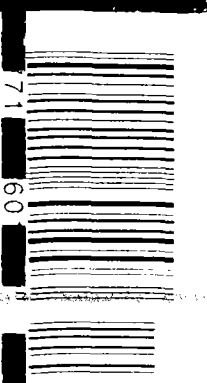
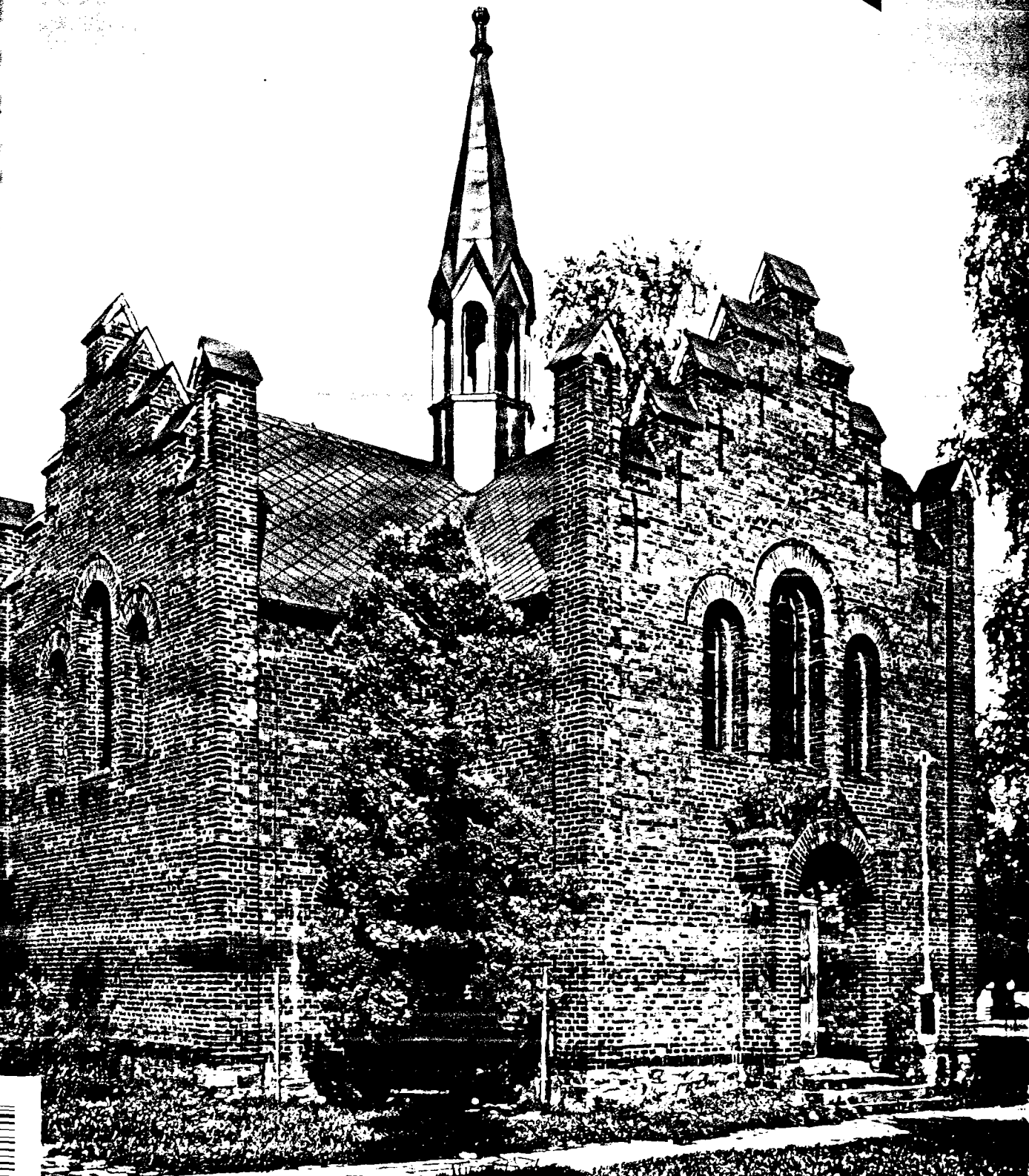
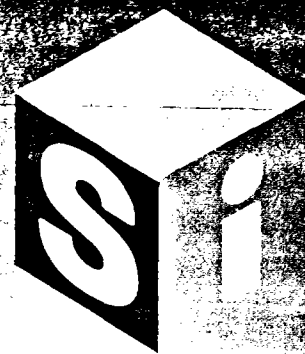


