlivé hodnoty $u(x_i)$ vážených součtů platí:

$$u(x_1) = 0,333$$

$$u(x_2) = 0,361$$

$$u(x_3) = 0,667$$

ZÁVĚR

Cílem této studie bylo na konkrétním příkladu z technologické praxe ukázat možnosti aplikace metodiky životního cyklu za účelem ekologizace výroby a snížení zátěže životního prostředí. Cíl se v podstatných rysech splnilo naplnit. Bylo prokázáno, že metodologie LCA je využitelná pro srovnání environmentálních impaktů tří technologických procesů. Řešení práce však komplikovalo několik skutečností, mezi něž patří zejména neexistence obdobných materiálů v dostupné literatuře a dále pak nedostupnost některých údajů z partnerské firmy, které jsou předmětem obchodního tajemství. Velkou překážkou bylo také obtížné získávání konkrétních požadovaných informací od výrobců stavebních strojů a mechanizací. Předpokladem splnění primárního cíle bylo naplnění cílů sekundárních. Mezi nimi bylo nejkomplikovanější získání potřebných dat a jejich následný přepočít na stanovenou funkční jednotku, kdy v některých případech bylo nutno využít kvalifikovaného odhadu odborných pracovníků.

Výsledky prokázaly, že optimální variantou je technologie výroby betonových podlah. Jako druhá nejoptimálnější varianta je technologie výroby vsypových podlah a jako třetí je technologie asfaltových podlah.

V současnosti stále není stanoven jednotný metodický postup, který by hodnocení vlivů upravoval. Relevantní část úvah byla tedy založena na subjektivním přístupu zpracovatele, který byl diskutován s experty v daných oblastech v teoretické i praktické rovině.

K rozhodovacímu procesu, do kterého se dostávají především investoři, jsou však nutné další aspekty, zejména ekonomické informace týkající se hlavně provozních a investičních nákladů, popř. velikosti trhu, dále pak možné sociální dopady a bezpečnostní opatření. Velmi důležitým kritériem, které při rozhodovacím procesu je nutno zohlednit je celková životnost výrobku, v tomto příkladu podlah v zemědělských objektech. U betonových podlah se uvažuje s životností cca 30 let. Vsypová úprava betonových podlah finančně zvyšuje náklady na realizaci podlahy (cca o 60 – 100 Kč/m²), nicméně vysoce zvyšuje technické vlastnosti výsledného výrobku, především odolnost proti vnějším vlivům, trvanlivost a únosnost. Díky této úpravě vsypové podlahy dosahují mnohem delší životnosti než běžné betonové podlahy. U asfaltových podlah se uvažuje s životností cca 25 let.

Předpokládané využití výsledků získaných řešením této studie je v managementu dané firmy pro další zkvalitnění ekologicko - ekonomických charakteristik technologií výroby podlah v zemědělských objektech. Výsledky studie poskytují současně i primární návod pro použití metodiky LCA v oblasti technologie výroby různých průmyslových podlah.

LITERATURA

OBRŠÁLOVÁ, I., MACHAČ, O. Ekonomika a řízení tvorby a ochrany životního prostředí, Vysoká škola chemicko-technologická v Pardubicích, Pardubice 1993

ČSN EN ISO 14040: Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova, Český normalizační institut 1998.

http://www.panbex.cz/data/tech_data//IU_Cds_cz_12.pdf, staženo 2. března 2009

BOŽEK, F., URBAN, R., ZEMÁNEK, Z. Recyklace, MORAVIATISK Vyškov s. r. o., Pustiměř 2003

<http://www.cpu.cz/webmagazine/kategorie.asp?idk=179>, staženo 27. srpna 2009

<http://www.mpo.cz/dokument6794.html>, staženo 27. srpna 2009

<http://www.cdv.cz/podil-dopravy-na-produkci-sklenikovych-plynu/>, staženo 27. srpna 2009

Bičík, J., Dohnal, J.: Sanace betonových konstrukcí, Jaga group, Bratislava 2003, ISBN 80-88905-24-9

Aitecn, P. C. : Vysokohodnotný beton, Edice betonové stavitelství, Praha 2005, ISBN 80-86769-39-9

BODNÁROVÁ L.: Kompozitní materiály ve stavebnictví, VUT v Brně FAST 2002, ISBN 80-214-2266-1

ČSN EN ISO 14042 Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Hodnocení dopadů životního cyklu. Český normalizační institut. 2001.

DROCHYTKA, R.: Atmosférická koroze betonů, IKAS Praha 1998 ISBN 80-902558-0-9

Kotovicová, J. a kol.: Odpady biodegradabilní - energetické a materiálové využití - III. ročník konference. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. 109 s. ISBN 978-80-7375-229-3

MALÝ, K.: Životní cyklus průmyslových podlah pro zemědělství a potravinářství, Sborník Manažerstvo životního prostředí, Materiálovotechnologická fakulta Slovenskej technickej univerzity v Trnave, 2008 ISBN 80-89281-02-08

RUSKO, M., KURACINA, R., KOTOVICOVÁ, J., - KREČMEROVÁ, T. : Kapitoly z bezpečnostného a environmentálneho manažerstva. - Žilina: Strix et VeV, Edícia EV-20, Prvé slovenské vydanie, ISBN 978-80-89281-17-6. 2007

Státní politika životního prostředí (dokument schválený vládou ČR). Praha. MŽP ČR. 1999.

Svoboda, L. a kol.: Stavební hmoty, Bratislava 2007, Jaga group, ISBN 978-80-8076-057-1

VÁLEK J.: Vliv rozptýlené výztuže na vybrané vlastnosti betonu, Brno 2007