STAVBNICTVÍ A INTERIÉR

www.vega.cz



číslo /2000 ročník 8

Ekologické vlastnosti stavebních materiálů

1. Úvod

V posledních dvaceti letech jsme svědky usilovné snahy stavebních odborníků zahrnout do strategie vývoje stavebních materiálů i ekologické hledisko, směřující k rovnováze hmoty a energie v nejšířším slova smyslu. Konečným cílem je zahrnout do ceny jednotlivých materiálů i jejich ekologické vlastnosti, což dosud zcela chybí a je mnohdy důvodem, proč si (věříme že nevědomky) člověk systematicky ničí podmínky života na planetě Zemi.

Materiálové vlastnosti ve vztahu k užití mohou být rozříděny na technické vlastnosti (vztahené na hmotu či povrch), ekonomické vlastnosti (nejvýstižněji cena za jednotku vlastnosti), vlastnosti ovlivňující zdraví (vlivem uvolňovaných plynů, vláken, radioaktivního záření či vyluhovaných toxických látek), psychologické vlastnosti (působení povahy materiálu společně s texturou povrchu, barvou, odrazem světla a tvarem) a ekologické vlastnosti.

Ekologické vlastnosti souvisí se zpracováním materiálu, způsobujícím ničení půdy (těžbou rudy, přírodního kamene, šterku atd.) nebo ničení lesů (při těžbě dřeva). Také je třeba vzít v úvahu energii, vodu a práci na výrobu a transport materiálů od místa zdroje (např. lomu) až ke konečnému výrobku a také znečištění a odpad, které vznikají během těchto procesů. Důvod názvu »ekologické vlastnosti« spočívá v tom, že při všech uvedených činnostech dochází ke střetu s životním prostředím. Mohou být vyjádřeny jako energie, voda, znečištění, práce a odpad pokud jde o hmotu a likvidace půdy či likvidace lesů pokud jde o povrch.

Tímto způsobem jsou ale ekologické vlastnosti omezeny jen na konečný stav materiálů, které mají být užity pro výstavbu budov a jiných staveb (cihly, cement a pod.). Ovšem během stavebního procesu je rovněž spotřebována energie, voda a práce, vyskytuje se znečištění a odpad, avšak stavební postupy jsou tak odlišné, že musí být uvažovány samostatně pro každý typ stavby a nemohou být zahrnuty do ekologických vlastností, jak byly vpředu definovány. Během života stavby je opět používána energie a voda, vzniká odpad a znečištění a stejně je tomu i při většině demoličních procesů. Rovněž zde je rozsah tak široký, že bychom mohli uvažovat nanejvýš určité specifické kategorie konstrukcí a staveb, takže ani tyto procesy nelze zahrnout do definice ekologických vlastností.

Nicméně ekologické vlastnosti, jak zde byly definovány, mohou poskytnout důležitý a mnohdy překvapující obraz té které stavební aplikace. K tomu je zapotřebí nejdříve stanovit řádové hodnoty ekologických vlastností jednotlivých stavebních materiálů. Přirozeně hodnota některých z těchto vlastností bude záviset i na stupni rozvoje zákonů na ochranu životního prostředí a proto se může lišit v čase i v jednotlivých zemích. V dále uvedených rozbořech jsou uvedeny ekologické vlastnosti jak se jeví v průměru v evropských zemích, přičemž jsou pro vyhodnocení zahrnuty pouze přímé faktory působení. Nepřímé faktory, jako jsou ekologické objemy a povrchy pro budovy a zařízení, využívané pro výrobu a dopravu stavebních materiálů, nejsou do kalkulací zahrnuty.

2. Ekologické vlastnosti

Ekologické vlastnosti mohou být odvozeny z postupového diagramu na obr. 1. Předpokládáme-li, že podle postupového diagramu je vyráběno P_i výrobků, které vyžadují S_i kg materiálu na výrobek, a tyto mají životnost I_i roků, pak za rok vznikne? $\Sigma P_i \cdot S_i / I_i$ kg odpadu. Předpokládáme-li dále, že na každý kg materiálu je zapotřebí E_i joulů energie, W_i kg vody, D_i m² půdy nebo lesa, A_i člověkohodin práce a že každý kg materiálu je příčinou vzniku V_i kg znečištění, můžeme definovat ekologické parametry jak je v obr. 1 uvedeno. Kvantitativ-

Tab. 1 - Ekologické vlastnosti některých materiálů

Vlastnost	Oceľ Fe 360	Sklo	Cihelné zdvo	Zdvo z vápenopískových cihel	Vyztuž. beton*	Dřevo
Cena \$ / kg	1,82	2,48	0,27	0,18	0,11	1,37
Cena \$ / l	14,24	6,71	0,49	0,33	0,29	0,83
Limitní vypočtová hodnota pevnosti MPa	240	30	7,5	7,5	13,5	14
Modul pružnosti MPa	210	65	5,0	5,0	28	11
Energie MJ kg ⁻¹	30	21	6,0	2,7	2,5	4
Energie MJ t ⁻¹	236	56	11,1	4,9	6,3	2,4
Obsah vody m ³ t ⁻¹	55	-	0,8	0,54	0,26	-
Obsah vody m ³ m ³	429	-	1,2	1,0	0,63	-
Emise SO ₂ kg t ⁻¹	1,8	1,2	1,0	0,2	0,4	+
Emise SO ₂ kg m ³	14	3,2	1,8	0,4	1,0	+
Prach/saze kg t ⁻¹	5	+	0,5	0,5	0,4	+
Prach/saze kg m ³	39	+	0,9	0,9	1,0	+
Ničení půdy a lesů m ² t ⁻¹	5	-	0,8	0,2	0,4	8300**
Ničení půdy a lesů m ² m ³	39	-	1,4	0,36	1,0	5000**
Práce člov h t ⁻¹	10,6	-	2,1	0,75	1,37	-
Práce člov h m ²	81	-	3,8	1,35	3,43	-

* včetně ceny protikorozního nátěru

** 300 kg cementu m⁻³, 100 kg vyztuže m⁻³, vč. ceny za dopravu cementu a šterku na vzdálenost 100 kg a dopravy betonové směsi z betonárky vzdálené 12 km

** vychází z údaje těžby 100 m³ km⁻², z čehož 20% zbylo jako stavební dřevo

+ údaje v současnosti nedostupný

- údaj autorovi neznám

Tab. 2 - Poměrné ekologické vlastnosti (jednotka na objem) některých materiálů, vztahené na MPa pevnosti δ a modulu pružnosti E

Vlastnost	Oceľ	Sklo	Cihelné zdvo	Zdvo z vápenopískových cihel	Vyztuž. beton	Dřevo
Cena \$ / m ³ pro δ	59,6	223,6	65,2	44,1	21,4	59,1
Cena \$ / m ³ pro E	0,068	0,100	0,100	0,066	0,011	0,075
Energie MJ/m ³ pro δ	983	1867	1467	653	444	143
Energie MJ/m ³ pro E	1,12	0,86	2,2	0,93	0,21	0,15
Voda 1 m ³ pro δ	1788	-	160	133	47	-
Voda 1 m ³ pro E	2,04	-	0,24	0,20	0,023	-
Emise SO ₂ kgm ⁻³ pro δ	0,058	0,107	0,24	0,053	0,074	-
Emise SO ₂ kgm ⁻³ pro $E \cdot 10^4$	0,67	0,49	3,6	0,80	0,36	+
Prach/saze kgm ⁻³ pro δ	0,163	+	0,12	0,22	0,074	+
Prach/saze kgm ⁻³ pro E	1,85	+	1,8	1,8	0,36	-
Ničení půdy a lesů m ² m ³ pro δ	0,16	-	0,19	0,027	0,074	357
Ničení půdy a lesů m ² m ³ pro $E \cdot 10^4$	1,9	-	2,8	0,40	0,36	0,45
Práce člov h m ³ pro δ	0,34	-	0,50	0,18	0,26	-
Práce člov h m ³ pro $E \cdot 10^4$	3,9	-	7,6	2,7	1,23	-



ní vyjádření těchto parametrů je provedeno v tab. 1 pro několik stavebních materiálů až do stadia, kdy jsou připraveny k dalšímu stavebnímu použití na staveništi, společně se stávajícími cenami a kalkulačními hodnotami pevnosti a modulu pružnosti (prosinec 1999). Na obr. 2 a 3 je pak načrtnut ekologický profil, v tzv. poměrných hodnotách, tj. s jednotlivými parametry vztahenými na jednotku objemu resp. hmotnosti. Toto srovnání však není dostatečně vypovídající, neboť konstruktér myslí v pojmech pevnost, deformace, stabilita a v jejich »peněžních hodnotách«, tj. v cenách za jednotku objemu, pevnosti a modulu pružnosti. Takovým způsobem lze vyjádřit i ekologické vlastnosti, vztáhneme-li jejich poměrné hodnoty na MPa pevnosti nebo na MPa modulu pružnosti. Např. obsah energie je dán hodnotou v MJm³ vztahených na MPa pevnosti nebo modulu pružnosti. Stejně může být vyjádřena voda, znečištění a práce vztahené na hmotu nebo objem anebo ničení půdy a lesů, vztahené na plochu. Takto byly přepočteny hodnoty z tab. 1 do tab. 2. Tato tabulka tedy umožňuje sestavit ekologické profily, poskytující ekologické porovnání materiálů, vztahené na MPa pevnosti (obr. 3) anebo MPa modulu pružnosti (obr. 4). Z toho se zdá, že železobeton (a určitě ještě více polymerbeton - není zobrazen) jsou pro stavební účely z hlediska vlivů na životní prostředí poměrně nejpříznivější. Ke konečným závěrům, ať jakkoli potřebným, se však lze dopracovat teprve po ještě dalších podrobných studiích, nicméně cesta jak dosáhnout toho, aby se u každého materiálu hodnotily i ekologické vlastnosti a odrážely se i v jeho ceně, byla zde naznačena.

3. Příklady

K osvětlení smyslu ekologických vlastností uvedeme dva příklady z Holandska, kde jsou tyto úvahy, zdá se, nehlouběji propracované.

3.1. Prvý příklad je předpjatý most, postavený v minulém desetiletí o délce 685 m. Projekt byl vypracován i ve variantě ocelové. Odhad nákladů byl pro oba mosty přibližně stejný, avšak nejnižší nabídnutá cena byla za most předpjatý, a ten byl také v soutěži vybrán a následně postaven. Podle množství spotřebovaných materiálů byly vyčísleny ekologické parametry ke stadiu, kdy byly dodány na staveništi. Některé aspekty ovšem vyčísleny nebyly: vlastní konstrukce mostu, údržba a budoucí demolicje. Podle projektantů je však, pro období 100 let, suma nákladů na údržbu a demolicji, včetně ceny materiálů v dané době, pro oba projekty stejná a není třeba se jimi pro jejich porovnání zabývat. Přehled výsledků je uveden v tab. 3. Samotná čísla mnoho neřeknou, poučný je pro laika především jejich poměr. Nicméně, nebo právě proto, v dalším pak jsou interpretována získaná čísla do praktických souvislostí.

3.1.1 Energie

V Holandsku se spotřebuje v průměru na centrální vytápění domu 70 GJ energie za rok. Spotřeba energie na materiály tohoto předpjatého mostu by tak postačila k ročnímu vytápění 3636 domů, na materiály ocelového mostu k vytápění 4222 domů.

3.1.2 Voda

Průměrná spotřeba vody na osobu v Holandsku je 50 m³ za rok. Voda spotřebovaná na předpjatý most by uspokojila 4188 osob po celý rok, spotřebovaná na ocelový most dokonce 7594 osob.

3.1.3 Ztráta půdy

Předpjatý most vyžaduje ztrátu půdy v rozsahu kanálu širokého 20 m, dlouhého 1770 m a hlubokého 20 m. Pro ocelový most by stejný kanál měl délku 2000 m.

3.1.4 Emise SO₂

Tyto emise způsobují kyselý dešť. Jestliže předpokládáme kyselý dešť s pH=4 (což je běžná průměrná hodnota u nás) předpjatý most by způsobil spad 6,46 · 10⁶ m³. Přeloženo do kyselého deště na m², tzn. na příklad pro město jako je Eindhoven (78 km²) by to představovalo 83 litrů/m² a pro ocelový most 74 litrů/m² (což činí přibližně 1/10 celkového spadu kyselého deště za rok).

3.1.5 Emise prachu/sazi

Opět srovnáme situaci v holandském městě Eindhoven, kde průměrný obsah prachu je 50 μgm³. Přepočteno pro výšku 1 km nad městem to znamená, že předpjatý most by byl příčinou (v jednom momentě) 641 μgm³ a ocelový most 443 μgm³.

3.1.6 Práce

Jestliže pracovní rok jednoho člověka (čr) sestává z 1800 člověko-hodin (čh), vyžadovaly materiály předpjatého mostu 55,8 čr práce (z čehož 22,0 čr spotřeboval transport a 33,8 čr spotřebovala výroba), zatímco pro ocelový most jsou odpovídající hodnoty 52,1 čr (9,4 čr transport a 42,7 čr výroba). Ocelový most by spotřeboval o 58 % méně práce na transport, ale o 26 % více práce na výrobu. Celkově ocelový most by potřeboval na materiál o 6,6 % méně práce než předpjatý.

3.1.7 Celkové hodnocení

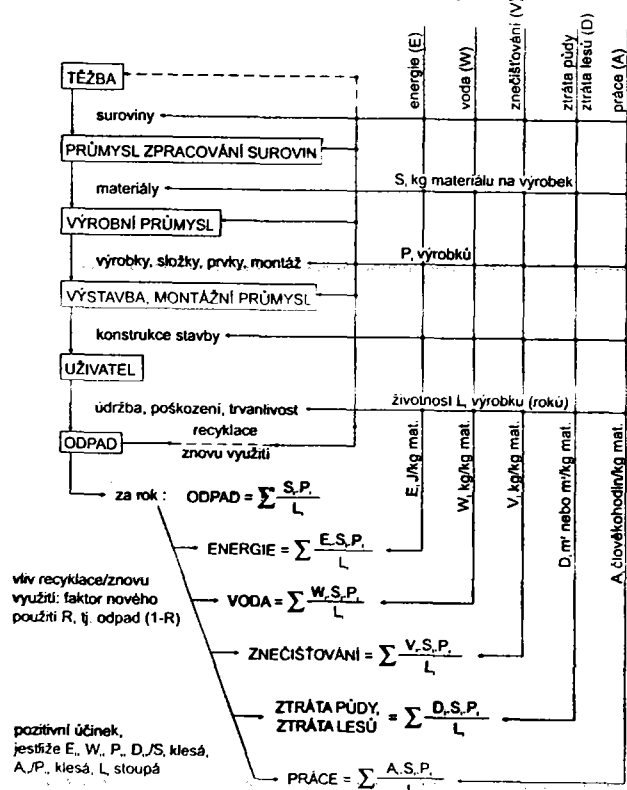
Z ekologického hodnocení stejného mostu ze dvou materiálů lze uzavřít, že na předpjatý beton se spotřebuje méně energie (o 16 %) a mnohem méně vody (o 81 %) ale za cenu zvýšení emisí CO₂ (o 11 %) a zvláště emisí prachu a sazí (o 31 %) a poněkud

Tab.3 Ekologické srovnání dvou materiálů pro stavbu mostu připravené na staveništi

Ekologické vlastnosti	Předpjatý most	Ocelový most	Poměr O/PB %
Energetický obsah (GJ)	254521	295573	116,1
Obsah vody (m ³)	209413	379691	181,3
Ztráta půdy (m ²)	35342	40108	113,5
Emise SO ₂ (kg)	20661	18417	89,1
Emise prachu/sazí (kg)	43618	30100	69
Práce na výrobu (čh)	60860	76846	126,3
Práce na transport (čh)	39584	16935	42,8
Práce celkem (čh)	100444	93781	93,4

vyššího objemu práce (o 7 %). Z toho je zcela zřejmé, že pro posuzování konstrukčních a stavebních projektů by měla být, vedle primárních technických a ekonomických kritérií věnována větší pozornost i aspektům sociálním a životního prostředí. V dlouhodobém horizontu se však priority mohou změnit a parametry životního prostředí se mohou stát parametry rozhodující důležitosti.

obr. 1 - Postupový diagram pro ekologické parametry



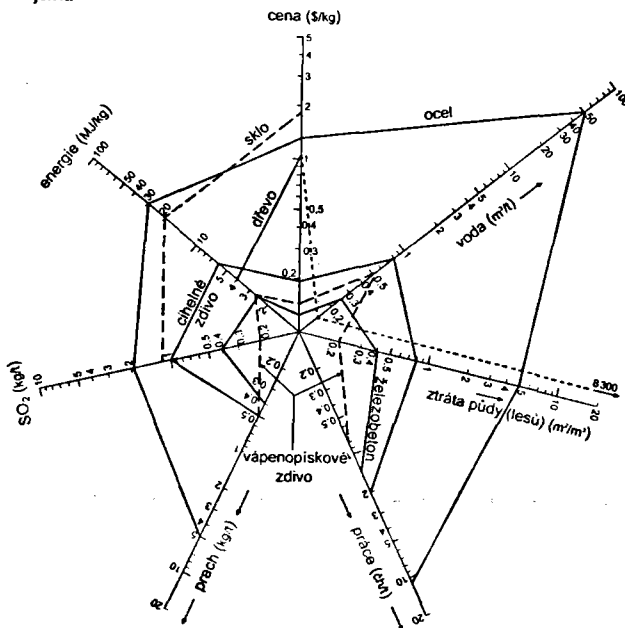


3.2 V dalším příkladu jsou vypočteny ekologické důsledky roční spotřeby stavebních materiálů v Holandsku (bohužel statistická data v ČR jsou neúplná a nepřesná): bylo spotřebováno 7,5.106 t cihel, 36.106 t betonu a malty a 3,7.106 t oceli (dohromady 90% celkové spotřeby stavebních materiálů). Tab. 4 dává výsledky převedené do praktické podoby, včetně ročního odpadu z demolic (který ovšem poroste, ačkoli se staví méně nových domů). Renovace a obnova budov se totiž stávají stále častější namísto stavby nových. Tabulka ukazuje, že lidská činnost skutečně vyvolává vážné důsledky pro životní prostředí.

Tab. 4 Ekologické důsledky (90%ní) roční spotřeby stavebních materiálů v Holandsku (14,5.106 obyvatel, plocha 41 200 km²)

Ekolog. parametry	Ekologické důsledky
Energie	78% všech domů může být centrálně vytápěno 1 rok
Voda	307 800 obyvatel může být zásobováno vodou 1 rok
Emise SO ₂	Odpovídá 8,9% ročního spadu kyselého deště
Emise prachu/sazi	Odpovídá za 1/2 průměrného ročního obsahu prachu
Ztráta půdy	Představuje jezero o ploše 38,9 km ² a hloubce 20m/rok
Odpad z demolic	Vyžaduje ročně skládku 1 km o výšce 5 m z čehož cca 50% je znovu využito
Práce	Vyžaduje 44 439 člověkoroků práce pro výrobu, 11 983 člověkoroků na dopravu, celkem 56 422 člověkoroků

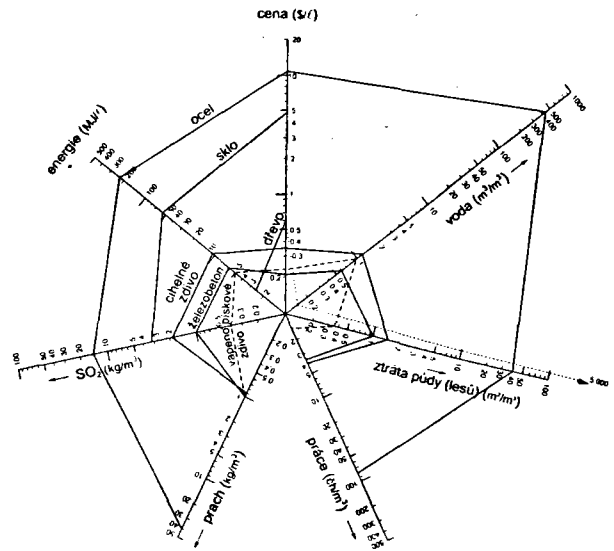
obr. 2a - Ekologický profil pro některé materiály, vyjádřeno na jednotku objemu



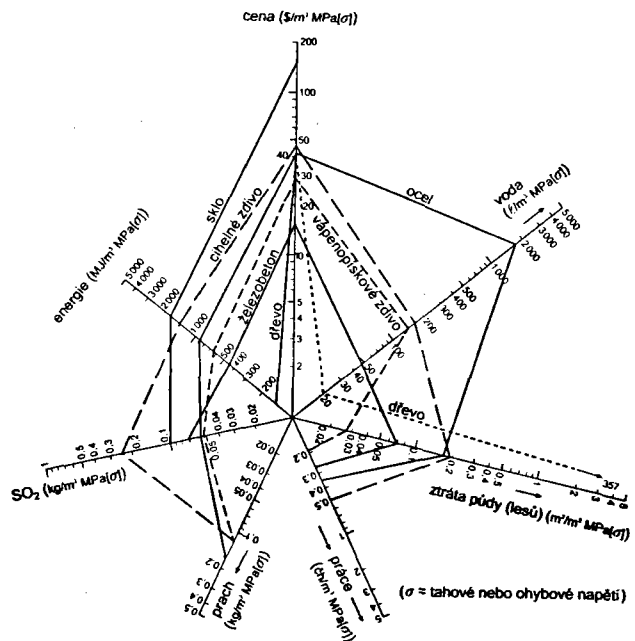
5. Závěr

Protože je to člověk, kdo rozhoduje jaké materiály jsou ve společnosti používány, je tedy každý projektant ve svém výběru stavebních materiálů odpovědný i za ekologické a sociální důsledky tohoto výběru. Měl by si proto být vědom ekologických vlastností materiálů, jak jsou naznačeny v tomto článku, i když se v různých zemích mohou poněkud lišit podle úrovně zákonů o ochraně životního prostředí. Jinými slovy by projektant při své práci neměl volit pouze podle technických a ekonomických kritérií, ale také podle řady dalších aspektů, které podle jeho názoru zaslouží úvahu a pozornost, jako je např. energie, životní prostředí nebo sociální sféra.

obr. 2b - Ekologický profil pro některé materiály vyjádřeno na jednotku hmotnosti



obr. 3 - Ekologický profil pro některé materiály vyjádřený poměrem poměrných jednotek (jednotka na objem) k pevnosti



obr. 4 - Ekologický profil pro některé materiály vyjádřený poměrem poměrných jednotek (jednotka na objem) k modulu pružnosti

